



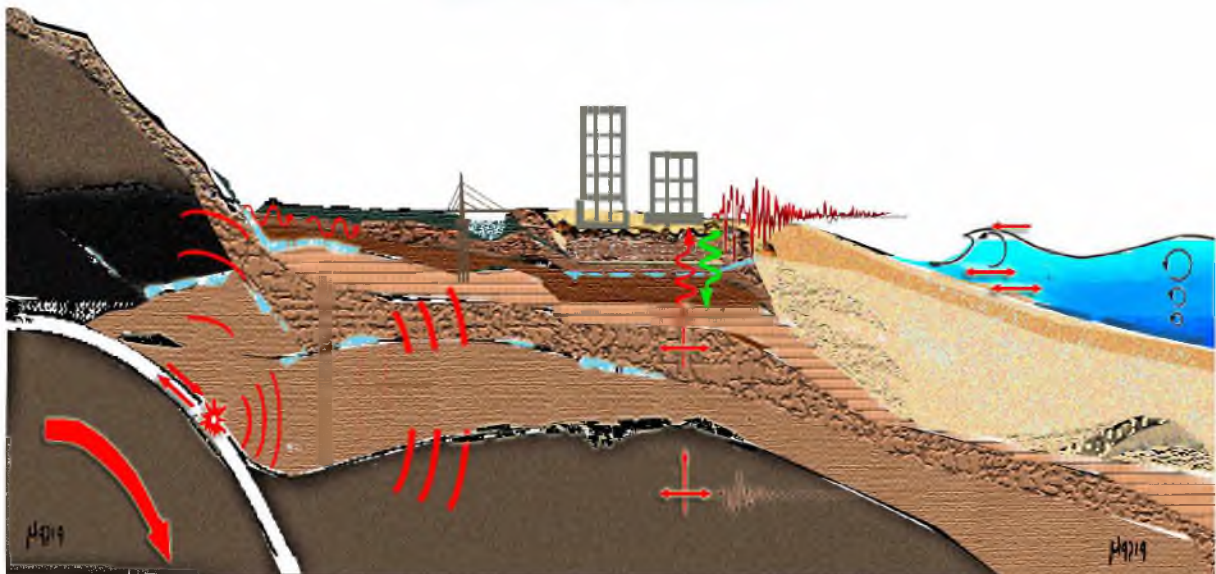
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μεθοδολογία Αυτοματοποιημένης Εκπόνησης
Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας
με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
Εφαρμογή σε Ελληνική Πόλη**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Μαρία Απ. Παπαδοπούλου
Πολιτικός Μηχανικός, MEng
δια την απονομή τίτλου Διδάκτορος (PhD)

Μάιος 2017

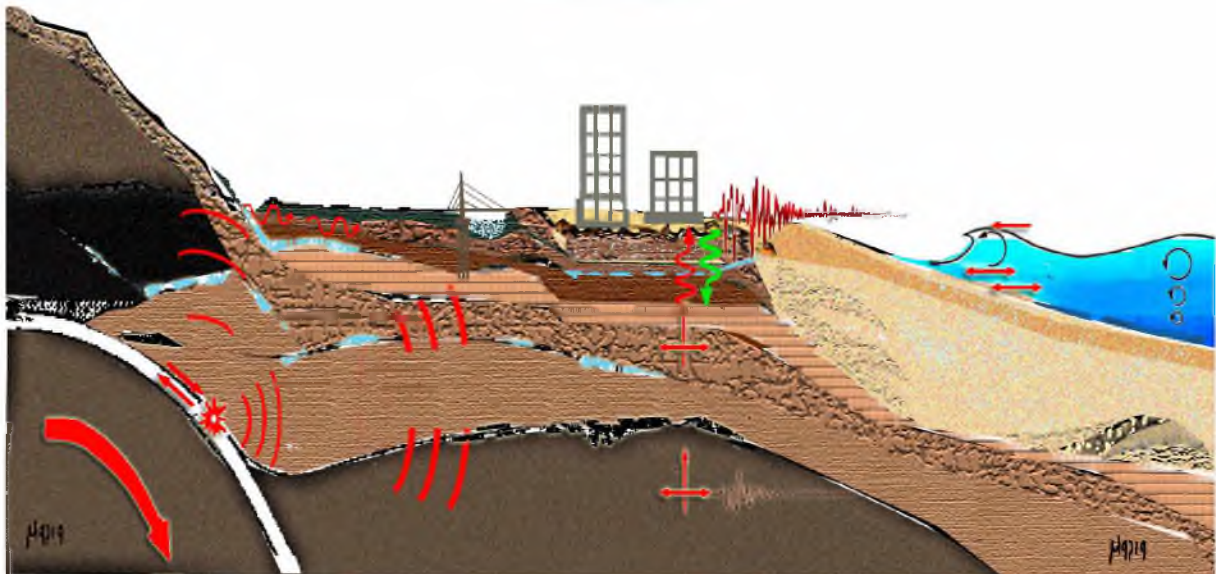
ΕΛΛΑΔΑ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ
ΕΝΩΣΗ



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

**Automated Methodology for
Seismic Hazard Microzonation Studies
with Interoperable Geographic Information Systems.
The Case study of a Hellenic (Greek) City**

PHD THESIS



Maria Ap. Papadopoulou
Civil Engineer, MEng
for the award of Doctor of Philosophy (PhD)

Mai 2017
GREECE
GREECE



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μεθοδολογία Αυτοματοποιημένης Εκπόνησης
Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας
με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
Εφαρμογή σε Ελληνική Πόλη**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εκπόνηση: Μαρία Απ. Παπαδοπούλου
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός
δια την απονομή τίτλου Διδάκτορος (PhD)

Επιβλέπων: Παναγιώτης Ντακούλας
Καθηγητής, Δρ Πολιτικός Μηχανικός

Μάιος 2017

ΕΛΛΑΔΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

**Automated Methodology for
Seismic Hazard Microzonation Studies
with Interoperable Geographic Information Systems.
The Case study of a Hellenic (Greek) City**

PHD THESIS

Submitted by: **Maria Ap. Papadopoulou**
Civil Engineer, MEng
for the award of Doctor of Philosophy (PhD)

Supervisor: **Panagiotis Dakoulas**
Professor, Civil Engineer, PhD

Mai 2017

GREECE
GREECE



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης
Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας
με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα
Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη.**

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, Α.Π.Θ.

Επιβλέπων: **Δρ Παναγιώτης Ντακούλας**, Καθηγητής

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβλήθηκε στο
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας,
για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την απόκτηση του
Διδακτορικού Διπλώματος

Μάιος 2017, Βόλος, ΕΛΛΑΔΑ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΔΙΑΔΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΓΕΩΓΡΑ- ΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΟΛΗ.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μαρία Αποστόλου Παπαδοπούλου

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, Α.Π.Θ.

Η Διδακτορική Διατριβή υποβλήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την απόκτηση του Διδακτορικού Διπλώματος.

Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 3 Μαΐου 2017

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Δρ Παναγιώτης Ντακούλας (Επιβλέπων)
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Αιμίλιος Κωμοδρόμος
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Γεώργιος Σταμούλης
Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Δρ Παναγιώτης Ντακούλας (Επιβλέπων)
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Αιμίλιος Κωμοδρόμος
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Γεώργιος Σταμούλης
Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Θεοφάνης Γραμμένος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Νέστωρ Ευμορφόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχ/κών Υπολογιστών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Γεώργιος Εφραιμίδης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ Πολυξένη Καλλιόγλου
Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

**AUTOMATED METHODOLOGY FOR SEISMIC HAZARD MICROZONATION
STUDIES WITH INTEROPERABLE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.
THE CASE STUDY OF A HELLENIC (GREEK) CITY.**

DOCTORAL THESIS

Maria Apostolou Papadopoulou
Diploma in Civil Engineering, A.U.Th

The doctoral thesis is submitted to the University of Thessaly in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy
Date of submission - presentation: 3 Mai 2017

SUPERVISOR COMMITTEE :

Dr Panagiotis (Panos) Dakoulas
Professor, Dept. of Civil Engineering,
University of Thessaly

Dr Emiliios Komodromos
Professor, Dept. of Civil Engineering,
University of Thessaly

Dr George Stamoulis
Professor, Dept. of Electrical and Computer
Engineering, University of Thessaly

EXAMINATION COMMITTEE :

Dr Panagiotis (Panos) Dakoulas
Professor, Dept. of Civil Engineering,
University of Thessaly

Dr Emiliios Komodromos
Professor, Dept. of Civil Engineering,
University of Thessaly

Dr George Stamoulis
Professor, Dept. of Electrical and Computer
Engineering, University of Thessaly

Dr Theophanis Grammenos
Assistant Professor, Dept. of Civil
Engineering, University of Thessaly

Dr Nestoras Eumorfopoulos
Assistant Professor, Dept. of Electrical and
Computer Engineering, Univ. of Thessaly

Dr George Efremidis
Assistant Professor, Dept. of Civil
Engineering, University of Thessaly

Dr Polyxeni Kallioglou
Lecturer, Dept. of Civil Engineering,
University of Thessaly

Copyright © 2017, Μαρία Αποστόλου Παπαδοπούλου

Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής
Επικινδυνότητας με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη

ISBN

Οποιοσδήποτε συνδυασμός στη διατύπωση πεζών ή κεφαλαίων γραμμάτων στον παραπάνω τίτλο είναι ισοδύναμος.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, η αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, η διανομή, η αναπαραγωγή, η μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, § 2).

Copyright © 2017, Maria Apostolou Papadopoulou

Automated methodology for Seismic Hazard Microzonation Studies with Interoperable
Geographic Information Systems. The case study of a Hellenic (Greek) city

ISBN

Any combination of capital or small letters in the above title is equivalent.

All rights reserved.

Neither the whole nor any part of this doctoral thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author.

Reproducing, storing and distributing this doctoral thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text.

Any queries in relation to the use of the present doctoral thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this doctoral thesis by the Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Thessaly, does not constitute in any way an acceptance of the views of the author by the said academic organization (L.5343/32, art. 202, § 2).

Ίθακης – γάρ ὄναρ ἀνάθρωπος

ΣΤΑ ΠΑΙΔΙΑ ΜΟΥ

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ευχαριστίες

Κάθε διδακτορική διατριβή έχει την ιστορία της. Η παρούσα ξεκίνησε το 2004, ανέπτυξε ακόμη δυο προηγούμενα πολυετή διδακτορικά θέματα χωρίς χρηματοδότηση και ύστερα το παρόν τρίτο το οποίο ολοκληρώθηκε επιτυχώς. Συνάντησα σοβαρά προβλήματα, τα οποία όμως ξεπέρασα χάρις στην ψυχική δύναμή μου να συνεχίσω και στη βοήθεια των παρακάτω προσώπων, προς τα οποία θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Πρώτα οφείλω ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα κύριο Παναγιώτη Ντακούλα, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την καθοδήγηση που προσέφερε στη διδακτορική διατριβή μου από το έτος 2015 που την ανέλαβε ως Επιβλέπων. Χωρίς την υποστήριξη του δεν θα είχε ολοκληρωθεί η διαδικασία και κυρίως δεν θα μπορούσα να επιτύχω την επιστημονική ποιότητα της παρούσης διδακτορικής διατριβής. Παρά την έκταση, την ερευνητική δυσκολία και την αμότερη υπηρεσιακή πίεση, συνεργάστηκε μαζί μου, δίνοντας σημαντικές γνώσεις και συνέπεια, στοιχεία που συνέβαλαν και στο να προχωρήσω τη μελέτη μου με ευχαρίστηση. Έτσι, η αμοιβαία επιθυμία να εκπονήσω μια αξιότιμη διατριβή απέδωσε ένα θετικό αποτέλεσμα το οποίο έχει και περαιτέρω ερευνητικές προοπτικές.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, Καθηγητές κύριο Αιμίλιο Κωμοδρόμο και κύριο Γεώργιο Σταμούλη, για τον χρόνο που διέθεσαν, την ηθική υποστήριξη και το ενδιαφέρον τους από το 2015 να δεχθεί το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας να επανασυγκροτηθεί μια κατάλληλη τριμελής προκειμένου να μπορέσω να ολοκληρώσω τη διατριβή μου. Ευχαριστίες επίσης στον Καθηγητή κύριο Θεοφάνη Γραμμένο για την υπομονή του να διορθώσει τα κείμενα κάνοντας χρήσιμες παρατηρήσεις. Ευχαριστίες σε όλα τα μέλη της ειδικής Επταμελούς Επιτροπής που έκαναν ομόφωνα αποδεκτή τη διατριβή μου και μάλιστα με βαθμό «Άριστα».

Ευχαριστίες οφείλονται και σε όλους όσοι αφιλοκεδώς χορήγησαν υλικό για την πιλοτική εφαρμογή της παρούσης μεθοδολογίας στην πόλη του Βόλου: Στην ερευνητική ομάδα που εκπόνησε τη Μικροζωνική Μελέτη του Βόλου (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), η οποία χορήγησε σε αναλογική μορφή φύλλα γεωτρήσεων. Στα ιδιωτικά γραφεία, στις δημόσιες υπηρεσίες και όλους τους ερευνητές των οποίων οι μελέτες απέδωσαν χρήσιμα εδαφοτεχνικά δεδομένα, τα οποία καταχωρήθηκαν στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Δρ Πολιτικό Μηχανικό Ανδρέα Αντωνίου που παραχώρησε το 2008 μια απλή αλλά χρήσιμη έκδοση της βάσης *HelGeoRDaS* (Ε.Μ.Π.) μαζί με αρκετά δεδομένα για την πόλη του Βόλου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Πολιτικό Μηχανικό κύριο Νικόλαο Χατζηνικολάου (έδρα επιχείρησης Βόλος), για το υλικό εδαφικών δεδομένων που χορήγησε το 2010, για τη συμβολή του στο να συμπληρωθούν οι ελλείψεις των δεδομένων όλων των παραπάνω πηγών και κυρίως για τη βοήθειά του στον προσδιορισμό των συντεταγμένων όλων των γεωτρήσεων που χορηγήθηκαν από τη Μικροζωνική Μελέτη και το Ε.Μ.Π. Στις τοπικές Υπηρεσίες του Δήμου Βόλου, του πρώην Δήμου Νέας Ιωνίας και στις δημόσιες υπηρεσίες για το στοιχειώδες

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2017.

αρχικό χαρτογραφικό υλικό που χορήγησαν. Στον Τοπογράφο Μηχανικό κύριο Ιωάννη Συγγρό, ο οποίος χορήγησε δωρεάν τον αλγόριθμό του *Coords GR* (Syggros, 2002) και οδηγίες προκειμένου η έρευνα να αναγνωρίσει πριν χρόνια τα διάφορα τοπικά συστήματα ελληνικών προβολικών συστημάτων, καθώς και να μετασχηματίσει τις συντεταγμένες σε ένα ενιαίο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα.

Τέλος, όχι όμως ελάχιστα, νοιώθω ευγνωμοσύνη προς την οικογένειά μου για τη στήριξή της όλα αυτά τα χρόνια και θλίβομαι για όσους δεν έζησαν να χαρούν σήμερα την ολοκλήρωση της διατριβής μου. Ευγνωμονώ βεβαίως τον τριαδικό Θεό που μου έδωσε δύναμη να αντεπεξέρχομαι στις δυσκολίες που συνάντησα. Ο Πλάτων μας εξήγησε ότι ο άνθρωπος είναι «ο αναθρών ά όπωπε» (ανάθρωπος ¹).

Μαρία Παπαδοπούλου

¹ **Ανάθρωπος**: Σωκρατική ετυμολογία της λέξης «**ἄνθρωπος**» (πλατωνικός διάλογος «Κρατύλος»).

Με την ευκαιρία της ψυχικής μαρτυρίας, ας αφήσω και μια γλωσσολογική μαρτυρία. Ως διγλωσση, η μητρική ελληνογενής γλώσσα μου διαμαρτυρά την ίδια ετυμολογική πρόταση του Σωκράτη (δια του Πλάτωνα), σύμφωνα με την οποία ο ἄνθρωπος ονομάστηκε έτσι επειδή «**ἀναθρεῖ** (στοχάζεται, συλλογίζεται) **ἄ** (αυτά τα οποία) **ὄπωπε** (είδε)».

Επιπροσθέτως, η ελληνική γλώσσα πράγματι μᾶς κληρονομεί, μέσω της διατύπωσής της, τον φιλοσοφικό Σωκρατικό λόγο περί **γνώσης**, **γνώμης** και **εμπειρίας** (βλ. κεφ. 5.2 **Πυθία**), σύμφωνα με τον οποίο ο άνθρωπος διακρίνεται από την ικανότητα να «αναπτύσσει διανοητικές ικανότητες», είναι «μη χοϊκή φύση», αναπτύσσεται πραγματιστικά πάνω στη διανοητική υπόστασή του, είναι «ον του οποίου ο νους και οι αισθήσεις αναπτύσσουν εμπειρίες» αλλά και «ον του οποίου οι πράξεις είναι απόρροια σκέψης και κρίσης». Ωστε, όπως εγώ, «ομιλεί (σκέφτεται) **με βάση ό,τι γνώρισε**».

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ
ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΜΕ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΟΛΗ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΑΡΙΑ ΑΠ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής ήταν η ανάπτυξη αριθμητικής μεθοδολογίας με την οποία εκτιμούνται λεπτομερώς και με πληρότητα οι παράμετροι που περιγράφουν τη δυναμική απόκριση του εδάφους υπό μονοδιάστατη σεισμική φόρτιση. Η μελέτη της σεισμικής απόκρισης των αποθέσεων του εδάφους στον χώρο μιας κατασκευής απαιτεί την εκτίμηση της στρωματογραφίας του εδάφους, των δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους και της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης. Οι μικροζωνικές μελέτες προϋποθέτουν τη ρεαλιστική γνώση των εδαφικών συνθηκών, την ταυτόχρονη επίλυση πολλαπλών θέσεων εδαφικών τομών, τη συσχέτιση πολυθεματικών δεδομένων, τη διαχείριση βάσεων, καθώς και την πληρέστερη εξέταση των κύριων και δευτερευόντων φαινομένων που συνδέονται με τη σεισμική εδαφική απόκριση και τα αποτελέσματα στις κατασκευές. Με στόχο να εξετάζει συνολικά το φαινόμενο και να αυτοματοποιεί τις μικροζωνικές μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, η μεθοδολογία ανέπτυξε συνολικά πέντε αυτόνομες θεματικές μεθοδολογίες, οι οποίες είναι: (1) Ισοδύναμα γραμμική Ανάλυση της μονοδιάστατης σεισμικής εδαφικής απόκρισης, (2) Σηματολογικός Διερμηνέας, (3) Έλεγχος του Κινδύνου Ρευστοποίησης για τρεις τύπους επιτόπιων μετρήσεων (Crosshole ή Downhole, SPT, CPT), (4) Φάσματα Fourier και Αντίστροφοι Μετασχηματισμοί, (5) Φάσματα (ελαστικής) Απόκρισης Κατασκευών. Οι μεθοδολογίες αναπτύχθηκαν σε ενιαίο λογισμικό στο οποίο

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

δόθηκε το ακρωνύμιο *GeoSeism*. Με στόχο κυρίως την εφαρμογή σε μια τυπική ελληνική πόλη (Βόλος), αναπτύχθηκε το αυτόνομο σύστημα Βάσης Διαχείρισης γεωτεχνικών και πολυθεματικών εδαφικών Δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH*, στο οποίο και καταχωρήθηκε επίσης ένα αξιόλογο περιεχόμενο. Με την αυτοματοποιημένη συνεργασία όλων των αυτόνομων παραπάνω μονάδων, το *GeoSeism* αποκτά δομή πρότυπου διαλειτουργικού Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

Ειδικότερα:

(1). Ισοδύναμα γραμμική Ανάλυση της μονοδιάστατης σεισμικής εδαφικής απόκρισης: Φέρει το όνομα *Άρτεμις*. Αποτελεί **σύγχρονη αναπαραγωγή της αριθμητικής μεθόδου του SHAKE** (Schnabel et al., 1972). Χρησιμοποιεί την ακριβή μαθηματική λύση της κυματικής εξίσωσης για τη γενική περίπτωση των πολυστρωματικών σχηματισμών που υπέρκεινται σε εύκαμπτο βραχώδες υπόβαθρο. Είναι αξιόπιστη στα όρια των παραδοχών της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής μεθόδου. Οι έλεγχοι επιβεβαιώνουν ότι τα αποτελέσματα του *GeoSeism* συμφωνούν με τα αποτελέσματα προγραμμάτων που εφαρμόζουν τη μέθοδο αυτή, όπως είναι το *SHAKE91* (Idriss and Sun, 1992) και το *EERA* (Bardet et al, 2000), καθώς επίσης και με τα αποτελέσματα του προγράμματος πεπερασμένων διαφορών *FLAC* (Itasca, 2011). Προσεγγίζει τη μη γραμμική υστερητική συμπεριφορά των εδαφών για επιβαλλόμενες διατμητικές παραμορφώσεις πλάτους έως 0.2 % - πρακτικά μέχρι και τους ισχυρούς σεισμούς.

(2). Σημαιολογικός Διερμηνέας: **Προτείνεται από την παρούσα** Διατριβή ως όρος και ως μεθοδολογία. Στόχο έχει να καλύπτει τις ελλείψεις των δεδομένων με βάση τις θεμελιώδεις γνώσεις ενός επιστημονικού πεδίου ώστε να αποκτούν ολοκληρωμένο νόημα και να εξοικονομείται χρόνος στις υπολογιστικές διαδικασίες του χρήστη της Πληροφορίας. Η *Πυθία*, είναι ένας πρώτος τέτοιος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε. Η μεθοδολογία της επιδιώκει να διαμορφώνει γεωτεχνική πληροφορία από τα δεδομένα των ΓΣΠ, δηλαδή επιτελεί γεωτεχνική ερμηνεία (επεξεργασία και ανάλυση) κι όχι απλή ανάκτηση και συσχέτιση δεδομένων.

(3). Έλεγχος του Κινδύνου Ρευστοποίησης: Φέρει το όνομα *Πολυνόη*. Επιτελεί ποιοτικό έλεγχο με βάση εμπειρικά κριτήρια και ποσοτικό έλεγχο με βάση την **εμπειρική μεθοδολογία των Youd and Idriss (2001)** για τους τρεις τύπους μετρήσεων (CH/DH, SPT, CPT).

(4). Φάσματα Fourier και Αντίστροφοι Μετασχηματισμοί: Ο κώδικας φέρει το όνομα *Θεμιστόκλεια*. Αναπτύσσεται με βάση τον Ευθύ και τον Αντίστροφο **Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier**, με τρόπο που να επιτρέπει την επεξεργασία των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων και την αυτόνομη λειτουργία καθενός μετασχηματισμού της μεθοδολογίας.

(5). Φάσματα Απόκρισης Κατασκευών: Ο κώδικας φέρει το όνομα *Πενθεσίλεια*. Υπολογίζει τη δυναμική επιβάρυνση για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών σε όρους φασμάτων

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2017.

ελαστικής απόκρισης μονοβάθμιων κατασκευών και διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης. Αναπτύχθηκε με βάση την αριθμητική εν χρόνω ολοκλήρωση του **αλγόριθμου των Nigam and Jennings (1968)**.

Στη Διατριβή αναπτύχθηκαν επίσης δυο σχεσιακές Βάσεις δεδομένων, οι οποίες είναι:

(α) Η **Βάση Διαχείρισης γεωτεχνικών και πολυθεματικών εδαφικών Δεδομένων** με το όνομα *Καλλιπάτειρα*: Είναι εξαρτημένη στο *GeoSeism*, με ρόλο κεντρικής διαχείρισης Βάσεων δεδομένων ΓΣΠ. Παρουσιάζει ένα πρότυπο συνδέσμου ο οποίος χρησιμοποιεί γεωγραφικές και γεωτεχνικές αναφορές προκειμένου να ανταλλάσει τα δεδομένα πολλών διαφορετικών μονάδων (με λογισμικά, ΓΣΠ, κ.λπ.). Το πρότυπο δεν είναι προς το παρόν τόσο εξελιγμένο όσο είναι οι αντίστοιχες υπερ-Βάσεις των σύγχρονων ΓΣΠ. Εφαρμόζεται ωστόσο (εδώ) για πρώτη φορά σε μεθοδολογία η οποία έχει στόχο την αυτοματοποιημένη εκπόνηση ΜΜΣΕ.

(β) Η **Βάση Διαχείρισης γεωτεχνικών και πολυθεματικών εδαφικών Δεδομένων** με το ακρωνύμιο *HelGeoRDaS_uTH*: Έχει τον ρόλο τράπεζας πληροφοριών, εξωτερικής σε σχέση με το *GeoSeism*. Αποθηκεύει, διαχειρίζεται και διαχέει πρωτογενή πολυθεματικά δεδομένα σε επίπεδο πόλης. Εφαρμόζει προδιαγραφές συντακτικών προτύπων κοινές με τα διαλειτουργούντα ΓΣΠ. Στην τρέχουσα έκδοση καταχωρήθηκαν ήδη χωρικά δεδομένα για 342 διακριτές Θέσεις Έρευνας (εδαφικές στήλες) με τη μέγιστη πληροφορία καθεμιάς. Είναι η πρώτη φορά που συλλέγονται, αλληλοσυμπληρώνονται και καταχωρούνται ψηφιακά όλα τα διαθέσιμα δεδομένα για το σύνολο της πόλης του Βόλου (τυπική ελληνική πόλη). Κάθε Θέση συνοδεύουν χωρικά δεδομένα, τα οποία αναφέρονται στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (εργαστηριακές δοκιμές, SPT, CPT, CH, DH) και τη γεωμετρία σε διάφορα βάθη των εδαφικών στρώσεων, καθώς και σε γεωλογικές περιγραφές, υδρολογικά και τοπογραφικά στοιχεία, κ.ά.

Την επιστημονική και τεχνική αρτιότητα όλων των παραπάνω προϊόντων της Διατριβής, επιβεβαίωσαν οι έλεγχοι που έγιναν συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του *GeoSeism* με εκείνα άλλων λογισμικών, καθώς και η πιλοτική εφαρμογή της συνολικής μεθοδολογίας σε ένα τμήμα της παραλιακής ζώνης της πόλης του Βόλου.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

**AUTOMATED METHODOLOGY FOR
SEISMIC HAZARD MICROZONATION STUDIES
OF INTEROPERABLE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.
THE CASE STUDY OF A HELLENIC (GREEK) CITY**

DOCTORAL THESIS

Maria Ap. Papadopoulou
Civil Engineer, MEng

Abstract

The aim of this Doctoral Thesis was the development of a numerical methodology capable of determining the parameters which describe in a detailed and sufficient manner the response of a soil deposit under one-dimensional earthquake excitation. In order to study the seismic response of soil deposits and the site effects, the assessment of soil stratigraphy and soil properties is required. Seismic hazard microzonation studies require realistic assessment of site effects, the simultaneous estimation of multiple investigated locations (soil columns), the relational organizing of multi-thematic data, the database management, as well as the examination of primary and secondary phenomena and their impact on the structures. In order to assess the phenomena and automate these studies, the present methodology develops a total of five individual thematic methodologies, which are: (1) Equivalent linear analysis of one dimensional seismic ground response, (2) Semantic Interpreter, (3) Susceptibility to Liquefaction for three types of field measurements (Crosshole or Downhole, SPT, CPT), (4) Fourier spectra and Inverse Fourier Transform, (5) Elastic Response Spectra of Structures. All of the above methodologies are interoperating in a single software implementation with the acronym *GeoSeism*. In order to illustrate the first case study of the complete methodology on a typical Greek city (Volos), the autonomous Base (database management system) geotechnical and multi-thematic data, in the acronym *HelGeoRDaS_uTH*, has been also developed and filled with a substantial amount of

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

interrelated spatial data. By the automated interoperation of all the autonomous units *GeoSeism* constitutes an interoperable GIS.

More specifically:

(1). Equivalent linear analysis of the one-dimensional seismic ground response: This methodology, under the name *Artemis*, is a **modern application of the numerical SHAKE method** (Schnabel et al., 1972). The method simulates numerically the propagation of vertically propagating SH waves through multilayered soil deposits which overly a flexible rock base. It is subject to the limitations and assumptions of the one dimensional equivalent linear method. Verification studies demonstrate that the results of *GeoSeism* agree with the results of programs which implement the same methodology such as *SHAKE91* (Idriss and Sun, 1992) and *EERA* (Bardet et al, 2000), as well as with results from the finite-difference program *FLAC* (Itasca, 2011). The *Artemis GeoSeism* method approximates the nonlinear hysteretic soil behavior for shear strain amplitudes up to 0.2% - practically up to strong earthquakes.

(2). The Semantic Interpreter: This methodology and its definition are **proposed by the present thesis**. It aims at completing and interpreting the available data by using the fundamental knowledge of a scientific field to acquire comprehensive sense (Information) and to save time in the computing procedures for the benefit of the user. *Pythia* is the name of the first such materialized algorithm. Its methodology produces geotechnical information on the basis of the spatial data interchange of the GIS; i.e. it performs geotechnical interpretation (processing and analysis) rather than simple data acquisition and correlation.

(3). Susceptibility to Liquefaction on the basis of the three types of field measurements (Crosshole or Downhole, SPT, CPT). Under the name *Polynoi*, this methodology examines the safety factor against liquefaction. It performs a qualitative examination based on empirical criteria and a quantitative one based on the **Youd and Idriss (2001) empirical methodology** for the three types of measurements (CH or DH, SPT, CPT).

(4). Fourier Spectra and Inverse Fourier Transform: Under the name *Themistoclea*, this numerical methodology provides the Direct and the Inverse **Discrete Fourier Transform**. The present code allows the signal processing of intermediate results and the independent operation of each type of Transform.

(5). Elastic Response Spectra of Structures: Under the name *Penthesilea*, this methodology calculates the potential loading for the earthquake design of the structures in terms of elastic response spectra of single degree of freedom oscillators for various viscous damping values. The methodology is based on the numerical time integration method of the **algorithm presented by Nigam and Jennings (1968)**.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

In this Thesis, two relational databases are also developed, which are:

(A) Database of geotechnical and multidisciplinary data under the name *Kallipateira*: It is a core database management system that is dependent on *GeoSeism*. Its geographical and geotechnical relational keys-model allows a semantic interoperation during the exchange of data between separate sources of data (software items, GIS, etc.). The model is not currently fully developed as the corresponding large bases of modern GIS. However, it is the first time that such a solution is implemented, aimed at automating the computing procedures of seismic hazard methodologies.

(B) Database of geotechnical and multidisciplinary data under the acronym *HelGeoRDaS-uTH*: It stores, manages and shares multidisciplinary primary city-level data. It follows the syntactic standards of the interoperable GIS. In the current version spatial data of about 342 discrete site-specific Investigated Locations (soil columns) have been registered. This is the first time that all the available geospatial data for the entire city of Volos (a typical Hellenic city) is collected and registered in digital format constituting an overarching background. Data about the physical and mechanical properties (laboratory tests, SPT, CPT, CH, DH) and the soil profile geometry at different depths are included, as well as geology descriptions, hydrological and topographical data, etc.

All of the above products of the present Thesis have been thoroughly verified by proper benchmark tests which compare the results between *GeoSeism* and known software programs and the complete methodology was used in a pilot case study of the coastal area of Volos.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΤΙΤΛΟΙ	1
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	13
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	17
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	23
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	24
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΣΥΜΒΟΛΑ	35
ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΥΜΒΟΛΑ	36
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	415
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	429
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	433
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	443
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	445
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή	
1.1 Αντικείμενο και Αναγκαιότητα της Διδακτορικής Διατριβής	37
1.2 Σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας <i>GeoSeism</i>	41
1.3 Σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων ΓΣΠ του <i>GeoSeism</i>	43
1.4 Ακρίβεια - Περιορισμοί - Δυνατότητες	45
1.5 Προϊόντα της διδακτορικής έρευνας και καινοτόμα στοιχεία	46
1.6 Οργάνωση των κειμένων της Διατριβής	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Βιβλιογραφική Επισκόπηση	
2.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και εδαφικές συνθήκες	
2.1.1 ΓΣΠ και Γεωτεχνική Μηχανική	53
2.1.2 Οι Εδαφικές Συνθήκες στις Σεισμικές Μικροζωνικές Μελέτες	56
2.1.3 Το πρόβλημα Γνώσης των εδαφικών συνθηκών	60
2.1.4 Επίκαιρες τάσεις για τα εδαφικά δεδομένα	64
2.2 Τεχνολογία ΓΣΠ	
2.2.1 Ονομασίες και ορισμοί της έννοιας ΓΣΠ	68
2.2.2 Χρονική εξέλιξη της τεχνολογίας των ΓΣΠ	70
2.2.3 Ταξινόμηση λογισμικών εφαρμογής ΓΣΠ	75
2.2.4 Διαλειτουργικότητα και σημασιολογία στα ΓΣΠ	76
2.2.5 Ερευνητικές προκλήσεις για τεχνολογίες σημασιολογικής διαλειτουργικότητας	81
2.3 Εφαρμογή των διαλειτουργικών ΓΣΠ στη Γεωτεχνική Μηχανική	
2.3.1 Αρχές και Λειτουργίες	86
2.3.2 Ενδεικτική Αρθρογραφία εφαρμογών σε Μικροζωνικές Μελέτες	97
2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης (ΑΣΕΑ)	
2.4.1 Μεταβολή των εδαφικών ιδιοτήτων και επίδραση των εδαφικών συνθηκών	103
2.4.2 Η ΑΣΕΑ στη μονοδιάστατη και στην πολυδιάστατη διάδοση κυμάτων	104
2.4.3 Απόσβεση του εδάφους - Κύρια αίτια απώλειας της σεισμικής ενέργειας	105
2.4.4 Ενδεικτικές ισοδύναμες έννοιες απόσβεσης σε Δομητικά συστήματα	108

2.4.5	Μονοδιάστατες αναλύσεις ΑΣΕΑ	109
2.4.6	Κατηγορίες ΑΣΕΑ βάσει των γεωτεχνικών και σεισμολογικών δεδομένων	110
2.4.7	Κατηγορίες ΑΣΕΑ βάσει των υπολογιστικών διαδικασιών	111
2.4.8	Κατηγορίες ΑΣΕΑ ανάλογα του επιπέδου παραμόρφωσης	113
2.4.9	Ισοδύναμα γραμμική ανάλυση	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι		429
	Οι γνωστότεροι κώδικες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης	429

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ισοδύναμα Γραμμική Ανάλυση

3.0	Εισαγωγή	125
3.1	Περιγραφή του αντικειμένου της μεθόδου	125
3.2	Περιγραφή του ισοδύναμα γραμμικού μοντέλου	130
3.2.1	Ισοδύναμα Γραμμική Μέθοδος - Βασικές αρχές	130
3.2.2	Καταστατική σχέση μονοδιάστατης προσομοίωσης της υστερητικής συμπεριφοράς	131
3.2.3	Υστερητική απόσβεση και ελαστική ενέργεια στην ανακυκλική φόρτιση	134
3.2.4	Μοντέλα μέτρων διάτμησης και η φυσική τους σημασία	137
3.2.5	Διαφορά φάσης και συντελεστής απώλειας στην αρμονική φόρτιση	139
3.3	Παραδοχές εφαρμογής της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης	
3.3.1	Παραδοχές της ελαστικής θεωρίας: σεισμική ενέργεια, ελαστικά κύματα, σεισμικά κύματα	141
3.3.2	Παραδοχές για τα σεισμικά κύματα τύπου S και P	141
3.3.3	Παραδοχές για τις εδαφικές συνθήκες	142
3.4	Φυσική περιγραφή του φαινομένου της μονοδιάστατης εδαφικής απόκρισης	143
3.5	Μαθηματική περιγραφή του φαινομένου της μονοδιάστατης εδαφικής απόκρισης	144
3.6.1	Υπολογισμοί μετατοπίσεων και διατμητικών τάσεων με άλγεβρα μη-τρώων	149
3.6.2	Μαθηματική περιγραφή της απόκρισης του υποβάθρου	150

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Περιγραφή της εξωτερικής Βάσης HelGeoRDaS_uTH

4.1	Η γεωτεχνική - πολυθεματική βάση δεδομένων HelGeoRDaS_uTH	
4.1.1	HelGeoRDaS_uTH και Καλλιπάτεια, διαλειτουργικοί ρόλοι στο GeoSeism	153
4.1.2	Το πρότυπο HelGeoRDaS από το οποίο ξεκίνησε η HelGeoRDaS_uTH	154
4.1.3	Ο πολυθεματικός χαρακτήρας της HelGeoRDaS_uTH και η έννοια της «Θέσης Έρευνας»	154
4.2	Αρχιτεκτονική	
4.2.1	Εισαγωγική Φόρμα GENERAL, Φόρμες DYNAMIC, CONFIGURATION	157
4.2.2	Οι Κύριοι Πίνακες της HelGeoRDaS_uTH	160
4.2.2.1	Ο Κύριος Πίνακας INVESTIGATED_LOCATIONS και η ομώνυμη Φόρμα	160
4.2.2.2	Ο Κύριος Πίνακας REAL_ID και η ομώνυμη Φόρμα	163
4.2.2.3	Ο Κύριος Πίνακας WATER_TABLE και η ομώνυμη Φόρμα	163
4.2.2.4	Ο Κύριος Πίνακας LITHOLOGY, η ομώνυμη Φόρμα, και Λιθολογικοί Κωδικοί για τον εναλλακτικό εδαφικό χαρακτηρισμό	164
4.2.2.5	Ο Κύριος Πίνακας LAB_TESTS και η ομώνυμη Φόρμα	167
4.2.2.6	Ο Κύριος Πίνακας INSITU_SPT_TESTS και η ομώνυμη Φόρμα	169
4.2.2.7	Ο Κύριος Πίνακας INSITU_CPT_TESTS και η ομώνυμη Φόρμα	170
4.2.2.8	Ο Κύριος Πίνακας INSITU_GEOPHYSIC_TESTS και η ομώνυμη Φόρμα	170
4.2.2.9	Ο Κύριος Πίνακας ROCKMASS_CLASSIFICATION και η ομώνυμη Φόρμα	171
4.2.2.10	Οι Κύριοι Πίνακες NETWORK_ELEMENTS και PIPELINE_FAILURES	174
4.2.3	Οι Δευτερεύοντες Πίνακες της HelGeoRDaS_uTH	175
4.2.3.1	Ο Δευτερεύων Πίνακας SOIL και η ομώνυμη Φόρμα	177

4.2.3.2	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>ROCK</i> και η ομώνυμη Φόρμα	177
4.2.3.3	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>COLOUR</i> και η ομώνυμη Φόρμα	179
4.2.3.4	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>WEATHER</i> και η ομώνυμη Φόρμα	179
4.2.3.5	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>SPACING</i> και η ομώνυμη Φόρμα	179
4.2.3.6	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>SURFACE_JOINTS</i> και η ομώνυμη Φόρμα	180
4.2.3.7	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>FILLING_MATERIAL</i> και η ομώνυμη Φόρμα	180
4.2.3.8	Ο Δευτερεύων Πίνακας <i>JRC</i> και η ομώνυμη Φόρμα	181
4.3	Λειτουργία	182
4.3.1	Δομικά στοιχεία της Λειτουργίας	182
4.3.2	Σχεσιακή Οργάνωση και Γεωτεχνικοί Κωδικοί	184
4.3.2.1	Σχεσιακή Οργάνωση και πλεονεκτήματα	184
4.3.2.2	Γεωτεχνικοί Κωδικοί και πλεονεκτήματα	187
4.3.3	Τύποι Δεδομένων και αποθήκευση Δεδομένων	188
4.3.4	Ανάκτηση Δεδομένων και Μακροεντολές	188
4.3.5	Προκατασκευασμένα Ερωτήματα για το <i>GeoSeism</i>	192
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	433
	Άλλα Ερωτήματα επιλογών και συσχετίσεων	433

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Περιγραφή Λογισμικού *GeoSeism*

5.0	Περιγραφή του Λογισμικού <i>GeoSeism</i>	195
5.0.1	Δομή και Γενικές Αρχές	195
5.0.2	Ο ρόλος της <i>Καλλιπάτειρας</i> στο <i>GeoSeism</i>	196
5.0.3	Χαρτογραφικό περιβάλλον και Διεπαφή Προγραμματισμού και Διασύν-δεσης	198
5.0.4	Λειτουργία του <i>GeoSeism</i> (περιεχόμενος Κώδικας και Διαδικασίες)	203

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1 : Μεθοδολογία Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης - Περιγραφή της *Αρτεμης*

5.1	Κώδικας <i>ARTEMIS</i>	205
5.1.1	Περιγραφή της μεθοδολογίας της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης	205
5.1.2	Βήματα της Μεθόδου	205
5.1.3	Συναρτήσεις Μεγέθυνσης (ή Λόγοι Μεγέθυνσης)	208
5.1.4	Σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων και διαφορά φάσης	209
5.1.5	Καμπύλες μεταβολής απόσβεσης και διάτμησης συναρτήσει της παρα-μόρφωσης	210
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III	443
	Καμπύλες που αναπτύχθηκαν στην τρέχουσα έκδοση του <i>GeoSeism</i>	443

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2 : Σημσιολογικός διερμηνέας - Περιγραφή της *Πυθίας*

5.2	Κώδικας <i>ΠΥΘΙΑ</i>	
5.2.1	Εισαγωγή	213
5.2.2	Οι έννοιες «Δεδομένα», «Πληροφορία» και «Γνώση» στα ΓΣΠ	213
5.2.3	Σημσιολογικές ετερογένειες που καλείται να επιλύσει ο Σημσιολογικός Διερμηνέας κατά την ενοποίηση εδαφικών (εδαφοτεχνικών) δεδομένων	219
5.2.4	Γενική ιδέα του Σημσιολογικού Διερμηνέα και γεωτεχνικός διερμηνέας « <i>Πυθία</i> »	222
5.2.5	Μεθοδολογία	225
5.2.6	Γνωσιακή εξέλιξη των επιπέδων DIKW: Σχηματοποιημένα παραδείγματα γεωτεχνικής ερμηνείας των εδαφικών συνθηκών από την <i>Πυθία</i>	233

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.3 : Έλεγχος κινδύνου ρευστοποίησης εδάφους - Περιγραφή της Πολυνόης

5.3	Κώδικας ΠΟΛΥΝΟΗ	241
5.3.1	Το φαινόμενο της ρευστοποίησης	241
5.3.2	Ο έλεγχος του Δυναμικού Ρευστοποίησης	242
5.3.3	Στάδιο Προκαταρκτικού ελέγχου	243
5.3.4	Στάδιο Ποσοτικού ελέγχου	245
5.3.4.1	Βήμα 1: Επιβαλλόμενη σεισμική διατμητική τάση CSR	246
5.3.4.2	Βήμα 2.1: Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάσει μετρήσεων SPT	246
5.3.4.3	Βήμα 2.2: Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάσει μετρήσεων CPT	247
5.3.4.4	Βήμα 2.3: Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάσει μετρήσεων CH/DH	250
5.3.4.5	Βήμα 3: Αναγωγή των CRR στον Σεισμό Σχεδιασμού	250
5.3.4.6	Βήμα 4: Εκτίμηση του Συντελεστή Ασφάλειας έναντι Ρευστοποίησης (FSL)	251
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV	445
	Γραφήματα που χρησιμοποιούνται στον Ποσοτικό έλεγχο ρευστοποίησης	445

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.4 : Ευθής και Αντίστροφος Μετασχηματισμός Fourier - Περιγραφή της Θεμιστόκλειας

5.4	Μεθοδολογία Ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων (Κώδικας ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΙΑ)	
5.4.1	Εφαρμογή στην Ισοδύναμη Γραμμική Μέθοδο	253
5.4.2	Το μαθηματικό μοντέλο της Ανάλυσης συχνοτήτων	253
5.4.2.1	Ο Μετασχηματισμός Fourier ή Φάσμα Συχνοτήτων Fourier	254
5.4.2.2	Ευθής και Αντίστροφος Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier	257
5.4.3	Η μεθοδολογία DFT - IDFT του <i>GeoSeism</i>	260
5.4.4	Σφάλματα επικάλυψης και πώς τα αντιμετωπίζει το <i>GeoSeism</i>	262
5.4.5	Επιβεβαίωση της μεθοδολογίας Θεμιστόκλειας του <i>GeoSeism</i>	263

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.5 : Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης - Περιγραφή της Πενθεσίλειας

5.5	Μεθοδολογία υπολογισμού των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (Κώδικας ΠΕΝΘΕΣΙΛΕΙΑ)	271
5.5.1	Ορισμός και είδη Ελαστικών Φασμάτων (σεισμικής) Απόκρισης	271
5.5.2	Η σημασία των ελαστικών φασμάτων για τον αντισεισμικό κανονισμό, και οι εδαφικοί παράγοντες που επιδρούν στη μορφή τους.	275
5.5.3	Περιγραφή του μηχανισμού απόκρισης μιας υπέργειας κατασκευής	276
5.5.4	Μαθηματική περιγραφή του μηχανισμού της απόκρισης.	277
5.5.5	Η μεθοδολογία του <i>GeoSeism</i> (υπο-πρόγραμμα Πενθεσίλεια).	280
5.5.6	Έλεγχοι της μεθοδολογίας Πενθεσίλεια του <i>GeoSeism</i> .	284

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Επιβεβαίωση της αριθμητικής μεθοδολογίας

6.0	Επιβεβαίωση του προγράμματος <i>GeoSeism</i> με βάση τα προγράμματα SHAKE, EERA, και FLAC για πολυστρωματικό εδαφικό σχηματισμό.	287
-----	--	-----

6.1	Εφαρμογή 1 (έλεγχος αποτελεσμάτων)	292
6.2	Εφαρμογή 2 (έλεγχος αποτελεσμάτων)	300
6.3	Εφαρμογή 3 (έλεγχος αποτελεσμάτων)	305
6.4	Εφαρμογή 4 (έλεγχος αποτελεσμάτων)	313

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη

7.0	Εφαρμογή της Βάσης Δεδομένων <i>HelGeoRDaS_uTH</i> και του λογισμικού <i>GeoSeism</i> .	327
7.1	Πλήρωση περιεχομένου πολυθεματικών εδαφικών δεδομένων στη Βάση <i>HelGeoRDaS_uTH</i> .	328
7.1.1	Η Βάση <i>HelGeoRDaS_uTH</i> ως Τράπεζα πρωτογενούς πληροφορίας	330
7.1.2	Η δημιουργία της <i>HelGeoRDaS_uTH</i> : πηγές δεδομένων, ψηφιοποίηση, αξιολόγηση των καταχωρούμενων πολυθεματικών δεδομένων	335
7.1.2.1	Κριτήρια αξιολόγησης, συστηματικά προβλήματα, τρόποι αντιμετώπισης	338
7.1.2.2	Διασύνδεση των περιγραφικών χωρικών δεδομένων μεταξύ τους	342
7.1.2.3	Σύνδεση των χωρικών δεδομένων με τη γεωγραφική πληροφορία	349
7.2	Πιλοτική εφαρμογή του προγράμματος	355
7.2.1	Σχεδιασμός εδαφικών τομών με εφαρμογή της <i>Πυθίας</i>	358
7.2.2	Γεωτεχνική ερμηνεία των εδαφικών υλικών με χρήση του <i>ΣΔ Πυθία</i>	362
7.2.3	Γεωτεχνική πληροφορία - Τεχνικογεωλογική περιγραφή	367
7.2.4	Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως εισαγόμενη διέγερση	375
7.2.5	Σεισμική εδαφική Απόκριση	378
7.2.6	Έλεγχος Κινδύνου Ρευστοποίησης	391
7.2.7	Χωρική ανάλυση με ΓΣΠ	395

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Σύνοψη - Συμβολή - Προτάσεις

8.1	Σύνοψη της ερευνητικής εργασίας	403
8.2	Αναμενόμενη χρησιμότητα και συμβολή στην επιστήμη	408
8.3	Συμβολή της διατριβής με καινοτόμα στοιχεία	409
8.3.1	Πρότυπο Διαλειτουργικό λογισμικό ΓΣΠ (<i>GeoSeism</i>)	409
8.3.2	Σημασιολογικοί Διερμηνείς και <i>Πυθία</i>	411
8.3.3	Άλλα ερευνητικά συμπεράσματα, προτάσεις, προοπτικές	412

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1	Τα βασικά στάδια μιας μικροζωνικής μελέτης
Πίνακας 2.1.2	Κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EC8, § 3.1.2, Πιν. 3.1).
Πίνακας 2.3.1	Ενδεικτική σύγκριση μεταξύ διανυσματικών και ψηφιδωτών αρχείων.
Πίνακας 2.4.4	Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση υλικών που ταλαντώνονται στην ελαστική περιοχή.
Πίνακας 3.2.2	Εκφράσεις του μέτρου διάτμησης G^* και των όρων του.
Πίνακας 5.1.2	Ροϊκό διάγραμμα της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης του <i>GeoSeism</i> (<i>Άρτεμις</i>).
Πίνακας 5.1.5 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ)	Μέσες, κατώτερες και ανώτερες τιμές μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης G^* και της κρίσιμης απόσβεσης ξ , συναρτήσεως της διατμητικής παραμόρφωσης για γνωστούς τύπους εδάφους.
Πίνακας 5.2.2	Συγκριτικός χάρτης των εννοιών DIKW (Πυραμίδα της Γνώσης).
Πίνακας 5.2.5.1	Οι εμπειρικές σχέσεις που δομήθηκαν στον κώδικα για την εκτίμηση των τιμών V_s με βάση τις μετρήσεις CPT.
Πίνακας 5.2.5.2	Οι εμπειρικές σχέσεις που δομήθηκαν στον κώδικα για την εκτίμηση των τιμών V_s με βάση τις μετρήσεις SPT (όταν $NSPT1 < 50$).
Πίνακας 5.4.2.2	Μερικά γνωστά ζεύγη Διακριτού Μετασχηματισμού Fourier.
Πίνακας 5.5.1.1	Τιμές ποσοστού απόσβεσης των κατασκευών, όπως ισχύουν σήμερα στον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό (χωρίς τροποποίηση από τον ΕΑΚ 2000).
Πίνακας 5.5.1.2	Σχέση μεταξύ των φασμάτων απόκρισης (Chopra,1995). (*): Στις παρακάτω σχέσεις οι ισότητες (=) ισχύουν για $\zeta = 0$, ενώ οι τελεστές (\approx) ισχύουν μόνον για $0 < \zeta < 0.2$.
Πίνακας 6.0.1	Πίνακας ιδιοτήτων του εδαφικού σχηματισμού Α.
Πίνακας 6.0.2	Πίνακας ιδιοτήτων του εδαφικού σχηματισμού Β.
Πίνακας 6.3.1	Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης
Πίνακας 6.4.1	Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης.
Πίνακας 6.4.2	Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης στα σημεία C, D και στο μέσον των στρώσεων 4, 5, 6 και 7.
Πίνακας 7.1.1.1	Περιοχές στις οποίες αναφέρονται τα πρωτογενή δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της <i>HelGeoRDaS_uTH</i> στην πόλη του Βόλου.
Πίνακας 7.1.1.2	Το είδος των γεωερευνών από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της <i>HelGeoRDaS_uTH</i> .
Πίνακας 7.1.1.3	Το βάθος και ο σκοπός για τον οποίο διενεργήθηκαν οι γεωερευνες από όπου συλλέχθηκαν τα δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της <i>HelGeoRDaS_uTH</i> .
Πίνακας 7.1.2	Οι πηγές των (μη απορριφθέντων) δεδομένων της Βάσης.
Πίνακας 6.2.1	Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης
Πίνακας 7.2.1	Πίνακας ιδιοτήτων της εδαφικής τομής (*).
Πίνακας 7.2.2	Πίνακας επιλογής κατάλληλων καμπυλών απομείωσης ($G/G_{max} - \xi\% - \gamma\%$) για κάθε υποστρώση του εδαφικού σχηματισμού.
Πίνακας 7.2.6.1	Αποτελέσματα του Προκαταρκτικού ελέγχου (<i>GeoSeism</i> , κριτήρια Σχ. 5.3.3) για την εξεταζόμενη εδαφική τομή του Σχήματος 7.2.1.2.
Πίνακας 7.2.6.2	Ενδιάμεσα αποτελέσματα του ελέγχου ρευστοποίησης, στα οποία βοηθά και η μεθοδολογία του σημασιολογικού διερμηνέα (Κεφ. 5.2, <i>Πυθία</i>).

- Πίνακας 7.2.6.3** Αποτελέσματα του Ποσοτικού ελέγχου ρευστοποίησης (*GeoSeism*, Ενот. 5.3.4) για την εξεταζόμενη εδαφική τομή του Σχήματος 7.2.1.2.
- Πίνακας 7.2.7** Σύνολα θεματικών επιπέδων σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες που χαρτογραφήθηκαν στην έρευνα.

Λίστα Σχημάτων

- 1.1** Κύρια στάδια μικροζωνικών μελετών και απεικόνιση της σεισμικής επικινδυνότητας σε επίπεδο πολεοδομικού συγκροτήματος.
- 1.2** Πλήρης μεθοδολογία *GeoSeism* για την ανάλυση της εδαφικής απόκρισης (σημ. οι λευκής φόρμας δομικές μονάδες δεν είναι πλήρως ολοκληρωμένες στην παρούσα έκδοση).
- 2.1.2** Εδαφικές Συνθήκες, Σεισμικά Υπόβαθρα, και Γεωλογικό Υπόβαθρο.
- 2.1.3** (α) Δορυφορική εικόνα όπου διακρίνεται η έκταση του πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου (~ 6 km x 5.5 km). (β) Χάρτης $V_{s,30}$ για αντίστοιχη έκταση στην πόλη του Βόλου (πηγή: USGS).
- 2.2.4** Επίπεδα διαλειτουργικότητας μεταξύ δύο ΣΓΠ (Προσαρμοσμένο από τον Bishr, 1998).
- 2.2.5** Στοιχεία και Πρότυπα Σηματολογικής Διαλειτουργικότητας [Λαμπαθάκη, 2012].
- 2.3.1.1** (Πάνω:) Δυνατές πηγές συλλογής χωρικών εδαφικών δεδομένων (geospatial data). (Κάτω:) Βασικές λειτουργίες και παραγωγικές διαδικασίες των διαλειτουργικών ΓΣΠ με έμφαση στις εδαφικές συνθήκες που ενδιαφέρουν τη Γεωτεχνική Μηχανική.
- 2.3.1.2** Χρήση πολλών (εδώ πέντε) θεματικών επιπέδων για την απεικόνιση γεωγραφικής περιοχής.
- 2.3.1.3** Τα γεωμετρικά αρχέτυπα που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση διανυσματικών και ψηφιδωτών δομών δεδομένων.
- 2.3.1.4** Παράδειγμα τοπολογικής δομής. Απαριθμούνται βασικές τοπολογικές σχέσεις μεταξύ δύο πολυγωνικών γεωγραφικών αντικειμένων.
- 2.3.1.5** Μέθοδοι χωρικής ανάλυσης με βάση μαθηματικές αναλυτικές μεθόδους για την κατασκευή επιφανειών (καθιερωμένοι τεχνικοί όροι στα λογισμικά χαρτογραφίας όπως είναι το *ArcGIS*).
- 2.3.1.6** Απεικόνιση των Δεδομένων σε διανυσματικές δομές, κατά την εφαρμογή της έρευνας (*GeoSeism*) σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης της πόλης του Βόλου.
- 2.3.1.7** Απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε κανονικοποιημένες δομές, κατά την εφαρμογή της έρευνας (*GeoSeism*) σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης της πόλης του Βόλου.
- 2.3.2.1** Χάρτης επικινδυνότητας σε όρους PGA για τη MM μιας περιοχής στα Ιμαλάια. Σημειώνονται οι διακριτές θέσεις ενδιαφέροντος, ενώ τα βέλη παραπέμπουν στην αντίστοιχη φασματική επιτάχυνση. [Πηγή: Pal et al., 2008]
- 2.3.2.2** (α) Χάρτης εδαφικού χαρακτηρισμού (site characterization), (β) χάρτης χωρικής μεταβολής του πάχους των εδαφικών αποθέσεων (*overburden thickness*), και (γ) χάρτης μεταβολής του συντελεστή μεγέθυνσης (*amplification factor*), σε MM περιοχής των Ιμαλαίων. [Πηγή: Pal et al., (2008)]
- 2.3.2.3** Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο εδάφους (3D DGM) όπως εκτιμάται από το λογισμικό *GTIS*, για τη MM μιας περιοχής στην Κορέα. [Πηγή : Sun Chang-Guk et al. (2008)]:
- (α) Χωρική κατανομή της V_s . Η απεικόνιση βοηθά στο να εξαχθούν τα πάχη

και βάθη των εδαφικών ενοτήτων και το βάθος του βραχώδους υποβάθρου.

(β) Χωρική κατανομή του λόγου εδαφικής ενίσχυσης (Amplification ratio) και της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για δυο περιπτώσεις ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης: σε επίπεδο κατάρρευσης (Collapse Level of Earthquake - CLE), και σε επίπεδο λειτουργίας (Operation Level of Earthquake - OLE).

- 2.3.2.4** Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας με βάση τον ντετερμινιστικό δείκτη DHI και την Ιεραρχική Αναλυτική Μέθοδο, για τη MM πόλης των Ινδιών. Ιεραρχείται η συνεπιρροή 6 θεματικών επιπέδων, εκτιμώντας το κανονικοποιημένο βάρος κάθε ζεύγους επιπέδων. [Πηγή: Anbazhagan et al. (2010)]
- 2.4.1** Συμπεριφορά του εδάφους και μεταβολή των εδαφικών ιδιοτήτων αναλόγως του επιπέδου παραμόρφωσης (Ishihara, 1996).
- 2.4.2.1** Τροποποίηση της εδαφικής ταλάντωσης σε διάφορες θέσεις του υπερκείμενου ιζηματογενούς σχηματισμού.
- 2.4.3** Συμπεριφορά του εδάφους υπό διαφορετικών επιπέδων ανακυκλική διατμητική παραμόρφωση: (α) γραμμική, (β) υστερητική (με βάση τις πειραματικές δοκιμές), (γ) ελαστοπλαστική (βλ. Ενот. 2.4.8, και Ενот. 3.1 - Σχ. 3.1.1).
- 2.4.8** Εύρος αξιόπιστης εφαρμογής της καθεμιάς κατηγορίας μοντέλων που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εδαφική συμπεριφορά ανάλογα με το πλάτος της διατμητικής παραμόρφωσης (Ishihara, 1996).
- 2.4.9** Εδαφική συμπεριφορά και κατώφλια παραμόρφωσης για κορεσμένα αργιλικά εδάφη [Πηγή: Díaz-Rodríguez and López-Molina, 2008].
- 2.4.9.1** Αριστερά: Διακύμανση της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης σε θέσεις με εδάφη μαλακά και σε θέσεις πάνω σε βράχους. Δεξιά: μέση κανονικοποιημένη φασματική επιτάχυνση από καταγραφές του σεισμού Loma Prieta (1989). [Πηγή: Idriss (1991)].
- 2.4.9.2** Σύγκριση αποτελεσμάτων σχετικά με τη διατμητική παραμόρφωση με το βάθος μεταξύ διαφορετικών λογισμικών [Πηγή: Lasley et al., 2014].
- 2.4.9.3** Η μέθοδος CELA (cycle-wise equivalent linear method), σε σχέση με την ELA (equivalent-linear analysis) και την NLA (non-linear analysis). [Πηγή: Shiomi et al., 2000]
- 2.4.9.4** Σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων με διάφορα λογισμικά. [Πηγή: Kwak et al., 2008].
- 3.1.1** Συμπεριφορά του εδάφους κάτω από ανακυκλική διατμητική παραμόρφωση διαφορετικού επιπέδου: (α) γραμμική ελαστική, (β) ιξωδοελαστική, (γ) υστερητική (με βάση τις πειραματικές δοκιμές) (βλ. Ενот. 2.4.8, Σχ. 2.4.3).
- 3.1.2** Αριθμητική ανάλυση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης, με χρήση των Συναρτήσεων Μεταφοράς: Αποσυνέλιξη της επιβαλλόμενης σεισμικής κίνησης από την έξαρση του αναδυόμενου βράχου στο θαμμένο υπόβαθρο (αριστερά). Υπολογισμός των χρονοϊστοριών δυναμικής απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους και σε διάφορα βάθη (δεξιά).
- 3.2.1** Σχηματική αναπαράσταση του ιξωδοελαστικού μοντέλου τάσεων - παραμορφώσεων Kelvin-Voigt, το οποίο συντίθενται από ένα διατμητικό ελατήριο G κι έναν ιξώδη αποσβεστήρα τοποθετημένους εν παραλλήλω.
- 3.2.3** Βρόχος υστέρησης σε υστερητικό μοντέλο: Τέμνον μέτρο διάτμησης και υστερητική απόσβεση σε έναν πλήρη κύκλο φόρτισης. Μεταβολή των δυναμικών ιδιοτήτων συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης.
- 3.2.4** Κανονικοποιημένη μεταβολή του μιγαδικού μέτρου διάτμησης (αριστερά) και της αποσβενόμενης ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης (δεξιά) συναρτήσει του λόγου κρίσιμης απόσβεσης για τα δυο μοντέλα του G* που προτείνονται στο SHAKE.

- 3.5.1 Μονοδιάστατο (1D) εδαφικό προφίλ πολυστρωματικού εδαφικού σχηματισμού πάνω σε βράχο.
- 3.6 Ορολογία που χρησιμοποιεί η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση.
- 4.1 Η Σχισιακή Γεωτεχνική - Πολυθεματική Βάση Δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH*, μέσα στη λειτουργική δομή του ΓΣΠ *GeoSeism*.
- 4.α Αποψη της εισαγωγικής φόρμας GENERAL της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.β Αποψη της φόρμας DYNAMIC της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.γ Αποψη της φόρμας NETWORK_ELEMENTS_general της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.δ Αποψη της φόρμας CONFIGURATION της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.2.2.1 Αποψη της Φόρμας του Πίνακα INVESTIGATED_LOCATIONS της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.2.2.2 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του Πίνακα REAL_ID της Βάσης.
- 4.2.2.3 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του WATER_TABLE της *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.2.2.4 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του LITHOLOGY της *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.2.2.5 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του LAB_TESTS της *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.2.2.6 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του INSITU_SPT_TESTS της Βάσης.
- 4.2.2.7 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του INSITU_CPT_TESTS.
- 4.2.2.8 Αποψη της φόρμας του INSITU_GEOPHYSIC_TESTS.
- 4.2.2.9 Σχέση μεταξύ συντελεστή Jr του συστήματος ταξινόμησης «Q» με το συντελεστή τραχύτητας ασυνέχειας JRC για δείγματα 200 mm και 1000 mm.
- 4.2.2.9 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του ROCKMASS_CLASSIFICATION.
- 4.2.2.10 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του NETWORK_ELEMENTS.
- 4.2.2.11 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του PIPELINE_FAILURES.
- 4.2.3.α Γενική άποψη των Κύριων και Δευτερευόντων Πινάκων που εμπεριέχονται στον κατάλογο TABLES της Βάσης.
- 4.2.3.β Αποψη του έμμεσου τρόπου πρόσβασης στους Δευτερεύοντες Πίνακες μέσα από Πεδία της Φόρμας LITHOLOGY.
- 4.2.3.1 Ο Πίνακας-λεξικό SOIL.
- 4.2.3.2 Ο Πίνακας-λεξικό ROCK.
- 4.2.3.3 Ο Πίνακας-λεξικό COLOUR
- 4.2.3.4 Ο Πίνακας-λεξικό WEATHER.
- 4.2.3.5 Ο Πίνακας-λεξικό SPACING.
- 4.2.3.6 Ο Πίνακας-λεξικό SURFACE_JOINTS.
- 4.2.3.7 Ο Πίνακας-λεξικό FILLING_MATERIAL.
- 4.2.3.8 Ο Πίνακας-λεξικό JRC.
- 4.3.2 Αποψη του Κώδικα VB που προγραμματίζει ένα κουμπί εντολής, στη Βάση (περιβάλλον MS Access).
- 4.3.2.1 Τύποι συνδέσμων στα Σχισιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων.
- 4.3.2.2 Αποψη της Σχισιακής σχέσης των Κύριων Πινάκων της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 4.3.4 Αποψη μερικών ήδη δομημένων ερωτημάτων της Βάσης (περιβάλλον MS Access).
- 4.3.5 (α) Δομημένες Μακροεντολές που διαχειρίζονται Ερωτήματα.
(β) Η Μακροεντολή που ανακτά και διεκπεραιώνει αποτελέσματα για να χρησιμοποιηθούν ως εισαγόμενα αρχεία στο *GeoSeism*.

- 4.3.5.1 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος SPT.
- 4.3.5.2 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος CPT.
- 4.3.5.3 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Vs.
- 4.3.6.1 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Depth of Borings.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.2 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Number of SPT.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.3 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος INSITU_SPT vs SPT.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.4 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος LITHOLOGY vs GEOLOGY.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.5 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος LITHOL vs GEOL and LAB.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.6 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος LITHOLOGY vs COLOUR.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.7 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Casagrande Classification.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.8 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος statistic KRAYSIDONAS.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.9 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή με το βάθος των qc, σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε θέση. (Ερώτημα συσχέτισης πληροφοριών)
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.10 Γράφημα που αποδίδει τις θέσεις δοκιμών σε κάθε ερευνητική θέση, όπου εντοπίστηκαν εδαφικές στρώσεις (λ.χ.) Ιλύος.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.11 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή των NSPT με το βάθος, σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε ερευνητική θέση.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.12 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή με το βάθος των Vs, σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε ερευνητική θέση.
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 4.3.6.13 Ερώτημα που ανακτά τα υψόμετρα για όλες τις θέσεις έρευνας, προκειμένου να σχεδιαστούν στη συνέχεια (σε GIS) οι ισοϋψείς ή και οι τρισδιάστατες μορφές κάθε χαρακτηριστικής επιφάνειας (δηλ. το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους, η επιφάνεια ΥΥΟ, η επιφάνεια βραχώδους υποβάθρου).
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV)
- 5.0.2 Περιβάλλον εργασίας της κεντρικής διαχειριστικής βάσης Καλλιπάτειρα του GeoSeism.
- 5.0.3.1 Η Αρχική Φόρμα της Διεπαφής Διασύνδεσης και Προγραμματισμού του GeoSeism.
- 5.0.3.2 Αναδιπλούμενα Μενού Επιλογών της ΑΡΧΙΚΗΣ Φόρμας.
- 5.0.3.3 Φόρμα επιλογής Δεδομένων-Αποτελεσμάτων, με τη βοήθεια του φυλλομετρητή.
- 5.0.3.4 Ενδεικτική Φόρμα Φασμάτων-Χρονοϊστοριών του GeoSeism.

- 5.0.3.5 Περιβάλλον εργασίας του κώδικα του GeoSeism.
- 5.0.3.6 Κουτιά επιλογής μεθοδολογίας με την οποία το GeoSeism θα υπολογίσει τις ταχύτητες διατμητικών κυμάτων (Vs).
- 5.1.4 Υποδιαίρεση του κύκλου σε ακτίνια και μοίρες, με βάση το οποίο το GeoSeism υπολογίζει τις γωνίες φάσης των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης (Πηγή: Wikipedia).
- 5.1.5 Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης G^* και του λόγου κρίσιμης απόσβεσης $\xi\%$, συναρτήσει της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης για γνωστούς τύπους εδάφους: (α) άμμου, και αργίλων, (β) άμμου, χαλικώδους και (ημι)βραχώδους εδάφους.
- 5.2.2 Πυραμίδα της γνώσης ή ιεραρχικά επίπεδα γνώσης (knowledge pyramid ή hierarchy): Δύο από τις πολλές εκδοχές που προτάθηκαν από ερευνητές της Πληροφορικής.
- 5.2.4.1 Πρόταση της Διατριβής: Προβολή επιλεγμένων εδαφικών τομών στον Ιστό με τη συμβολή του Σημσιολογικού Διερμηνέα.
- 5.2.4.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία πάνω στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί ο σημσιολογικός διερμηνέας. Συμβάλλει στη διάχυση αυτοματοποιημένης και λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες μέσα από τα ΓΣΠ.
- 5.2.5.1 Εδαφικός χαρακτηρισμός με βάση τα κριτήρια του συστήματος κατάταξης εδαφών USCS «Unified Soil Classification System» (*GeoSeism*, αλγόριθμος υποπρογράμματος *Πυθία*).
- 5.2.5.2 Εναλλακτικός εδαφικός χαρακτηρισμός με βάση τη λιθολογία (Λιθολογικούς Κωδικούς), όταν απουσιάζουν τα κατάλληλα εργαστηριακά δεδομένα, και με στόχο την επιλογή καμπύλης « $G/G_{max}-\xi\%-\gamma\%$ » του Σχήματος 5.1.5.
- 5.2.5.3 Σχεδιασμός εδαφικών προφίλ για τρεις τύπους επιτόπου δοκιμών:
(α) Crosshole/Downhole, (β) SPT, και (γ) CPT.
- 5.2.6.1 Τα Δεδομένα για τον σημσιολογικό διερμηνέα (Πυθία) είναι γνωρίσματα του πραγματικού κόσμου τα οποία καταγράφηκαν ρητά.
- 5.2.6.2 Η Βάση του ΓΣΠ είναι μια οργανωμένη συλλογή ρητών Δεδομένων, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει και μια Πληροφορία «πρώτου επιπέδου στην ιεραρχία DIKW.
- 5.2.6.3 Διαδοχικά επίπεδα διαμόρφωσης Πληροφοριών από τον σημσιολογικό διερμηνέα. Στόχος εδώ είναι οι λεπτομερείς εδαφικές τομές (στην κορυφή): από τα απλά οργανωμένα πολυθεματικά δεδομένα (κάτω), μέσω κριτικής σκέψης (ερμηνείες σύνθεσης και προσέγγισης) Δεδομένων και Πληροφοριών (τρεις ενδιάμεσες διαβαθμίσεις).
- 5.2.6.4 Διαδοχικά επίπεδα διαμόρφωσης Πληροφοριών: «Πληροφορία» με βάση την κατανόηση των σχέσεων των δεδομένων, «Γνώση», με βάση την κατανόηση των προτύπων, και «Σοφία» με βάση την κατανόηση των αρχών (Bellinger et al., 2004).
- 5.2.6.5 Σχηματοποιημένο παράδειγμα δομισμού της Γνώσης των εδαφικών συνθηκών μέσα από τη σημσιολογική εξέλιξη της Πληροφορίας στην οποία συμβάλλει ο Σημσιολογικός Διερμηνέας στα ΓΣΠ.
- 5.3.3 Ροϊκό διάγραμμα της προκαταρκτικής εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης, από το *GeoSeism*.
- 5.3.2 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Καμπύλες CN για διάφορες άμμους, βασισμένες σε επιτόπου και εργαστηριακά δεδομένα καθώς και τις σχέσεις (1), (2) (διαμορφώθηκε από τον Castro, 1995).
- 5.3.3 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Συντελεστής διόρθωσης ενέργειας κρούσης (διαμορφώθηκε από τον Skempton 1986, μνημονεύθηκε από Robertson and Wride, 1998).

- 5.3.4 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Έρμηση εκτίμηση τύπου εδάφους σύμφωνα με τις μετρήσεις της δοκιμής CPT (Robertson, 1990).
- 5.3.5 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Συντελεστής K_c διόρθωσης κοκκομετρικών χαρακτηριστικών (grain characteristic correction Factor) για καθαρή άμμο ισοδύναμη με την αντίσταση CPT (επαναπαρήχθη από Robertson and Wride, 1998).
- 5.3.6 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Διάγραμμα εμπειρικού προσδιορισμού των CSR ή CRR με βάση τα δεδομένα SPT (καμπύλη της καθαρής άμμου), για Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$ και δεδομένα από περιπτώσεις ρευστοποίησης που διαμορφώθηκαν από τους (modified from) Seed et al (1985).
- 5.3.7 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV) Διάγραμμα εμπειρικού προσδιορισμού των CSR ή CRR με βάση τα δεδομένα CPT, για Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$ και δεδομένα από περιπτώσεις ρευστοποίησης (επαναπαρουσιάστηκε από τους Robertson and Wride, 1998).
- 5.3.8 Διάγραμμα εμπειρικού προσδιορισμού των CSR ή CRR με βάση τα δεδομένα V_s (από δοκιμές CH-DH), για Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$ και δεδομένα από περιπτώσεις ρευστοποίησης (επαναπαρουσιάστηκε από τους Andrus and Stokoe, 2000).
- 5.4.3 Περιοδική επέκταση μιας χρονοϊστορίας $p(t)$ [Πηγή: Chopra, 1995].
- 5.4.4.1 Μονοχρωματικές αρμονικές διεγέρσεις που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σφάλμα επικάλυψης μέσα στο ίδιο κύμα.
- 5.4.5.1 Μετασχηματισμός Fourier στο *GeoSeism*, όπου η εισαγόμενη επιτάχυνση (Σχ. 6.0.3) αναλύεται στο φάσμα των συχνοτήτων, με μιγαδικές συνιστώσες.
- 5.4.5.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του *EERA* και του *GeoSeism* για το μέτρο του πλάτους Fourier (το *EERA* δεν δίνει μιγαδικές συνιστώσες, μόνον μέτρο).
- 5.4.5.3 Κατανομή των γωνιών Φάσης της εισαγόμενης επιτάχυνσης (Σχ. 6.0.3) στο φάσμα των συχνοτήτων.
- 5.4.5.4 Φάσμα συχνοτήτων των αναδρομικών όρων A , B , για τα ανερχόμενα και κατερχόμενα κύματα αντίστοιχα, στην οροφή της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.5 Φάσμα συχνοτήτων της μετατόπισης στην επιφάνεια του εδάφους.
- 5.4.5.6 Φάσμα συχνοτήτων της μετατόπισης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.7 Φάσμα συχνοτήτων της διατμητικής τάσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.8 Φάσμα συχνοτήτων της διατμητικής παραμόρφωσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.9 Φάσμα συχνοτήτων της ταχύτητας στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.10 Φάσμα συχνοτήτων της επιτάχυνσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.4.5.11 Φάσεις των παραμέτρων δυναμικής απόκρισης της πρώτης επιφανειακής στρώσης.
- 5.5.1 Αρχή κατασκευής ενός φάσματος απόκρισης για δεδομένη σεισμική εδαφική κίνηση στη βάση των διαδοχικών μονοβάθμιων ταλαντωτών.
- 5.5.3 Παραμόρφωση κατασκευής (μονοβάθμιου ταλαντωτή) κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης: (α) πραγματική κατάσταση, (β) ισοδύναμη κατάσταση.
- 5.5.4.1 Δυναμική απόκριση μονοβάθμιου ταλαντωτή ιξώδους απόσβεσης, από διεγείρουσα αρμονική δύναμη. Διακρίνονται τα στάδια της μεταβατικής και της σταθερής κατάστασης.

- 5.5.4.2 Γραφικός προσδιορισμός των δυναμικών μεγεθών της απόλυτης δυναμικής απόκρισης ταλαντωτή υστερητικής απόσβεσης. Διακρίνονται τα στάδια της μεταβατικής, της σταθερής, και της τελικής ελεύθερης ταλάντωσης.
- 5.5.5 Εξιδανικευμένη μορφή διαδοχικών τιμών της εισαγόμενης χρονοϊστορίας επιτάχυνσης σε γράφημα.
- 5.5.6.1 Απόλυτη φασματική επιτάχυνση στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.
- 5.5.6.2 Σχετική φασματική ταχύτητα και ψευδοταχύτητα στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.
- 5.5.6.3 Σχετική φασματική μετατόπιση στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.
- 5.5.6.4 Απόλυτη φασματική επιτάχυνση και ψευδοεπιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους.
- 5.5.6.5 Σχετική φασματική ταχύτητα και ψευδοταχύτητα στην επιφάνεια του εδάφους.
- 5.5.6.6 Σχετική φασματική μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους.
- 6.0.1 Εδαφική τομή με τη γεωμετρία του εδαφικού σχηματισμού A.
- 6.0.2 Εδαφική τομή με τη γεωμετρία του εδαφικού σχηματισμού B (FLAC benchmark problem).
- 6.0.3 Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως διέγερση.
- 6.1.1.α Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.
- 6.1.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.
- 6.1.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.
- 6.1.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.
- 6.1.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για (α) την απόλυτη μετατόπιση, και (β) τη σχετική μετατόπιση.
- 6.1.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση.
- 6.1.6 Χρονοϊστορίες (α) απόλυτης επιτάχυνσης και (β) σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια εδάφους).
- 6.1.7 Χρονοϊστορίες (α) διατμητικής παραμόρφωσης και (β) διατμητικής τάσης στο ύψος M (το μέσο της μεσαίας στρώσης).
- 6.2.1 Κατανομή καθ' ύψος των G/Go και ξ .
- 6.2.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.
- 6.2.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.
- 6.2.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για (α) την απόλυτη επιτάχυνση, και (β) τη σχετική επιτάχυνση.
- 6.3.1.α Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_2 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στο αναδύμενο υπόβαθρο της εδαφικής τομής, σε μια μόνον δοκιμή.
- 6.3.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_2 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στο αναδύμενο υπόβαθρο της εδαφικής τομής, σε μια μόνον δοκιμή.
- 6.3.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.
- 6.3.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.
- 6.3.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση.

- 6.3.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη σχετική μετατόπιση (απόλυτη μετατόπιση δεν προσφέρει το EERA).
- 6.3.6 Χρονοϊστορίες (α) της απόλυτης επιτάχυνσης και (β) της σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια εδάφους).
- 6.3.7 Χρονοϊστορίες (α) της διατμητικής παραμόρφωσης και (β) της διατμητικής τάσης στο ύψος M2 (το μέσο της μεσαίας στρώσης, Σχ. 6.0.1).
- 6.4.1.α Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς $\dot{A}F_1$ στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.
- 6.4.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.
- 6.4.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*.
- 6.4.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*.
- 6.4.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*, *FLAC*.
- 6.4.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές της (α) απόλυτης και (β) της σχετικής μετατόπισης (απόλυτη μετατόπιση δεν παρέχει το *EERA*) των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*, *FLAC*.
- 6.4.6 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη σχετική ταχύτητα (απόλυτη ταχύτητα δεν παρέχει το *EERA*) των προγραμμάτων *GeoSeism* και *EERA*.
- 6.4.7 Χρονοϊστορίες απόλυτης επιτάχυνσης και σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια, Σχ. 6.02) των *GeoSeism*, *SHAKE*, *EERA* και *FLAC*.
- 6.4.8 Χρονοϊστορίες απόλυτης επιτάχυνσης στο ύψος B (βράχος, Σχ. 6.0.2) και σχετικής ταχύτητας στο ύψος A (επιφάνεια, Σχ. 6.0.2) των *GeoSeism* και *EERA*.
- 6.4.9 Χρονοϊστορία διατμητικής παραμόρφωσης στο μέσον της στρώσης 5 (0.762 m κάτω από το σημείο C, Σχ. 6.02).
- 6.4.10 Χρονοϊστορία διατμητικής τάσης στο μέσον της στρώσης 5 (0.762 m κάτω από το σημείο C, Σχ. 6.02).
- 6.4.11 Χρονοϊστορία διατμητικής παραμόρφωσης στο μέσο της στρώσης 7 (0.762 m κάτω από το σημείο ύψος D, Σχ. 6.02), με τα αποτελέσματα μεταξύ των προγραμμάτων *GeoSeism*, *SHAKE*, *FLAC* και *EERA*.
- 6.4.12 Χρονοϊστορίες διατμητικής τάσης στο μέσον της στρώσης 7 (0.762 m κάτω από το σημείο D, Σχ. 6.02). Τα αποτελέσματα μεταξύ των προγραμμάτων *GeoSeism*, *SHAKE*, *FLAC* και *EERA*.
- 7.1 Χωρική κατανομή των Θέσεων Έρευνας της Βάσης, πάνω σε χάρτη πολυθεματικών επιπέδων. Συνοδεύει υπόμνημα με το είδος των Θέσεων Έρευνας (κάτω δεξιά), και δορυφορική άποψη της πόλης (πάνω δεξιά).
- 7.1.1.1 Πολυθεματικά εδαφικά δεδομένα γεωτεχνικού ενδιαφέροντος και κανόνες καταχώρησής τους στη βάση *HelGeoRDaS_uTH*.
- 7.1.1.2 Τα πολυθεματικά δεδομένα καθεμιάς Θέσης Έρευνας (X, Y) παρέχουν περιεκτική κατά βάθος (Z) εικόνα για τις εδαφικές συνθήκες. Αποθηκεύονται αρχικά στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH* από όπου τα χρησιμοποιεί στη συνέχεια το *GeoSeism-Καλλιπάτειρα* και κάθε ανάλογο ΓΣΠ.
- 7.1.1.3 Βάθη γεωερευνών σε σχέση με τη θέση του οιονεί-βραχώδους υποβάθρου.
- 7.1.1.4 Σύνολο εγγραφών (γραμμών) της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH* ανά είδος έρευνας από όπου προέρχονται τα πρωτογενή δεδομένα (δηλαδή, πολυθεματικά δεδομένα από μετρήσεις: CH/DH, SPT, CPT, λιθολογικές, εργαστηριακές, υδρολογικές).

- 7.1.1.5 Ποιοτικά στοιχεία των Θέσεων Έρευνας (εδαφικών στηλών), ανάλογα της πληρότητας των Δεδομένων, καθώς και ανάλογα του βάθους και της περιοχής όπου έγινε η μέτρηση καθεμιάς.
- 7.1.1.6 Ποιοτικά στοιχεία των Δεδομένων ανά Θέση Έρευνας, ανάλογα του ΠΣ όπου αναφέρονται, της αναλογικής είτε ψηφιακής μορφής με την οποία χορηγήθηκαν και τις πηγές από όπου συλλέχθηκαν.
- 7.1.2 (α) Διανυσματικός χάρτης ισοϋψών (κυανές και μπλε γραμμές) της επιφάνειας του εδάφους. (β) Απόσπασμα αναλογικού χάρτη σε σύστημα HATT (πηγή ΓΥΣ) που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση και παραγωγή του διανυσματικού χάρτη.
- 7.1.2.2.1 Ενδεικτικό τμήμα Πίνακα της *HelGeoRDaS_uTH* όπου διακρίνονται γεωγραφικές συντεταγμένες, γεωτεχνικοί κωδικοί και βάθη των γεωτεχνικών ερευνών (ο Πίνακας της μορφής αυτής προκύπτει ως απάντηση στο Ερώτημα «SPT»).
- 7.1.2.2.2 Τμήματα δυο Πινάκων της *HelGeoRDaS_uTH* στα οποία έχουν ανοίξει πτυσσόμενα παράθυρα με τα κριτήρια του εργαλείου «Φίλτρα» που διαθέτει το περιβάλλον της Access. (α) Πίνακας Εργαστηριακών δοκιμών (Laboratory tests), (β) Πίνακας Τεχνικο-γεωλογικών δεδομένων (Lithology data).
- 7.1.2.2.3 Ενδεικτική σύνταξη Μακροεντολής στο περιβάλλον Access (α) της *Καλλιπάτειρας*, και (β) της *HelGeoRDaS_uTH*.
- 7.1.2.2.4 Ο προγραμματισμός του *GeoSeism* γίνεται με SQL ώστε να επιτρέπει τη διαχείριση εξωτερικών μονάδων και συστημάτων, όπως είναι η Βάση Καλλιπάτειρα και *HelGeoRDaS_uTH*, αντίστοιχα.
- 7.1.2.2.5 Σύνδεση και Συσχέτιση δεδομένων μέσα στον Πίνακα Ιδιοτήτων που ενσωματώνεται στα λογισμικά χαρτογράφησης (εδώ *ArcGIS*).
- 7.1.2.3.1 Παράμετροι Προσεγγιστικών σχέσεων απευθείας μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων (Συγγρός, 2002).
- 7.1.2.3.2 Εργασία μετασχηματισμού συντεταγμένων από το Προβολικό σύστημα της «Κεντρικής Ζώνης 3^ο (ΥΠΕΧΩΔΕ) ΤΜ3» στο Προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ'87, με τον αλγόριθμο *COORD_GR* (ΣΥΓΓΡΟΣ, 1998-2002), στο πλαίσιο πλήρωσης με περιεχόμενο της βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.
- 7.1.2.3.3 Χαρτογραφική προβολή όλων των Θέσεων Έρευνας (διάκριση χρώματος κουκκίδων ανά είδος), όπως περιλήφθηκαν τελικά στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*.
- 7.2.1 Αριστερά: Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου (και Νέας Ιωνίας). Δεξιά: Πιλοτική εφαρμογή σε τμήμα της παραλιακής ζώνης του Βόλου (750 m x 500 m), με παρόμοιες εδαφικές συνθήκες (γεωμετρία και ιδιότητες εδαφικών στρώσεων, βάθος υποβάθρου, βάθος υπόγειας στάθμης ύδατος, επιφανειακή τοπογραφία).
Περιοχή της παραλιακής ζώνης του Βόλου (750 m x 750 m), με όμοιες εδαφικές συνθήκες (γεωμετρία και ιδιότητες εδαφικών στρώσεων, βάθος υποβάθρου, βάθος υπόγειας στάθμης ύδατος, επιφανειακή τοπογραφία).
- 7.2.2 (α) Συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης (μέσες τιμές) *A_{max}* σε δέκα διακριτές Θέσεις Έρευνας του Βόλου. (β) Δεσπόζουσα περίοδος *T₀* των εδαφικών σχηματισμών (μέση τιμή) στις περιοχές με παρόμοια γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα [Τεχνική Έκθεση ΜΜ, Πιτιλάκης και συν., 2000, θέσεις αναλύσεων του Σταδίου Ι].
- 7.2.3 Μέσες τιμές των μέγιστων διατμητικών παραμορφώσεων του εδάφους στα επιφανειακά στρώματα (από 0.0 έως - 9 m) [Πιτιλάκης κ. συν., 2000].
- 7.2.1.1 Πολυθεματικά δεδομένα καταχωρημένα στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH* για την Θέση CH και τη «δίδυμη» της SPT. Από αριστερά: Ψηφιοποίηση των δεδομένων σε πίνακα, αναλογικό φύλλο CH (διάγραμμα *V_s* και *V_p* με το βάθος), εργαστηριακή κατάταξη εργαστηριακών δεδομένων, (τεχνικο)-

- γεωλογική περιγραφή, φύλλο γεώτρησης SPT σε αναλογική μορφή, ψηφιοποίηση των δεδομένων σε Πίνακα της Βάσης.
- 7.2.1.2 Η εδαφική τομή στην εξεταζόμενη παραλιακή περιοχή.
- 7.2.2 Μεταβολή του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης, G/G_{max} και λόγου διατμητικής απόσβεσης, DT (%) με τη διατμητική παραμόρφωση, γ (%) για τους έξι (6) διαφορετικούς τύπους εδαφών της εδαφικής τομής (Πιν. 7.2.1).
- 7.2.3.1 Κατάταξη των υλικών της εδαφικής τομής σύμφωνα με τα όρια Atterberg.
- 7.2.3.2.α Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας IV της εδαφικής τομής.
- 7.2.3.2.β Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας III της εδαφικής τομής.
- 7.2.3.2.γ Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας II της εδαφικής τομής.
- 7.2.3.3 Αποτελέσματα της Δοκιμής διείσδυσης των υλικών της εδαφικής τομής.
- 7.2.3.4 Στατιστική επεξεργασία της φυσικής υγρασίας $W\%$ των υλικών της εδαφικής τομής.
- 7.2.3.5 Στατιστική επεξεργασία του αριθμού κτύπων N_{30} της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης των υλικών της εδαφικής τομής
- 7.2.3.6 Στατιστική επεξεργασία μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμούμενης ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s (m/sec) των υλικών της εξεταζόμενης εδαφικής τομής: Εμπειρική σχέση Αθανασόπουλος (1994) για όλους τους τύπους εδάφους.
- 7.2.3.7 Στατιστική επεξεργασία μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμούμενης ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s (m/sec) των υλικών της εξεταζόμενης εδαφικής τομής: Εμπειρική σχέση Καλτεζιώτης και Σαμπατάκης και Βασιλείου (1992) για όλους τους τύπους εδάφους.
- 7.2.4.1 Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως διέγερση σε συνθήκες αναδύομένου βράχου, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoSignal*, σχεδιασμένο και με το *GeoSeism*.
- 7.2.4.2 Ελαστικό φάσμα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους επιταχύνσεων για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoMatch*.
- 7.2.4.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους σχετικής ταχύτητας και ψευδοταχύτητας για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoSignal*. Σχεδιασμένο ως δεδομένο με τα *EERA* και *GeoSeism*.
- 7.2.4.4 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους σχετικής μετατόπισης για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoSignal*. Σχεδιασμένο ως δεδομένο με τα *EERA* και *GeoSeism*.
- 7.2.5.1 Σεισμική απόλυτη επιτάχυνση σε τρία διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (Α) στην επιφάνεια του εδάφους, (Β) στη βάση, (Γ) σε θέση (θεωρητικού) αναδύομένου υποβάθρου.
- 7.2.5.2 Σεισμική σχετική μετατόπιση σε διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (Α) στην επιφάνεια του εδάφους, (Β) στη βάση.
- 7.2.5.3 Σεισμική σχετική ταχύτητα σε διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (Α) στην επιφάνεια του εδάφους, (Β) στη βάση.
- 7.2.5.4 Τελικός χωρισμός σε ζώνες με τις προτεινόμενες ενεργές (δρώσες) εδαφικές επιταχύνσεις, όπως προτάθηκε από την MM στο ίδιο ΠΣ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).

- 7.2.5.5 Μέγιστες ενεργές διατμητικές παραμορφώσεις του εδάφους στα στρώματα -0.0 έως -7.0m και -7.0 έως -30.0 m, όπως προτάθηκαν από την ΜΜ στο ίδιο ΠΣ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).
- 7.2.5.6 Διατμητική παραμόρφωση καθ' ύψος της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2).
- 7.2.5.7 (α) Μέτρα Διάτμησης G (kPa), και (β) υστερητικές αποσβέσεις ξ(%) για το εξεταζόμενο επίπεδο παραμόρφωσης καθ' ύψος της εδαφικής τομής.
- 7.2.5.8 Διατμητική παραμόρφωση στο μέσον: (α) της πρώτης επιφανειακής στρώσης, (β) της τελευταίας κατώτερης στρώσης.
- 7.2.5.9 Λόγοι Ενίσχυσης μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της βάσης της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2) για σεισμική καταγραφή στο αναδυόμενο υπόβαθρο στην πρώτη δοκιμή.
- 7.2.5.10 Βρόχοι υστερήσεως της διατμητικής παραμόρφωσης σε σχέση με τη διατμητική τάση στο μέσον της πρώτη επιφανειακής στρώσης του εδάφους (Σχ. 7.2.1.2., θέση Α).
- 7.2.5.11 Φάσμα Fourier της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 7.2.1.2., θέση Α).
- 7.2.5.12 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους απόλυτης φασματικής επιτάχυνσης και ψευδοεπιτάχυνσης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).
- 7.2.5.13 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους (α) σχετικής ταχύτητας και ψευδοταχύτητας, και (β) σχετικής μετατόπισης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).
- 7.2.5.14 Κανονικοποιημένο ελαστικό φάσμα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους απόλυτης φασματικής επιτάχυνσης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).
- 7.2.5.15 Φάσματα ελαστικής απόκρισης σχεδιασμού (κανονικοποιημένες μορφές ως προς την τιμή εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού της κάθε ζώνης (Πιτιλάκης και συν., 2000).
- 7.2.6 Ζώνη υψηλού κινδύνου ρευστοποίησης (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).
- 7.2.7.1 Υψόμετρα επιφάνειας εδάφους στο Π.Σ. Βόλου - Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).
- 7.2.7.2 Υψόμετρα οιονει-βραχώδους υποβάθρου στο Π.Σ. Βόλου - Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).
- 7.2.7.3 Υψόμετρα οιονει-βραχώδους υποβάθρου (χρωματικές διαβαθμίσεις του καφέ) με ταυτόχρονη σχεδίαση ισοβαθών (καμπύλες σε διαδοχικούς τόνους από μπλε έως βυσσίσι) για την μελέτη των συγκριτικών λεπτομερειών (Σχ. 7.2.7.4).
- 7.2.7.4 Συγκριτική απεικόνιση των ισοβαθών του οιονει-βράχου της παρούσης έρευνας (έγχρωμες καμπύλες) με τα αντίστοιχα της ΜΜ (γκρίζες καμπύλες, χαμηλής ανάλυσης) σε διάφορες θέσεις του Π.Σ. Βόλου (Γεωστατιστική μέθοδος) (βλ. Υπομνήματα Σχ. 7.2.7.3).
- 7.2.7.5 Πάχος εδαφικής απόθεσης στο Π.Σ. Βόλου - Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).
- 7.2.7.6 Προσέγγιση υψομέτρων του Υπόγειου Υδάτινου Οριζοντα (Υ.Υ.Ο) σε βρόχινη περίοδο στο Π.Σ. Βόλου (Γεωστατιστική μέθοδος).

Συντομογραφίες

ΑΣΕΑ	Ανάλυσης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης (ΑΣΕΑ).
ΓΣΠ	Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS).
Γεωτεχνικοί Κωδικοί	Ενότητα 4.3.2, εξυπηρετούν στη σχεσιακή οργάνωση της Βάσης και στη μεθοδολογία του Σημαιολογικού Διεργητέα, προοπτική να επεκταθούν και για απεικόνιση των εδαφικών τομών.
Γεωιστός	Γεωιστός (Geoweb - Geospatial Web).
Γνώση	Αναφέρεται στην «ιεραρχία της γνώσης» (Ενοτ. 5.2.2).
Δεδομένα	Αναφέρεται στην «ιεραρχία της γνώσης» (Ενοτ. 5.2.2).
Θ.Ε.	Θέσης Έρευνας (Ενοτ. 4.1.3): εννοεί την εδαφική στήλη στην οποία έγινε επιτόπια έρευνα.
ΜΜ ή ΜΜΣΕ	Μικροζωνικές Μελέτες Σεισμικής Επικινδυνότητας (seismic hazard study) ή Σεισμική Μικροζωνική Μελέτη» (seismic microzonation study).
Πληροφορία	Αναφέρεται στην «ιεραρχία της γνώσης» (Ενοτ. 5.2.2).
ΠΣ	Πληροφοριακό Σύστημα
Π.Θ.	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Α.Π.Θ.	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Ε.Μ.Π.	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
API ή APIs	Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών.
DBMS ή dbms	Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (relational dbms, κ.λπ.).
<i>HelGeoRDaS_uTH</i>	HELlenic GEOtechnical Relational Database System_University of Thessaly
<i>GeoSeism</i>	GEOtechnical SEIsmic

Κυριότερα σύμβολα

CH	Crosshole: Σεισμική γεωφυσική δοκιμή. Εκτελείται μέσα από γεωτρήσεις. Εφαρμόζεται σε βάθη μέχρι και περίπου 100 m. Δίνει τον λόγο Poisson και το Μέτρο Ελαστικότητας.
CPT	Δοκιμή Διείσδυσης Κώνου (Cone Penetration Test) ή Δοκιμή στατικής πενετρομέτρησης: Δυναμική δοκιμή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αστράγγιστης (δηλαδή χωρίς εκτόνωση της πίεσης πόρων) διατμητικής αντοχής μαλακών έως στιφρών αργίλων και της σχετικής πυκνότητας άμμων. Ονομάζεται και δοκιμή Ολλανδικού Πενετρομέτρου - Dutch Penetrometer Test).
DH	Downhole: Σεισμική γεωφυσική δοκιμή. Εκτελείται μέσα από γεωτρήσεις. Επιτρέπει τη μέτρηση της ταχύτητας διάδοσης χωρικών κυμάτων σε επιφανειακές στρώσεις και συνεπώς την εκτίμηση της στιβαρότητας σε μικρές παραμορφώσεις.
SPT	Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (Standard Penetration Test) ή Terzaghi: Χρησιμοποιείται ευρέως για ποιοτική ένδειξη των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών. Βοηθά άμεσα στον προσδιορισμό της σχετικής πυκνότητας, της αντίστασης στη διείσδυση, στον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής, της συμπίεστότητας, της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας, και των καθιζήσεων.
Vs ή Vs (m/sec)	Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων.
Vp ή Vp (m/sec)	Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων.
κύματα S / SH	Εγκάρσια κύματα / Εγκάρσια κύματα οριζόντια πολωμένα.
κύματα SV	Εγκάρσια κύματα κατακόρυφα πολωμένα.
ω ή ω (rad/sec)	Γωνιακή ή κυκλική συχνότητα ($\omega = 2\pi/T = 2\pi f$).
f ή f(Hz)	Συχνότητα περιοδικής κίνησης σε Hz.
T ή T(sec)	Περίοδος περιοδικής κίνησης σε sec.
t ή t(sec)	Χρόνος (sec).
G	Μέτρο διάτμησης του εδάφους (kPa): Σταθερά παραμορφωσιμότητας ελαστικού σώματος σε διάτμηση που εκφράζεται ως διατμητική τάση για μοναδιαία γωνιακή τροπή).
ρ	Πυκνότητα εδάφους, εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου ($\rho = m/V$). (tn/m ³ : 1 tn · g = 1 kN).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Αναγκαιότητα της Διδακτορικής Διατριβής

Στόχος της παρούσης διδακτορικής έρευνας είναι η ανάπτυξη μιας **λεπτομερούς** μεθοδολογίας εκτίμησης της **σεισμικής εδαφικής απόκρισης** η οποία να επιτελείται όσο το δυνατόν πιο **αυτοματοποιημένα**. Η μεθοδολογία διαχειρίζεται γεωτεχνικά δεδομένα και υλοποιεί διαδικασίες αριθμητικής ανάλυσης της **εδαφικής απόκρισης** για τη **μικροζωνική μελέτη της Σεισμικής Επικινδυνότητας** (Σχ. 1.1). Περιλαμβάνει κυρίως εκτίμηση της εδαφικής απόκρισης σε διάφορα βάθη του επιφανειακού εδάφους ενώ επεκτείνεται ικανοποιητικά και σε υπολογισμούς των φορτίων σχεδιασμού σε όρους φασμάτων απόκρισης καθώς και του κινδύνου αστοχίας από ρευστοποίηση. Σκοπό έχει να εισάγει στις μελέτες και εν γένει στρατηγικές περιφερειακής και αστικής ανάπτυξης την άποψη της Γεωτεχνικής Μηχανικής ως προς την επίδραση των εδαφικών συνθηκών στα τεχνικά έργα και στους γεωκινδύνους από δυναμικά αίτια.

Η έννοια της **ανάλυσης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης** (ΑΣΕΑ), παραπέμπει στη μελέτη του αποτελέσματος της συνεπιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών (site effects) – περιλαμβανομένης της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών υλικών (εδαφικών αποθέσεων είτε πετρωμάτων) που συναντά το σεισμικό κύμα (Ενοτ. 2.4.2). Η απόκριση εξετάζεται συνήθως σε νοητές εδαφικές στήλες (site response). Η αριθμητική μέθοδος έχει τη δυνατότητα να επιτελεί ΑΣΕΑ εξετάζοντας φορτίσεις συγκεκριμένων διεγέρσεων (χρονοϊστοριών) σε κάθε εδαφική στήλη.

Η έννοια της **σεισμικής επικινδυνότητας** (seismic hazard) μιας περιοχής, αναφέρεται στην πιθανότητα να συμβεί ένας σεισμός στη δεδομένη γεωγραφική περιοχή, ο οποίος εντός δεδομένης περιόδου επανάληψης (ή, ισοδύναμα, με δεδομένη πιθανότητα μη υπέρβασης) να προκαλέσει ένταση της κίνησης του εδάφους η οποία να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο. Για παράδειγμα, η τιμή εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0.24g (ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g) για τη δεύτερη ζώνη του ισχύοντος Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ-2003) σημαίνει ότι στις αντίστοιχες περιοχές του νέου Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας αναμένεται στην επιφάνεια του εδάφους να προκληθεί κίνηση της οποίας η χρονοϊστορία να συναντήσει την ενεργό (μέγιστη) τιμή 0.24g εξαιτίας του μέγιστου σεισμού που θα φτάσει στην μικροζωνική περιοχή – το όριο του οποίου εκτιμήθηκε με

περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια (ή, ισοδύναμα, με πιθανότητα 10% να μην υπερβληθεί σε 50 χρόνια).

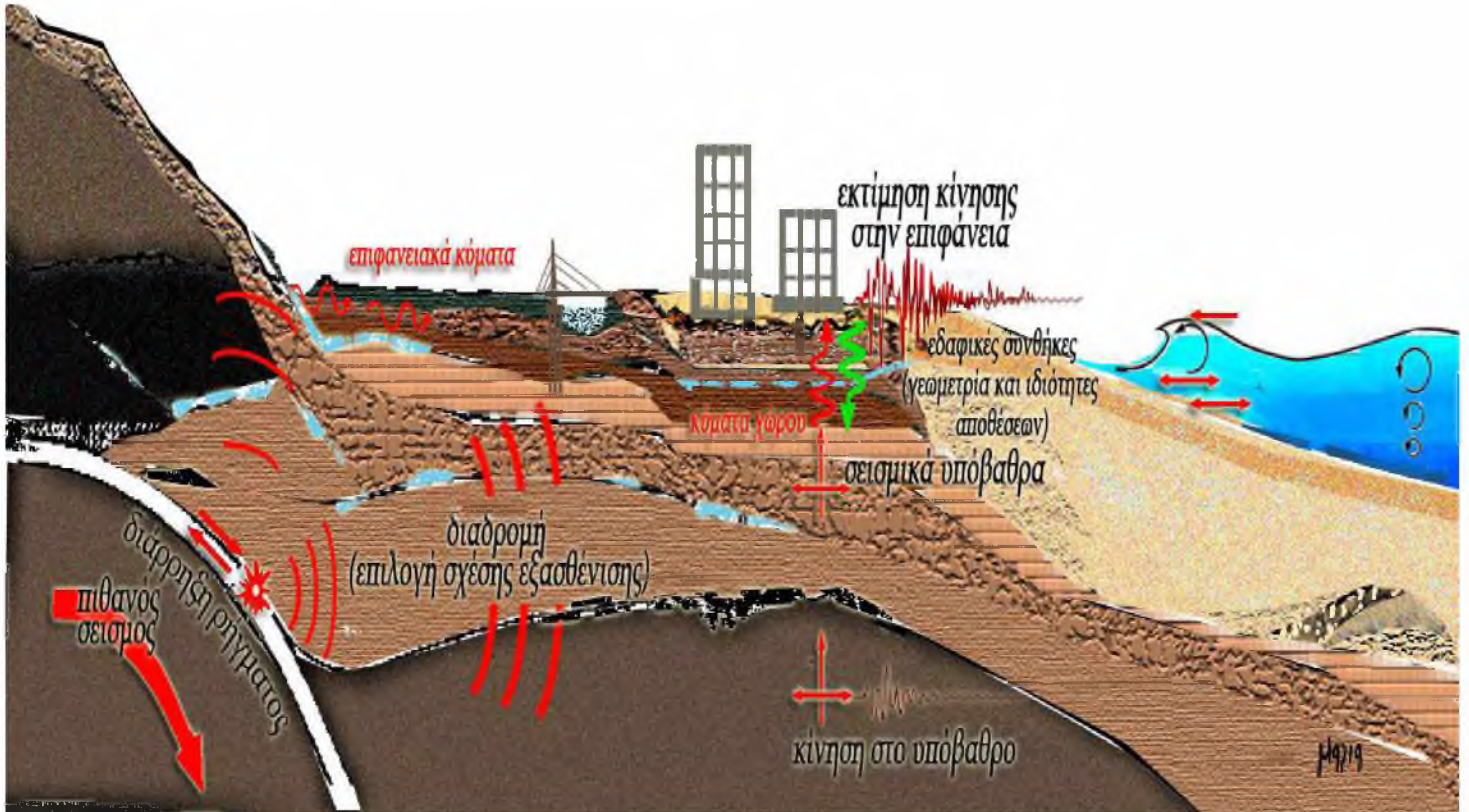
Η έννοια της **Μικροζωνικής Μελέτης Σεισμικής Επικινδυνότητας** (microzonation), εννοεί την εκτίμηση των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων σε μία περιοχή, στην οποία περιοχή ενδιαφέρει να υπολογισθεί η αναμενόμενη σεισμική επιβάρυνση μιας είτε περισσότερων κατασκευών. Λαμβάνεται υπόψη το σεισμικό περιβάλλον και δίνεται έμφαση στην επίδραση των τοπικών γεωλογικών και εδαφοτεχνικών συνθηκών. Δηλαδή, στην απόκριση των εδαφικών στρώσεων εξαιτίας επιβαλλόμενων διεγέρσεων. Το αποτέλεσμα της μελέτης είναι η κατανομή των σεισμικών χαρακτηριστικών στη εδαφική επιφάνεια, στοιχείο απαραίτητο για τον σχεδιασμό ζωνών που να προσδιορίζουν με βάση γεωλογικά και γεωφυσικά χαρακτηριστικά τα αποτελέσματα του σεισμού (δηλαδή, την εδαφική κίνηση, τον κίνδυνο ρευστοποίησης, τον κίνδυνο κατολισθήσεων και βραχοπτώσεων, και συναφή πρωτογενή είτε δευτερογενή φαινόμενα). Η κατανομή αυτή, της ποσότητας - μεγέθους της αναμενόμενης κίνησης του εδάφους στον μικροζωνικό χώρο, εκφράζεται (κατά τη Σεισμική Μηχανική) σε όρους αναμενόμενης επιτάχυνσης του εδάφους ή, ισοδύναμα, σε όρους ταχύτητας ή μετακίνησης ή επιβαλλόμενης τάσης ή επιβαλλόμενης παραμόρφωσης του εδάφους (στην Τεχνική Σεισμολογία εκφράζεται και σε όρους αναμενόμενης μακροσεισμικής έντασης).

Το συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο στο οποίο εστιάζει η παρούσα μεθοδολογία είναι οι αναμενόμενες εδαφικές κινήσεις μεταξύ του σεισμικού υποβάθρου και της επιφάνειας του εδάφους (Πιν. 1.1: στάδια III, IV) για μονοδιάστατη διάδοση διατμητικών κυμάτων τύπου SH. Η σεισμική εδαφική απόκριση μεταβάλλεται καθώς το σεισμικό κύμα προσπίπτει στο βραχώδες (ή σεισμικό) υπόβαθρο και διαδίδεται μέσα από τις υπερκείμενες του υποβάθρου εδαφικές αποθέσεις για να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Όπως οι έρευνες της γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής δείχνουν, η απόκριση στο διάστημα αυτό είναι ιδιαίτερα σύνθετη λόγω αφενός της ανομοιομορφίας των εδαφικών σχηματισμών από θέση σε θέση και αφετέρου των διαφορετικών χαρακτηριστικών των σεισμικών κινήσεων που προσπίπτει στα σεισμικά υπόβαθρα.

Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας (μικροζωνικής) περιοχής (λ.χ. πόλης) είναι σημαντική διότι από αυτήν εξαρτάται ο «σεισμικός κίνδυνος»¹, ο οποίος εκφράζει το αναμενόμενο αποτέλεσμα (καταστροφές κτιρίων, θάνατοι, κ.λπ.) από την εκδήλωση ενός ορισμένου σεισμού. Σε σειсмоγενείς χώρες, όπως είναι και η Ελλάδα, το σεισμικό περιβάλλον και η σεισμικότητα από τις πιθανές σεισμικές πηγές μέχρι τα υπόβαθρα έχει από χρόνια μελετηθεί κι έχουν χαρτογραφηθεί οι σεισμικές επικινδυνότητες στο διάστημα μέχρι και τις γεωλογικές συνθήκες για αρκετές περιοχές (Πιν. 1.1: στάδια I, II). Είναι επομένως

¹ Ο σεισμικός κίνδυνος ή διακινδύνευση (seismic risk) αναφέρεται στα αναμενόμενα αποτελέσματα (καταστροφές κτιρίων, θάνατοι, κ.λπ.) από την εκδήλωση ενός σεισμού. Εξαρτάται από τη σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard) της περιοχής, από την αναμενόμενη δηλαδή ένταση της σεισμικής κίνησης στην περιοχή αυτή, και από την τρωτότητα (vulnerability) των κατασκευών, που εκφράζεται με το μέτρο των ιδιοτήτων των κατασκευών (λ.χ., ποιότητα των κατασκευών, ιδιοπερίοδος, τοπικές γεωτεχνικές συνθήκες).

αναγκαία η επιστάμενη μελέτη των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών για τον ασφαλή σχεδιασμό των τεχνικών έργων σε κάθε κατοικήσιμη περιοχή (λ.χ., πολεοδομικό συγκρότημα), με μεθοδολογίες όπως η παρούσα.



Σχήμα 1.1 Κύρια στάδια μικροζωνικών μελετών και απεικόνιση της σεισμικής επικινδυνότητας σε επίπεδο πολεοδομικού συγκροτήματος [φιλοτέχνημα της συγγραφέως].

Πίνακας 1.1 Τα βασικά στάδια μιας μικροζωνικής μελέτης

ΣΤΑΔΙΟ:	ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ (I)	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (II)	ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (III)	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (IV)
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ:	Σεισμικές πηγές, Επικεντρα, Ισόσειστες, αναμενόμενη σεισμική κίνηση στο υπόβαθρο	Γεωλογία, ισοβαθείς του υποβάθρου	Τεχνικο-γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά (φυσικά και μηχανικά, λ.χ. ιδιοπεριόδοι εδαφικών στρωμάτων, από επιτόπου δοκιμές, δειγματοληψίες, εργαστηριακές δοκιμές, στρωματογραφία)	χρονοϊστορίες εδαφικής κίνησης στην επιφάνεια ή διάφορα βάθη, χωρική μεταβολή των παραμέτρων της απόκρισης, χωρική μεταβολή (χάρτες) δυναμικού ρευστοποίησης, ελαστικά φάσματα απόκρισης, ελαστικά φάσματα σχεδιασμού.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Η ακρίβεια των αναλύσεων είναι συνάρτηση τριών παραγόντων: της αξιοπιστίας της μεθοδολογίας, της επάρκειας πληροφορίας σχετικά με τις ιδιότητες και τη γεωμετρία του εδάφους, και των αυτοματοποιημένων εργαλείων που θα επεξεργαστούν τον μεγάλο αριθμό δεδομένων και θα κατανεύουν χωρικά τις παραμέτρους της τελικής κίνησης. Για να επιτυγχάνονται αξιόπιστα και ενημερωμένα τα παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να καταρτιστεί μια μεθοδολογία αριθμητικής μεθόδου εκτίμησης της εδαφικής απόκρισης (σε μια διάσταση προς το παρόν) και να αναπτυχθεί ένα λογισμικό (ολοκληρωμένο υπολογιστικό πρόγραμμα). Το λογισμικό, εκτελεί αυτοματοποιημένα τη μεθοδολογία και υλοποιεί εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ, GIS – Geographic Information Systems). Έτσι, με τη βοήθεια των ΓΣΠ εξασφαλίζεται, αφενός ρεαλιστική απεικόνιση των εδαφικών συνθηκών και της αλληλεπίδρασής τους με τη σεισμική κίνηση αφετέρου διαρκής εναρμόνιση με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Το πρόγραμμα ονομάστηκε *GeoSeism*.

Περαιτέρω, η παρούσα διδακτορική έρευνα συμβάλλει και στο τρίπτυχο:

Πρώτον, στο να δημιουργούνται τράπεζες χωρικής πληροφορίας με πρωτογενή περιγραφικά δεδομένα. Η έμπρακτη συμβολή είναι ότι αναπτύσσει τη βάση πολυθεματικών εδαφικών δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH* σε επίπεδο πόλης.

Δεύτερον, στο να μπορούν να διαλειτουργούν τα λογισμικά που διαχειρίζονται τις υποδομές αυτές, τόσο μεταξύ τους όσο και με εφαρμογές που θα μετατρέπουν τα δεδομένα σε κατάλληλη εδαφική πληροφορία. Η έμπρακτη συμβολή είναι οι υπολογιστικές μεθοδολογίες γεωτεχνικής μηχανικής που αναπτύσσει το λογισμικό *GeoSeism*. Αναπτύχθηκε ως πρότυπο διαλειτουργίας μονάδων ΓΣΠ, προκειμένου να εξασφαλίζει πλεονεκτήματα (Ενοτ. 8.3.1).

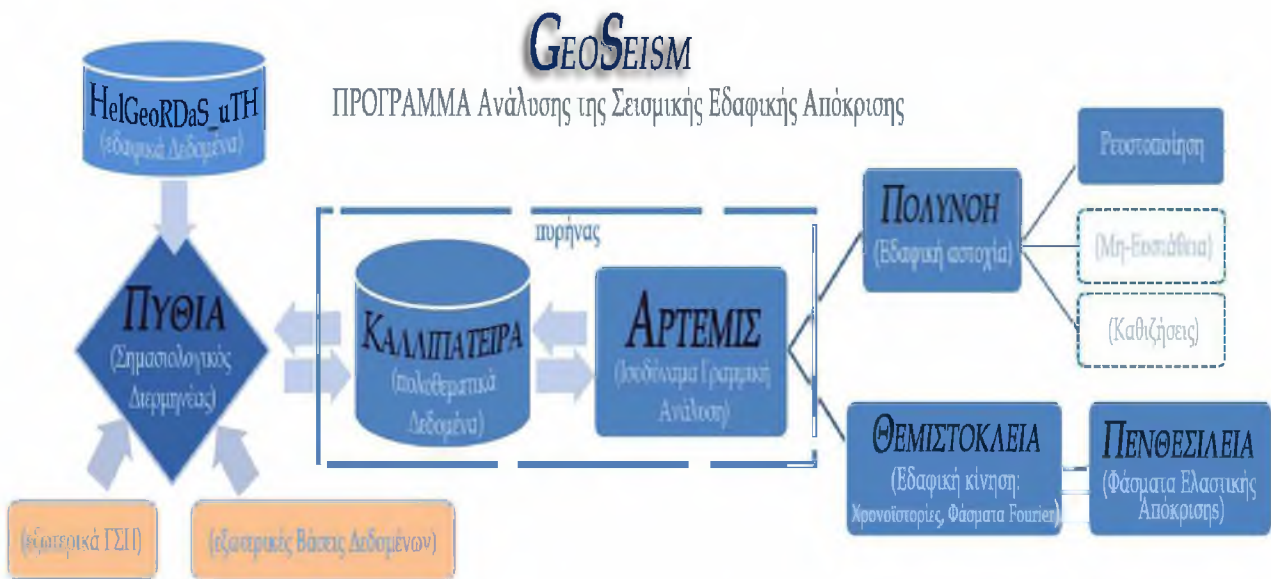
Τρίτον, στο να αναπτύσσονται από μηχανικούς (γεωτεχνικούς) συγκεκριμένες μεθοδολογίες που θα μετατρέπουν τα γεωγραφικά δεδομένα άμεσα σε γεωγραφική πληροφορία σχετική με τις εδαφικές συνθήκες. Η έμπρακτη συμβολή είναι η πρόταση να αναπτυχθούν «Σημαιολογικοί Διερμηνείς», πάνω στην οποία αναπτύσσει τον γεωτεχνικό διερμηνέα *Πυθία*.

Με όλα τα παραπάνω, η διατριβή συμβάλλει στην επίκαιρη προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα ΓΣΠ προς την κατεύθυνση της καλύτερης και αυτοματοποιημένης γνώσης των εδαφικών συνθηκών (Ενοτ. 2.1.1, 2.1.4, 2.2.4) και μάλιστα αμφίδρομα, μεταξύ των πηγών πληροφορίας κι ενός κοινού που συνεχώς αυξάνεται.

Περιγραφή της μεθοδολογίας και του σχετικού προγράμματος, παρουσιάζεται στη συνέχεια.

1.2 Σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας GeoSeism

Ρόλο πυρήνα στη μεθοδολογία του προγράμματος *GeoSeism* έχει μια αριθμητική μέθοδος της οποίας ο κώδικας καταρτίστηκε, ενσωματώθηκε στο λογισμικό και επιβεβαιώθηκε ως προς την ακρίβεια (Ενοτ. 1.5, υπο-πρόγραμμα *ARTEMIS*). Η μέθοδος επιτελεί εκτίμηση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης εφαρμόζοντας το ιξωδοελαστικό μοντέλο της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης (Κεφ. 3) – κατά το πρότυπο της τεχνικής που υπέδειξαν οι δημιουργοί του *SHAKE* (Schnabel et al., 1972). Το *SHAKE*, καθώς και οι δύο παραλλαγές του, *SHAKE91* (Idriss and Sun, 1992) και *EERA* (Bardet et al, 2000), είναι προγράμματα ευρείας εφαρμογής τα οποία έχουν επιβεβαιωθεί λεπτομερώς ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων από πολλούς ερευνητές. Οι έλεγχοι έδειξαν (Κεφ. 6) ότι τα αποτελέσματα του *GeoSeism* συμφωνούν με τα αποτελέσματα προγραμμάτων της ίδιας μεθοδολογίας, όπως είναι το *SHAKE91* και το *EERA*, καθώς και προγραμμάτων ανεξάρτητης μεθοδολογίας, όπως είναι το *FLAC* (Itasca, 2011) το οποίο βασίζεται σε μεθοδολογία πεπερασμένων διαφορών. Στο τελευταίο επιλύθηκαν οι ίδιες εφαρμογές, με τα αντίστοιχα επίπεδα διατμητικής παραμόρφωσης ώστε να μπορεί να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 1.2 Πλήρης μεθοδολογία *GeoSeism* για την ανάλυση της εδαφικής απόκρισης (σημ. οι λευκές φόρμες δομικές μονάδες δεν είναι πλήρως ολοκληρωμένες στην παρούσα έκδοση).

Η ανάγκη για την δημιουργία του προγράμματος *GeoSeism*, πέραν της αξιόπιστης και φιλικής προς τον χρήστη λειτουργία των παραπάνω προγραμμάτων, είναι η ανάπτυξη επιπλέον δυνατοτήτων. Οι δυνατότητες συνοπτικά (αναλυτικότερα Κεφ. 5) είναι:

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

(α) Πληρότητα αποτελεσμάτων: Το *GeoSeism* προγραμματίστηκε να παρουσιάζει πλήρη αποτελέσματα σε σχέση με τα προγράμματα αυτά, που υπολογίζουν μεν αλλά δεν εμφανίζουν στον χρήστη όλα τα επιμέρους αποτελέσματα.

(β) Ευέλικτες διαδικασίες: Κάποιες από τις διαδικασίες στη ροή λειτουργίας του *GeoSeism*, είναι προγραμματισμένες ώστε να λειτουργούν και ανεξάρτητα από την κλειστή αλληλουχία των εσωτερικών βημάτων της μεθοδολογίας. Αυτό δίνει χαρακτήρα ευελιξίας στο πρόγραμμα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιείται για ανεξάρτητους σκοπούς και να μπορεί σε επόμενες εκδόσεις να επεκταθεί.

(γ) Χαρακτήρα αυτοματισμού: Το *GeoSeism* αναπτύχθηκε με χαρακτηριστικά αυτοματισμού, ώστε να διευκολύνεται η επίλυση μεγάλων εκτάσεων, δηλαδή να επιλύει περισσότερες από μια εδαφικές θέσεις ταυτόχρονα, να εξάγει ταυτόχρονα όλα τα αποτελέσματα των θέσεων αυτών χωρίς τη παρέμβαση του χρήστη. Στο πλαίσιο της περισσότερης αυτοματοποίησης περιλαμβάνεται και η καινοτομία ενός υπο-προγράμματος που ονομάσαμε *ΠΥΘΙΑ*, το οποίο ήδη αναπτύχθηκε σε σημαντικό βαθμό (Εν. 1.5, και Κεφ. 5.2).

Επιπροσθέτως, στο *GeoSeism* προγραμματίστηκε μια ευρύτερη μεθοδολογία (Σχ. 1.2). Δηλαδή, μετά την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση με την οποία εκτιμάται η εδαφική ταλάντωση (υπο-πρόγραμμα *Αρτεμις*), η μεθοδολογία προχωρά και σε υπολογισμούς των θέσεων εδαφικής αστοχίας (γεωκίνδυνοι: υπο-πρόγραμμα *Πολυνόη*) εξαιτίας δυναμικών φορτίσεων. Προς το παρόν καταρτίστηκε μόνον η μεθοδολογία για τον έλεγχο του κινδύνου ρευστοποίησης, με βάση τις εμπειρικές μεθόδους που πρότειναν οι Youd and Idriss (2001). Η συμπερίληψη τους καθώς και η δυνατότητα να εξυπηρετούν αυτόνομα, οπωσδήποτε δίνουν στη μεθοδολογία πιο ολοκληρωμένο και περιεκτικό χαρακτήρα.

Η έρευνα εστιάζει στην ισοδύναμη γραμμική ανάλυση (υπο-πρόγραμμα *Αρτεμις*) επειδή αυτή έχει μείζονα αξία, διότι είναι ο πυρήνας των υπολογισμών και πάνω στα αποτελέσματά της προχωρούν οι υπόλοιπες διαδικασίες. Οι υπόλοιπες διαδικασίες είναι: η κατάρτιση των φασμάτων Fourier και των αντίστροφων Μετασχηματισμών τους (υπο-πρόγραμμα *Θεμιστόκλεια*), καθώς και η κατάρτιση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (υπο-πρόγραμμα *Πενθεσίλεια*), για τα οποία αναπτύχθηκε ο αριθμητικός αλγόριθμος των Nigam and Jennings (1968). Τα φάσματα απόκρισης είναι απαραίτητα προκειμένου να εκτιμηθεί η σεισμική επιβάρυνση κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό (earthquake design) των κατασκευών.

1.3 Σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων ΓΣΠ του *GeoSeism*

Στο κατώφλι σημαντικών τεχνολογικών ή και θεσμικών αλλαγών για τα ΓΣΠ, η παρούσα διδακτορική έρευνα καθίσταται ιδιαίτερα επίκαιρη (Ενοτ. 2.1.1, 2.1.4). Υπενθυμίζει στον ηλεκτρονικό κόσμο των ΓΣΠ το παραμένον πρόβλημα των μηχανικών το οποίο είναι η ανεπάρκεια (Ενοτ. 2.1.3) πληροφορίας αναφορικά με τις εδαφικές συνθήκες (Ενοτ. 2.1.2). Δηλαδή, η ανεπάρκεια γεωχωρικών δεδομένων γεωτεχνικού ενδιαφέροντος (γεωτεχνική και τεχνικογεωλογική πληροφορία) και απεικονίσεων της γεωμετρίας των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών, περιλαμβανομένων και των υπόγειων κατασκευών.

Η πρόταση της διδακτορικής έρευνας είναι (Ενοτ. 2.1.1) να δοθεί έμφαση από τα ΓΣΠ, και ειδικά από τα συστήματα απεικόνισης της Γης, στις εδαφικές συνθήκες και τα δεδομένα που χρειάζεται η Γεωτεχνική Μηχανική. Η πρόταση συνοδεύεται με έμπρακτη συμβολή, η οποία περιλαμβάνει τα προϊόντα που αναφέρονται στην Ενότητα 1.5 (συνοψίζονται και στην Ενότητα 8.1) και περιγράφονται πιο διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια. Η συμβολή και τα καινοτόμα στοιχεία της έρευνας επεξηγούνται συγκεντρωτικά στις Ενότητες 8.2 και 8.3.

Η συμβολή σε γενικές γραμμές αφορά την ανάπτυξη μιας πρότυπης διαλειτουργικής εφαρμογής ΓΣΠ (το λογισμικό *GeoSeism*) και τη δημιουργία μιας πρώτης υποδομής γεωχωρικών πληροφοριών σχετικών με τις εδαφικές συνθήκες μιας πόλης. Η μεθοδολογία του *GeoSeism* επιδιώκει τη συστηματικότερη γνώση των εδαφικών συνθηκών. Η διαλειτουργικότητα εξασφαλίζει πλεονεκτήματα και μελλοντικές προοπτικές (Ενοτ. 2.2.4). Ταυτόχρονα βοηθά στην **ενοποίηση μεθοδολογιών και δεδομένων** εφόσον οι δομικές μονάδες του ΓΣΠ εξασφαλίζουν τεχνική και σημασιολογική διαλειτουργικότητα. Στην κατεύθυνση αυτή, η διατριβή κάνει ήδη μια επίσης καινοτόμα εφαρμογή, την οποία καλεί *Πυθία*. Η *Πυθία*, είναι μια πρότυπη μεθοδολογία (αλγόριθμος) που βοηθά στη σημασιολογική διαλειτουργικότητα για τις ανάγκες της Γεωτεχνικής Μηχανικής. Διαμορφώνει γεωτεχνική πληροφορία από τα δεδομένα των Βάσεων, δηλαδή επιτελεί γεωτεχνική ερμηνεία κι όχι απλή ανάκτηση και συσχέτιση γεωγραφικών δεδομένων. Χρειάζεται να βελτιωθεί και να αναπτυχθεί στα ΓΣΠ ενσωματώνοντας περισσότερα κριτήρια – οπότε προτείνεται τότε να καλείται «σημασιολογικός διερμηνέας» (Ενοτ. 2.2.4: τελευταία παράγραφος).

Πιο συγκεκριμένα:

Η **τεχνική διαλειτουργικότητα** (από άποψη αρχιτεκτονικής και λειτουργικότητας), επιτυγχάνεται με την εξαρχής ανάπτυξη (προγραμματισμό) δομικών μονάδων κατάλληλης τεχνολογίας οι οποίες: είναι συμβατές με τα ευρείας χρήσης πρότυπα και μπορούν να αλληλοσυνεργάζονται. Έχουν όλες τις δυνατότητες των ΓΣΠ (αποθήκευση, ανάκτηση, ανταλλαγή, επεξεργασίες δεδομένων, ανάπτυξη μεθοδολογιών θεωρητικών επιλύσεων, απεικονίσεις αποτελεσμάτων, και όμοια), εναρμονίζονται σε κοινά μοντέλα και μπορούν να αλληλοεπιδρούν σε διάφορα επίπεδα, είναι ευρέως γνωστές από ένα μεγάλο αριθμό

χρηστών, έχουν δυνατότητα συνεργασίας και διαρκούς ενημέρωσης από το διεθνές δίκτυο των ΓΣΠ, και άλλα. Τέτοιες δομικές μονάδες είναι:

- (α) η κεντρική διαχειριστική Βάση αμφίδρομης επικοινωνίας (*Καλλιπάτειρα*, εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον *MS Access*),
- (β) το λογισμικό *GeoSeism* (που έχει αναπτυχθεί σε προγραμματιστικό περιβάλλον *Visual Basic*) με δομή διαχείρισης βάσεων δεδομένων και διαλειτουργικής διαχείρισης λογισμικών (υπο-προγραμμάτων προς το παρόν),
- (γ) η αλληλεπίδραση με σχεσιακές βάσεις γεωτεχνικών δεδομένων (στοιχείο που ήδη εφαρμόστηκε αναπτύσσοντας τη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*),
- (δ) η δυνατότητα χρήσης γραφικού περιβάλλοντος χαρτογράφησης και χωρικής ανάλυσης (όπως είναι το ειδικό σχεδιαστικό *ArcGIS - ESRI*) το οποίο σε ορισμένες λειτουργίες μπορεί να γίνεται περιβάλλον διεπαφής της εφαρμογής, και
- (ε) η συμβατότητα όλων των δομικών στοιχείων του λογισμικού να συνδέονται με τα διαλειτουργικά ΓΣΠ.

Η σημασιολογική διαλειτουργικότητα επιτυγχάνεται κυρίως με την *Πυθία* αλλά και με όλη γενικά τη μεθοδολογία του *GeoSeism* που επιδιώκει ολοκληρωμένη Γνώση των εδαφικών συνθηκών μέσω των ΓΣΠ. Ο στόχος πρακτικά είναι να απαλλάσσονται μέσω ΓΣΠ οι ερευνητές των ΑΣΕΑ από χρονοβόρες ή και αναποτελεσματικές επεξεργασίες δεδομένων. Ως εκ τούτου, να αυξάνει και η απόδοση των διαθέσιμων Δεδομένων. Στην παρούσα έρευνα, οι έννοιες «Γνώση», «ολοκληρωμένη χωρική πληροφορία» και «τεχνογνωσία» εξηγούνται στις Ενότητες 5.2.2 και 5.2.3. Οι πυλώνες της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, είναι (Ενοτ. 1.5):

- (α) Η μεθοδολογία *Πυθία* (υπο-πρόγραμμα του *GeoSeism*). Ποσοτικοποιεί (στο μέγιστο δυνατόν) με βάση γεωτεχνικά κριτήρια τα περιγραφικά χωρικά δεδομένα για τις τοπικές εδαφικές συνθήκες.
- (β) Οι μεθοδολογίες *Θεμιστόκλεια* και *Πενθεσίλεια* (υπο-προγράμματα του *GeoSeism*), για την ανάλυση των συχνοτήτων και την εκτίμηση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης των κατασκευών, αντίστοιχα. Ποσοτικοποιούν, με τον τρόπο αυτό, τη συνεπίδραση των εδαφικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση και τα αποτελέσματά της στις κατασκευές του μηχανικού.

1.4 Ακρίβεια – Περιορισμοί - Δυνατότητες

Όπως προαναφέρθηκε (Ενοτ. 1.1), για λόγους αξιοπιστίας επιλέχθηκε να καταρτισθεί μια αριθμητική μέθοδος εδαφικής ανάλυσης στο *GeoSeism*. Η συγκεκριμένη αριθμητική, η οποία είναι η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση που βασίζεται στη θεώρηση ιξωδοελαστικού εδαφικού μοντέλου, έχει επιβεβαιωθεί για την αξιοπιστία της από πολλούς ερευνητές μέχρι σήμερα και γι' αυτό τα λογισμικά που την έχουν αναπτύξει είναι ευρείας εφαρμογής. Θεωρείται μέθοδος ακριβείας ειδικά σε σύγκριση με τις αναλυτικές και προσεγγιστικές μεθόδους, οι οποίες εξάλλου είναι αποδεκτές μόνον για ενδιάμεσους υπολογισμούς και σε επίπεδο προμελέτης.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων από την άποψη του πόσο επιτυχώς καταρτίσθηκε η συγκεκριμένη αριθμητική μέθοδος στο *GeoSeism*, επιβεβαιώθηκε κι αυτή από τους ελέγχους. Τα αποτελέσματα του *GeoSeism* συμφωνούν με τα αποτελέσματα προγραμμάτων που εφαρμόζουν την ίδια ή διαφορετική μέθοδο, όπως είναι τα προγράμματα *SHAKE91*, *EERA* και *FLAC*.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, με την ισοδύναμα γραμμική μέθοδο, είναι δυνατόν να προσομοιωθεί ικανοποιητικά η μη γραμμική και υστερητική συμπεριφορά των εδαφών εφόσον οι αναπτυσσόμενες διατμητικές παραμορφώσεις είναι της τάξης έως 10^{-3} ή και $2 \cdot 10^{-3}$. Πρακτικά δηλαδή, το παρόν λογισμικό συνιστάται να εφαρμόζεται για πλάτη παραμόρφωσης από μηδέν μέχρι 0.2 %.

Από την άλλη, η ισοδύναμα γραμμική είναι «μόνον» μια γραμμική μέθοδος, και τούτο το μοντέλο σε μερικές συνθήκες φόρτισης είναι δυνατόν να μειονεκτεί απέναντι σε μοντέλα που περιγράφουν οι μη γραμμικές θεωρίες. Δεν είναι σε θέση να περιγράψει με ικανοποιητική ακρίβεια τη μείωση της εδαφικής δυστημψίας και την υψηλότερη απόσβεση ενέργειας που χαρακτηρίζουν τη μη γραμμική εδαφική απόκριση.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων από την άποψη του πόσο ρεαλιστική προσέγγιση επιτυγχάνει η μονοδιάστατη (1Δ) κυματική ανάλυση, είναι επίσης δυνατόν να μην επαρκεί σε συνθήκες όπου δημιουργούνται σύνθετα κυματικά πεδία, όπως είναι τα προφίλ λεκάνης και γενικά όπου δεν πληρούνται οι παραδοχές (Ενοτ. 2.2).

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθοδολογίας, γίνονται κατανοητά μέσα από τις παραδοχές (Ενοτ. 3.2, 3.3). Εν κατακλείδι, η μέθοδος αυτή προτιμήθηκε επειδή είναι σχετικά εύχρηστη, δεν απαιτεί ιδιαίτερη υπολογιστική ισχύ, και είναι αρκετά ρεαλιστική. Πολλές αριθμητικές εφαρμογές αλλά και ενόργανες καταγραφές και ιστορικές αποδείξεις την έχουν ως σήμερα επιβεβαιώσει.

1.5 Προϊόντα της διδακτορικής έρευνας και καινοτόμα στοιχεία

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στη παρούσα διδακτορική έρευνα, καταρτίστηκε σε μορφή κώδικα ο οποίος στη συνέχεια αναπτύχθηκε και σε λογισμικό με το ακρωνύμιο *GeoSeism* (από τα πρώτα γράμματα των λέξεων *GEOTEchnical* και *SEISMic*). Μέχρι στιγμής προγραμματίστηκε σε γλώσσα VB και σταδιακά μεταφράζεται σε γλώσσα C. Πιο συγκεκριμένα, στη συνολική λύση του λογισμικού περιλαμβάνονται πέντε ολοκληρωμένες δομικές μονάδες (υπο-προγράμματα), που έχουν δυνατότητα να αλληλοσυνεργάζονται αλλά και να λειτουργούν αυτόνομα, οι οποίες είναι (Σχ. 1.1):

1. **ARTEMIS**: μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης (earthquake ground/site response analysis) εφαρμόζοντας το ιξωδοελαστικό μοντέλο της μονοδιάστατης ισοδύναμη γραμμικής ανάλυσης κατά το πρότυπο της τεχνικής που υπέδειξαν οι δημιουργοί του *SHAKE* (Schnabel, 1972). Είναι ο «πυρήνας» του *GeoSeism*, που επιτελεί την ισοδύναμη γραμμική μέθοδο και τροφοδοτεί με τα αποτελέσματά της σχεδόν όλα τα άλλα υπο-προγράμματα.
2. **ΠΥΘΙΑ**: μεθοδολογία σημασιολογικού διερμηνέα (semantic interpreter), επεξεργάζεται τα εδαφικά δεδομένα (soil data processing) με στόχο να εκφράζουν ολοκληρωμένη γεωτεχνική πληροφορία και να χρησιμοποιούνται άμεσα. Επιτελεί, διαχείριση και συσχετισμούς πληροφοριών από διάφορες βάσεις δεδομένων (database management). Επιτελεί επιπλέον και επεξεργασίες γεωγραφικών δεδομένων, όπως: υπολογισμούς εδαφικών παραμέτρων με βάση τα μοντέλα της γεωτεχνικής μηχανικής και τους ισχύοντες Κανονισμούς, συνθέσεις συνόλων αλλά και προσεγγίσεις (λ.χ. ασαφών δεδομένων). Προτείνεται από την παρούσα διατριβή.
3. **ΠΟΛΥΝΟΗ**: μεθοδολογία εκτίμησης του κινδύνου ρευστοποίησης (liquefaction assessment) με βάση εμπειρικές μεθόδους (Youd and Idriss, 2001).
4. **ΠΕΝΘΕΣΙΛΕΙΑ**: μεθοδολογία επεξεργασίας της ισχυρής εδαφικής κίνησης (strong motion data processing) και κατάρτισης των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (elastic response spectra).
5. **ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΙΑ**: μεθοδολογία υπολογισμού φασμάτων Fourier (Fourier spectra) και αντίστροφων μετασχηματισμών (Inverse Fourier Transform), από πεδίο χρόνου σε πεδίο συχνοτήτων και αντίστροφα.

Οι έλεγχοι έχουν γίνει προς το παρόν για τα ως άνω (1), (4), και (5). Τα (2), (3) χρειάζονται να εφαρμοστούν σε περισσότερες ακόμη περιοχές για να μπορέσουν να βελτιωθούν και να ολοκληρωθούν, προκειμένου να αντιμετωπίζουν όλους τους αναμενόμενους συνδυασμούς εδαφικών συνθηκών.

Το *GeoSeism* μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια πρότυπη εφαρμογή για την ενοποίηση μεθοδολογιών (Ενοτ. 1.3).

Επιπροσθέτως, στο πλαίσιο της διδακτορικής έρευνας δημιουργήθηκαν και δυο (2) Βάσεις δεδομένων (αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων) ως εφαρμογές πάνω στο περιβάλλον και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής *MS Access* (τη σχεσιακή δομή που επιτρέπει εύκολες ανακτήσεις και συσχετισμούς πληροφοριών, την υψηλή χωρητικότητα, κ.λπ.), οι οποίες είναι:

1. **ΚΑΛΛΙΠΑΤΕΙΡΑ**: Σχεσιακή Βάση πολυθεματικής πληροφορίας με δυνατότητα διαλειτουργικότητας (αμφίδρομης επικοινωνίας), που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της ίδιας διατριβής για να υποστηρίζει το *GeoSeism* και να αποτελεί κατά το δυνατόν ένα πολύ-θεματικό (κύρια γεωτεχνικού ενδιαφέροντος) σχεσιακό σύστημα βάσης διαχείρισης δεδομένων (multi-thematic soil condition and geotechnical relational database management system):
 - (α) αναλαμβάνοντας ρόλους κεντρικού διαχειριστή έτερων βάσεων δεδομένων,
 - (β) αποθηκεύοντας γεωτεχνικά (από επί τόπου και από εργαστηριακές δοκιμές) και τεχνικο-γεωλογικά δεδομένα, καθώς και δεδομένα υδρολογικά, τοπογραφικά, σεισμοτεκτονικά, υφιστάμενων υπόγειων δικτύων (είδος, θέσεις, βάθος, παλαιότητα),
 - (γ) αποθηκεύει και την πρωτογενή πληροφορία ανεξάρτητων βάσεων (όπως είναι το *HelGeoRDaS_uTH*) αλλά και την επεξεργασμένη μέσω *GeoSeism* (περιλαμβανομένων των αποτελεσμάτων των υπο-προγραμμάτων και της πλήρωσης των ελλিপών δεδομένων μέσω της *ΠΥΘΙΑΣ*).

Μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια πρότυπη εφαρμογή για την ενοποίηση δεδομένων (Ενοτ. 1.3).

2. **HelGeoRDaS_uTH** (HELlenic Geotechnical Relational Database management System of the university of THessaly): Σχεσιακή Βάση πολυθεματικών εδαφικών και γεωτεχνικών δεδομένων που αναπτύχθηκε, ως ανεξάρτητη από το πλήρες πακέτο του *GeoSeism*, προκειμένου να πληρώνεται μόνον με πρωτογενή πληροφορία, και με σκοπό αρχικά την άντληση δεδομένων για εφαρμογή της μεθοδολογίας σε επίπεδο μεμονωμένων αστικών πόλεων.

Ο κώδικας ξεκίνησε πριν πολλά χρόνια να αναπτύσσεται σε γλώσσα Visual Basic και στο περιβάλλον VB6. Στο μεταξύ, αυξήθηκε σημαντικά σε μέγεθος τόσο ώστε απασχολεί σημαντική μνήμη και υπολογιστική δύναμη. Σήμερα σταδιακά μεταφράζεται σε C/C++ και ο επόμενος στόχος είναι να ξαναγραφεί σε ένα περιβάλλον μεταγλωττιστή (compiler) που θα βοηθά να τρέχουν πιο γρήγορα και αυτοματοποιημένα οι διαδικασίες.

Επίσης, στο πλαίσιο της ίδιας διδακτορικής έρευνας, υλοποιήθηκε ακόμη ένα αρκετά ογκώδες έργο, το οποίο είναι το τρέχον (πρώτο) περιεχόμενο της σχεσιακής βάσης *HelGeoRDaS_uTH*. Προέκυψε από την ανάγκη να υπάρχουν πραγματικά δεδομένα ώστε να

γίνονται εφαρμογές και έλεγχοι της μεθοδολογίας. Για τον σκοπό αυτό, συλλέχθηκε, ψηφιοποιήθηκε, ορίστηκε με συντεταγμένες, ελέγχθηκε, καταχωρήθηκε, κωδικοποιήθηκε, και συνδέθηκε σχεσιακά στη Βάση ένα αξιόλογο εκτεταμένο πλήθος γεωτεχνικής πληροφορίας σε επίπεδο ολόκληρης πόλης. Πρόκειται για περιεκτική πληροφορία που καλύπτει σημαντικά το πολεοδομικό συγκρότημα τόσο του Βόλου όσο και της Νέας Ιωνίας (ΠΣΒΝΙ). Για πρώτη φορά, στην περιοχή αυτή, συλλέχθηκαν κατακερματισμένα δεδομένα από διάφορες πηγές (δημόσιες υπηρεσίες και ιδιωτικά γραφεία), συσχετίστηκαν και καταχωρήθηκαν ψηφιακά σε ενιαία σχεσιακή βάση. Οι έλεγχοι εγκυρότητας περιέλαβαν την κριτική αξιολόγηση και τον γεωγραφικό προσδιορισμό τους σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ προς χρήση σε ΓΣΠ. Περισσότερα στο σχετικό Κεφ. 7.

Οι προοπτικές του *GeoSeism* και της *HelGeoRDaS_uTH*, αναφέρονται στις Ενότητες 8.1, 8.2.

Τα καινοτόμα στοιχεία της έρευνας συγκεντρώνονται πιο επιστάμενα στις Ενότητες 8.3 και 8.4. Ανταποκρίνονται στις αναγκαιότητες του τρίπτυχου που προαναφέρθηκε (Ενοτ. 1.1), συνοπτικά με τα εξής:

- A. Ο συνδυασμός τεχνικής και σημασιολογικής διαλειτουργικότητας τις οποίες αναπτύσσει με τη μεθοδολογία του *GeoSeism*, ως πρότυπου διαλειτουργικού ΓΣΠ που εξειδικεύει στις εδαφικές συνθήκες.
- B. Η εισήγηση ενός νέου τύπου επεξεργαστών δεδομένων για τα ΓΣΠ, τον οποίο αποκαλεί ως «Σημασιολογικό Διερμηνέα» («semantic interpreter»). Ο ρόλος του είναι να καλύπτει τις ελλείψεις των δεδομένων με βάση τις θεμελιώδεις γνώσεις ενός επιστημονικού πεδίου ώστε να δίνουν ολοκληρωμένο νόημα (Πληροφορία) προκειμένου να χρησιμοποιούνται, στη συνέχεια, επιτυχώς και εξοικονομώντας χρόνο στις υπολογιστικές διαδικασίες των διάφορων μεθοδολογιών και λογισμικών.
- Γ. Η ανάπτυξη ενός πρώτου αλγόριθμου σε ρόλο Σημασιολογικού Διερμηνέα (όνομα *Πυθία*) ειδικά για την επεξεργασία δεδομένων γεωτεχνικού ενδιαφέροντος και τις διαδικασίες εκτίμησης της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στις μικροζωνικές μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας.
- Δ. Η δημιουργία μιας Βάσης ενοποιημένων δεδομένων (βάση πολυθεματικών εδαφικών και γεωτεχνικών δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH*) για μια τυπική πόλη της Ελλάδος.
- Ε. Μερικά ακόμη, μικρότερης σημασίας, όπως: Περιγραφικοί ορισμοί της έννοιας «διαλειτουργικά ΓΣΠ» μετά τις νεότερες διεθνείς εξελίξεις της τεχνολογίας (Ενοτ. 2.2.1), ορισμοί των εννοιών της πυραμίδας της γνώσης οι οποίοι αποδεικνύονται εργάσιμοι για τα ΓΣΠ (Ενοτ. 5.2.2, 5.2.6), προτάσεις για το πώς τα ΓΣΠ είναι δυνατόν να συμβάλλουν στη διάχυση γεωγραφικών δεδομένων κατάλληλων για τις ΑΣΕΑ (Ενοτ. 2.1, 5.2.4, 5.2.5) και για τους μηχανικούς χρήστες των δεδομένων γενικότερα (διαλειτουργίες, ανταλλαγή, γεωτεχνική ερμηνεία, εδαφικές τομές, εδαφικές οντότητες με χρήση Γεωτεχνικών Κωδικών).

1.6 Οργάνωση των κειμένων της Διατριβής

Η οργάνωση της διδακτορικής διατριβής μέσα στους προαναφερθέντες άξονες της ερευνητικής προσπάθειας, παρουσιάζεται στα ακόλουθα :

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια εισαγωγή στην αναγκαιότητα, στο αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής, στην περιγραφή του προγράμματος, στις δυνατότητες και την ακρίβεια, στα αποτελέσματα της διατριβής και τα στοιχεία καινοτομίας, καθώς και τις περαιτέρω δυνατότητες εξέλιξης του προγράμματος.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται συνοπτική επισκόπηση των θεωριών και της τεχνολογίας της βιβλιογραφικής έρευνας, σχετικά με:

- ☉ **Ενότητες 2.1:** Τη χρήση των ΓΣΠ για την άντληση δεδομένων σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες. Την έννοια των εδαφικών συνθηκών από την άποψη της Γεωτεχνικής Μηχανικής και των ΑΣΕΑ. Το πρόβλημα της ανεπάρκειας δεδομένων. Τις επίκαιρες τάσεις της τελευταίας δεκαετίας για τα εδαφικά δεδομένα των ΓΣΠ.
- ☉ **Ενότητες 2.2:** Σχετικά με την τεχνολογία των εφαρμογών ΓΣΠ: Τον προτεινόμενο ορισμό από τη διατριβή για τα διαλειτουργικά ΓΣΠ. Το ιστορικό της τεχνολογίας και την ταξινόμηση των σημερινών εμπορικών λογισμικών. Τη διαλειτουργικότητα και σημασιολογία ως επίκαιρες τάσεις των ΓΣΠ.
- ☉ **Ενότητες 2.3:** Τις αρχές και λειτουργίες των ΓΣΠ. Εφαρμογές των ΓΣΠ σε Μικροζωνικές Μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας μέσα από βιβλιογραφική επισκόπηση.
- ☉ **Ενότητες 2.4:** Τις γνωστές μονοδιάστατες (1Δ) μεθόδους ανάλυσης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης, τα αντικείμενα και τις κατηγορίες ΑΣΕΑ. Γενικά στοιχεία για το ισοδύναμο γραμμικό μοντέλο και τις εφαρμογές εκτίμησης της σεισμικής απόκρισης εδαφών.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται επιστάμενα η μέθοδος της ισοδύναμο γραμμικής ανάλυσης και τι προσφέρει σε σχέση με ό,τι ερευνήθηκε στην βιβλιογραφία.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται πρώτα διεξοδική παρουσίαση της αρχιτεκτονικής και της λειτουργίας της σχεσιακής βάσης γεωτεχνικών δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH*. Στο τέλος περιγράφονται παραδείγματα από ερωτήματα επιλογών και συσχετίσεων.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται επιστάμενη παρουσίαση του λογισμικού *GeoSeism*. Περιγράφονται τα συνεργαζόμενα μέρη και οι διαδικασίες τόσο της σεισμικής εδαφικής απόκρισης με την ισοδύναμο γραμμική ανάλυση όσο και των άλλων υπο-προγραμμάτων που όλα μαζί επιδιώκουν την πλήρη εξέταση της επιρροής των εδαφικών συνθηκών στη σεισμική εδαφική κίνηση καθώς και στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών που θεμελιώνονται στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα:

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

- ☉ **Ενότητες 5.0:** περιγράφεται η αρχιτεκτονική και η λειτουργία του κώδικα και της κεντρικής διαχειριστικής Βάσης *Καλλιπάτειρα* που αποτελούν τον βασικό μηχανισμό του λογισμικού *GeoSeism*.
- ☉ **Ενότητες 5.1:** Περιγράφεται η μεθοδολογία (το μαθηματικό υπόβαθρο και οι διαδικασίες του υπο-προγράμματος) εκτίμησης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης με την ισοδύναμη γραμμική μέθοδο, το οποίο φέρει το όνομα *Άρτεμις*.
- ☉ **Ενότητες 5.2:** Περιγράφεται η μεθοδολογία (το θεωρητικό υπόβαθρο και οι διαδικασίες του υπο-προγράμματος) επεξεργασίας και γεωτεχνικής ερμηνείας των εδαφικών δεδομένων με μέθοδο που προτείνεται από την παρούσα διατριβή. Το υπο-πρόγραμμα αυτό φέρει το όνομα *Πυθία*.
- ☉ **Ενότητες 5.3:** Περιγράφεται η μεθοδολογία (το θεωρητικό υπόβαθρο και οι διαδικασίες του υπο-προγράμματος) εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης με βάση γνωστές αναλυτικές εμπειρικές μεθόδους. Το υπο-πρόγραμμα αυτό φέρει το όνομα *Πολυνόη*.
- ☉ **Ενότητες 5.4:** Περιγράφεται η μεθοδολογία (το μαθηματικό υπόβαθρο και οι διαδικασίες του υπο-προγράμματος) ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων με το οποίο γίνεται επεξεργασία (και συνελίξεις) των επιβαλλόμενων σεισμικών διεγέρσεων και των εδαφικών αποκρίσεων από και προς μορφές χρονοϊστοριών, με βάση κυρίως την ανάλυση Φουριέ (Fourier). Το υπο-πρόγραμμα αυτό φέρει το όνομα *Θεμιστόκλεια*.
- ☉ **Ενότητες 5.5:** Περιγράφεται η μεθοδολογία (το αναλυτικό υπόβαθρο και οι διαδικασίες του υπο-προγράμματος) επεξεργασίας της ισχυρής εδαφικής κίνησης και κατάρτισης των ελαστικών φασμάτων ελαστικής απόκρισης μονοβάθμιων συστημάτων με ιζώδη απόσβεση υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση στη βάση τους, με βάση γνωστές μαθηματικές τεχνικές. Το υπο-πρόγραμμα αυτό φέρει το όνομα *Πενθεσίλεια*.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζονται οι έλεγχοι ακρίβειας της μεθόδου της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης του λογισμικού *GeoSeism* (υπο-πρόγραμμα *Άρτεμις*), και σύγκρισή τους με αντίστοιχα αποτελέσματα από άλλα γνωστά προγράμματα.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται η εφαρμογή τόσο της εξωτερικής Βάσης όσο και της διαλειτουργικότητας του *GeoSeism*. Συγκεκριμένα: Πρώτον, παρουσιάζεται η πιλοτική εφαρμογή της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH* μέσα από την επιτυχή πλήρωσή της με περιεχόμενο, στο πλαίσιο της διατριβής. Το περιεχόμενο είναι ένα αξιόλογο εκτεταμένο πλήθος πολυθεματικής εδαφικής πληροφορίας γεωτεχνικού ενδιαφέροντος. Περιλαμβάνει δεδομένα σε επίπεδο τυπικής ελληνικής πόλης (Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου – Νέας Ιωνίας). Περιγράφονται μεταξύ άλλων και τα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς (Γ.Σ.Α.) και η μεθοδολογία με την οποία μετασχηματίστηκαν οι συντεταγμένες των συλλεχθέντων δεδομένων.

Δεύτερον, παρουσιάζεται η πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας για την εφαρμογή της διαλειτουργικότητας του *GeoSeism* σε παραλιακή περιοχή του ΠΣ. Παρουσιάζονται, μεταξύ άλλων, ενδεικτικά αποτελέσματα σχετικά με την σεισμική εδαφική απόκριση σε όλο το πάχος της απόθεσης (παράμετροι κίνησης και καθ' ύψος μεταβολή της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης και των δυναμικών ιδιοτήτων), η χωρική μεταβολή της σεισμικής επικινδυνότητας στην επιφάνεια του εδάφους (σε όρους επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης), ο κίνδυνος να ρευστοποιηθούν κάποιες εδαφικές στρώσεις (σε όρους συντελεστή ασφάλειας FSL), καθώς και τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των κατασκευών στην επιφάνεια του εδάφους (σε όρους κανονικοποιημένης φασματικής επιτάχυνσης SAN).

Στο **Κεφάλαιο 8** γίνεται πρώτα η σύνοψη της ερευνητικής εργασίας. Περιγράφεται ύστερα η αναμενόμενη χρησιμότητα του τελικού της αποτελέσματος, και των επιμέρους προϊόντων. Περιγράφεται συγκεντρωτικά και επιστάμενα η συμβολή της διατριβής στην επιστήμη με βάση τα αποτελέσματα και με βάση τα αποτελέσματα που ενέχουν Πρωτοτυπία:

- (α) Πρότυπο διαλειτουργικό λογισμικό ΓΣΠ (*GeoSeism*),
- (β) Σημσιολογική διαλειτουργικότητα και διερμηνέας γεωτεχνικής πληροφορίας (*Πυθία*),
- (γ) Μερικά ερευνητικά συμπεράσματα και προτάσεις της διατριβής.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 9**, παρατίθεται η Βιβλιογραφία.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και εδαφικές συνθήκες

2.1.1 ΓΣΠ και Γεωτεχνική Μηχανική

Η συνεχής ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) την τελευταία 60ετία, παράλληλα με την ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστών, έχει ανοίξει οριζόντιες δυνατότητες σε Γεωεπιστήμες όπως η Γεωτεχνική Μηχανική. Τα ΓΣΠ καθιστούν δυνατή την ανάλυση των απεικονίσεων του πραγματικού γεωγραφικού χώρου, την άμεση χρήση των χαρτογραφικών δεδομένων, και τη διακίνηση λεπτομερούς κι ενημερωμένης πληροφορίας για τη γη και το περιβάλλον.

Λόγω των πλεονεκτημάτων, μια οργανωμένη χρήση ΓΣΠ ως απεικονιστική κυρίως επιλογή έγινε διεθνώς τα προηγούμενα χρόνια στο πλαίσιο Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας (εδώ Σεισμική Μικροζωνική Μελέτη ή ΜΜ) αλλά και διαχείρισης σεισμικού κινδύνου και γεωκινδύνων (Ενοτ. 2.3.2).

Είναι γεγονός ότι από το 2005 περίπου και μετά, αφότου ο κόσμος των προγραμματιστών έχει στη διάθεσή του Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (API) γραφικής απεικόνισης της Γης, τα ΓΣΠ αλλάζουν ριζικά τον τρόπο πρόσβασης και εργασίας των χρηστών τους (Ενοτ. 2.2.1, 2.2.2). Από τη μια, δέχονται τη θεαματική επιρροή μιας εξελισσόμενης τεχνολογίας ΓΣΠ διαδικτύου (Web GIS), από λογισμικά εφαρμογών (Ενοτ. 2.2.3) όπως είναι το *ArcGIS Server* της ESRI, το *Autodesk Mapguide*, το *MapInfo MapXtreme*, το *Geoserver* της OSGEO, το *Map Server* και άλλα. Από την άλλη, οι εξελίξεις στον τομέα των εφαρμογών του διαστήματος, ειδικά της επιστήμης της γεωδαισίας με τις εφαρμογές δορυφορικής πλοήγησης και γεωγραφικής θεσιθεσίας (γεωγραφικού προσδιορισμού θέσης) με χρήση δορυφόρων σε παγκόσμια κλίμακα (GPS, GLONASS, GALILEO, NAVIC, COMPASS), πρόσφεραν λύσεις σε χρόνια προβλήματα. Ως αποτέλεσμα, και η πρόσβαση σε εικόνες υψηλής ανάλυσης (που προσφέρουν εταιρείες όπως η Google, η Microsoft και η Yahoo, και άλλες) γίνεται δωρεάν και η χαρτογραφία διαδικτύου (Web mapping) διεισδύει παντού. Η χρήση λογισμικών χαρτογραφίας διαδικτύου (*Google Earth*, *Bing Map*, *Digital Chart of World*,

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη» Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

κ.ά.) και η επίσκεψη σε συναφείς σελίδες του διαδικτύου (*Google Map, Virtual Earth, Yahoo Maps*, κ.ά.) και σε δίκτυα χρηστών (*Open Street, Map Quest*, κ.ά.), μπορεί να γίνεται από εκατομμύρια απλούς χρήστες του Παγκόσμιου Ιστού (*World Wide Web*), αρκετοί από τους οποίους συχνά δεν έχουν σχέση με τα ΓΣΠ. Ιδρύονται μαζικά διαδραστικές εφαρμογές διαδικτύου (διεπαφές, ιστοσελίδες τύπου «mashup»), δικτυακοί τόποι που διαθέτουν υπηρεσίες χαρτογραφίας και χωρικής πληροφορίας. Οι εφαρμογές ΓΣΠ, περιλαμβανομένων και των χαρτογραφικών εξυπηρετητών, διεισδύουν σε άλλες εφαρμογές ΓΣΠ (λ.χ. υβριδικές εφαρμογές ιστού τύπου mashup, εφαρμογές με λογισμικά desktop GIS, εφαρμογές με οπτικοποιητές GIS) σε ιστότοπους και σε μέσα (λ.χ. κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές).

Από την άλλη, η επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ όλων γενικά των πληροφοριακών συστημάτων και ειδικά των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών απασχολεί έντονα την επιστημονική κοινότητα τουλάχιστον από τα μέσα της δεκαετίας του '90 (Ενοτ. 2.2.4). Διάφορες τεχνικές και μέσα επινοούνται (λ.χ., τυποποιήσεις, μετατροπές δεδομένων, πρότυπα μεταφοράς δεδομένων, αρχεία «ανοικτής μορφής», διεπαφές άμεσης προσπέλασης προς άλλες εφαρμογές λογισμικού), από φορείς που έχουν κατά καιρούς ασχοληθεί με θέματα διαλειτουργικότητας και θέσπισης προτύπων ανταλλαγής πληροφοριών. Διεθνείς οργανισμοί και εκπρόσωποι εθνικών οργανισμών τυποποίησης ενδιαφέρονται για την παραγωγή και διάθεση, σε παγκόσμιο επίπεδο, διεθνών προτύπων και προδιαγραφών (λ.χ., ISO). Παράλληλα, προωθείται μια ενιαία παγκόσμια υποδομή χωρικών (και γεωχωρικών) δεδομένων, μέσα από διάφορες συνεργασίες (λ.χ., OGC). Κρατικοί οργανισμοί, πανεπιστήμια, επιχειρήσεις και ιδιώτες από όλον τον κόσμο, καθώς και εταιρείες παραγωγής ΓΣΠ συνεργάζονται με στόχο την καλύτερη αντιμετώπιση κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών ζητημάτων (Ενοτ. 2.1.4).

Πιο πρόσφατα ακόμη, διεθνείς οργανισμοί δίνουν θεσμικά κίνητρα για ανοικτά δεδομένα και ελεύθερο λογισμικό. Οι δυναμικοί χάρτες και η δημόσια υποδομή γεωχωρικής πληροφορίας που έχει δημιουργηθεί οργανώνονται κι αυξάνουν με γεωμετρική πρόοδο. Οι εταιρείες δημιουργίας εμπορικού ή ανοικτού λογισμικού ΓΣΠ, ήδη σχεδιάζουν διαδικασίες οι οποίες εστιάζουν πλέον στη διάχυση γεωχωρικών δεδομένων και γεωπεξεργασιών στο διαδίκτυο και στο σύννεφο (cloud GIS). Υπάρχει μια σαφής τάση μετακίνησης από τον Ιστό (Web) στον Γεωιστό (Geoweb - Geospatial Web), ο οποίος συνδυάζει γεωγραφική πληροφορία (λ.χ. χάρτες δυο διαστάσεων) με γεωχωρική πληροφορία (λ.χ. τριδιάστατες εικόνες). Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι, πολλά τεχνικά μοντέλα να ομογενοποιούνται, συστήματα να συνενώνονται είτε να διαλειτουργούν και να εμπλουτίζονται συνέχεια με τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των άλλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι και το γεγονός ότι σχεδόν όλα τα πληροφοριακά συστήματα των υπηρεσιών μετατρέπονται σε γεωπληροφοριακά (διαχείρισης θεμάτων περιβάλλοντος, υποδομών και δικτύων, πολεοδομίας, δορυφορικών εικόνων, ψηφιακών εικόνων, έγκαιρης προειδοποίησης, κ.λπ.).

Στο κατώφλι των ιστορικών αυτών τεχνολογικών και θεσμικών αλλαγών, η παρούσα διδακτορική έρευνα καθίσταται ιδιαίτερα επίκαιρη. Υπενθυμίζει κατά πρώτον, ότι παραμένον πρόβλημα είναι η ανεπάρκεια πληροφορίας σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες (Ενοτ. 2.1.2, 2.1.3). Και κατά δεύτερον, ότι η τεχνολογία των ΓΣΠ και ειδικά των συστημάτων απεικόνισης της Γης, είναι πλέον ικανή να ξεπεράσει το χρόνιο πρόβλημα της Γεωτεχνικής Μηχανικής.

Αφενός, τα δεδομένα για τις ιδιότητες (μηχανικά χαρακτηριστικά) των επιφανειακών εδαφών είναι πλέον δυνατόν να καταχωρούνται ψηφιακά σε κάποιο διαλειτουργικό πληροφοριακό σύστημα από τις ίδιες τις πηγές (από επιτόπου δοκιμές, εργαστηριακές μετρήσεις, ερευνητικά προγράμματα, κ.ο.κ.).

Αφετέρου, η γεωμετρία της επιφανειακής τοπογραφίας (επιφάνεια εδάφους, γεωμετρία εδαφικών στρώσεων, γεωμετρία γεωλογικών υποβάθρων) και των υπόγειων κατασκευών, είναι δυνατόν πλέον να διανιχνεύεται από ειδικευμένες υπηρεσίες, τη χαρτογραφία διαδικτύου και τους τριδιάστατους ψηφιοποιητές (του δορυφορικού δικτύου) με πραγματική απεικόνιση κι όχι μόνον απλή στερεοσκοπική αντίληψη του βάθους. Για παράδειγμα, στην επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας η εφαρμοσμένη γεωπληροφορική και η γεωοπτικοποίηση αναπτύσσουν χαρτογραφικές μεθόδους οπτικοποίησης σε τρεις διαστάσεις αντί δύο, καθώς και αξιοποιούν αυτόματες λειτουργίες τοπολογίας και γεωκωδικοποίησης μέσω του διαδικτύου, της χωρικής ανάλυσης και της διανυσματικής απεικόνισης.

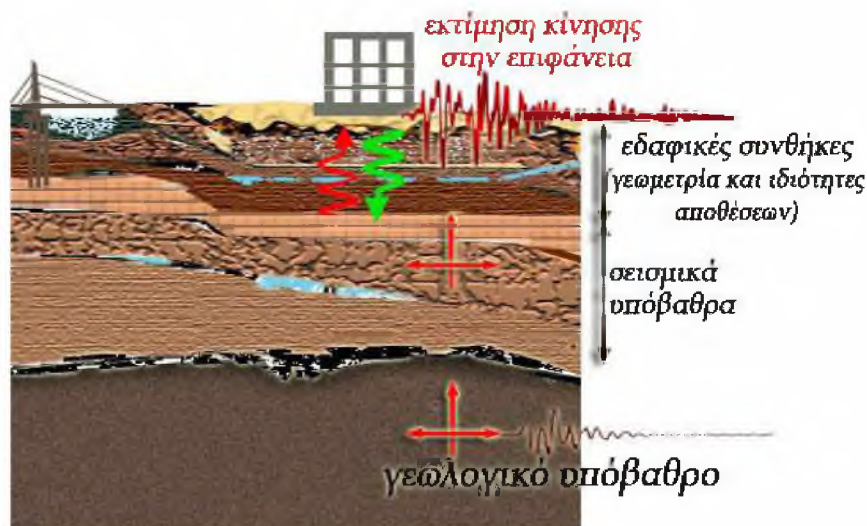
Θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο αν η γεωπληροφορική πλατφόρμα διαθέτει εργαλεία με τα οποία να παρέχει άμεσα λεπτομερή πληροφορία για τις εδαφικές συνθήκες κατάλληλη για τις εφαρμογές της Γεωτεχνικής Μηχανικής (μηχανικές ιδιότητες, γεωμετρία, μεθοδολογία), ενδεχομένως μέσω διαδικτύου. Επομένως, είναι σημαντικό οι Μηχανικοί ερευνητές να εξηγήσουν στη νέο-ιδρυθείσα επιστήμη των ΓΣΠ τις νέες δυνατότητες, προτείνοντας ταυτόχρονα συγκεκριμένα μοντέλα. Αυτό έχει ως στόχο η παρούσα έρευνα με τη συμβολή της στο τρίπτυχο που αναφέρθηκε στην Ενότητα 1.1: συμβάλει στην προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα ΓΣΠ προς αυτήν την κατεύθυνση (Ενοτ. 2.1.4, 2.2.4) και μάλιστα αμφίδρομα, μεταξύ των πηγών πληροφορίας κι ενός κοινού που συνεχώς αυξάνεται.

2.1.2 Οι Εδαφικές Συνθήκες στις Σεισμικές Μικροζωνικές Μελέτες

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι να εξηγήσει (επί της Ενοτ. 2.1.1) ποια ακριβώς πληροφορία για τις εδαφικές συνθήκες είναι κατάλληλη για τις εφαρμογές της Γεωτεχνικής Μηχανικής αναφορικά με την εκπόνηση ΑΣΕΑ και ΜΜ.

Με τον όρο «Σεισμική Μικροζωνική Μελέτη» (ΜΜ) ή «Μικροζωνική Μελέτη Σεισμικής Επικινδυνότητας» (seismic microzonation study) εννοείται η διεργασία εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας. Δηλαδή, εκτίμησης των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων σε μία περιοχή λαμβάνοντας υπόψη το σεισμικό περιβάλλον και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Η εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας αφορά την μεταβολή των χαρακτηριστικών του σεισμού σε διάφορες θέσεις του επιφανειακού εδάφους και συνήθως αποσκοπεί στη νοητή υποδιαίρεση της περιοχής μελέτης σε ζώνες σεισμικού κινδύνου (hazard analysis). Μπορεί στη συνέχεια να περιλάβει και μελέτες σεισμικής διακινδύνευσης (seismic risk analysis) με βάση τη σεισμική τρωτότητα των κατασκευών.

Η έννοια «εδαφικές συνθήκες» ή «τοπικές εδαφικές συνθήκες» στο πλαίσιο ΜΜ, αναφέρεται στις τοπικές γεωλογικές και εδαφοτεχνικές συνθήκες, που συναντώνται στις εδαφικές και βραχώδεις εναλλαγές (στρώσεις) εδαφικών σχηματισμών μέχρι ενός βάθους στο οποίο συναντάται σεισμικό υπόβαθρο. Το υπόβαθρο προσομοιώνεται με ένα δύσκαμπτο ελαστικό μέσον επί του οποίου επικάθονται οι σχετικά μαλακότερες επιφανειακές αποθέσεις του εδάφους και μέσω του οποίου μεταδίδονται τα σεισμικά κύματα πριν την άφιξη στην επιφάνεια (Σχ. 2.1.2).



Σχήμα 2.1.2 Εδαφικές Συνθήκες, Σεισμικά Υπόβαθρα, και Γεωλογικό Υπόβαθρο.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη» Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ως «εδάφη» ή «**εδαφικοί σχηματισμοί**», σύμφωνα με τις θεωρήσεις της Γεωτεχνικής Μηχανικής, χαρακτηρίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί των οποίων τα στερεά συστατικά είναι μεταξύ τους ασύνδετα είτε ελαφρώς συγκολλημένα, ενώ τα μεταξύ τους κενά είναι πληρωμένα με υγρό είτε αέρα και είναι δυνατόν να διαχωρισθούν με απλές μηχανικές μεθόδους (λ.χ. έκπλυση).

Ως «βράχη» ή «**βραχώδεις σχηματισμοί**», χαρακτηρίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί (ιζηματογενή ή πυριγενή ή μεταμορφωμένοι από άποψη προελεύσεως) των οποίων τα στερεά συστατικά είναι κρύσταλλοι ορυκτών ή κόκκοι ή τεμάχια πετρωμάτων που συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις ή με την παρουσία συγκολλητικής ύλης.

Ως **σεισμικό υπόβαθρο**, μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε συνεχής στρώση εδάφους ή βράχου μεγάλου πάχους με διατμητική δυσκαμψία σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των υπερκείμενων γαιών. Μπορεί να είναι βράχος ή οιονεί-βράχος, δηλαδή οποιοσδήποτε γεωλογικός σχηματισμός στερεοποιημένος σε βαθμό που να εμπίπτει στις κατηγορίες Α ή Β του Αντισεισμικού Κανονισμού (Πιν. 2.1.2).

Η γνώση των εδαφικών συνθηκών, επιτυγχάνεται καταρχήν με τη λεπτομερή αναγνώριση της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων της εδαφικής απόθεσης. Στη συνέχεια, με την κατανόηση της συνεπίδρασης των παραγόντων αυτών μέσα από κάποια μεθοδολογία ανάλυσης της σεισμικής εδαφικής απόκρισης (ΑΣΕΑ) της Σεισμικής Μηχανικής (Ενοτ. 2.4). Η ΑΣΕΑ κάνει εκτίμηση των χαρακτηριστικών (πλάτος, συχνотικό περιεχόμενο, διάρκεια) της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια της Γης ως αποτέλεσμα της συνεπίδρασης (συνέργειας) των εδαφικών συνθηκών. Η γνώση των εδαφικών συνθηκών είναι απαραίτητη και σε άλλα επιστημονικά πεδία της Γεωτεχνικής Μηχανικής όπου ενδιαφέρουν οι συνθήκες του επιφανειακού εδάφους, λ.χ., στην κατασκευή υπόγειων έργων, στη θεμελίωση των μεγάλων υπέργειων έργων και των μεγάλων γεωκατασκευών, ή και στη διαχείριση των γεωκινδύνων. Η άποψη της παρούσης διδακτορικής έρευνας σχετικά με τις έννοιες Γνώση - Πληροφορία - Δεδομένα ειδικά για τα ΓΣΠ, εξηγείται στη συνέχεια (Ενοτ. 5.2.2).

Οι **τοπικές εδαφικές συνθήκες** (local site conditions), αναφέρονται στην περιοχή όπου το τελικό αποτέλεσμα του σεισμού ενδιαφέρει άμεσα την ασφάλεια των ανθρώπων και των κατασκευών. Η περιοχή μπορεί να είναι μια ολόκληρη κατοικημένη περιοχή, ένα ή περισσότερα κτίρια ή οποιοδήποτε τεχνικό έργο. Εξετάζεται συνήθως με βάση τις θέσεις έρευνας (site-specific), δηλαδή κατά την έννοια του βάθους ενός γεωγραφικού σημείου της επιφάνειας του εδάφους (ορισμός «Θέσης Έρευνας», Ενοτ. 4.1.3). Στις θέσεις έρευνας πρέπει να έχουν γίνει επιτόπου δοκιμές και εδαφικές δειγματοληψίες από τις οποίες να είναι διαθέσιμα πρωτογενή εδαφικά δεδομένα σχετικά με τις ιδιότητες του εδάφους.

Λόγω της δυναμικής φύσης του πολυσύνθετου φαινομένου του σεισμού, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες πρέπει επίσης να αναφέρονται σε σημαντικά βάθη και σε ικανή πλευρική έκταση

Πίνακας 2.1.2 Κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EC8, § 3.1.2, Πιν. 3.1).

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		N _{SPT} (χτύποι/30 cm)	S _u (kPa)	V _{s,30} (m/s)
A	Βράχοι ή βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί, που περιλαμβάνουν το πολύ 5 m μαλακότερου επιφανειακού υλικού.	-	-	> 800
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών, ή πολύ στιφρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	> 50	> 250	360-800
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μέσης πυκνότητας άμμου, χαλικιών ή στιφρής αργίλου πάχους μερικών δεκάδων έως πολλών εκατοντάδων μέτρων.	15 - 50	70 - 250	180-360
D	Αποθέσεις μη συνεκτικών εδαφών μικρής έως μέσης αντοχής (με ή χωρίς μαλακές στρώσεις συνεκτικών εδαφών), ή αποθέσεις όπου επικρατούν μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 15	< 70	< 180
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από επιφανειακή αλλουβιακή στρώση με τιμές Vs κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ 5 m - 20 m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με Vs > 800 m/s.			
S1	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακής αργίλου/ιλύος, υψηλού δείκτη πλαστικότητας (PI > 40) και υψηλής περιεκτικότητας σε νερό.	-	10 - 20	< 100 (ενδεικτικό)
S2	Αποθέσεις ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A - E ή S1.			

(για τυχόν διδιάστατες ή και τριδιάστατες επιρροές). Σύμφωνα με τα νεότερα επιστημονικά συμπεράσματα, οι προσομοιώσεις ρηχού βάθους είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε λανθασμένες εκτιμήσεις (των συντελεστών ενίσχυσης, των φασματικών ενισχύσεων και των ελαστικών φασμάτων απόκρισης). Αυτό διαπιστώνεται παρότι η μέση διατμητική ταχύτητα

V_s ,30 (δηλαδή, σε βάθος μέχρι τριάντα μέτρων από την εδαφική επιφάνεια) υιοθετήθηκε εδώ και χρόνια από κανονισμούς (EC8, IBC2000, κ.ά.). Στην πραγματικότητα, τα πρώτα τριάντα μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους συχνά δεν φτάνουν μέχρι το οιονεί-υπόβαθρο και δεν αρκούν για την ακριβή πρόβλεψη των σεισμικών κινήσεων. Αυτό διαπιστώνεται και από τα εδαφοτεχνικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν σε επίπεδο πόλης από την παρούσα διδακτορική έρευνα (Ενοτ. 7.1.1, Σχ. 7.1.1.3). Έχουν επίσης αναφερθεί στη βιβλιογραφία περιπτώσεις εσφαλμένων εκτιμήσεων σε εδαφικούς σχηματισμούς πάχους μεγαλύτερου από 30 m, καθώς και σε εδάφη από αρκετά μαλακές και μικρού πάχους (< 15 m) εδαφικές στρώσεις υπερκείμενες άκαμπτου βράχου, όπου δηλαδή υπάρχει σημαντική αντίθεση δυστησιών.

Η καταγραφή της εδαφικής ταλάντωσης γίνεται με κάποιο όργανο όπως σειсмоγράφος ή επιταχυνσιογράφος. Μπορεί να είναι εγκατεστημένο σε μια θέση στην επιφάνεια του εδάφους είτε πλησίον της επιφάνειας του εδάφους (εντός κατακόρυφων φρεατίων). Για λόγους σύγκρισης, απαιτείται τουλάχιστον ένας επιπλέον δέκτης πάνω σε αναδυόμενο βράχο.

Πιο αναλυτικά, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες που ενδιαφέρουν τις ΑΣΕΑ και ΜΜ αναφέρονται στη επίδραση των ακόλουθων παραγόντων:

1. Της **Επιφανειακής Τοπογραφίας**: Εξετάζονται α) Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους. Στην πιο απλή μορφή συνίστανται σε κυρτές (ράχες, λόφοι, λοφοσειρές, όρη, κ.λπ.) ή κοίλες επιφάνειες (κοιλάδες) με διαφορετική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. β) Η γεωμετρία (πάχος, κλίσεις, ύπαρξη ασυνεχειών και άλλων ανωμαλιών) εντός της στρωματογραφίας της απόθεσης. γ) Η γεωμετρία της γεωλογικής λεκάνης (στο υπόβαθρο, στις πλευρές της λεκάνης, στην τυχόν ύπαρξη ρηγμάτων).
2. Των **μηχανικών χαρακτηριστικών** του εδαφικού σχηματισμού: Εξετάζονται α) Οι δυναμικές ιδιότητες του πολυστρωματικού εδαφικού σχηματισμού καθώς και του βραχώδους υποβάθρου. Οι πιο σημαντικές είναι η ελαστική ταχύτητα διάδοσης V_s των διατμητικών κυμάτων και η ταχύτητα V_p των κυμάτων συμπίεσης, καθώς το μέτρο διάτμησης (G_0) σε πολύ μικρές παραμορφώσεις. Επίσης, η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους, που περιγράφεται μέσα από τη μεταβολή των ελαστικών ιδιοτήτων και την ανάπτυξη εσωτερικής απόσβεσης συναρτήσει του επιπέδου της επιβαλλόμενης από τον σεισμό παραμόρφωσης (καμπύλες G/G_{max} - $\epsilon\%$, $\xi\%$ - $\epsilon\%$) και η ελαστοπλαστική συμπεριφορά σε μεγάλες παραμορφώσεις. β) Συνεξετάζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν τη δυναμική συμπεριφορά των εδαφικών υλικών (λ.χ., σχετική πυκνότητα $D_r\%$, δείκτης πλαστικότητας PI) και των βραχωδών υλικών (λ.χ., ανισοτροπία, βαθμός αποσάθρωσης, ποιότητα βράχου). Γενικώς, συγκεντρώνονται εδαφοτεχνικά στοιχεία για τις φυσικές, μηχανικές και δυναμικές ιδιότητες.

3. Της **διαφοράς εμπέδησης** σε κάθε διεπιφάνεια: Εξετάζεται η επίδραση στην απόκριση λόγω διαφορετικής δυσστησίας στη διεπιφάνεια δύο στρωμάτων εδάφους ή εδάφους και βράχου.
4. Των **Επιρροών Πεδίου και Ιδιαίτερων συνθηκών**: Εξετάζονται οι θέσεις εκείνες όπου δεν συντρέχουν συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Λαμβάνονται δηλαδή υπόψη οι επιρροές πεδίου εξαιτίας της παρουσίας υπέργειων είτε υπόγειων τεχνικών κατασκευών, στην προσομοίωση του εδαφικού προφίλ και της σεισμικής φόρτισης (του προσπίπτοντος σεισμικού κυματικού πεδίου).

Από πρακτικής απόψεως, η προεργασία αναγνώρισης των παραπάνω εδαφικών συνθηκών ενσωματώνεται σε ένα ΓΣΠ το οποίο αναζητά και καταχωρεί τα Δεδομένα σε ψηφιακή μορφή. Τα Δεδομένα πρέπει να αναφέρονται στη γεωμετρία και τις ιδιότητες των εδαφικών υλικών σε κάθε θέση έρευνας και κάθε βάθος σε όλο το πάχος της επιφανειακής απόθεσης. Είναι επομένως αυτονόητο ότι, για να υπάρχει ολοκληρωμένη Πληροφορία, χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός Δεδομένων. Τα Δεδομένα αποθηκεύονται στη Βάση ενός ΓΣΠ, με κατάλληλη οργάνωση ώστε να είναι δυνατή η εύκολη ανάκτησή τους, η εξοικονόμηση χώρου, οι διαλειτουργικές ανταλλαγές, οι ενημερώσεις και, η σαφής γεωτεχνική ερμηνεία τους. Το σύστημα είναι δυνατόν να ανακτά σύνολα τέτοιων γεωτεχνικών και τεχνικο-γεωλογικών Δεδομένων, βάσει κριτηρίων αναζήτησης και συσχετίζοντάς τα μέσα στη γεωμετρική απεικόνιση του 1Δ ή 2Δ ή 3Δ εδαφικού προφίλ. Τα χωρικά αυτά Δεδομένα είναι δυνατόν να αντλούνται απευθείας από το ΓΣΠ είτε μέσω ανταλλαγής με άλλα ΓΣΠ, και να αποτελούν διαχεόμενη γεωχωρική Πληροφορία.

Η ενσωμάτωση Δεδομένων και η δόμηση Πληροφορίας για τις εδαφικές συνθήκες μέσω των ΓΣΠ (Ενοτ. 5.2.3), προϋποθέτει μια ογκώδη και σύνθετη υποδομή Δεδομένων την οποία ωστόσο είναι εφικτό να τη διαχειρίζονται με ακρίβεια τα ΓΣΠ. Αυτό κάνει κατανοητή και τη σημασία της ιδιαίτερης αυτής τεχνολογίας των ΓΣΠ για τις ΜΜ και τις μεθοδολογίες ΑΣΕΑ όπως είναι το *GeoSeism*.

2.1.3 Το πρόβλημα Γνώσης των εδαφικών συνθηκών

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι να εκθέσει (σε συνέχεια της προηγούμενης) το παραμένον πρακτικό πρόβλημα της ανεπαρκούς Γνώσης των εδαφικών συνθηκών. Ως «Γνώση» εννοείται η ανεπάρκεια κατάλληλης εδαφικής πληροφορίας (know-what) και η ανεπάρκεια μοντέλων (know-how) για την άντλησή της από τα χωρικά δεδομένα. Η άποψη αυτή της παρούσας διδακτορικής έρευνας σχετικά με τις έννοιες «Γνώση – Πληροφορία – Δεδομένα των ΓΣΠ», εξηγείται στη συνέχεια (Ενοτ. 5.2.2).

Οι πολλές εκφάνσεις του προβλήματος γίνονται αντιληπτές μέσα από τις άνω των τριάντα ΜΜ¹, σεισμικής επικινδυνότητας και ομοειδείς, που συστηματικά εκπονήθηκαν σε ελληνικές πόλεις και πολεοδομικά συγκροτήματα την τελευταία τριανταπενταετία. Η τεχνολογία των ΓΣΠ δεν φαίνεται να εφαρμόστηκε αρκετά από τους μελετητές που εκπόνησαν τις ΜΜ, τόσο για να διευκολύνει την αποθηκευτική και χαρτογραφική εργασία τους όσο και για να παραδώσουν μαζί με τη μελέτη και περιγραφική πληροφορία η οποία είναι πολύτιμη για επαναληπτική χρήση. Η περιγραφική πληροφορία, να περιλαμβάνει δηλαδή τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποίησαν και τα αποτελέσματα των μελετών αυτών καθώς και λεπτομερείς χάρτες, σε διανυσματική μορφή και με γεωγραφικώς προσδιορισμένες τις θέσεις των επιτόπου ερευνών («Θέση Έρευνας», Ενот. 4.1.3). Αξιόπιστα και επαρκή γεωτεχνικά δεδομένα δεν υπήρχαν πιο πριν, ώστε να διευκολύνεται το έργο των μελετητών. Ούτε κατόπιν των μελετών όμως είναι διαθέσιμα, περιλαμβανομένων και των χρονοϊστοριών από καταγραφές ισχυρών σεισμών που οι μελέτες χρησιμοποίησαν. Αυτό εξάλλου φαίνεται και από τις υπάρχουσες ψηφιακές βάσεις δεδομένων των Δήμων που είναι οι δικαιούχοι του αρχείου των ΜΜ, όπου φαίνεται να μην έχουν ή να μην αξιοποιούν σημαντικό υλικό από τις μελέτες εκείνες. Μεγάλα προβλήματα ανακύπτουν σήμερα επειδή εκλείπουν τέτοια χωρικά δεδομένα και αποτελέσματα –ακόμη και σε περιοχές που παραδίδονται οδηγίες και πολλαπλοί ψηφιακοί χάρτες. Το πρόβλημα επιτείνεται από το γεγονός της απουσίας ενός κεντρικού οργανισμού συντονισμού και ελέγχου ψηφιακής καταχώρησης δεδομένων.

Αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι η έλλειψη εδαφικής πληροφορίας ή η αδυναμία πρόσβασης σε αυτήν. Συνεπακόλουθη είναι, και η αδυναμία εξυπηρέτησης νέων μελετών - όχι μόνον μελετών ΑΣΕΑ στις ΜΜ αλλά και παρεμφερών μελετών, όπως, περιβαλλοντικών, σχεδιασμού και κατασκευής τεχνικών έργων. Αυτό σημαίνει, σε τεχνικό και διοικητικό επίπεδο, αβεβαιότητα στη λήψη τεχνικοοικονομικών αποφάσεων όταν αφορούν χωρικό προγραμματισμό, πολιτική προστασία, έλεγχο δικτύων, χορήγηση αδειών δόμησης, εκμετάλλευσης πόρων, καθώς και η αδυναμία συνεργασίας μεταξύ των υπηρεσιών και οργανισμών στα σχετικά θέματα.

Εκφάνσεις του προβλήματος διαπιστώνονται επίσης κατά την καθαυτή ανταλλαγή εδαφικής πληροφορίας μέσω των ΓΣΠ. Πρόκειται για σχετικά νέα ιδέα που περιορισμένα ακόμη χρησιμοποιείται, όχι μόνον στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς. Οι διάφορες εφαρμογές διαδικτύου, ειδικά η χαρτογραφία διαδικτύου και οι χαρτογραφικοί εξυπηρετητές, διαθέτουν εργαλεία θέασης της γήινης επιφάνειας μαζί με πρόσθετες εφαρμογές οπτικοποίησης ή και επεξεργασίας. Από τη μια επομένως, επαρκεί η σημερινή τεχνολογία, για την καταχώρηση και την ανάκτηση εδαφικών δεδομένων. Από την άλλη, είναι αξιόλογος και ο αριθμός και η εξειδίκευση των Οργανισμών που ασχολούνται με θέματα

¹ Μικροζωνικές Μελέτες στον ελληνικό χώρο: Θεσσαλονίκης, Περαιχώρας, Αγ. Ιωάννη Ρέντη, Ανθούπολης, Καλαμάτας, ΠΣ Θεσσαλονίκης, Λάρισας, Αμμούδα Κοζάνης, Άνω Λιοσίων, Ηράκλειο, Λιβαδειά, ΠΣ Θεσσαλονίκης, Κοζάνης, Βόλου (1995-2002), Περιστερίου, Θήβας, Αίγιο, Κόνιτσα, Γρεβενά, Καρδίτσα, Λουτράκι, Κόρινθος, Μυτιλήνη, Ρόδο, Ρέθυμνο, Ελευσίνα, Δύμης (2009), κ.ά.), καθώς και τις ομοειδείς μελέτες σε αρκετές ακόμη περιοχές της χώρας.

διαλειτουργικότητας και θέσπισης προτύπων ανταλλαγής πληροφοριών (λ.χ., OGC, GSDI, κ.ά. αναφέρονται στην Ενот. 2.2.4).

Εντούτοις, για τον γεωτεχνικό κόσμο τα διαθέσιμα δεδομένα δεν επαρκούν. Η καθαυτή συλλογή εδαφοτεχνικής και γεωλογικής πληροφορίας συχνά είναι ανέφικτη λόγω της μη διάχυσης δεδομένων. Ακόμη κι όπου υπάρχουν διαθέσιμα τέτοιου είδους δεδομένα, δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί τα διαλειτουργικά ΓΣΠ με τη βοήθεια των οποίων να απαλλάσσονται οι ερευνητές των ΑΣΕΑ από χρονοβόρες ή και αναποτελεσματικές επεξεργασίες. Σύμφωνα και με την πρόταση της παρούσης έρευνας (Ενот. 2.1.1), στο κατώφλι σπουδαιών εξελίξεων των ΓΣΠ διαδικτύου είναι μόνον θέμα χρόνου πλέον να αναπτυχθούν διαδικτυακές υπηρεσίες οι οποίες να παρέχουν αυτοματοποιημένα (και επεξεργασμένα) δεδομένα για κάθε γεωγραφική θέση (λ.χ. έτοιμα εδαφικά προφίλ, γεωτεχνικά δεδομένα). Προϋπόθεση είναι να αναπτυχθεί και η γεωτεχνική υποδομή εδαφικής πληροφορίας, όπως ακριβώς τη χρειάζονται οι μηχανικοί.

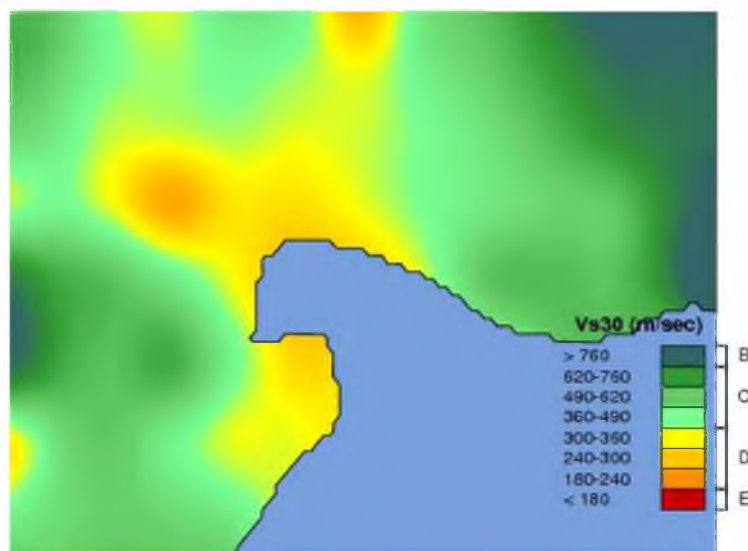
Η ανεπάρκεια γεωχωρικής πληροφορίας για τις εδαφικές συνθήκες, κατάλληλης για ΑΣΕΑ, γίνεται αντιληπτή μέσα και από την εμπειρία των μεγάλων βάσεων δεδομένων, των δικτύων ενημέρωσης για φυσικές καταστροφές και των κρατικών υπηρεσιών που από χρόνια δραστηριοποιούνται σε προηγμένες χώρες (USGS -United States Geological Survey, National Geophysical Data Center, BGS - British Geological Survey, EuroMines, BGR - Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, κ.ά.). Παρέχουν ενημέρωση για διάφορα θέματα, γεωγραφίας, γεωλογικής επισκόπησης, υδρολογικά, γεωφυσικά, φυσικών πόρων, παραγωγής ορυκτών, κ.λπ., η οποία όμως δεν επαρκεί για ΑΣΕΑ.

Ενδεικτικά αναφέρεται η πολύ χρήσιμη υπηρεσία που ανέπτυξε η αμερικανική γεωλογική υπηρεσία USGS και προσφέρει χάρτες Vs,30 (Σχ. 2.1.3). Η μεγαλύτερη κλίμακα διακύμανσης των τιμών είναι η εικονιζόμενη. Κάθε μεγέθυνση, δεν προσφέρει λιγότερο αδρή διακύμανση. Επιπλέον, το ψηφιακό αρχείο περιγραφικών δεδομένων που συνοδεύει τον χάρτη, ως εδαφοτεχνική πληροφορία προς το παρόν περιέχει μόνον τις μέσες τιμές ταχυτήτων Vs,30.

Στην Ελλάδα ειδικότερα, οι αντίστοιχες υπηρεσίες χαρτογράφησης και γεωχωρικής υποδομής (λ.χ. Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, πρώην Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος, Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Κτηματολόγιο ΑΕ) καθώς και οι ειδικευμένες στην παραγωγή εδαφικών δεδομένων υπηρεσίες (λ.χ. ΙΓΜΕΜ) δεν περιλαμβάνουν γεωτεχνικά δεδομένα, μόνον χάρτες της εδαφικής επιφάνειας ή μόνον γεωλογικού κυρίως ενδιαφέροντος δεδομένα. Έλλειψη επίσης συναντάται και σε σεισμολογικά δεδομένα, παρά το μεγάλο δίκτυο επιταχυνσιογράφων (λ.χ. ΙΤΣΑΚ), επειδή δεν έχει οργανωθεί ώστε να εξυπηρετεί αναλύσεις ΑΣΕΑ - δηλαδή, δεν καταγράφει ταυτόχρονα την κίνηση σε θέσεις αναδυόμενων βράχων.



(α)



(β)

Σχήμα 2.1.3 (α) Δορυφορική εικόνα όπου διακρίνεται η έκταση του πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου (~ 6 km x 5.5 km). (β) Χάρτης Vs,30 για αντίστοιχη έκταση στην πόλη του Βόλου (πηγή: USGS).

Οι βάσεις ΓΣΠ που δημιουργούνται συνήθως στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων, και μεταξύ άλλων μπορεί να περιλαμβάνουν γεωλογικά, σεισμολογικά, εδαφικά και άλλα δεδομένα, δεν δημοσιοποιούν πολλά ή και όλα τα αποτελέσματα των έργων που τελειώνουν.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη» Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σε ακόμη πιο τοπικό επίπεδο, η συστηματική μέχρι σήμερα εκπόνηση γεωτεχνικών μελετών που συνοδεύουν τις άδειες δόμησης αλλά και τις μελέτες μεγάλων τεχνικών έργων (μετρό, γέφυρες, υποδομές, κ.λπ.) - τουλάχιστον στην Ελλάδα - δείχνει να υπάρχει πληθώρα αξιοποιήσιμου πρωτογενούς υλικού αλλά και ανθρώπινο δυναμικό για να έχει ρόλο σε μια προσπάθεια διασύνδεσης υλικού και μέσων. Το υλικό περιλαμβάνει κυρίως δεδομένα για τα οποία υπάρχει σημαντική έλλειψη, όπως, δειγματοληψίες από επιτόπου δοκιμές και από εργαστηριακά πειράματα. Η ενημέρωση μιας ή περισσότερων κεντρικών Βάσεων ΓΣΠ με τα δεδομένα αυτά, θα βοηθούσε στην καλύτερη γνώση της στρωματογραφίας και των εδαφικών ιδιοτήτων σε έκταση και βάθος. Το υλικό ωστόσο παραμένει μη αξιοποιημένο είτε επειδή είναι διάσπαρτο σε απομονωμένες βάσεις, ανοργάνωτο ή μη διαθέσιμο, είτε επειδή παραμένει σε αναλογική μορφή και σιγά-σιγά καταστρέφεται. Ενδεικτικές είναι οι εμπειρίες της διατριβής στο πρόβλημα αυτό (Ενοτ. 7.1.2.1).

Εν κατακλείδι, παρά την τεχνολογική ανάπτυξη των ΓΣΠ κι ενώ πληροφορίες και ενδιαφερόμενο κοινό υπάρχουν, μέχρι στιγμής είτε οι δυνητικές πηγές πληροφορίας δεν συμβάλλουν στη διάχυση πληροφορίας είτε δεν έχουν ακόμη οργανωθεί επαρκείς και ενημερωμένες υπηρεσίες με ΓΣΠ προς αυτήν την κατεύθυνση. Αυτό το πρόβλημα διαπιστώνεται εκ του αποτελέσματος ότι, δεν διαχέονται γεωτεχνικά και τεχνικο-γεωλογικά δεδομένα καθώς και σεισμολογικά δεδομένα, κατάλληλα για ΑΣΕΑ.

2.1.4 Επίκαιρες τάσεις για τα εδαφικά δεδομένα

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι να ενημερώσει ποιές πρωτοβουλίες λαμβάνονται και σε τι εύρος σχετικά με την επιθυμητή ή συναφή εδαφική πληροφορία.

Υπάρχει μια σύγχρονη τάση να συγκεντρωθεί, να οργανωθεί και να διαμοιραστεί εδαφική πληροφορία σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί φορείς που αναπτύσσουν σχετικές πρωτοβουλίες: το ESDAC (*European Soil Data Center*) το οποίο δημιουργήθηκε από το 1996 για την Ευρώπη, ο οργανισμός EGS (*Euro Geo Surveys*) για την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου συστήματος (γεωλογικών) πληροφοριών για το έδαφος, και πολλές ομάδες όπως η SDTF (*Soil Resources – Superficial Deposits Task Force*). Η τελευταία, για παράδειγμα, συλλέγει δεδομένα σχετικά με το επιφανειακό έδαφος και συνεργάζεται με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε δραστηριότητες όπως είναι η έρευνα εδαφικής χαρτογράφησης, η αναθεώρηση της ευρωπαϊκής βάσης εδαφικών δεδομένων *Ατλας*, η αξιολόγηση των οικοσυστημάτων στην Ευρώπη και της κατάστασης των εδαφών, και όμοιες. Μέχρι στιγμής οι εδαφικές πληροφορίες δεν είναι άμεσα διαθέσιμες, είναι μετά βίας εναρμονισμένες, και δεν επαρκούν για λήψη εδαφικών δεδομένων για τις ανάγκες των γεωτεχνικών μηχανικών παρά μόνον για χαρτογράφηση της επιφάνειας του εδάφους (για απεικονίσεις της διάβρωσης του εδάφους, της κάλυψη του εδάφους από κτίρια και υπόγειες υποδομές, και όμοιους σκοπούς). Είναι ωστόσο αξιόλογο ότι οι πολυετείς προσπάθειες συνεχίζονται και μέχρι στιγμής απέδωσαν προϊόντα, όπως είναι κάποιες υπερ-βάσεις που παρέχουν χάρτες (συνήθως σε κλίμακα 1:1.000.000) μέσα από μια παγκόσμια διάσταση. Ενδεικτικά

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη» Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

αναφέρονται: Η *Ευρωπαϊκή Βάση Εδαφικών Δεδομένων* (*European Soil Database - ESDB*), την οποία μπορεί να λάβει ηλεκτρονικά κανείς από το *ESDAC*, και ο *Χάρτης Εδαφικών Δεδομένων Άτλας της Ευρώπης* (*European Soil Atlas of Europe*), ως αποτέλεσμα της συνεργασίας περισσότερων από 40 υπηρεσιών εθνικού επιπέδου για να δημιουργηθεί ένας κοινός εδαφικός χάρτης της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σχετικά με τη σύγχρονη αυτή τάση συγκέντρωσης και διαμοίρασης εδαφικής πληροφορίας δεν πρέπει να παραληφθεί η αναφορά περισσότερων ακόμη ομάδων (συνήθως μη-κερδοσκοπικών οργανισμών) που δραστηριοποιούνται στην κατεύθυνση του καθορισμού προδιαγραφών και ανάπτυξης μοντέλων ανταλλαγής εδαφικών δεδομένων. Ενδεικτικά αναφέρεται: η Ομάδα Εργασίας για τα πρότυπα της εδαφικής πληροφορίας (*Working Group on Soil Information Standards - WGSIS*), η Ομάδα Εργασίας για την Ψηφιακή Γεωγραφική Πληροφορία (*Digital Geographic Information Working Group - DGIWG*), η διεθνούς δυναμικής Κοινοπραξία για τα Ανοικτά Γεωχωρικά Δεδομένα *OGC* (*Open Geospatial Consortium, 1994*), κ.ά. Στις ομάδες αυτές συνήθως συνεργάζονται κρατικοί οργανισμοί και πανεπιστήμια, αλλά και εταιρείες παραγωγής ΓΣΠ. Έχουν ως έργο μεταξύ άλλων και την προώθηση και ανάπτυξη ανοικτών προτύπων για ΓΣΠ και για υπηρεσίες συνεργαζόμενες με ΓΣΠ. Σύμφωνα με όσα αναφέρουν (*OGC*), επιδιώκουν να γίνει η γεωγραφική πληροφορία ένα βασικό στοιχείο της παγκόσμιας υποδομής πληροφοριών, με την ενσωμάτωση προτύπων σε μια κοινή γλώσσα ώστε να επιτυγχάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο ανταλλαγή επαρκών και αξιόπιστων δεδομένων. Παρεμφερείς πρωτοβουλίες λαμβάνουν κι άλλες ομάδες εργασίας, είτε από επιστημονικές ενώσεις όπως είναι η *IUSS* (*International Union of Soil Sciences, 1924*), είτε από οργανισμούς όπως είναι ο *OSGeo* (*Open Source Geospatial*) και η οργάνωση για την προώθηση μιας Παγκόσμιας Υποδομής Χωρικών Δεδομένων *GSDI* (*Global Spatial Data Infrastructure*). Στόχος τους είναι η προώθηση μιας διεθνούς συνεργασίας για τη συγκρότηση και υποστήριξη ενιαίας υποδομής χωρικών δεδομένων. Σημαντικές στον στόχο αυτό είναι και οι πρωτοβουλίες των φορέων που έχουν κατά καιρούς ασχοληθεί με θέματα διαλειτουργικότητας και θέσπισης προτύπων ανταλλαγής πληροφοριών, όπως είναι ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης *ISO* (*International Organization for Standardization, μη κυβερνητική οργάνωση με έδρα τη Γενεύη της Ελβετίας*) που απαρτίζεται από εκπροσώπους διαφόρων εθνικών οργανισμών τυποποίησης, η Κοινοπραξία του Παγκοσμίου Ιστού *W3C* (*World Wide Web Consortium*) η οποία είναι μια διεθνής κοινότητα στην οποία επίσης συνεργάζονται διάφοροι οργανισμοί, επιχειρήσεις και ιδιώτες από όλον τον κόσμο, κ.ά. Το έργο του *ISO* συνίσταται στην παραγωγή και διάθεση, σε παγκόσμιο επίπεδο, διεθνών προτύπων και προδιαγραφών για τον βιομηχανικό και τον εμπορικό τομέα, ενώ της *W3C* στην ανάπτυξη ανοικτών προτύπων για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ανάπτυξης του Παγκόσμιου Ιστού.

Σημαντικό σε όλες τις παραπάνω προσπάθειες είναι το κοινό ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση εδαφικών δεδομένων, την πρόταση κοινών μοντέλων, και την από κοινού ανάπτυξη λογισμικού ανοικτού κώδικα γεωχωρικών δεδομένων. Σημαντικό επίσης είναι ότι

συνοδεύονται από πρωτοβουλίες οικονομικής, οργανωτικής και νομικής υποστήριξης, καθώς και ότι υλοποιούν ερευνητικά προγράμματα. Τα προγράμματα συνήθως αναφέρονται σε δυο πυλώνες: την εναρμόνιση συστημάτων και ένα παγκόσμιο ΓΣΠ εδαφικής πληροφορίας. Ενδεικτικά αναφέρεται το *European INSPIRE* και η σχετική Οδηγία (2007) που αποτέλεσε παράδειγμα νομοθετικής προσέγγισης για όλη την περιφέρεια της ΕΕ. Το *INSPIRE* υποστηρίζει τη δημιουργία υποδομής χωρικών πληροφοριών στην Ευρώπη για θέματα που ενδέχεται να έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον. Σημαντικό ρόλο επίσης φαίνεται ότι θα αναλάβει η ανάπτυξη των ανοικτών δεδομένων και η αξιοποίηση των διαλειτουργικών ΓΣΠ που μπορούν να τα υποστηρίξουν. Τα ανοικτά δεδομένα ήδη ξεκίνησαν με κάποια ερευνητικά προγράμματα για γεωλογική πληροφορία, ενώ δράσεις αναπτύσσονται με τη μορφή εταιρειών (λ.χ. *Οργανισμός Ανοικτών Τεχνολογιών - ΕΕΛΛΑΚ*) ελεύθερου λογισμικού και λογισμικού ανοικτού κώδικα. Στο πνεύμα της διαμοίρασης γεωχωρικών δεδομένων είναι, για παράδειγμα, και η διαδικτυακή ηλεκτρονική υπηρεσία (ιστοσελίδα) της *ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ* η οποία προσφέρει δωρεάν περιήγηση σε χαρτογραφικό υλικό στους πολίτες από το αρμόδιο υπουργείο (ΥΠΕΚΑ). Δημιουργείται επομένως η αισιοδοξία ότι οι επίκαιρες αυτές τάσεις σύντομα θα συμπεριλάβουν και δεδομένα κατάλληλα για ΑΣΕΑ και γεωτεχνικούς μηχανικούς.

Κατά κοινή ομολογία των παραπάνω, σύγχρονα, εναρμονισμένα και διαλειτουργικά ΓΣΠ είναι απαραίτητα πλέον για να ενσωματώνουν τα δεδομένα σε ένα αξιόπιστο σύνολο πληροφοριών. Το WGSIS δεν αποβλέπει στο να αλλάξουν τα ΓΣΠ, απεναντίας επιδιώκει την ανάπτυξη κοινού εδαφικού μοντέλου δεδομένων όπου κάθε σύστημα να αλληλεπιδρά με όλα τα άλλα. Είναι ανεπιθύμητη η συνέχιση ύπαρξης πολλαπλών συστημάτων που έχουν συχνά τα ίδια αντικείμενα. Η εναρμόνιση δεδομένων κατά κοινή ομολογία θεωρείται χρονοβόρα διαδικασία. Επισημαίνεται γενικά ότι, η εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων προκειμένου να γίνει μια υπολογιστική επίλυση συγκεκριμένα εκτιμάται ότι αναλώνει το 80% του συνολικού χρόνου μιας επιστημονικής ανάλυσης. Το χειρότερο, η ανάλυση αυτή επαναλαμβάνεται σε κάθε νέα επίλυση. Είναι κοινή αντίληψη η ανάγκη εύρεσης μοντέλων που να κάνουν κατανοητές σημασιολογικά τις διαμοιραζόμενες εδαφικές πληροφορίες.

Όλες οι παραπάνω πρωτοβουλίες αναδεικνύουν την ανάγκη να συνοδευτούν από θεσμικές προσπάθειες. Πιθανώς να σημάνει μια νέα εποχή διαλειτουργικότητας όπου θα υποχρεώνεται η ελεύθερη ανταλλαγή πληροφοριών και η διασύνδεση των τοπικών βάσεων με μεγάλες βάσεις και ευρείας χρήσης διαδικτυακούς μηχανισμούς. Επιδίωξη της ενοποίησης δεδομένων και μεθοδολογιών είναι τα ΓΣΠ να εναρμονίζονται και να ανταλλάσσουν υπηρεσίες ενημερώνοντας ένα ευρύ δίκτυο. Οι προσπάθειες επιδιώκεται να οργανωθούν και σε τοπικό επίπεδο, προσκαλώντας είτε υποχρεώνοντας τη δημοσιοποίηση αποτελεσμάτων όπου κατά την κοινή αντίληψη συναντάται αυτή η έλλειψη. Οι μελέτες να υπόκεινται στη θεσμική υποχρέωση να πληρούν τη συμβατική προδιαγραφή να παραδίδουν

τα δεδομένα και αποτελέσματά τους σε μορφή ανοικτών δεδομένων και διαλειτουργικών ΓΣΠ.

Προς το παρόν, στο μεγαλύτερο μέρος των πόρων, η πληρότητα πληροφορίας, η έκταση εφαρμογής και η δυνατότητα πρόσβασης σε αυτήν παραμένει μάλλον περιορισμένη. Οι παραπάνω τάσεις είναι ωστόσο αξιόλογες επειδή ευαισθητοποιούν σε αντιλήψεις (όμοιες του ΟΚΧΕ παλαιότερα) ότι, «κοινοχρησία και διαλειτουργικότητα συμβάλλουν αποφασιστικά στην ανάπτυξη μιας χώρας», ότι «τα χωρικά δεδομένα δεν είναι ιδιοκτησία λίγων», ότι «οι μεθοδολογίες για τη μετατροπή των διαθέσιμων και των παραγόμενων γεωχωρικών δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες ώστε να χρησιμοποιούνται άμεσα και με τη μέγιστη ευχέρεια συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση του κοινού οφέλους, για τους παραγωγούς και τους χρήστες της γεωπληροφορίας».

Από τις παραπάνω επίκαιρες τάσεις και όσα εξηγούνται στη συνέχεια, γίνεται ακόμη περισσότερο κατανοητή η συμβολή και η προοπτική να αναπτυχθεί περισσότερο το διαλειτουργικό ΓΣΠ *GeoSeism*, η βάση πολυθεματικών εδαφικών και γεωτεχνικών δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH* και οι Σημαιολογικοί Διερμηνείς που προτείνονται με την εισήγηση της μεθοδολογίας *Πυθία*.

2.2 Τεχνολογία ΓΣΠ

2.2.1 Ονομασίες και ορισμοί της έννοιας ΓΣΠ

Στην πολυετή διαδρομή των ΓΣΠ, πολλαπλοί είναι οι ορισμοί και οι όροι με τους οποίους η ιδιαίτερη αυτή τεχνολογία συστημάτων πληροφοριών χρησιμοποιήθηκε. Άλλοτε εστιάζουν σε γραφικό περιβάλλον το οποίο διαθέτει οργανωμένη συλλογή πρακτικών ή μαθηματικών εργαλείων επεξεργασίας δεδομένων (λ.χ., CAD, μέθοδοι χωρικής ανάλυσης), άλλοτε σε βάσεις διαχείρισης ή και επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων. Ο λόγος μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα συστήματα αυτά με διάφορες εκφάνσεις και ονομασίες αναπτύχθηκαν αρχικά μόνον τεχνολογικά. Το ίδιο συνέβη λόγω της επίδρασης της πληροφορικής σε πολλά αντικείμενα και επιστημονικά πεδία.

Ενδεικτικά, πριν καθιερωθεί ο όρος «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - ΓΣΠ» ή «Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας - ΣΓΠ» (με τον διεθνή όρο GIS - *Geographic Information Systems* ή *Geographical Information Systems*), μερικές από τις πιο αντιπροσωπευτικές ονομασίες της βιβλιογραφίας είναι ¹: *Γεωγραφικής Αναφοράς Πληροφοριακό Σύστημα*, *Γεωπληροφοριακό Σύστημα*, *ΑΓΣΠ - Αυτόματο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών*, *ΓΣΠ σε Υπολογιστή*, κ.ά.

Συχνά οι ονομασίες αναφέρονται σε μια «Βάση γνώσεων» ή είναι συνώνυμες κάποιων επιμέρους λειτουργιών των ΓΣΠ, όπως ²: *Σύστημα Γνωστικής Βάσης*, *Σύστημα Διανεμημένων Βάσεων*, *Σύστημα Χωρικής Διαχείρισης Δεδομένων*, *Χωρικό Πληροφοριακό Σύστημα*, *Χωρική Βάση Δεδομένων*, *Ειδικού-σκοπού Ψηφιακή Βάση Δεδομένων*, *Γεωχωρική Βάση Δεδομένων*, *Γεωγραφική Βάση Δεδομένων*, *Γεω-Βάση Δεδομένων*, *Σύστημα Διαχείρισης Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων*, κ.ά.

Κάποτε οι ονομασίες συγχέονται με τα εξίσου δημοφιλή *Συστήματα Πληροφοριών Χρήσεων Γης (LIS)* ή τα *Συστήματα Σχεδιασμού με Κομπιούτερ CAD CAM* ή τα *Συστήματα Αυτόματης Χαρτογράφησης και Υποδομών (AM και FM)* ³, καθώς η ανάπτυξη των ΓΣΠ συμπεριλαμβάνει δικές τους λειτουργίες και για μεγάλο διάστημα εξελίσσεται παράλληλα με εκείνα.

¹ Διεθνείς όροι: *Geographically Referenced Information System, Geo-Information System, AGIS - Automated Geographic Information System, Computerized GIS, etc.*

² Διεθνείς όροι: *Knowledge base System, Distributed Database System, Spatial Data Handling System, Spatial Information System, Spatial Database, Special-purpose digital Database, GeoSpatial Database, Geographic Database, Geo-Database, Geographic DataBase Management System (dbms), κ.ά.*

³ Συστήματα Πληροφοριών Χρήσεων Γης (LIS - *Land Information Systems*): Χαρτογραφικές πλατφόρμες που συνδέονται με τη γένεση της επιστήμης της Γεωματικής. Αποθηκεύουν και

Στοιχεία της ιστορικής διαδρομής υπάρχουν σε αρκετούς ισότοπους. Παρατίθεται ωστόσο ένα σύντομο ιστορικό (Ενοτ. 2.2.2), με το οποίο γίνεται κατανοητό ποιές τάσεις και λειτουργίες των ΓΣΠ αντιπροσώπευαν οι κατά καιρούς ορισμοί καθώς και πώς κατάφεραν τελικά να μην αφομοιωθούν από άλλα πληροφοριακά συστήματα. Από μια άποψη, βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η ιδιαίτερη αυτή τεχνολογία κατόρθωσε να ενσωματώνει γενικά πολλές λειτουργίες και φυσικά να είναι συνεχώς εξελισσόμενη. Αναμενόμενη επομένως ήταν και είναι η σύγκλιση όλων των νέων λογισμικών προς μια μορφή όπου η απεικόνιση, η διαχείριση, η ανάλυση και ο σχεδιασμός αποτελούν αναπόσπαστα τμήματά τους, διαφοροποιούμενα μόνον στην έμφαση που δίνει κάθε σύστημα. Καθώς η σύγχρονη αυτή τάση της διαλειτουργικότητας (Ενοτ. 2.2.4) αποκτά μια ιδιαίτερη δυναμική ως φιλοσοφία, προβλέπεται να επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε όλα τα πληροφοριακά συστήματα και πιθανώς και στα ΓΣΠ. Με βάση και το πρότυπο *GeoSeism*, η διαλειτουργική εξέλιξη των ΓΣΠ που θα εξειδικεύουν στις εδαφικές συνθήκες τις κατάλληλες για εφαρμογή στην Γεωτεχνική Μηχανική, μπορεί να οριστεί ως εξής:

«Το **διαλειτουργικό ΓΣΠ** συνίσταται από δομικές μονάδες ΓΣΠ που μέσω διαλειτουργίας μοιράζονται και αλληλεπιδρούν πάνω σε οργανωμένες συλλογές δεδομένων, διαδικασιών και μέσων, για την επίτευξη κοινά συμφωνημένων στόχων που αφορούν τη διάχυση ολοκληρωμένων συνόλων γεωγραφικών δεδομένων, την πιο αυτοματοποιημένη δημιουργία γεωγραφικής πληροφορίας, την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του διαδικτύου, την εξοικονόμηση μηχανημάτων (*hardware*), λογισμικού (*software*) και διαθέσιμων (*resource ware*), τη δυνατότητα Ανοικτής Πρόσβασης και την τήρηση περιορισμών (χρήσης και δικαιωμάτων) των συνεργαζόμενων λογισμικών και βάσεων. Επιδιώκει τη συνεργασία μεταξύ γεωγραφικών βάσεων δεδομένων, μοντέλων που επιτελούν μια ή περισσότερες καθιερωμένες διαδικασίες των ΓΣΠ (συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, μοντελοποίησης, ενημέρωσης, διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης, απεικόνισης, και οπτικής περιήγησης στο γήινο περιβάλλον), καθώς και λογισμικών που διαλειτουργούν επιτελώντας ιδιαίτερες υπολογιστικές διαδικασίες».

Το «**διαλειτουργικό ΓΣΠ που εξειδικεύει στις εδαφικές συνθήκες**», είναι «κάθε διαλειτουργικό ΓΣΠ το οποίο διαθέτει τις εξής τρεις τουλάχιστον προδιαγραφές: (α) διαχειρίζεται

διαχειρίζονται με μεγάλη ακρίβεια (στη βάση δεδομένων τους) γεωγραφικά στοιχεία. Από τη δεκαετία του '70 μέχρι σήμερα δημιουργούνται πολυάριθμα τέτοια συστήματα επίσημα σε επίπεδο κρατών (ιδιαίτερα στην αμερικανική ήπειρο). Στην Ελλάδα σήμερα υποστηρίζουν ήδη το εθνικό κτηματολόγιο, στρατιωτικά και πολεοδομικά μητρώα.

Συστήματα Αυτόματης Χαρτογράφησης (*Automated Mapping AM*): Παρόμοια των CAD. Αποτελούν σχεδιαστικό περιβάλλον για υπολογιστή που δημιουργεί, διαμορφώνει, αναλύει και βελτιώνει ένα σχέδιο αυξάνοντας την παραγωγικότητα του σχεδιαστή και την ποιότητα του σχεδίου, τη διεπικοινωνία με κείμενο και με κάποια βάση.

Συστήματα AM/FM - *Automated Mapping and Facilities Management*: Δεν χρησιμοποιήθηκαν για χωρική ανάλυση και δεν διαθέτουν τοπολογικές δομές αλλά ειδικεύονται στη διαχείριση των υποδομών.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

πολυθεματικά εδαφικά δεδομένα, (β) εκτός της γεωγραφικής αναφοράς, τα περιγραφικά και γεωμετρικά δεδομένα του σχετίζονται χωρικά και με βάση μια τοπολογικά ενημερωμένη εδαφική ταυτότητα, και (γ) διαθέτει ή αλληλεπιδρά με έναν Σηματολογικό Διερμηνέα».

«Ο Σηματολογικός Διερμηνέας των ΓΣΠ είναι αλγόριθμος που ενσωματώνεται ως πρόσθετο στα (διαλειτουργούντα ή μη) ΓΣΠ και στόχο έχει την εξάλειψη της γνωσιακής ετερογένειας και την αυτοματοποιημένη ερμηνεία των χωρικών δεδομένων σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες».

2.2.2 Χρονική εξέλιξη της τεχνολογίας των ΓΣΠ

Στόχος της ενότητας είναι να εξηγήσει συγκεκριμένα (επί της Ενот. 2.2.1) ποιές τάσεις και λειτουργίες των ΓΣΠ αντιπροσώπευαν οι κατά καιρούς ορισμοί καθώς και πώς διαφαίνεται η διαλειτουργική εξέλιξη των ΓΣΠ.

Τα πρώτα ΓΣΠ εμφανίζονται από τη δεκαετία του '60 για να χαρτογραφούν μεγάλες επικράτειες όταν οι απογραφές των φυσικών πόρων και η θεωρητική μοντελοποίηση των φυσικών διεργασιών (αναλυτικές μέθοδοι) αρχίζουν να αποκτούν ιδιαίτερη σημασία. Το ιστορικό θέλει να επινοούνται μέσα από την πρακτική ιδέα της υπέρθεσης διαφανειών για την προβολή χάρτη, που εφαρμόστηκε χωρίς τη βοήθεια υπολογιστή ήδη από τη δεκαετία του '50 (πολεοδόμος Jacqueline Tyrwhitt) και τη δεκαετία του '60 (αρχιτέκτονας τοπίου Ian McHarg). Ωστόσο, η ανάπτυξη των ΓΣΠ βασίστηκε στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τις υπολογιστικές/επεξεργαστικές και απεικονιστικές δυνατότητες που παρέχουν.

Η πρώτη χρήση του όρου «Geographic Information System» σε άρθρο γίνεται το 1968 (Roger Tomlinson, 1968), εξελίσσοντας την τεχνολογία «Geo-Information System» (R. Tomlinson, 1967), από τον γεωγράφο που αναγνωρίστηκε κι ως «πατέρας των ΓΣΠ». Το σύστημα που σχεδίασε και ανέπτυξε (Canada Geographic Information System - CGIS, 1965), θεωρείται και το πρώτο ΠΣ που διαχειρίζεται δεδομένα σε επίπεδο μεγάλης επικράτειας. Προγενέστερα (CIA, τέλος του '60), είχε γεννηθεί η πρώτη συστηματική βάση δεδομένων με χαρτογραφικό υπόβαθρο. Πρόκειται για μια μεγάλη συλλογή δρόμων, υποδομών, ακτών, ποταμών, εθνικών συνόρων, την οποία συνοδεύει ένα πακέτο εφαρμογών καλούμενο CAM για να φτιάχνει χάρτες σε διάφορες κλίμακες.

Από την εποχή αυτή αρχίζει η επιστήμη της Γεωματικής, και τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται σε επίπεδο κρατών κυρίως στην αμερικανική ήπειρο ως συστήματα πληροφοριών Χρήσεων Γης (LIS - Land Information Systems). Είναι η δυνατότητα για την οποία θεωρήθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα ώστε συνεχίζουν από τη δεκαετία του '70 μέχρι σήμερα να δημιουργούνται πολυάριθμα επίσημα τέτοια συστήματα σε επίπεδο κρατών. Περιλαμβάνουν δεδομένα και απεικονίσεις γεωργικές, εδαφολογικές, δασικές, υδάτων, άγριας πανίδας, και συναφή. Από

τη δεκαετία του '80 ειδικά, τα LIS αναπτύσσονται σε όλες σχεδόν τις ευρωπαϊκές χώρες, προκειμένου να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες κτηματολογίου αλλά και άλλων διοικητικών καταγραφών για τη Γη.

Από τα μέσα της δεκαετίας '70 κάνουν την εμφάνισή τους τα CAD (Computer-Aided Drafting) ή CADD (Computer-Aided Design and Drafting), τα γνωστά στον ηλεκτρονικό σχεδιασμό EDA (Electronic Design Automation), στον μηχανολογικό MDA (Mechanical Design Automation) και στη βιομηχανία CAD CAM software (Computer Aided Machining). Είναι σχεδιαστικό περιβάλλον σε υπολογιστή που βασίζεται στην Ευκλείδεια γεωμετρία για να δημιουργεί, να διαμορφώνει, να αναλύει και να βελτιώνει ένα σχέδιο αυξάνοντας την παραγωγικότητα του σχεδιαστή και την ποιότητα του σχεδίου. Οι εφαρμογές CAD που αρχικά λειτουργούσαν σε δυσδιάστατο περιβάλλον, στη συνέχεια δίνουν τη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης μέσω μοντελοποίησης πολυπλοκότερων μορφών.

Η πρώτη γενιά ΓΣΠ, ξεκινά από το εργαστήριο του Χάρβαρντ (LCGSA, 1965-1991), που δημιουργεί μια σειρά λογισμικά: SYMAP (Fisher, 1963), GRID, ODYSSEY CALFORM, SYMVU, POLYVRT, κ.ά. και να ακολουθούν τα ανοικτού κώδικα MOSS, GRASS GIS. Η εμπορική εταιρεία τω ArcInfo και ArcView (ESRI, 1969) έγινε κυρίαρχη στην αγορά των ΓΣΠ, φτάνοντας με διαδοχικές επεκτάσεις στο σημερινό εξελιγμένο πακέτο ArcGIS. Επίσης, τις δημοφιλείς εμπορικές επιτυχίες όπως: MapInfo, ERDAS, SPANS GIS, PAMAP GIS, INTERGRAPH, SMALLWORLD, MIDAS, κ.ά. Μέχρι στιγμής λίγες είναι οι εταιρείες που μπορούν να αγοράσουν λογισμικά για εφαρμογές ΓΣΠ. Μόνον μετά τη δημιουργία των μικροεπεξεργαστών και την τεράστια εμπορική επιτυχία των πρώτων προσωπικών υπολογιστών επιταχύνθηκε η ανάπτυξη και ευρεία κυκλοφορία τους.

Από τη δεκαετία του '80, αρχίζει η «εποχή των PC» αλλά κι ένα έντονο ενδιαφέρον για τη χωρική διάσταση της πληροφορίας. Εμφανίστηκε ο όρος «χωρικές επιστήμες» (spatial sciences), γίνονται επενδύσεις από εταιρίες του ιδιωτικού τομέα στη νεο-αναπτυσσόμενη Επιστήμη της Πληροφορίας και εμφανίζονται εμπορικές και ερευνητικές προκλήσεις (λ.χ., τα συνέδρια SDH - Spatial Data Handling). Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η μείωση των τιμών των λογισμικών ΓΣΠ, η ανάπτυξη λογισμικού που επικεντρώνεται στη δημιουργία εξειδικευμένων εφαρμογών, η ανάπτυξη των αναλυτικών διαδικασιών, η ανάπτυξη λειτουργιών που επικεντρώνονται πλέον στις απαιτήσεις των χρηστών, η ποιότητα ανάλυσης, κ.λπ.

Από τη δεκαετία του '90 δίνεται έμφαση στις διεπαφές λογισμικού και τις συναφείς παρεχόμενες λειτουργίες. Αναπτύσσεται σημαντικά η τεχνολογία του λογισμικού ΓΣΠ τόσο σε PC όσο και σε σταθμούς εργασίας. Η ανάπτυξη γενικεύεται σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο, σε όλον το δημόσιο τομέα αλλά και σε ιδιωτικές εταιρείες και αποτελεί πλέον ζητούμενο σε κάθε αναπτυξιακό πρόγραμμα. Παρόλα αυτά, το λογισμικό ΓΣΠ περνά κρίση. Εταιρίες που επένδυσαν σε πολύ εξελιγμένα λογισμικά αποτυγχάνουν και κλείνουν. Από την κρίση αυτή, οι οικονομικοί αναλυτές της εποχής θεωρούν ότι πρέπει να θεμελιωθεί και

να αναπτυχθεί το θεωρητικό επιστημονικό υπόβαθρο της «τεχνολογίας ΓΣΠ», ειδάλλως θα απορροφηθεί από άλλες κοινές τεχνολογίες. Με την έλευση του διαδικτύου, καθιερώνεται πλέον η Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας (GIS science). Ένας από τους εμπνευστές της νέας αυτής επιστήμης θεωρείται ότι ήταν ο Michael Goodchild (καθηγητής Γεωγραφίας του πανεπιστημίου Santa Barbara στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α). Για την ανάπτυξή της, δημιουργούνται νέες πρωτοβουλίες (λ.χ., η σειρά συνεδρίων COSIT - Conferences on Spatial Information Theory, ESF GISDATA), ενώ παράλληλα αλλάζουν τίτλοι σε επιστημονικά περιοδικά, συνέδρια, προγράμματα σπουδών, κ.λπ.

Τα χρόνια αυτά, δίνονται και διάφοροι ορισμοί από πολλούς ερευνητές (Maguire, 1991). Θα μπορούσε κανείς να διακρίνει ότι οι περισσότερες διατυπώσεις είναι παρόμοιες ή και συμπληρωματικές μεταξύ τους εντάσσοντάς τες απλώς σε μια διαδικασία διαφοροποίησης των εξελισσόμενων αυτών συστημάτων από άλλες συγκαταρκινές εφαρμογές (λ.χ., βάσεις διαχείρισης δεδομένων, βάσεις αποθήκευσης χαρτών, σχεδιαστικά λογισμικά, και όμοια). Ως εκ τούτου, και τα ονόματα των ερευνητών ενδεικτικά μόνον μπορούν να αναφέρονται δίπλα σε συγκεκριμένους ορισμούς. Παρατίθενται μερικοί από τους πιο γνωστούς ορισμούς:

Η τεχνολογία ΓΣΠ ήδη διακρίνεται ως ένα «δυναμικό σύνολο εργαλείων για συλλογή, αποθήκευση, πρόσβαση, μετασχηματισμό και παρουσίαση χωρικών δεδομένων» (Burrough, 1986) ή και «για διαχείριση, ανάκτηση, και απεικόνιση» (Clarke, 1986). Πρόκειται για «ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης πληροφοριών (MIS - Management Information System) που επιπλέον επιτρέπει απεικόνιση χαρτών και γενικότερη πληροφορία» (Devine and Field, 1986), το οποίο «αποθηκεύει, αναλύει και παρουσιάζει χωρικές και μη χωρικές πληροφορίες» (Parker, 1988) που έχουν αναφορά ως προς τη Γη. Η Πληροφορία των ΓΣΠ, αναφέρεται σε φαινόμενα που εξελίσσονται στον γεωγραφικό χώρο αφού «η χωρική βάση δεδομένων του συστήματος αυτού παρέχει απαντήσεις σε ερωτήματα γεωγραφικής φύσης» (Goodchild, 1985). Σύντομα, ως ΓΣΠ χαρακτηρίζεται «οποιοδήποτε αυτοματοποιημένο σύστημα αποθηκεύει και διαχειρίζεται γεωγραφικής αναφοράς δεδομένα» (Aronoff, 1989) στα οποία εξακολουθεί να ισχύει ότι «η περιεχόμενη χωρική πληροφορία έχει εσωτερική διασύνδεση με την υπόλοιπη πληροφορία» (Berry, 1986). Οι περισσότεροι ερευνητές διακρίνουν για την τεχνολογία ΓΣΠ ότι πρόκειται για «ιδιαιτερο σύστημα όπου η βάση αντιστοιχεί σε χωρικά κατανομημένα στοιχεία που αναπαρίστανται γεωμετρικά με σημεία, γραμμές είτε επιφάνειες προκειμένου να ανακτούνται δεδομένα κατά τις ad hoc λειτουργίες που είναι τα ερωτήματα και η ανάλυση (Ducker, 1979, Smith et al., 1987, κ.ά.). Σύντομα, τα ΓΣΠ εφοδιάζονται και με «ανεπτυγμένες δυνατότητες γεωμοντελοποίησης» (Koshkarion, Tikunov, Trofimov, 1989). Για πολλά χρόνια και σε μεγάλες επικράτειες αξιοποιούνται τα ΓΣΠ ως «χάρτης υψηλότερης τάξης ο οποίος πάντοτε συνδυάζεται με μια βάση δεδομένων με ειδικές δυνατότητες χωρικά εξαρτώμενων δεδομένων, καθώς και με ένα σύνολο λειτουργιών εργασίας πάνω στα δεδομένα τα οποία είναι χωρικά προσδιορισμένα με γεωγραφικές συντεταγμένες» (Jeffrey and Estes, 1990).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Στις νεότερες γενιές εφαρμογών, κάποιοι ερευνητές βρίσκουν ότι σε σχέση με άλλες εξίσου δημοφιλείς εφαρμογές (λ.χ. CAD) οι δυνατότητες συλλογής και χαρτογράφησης αρχίζουν να «είναι περιορισμένες καθότι η επιδίωξη ενός συνηθισμένου ΓΣΠ είναι πρωτίστως η χωρική ανάλυση». Συγκεκριμένα ότι, αν το ΓΣΠ θεωρηθεί ως μια μορφή «map data-base» τότε «η ακρίβεια, η συνέχεια, η πληρότητα, κ.λπ., είναι τυπικά κατάλληλες (μόνον) για μικρής κλίμακας χαρτογράφηση» (William Huxhold, 1991). Τα περισσότερα συστήματα μοντελοποίησης εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες του μαθηματικού μοντέλου NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) για την περιγραφή και απεικόνιση σύνθετων καμπυλών και επιφανειών σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Τόσο τα ΓΣΠ όσο και τα συστήματα CAD, διαχειρίζονται γραφικά και μη γραφικά δεδομένα, ενώ μπορούν να περιγράψουν και να χρησιμοποιήσουν τοπολογικές σχέσεις (γειτνιάσεις) ανάμεσα στα αντικείμενα. Η βασική τους διαφορά, που έχει άμεση σχέση με τον όγκο των δεδομένων που εκάστοτε καλούνται να διαχειριστούν, είναι ότι «με τα ΓΣΠ επιχειρείται μοντελοποίηση του χώρου όπως είναι, ενώ με τα συστήματα CAD επιχειρείται δημιουργία χώρου που δεν υπάρχει ακόμα» (Newell και Sancha, 1990).

Το κοινώς αποδεκτό σε όλους τους ως άνω ορισμούς των ερευνητών, είναι ότι το ΓΣΠ «επεξεργάζεται όλα τα είδη πληροφορίας, γεωγραφικά και περιγραφικά, χωρικά και μη-χωρικά». Επίσης, ότι «συνδέει τις γεωγραφικές τοποθεσίες με περιγραφική πληροφορία, οπτικοποιώντας την, παράγοντας ταυτόχρονα θεματικούς χάρτες. Το ενδιαφέρον ως σήμερα εστιάζει στην ικανότητα των ΓΣΠ να συνοδεύουν χωρική πληροφορία με περιγραφική, δηλαδή κάθε αντικείμενο του χάρτη να συνδέεται με τις ιδιότητές του που είναι αποθηκευμένες σε μια ενσωματωμένη βάση. Εστιάζει επίσης στην οργανωμένη διαχείριση, δηλαδή, αποθηκεύει χάρτες ψηφιδωτής μορφής (grid), δημιουργεί νέους χάρτες με ομάδα αλληλοεπικαλυπτόμενων θεματικών επιπέδων (overlays), εκτελεί αυτομάτως μαθηματικούς υπολογισμούς δημιουργώντας μοντέλα προσομοίωσης χώρου ή και χρόνου, και κωδικοποιεί αντικείμενα, κ.ά. χωρίς τα προβλήματα διαχείρισης των παραδοσιακών τρόπων για τεράστιο αριθμό χαρτογραφικών στοιχείων.

Από το 1992 και ιδιαίτερα μετά την υπογραφή των πρωτοκόλλων δικτύου για τις προστατευόμενες περιοχές (λ.χ. WWF - Canada 2003) οι περιφερειακές και τοπικές κυβερνήσεις ενδιαφέρονται για τη διαχείριση των πολύπλοκων φυσικών οικοσυστημάτων. Τα χωρικά δεδομένα που καταγράφονται και αξιοποιούνται από τα ΓΣΠ αυξάνονται συνεχώς τόσο σε όγκο όσο και σε πολυπλοκότητα, γι' αυτό και για την διαχείριση τους χρησιμοποιούνται βάσεις που οργανώνουν τα μεγάλα δεδομένα είτε συσχετίζουν τις μέχρι πριν ασύνδετες πληροφορίες. Για τους ίδιους λόγους, οι βάσεις δεδομένων έχουν βρει εφαρμογή και στα σύνθετα πλέον προγράμματα. Με κριτήριο τις απαιτήσεις των αντίστοιχων χρηστών, τα απλά συστήματα πληροφοριών (ΠΣ) μέχρι τώρα διακρίνονται σε τρία επίπεδα:

- α) συστήματα επεξεργασίας δεδομένων ή λειτουργιών (Data Processing System - DPS),
- β) πληροφοριακά συστήματα διοίκησης (Management Information System - MIS), και
- γ) συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems - DSS).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Τα ΠΣ προοδευτικά εξελίσσονται σε γεωγραφικά συστήματα, καθώς οι εφαρμογές ΓΣΠ διεισδύουν σε άλλες εφαρμογές. Από την εποχή αυτή, τα ΓΣΠ δίνουν έμφαση «στην ανάλυση της πληροφορίας και στη δημιουργία χρήσιμων συμπερασμάτων για τη λήψη αποφάσεων» (DeMers 1997). Ο ορισμός γενικεύεται, ότι ΓΣΠ «είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών μηχανημάτων (hardware), λογισμικών συστημάτων (software), γεωγραφικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, σχεδιασμένα ώστε να επιτυγχάνουν τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον» (Redlands, 1990). Ο ίδιος ορισμός επαναλαμβάνεται ακριβώς όμοιος μέχρι πρόσφατα (λ.χ. Κουτσόπουλος, 2002).

Από τη δεκαετία του 2000, με το πρωτόκολλο του παγκόσμιου ιστού (WEB), την εξάπλωση του διαδικτύου και των δορυφορικών επιτευγμάτων νέας γενιάς υψηλής διακριτικότητας, εισέρχεται σε θεαματική εξέλιξη η Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας. Αναπτύσσονται γύρω από αυτήν πολλές επιστημονικές περιοχές σχετικές με τη γεωγραφία και τα ηλεκτρονικά μέσα (λ.χ. γεωπληροφορικής, χαρτογραφίας, γεωπτικοποίησης). Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για κάθε ζήτημα ανάλυσης και σχεδιασμού όπου η παράμετρος γεωγραφικός χώρος υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα. Το διαδίκτυο υπηρετεί ακόμη περισσότερο τις ιδιαίτερες δυνατότητές τους. Είναι ένα ισχυρό μέσο που επιτρέπει την απρόσκοπτη πλέον επικοινωνία, ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ των διασυνδεδεμένων χρηστών. Επιφέρει αλματώδη ανάπτυξη λογισμικών ΓΣΠ, ανάπτυξη και διάδοση λογισμικού ΓΣΠ ανοικτού κώδικα, ανάπτυξη εφαρμογών τύπου WebGIS, κ.λπ. Τα ΓΣΠ διεισδύουν στη διοίκηση (αστυνομία, πυροσβεστική, δημόσιοι οργανισμοί), στις επιστημονικές έρευνες (Γεωδαισία, Πολεοδομία, Αστικός Σχεδιασμός, Αρχιτεκτονική Τοπίου, Γεωλογία, κ.ά.), σε ερευνητικά ιδρύματα, επιχειρήσεις, και κυρίως στους πολίτες. Η επικοινωνία επιτρέπεται πλέον μέσα από ένα εικονικό περιβάλλον, που μπορεί να μην είναι φυσικό αλλά σίγουρα είναι πραγματικό. Το διαδίκτυο εξελίσσεται σε τέτοιο βαθμό που απέκτησε δύναμη και άλλαξε τη ζωή του ανθρώπου, όπως δηλώνει και ο όρος «κυβερνοχώρος» που επινοήθηκε (William Gibson, 1982) για να τον περιγράψει. Είναι ένας χώρος πληροφορίας, με τις δικές του χρήσεις και κοινωνικές διαστάσεις (Kalay, 2004). Η δύναμή του σαφώς πλέον επηρεάζει όλους τους επιστημονικούς κλάδους όπως και τα ΓΣΠ. Κι ενώ όλα δείχνουν ότι τα πληροφοριακά συστήματα ολοένα συγκλίνουν σε μια κοινή μορφή με λειτουργίες ΓΣΠ, είναι ίσως οι διαδιοικητικές κατευθύνσεις και οι επιταγές της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης για διαλειτουργικότητα που μπορεί να τους αλλάξουν πορεία. Από το 2010 περίπου, ενόψει και των επίκαιρων τάσεων για ανοικτά λογισμικά και ανοικτά δεδομένα, θεσμοθετείται μια διεθνής αντίληψη η οποία μπορεί να καθιερώσει τελικά τα διαλειτουργικά ΓΣΠ. Η διαλειτουργία των ΓΣΠ είτε η διαλειτουργία προγραμμάτων μέσω ΓΣΠ πιθανώς να αναδειχθεί σε ισχυρό μέσο επειδή είναι ικανή να συμπεριλάβει το διαδίκτυο κι επειδή επιτυγχάνει την επιθυμητή σύγκλιση αναδεικνύοντας ταυτόχρονα και τα δυνάμενα να συνεργάζονται μέρη (Ενοτ. 8.3.1).

Στη συνέχεια του ιστορικού αυτού, γίνεται μικρή αναφορά στους τύπους των εμπορικών λογισμικών εφαρμογής ΓΣΠ (Ενοτ. 2.2.3) και στη διαλειτουργική επικαιρότητα (Ενοτ. 2.2.4).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

2.2.3 Ταξινόμηση λογισμικών εφαρμογής ΓΣΠ

Στόχος της ενότητας είναι (σε συνέχεια του ιστορικού της Ενот. 2.2.2) να δώσει έμφαση στη σημερινή τεχνολογία εφαρμογών ΓΣΠ.

Μια ταξινόμηση των λογισμικών εφαρμογής ΓΣΠ γίνεται με βάση τη λειτουργία και τον τύπο τους, περιλαμβάνοντας τόσο τα εμπορικά (στα οποία υπάρχει μία πολιτική χρέωσης) όσο και τα ελεύθερα και τα ανοικτού κώδικα:

1. Επαγγελματικά (Professional GIS): Περιλαμβάνουν επιπλέον εργαλεία για τη δημιουργία και επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων, τη διαχείριση βάσεων, την προχωρημένη γεωεπεξεργασία και χωρική ανάλυση. Τέτοια λογισμικά είναι: *ArcGIS* (έκδοση *ArcInfo*) της εταιρείας ESRI, *Smallworld GIS*, *Quantum GIS 2.x*, κ.ά.
2. Επιτραπέζια (Desktop GIS): Εστιάζουν στη χρήση χωρικών δεδομένων παρά στη δημιουργία τους, παράγοντας χάρτες, αναφορές, και γραφικές παραστάσεις. Τέτοια λογισμικά είναι: *ArcGIS* (έκδοση *ArcView*) της εταιρείας ESRI, *Geomedia* της Intergraph, *Autocad Map* της Autodesk, *MapInfo*, U-DIG, *Global Mapper*, *Quantum GIS (QGIS)*, κ.ά.
3. Χειρός (Hand-held GIS): Είναι τα σχεδιασμένα για φορητή χρήση, όπως το *ArcPad* της ESRI, το *Smallworld Scout* και το *Autodesk Onsite*.
4. Mobile GIS: Περιλαμβάνουν το *ArcPad* καθώς και το *ArcGIS Mobile* για συλλογή και διαχείριση χωρικών δεδομένων σε υπολογιστές τσέπης (palm top) και κινητά τηλέφωνα.
5. Συστατικά ΓΣΠ (Component GIS): Πρόκειται για προγραμματιστικά εργαλεία και βιβλιοθήκες με τα οποία οι προγραμματιστές δημιουργούν έτοιμες εφαρμογές ΓΣΠ. Τέτοια συστατικά είναι: *Open Layers*, *Blue Marble Geographic GeoObjects*, *MapInfo MapX*, κ.ά.
6. Εξερευνητής ΓΣΠ (GIS viewer): Έτοιμες ελεύθερες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση και αναζήτηση ή και εκτύπωση γεωχωρικών δεδομένων. Τέτοια λογισμικά, είναι: *ArcExplorer* της ESRI, *GeoMedia* της Intergraph, *MapInfo's ProViewer*, *GeoExplorer* της Bundle, κ.α.
7. Server GIS ή Map Server: Φιλοξενεί υπηρεσίες και να τις διανέμει στους διάφορους χρήστες του διαδικτύου. Παρέχει εργαλεία με τα οποία γίνεται διαχείριση και παραμετροποίηση των υπηρεσιών του (προσθήκη, διαγραφή υπηρεσίας κ.ο.κ.). Οι εφαρμογές δημιουργίας χαρτών και εμφάνισης χωρικών δεδομένων απαιτούν την ύπαρξη ενός χαρτογραφικού εξυπηρετητή για να τρέξουν και να διαχέουν τη χωρική πληροφορία στο διαδίκτυο. Εξυπηρετητές είναι (αρχιτεκτονική τριών επιπέδων): το εμπορικό λογισμικό *ArcGIS Server* της εταιρείας ESRI, τα λογισμικά ανοικτού κώδικα *Geoserver* και *UMN Map Server*.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

8. ΓΣΠ διαδικτύου (WEB GIS) ή δικτυακό ΓΣΠ ή λογισμικό διαδικτυακού ΓΣΠ: Είναι λογισμικά με ραγδαία εξέλιξη που κυρίως εστιάζονται στη διάχυση γεωχωρικών δεδομένων και γεωπεξεργασιών στο διαδίκτυο και στο σύννεφο (cloud GIS). Ο χρήστης αυτών των συστημάτων δεν χρειάζεται να διαθέτει λογισμικά ούτε και δεδομένα, παρά μόνο κάποιον φυλλομετρητή διαδικτύου. Είναι το μόνο λογισμικό που μπορεί να δημιουργήσει ιστοσελίδες με δυναμικούς χάρτες. Τέτοια λογισμικά είναι: *ArcGIS Server* της ESRI, *Geoserver* της OSGEO, *Autodesk Mapguide*, *MapInfo MapXtreme*, *Map Server*, κ.ά. Δεν έχει καθοριστεί ακόμα ο ακριβής όρος και χρησιμοποιούνται παρόμοιες ονομασίες, όπως: Internet GIS, GIS on-line, Distributed Geographic Information (DGI), Web-based GIS, Web GIS. Μερικές φορές ωστόσο, ένα Internet GIS εννοεί κάτι διαφορετικό από Web-based GIS. Για παράδειγμα, το *On line GIS* περιέχει την πλατφόρμα *ArcGIS Online* για εύρεση, κοινή χρήση και δημιουργία χωρικών εφαρμογών.

Οι γνωστές τεχνολογίες Βάσεων διαχείρισης δεδομένων για ΓΣΠ, είναι: Spatial Oracle, SyBase, MS SQL Server, MS Access, Informix, Mysql, PostgreSQL/ POSTGIS, κ.ά.

2.2.4 Διαλειτουργικότητα και σημασιολογία στα ΓΣΠ

Στόχος της παρούσας και της επόμενης ενότητας είναι να προσδιορίσει πιο συγκεκριμένα το παγκόσμιο και πολυτομεακό ενδιαφέρον που υπάρχει στον 21ο αιώνα για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας, ότι οι σχετικές τεχνολογίες ενδιαφέρουν τα ΓΣΠ καθότι εδραιώνονται στον χώρο των πληροφοριακών συστημάτων καθώς και ότι η σημασιολογική προσέγγιση με καινοτόμα μοντέλα όπως είναι η προτεινόμενη Πυθία, και γενικά ο προτεινόμενος σημασιολογικός διερμηνέας, αποτελούν στο εξής σημαντικό ερευνητικό στόχο.

Ο όρος **διαλειτουργικότητα** (interoperability), αναφέρεται στη δυνατότητα μεταξύ (όμοιων ή παρόμοιων ή διαφορετικών) συστημάτων είτε προμηθευτών είτε διαφορετικών εκδόσεων του ίδιου προϊόντος να συνδέονται και να διαλειτουργούν απρόσκοπτα. Δηλαδή, να επικοινωνούν μεταξύ τους, να ανταλλάσσουν και να αναμειγνύουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων, χωρίς περιορισμούς στην πρόσβασή τους ή φραγμούς στην υλοποίηση, χωρίς ενδιάμεσες και πολύπλοκες μετατροπές. Η διεπαφή καθενός προϊόντος ή συστήματος είναι πλήρως δημόσια τεκμηριωμένη. Μπορεί να αναπτυχθεί εκ των υστέρων σε ήδη αναπτυγμένα προϊόντα, όπου έγινε χρήση των ανοικτών προτύπων (open standards).

Επισημαίνεται ότι, η διαλειτουργικότητα αναφέρεται τόσο σε επίπεδο χωρικών εννοιών, όσο και διαδικασιών και χωρικών δεδομένων. Για παράδειγμα, «διαλειτουργικός χάρτης» είναι ο ψηφιακός χάρτης που διαθέτει γεωχωρική πληροφορία και στον οποίο είναι δυνατή η αλληλεπίδραση του χρήστη με το ΓΣΠ, «διαλειτουργικά χωρικά δεδομένα» είναι μορφές αρχείων που ακολουθούν τα πρότυπα της διαλειτουργικότητας, «διαλειτουργικό ΓΣΠ (κατά

την έννοια του ορισμού της Ενот. 2.2.1)» μπορεί να είναι κάθε διαλειτουργικό πληροφοριακό σύστημα που πραγματεύεται γεωγραφικά δεδομένα. Ως διαλειτουργικότητα σε επίπεδο πληροφοριακών συστημάτων (σύμφωνα και με την Τεχνική Νομοθεσία για Μηχανικούς Πληροφορικής), ορίζεται η ικανότητα μεταφοράς και αξιοποίησης της πληροφορίας με ένα ομοιογενή και αποτελεσματικό τρόπο μεταξύ διάφορων οργανισμών. Στην πράξη, διαλειτουργικότητα είναι η ύπαρξη ανοιχτών, προτυποποιημένων δομών δεδομένων και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

Επισημαίνεται επίσης ότι, η έννοια «διαλειτουργικότητα» δεν συγχέεται με τη «συμβατότητα» (wikipedia). Η συμβατότητα εννοεί ότι ένα εργαλείο μπορεί να λειτουργήσει σε ένα περιβάλλον εφόσον συμφωνεί με όλα τα χαρακτηριστικά. Ειδικά όταν ο προμηθευτής υποχρεώνεται να προσαρμόσει το σύστημά του σε ένα άλλο κυρίαρχο το οποίο δεν χρησιμοποιεί ανοικτά δεδομένα. Στη διαλειτουργία ενός συστήματος είναι γνωστές όλες του οι διεπαφές.

Η διαλειτουργικότητα θεωρείται σημαντική δυνατότητα και γι' αυτό προωθείται η επίτευξη της μεταξύ των συστημάτων πληροφορικής και των οργανισμών. Εκτός από τα πλεονεκτήματα σε επίπεδο λειτουργίας (Ενот. 2.3.1), τα **πλεονεκτήματα** σε επίπεδο τηλεπικοινωνιών από τη διαλειτουργία των ΓΣΠ, είναι:

1. Η δυνατότητα να ενοποιούνται δεδομένα αλλά και μεθοδολογίες, εφόσον τα ΓΣΠ εξασφαλίζουν την τεχνική και σημασιολογική διαλειτουργικότητα.
2. Η δυνατότητα να αυξάνει η παραγωγικότητα των διαθέσιμων δεδομένων και να παρέχονται περισσότερα και καλύτερα προϊόντα και υπηρεσίες, καθώς η δυνατότητα διαμοίρασης και σύνδεσης συνιστωσών έχει θεμελιώδη σημασία για τη δόμηση μεγαλύτερων και πιο πολύπλοκων συστημάτων.
3. Η δυνατότητα να είναι ρυθμιζόμενα τα επίπεδα διαλειτουργίας ώστε να επιτρέπουν διαφορετικού επιπέδου προσβασιμότητα δεδομένων και περιορισμούς στα δικαιώματα χρήσης καθενός από τα συμβαλλόμενα λογισμικά.
4. Η δυνατότητα να χρησιμοποιείται το διαδίκτυο και οι εφαρμογές του σημασιολογικού ιστού.
5. Η δυνατότητα να εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες Πληροφορίας, να επιτελείται ενδιάμεση ανταλλαγή, να γίνονται οι λειτουργίες πιο αυτοματοποιημένα, και άλλες.

Ιστορικά, η διαλειτουργικότητα γεννήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, μέσα από την ανάγκη τεκμηρίωσης και μεγιστοποίησης δυνατοτήτων στις επικοινωνίες, καθώς καθημερινά συντελούνται δραστικές αλλαγές τόσο στην τεχνολογία όσο και στις εφαρμογές που αναπτύσσονται. Το παγκόσμιο και πολυτομεακό ενδιαφέρον που υπάρχει στον 21^ο αιώνα για την επίτευξη διαλειτουργικότητας γίνεται φανερό μέσα και από εντατικές επενδύσεις στα πληροφοριακά συστήματα. Είναι σημαντικός ο αριθμός και η εξειδίκευση των Οργανισμών που ασχολούνται με θέματα διαλειτουργικότητας και θέσπισης προτύπων ανταλλαγής πληροφοριών. Οι προδιαγραφές που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των

διαφόρων ΓΣΠ εφαρμόζονται υποχρεωτικά σε αρκετές χώρες του κόσμου. Γνωστοί τέτοιοι οργανισμοί, είναι: η Ομάδα Εργασίας για την Ψηφιακή Γεωγραφική Πληροφορία (*Digital Geographic Information Working Group - DGIWG*), η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Γεωγραφικών Δεδομένων (ΗΠΑ) (*Federal Geographic Data Committee - FGDC*), η οργάνωση για την προώθηση μιας Παγκόσμιας Υποδομής Χωρικών Δεδομένων, *Global Spatial Data Infrastructure (GSDI)*, στην οποία συνεργάζονται διάφοροι φορείς και ιδιώτες, ο Διεθνής Υδρογραφικός Οργανισμός (*International Hydrographic Organization - IHO*), η Κοινοπραξία για τα Ανοικτά Γεωχωρικά Δεδομένα (*Open Geospatial Consortium - OGC*), η οποία έχει ως έργο την προώθηση και την ανάπτυξη ανοικτών προτύπων για ΣΓΠ και για υπηρεσίες συνεργαζόμενες με ΣΓΠ, ο διεθνής οργανισμός ISO (*International Organization for Standardization*), η Κοινοπραξία του Παγκοσμίου Ιστού W3C (*World Wide Web Consortium*), κ.ά.

Οι προσπάθειες επίτευξης διαλειτουργικότητας εξελίχθηκαν σταδιακά από τα μέσα της δεκαετίας του '90. Η ανταλλαγή και χρήση δεδομένων μεταξύ των διαφόρων οργανισμών και των εταιρειών αρχικά γινόταν με μετατροπείς αρχείων δεδομένων και με πρότυπα μεταφοράς δεδομένων, ενώ αργότερα με αρχεία ανοικτής μορφής. Αναπτύχθηκαν οι εξής κυρίως διαφορετικές τεχνολογίες:

- (α) Επινόηθηκαν μετατροπείς δεδομένων (λ.χ., *Digital Line Graph - DLG*, *Map Overlay and Statistical System - MOSS*, *Geographic Information Retrieval and Analysis System - GIRAS*).
- (β) Θεσπίστηκαν πρότυπα μεταφοράς δεδομένων (λ.χ., *Spatial Data Transfer Standard - SDTS*, *Geography Markup Language - GM*).
- (γ) Καθιερώθηκαν αρχεία «ανοικτής μορφής» (λ.χ., *Vector Product Format - VPF*, *shapefiles*).
- (δ) Αναπτύχθηκαν διεπαφές άμεσης προσπέλασης προς άλλες εφαρμογές λογισμικού, καλούμενες ως *Direct read application programming interfaces - APIs* (λ.χ., *ArcSDE API*, *CAD Reader*).
- (ε) Ορίστηκαν κοινά μοντέλα δεδομένων στα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (λ.χ., οι προδιαγραφές ορισμού δεδομένων *OpenGIS Simple Features Implementation Specification for SQL*).
- (στ) Ενσωματώθηκαν στα ΓΣΠ τυποποιημένες διαδικτυακές υπηρεσίες (λ.χ. *Web Map Service - WMS*, *Web Feature Service - WFS*, *Arc Internet Map Server - ArcIM*).

Με την απόφαση 1720/1999/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (12 Ιουλίου 1999), υιοθετείται μία σειρά από μέτρα σχετικά με τη διαλειτουργικότητα, την πρόσβαση στα διευρωπαϊκά δίκτυα και την ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ κυβερνήσεων (*Interchange of Data between Administrations - IDA*). Το IDA είναι μια στρατηγική πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην οποία εφαρμόζονται οι εξελίξεις στους τομείς των Τηλεπικοινωνιών και Πληροφορικής για την υποστήριξη της ανταλλαγής ηλεκτρονικών πληροφοριών μεταξύ των Κυβερνήσεων των Μελών Χωρών. Επιδιώκει την

βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, την καλύτερη λειτουργία των εσωτερικών αγορών και την επιτάχυνση της υλοποίησης των κατάλληλων πολιτικών.

Κατόπιν της απόφασης αυτής, διαλειτουργικά δίκτυα και βάσεις δεδομένων συντονίζονται μαζί σε περιφερειακό επίπεδο ώστε να είναι διαχειρίσιμα εύκολα και αποτελεσματικά καθώς και να αποφευχθεί η δαπανηρή αναπαραγωγή λογισμικού. Επίσης, παρέχεται ένα ομοιογενές περιβάλλον διασύνδεσης για ηλεκτρονικές υπηρεσίες στη βάση της περιφερειακής οργάνωσης. Για παράδειγμα, κάθε νέα εφαρμογή και πληροφοριακό σύστημα του δημοσίου τομέα υποχρεούται να είναι συμβατή με το Ελληνικό πλαίσιο διαλειτουργικότητας.

Την τελευταία δεκαετία, πλέον των παραπάνω τεχνολογιών, τα περισσότερα ΓΣΠ μετατρέπουν δυναμικά (άμεσα) τα δεδομένα που διαβάζουν με ελάχιστη χρονική καθυστέρηση. Σημαντικό ρόλο σε αυτήν την βελτίωση έχει και η παράλληλη τάση μετάλλαξης των παραδοσιακών πληροφοριακών συστημάτων σε ΓΣΠ. Ειδικά μετά την ευρεία καθιέρωση των εφαρμογών γραφικής απεικόνισης της Γης στον Παγκόσμιο Ιστό. Το διαδίκτυο γίνεται απαραίτητος συνεργάτης για υπηρεσίες όπως είναι, ο εντοπισμός θέσης, η αυτοματοποιημένη αναζήτηση πληροφοριών, η υψηλή ανάλυση γεωγραφικών απεικονίσεων, καθώς και μια σειρά από σημαντικές ακόμη δυνατότητες που προσφέρουν εμπορικές εταιρείες (λ.χ., η Microsoft, η Google, η Amazon, η Yahoo). Μέσα από τις παροχές του Γεωιστού, των υπηρεσιών τύπου σύννεφου και όλες γενικά τις νεότερες εξελίξεις, τα διαλειτουργικών προδιαγραφών ΓΣΠ εντάσσονται στην υποδομή όλων των συστημάτων, δημοσίων υπηρεσιών, επαγγελματιών, επιστημόνων και εκατομμυρίων απλών χρηστών. Ενδεικτικές εφαρμογές της διαλειτουργικότητας στη νεώτερη τεχνολογία ΓΣΠ, είναι:

- (α) Η δυνατότητα ενός συστήματος να ενσωματώνει ένα γραφικό περιβάλλον διαδίκτυακής πλοήγησης στη γήινη επιφάνεια.
- (β) Η δυνατότητα δυο ή περισσότερων βάσεων να αλληλοκατανοούν τη χωρική πληροφορία και με βάση κριτήρια να την ανακτούν στο εσωτερικό τους είτε να την ανταλλάσσουν εξωτερικά μεταξύ τους.
- (γ) Η εξέλιξη του τρόπου δημιουργίας εφαρμογών ιστού, που επιτρέπουν σε έναν προγραμματιστή να ενσωματώσει προϊόντα και υπηρεσίες από διάφορες ανταγωνιστικές εταιρείες για να δημιουργηθούν νέες υπηρεσίες (mashup sites).
- (δ) Η ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού (Web 3.0 ή *Semantic Web*) (Berners-Lee Tim, 1994), η οποία επεκτείνει τον σημερινό Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web) (Berners-Lee Tim, 1990), ώστε η δημοσιευμένη πληροφορία να περιέχει σελίδες με πληροφορίες για τα δεδομένα (μεταδεδομένα), τις οποίες μπορούν να αναγνώσουν και να επεξεργαστούν οι μηχανές, και να εφαρμοστούν τεχνικές διασυνδεδεμένων δεδομένων και μηχανικής μάθησης.

Η ανάπτυξη διαλειτουργικότητας στα σύγχρονα ΓΣΠ, δεν αποτελεί μια απλή ρύθμιση αλλά προϋποθέτει θεσμική και τεχνική υποδομή. Ιδιαίτερη δυναμική αποκτά η φιλοσοφία και οι τεχνολογίες διαλειτουργικότητας μέσα από τις διοικητικές κατευθύνσεις του ευρωπαϊκού

πλαίσιο Διαλειτουργικότητας (2010) για τις δημόσιες υπηρεσίες, και την εφαρμογή των εθνικών πλαισίων ηλεκτρονικής διακυβέρνησης (πρόγραμμα επίκαιρο για την Ελλάδα από το 2012). Σε επίπεδο συστημάτων πληροφορικής και οργανισμών, έχει δημιουργηθεί ευρωπαϊκό και ελληνικό πλαίσιο διαλειτουργικότητας για την ηλεκτρονική διακυβέρνηση. Αυτό το πλαίσιο περιέχει τεχνικές προδιαγραφές και περιγράφει αναλυτικά τρόπους αποθήκευσης, μεταφοράς και παρουσίασης δεδομένων. Αναμένεται να αναδειχθεί ακόμη περισσότερο. Η διαλειτουργικότητα, μεταξύ δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων και καταναμημένων ΣΓΠ, μπορεί να επιτευχθεί σε έξι διαφορετικά επίπεδα (Bishr, 1998) - καθένα φυσικά από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα ευρύ τεχνολογικό πεδίο (Σχ. 2.2.4):



Σχήμα 2.2.4 Επίπεδα διαλειτουργικότητας μεταξύ δύο ΣΓΠ (Προσαρμοσμένο από τον Bishr, 1998).

- (1) Η οργανωτική διαλειτουργικότητα (organizational interoperability): αφορά στην επίτευξη συνεργασίας μεταξύ διαφόρων οργανισμών και φορέων ώστε να επιτύχουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το μοίρασμα και την ανταλλαγή πληροφοριών.
- (2) Η νομική διαλειτουργικότητα (legal interoperability): αφορά τα νομικά ζητήματα της πνευματικής ιδιοκτησίας, τις οδηγίες, τους κανονισμούς, και όλες τις σχετικές παραμέτρους κατά την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ φορέων, οργανισμών, εταιρειών, κ.λπ.
- (3) Η πραγματιστική διαλειτουργικότητα (pragmatic interoperability): αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών σε επίπεδο υπηρεσιών και διαδικασιών. Προϋπόθεση είναι η συμβατότητα με το πλαίσιο αναφοράς (context), τις προθέσεις, τις ευθύνες και τις συνέπειες, κατά την ανταλλαγή πληροφοριών.
- (4) Η εννοιολογική διαλειτουργικότητα (conceptual interoperability): αφορά την υιοθέτηση εννοιολογικών μοντέλων δεδομένων τεκμηριωμένων με τρόπον ώστε να μπορούν στη συνέχεια να επαναχρησιμοποιηθούν ολικά ή μερικά. Συνδέεται με την συνθετικότητα (composability) του εννοιολογικού μοντέλου, δηλαδή την ικανότητα επιλογής, συνδυασμού και επαναχρησιμοποίησης των δεδομένων σε διαφορετικά συστήματα και για διαφορετικούς σκοπούς.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

(5) Η δυναμική διαλειτουργικότητα (dynamic interoperability): αφορά τη δυνατότητα να εντοπίζονται οι αλλαγές στην κατάσταση των υπόλοιπων συστημάτων για να επιτύχουν ανταλλαγή πληροφοριών την καταλληλότερη χρονική στιγμή.

(6) Η τεχνική διαλειτουργικότητα (technical interoperability): αφορά τα τεχνικά προβλήματα που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν για να επιτευχθεί πρακτικά η ανταλλαγή πληροφοριών.

2.2.5 Ερευνητικές προκλήσεις για τεχνολογίες σημασιολογικής διαλειτουργικότητας

Επειδή η **σημασιολογική διαλειτουργικότητα** (Σχ. 2.2.4) είναι το θεωρητικό και ερευνητικό αντικείμενο στο οποίο επιδιώκει να αναπτύσσεται η *Πυθία* και η βασική ιδέα των σημασιολογικών διερμηνέων της παρούσας διατριβής, παρατίθενται στη συνέχεια λίγα περισσότερα στοιχεία.

Η διαλειτουργική τεχνολογία γεννά επιπρόσθετα την ανάγκη για **εναρμόνιση δεδομένων και προτύπων**, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η **ενοποίηση ετερογενών δεδομένων**. Ενδιαφέρουσες προτάσεις διατυπώνονται στο θέμα αυτό, π.χ. Worboys and Deen (1994), Bishr (1997), Sheth (2005), Laurini et al. (2009), κ.ά. Η εναρμόνιση απασχολεί τα τελευταία χρόνια προκειμένου να επιτυγχάνεται η πρόσβαση στην πληροφορία, η τεχνητή νοημοσύνη και τα διαλειτουργικά συστήματα. Ως προς το τεχνικό μέρος, αναφέρεται σε μια διάταξη επιπέδων, από τα δικτυακά πρωτόκολλα έως τις κοινότητες των χρηστών. Όλες οι αυτόνομες πηγές και ο Παγκόσμιος Ιστός, παρέχουν τεράστιες ποσότητες ετερογενών πληροφοριών. Οι μορφές ετερογένειας μπορεί να είναι Συστημικές, Σχηματικές Συντακτικές, είτε Σημασιολογικές. Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή:

Η **συντακτική διαλειτουργικότητα** (syntactic interoperability), αφορά τη σύνταξη (δηλαδή τον συμβολισμό ή τη μορφή ή τη δομή) ανάμεσα σε διαφορετικές διεπαφές, παραστάσεις δεδομένων και λειτουργιών.

Η **σημασιολογική διαλειτουργικότητα** (semantic interoperability), αφορά τη δυνατότητα μετάδοσης νοήματος μέσα από τα δεδομένα. Είναι η ικανότητα των συστημάτων πληροφορικής να ανταλλάσσουν δεδομένα με σαφή, κοινή έννοια. Διακρίνεται συνήθως σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

Η Ορολογική ή ονομαστική διαλειτουργικότητα, αναφέρεται σε διαφορετικές τιμές δεδομένων, ενδεχομένως από διαφορετικά σύνολα δεδομένων ή φυσικές γλώσσες, που αναφέρονται στα ίδια αντικείμενα (naming heterogeneity).

Η Εννοιολογική ή γνωσιακή διαλειτουργικότητα, αναφέρεται σε διαφορετικές εννοιοποιήσεις των αντικειμένων, όπου η σημασία δεν είναι καθολική, δεν είναι μοναδική, και είναι χρονικά μεταβαλλόμενη (cognitive heterogeneity).

Σύμφωνα με μια άλλη θεώρηση (Sheth, Ramakrishnan and Thomas, 2005), διακρίνονται τρεις τύποι σημασιολογίας:

Implicit Semantics (υπονοούμενη): σημασιόματα τα οποία υπονοούνται στις περισσότερες πηγές στο διαδίκτυο, αν και δεν αναπαριστώνται ρητά σε σύνταξη επεξεργάσιμη από υπολογιστές μπορούν εύκολα να εξαχθούν.

Formal Semantics (τυπική): νοήματα τα οποία αναπαριστώνται σε καλά ορισμένη σύνταξη με βάση συγκεκριμένους συντακτικούς κανόνες, γίνονται εύκολα επεξεργάσιμα από υπολογιστές, και προσδίδουν ευφύια στις εφαρμογές μέσω αυτοματοποιημένων συλλογισμών.

Powerful (soft) Semantics (ισχυρή): νοήματα που έχουν τη μορφή τεχνικών ανάκτησης ασαφούς πιθανοτικής γνώσης για να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματα της περιορισμένης εκφραστικότητας που συνοδεύει την τυπική σημασιολογία.

Διευκρινίστηκαν τα παραπάνω επειδή η διαφορά ανάμεσα στη σημασιολογική και τη συντακτική διαλειτουργικότητα δεν είναι πάντοτε διακριτή. Κατά την έρευνα συναντήθηκε ένα απροσδιόριστο πλήθος διαφορετικών και συχνά σύνθετων τεχνολογιών που δημιουργούνται και εξελίσσονται στον χώρο των δικτύων και των υπολογιστών. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει μικτές τεχνολογίες, τόσο ανταλλαγής δεδομένων όσο και συντακτικής δομής και μετασχηματισμού δεδομένων και σημασιολογικού εμπλουτισμού μαζί. Μια συνήθης πρακτική με την οποία επιδιώκεται να αντιμετωπισθεί η συντακτική ετερογένεια, είναι η χρήση καθορισμένης μορφής δεδομένων, επικοινωνιακών πρωτοκόλλων, και με εργαλεία όπως είναι σήμερα τα πρότυπα των γλωσσών XML και SQL. Μια επίσης επίκαιρη πρακτική είναι η προσθήκη μεταδεδομένων που συνδέουν κάθε στοιχείο δεδομένων σε ένα ελεγχόμενο, κοινόχρηστο λεξιλόγιο και η δημιουργία αλγορίθμων σε ρόλο διαμεσολαβητή («proxy contexts»), που να διευκολύνουν τη διαμοίραση πληροφορίας τόσο εντός όσο και διασυστημικά.

Από την άλλη, η σημασιολογική ετερογένεια εντάσσεται περισσότερο στην ευρύτερη επιστήμη της σημειολογίας (semiotics). Συγκροτεί σύνολα τα οποία ερμηνεύονται με σημασία σημασιόματου, κάνοντας κατανοητό το σημαίνον μήνυμα που μεταφέρεται υποκαθιστώντας κάποια άλλα σύνολα. Περιλαμβάνει, εκτός από τη σύνταξη και τη σημασιολογία, την πραγματολογία (pragmatics) που μελετά πώς το περιβάλλον ή τα συμφραζόμενα (context) επηρεάζουν την απόδοση ερμηνείας. Αποτελεί την πιο συχνή και ταυτόχρονα πιο δύσκολα αντιμετωπίσιμη αιτία προβλημάτων διαλειτουργικότητας. Στοχεύει στην απόδοση ερμηνείας σε οτιδήποτε εμφανίζεται, σε αντίθεση με τη σύνταξη (syntax) που αναφέρεται στη δομή και τα πρότυπα (patterns), στα οποία κάτι εκφράζεται.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Αφορά την κοινή ερμηνεία, τη συσχέτιση και την τεχνογνωσία για τους χρήστες των διαφόρων πραγμάτων και ζητημάτων (Davis, 2004). Η σημασιολογία (semantics) ουσιαστικά αφορά τη μελέτη των συσχετίσεων ανάμεσα σε ένα σύστημα σημάτων, όπως λέξεις, φράσεις και προτάσεις, και την ερμηνεία τους (Cardoso and Sheth, 2006). Σήμερα, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την επίτευξη σημασιολογικής διαλειτουργικότητας σε επίπεδο δεδομένων εντοπίζεται στην έλλειψη κοινής κατανόησης που δημιουργείται λόγω της απόδοσης διαφορετικής ερμηνείας και της χρήσης διαφορετικής σύνταξης, διαφορετικών προτύπων και διαφορετικών προσεγγίσεων μοντελοποίησης σε κάθε οργανισμό (Λαμπαθάκη, 2012). Ειδικότερα, η γνωσιακή (σημασιολογική) ετερογένεια υφίσταται όταν η ίδια έννοια (λ.χ. φαινόμενο, οντότητα) περιγράφεται με διαφορετικούς τρόπους, λόγω διαφορετικών προσεγγίσεων της. Κατά την άποψη της διατριβής, συνίσταται στην απόδοση διαφορετικών ονομασιών, ορισμών και χαρακτηριστικών στα ίδια σημειωτικά συστήματα (λ.χ. εδαφικά δεδομένα, χωρική πληροφορία, γεωγραφικές οντότητες). Στο επίπεδο των εφαρμογών συνιστά σημασιολογικό πρόβλημα και οφείλεται στις διαφορετικές ερμηνείες των χωρικών δεδομένων που καταγράφονται στις βάσεις δεδομένων. Αντιμετωπίζεται δύσκολα, ειδικά όταν δεν υπάρχει τουλάχιστον ένα ελάχιστο σύνολο κοινών ορισμών μεταξύ των εννοιών στις εφαρμογές των ΓΣΠ.

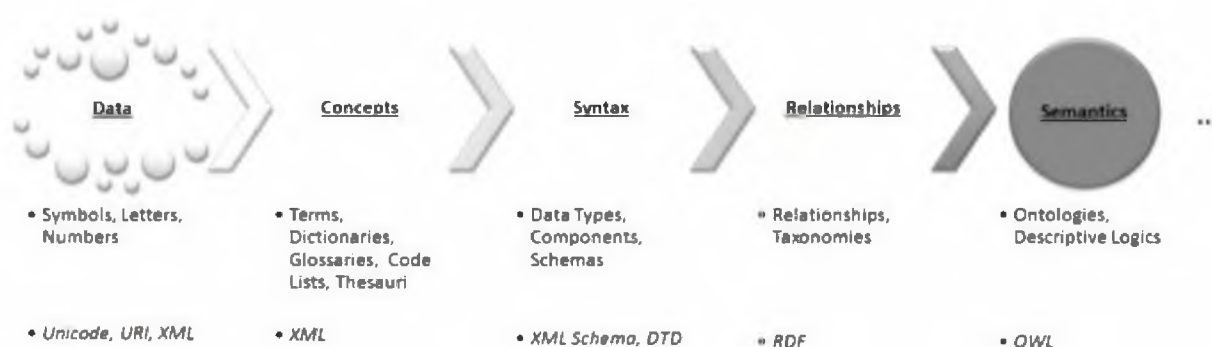
Τα προβλήματα σημασιολογικής ετερογένειας αντιμετωπίζονται με τεχνικές και μεθοδολογίες, όπως είναι τα πρότυπα, οι οντολογίες, οι κοινές γλώσσες μοντελοποίησης (π.χ. UML, OWL) και οι σχετικοί αλγόριθμοι που έχουν προταθεί. Μια απλή τεχνική θεωρούνται, όπως προαναφέρθηκε, τα Μεταδεδομένα (Metadata) που προσθέτουν κάποια σημασία στα Δεδομένα (Data). Διακρίνονται σε Συντακτικά Μεταδεδομένα (Syntactic Metadata), Δομικά Μεταδεδομένα (Structural Metadata) και Σημασιολογικά Μεταδεδομένα (Semantic Metadata). Εμφανίζονται σε διάφορους τύπους (Cardoso and Sheth, 2006), οι οποίοι καταγράφουν:

Είτε μη συμφραζόμενη (non-contextual) και πολύ γενική πληροφορία (λ.χ., περιεχόμενο, μέγεθος, ημερομηνία δημιουργίας ενός εγγράφου), είτε πληροφορία αφορούσα τη δομή του περιεχομένου (πώς τα δεδομένα διευθετούνται σε ένα σύνολο), είτε πληροφορία που προσθέτει τις σχέσεις, τους κανόνες και τους περιορισμούς στα συντακτικά και τα δομικά μεταδεδομένα, είτε πληροφορία για το περιβάλλον ή τα συμφραζόμενα (context) που αναγνωρίζουν μοτίβα από σχέσεις και συνδέσεις ανάμεσα σε αντικείμενα και δεδομένα και χρησιμεύουν για την κατανόηση του περιεχομένου σε βάθος.

Οι τεχνικές και οι μεθοδολογίες συχνά αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως συστατικά ή πρότυπα «Σημασιολογικής Διαλειτουργικότητας» ή ως «σημασιολογικό φάσμα» (Selvage, Wolfson, Zurek, and Kahan, 2006) γνωστά και ως Semantic Interoperability Assets (IDABC, Content Interoperability Strategy, 2005). Ενδιαφέρουσα περιγραφή του φάσματος (Σχ. 2.2.5) και των σημασιολογικά εμπλουτισμένων διασυνδεδεμένων πρότυπων δομών πληροφορίας γίνεται σε πρόσφατες εργασίες (Λαμπαθάκη, 2012). Ενδεικτικά συστατικά, με σημασιολογική και συντακτική όψη, περιλαμβάνουν:

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

- (α) Γλωσσάρια, τα οποία είναι λίστες όρων με ορισμούς και μεταφράσεις, των οποίων η ερμηνεία και αναπαράσταση έχει προσυμφωνηθεί από τους εμπλεκόμενους οργανισμούς.
- (β) Ελεγχόμενα λεξιλόγια, που περιέχουν λίστες από προτυποποιημένους όρους και έχουν συνταχθεί από ομάδες και κοινότητες για συγκεκριμένο σκοπό.
- (γ) Κοινό κωδικολόγιο, τα οποία περιγράφουν με προκαθορισμένους κοινά αποδεκτούς κωδικούς την πληροφορία που ανταλλάσσεται.
- (δ) Τύπους δεδομένων, οι οποίοι προδιαγράφουν με ενιαίο τρόπο τον πρωταρχικό τύπο και τους περιορισμούς στην τιμή που επιτρέπονται να πάρουν τα δεδομένα.
- (ε) Δομικά Συστατικά, που ομαδοποιούν την ανταλλασσόμενη πληροφορία σε δομές με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε άλλες περιστάσεις.
- (στ) XML Σχήματα, τα οποία καθορίζουν πώς πρέπει να δομούνται τα έγγραφα XML (eXtensible Markup Language) που ανταλλάσσονται για την ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων (αν και ο παλιός τρόπος ανταλλαγής με αρχεία ASCII ισχύει).
- (ζ) Ταξονομίες, που χρησιμοποιούνται για την οργάνωση ενός συνόλου τυποποιημένων όρων, εννοιών, κατηγοριών και λέξεων-κλειδιών. Μια ταξινόμια οργανώνεται σε ιεραρχική δομή ώστε να αποδώσει τη σχέση πατέρα-γόνου σε όρους και έννοιες και συχνά σχετίζεται με τη διαχείριση περιεχομένου και γνώσης.
- (η) Οντολογίες, που προδιαγράφουν και επικοινωνούν με τυπικό τρόπο τις οντότητες, τις έννοιες και τις συσχετίσεις που κρύβονται πίσω από τα δεδομένα που ανταλλάσσουν διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα.



Σχήμα 2.2.5 Στοιχεία και Πρότυπα Σημασιολογικής Διαλειτουργικότητας [Λαμπαθάκη, 2012].

Παρατίθενται ακόμη μερικά στοιχεία που επισημαίνουν πόσο επίκαιρη και σημαντική θεωρείται για την παγκόσμια επιστημονική και την οικονομική κοινότητα η περαιτέρω ανάπτυξη μοντέλων όπως είναι ο προτεινόμενος από την παρούσα σημασιολογικός διερμηνέας. Επιδιώκεται η διαλειτουργικότητα των ΓΣΠ και ιδιαίτερα η επίλυση της σημασιολογικής ετερογένειας. Η σημασιολογία αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία αναφορικά με την επόμενη γενιά του Παγκόσμιου Ιστού – όπου, η έμφαση μεταβαίνει από

την απλή δημοσίευση περιεχομένου (Web 1.0) και την κοινωνική δικτύωση (Web 2.0) στην αυτοματοποίηση της ανάκτησης, πλοήγησης και ανταλλαγής περιεχομένου και στην απόκτηση «νοημοσύνης» από την πλευρά των πληροφοριακών συστημάτων. Ειδικότερα, για τον Σημασιολογικό ιστό η έμφαση δίνεται στην ανάγκη δημιουργίας συνδέσεων μεταξύ των δεδομένων, σημασιολογικού εμπλουτισμού και διαθεσιμότητας σε επεξεργάσιμη μορφή. Ένα παράδειγμα των δυνατοτήτων που προσφέρονται μέσα από σημασιολογικά διασυνδεδεμένα και διαθέσιμα δεδομένα αποτελεί το *Wolfram Alpha* (Computational Knowledge Engine, 2009), μια μηχανή αναζήτησης και εξαγωγής γνώσης που αντί να επιστρέφει μια λίστα με ιστοσελίδες στις οποίες να ανατρέχει ο χρήστης προκειμένου να βρει απάντηση στις λέξεις-κλειδιά που εισήγαγε (όπως λειτουργούν οι παραδοσιακές μηχανές αναζήτησης), επιστρέφει αυτοματοποιημένα την πραγματική απάντηση που χρειάζεται. Ακόμη ένα παράδειγμα είναι το ανοικτού κώδικα ΓΣΠ *Simple Sloppy Semantic Database* (S3DB) που προτάθηκε από το 2006, και βασίζεται στα μοντέλα του Σημασιολογικού Ιστού για τη διαχείριση ετερογενών δεδομένων.

Σημασιολογικά πρότυπα όπως τα παραπάνω έχουν επίκαιρο ερευνητικό ενδιαφέρον. Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές φαίνεται να επιδιώκουν την επινόηση τέτοιων τεχνολογιών. Επιδιώκουν δηλαδή, τα δεδομένα να δημοσιεύονται στον παγκόσμιο ιστό με μορφή που να είναι αναγνώσιμη από μηχανές, να ερμηνεύονται ρητά, να διασυνδέονται με άλλες πηγές δεδομένων. Η μετάβαση αυτή από το Διαδίκτυο των εγγράφων, το οποίο δημιουργείται και απευθύνεται σε ανθρώπους, στο διαδίκτυο των Δεδομένων, όπου οι μηχανές θα διαχειρίζονται με πρωτεύοντα ρόλο τη γνώση (λ.χ. Διασυνδεδεμένα Δεδομένα - Linked Data, Internet of Things) σίγουρα έχει ανάγκη από τους προτεινόμενους «Σημασιολογικούς Διερμηνείς» για τα εδαφικά δεδομένα. Η επίτευξη όμως των ανώτερων επιπέδων διαλειτουργικότητας (Σχ. 2.2.4) θεωρείται αρκετά δύσκολη. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά σχετικά προβλήματα που χρειάζονται να επιλυθούν. Το έκτο ειδικά επίπεδο αποτελεί σημαντικό ερευνητικό στόχο. Οι έρευνες συνεχίζονται καθώς το κλειδί στο ζήτημα της διαλειτουργικότητας των ΓΣΠ θεωρείται η επίλυση της σημασιολογικής ετερογένειας (Κάβουρας και συν., 2015).

Για τους παραπάνω λόγους ενδιαφέρει και το καινοτόμο μοντέλο του Σημασιολογικού Διερμηνέα, το οποίο προτείνει η παρούσα έρευνα. Προς το παρόν αναπτύχθηκε ο αλγόριθμος *Πυθία*, μόνον για γεωτεχνικά δεδομένα. Εφόσον εξελιχθούν περισσότερο, οι Σημασιολογικοί Διερμηνείς είναι δυνατόν να δίνουν αυτοματοποιημένα την απάντηση σε χρήστες ή και σε διαλειτουργικά λογισμικά. Την απάντηση να συνοδεύει ταυτόχρονα ως μεταδεδομένο είτε το ανοικτό πρότυπο είτε ο πηγαίος κώδικας που χρησιμοποιούν. Σε κάθε περίπτωση, αναζητούνται μεθοδολογίες όπως η προτεινόμενη, που να κάνουν δυνατή τη δημιουργία υψηλής ποιότητας σημασιολογικών μοντέλων στα ΓΣΠ.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

2.3 Εφαρμογή των διαλειτουργικών ΓΣΠ στην Γεωτεχνική Μηχανική

2.3.1 Αρχές και Λειτουργίες

Παρότι επικράτησαν συχνά συγκεχυμένοι ορισμοί μέχρι σήμερα, η τεχνολογία των ΓΣΠ δεν μπορεί πλέον να ταυτίζεται με ένα συγκεκριμένο λογισμικό εφαρμογών. Αυτό γίνεται αντιληπτό από το ιστορικό και τις επίκαιρες τάσεις των ΓΣΠ, που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Μετά και την ίδρυση της επιστήμης της Γεωγραφικής Πληροφορίας, η συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία των ΓΣΠ ακολουθεί ήδη ιδιαίτερη πορεία. Το κυρίαρχο προνόμιό της υπήρξε η δυνατότητα να συνδέει περιγραφική πληροφορία στα χωρικά δεδομένα καθώς και η δυνατότητα να ενσωματώνει πολλές διαδικασίες. Επιπλέον προνόμιό της είναι η καταλληλότητα να διαλειτουργεί τα ανεξάρτητα ΓΣΠ, μικρά και μεγάλα, περιλαμβανομένων όσων εξειδικεύουν στις εδαφικές συνθήκες (λ.χ. *GeoSeism*). Κάνει εφικτό τον εμπλουτισμό καθενός των συνεργαζόμενων μερών με την εξειδίκευση και τις δυνατότητες των άλλων.

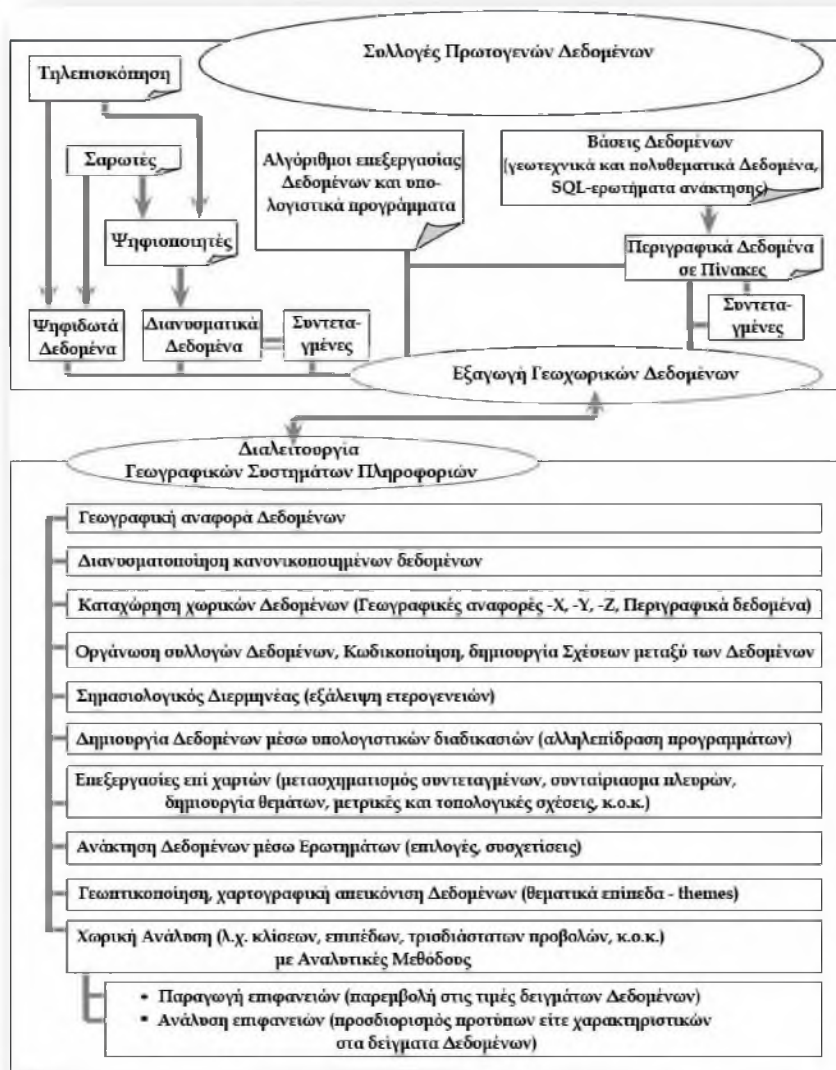
Στο *Σχήμα 2.3.1.1* περιγράφεται η καθιερωμένη εργασία των ΓΣΠ που εξειδικεύουν στις εδαφικές συνθήκες. Στο πάνω μέρος του σχήματος, απεικονίζονται τα εισαγόμενα δεδομένα. Τέτοιου είδους δεδομένα καταχωρούνται στο σύστημα ως περιγραφικά δεδομένα είτε ως θεματικά επίπεδα διανυσματικής ή κανονικοποιημένης δομής. Στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος, απεικονίζονται οι απλές επεξεργασίες και οι χαρτογραφήσεις καθώς και οι πιο παραγωγικές (υπολογιστικές) διαδικασίες. Τα διαλειτουργικά ΓΣΠ περιλαμβάνουν:

(α) Δεδομένα: Η γεωγραφική πληροφορία συνίσταται από χωρικά και περιγραφικά πολυθεματικά δεδομένα σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες. Για παράδειγμα, το περιεχόμενο του *HelGeoRDaS_uTH* περιλαμβάνει: γεωτεχνικά, γεωλογικά, γεωφυσικά, υδρολογικά, τοπογραφικά, εργαστηριακά, δικτύων.

(β) Γεωγραφική Αναφορά Δεδομένων: Η θέση των γεωγραφικών δεδομένων προσδιορίζεται με βάση ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων (αντί μιας απλής χωρικής αναφοράς). Για παράδειγμα, στη βάση *HelGeoRDaS_uTH* όλα τα δεδομένα προσδιορίζουν μέσω της γεωγραφικής αναφοράς τους (X, Y, Z) μια συγκεκριμένη θέση στον γεωγραφικό χώρο.

(γ) Σχεσιακή οργάνωση Δεδομένων: Τα δεδομένα είναι οργανωμένα σε συλλογές με κοινά πεδία, σε μια ή περισσότερες βάσεις γεωγραφικών δεδομένων (σχεσιακές ή αντικειμενοσχεσιακές). Οι βάσεις *HelGeoRDaS_uTH* και *Καλλιπάτειρα* επιπλέον έχουν και αναφορά σε γεωτεχνικούς κωδικούς (Ενοτ. 4.3.2.2). Το χαρακτηριστικό αυτό τις εξειδικεύει ως βάσεις «πολυθεματικών εδαφικών και γεωτεχνικών δεδομένων».

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 2.3.1.1 (Πάνω:) Δυνατές πηγές συλλογής χωρικών εδαφικών δεδομένων (geospatial data). (Κάτω:) Βασικές λειτουργίες και παραγωγικές διαδικασίες των διαλειτουργικών ΓΣΠ με έμφαση στις εδαφικές συνθήκες που ενδιαφέρουν τη Γεωτεχνική Μηχανική.

(δ) Λειτουργίες διαχείρισης και επεξεργασίας Δεδομένων: Υπάρχουν τυποποιημένες διαδικασίες είτε αναπτύχθηκαν κώδικες για επιπλέον διαδικασίες, προκειμένου να είναι εφικτή η επεξεργασία και η εύκολη και ελεγχόμενη προσπέλαση των δεδομένων (ανάκτηση, συσχέτιση, κ.λπ.).

(ε) Χαρτογραφικές επεξεργασίες: Υπάρχουν (είτε εξασφαλίζονται διαλειτουργικά) οι χαρτογραφικές λειτουργίες (οπτικοποίησης, γεωεπεξεργασίας, γεωαναφοράς, ψηφιοποίησης, δόμησης τοπολογιών, γεωκωδικοποίησης, κ.λπ.), οι υπολογιστικές διαδικασίες χωρικής

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

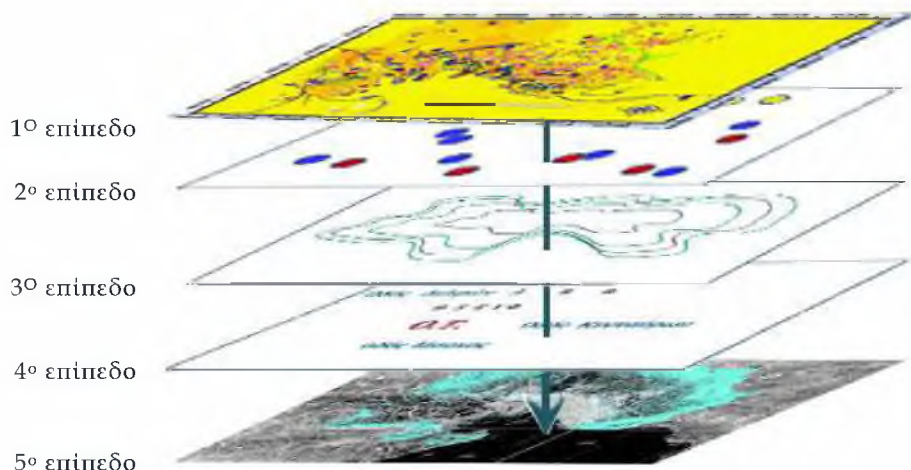
ανάλυσης (λ.χ. οι αναλυτικές μέθοδοι για τη δημιουργία νέων δεδομένων και την εκτίμηση της χωρικής μεταβολής κάθε εξεταζόμενου φαινομένου), κ.ά.

(στ) Τεχνολογίες Διαλειτουργικότητας: Υπάρχει το κατάλληλο λογισμικό, τα μηχανικά μέσα και τα διαθέσιμα. Για παράδειγμα, υπάρχουν μεταδεδομένα, οντολογίες, κ.λπ.

(ζ) Αλληλεπίδραση: Είναι εφικτή η τεχνική διαλειτουργικότητα των συνιστώμενων προγραμμάτων μεταξύ τους (βάσεις δεδομένων, λογισμικά, εφαρμογές διαδικτυακής πλοήγησης, χαρτογραφικός εξοπλισμός, κ.λπ.). Η διαχείριση της συνεργασίας γίνεται είτε από κεντρικές μονάδες (λ.χ. *GeoSeism*, *Καλλιπάτειρα*) είτε διασυστημικά.

Σημειώνονται στη συνέχεια πρακτικές παρατηρήσεις αναφορικά με τις λειτουργίες των ΓΣΠ, οι οποίες διαπιστώθηκαν και κατά την εφαρμογή του διαλειτουργικού ΓΣΠ *GeoSeism* (Κεφ. 7).

Κάθε χαρτογραφική εργασία γίνεται πάνω σε αλληλοκαλυπτόμενα αλλά ανεξάρτητα θεματικά επίπεδα (καλούνται θέματα ή επιθέματα ή thematic layers ή themes) (Σχ. 2.3.1.2)¹.



Σχήμα 2.3.1.2 Χρήση πολλών (εδώ πέντε) θεματικών επιπέδων για την απεικόνιση γεωγραφικής περιοχής.

Η γεωοπτικοποίηση και η παραγωγή θεματικών ηλεκτρονικών χαρτών μιας γεωγραφικής περιοχής μοντελοποιείται με δυο δομές (μορφές) δεδομένων (Πιν. 2.3.1) :

¹ Οι έννοιες «επίπεδα» στις απεικονίσεις των ΓΣΠ δεν χρησιμοποιούνται ταυτόσημα με τις έννοιες της θεωρίας ΔΙΚΩ (Κεφ. 5.2), ούτε την έννοια «πολυθεματικά δεδομένα» (Κεφ. 4).

- α) τη διανυσματική μορφή (vector format), που αποτελείται από ένα σύνολο από διακριτές γεωμετρικές οντότητες, που μπορεί να είναι είτε σημεία (points) αποκλειστικά, είτε γραμμές (lines) αποκλειστικά, είτε πολύγωνα (polygons) αποκλειστικά. Βασική αρχή σε ένα ΓΣΠ είναι ότι δεν μπορούν να συνυπάρχουν δύο και περισσότερα είδη οντοτήτων στο ίδιο θεματικό επίπεδο. Τα αντικείμενα προέρχονται από σχεδιασμό με τεχνικές CAD, ή από ψηφιοποίηση ψηφιδωτών αρχείων.
- β) την κανονικοποιημένη ή ψηφιδωτή ή πλεγματική μορφή (raster format), που εμφανίζει μια συνεχή επιφάνεια η οποία αποτελείται από ένα σύνολο μικρών βασικών μονάδων (φατνίο, ψηφίδα, εικονοστοιχείο - picture element, pixel) με ακανόνιστο ή κανονικό σχήμα ίσου μεγέθους. Όταν η κανονικοποιημένη δομή είναι κανναβική (grid format), δηλαδή τα φατνία είναι τετράγωνα και ίσου μεγέθους, παρουσιάζει μεγάλο θεωρητικό και πρακτικό ενδιαφέρον. Τα αντικείμενα προέρχονται από σάρωση χαρτών, δορυφορικές εικόνες, κ.λπ.

Πίνακας 2.3.1 Ενδεικτική σύγκριση μεταξύ διανυσματικών και ψηφιδωτών αρχείων.

ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ	ΨΗΦΙΔΩΤΕΣ ΔΟΜΕΣ
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Σαφή γραφικά με απλές γεωμετρικές μορφές, επομένως εύκολη μοντελοποίηση. 2. Ενιαία δομή των δεδομένων. 3. Πλήρης περιγραφή της τοπολογίας. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Γραφικά σε μορφές όπως γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο, επομένως εύκολη προσομοίωση της πραγματικότητας. 2. Εύκολη υπέρθεση και συνδυασμός με τηλεσκοπικά δεδομένα. 3. Γρήγορη λήψη και ενημέρωση αρχείων. 4. Ευπαρουσίαστοι χάρτες ακόμη και με περιορισμένη επεξεργασία.
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Η χωρική ανάλυση όπως και η χρήση φίλτρων μέσα σε σχηματικούς τύπους πολυγώνων είναι αδύνατη. 2. Η σχεδίαση μπορεί να είναι δαπανηρή ιδιαίτερα για υψηλής ποιότητας χάρτες. 3. Η προσομοίωση είναι δύσκολη επειδή κάθε ενότητα έχει διαφορετική τοπολογική μορφή. 4. Η τεχνολογία ψηφιοποίησης είναι δαπανηρή, απαιτεί σύνθετο εξοπλισμό και ανθρώπινη απασχόληση. 5. Δυσκολίες κατά την υπέρθεση διανυσματικών χαρτών ή διανυσματικών με ψηφιδωτούς. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Μεγάλοι όγκοι γραφικών δεδομένων. 2. Είναι δυνατό να δημιουργηθούν σύνδεσμοι δικτύων. 3. Οι προβολικοί μετασχηματισμοί είναι χρονοβόροι. 4. Συχνά το πλήθος των ψηφίδων επιφέρει μη αναγνωρίσιμα σχήματα και απώλεια μεγάλου μέρους πληροφοριών.

Καθεμιά από τις παραπάνω δομές δύναται να χρησιμοποιεί διαφορετικά αρχέτυπα προκειμένου να απεικονίσει τα ίδια μοντέλα αλλά όχι να αποθηκεύσει σε αυτά την ίδια

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

περιγραφική πληροφορία. Για τον λόγο αυτό η παρούσα έρευνα προτιμά να δημιουργεί πολυθεματικά επίπεδα συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα και των δυο δομών. Παρατίθενται ενδεικτικά μερικοί από τους χάρτες που παρήχθησαν (Σχ. 2.3.1.6, Σχ. 2.3.1.7). Πριν παρουσιαστούν οι χάρτες αυτοί, επεξηγούνται οι λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν μέσα από το λογισμικό χαρτογραφίας (ArcGIS) και τα εργαλεία που αποφάνηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα. Ειδικότερα:

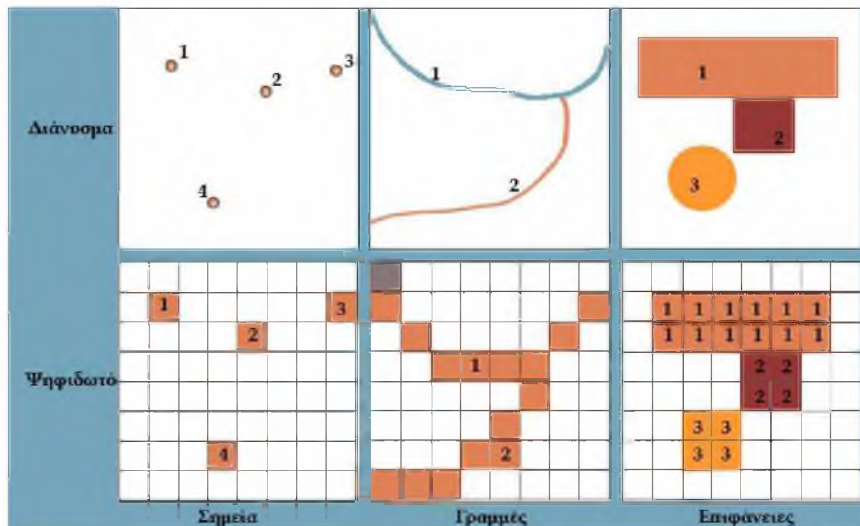
Στην ψηφιδωτή απεικόνιση (Σχ. 2.3.1.3), ένα πλέγμα σημείων με πληροφορία, ορίζεται από γραμμές και στήλες. Κάθε φαντίο χαρακτηρίζεται από: (1) Ένα ζεύγος συντεταγμένων που προσδιορίζουν τη θέση του στον πίνακα (αριθμός γραμμής και αριθμός στήλης), και (2) μια τιμή που αντιπροσωπεύει το χαρακτηριστικό ή την ιδιότητα των γεωγραφικών δεδομένων στη θέση αυτή.

Κάθε τέτοιο ιχνοστοιχείο έχει μια τιμή. Τα ψηφιδωτά επίπεδα δεν έχουν στη γεωγραφική απεικόνιση συνδεδεμένο πίνακα με λεπτομερή Δεδομένα, όπως έχουν τα διανυσματικά επίπεδα πληροφορίας. Η χρήση αυτού του μοντέλου είναι κατάλληλη για την υλοποίηση του μοντέλου πεδίων. Δηλαδή, την αναπαράσταση συνεχών δεδομένων και τη μεταβολή της τιμής κάποιου γεωγραφικού χαρακτηριστικού από θέση σε θέση, όπως είναι λ.χ. οι χρήσεις γης, η ποικιλότητα του εδάφους, η χωρική διακύμανση της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης, του λόγου ενίσχυσης της σεισμικής εδαφικής κίνησης, η στάθμη του υπόγειου ύδατος, κ.λπ.

Στη διανυσματική απεικόνιση (Σχ. 2.3.1.3), κάθε γεωγραφικό στοιχείο υλοποιείται ως οντότητα γεωμετρικού αντικείμενου. Τα περιγραφικά Δεδομένα αποθηκεύονται μαζί με τη γεωγραφική πληροφορία στον πίνακα που συνοδεύει κάθε τέτοιο αντικείμενο. Η διανυσματική δομή θεωρείται καταλληλότερη για την υλοποίηση του μοντέλου αντικειμένων. Δηλαδή, για την περιγραφή των διακριτών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων σε μια περιοχή, λ.χ. ερευνητικές θέσεις, ακτογραμμή, ποτάμια, Οικοδομικά Τετράγωνα, ισοϋψείς του εδάφους, ισοβαθείς του γεωλογικού (ή του σεισμικού) υποβάθρου, κ.λπ. Προτιμάται λόγω της ακρίβειας που προσφέρει κατά την αναπαράσταση γεωγραφικών δεδομένων, της οικονομίας σε χώρο αποθήκευσης, της ποιότητας της απεικόνισης που προσεγγίζει αυτήν του αναλογικού χάρτη. Ακόμη ένας λόγος που προτιμάται μπορεί να αποδοθεί και στη μεγάλη ποικιλία λειτουργιών χωρικής ανάλυσης που παρέχονται συνήθως για τα γεωγραφικά δεδομένα της δομής αυτής από τα εξελιγμένα λογισμικά χαρτογραφίας ΓΣΠ. Δεν είναι τυχαίο ότι και η ψηφιοποίησης χαρτών έχει ως αποτέλεσμα την αποθήκευση συνόλων γεωγραφικών γεωμετρικών στοιχείων (με τις συντεταγμένες τους) σε διανυσματική μορφή χάρτη.

Σε κάθε θεματικό επίπεδο, το αντικείμενο έχει γεωμετρική μορφή κάποιου από τα τρία αρχέτυπα. Τα αρχέτυπα είναι γεωγραφικά προσδιορισμένες οντότητες (feature data) που αποτυπώνονται ως γεωμετρικά σχήματα, τα οποία είναι (Σχ. 2.3.1.3):

- α) **σημειακές οντότητες** (σημεία, κόμβοι). Θεωρούνται μηδενικής διάστασης. Αναπαριστούν είτε γεωγραφικές οντότητες με πολύ μικρό μέγεθος σε σχέση με την κλίμακα αναπαράστασης είτε πολύ συγκεκριμένες θέσεις στον χώρο. Προσδιορίζονται μέσω των συντεταγμένων (λ.χ., ζεύγος -X, -Y στον διδιάστατο χώρο).
- β) **γραμμικές οντότητες** (γραμμές, τόξα). Αναπαριστούν γεωγραφικές οντότητες μιας διάστασης. Κάθε μια γραμμική οντότητα (γραμμή ή τόξο) αποτελείται από σύνολο ζευγών συντεταγμένων, που όταν ενωθούν παριστάνουν το γραμμικό σχήμα ενός αντικειμένου του χάρτη (πολύ στενό για να απεικονισθεί σαν επιφάνεια). Η οντότητα προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες των δύο κορυφών της, δηλαδή του σημείου αρχής και του σημείου τέλους του. Θεωρείται κλειστή όταν η αρχή και το τέλος συμπίπτουν.
- γ) **επιφανειακές οντότητες** (επιφάνειες, πολύγωνα). Θεωρείται αρχέτυπο δύο διαστάσεων. Αναπαριστά κλειστό σχήμα επιφάνειας, της οποίας τα όρια περικλείουν ομογενείς περιοχές και δύναται να είναι συμπαγής είτε κενή στο εσωτερικό του περιγράμματός της. Προσδιορίζεται από την κλειστή τεθλασμένη γραμμή που σχηματίζει το περιγράμματό του.



Σχήμα 2.3.1.3 Τα γεωμετρικά αρχέτυπα που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση διανυσματικών και ψηφιδωτών δομών δεδομένων.

Πέρα από τον κλασικό διαχωρισμό μεταξύ κανονικοποιημένης και διανυσματικής δομής και τα αντίστοιχα μοντέλα (πεδίων, αντικειμένων), χρησιμοποιούνται ακόμη δύο προχωρημένες δομές: το Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (ΔΑΤ) - (Triangulated Irregular Network - TIN) και τα πολύγωνα Thiessen. Στην εφαρμογή (Κεφ. 7) χρησιμοποιήθηκαν μόνον σε ειδικές περιπτώσεις δεδομένων, λ.χ., σχεδίαση κλίσεων πρανών.

Η χωρική διάσταση των γεωγραφικών αντικειμένων περιλαμβάνει τη θέση, τις χωρικές τους ιδιότητες και τις χωρικές τους σχέσεις. Οι χωρικές σχέσεις προσδιορίζουν τον τρόπο που τα

γεωγραφικά αντικείμενα συνδυάζονται στο χώρο, ποσοτικά είτε και ποιοτικά. Κατηγοριοποιούνται συνήθως σε μετρικές (metric) και σε τοπολογικές (topological) σχέσεις. Οι μετρικές σχέσεις αφορούν σχέσεις απόστασης (distance), εγγύτητας (proximity), κατεύθυνσης (direction) και προσανατολισμού (orientation).

Οι τοπολογικές σχέσεις αφορούν σχέσεις συνδεσιμότητας (connectivity) και συνάφειας (contiguity) των γεωγραφικών αντικειμένων. Οι τοπολογικές σχέσεις των γεωγραφικών αντικειμένων καταγράφονται σε τοπολογικές δομές, η οποίες είναι διανυσματικές (Σχ. 2.3.1.4).

Μερικά πλεονεκτήματα των τοπολογικών σχέσεων, είναι (Κάβουρας κ. συν, 2015): Βοηθούν στον έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων επισημαίνοντας λάθη όπως είναι λ.χ., η μη συνδεσιμότητα των αντικειμένων που απαρτίζουν ένα δίκτυο, επικάλυψη ή ύπαρξη κενού χώρου μεταξύ πολυγωνικών αντικειμένων που έπρεπε να εφάπτονται, παράληψη καταχώρησης στοιχείων για τα σημεία τομής γραμμικών αντικειμένων, πολλαπλή καταχώρηση ίδιων αντικειμένων, κ.λπ. Ορίζονται ανεξάρτητα από τη θέση, τον προσανατολισμό, το σχήμα και το μέγεθος των αντικειμένων και, επομένως, παραμένουν αμετάβλητες κάτω από οποιοδήποτε μετασχηματισμό του συστήματος αναφοράς συντεταγμένων.

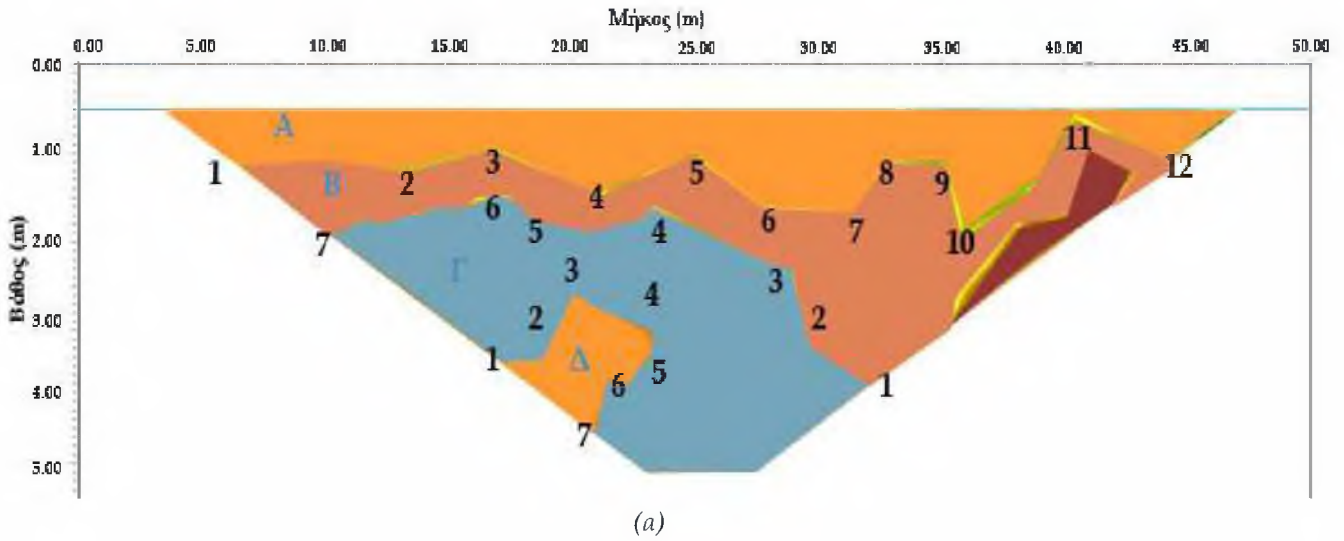
Τοπολογικές δομές επιχειρήθηκε να αναπτυχθούν και κατά την εφαρμογή του *GeoSeism* σε ελληνική πόλη (Κεφ. 7). Στόχος ήταν να οργανωθεί η εδαφική πληροφορία κάθε εδαφικής στρώσης σε μορφή πολυγωνικών γεωγραφικών αντικειμένων. Ένα ενδεικτικό αποτέλεσμα δείχνεται στο Σχήμα 2.3.1.4, όπου με κεφαλαία γράμματα (Α, Β, Γ, Δ) κωδικοποιείται η εδαφική στρώση, ενώ με αριθμούς το περίγραμμα καθεμιάς. Η καταγραφή των τοπολογικών σχέσεων στις εδαφικές στρώσεις είναι χρονοβόρα και συχνά πολύπλοκη εργασία, ενώ αυξάνει και τον απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης στο υπολογιστικό σύστημα. Γι' αυτό □□ραμερίστηκε και δεν ολοκληρώθηκε στην παρούσα έρευνα. Γίνεται ωστόσο εδώ αναφορά σε αυτήν επειδή εφαρμόστηκε και αποφάνηκε ότι η εν καιρώ αυτοματοποίησή της στις συλλογές γεωγραφικών αντικειμένων θα αποδίδει σημαντικά πλεονεκτήματα ή και οφέλη.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν, επιπλέον πλεονεκτήματα είναι:

(α) Οι γεωτεχνικοί κωδικοί (σχεσιακά κλειδιά τα οποία προτείνει η παρούσα έρευνα, Ενот. 4.3.2.2) είναι δυνατόν να προσδιορίζουν αναλλοίωτες τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των εδαφικών στρώσεων στον συνεχή γεωμετρικό χώρο και να βοηθούν στην αυτόματη γεωκωδικοποίησή τους.

(β) Οι ίδιοι γεωτεχνικοί κωδικοί υποστηρίζονται τόσο στο περιβάλλον γεωγραφικής απεικόνισης όσο και στη γεωγραφική βάση δεδομένων (*HelGeoRDaS_uTH*), μαζί με τα συνολικά δεδομένα της περιοχής.

(γ) Ο συνδυασμός τοπολογικών σχέσεων και γεωτεχνικών κωδικών επιτρέπει την ανάκτηση (άρα και επεξεργασία) περιγραφικών δεδομένων τόσο από το εξελιγμένο περιβάλλον *ArcGIS* όσο και μέσα από έναν κώδικα (λ.χ., συντάσσοντας ερωτήματα SQL) που υποστηρίζεται τόσο από τις βάσεις δεδομένων όσο και από τις ευρείας χρήσης διεπαφές προγραμματισμού.



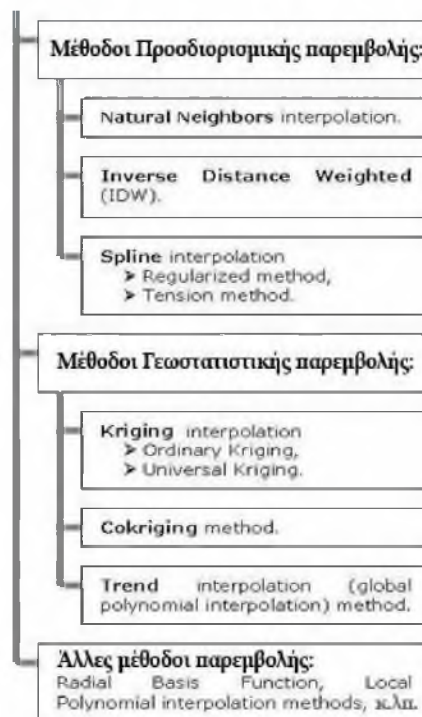
Lab ID	Borehole ID	Stroma ID	Depth (m)	Length (m)	PASS#4	Passing the sieve #40	Passing the sieve #60	Passing the sieve #80	Passing the sieve #100	w%	LL	PL	PI
1	G105	A	0.50	1.00	38.00	39.00	23.00	13.00	25.30	18.00	7.3		
2	G105	A	1.00	3.50	56.00	54.00	46.00	33.00	30.00	19.00	11		
3	G105	A	0.70	4.50	55.00	52.00	44.00	28.00	26.00	18.00	8		
4	G105	A	1.80	6.50	80.00	70.00	49.00	33.00	23.00	17.00	6		
5	G105	A	2.00	8.50	96.00	48.00	38.00	27.00	27.00	19.00	8		
6	G105	A	2.20	9.50	74.00	66.00	54.00	38.00	26.00	15.00	11		
7	G105	A	2.50	10.50	62.00	55.00	42.00	28.00	20.00	16.00	4		
8	G105	A	0.70	11.50	48.00	45.00	38.00	27.00	24.00	17.00	7		
9	G105	A	2.50	13.50	39.00	34.00	27.00	18.00	25.00	17.00	8		
10	G105	A	2.80	15.50	39.00	34.00	27.00	18.00	25.00	17.00	8		
Lab ID	Borehole ID	Stroma ID	Depth (m)	Length (m)	Rockmass ID	Initial thickness of the	Geological description	Geological description					
11	G105	A	0.20	A	G6	0	0.00	2.50	Υλικά επανοματώσεων	Backfill materials			
12	G105	A	1.00	A	G1	0	2.50	16.10	Ιλύς με όστρακα	Silt with shells			
1	G105	A	5.00	A	G1	0	16.10	25.30	Άργιλος	Clay			
2	G106	B	4.00	A	G2	0	0.00	2.50	Εναλλαγές αργίλου με άμμο	Layers of clay with sand			
3	G106	B	3.00	A	G2	0	2.50	3.40	Άμμο-Ιλύς	Sand-silt			
4	G106	B	2.80	A	G2	0	3.40	9.20	Άμμο-Ιλύς με λίγα χαλίκια	Sand-silt with few gravel			
5	G106	B	1.70	A	G2	0	9.20	10.50	Άμμο-Ιλύς με όστρακα	Sand-silt with shells			
6	G106	B	2.00	B	G3	0	0.00	2.50	Εναλλαγές αργίλου με άμμο και ιλύ	Layers of clay with sand			
7	G106	B	1.50	B	G3	0	2.50	6.00	Άμμο-Ιλύς με όστρακα	Sand-silt with shells			
8	G106	B	3.00	B	G3	0	6.00	13.00	Άμμο-Ιλύς	Sand-silt			
2	G106	Γ	2.80	11.50		99.00	97.00	89.00	70.00	27.70	19.00	8.7	
3	G106	Γ	2.00	13.00		100.00	96.00	87.00	65.00	29.20	21.00	8.2	
4	G106	Γ	2.80	18.50		65.00	55.00	38.00	26.00	23.60	17.00	6.6	
5	G107	Γ	3.00	3.50		87.00	82.00	68.00	46.00	26.00	17.00	9	
6	G107	Γ	4.00	4.50		88.00	83.00	71.00	50.00	27.00	17.00	10	
7	G107	Γ	5.00	5.50		98.00	87.00	71.00	50.00	25.00	17.00	8	
27	G107	19651	6.50	7.00		93.00	87.00	73.00	51.00	27.00	19.00	8	
28	G107	19651	7.50	8.00		71.00	67.00	56.00	40.00	22.30	14.00	6.3	

Σχήμα 2.3.1.4 Παράδειγμα τοπολογικής δομής. Απαριθμούνται βασικές τοπολογικές σχέσεις μεταξύ δύο πολυγωνικών γεωγραφικών αντικειμένων.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ακόμη μια συλλογή οργανωμένων λειτουργιών που χρησιμοποιήθηκαν (Κεφ. 7: εφαρμογή της έρευνας σε ελληνική πόλη) και αποδειχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες είναι οι λειτουργίες χωρικής ανάλυσης. Εφαρμόστηκαν με χρήση του λογισμικού χαρτογραφίας (ArcGIS) πάνω στο περιεχόμενο της βάσης *HelGeoRDaS_uTH* και του προγράμματος *GeoSeism*.

Η χωρική ανάλυση (spatial analysis) γίνεται με μαθηματικές μεθόδους που έχουν ως βάση τα αναλυτικά μοντέλα (Σχ. 2.3.1.5). Κατασκευάζουν επιφάνειες είτε αναλύουν χωρικές επιφάνειες. Προσομοιώνουν τον χώρο πυκνώνοντας τα διακριτά σημεία που είναι γνωστά. Δημιουργούν επομένως νέα δεδομένα (αντικείμενα). Οι επιφάνειες αναπαριστούν κάθε πιθανό ή περιγραφικό χάρτη.



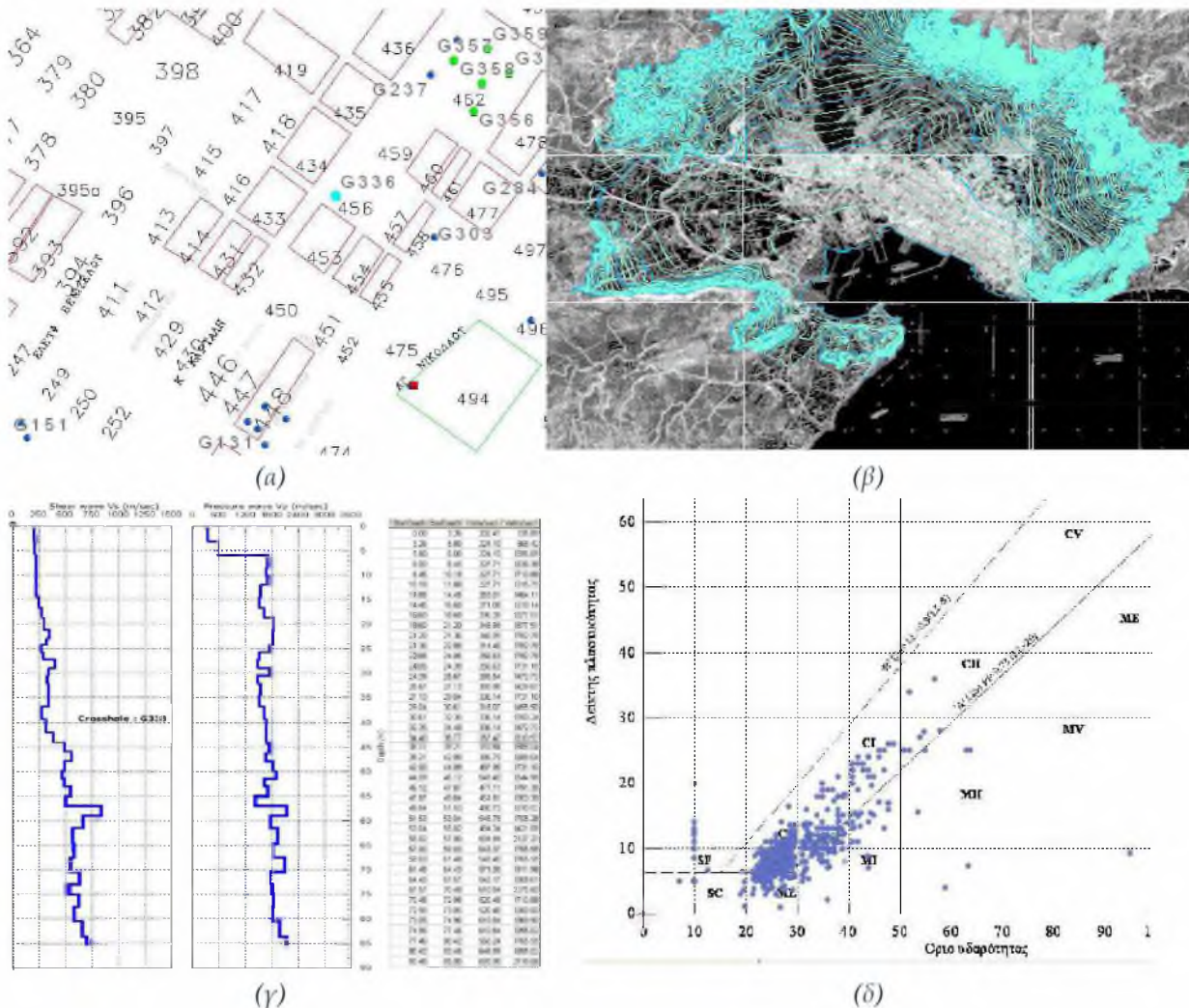
Σχήμα 2.3.1.5 Μέθοδοι χωρικής ανάλυσης με βάση μαθηματικές αναλυτικές μεθόδους για την κατασκευή επιφανειών (καθιερωμένοι τεχνικοί όροι στα λογισμικά χαρτογραφίας όπως είναι το ArcGIS).

Περιγράφονται στη συνέχεια ενδεικτικά αποτελέσματα της χωρικής ανάλυσης, όπου επισημαίνονται και οι δομές των Δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο Σχ. 2.3.1.6.α, οι διανυσματικές δομές και οι τοπολογικές σχέσεις είναι απαραίτητες για να αποτυπώσουν τα οικοδομικά τετράγωνα και τα ουσιαστικά περιγράμματα της πολεοδομίας, των υποδομών και της επιφανειακής τοπογραφίας. Στο Σχ. 2.3.1.7.α, ο αντίστοιχος χάρτης κατηγοριοποιείται σε «ζώνες» ανάλογα των ιδιοπεριόδων των κτιρίων (επιτρεπόμενα ύψη κτιρίων με βάση τους όρους δόμησης κάθε οικοδομικού τετραγώνου) που ενδιαφέρουν για τη χρήση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης του *GeoSeism*. Στο Σχ. 2.3.1.6.β, παρήχθησαν οι ψηφιοποιημένες ισοϋψείς. Στο Σχ. 2.3.1.7.β αποδίδονται οι ισοϋψείς και με την κανονικοποιημένη δομή (με τη δομή αυτή αποδίδονται πιο εύκολα από ότι με τη διανυσματική αλλά πιο χονδροειδώς). Στο Σχ. 2.3.1.6.γ παρήχθησαν οι ψηφιοποιημένες κατά βάθος μετρήσεις των ταχυτήτων διάδοσης διατμητικών κυμάτων (Vs) στη θέση μιας Crosshole που εκτελέστηκε στην παραλία. Στο Σχ. 2.3.1.6.δ με την ακρίβεια διανυσματικής δομής, αποθηκεύθηκε η πληροφορία για τα εργαστηριακά δεδομένα και εκτελέστηκε μια προβολή τους με κριτήριο τον δείκτη πλαστικότητας (PI) συναρτήσεως του ορίου υδαρότητας

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

(LL) των εδαφικών δειγματοληψιών. Στα Σχ. 2.3.1.7.γ και Σχ. 2.3.1.7.δ παρήχθησαν άμεσα οι απεικονίσεις των βαθών των οιονεί-υποβάθρων και της μέσης στάθμης του υπόγειου ύδατος.

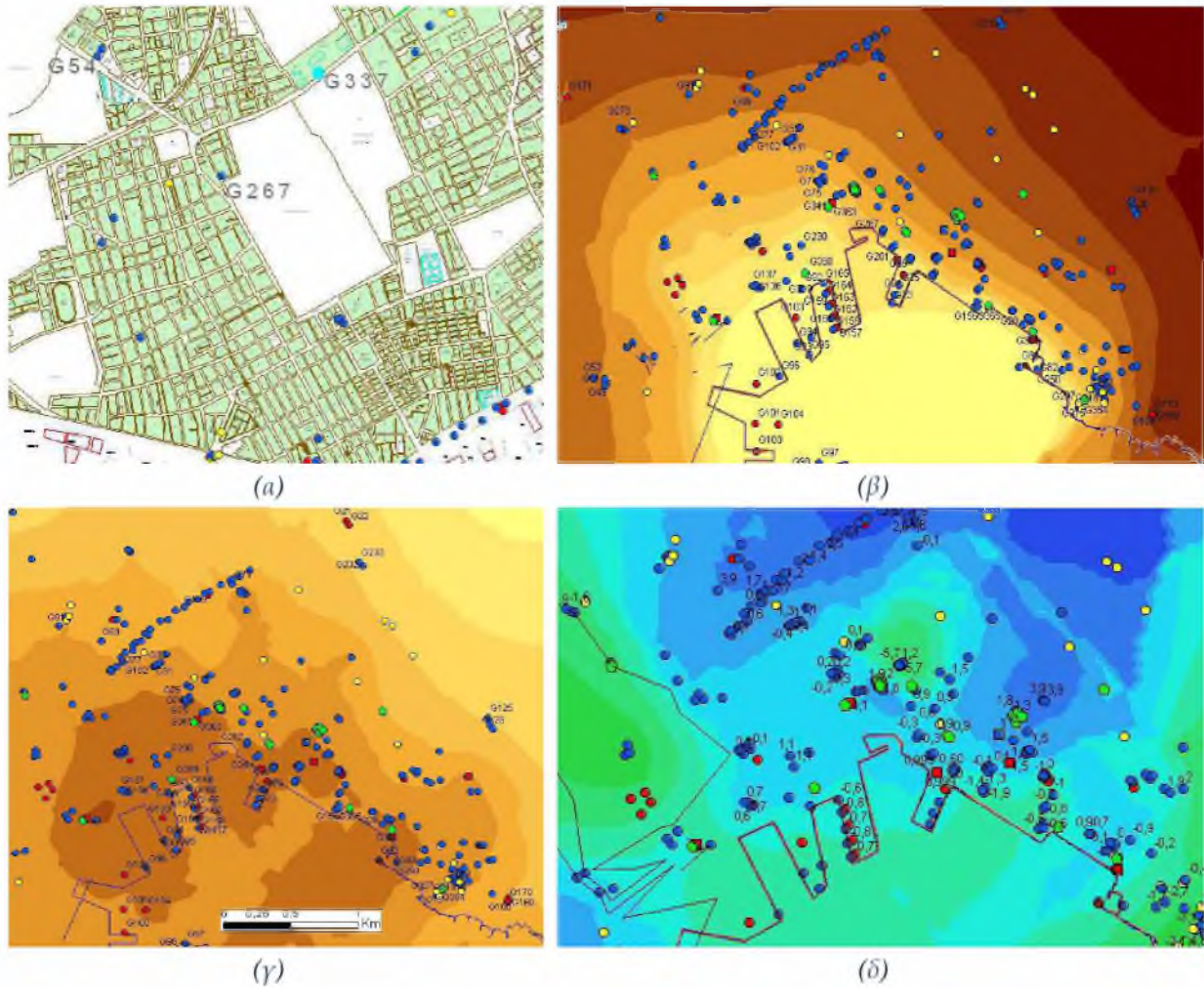


Σχήμα 2.3.1.6 Απεικόνιση των Δεδομένων σε διανυσματικές δομές, κατά την εφαρμογή της έρευνας (GeoSeism) σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης της πόλης του Βόλου.

Το διανυσματικό αρχείο των σημείων (βλ. κουκίδες του Σχ. 2.3.1.7) που αντιστοιχούν στις Θέσεις Έρευνας², μεταφέρει όλη την περιγραφική πληροφορία.

² Θέσεις Έρευνας : εδαφικές στήλες ερευνητικών θέσεων, η έννοια με την οποία χρησιμοποιείται ο όρος στην παρούσα διατριβή εξηγείται στην Ενότητα 4.1.3.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 2.3.1.7 Απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε κανονικοποιημένες δομές, κατά την εφαρμογή της έρευνας (GeoSeism) σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης της πόλης του Βόλου.

Τα πλεονεκτήματα σε επίπεδο λειτουργίας που εξασφαλίζει η διαλειτουργία των ΓΣΠ, συνοπτικά είναι:

- (1) Τα συνεργαζόμενα ΓΣΠ αλληλοενημερώνονται και συμπληρώνουν έναν ιδιαίτερα μεγάλο όγκο περιγραφικών δεδομένων.
- (2) Εστιάζουν με ολοκληρωμένο τρόπο στη χωρική διάσταση των δεδομένων αυτών.
- (3) Τα μικρότερα (και ελλιπή) ΓΣΠ γίνονται πιο ολοκληρωμένα σε λειτουργίες. Τέτοιες λειτουργίες είναι: η οργάνωση, η διαχείριση, ο μετασχηματισμός, η επεξεργασία, η τοπολογική συσχέτιση, και η διαμόρφωση νέας πληροφορίας.
- (4) Τα μεγαλύτερα ΓΣΠ εμπλουτίζονται με τα εξειδικευμένα αποτελέσματα των συνεργαζόμενων προγραμμάτων και μελετούν έτσι συγκεκριμένα φαινόμενα τα οποία εξελίσσονται στον χώρο. Για παράδειγμα, το GeoSeism χρησιμοποίησε τη χωρική

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ανάλυση του ArcGIS, πρόσφερε τους εξειδικευμένους υπολογισμούς σεισμικής επικινδυνότητας της Αρτεμης, ο χρήστης των ΓΣΠ αποκόμισε όχι μόνον χωρική αλλά και περιγραφική ψηφιακή πληροφορία, κ.λπ.

- (5) Η διαλειτουργία μπορεί να είναι ελεγχόμενη. Για παράδειγμα, η επικοινωνία με τη βάση *HelGeoRDaS_uTH* δεν είναι αμφίδρομη, κ.λπ.
- (6) Το όλο διαλειτουργικό σύστημα αποτελεί έναν αποτελεσματικό μηχανισμό για τη ρεαλιστική εξέταση χωρικών προβλημάτων.
- (7) Είναι επίσης πολύ παραγωγικό (αυτόματο, πληθωρικό και ταχύ) για εφαρμογές υπολογιστικών διαδικασιών πάνω σε γεωγραφικά δεδομένα.
- (8) Η πληροφορία που παράγεται μπορεί να ενημερώνεται αλλά και να είναι προσιτή σε όλους τους δυνητικούς χρήστες.

2.3.2 Ενδεικτική Αρθρογραφία εφαρμογών σε Μικροζωνικές Μελέτες

Από τη διεθνή αρθρογραφία, αναφέρονται στη συνέχεια ενδεικτικές Μικροζωνικές Μελέτες στις οποίες αξιοποιήθηκαν τα ΓΣΠ.

Σε έναν μεγάλο αριθμό ΜΜΣΕ και μελετών διαχείρισης σεισμικού κινδύνου και γεωκινδύνων που δημοσιεύθηκαν, γίνεται χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων και απεικόνιση σε ζώνες στην επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 2.3.2.1, Σχ. 2.3.2.2), π.χ., Jimenez et al. (2000), Ansal et al. (2004), Κιλίς (2006), Pal et al. (2008), Shiuly et al. (2014), κ.ά. Ενδεικτικά περιγράφονται:

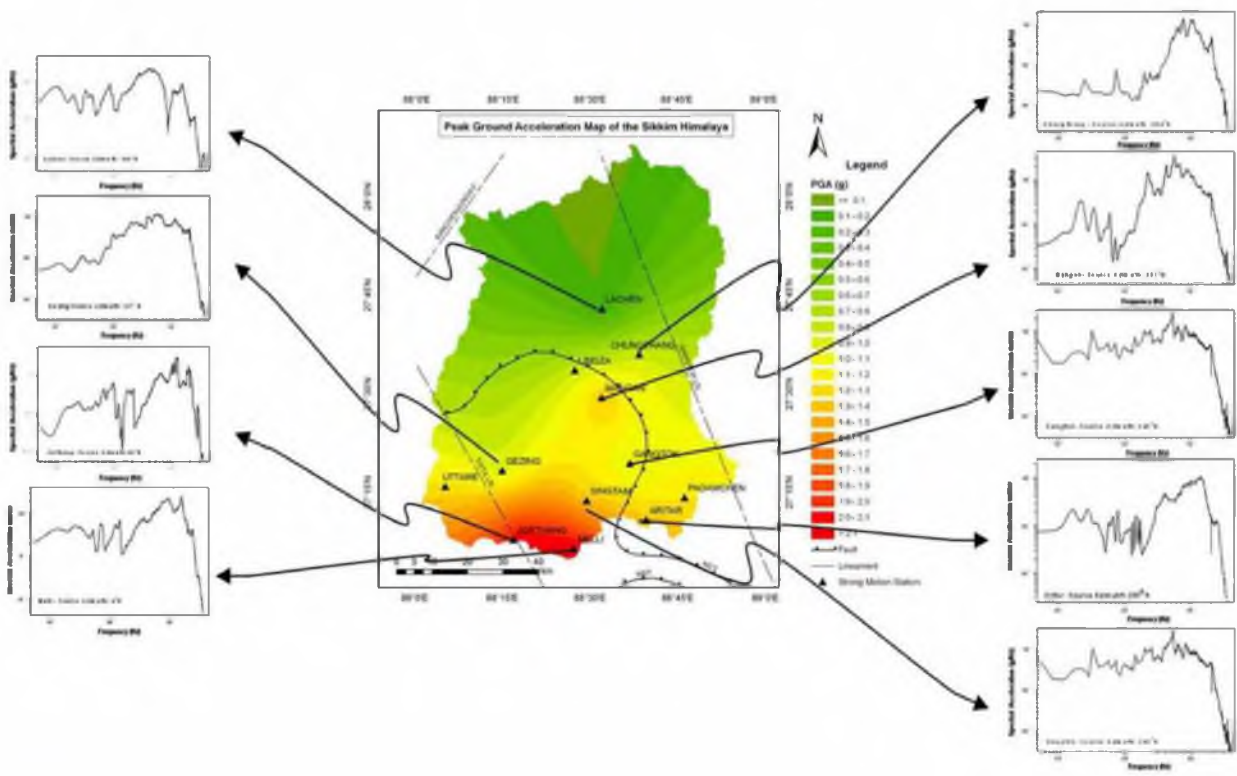
Οι Jimenez et al. (2000), εξελίσσουν ένα προγενέστερο πρωτότυπο λογισμικό, το οποίο επιτελεί μια μεθοδολογία για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου. Συνδέουν στον κώδικά τους όλα τα μέρη που συνεργάζονται στη μεθοδολογία, το ανεξάρτητο λογισμικό Shake91 και έναν χαρτογραφικό εξυπηρετητή ΓΣΠ. Το αποτέλεσμα είναι, όπως περιγράφουν, να έχουν ένα ενιαίο εργαλείο, φιλικότερο στον χρήστη και πιο αποτελεσματικό. Σημειώνουν ότι, είναι πρώτη φορά που αξιοποιείται το απεικονιστικό περιβάλλον των ΓΣΠ για να απεικονισθούν χάρτες για τη σεισμική επικινδυνότητα της πόλης που μελετούν.

Οι Slob et al. (2002), περιγράφουν τον *ShakeMap*, έναν κώδικα γραμμένο σε MS Visual Basic ο οποίος προετοιμάζει το αρχείο δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εφαρμοσθεί με ακρίβεια στη συνέχεια η αριθμητική μέθοδος που αναπτύσσεται στο λογισμικό *Shake91* (Idriss and Sun, 1992). Ο κώδικας αυτοματοποιεί τη διαδικασία της κατασκευής εδαφικών προφίλ με το βάθος, συσχετίζοντας μεταξύ τους τα δεδομένα που παρέχει μια βάση γεωλογικών γεωγραφικών δεδομένων.

Οι Kienzle et al. (2006), κατασκευάζουν το τριδιάστατο εδαφικό προφίλ (3D DGM - Digital Geology Model), για την περιοχή μελέτης, με βάση το οποίο επιτελούν στην συνέχεια μια αυτοματοποιημένη μεθοδολογία για την εκτίμηση της εδαφικής ενίσχυσης. Η μεθοδολογία

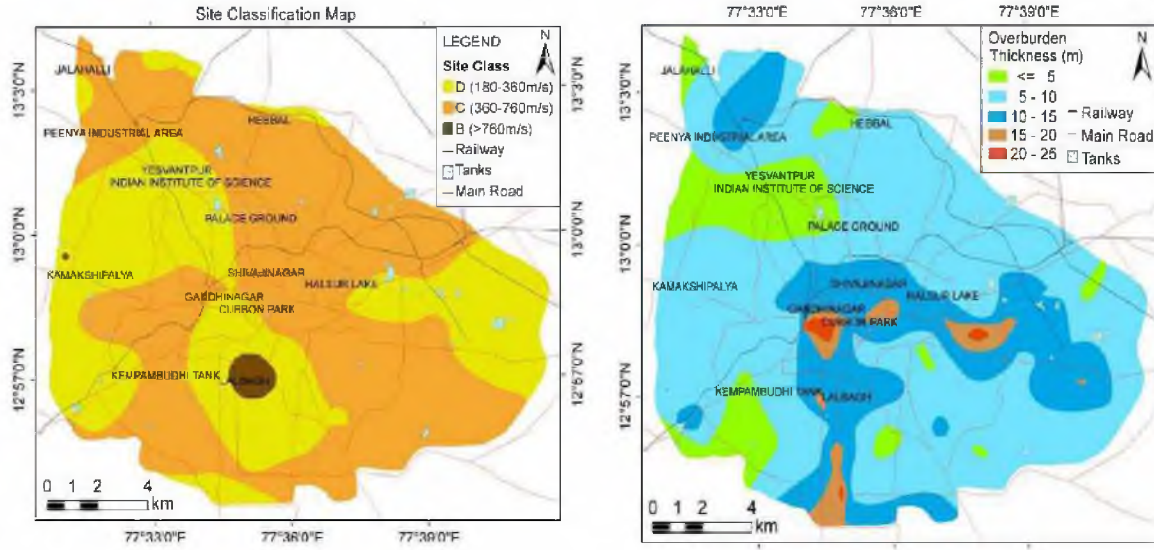
βασίζεται στη συσχέτιση γεωτεχνικών δεδομένων, τα οποία προέρχονται από γεωτρήσεις σε θέσεις όπου είναι γνωστή η γεωγραφική πληροφορία. Το 3D DGM παράγει εδαφικά προφίλ, από όπου εκτιμώνται τα πάχη των εδαφικών στρώσεων και οι ταχύτητες διατμητικών κυμάτων. Τα προφίλ εισάγονται στη μεθοδολογία η οποία στη συνέχεια υπολογίζει τις συναρτήσεις μεταφοράς για την εκτίμηση της δυναμικής απόκρισης τους εδάφους.

Οι Sun Chang-Guk et al. (2008), προτείνουν μια ζωνοποίηση που επιτυγχάνεται μετά τη δημιουργία του τριδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του εδάφους. Η λεπτομερής προβολή της γεωμετρίας και των ιδιοτήτων της εδαφικής δομής σε 3D, επιτρέπει την πιο λεπτομερή χωρική κατανομή των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την εδαφική απόκριση και τη σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής (Σχ. 2.3.2.3). Υλοποιούν επίσης ένα λογισμικό για την πρόβλεψη της σεισμικής επικινδυνότητας του εδάφους (ακρωνύμιο *GTIS - Geotechnical Information System*), το οποίο συνδέουν με το λογισμικό της *EVS-Pro* της CTech και το λογισμικό *AutoCAD LDDT* της Autodesk για να κάνουν χωρικές απεικονίσεις και να επεξεργάζονται τους τοπογραφικούς χάρτες σε ψηφιακή μορφή. Μια λειτουργία του κώδικά τους (σε γλώσσα Fortran) επιτελεί την τεχνική της παρεμβολής με τη μέθοδο τύπου «kriging»



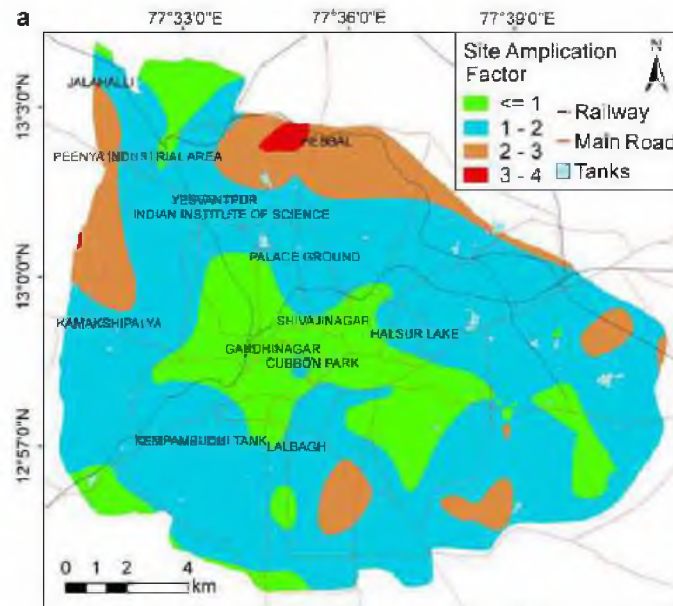
Σχήμα 2.3.2.1 Χάρτης επικινδυνότητας σε όρους PGA για τη MM μιας περιοχής στα Ιμαλάια. Σημειώνονται οι διακριτές θέσεις ενδιαφέροντος, ενώ τα βέλη παραπέμπουν στην αντίστοιχη φασματική επιτάχυνση. [Πηγή: Pal et al., 2008]

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)

(β)



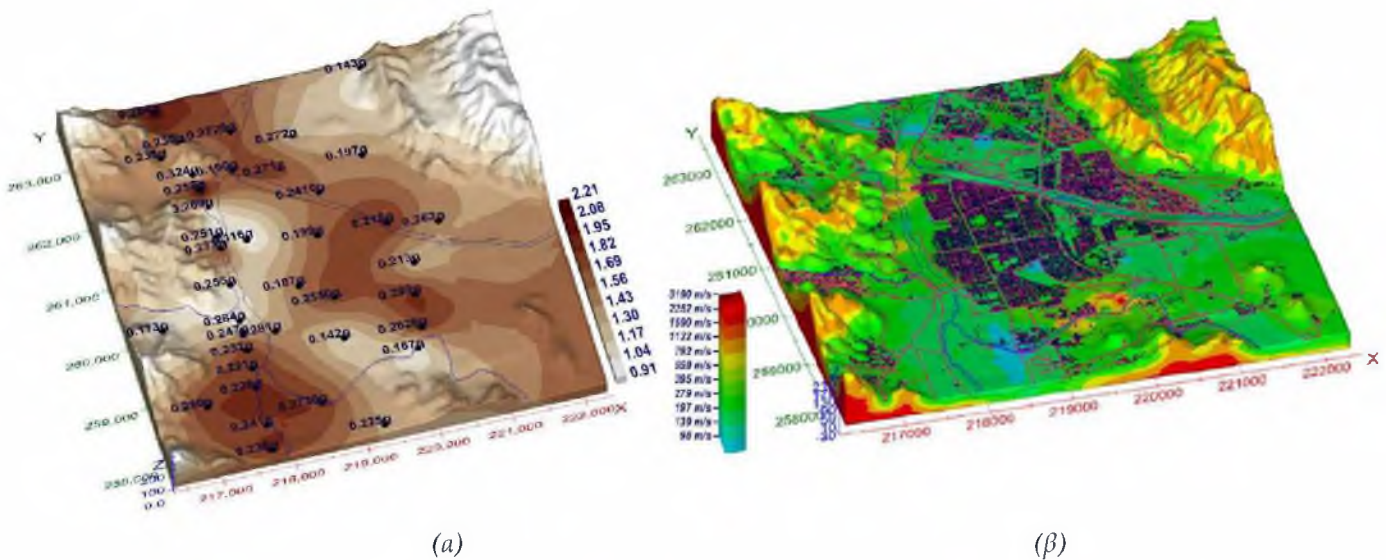
(γ)

Σχήμα 2.3.2.2 (α) Χάρτης εδαφικού χαρακτηρισμού (site characterization), (β) χάρτης χωρικής μεταβολής του πάχους των εδαφικών αποθέσεων (overburden thickness), και (γ) χάρτης μεταβολής του συντελεστή μεγέθυνσης (amplification factor), σε MM περιοχής των Ιμαλαΐων. [Πηγή: Pal et al., (2008)]

-η οποία εξηγείται παρακάτω. Τα αποτελέσματα χωρικής ανάλυσης τα συγκρίνουν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του EVS-Pro. Άλλη λειτουργία επιτελεί εδαφικό χαρακτηρισμό σε

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

γεωτεχνικές ενότητες, αφού κατασκευάσει τα 2Δ και 3Δ μοντέλα των εδαφικών προφίλ σε όρους ταχυτήτων διατμητικών κυμάτων (V_s). Διεξάγουν (μονοδιάστατη) ανάλυση σεισμικής απόκρισης, τόσο με την ισοδύναμα-γραμμική μέθοδο του λογισμικού *Shake91* όσο και με τη μη-γραμμική μέθοδο του λογισμικού *NERA* (Bardet and Tobita, 2001). Εξάγουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Οι τελικές χωροκατανομές της επικινδυνότητας, που υπολογίζονται με παρεμβολή (interpolation) και επέκταση (extrapolation), απεικονίζονται σε 3D ή 2D θεματικά επίπεδα. Να σημειωθεί ότι, η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο *GTIS*, κάνει εδαφικό χαρακτηρισμό με βάση τη μέση διατμητική ταχύτητα κόματος V_{s30} -που αντιστοιχεί δηλαδή σε εδαφικά προφίλ μέχρι βάθους 30 m από την επιφάνεια του εδάφους-, μία παραδοχή η οποία έχει δεχθεί κριτική από σύγχρονους ερευνητές.



Σχήμα 2.3.2.3 Τριδιάστατο γεωλογικό μοντέλο εδάφους (3D DGM) όπως εκτιμάται από το λογισμικό *GTIS*, για τη ΜΜ μιας περιοχής στην Κορέα. [Πηγή : Sun Chang-Guk et al. (2008)]: (α) Χωρική κατανομή της V_s . Η απεικόνιση βοηθά στο να εξαχθούν τα πάχη και βάθη των εδαφικών ενοτήτων και το βάθος του βραχώδους υποβάθρου.

(β) Χωρική κατανομή του λόγου εδαφικής ενίσχυσης (Amplification ratio) και της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) για δυο περιπτώσεις ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης: σε επίπεδο κατάρρευσης (Collapse Level of Earthquake - CLE), και σε επίπεδο λειτουργίας (Operation Level of Earthquake - OLE).

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα., η χωρική κατανομή κάθε αποτελέσματος σχεδιάζεται σε συνεχή επιφάνεια. Η επιφάνεια παράγεται με την τεχνική της αναλυτικής παρεμβολής και με βάση τα διακριτά σημεία, τα οποία είναι οι γνωστές τιμές. Οι μέθοδοι που μπορεί αυτό να υλοποιηθεί είναι πολλές. Η ESRI στην εφαρμογή *ArcGIS* που χρησιμοποίησε η παρούσα έρευνα, έχει αναπτύξει μεθόδους: γεωστατιστικές (λ.χ., Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging, Cokriging), ντετερμινιστικές (Inverse Distance

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Weighted, Spline, Natural Neighbors), καθώς και άλλες (λ.χ., Radial Basis Function, Local Polynomial).

Στις εφαρμογές της παρούσης, χρησιμοποιήθηκαν οι γεωστατιστικές μέθοδοι («geostatistical») γνωστές κι ως μέθοδοι «kriging» ή «BLUE» (βέλτιστος γραμμικός αμερόληπτος εκτιμητής). Βασίζονται στις αρχές της στατιστικής χωρικής αυτοσυσχέτισης³. Χρησιμοποιούνται προκειμένου να εκτιμηθεί η διακύμανση ενός δείγματος όταν η πυκνότητα του δείγματος είναι χωρικά συνεχής ή και ακανόνιστη για να μοντελοποιηθεί με πιο απλή μαθηματική συνάρτηση παρεμβολής. Πλεονέκτημα είναι ότι παρέχουν και μια πιθανολογική εκτίμηση σχετικά με την ποιότητα του αποτελέσματος. Η γενική σχέση είναι:

$$z'(X_k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(X_i) \quad (2.3.2)$$

Όπου, $z'(X_k)$ είναι η ζητούμενη τιμή της $z(X_i)$ στη ζητούμενη θέση X_k , ενώ λ_i είναι οι συντελεστές βαρύτητας (ή στάθμισης) που προκύπτουν με βάση τις μετρήσεις και τη χωρική τους θέση (συνδιακύμανση). Η μέση τιμή της εκτιμώμενης παραμέτρου προκύπτει από τη γενικευμένη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Οι μαθηματικές σχέσεις και τεχνικές λεπτομέρειες σχετικά με τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζονται στις εργασίες των Kitanidis (1988), Giles (1993), Martinez-Cob et al. (1996), Kitanidis (1997), Pardo-Iguzquiza and Dowd (1998), Goovaerts (2000).

Αρκετές μελέτες από τη διεθνή βιβλιογραφία, π.χ., Pal et al. (2008), Mohanty et al. (2007), Mohanty and Walling (2008), Anbazhagan et al. (2010), Ganapathy (2011) (Σχ. 2.3.2.4), προκειμένου να κάνουν ζωνοποιήσεις, αξιοποιούν την ειδική «Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο» (Analytic Hierarchy Process - AHP). Η μέθοδος αυτή είναι εφοδιασμένη στις νεότερες και ολοκληρωμένες εκδόσεις των ΓΣΠ χαρτογραφίας. Ο εισηγητής της μεθόδου (Saaty, 1980), χρησιμοποιεί μια ιεραρχική δομή για να συγκρίνει τα θεματικά επίπεδα που ενδιαφέρουν κάθε περίπτωση. Η βαρύτητα «weight» με την οποία συμμετέχει κάθε επίπεδο και ο τελικός δείκτης «rank» (ποσοστό) που εκφράζει την κανονικοποιημένη βαρύτητα σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθορίζονται με υποκειμενικά κριτήρια από τους ερευνητές. Ο συνιστάμενος δείκτης «DHI» (Deterministic Hazard Index) προκύπτει από την εφαρμογή μιας μαθηματικής σχέσης και αποτελεί στη συνέχεια το κριτήριο με βάση το οποίο υποδιαιρείται η περιοχή μελέτης σε ζώνες ισοδύναμης σεισμικής συμπεριφοράς. Παράγεται τελικά ένας ντετερμινιστικός χάρτης επικινδυνότητας, με βάση τον δείκτη DHI. Ο χάρτης ενσωματώνει πρακτικά το αποτέλεσμα πολλών χαρτών σε έναν. Τα θεματικά επίπεδα, συνήθως είναι :

(1) πάχος υπερκείμενων γαιών (SOT),

³ Μερικοί επίσημοι τεχνικοί όροι: αναλυτικές μέθοδοι (analytics), γεωστατιστική (geostatistical), BLUE (best linear unbiased estimation), στατιστική χωρική αυτοσυσχέτιση (statistical spatial autocorrelation), MSE (mean square error).

2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης (ΑΣΕΑ)

2.4.1 Μεταβολή των εδαφικών ιδιοτήτων και επίδραση των εδαφικών συνθηκών

Η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών που μελετάται θεωρητικά με τις ΑΣΕΑ (Ενοτ. 2.1.2), διαπιστώθηκε μέσα από ενόργανες καταγραφές της εδαφικής κίνησης και από τις παρατηρήσεις των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων μεγάλων και καταστροφικών σεισμών των τελευταίων δεκαετιών, όπως: του Michoacan (Μεξικό) το 1985 (Singh et al., 1988b, Lermo et al., 1988, Finn, 1994), της Αρμενίας το 1988 (Borcherdt et al., 1990), της Loma Prieta (San Francisco, Καλιφόρνια) το 1989 (Hough et al., 1990, Boatwright et al., 1991, Dickenson et al., 1991, Idriss, 1991, Finn, 1994), του Northridge (Καλιφόρνια) το 1994 (EERI 1994), του Kobe (Ιαπωνία) το 1995 (EERI 1995), του Chi-Chi (Ταϊβάν) το 1999, κ.ά.

Σύμφωνα και με τα κυρίαρχα συμπεράσματα των πειραματικών δεδομένων πάνω σε διάφορους τύπους εδαφικών υλικών, η συμπεριφορά του εδάφους σε αρκετές περιπτώσεις φόρτισης δεν μοιάζει με κανενός άλλου τεχνητού υλικού. Το έδαφος εκδηλώνει ανελαστική συμπεριφορά όταν υπόκειται σε μεγάλους σεισμούς και εν γένει σε δυναμικά φορτία που επιβάλλουν μεγάλες διατμητικές παραμορφώσεις. Η συμπεριφορά αυτή δείχνει μια μεταβολή των εδαφικών ιδιοτήτων κατά πρώτον αναλόγως του επιπέδου παραμόρφωσης (Σχ. 2.4.1).

Magnitude of strain		10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹
Phenomena		Wave propagation vibration			Cracks, differential settlement	Slide, compaction, liquefaction	
Mechanical characteristics		Elastic			Elasto-plastic		Failure
Effect of load repetition		↔					
Effect of rate of loading		↔					
Constanta		Shear modulus, Poisson's ratio, damping				Angle of internal friction, cohesion	
In-situ measurement	Seismic wave method	↔					
	In-situ vibration test	↔					
	Repeated loading test	↔					
Laboratory measurement	Wave propagation, precise test	↔					
	Resonant column, precise test	↔					
	Repeated loading test	↔					

Σχήμα 2.4.1 Συμπεριφορά του εδάφους και μεταβολή των εδαφικών ιδιοτήτων αναλόγως του επιπέδου παραμόρφωσης (Ishihara, 1996).

Οι συστηματικές παρατηρήσεις και καταγραφές έχουν επίσης δείξει ότι η συνδυασμένη επιρροή των παραγόντων που επηρεάζουν την εδαφική σεισμική απόκριση (Ενοτ. 2.1.2) κάνουν ακόμη περισσότερο πολύπλοκη τη συμπεριφορά του εδάφους όχι μόνον κατά βάθος μιας εδαφικής στήλης αλλά και στον τρισδιάστατο χώρο μιας γεωλογικής λεκάνης.

Ως «επιρροή» ή «επίδραση» των εδαφικών συνθηκών, ορίζεται η τροποποίηση των χαρακτηριστικών (πλάτος, συχνотικό περιεχόμενο και διάρκεια) του εισερχόμενου από το βραχώδες υπόβαθρο κυματικού πεδίου, εξαιτίας της απόκρισης (συνήθως ανελαστικής) του επιφανειακού εδαφικού σχηματισμού.

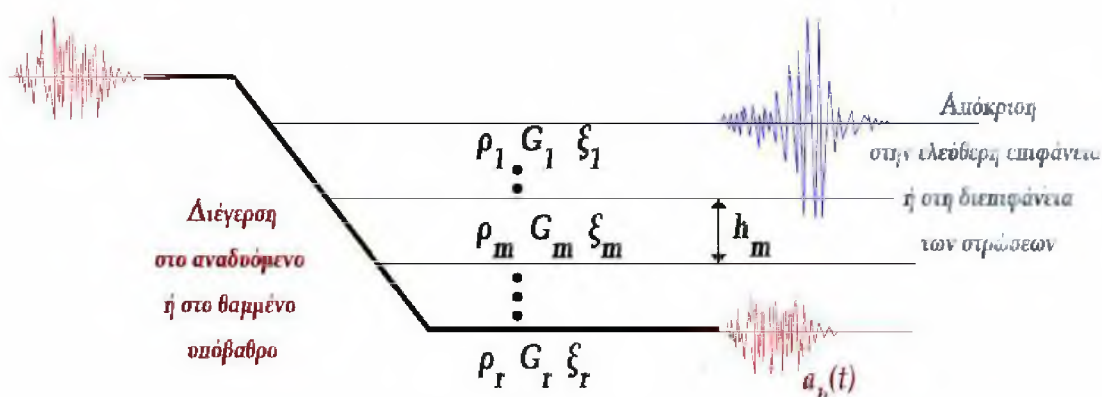
2.4.2 Η ΑΣΕΑ στη μονοδιάστατη και στην πολυδιάστατη διάδοση κυμάτων

Η ΑΣΕΑ (seismic ground response analysis) απεικονίζει τη δυναμική απόκριση του εδαφικού σχηματισμού, μέσα από τη δυναμική μεγέθυνση της σεισμικής δόνησης και τη μεταβολή του συχνотικού περιεχομένου, σε κάθε θέση του χώρου. Η εδαφική απόκριση, συνήθως εκφράζεται σε όρους επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης με τη μορφή χρονοϊστοριών απόκρισης σε κάθε σημείο του χώρου μέσα στον επιφανειακό εδαφικό σχηματισμό. Εξαρτάται από τη μορφή και τα χαρακτηριστικά του προσπίπτοντος σεισμικού κραδασμού στο βραχώδες υπόβαθρο (είδος κύματος, πλάτος, συχνотικό περιεχόμενο, γωνία πρόσπτωσης, διάρκεια) αλλά σε ουσιαστικό βαθμό και από την αλληλεπίδραση (συνέργεια) των παραγόντων (Ενοτ. 2.1.2) που απαρτίζουν τις τοπικές εδαφικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Μεθοδολογικά, προκειμένου μια ΑΣΕΑ να εκτιμήσει την τροποποίηση της εδαφικής ταλάντωσης σε διάφορες θέσεις μέσα στο μαλακό έδαφος και στις εξάρσεις βράχων, συνεξετάζει (Σχ. 2.4.2.1):

1. Τη μονοδιάστατη (1Δ) επιρροή, δηλαδή το μονοδιάστατο εδαφικό πολυστρωματικό προσομοίωμα οριζόντιας συνήθως στρωματογραφίας χωρίς 2Δ ή 3Δ φαινόμενα. Στους υπολογισμούς, υπεισέρχονται:
 - α. Η απόσβεση λόγω της υστερητικού τύπου εσωτερικής ανάλωσης ενέργειας του εδάφους.
 - β. Η απόσβεση λόγω ακτινοβολίας προς τον υποκείμενο ελαστικό βράχο. Στην απόσβεση ακτινοβολίας λαμβάνεται υπόψη η εμπέδηση εξαιτίας της αλλαγής δυστημσίας στην κίνηση κατά τη διέλευση του κύματος από βαθύτερο σε επιφανειακότερο στρώμα.
 - γ. Φαινόμενα συντονισμού με κύριο αποτέλεσμα την αύξηση του πλάτους της εδαφικής ταλάντωσης στη θεμελιώδη συχνότητα κάθε στρώματος.

2. Τη διοδιάστατη ή τρισδιάστατη γεωμετρία και περισσότερες σεισμικές συνιστώσες στην κατάσταση φόρτισης. Στους υπολογισμούς, επιπλέον των παραπάνω, υπεισέρχονται:
- Οι σεισμικές συνιστώσες, οι οποίες δημιουργούνται λόγω ανακλάσεων μεταξύ των στρωμάτων του υπερκείμενου ιζηματογενούς σχηματισμού.
 - Η επιρροή της τοπογραφίας στις παρειές της λεκάνης. Δηλαδή, η σύνθετη κίνηση στην επιφάνεια του εδάφους, κυρίως λόγω εμφάνισης νέων κυμάτων μέσω των πολλαπλών ανακλάσεων των σεισμικών κυμάτων στις παρειές της λεκάνης και λόγω εμφάνισης διαθλώμενων επιφανειακών κυμάτων στις ασυνέχειες στα όρια της λεκάνης.
 - Η επιρροή της τοπογραφίας στην επιφάνεια του εδάφους, όταν υφίσταται ανώμαλη επιφάνεια εδάφους, σε μορφές κορυφών λόφων (ridges), ή κοιλάδων (canyons), ή πλαγιών (slopes).



Σχήμα 2.4.2.1 Τροποποίηση της εδαφικής ταλάντωσης σε διάφορες θέσεις του υπερκείμενου ιζηματογενούς σχηματισμού.

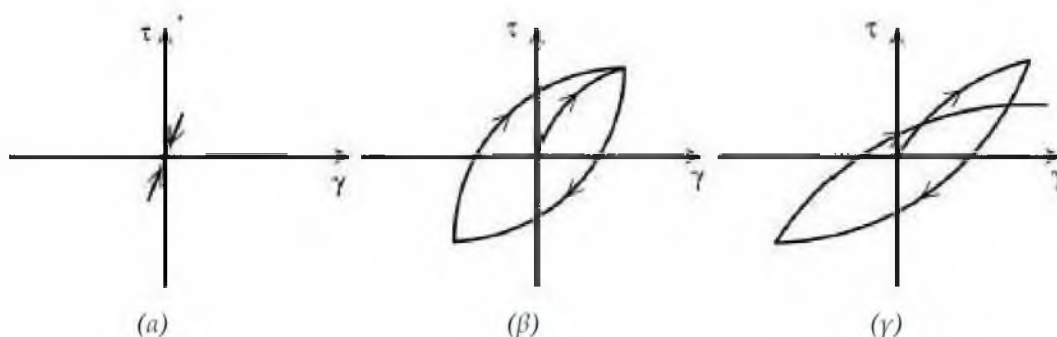
2.4.3 Απόσβεση του εδάφους - Κύρια αίτια απώλειας της σεισμικής ενέργειας

Η απόσβεση των σεισμικών κυμάτων μέσα από το έδαφος, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του πλάτους της σεισμικής εδαφικής κίνησης. Δηλαδή, την απώλεια σεισμικής ενέργειας, όπως εξηγείται στη συνέχεια. Ως έδαφος νοούνται τόσο οι εδαφικοί όσο και οι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Στο έδαφος και στον μη-ρηγματωμένο βράχο, οι αποσβέσεις και τα αίτια στα οποία αποδίδεται η απώλεια της (σεισμικής) ενέργειας, είναι τα εξής:

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διαδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

(α) **υστερητική απόσβεση** (material hysteretic damping): Οφείλεται στην εσωτερική τριβή του υλικού ως συνεχούς μέσου και στις ελαστοπλαστικές παραμορφώσεις του. Το έδαφος απορροφά ενέργεια ως θερμότητα. Αποδεικνύεται πειραματικά ότι αυτού του τύπου η απόσβεση δεν εξαρτάται από τις συχνότητες. Πειραματικές μελέτες έχουν συγκεκριμένα δείξει ότι το έδαφος και τα περισσότερα δομικά υλικά (λ.χ., χάλυβας, αλουμίνιο) όταν υποβληθούν σε ανακυκλιζόμενη ένταση αναπτύσσουν βρόχο υστέρησης στα γραφήματα τάσεων-παραμορφώσεων (Σχ. 2.4.3, Σχ. 3.1.1, και Ενот. 2.4.8). Το εμβαδόν κάθε βρόχου στα γραφήματα φόρτισης και αποφόρτισης είναι έργο που παράγεται από τις δυνάμεις στο σύστημα. Η επιφάνεια μέσα σε κάθε βρόχο εκφράζει την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια του αντίστοιχου κύκλου, φόρτισης - αποφόρτισης. Από το εμβαδόν της επιφάνειας του βρόχου μπορεί πειραματικά να υπολογισθεί ο συντελεστής απώλειας ή λόγος κρίσιμης απόσβεσης ($\xi\%$), ο οποίος χαρακτηρίζει την υστερητική απόσβεση.



Σχήμα 2.4.3 Συμπεριφορά του εδάφους υπό διαφορετικών επιπέδων ανακυκλική διατμητική παραμόρφωση: (α) γραμμική, (β) υστερητική (με βάση τις πειραματικές δοκιμές), (γ) ελαστο-πλαστική (βλ. Ενот. 2.4.8, και Ενот. 3.1 - Σχ. 3.1.1).

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι η υστερητική απόσβεση είναι ανεξάρτητη της συχνότητας του προσπίπτοντος κύματος της διέγερσης και ότι εξαρτάται από το πλάτος ταλάντωσης (U_A). Για έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή με δυσκαμψία (k) ο οποίος υποβάλλεται σε ένα αρμονικό φορτίο, η ενέργεια που αποσβένεται ή διασκορπίζεται (E_D - dissipated energy) κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης, δίνεται από τη σχέση (Spyrakos, 1995):

$$E_D = \pi \cdot \eta \cdot k \cdot U_A^2 \quad (2.4.2.1)$$

Η τελευταία σχέση (Εξ. 2.4.2.1) προκύπτει από τον βρόγχο υστέρησης της σχέσης δύναμης-μετατόπισης ($F - u$) του ταλαντωτή. Αν και ποιοτικά διαφορετική, έχει ενδιαφέρον αν συγκριθεί με την αντίστοιχη για εδαφικό στοιχείο (σχέση $\tau - \gamma$) αποσβενόμενη ενέργεια (Εξ. 3.2.3.5):

$$E_D = \pi \cdot \eta \cdot \omega \cdot \gamma_{cyc}^2 \quad (2.4.2.2)$$

Στο μοντέλο του *SHAKE* (Shnabel et al., 1972) που αναπτύχθηκε στο *GeoSeism*, χρησιμοποιείται ο λόγος κρίσιμης απόσβεσης ($\xi\%$) ο οποίος εκφράζει την απόσβεση ανεξάρτητα της συχνότητας και, ως εκ τούτου, την καθαρά υστερητική συμπεριφορά. Η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση καλύπτει την μη-γραμμική συμπεριφορά του εδάφους μέχρι διατμητικές παραμορφώσεις της τάξης του $2 \cdot 10^{-3}$, όπως αναπτύσσεται διεξοδικά στα επόμενα (Ενοτ. 2.4.7). Δεν καλύπτει την ελαστοπλαστική περιοχή, ούτε την περιοχή της αστοχίας. Περισσότερα σχετικά με την υστερητική απόσβεση, στην ενότητα της αριθμητικής μεθοδολογίας του *GeoSeism* (Ενοτ. 3.2.3, Ενοτ. 3.2.4, και Κεφ. 5.1).

(β) **απόσβεση ακτινοβολίας** (radiation damping): Οφείλεται στην απόσβεση λόγω ακτινοβολίας κινητικής ενέργειας στο βραχώδες υπόβαθρο. Εκφράζει την απώλεια ενέργειας λόγω διάδοσης κυμάτων σε ένα μέσο που επεκτείνεται έως το «άπειρο». Αποδεικνύεται αναλυτικά ότι εξαρτάται από την συχνότητα διέγερσης.

Η ορθή επιστημονικά χρήση του όρου «ιξώδης απόσβεση» επιτρέπεται να χρησιμοποιείται για την κατανάλωση ενέργειας που προκαλείται από τη στρωτή ροή ενός ιξώδους υγρού μέσα από μια σχισμή. Για ιξώδη απόσβεση, η δύναμη απόσβεσης (F_D) είναι ανάλογη της ταχύτητας:

$$F_D = c \cdot \dot{u} \quad (2.4.2.3)$$

Όπου, C είναι η σταθερά απόσβεσης, η οποία σε ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$c = 2 \xi \sqrt{k \cdot m} \quad (2.4.2.4)$$

Η απόσβεση λόγω ακτινοβολίας εμφανίζεται σε προβλήματα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής και αλληλεπίδρασης ρευστού-κατασκευής και χαρακτηρίζει τον ημιχώρο του εδάφους ή του ρευστού. Στην πρώτη περίπτωση, η απόσβεση ακτινοβολίας εκφράζει την απώλεια ενέργειας λόγω διάδοσης των κυμάτων στο έδαφος. Στη δεύτερη περίπτωση, την ενέργεια που χάνεται μέσω της μετάδοσης των κυμάτων στο ρευστό.

Στις περιπτώσεις αυτές, δεν χρησιμοποιείται μια απόσβεση αλλά δύο διαφορετικές: η υστερητική για τα υλικά και η ιξώδης για την απόσβεση λόγω ακτινοβολίας στην βάση του εδαφικού σχηματισμού. Η ιξώδης υπεισέρχεται υπολογιστικά μέσω του όρου $c = \rho V A$ (σταθερά ενός ισοδύναμου αποσβεστήρα στην βάση του σχηματισμού που εκφράζεται με τις ιδιότητες του βράχου).

Τέλος, κάποια τεχνητή ιξώδης απόσβεση (1% ή 2%) χρησιμοποιείται στα πεπερασμένα στοιχεία μόνον για λόγους αριθμητικής ευστάθειας. Η περίπτωση αυτή αφορά απλώς μια τεχνική προσομοίωσης, λόγω ανεπάρκειας των χρησιμοποιούμενων μοντέλων.

Στο *GeoSeism*, όπως και στα *SHAKE* και *EERA*, δεν χρησιμοποιείται ιξώδης απόσβεση με αποσβεστήρες γιατί η απόσβεση ακτινοβολίας προκύπτει από την ακριβή μαθηματική λύση για εύκαμπτο βράχο. Η μαθηματική λύση που χρησιμοποιείται είναι ακριβής και για το υστερητικό τμήμα και για το ιξώδες τμήμα. Συνεπώς δεν χρειάζεται να υπάρχει ούτε κάποια ισοδύναμη απόσβεση για την περίπτωση εδαφικού σχηματισμού.

(γ) **άλλου είδους απώλειες:** Υπάρχουν κι άλλου είδους απώλειες, οι οποίες οφείλονται στη δυναμική συμπεριφορά της ασυνεχούς βραχομάζας, στις μικρορωγμές, κ.ά. Αυτές είναι δύσκολο να ληφθούν υπόψη παρά μόνο με χονδρική εκτίμηση και τεχνητή αύξηση της υστερητικής απόσβεσης στο υπόβαθρο. Οι ρηγματώσεις δημιουργούν μεγαλύτερη υστερητική απόσβεση καθώς και μεγαλύτερη απόσβεση ακτινοβολίας λόγω παραπάνω σκέδασης στις ρωγμές ¹.

2.4.4 Ενδεικτικές ισοδύναμες έννοιες απόσβεσης σε Δομητικά συστήματα

Σε μία κατασκευή, οι αποσβέσεις και τα αίτια στα οποία αποδίδεται η απώλεια της (σεισμικής) ενέργειας είναι τα εξής:

- (α) υστερητική απόσβεση: Λόγω τριβής ή ελαστοπλαστικής παραμόρφωσης των υλικών.
- (β) ιξώδης απόσβεση: Εφόσον υπάρχουν εγκατεστημένοι αποσβεστήρες στο κτίριο.
- (γ) απόσβεση ακτινοβολίας: Εφόσον το έδαφος θεμελίωσης κάτω από την βάση είναι ενδόσιμο.

Πίνακας 2.4.4 *Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση υλικών που ταλαντώνονται στην ελαστική περιοχή.*

Τύπος Συστήματος	Λόγος Απόσβεσης ζ (%)
Χαλύβδινο Μέλος	0.5 - 1
Συγκολλητό Σύστημα από Χάλυβα	1 - 3
Κοχλιωτό Σύστημα από Χάλυβα	2 - 7
Κατασκευή από Σκυρόδεμα	1 - 5
Ξύλινη Κατασκευή	5 - 12

Στην πράξη έχει παρατηρηθεί ότι η απόσβεση στα υλικά και στις κατασκευές είναι υστερητική, καθώς η απώλεια ενέργειας σε έναν κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης-επαναφόρτισης είναι η ίδια, για οποιαδήποτε τιμή της συχνότητας της εξωτερικής διέγερσης.

Στη σεισμική ανάλυση ωστόσο, όλοι οι τύποι απόσβεσης εκφράζονται συχνά ως «**ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση**», επειδή η ιξώδης απόσβεση μπορεί να εκφραστεί με μια απλή μαθηματική σχέση η οποία επιτρέπει τη μόρφωση γραμμικών εξισώσεων κίνησης. Η

¹ Σκέδαση μπορεί να συμβεί όταν ένα μέτωπο κύματος προσπίπτει σε μία γεωμετρική ανωμαλία (πχ κοιλάδα) ή γεωμετρική ανωμαλία με διαφορετικά υλικά.

θεώρηση αυτή επιτυγχάνεται εξισώνοντας την απώλεια ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης της υστερητικής απόσβεσης (E_H) με την ιξώδη απόσβεση (E_D). Ο Πίνακας 2.4.4 παρέχει συνιστώμενες τιμές των λόγων απόσβεσης ζ για συστήματα κατασκευασμένα από συνήθη υλικά, τα οποία ταλαντώνονται στην ελαστική περιοχή.

Στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, όταν πραγματοποιείται μη γραμμική ανάλυση για την αποτίμηση της συμπεριφοράς υφισταμένων κτιρίων, επιτρέπεται να λαμβάνεται υπόψη η αύξηση του συντελεστή απόσβεσης λόγω διαρροής δομικών μελών του φορέα, η οποία οδηγεί σε ανάπτυξη βρόχων υστέρησης, δηλαδή σε αυξημένη απορρόφηση σεισμικής ενέργειας. Η απόσβεση η οποία εμφανίζεται όταν ένας ισχυρός σεισμός προκαλεί ανελαστικές παραμορφώσεις σε μια κατασκευή μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός ιξώδους απόσβεσης και υστερητικής απόσβεσης.

2.4.5 Μονοδιάστατες αναλύσεις ΑΣΕΑ

Ο μηχανισμός της επιρροής των (τοπικών) εδαφικών συνθηκών είναι πολύπλοκο φαινόμενο. Πολλαπλές ανακλάσεις και διαθλάσεις πάνω σε πλευρικά όρια και ασυνέχειες ευθύνονται για τη «γένεση» διαφορετικού τύπου κυμάτων (πέραν των κυμάτων χώρου). Προκύπτει δηλαδή ένα νέο κυματικό πεδίο, το οποίο στην γενική περίπτωση περιλαμβάνει 3D διάδοση κυμάτων και δημιουργία επιφανειακών κυμάτων.

Το σύνθετο αυτό πεδίο προκύπτει κατά πρώτον από τις μεταβολές τύπου κυμάτων κατά την πρόσπτωση υπό γωνία σε εδαφικές στρώσεις και επιφάνειες. Κατά δεύτερον, από τις μεταβολές των χαρακτηριστικών των κυματισμών και τις τοπικές ενισχύσεις, την παγίδευση σεισμικών κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα, τις συμβολές διαφορετικού τύπου κυμάτων, των φαινομένων διάθλασης και σκέδασης, τις ενισχύσεις εξαιτίας των επιρροών του 3D πεδίου, κ.λπ.

Οι παρειές του υποβάθρου είναι δυνατόν να προσεγγίζονται ημικυκλικό, τριγωνικό ή ορθογωνικό σχήμα, με τρόπο ώστε το σύστημα έδαφος-υπόβαθρο να εμφανίζει τοπογραφική δομή τύπου «κοιλιάδας» είτε «σφήνας».

Στην απλούστερη περίπτωση, οι αναλύσεις εδαφικής απόκρισης βασίζονται στην υπόθεση ότι οι υπεδαφικές στρώσεις είναι οριζοντίως και απείρως εκτεινόμενες, θεωρώντας κατακόρυφη διάδοση οριζοντίων διατμητικών σεισμικών κυμάτων. Οι αναλύσεις αυτές, γνωστές και ως **μονοδιάστατες αναλύσεις**, επικράτησαν λόγω της απλότητας και του μικρού υπολογιστικού κόστους τους. Αναμφισβήτητα υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η υπόθεση μονοδιάστατων συνθηκών μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική. Συνήθως υιοθετείται (καταχρηστικώς) και σε περιπτώσεις πιο πολύπλοκων στρωματογραφικών συνθηκών όπου εμφανίζονται τοπογραφικές ή γεωμορφικές ιδιαιτερότητες. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό, συνήθως είναι: (α) η έλλειψη διαθέσιμων επαρκών και αξιόπιστων δεδομένων για τις εδαφικές συνθήκες και το υψηλό κόστος που απαιτεί η υλοποίηση επιτόπιων γεωτεχνικών

και γεωφυσικών ερευνών, και (β) η δυσκολία εκτελέσεως μιας διοδιάστατης (και ακόμη περισσότερο μιας τρισδιάστατης) προσομοίωσης, λόγω αδυναμίας της τεχνικής υποδομής ή έλλειψης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας ή εμπειρίας. Οι εφαρμογές της βιβλιογραφίας έδειξαν ότι η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις να περιγραφεί αρκετά ικανοποιητικά με τη χρήση μονοδιάστατων (1Δ) γραμμικών, ισοδύναμων γραμμικών ή μη γραμμικών.

Οι παραδοχές της μονοδιάστατης ανάλυσης, παρουσιάζονται αναλυτικότερα μαζί με τη μεθοδολογία (Κεφ. 3). Επιγραμματικά, είναι:

- α) Όλες οι εδαφικές στρώσεις είναι οριζόντιες.
- β) Τα σεισμικά κύματα αποτελούνται από κύματα SH που διαδίδονται κατακόρυφα από το βραχώδες υπόβαθρο.
- γ) Δεν λαμβάνονται υπόψη: η ανώμαλη επιφάνεια του εδάφους, οι επιρροές λεκάνης, η επιρροή υπόγειων κατασκευών.
- δ) Το εδαφικό προφίλ αντιστοιχεί γεωμετρικά σε έναν χώρο εκτεινόμενο πλευρικά σε άπειρη απόσταση και υπερκείμενο ενός ομογενούς βραχώδους υποβάθρου.

2.4.6 Κατηγορίες ΑΣΕΑ βάσει των γεωτεχνικών και σεισμολογικών δεδομένων

Ανάλογα των δεδομένων που εξετάζουν, οι ΑΣΕΑ διακρίνονται:

A) γεωτεχνικές αναλύσεις (γεωτεχνικά δεδομένα)

Εξετάζουν τη δυναμική απόκριση επί τη βάσει γεωτεχνικού ενδιαφέροντος πληροφορίες από επιτόπιες δοκιμές και εργαστηριακά δεδομένα. Επιδιώκουν να καταγράψουν τη γεωμετρία των εδαφικών στρωμάτων και τις ιδιότητές τους, κυρίως της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (Vs). Οι επιτόπιες δοκιμές μπορεί να είναι του ερευνητικού πεδίου της εφαρμοσμένης γεωφυσικής (λ.χ. Crosshole, Downhole, SASW) είτε της εφαρμοσμένης εδαφομηχανικής (λ.χ. δοκιμή SPT για διείσδυση 30 cm, δοκιμή πεντρομέτρου CPT, και σεισοκώνου σε συνδυασμό με CPT).

Επιλέγεται η καταλληλότερη μέθοδος ΑΣΕΑ, με το εξής σκεπτικό: Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τον αναμενόμενο σεισμό σχεδιασμού της περιοχής μελέτης, αποφασίζεται πρώτα αν θα θεωρηθεί γραμμική ή μη-γραμμική η εδαφική συμπεριφορά στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Με βάση την επιφανειακή τοπογραφία αποφασίζεται επίσης αν επαρκεί η μονοδιάστατη ανάλυση είτε αν υπεισέρχεται κυματική διάδοση σε δυο ή και τρεις διαστάσεις. Στη συνέχεια, ένας αριθμός από αντιπροσωπευτικές χρονοϊστορίες διέγερσης επιβάλλονται στο υπόβαθρο και εκτιμάται η μεταβολή των χαρακτηριστικών της δόνησης σε κάθε βάθος ενδιαφέροντος μέχρι την εδαφική επιφάνεια.

Β) σεισμολογικές αναλύσεις (σεισμολογικά δεδομένα)

Εξετάζουν πραγματικές καταγραφές σεισμών ή και καταγραφές μικροθορύβων. Οι σεισμολογικές αναλύσεις αποτελούν εναλλακτική προσέγγιση μικρότερου κόστους αφού δεν προϋποθέτουν εκτεταμένες δοκιμές και διάνοιξη γεωτρήσεων που ανεβάζουν σημαντικά το κόστος και τον χρόνο. Δεν υλοποιούν κάποια υπολογιστική διαδικασία για τη μεταφορά μιας πρότυπης σεισμικής κίνησης από το σεισμικό υπόβαθρο στην επιφάνεια. Επεξεργάζονται τις καταγραφές και ακολουθούν μια υπολογιστική διαδικασία στην οποία χρησιμοποιούν πειραματικές-εμπειρικές μεθόδους.

2.4.7 Κατηγορίες ΑΣΕΑ βάσει των υπολογιστικών διαδικασιών

Αναφορικά με την υπολογιστική διαδικασία που αναπτύσσουν, οι ΑΣΕΑ διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες: τις **πειραματικές** και τις **αριθμητικές**. Και οι δυο κατηγορίες υποδιαιρούνται σε άλλες κατηγορίες με βάση, το είδος των δεδομένων (γεωτεχνικά δεδομένα, μακροσεισμικές εντάσεις, καταγραφές ισχυρής ή ασθενούς σεισμικής κίνησης, μετρήσεις μικροθορύβων, κ.λπ.), τη γεωμετρία των σχηματισμών (κλίσεις στρώσεων, σχήμα επιφάνειας εδάφους, σχήμα υποβάθρου) και τη γεωμετρία της λεκάνης γενικότερα (τα όρια ασυνέχειας, τις διαστάσεις σε συνάρτηση με το βάθος, κ.λπ.). Η συνεκτίμηση των παραγόντων αυτών βοηθά στο να κατανοηθεί ποιες θα είναι οι κυρίαρχες από τις συνιστώσες P, SV, SH, R του κύματος στο φαινόμενο της εδαφικής κίνησης. Ενδεικτικά, οι υποδιαιρέσεις είναι:

1. **Πειραματικές - Εμπειρικές μέθοδοι:** Χρησιμοποιούν ενόργανες καταγραφές (σεισμογραφήματα και επιταχυνσιογραφήματα) της σεισμικής εδαφικής κίνησης (ισχυρής) ή και του υπόγειου γαιώδους μικροθορύβου (ασθενείς μικροδονήσεις - microtremors), και υπολογίζουν παραμέτρους της αναμενόμενης εδαφικής κίνησης στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο των συχνοτήτων. Οι πιο γνωστές μέθοδοι, είναι:
Η μέθοδος του πρότυπου λόγου φασμάτων Fourier (SSR)², η μέθοδος του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα (HVSR)³, η τεχνική γενικευμένης αντιστροφής της ταχύτητας των κυμάτων (GIS), η τεχνική κυμάτων ουράς (Coda waves), η μέθοδος μακροσεισμικών παρατηρήσεων, η μέθοδος Kanai⁴, η μέθοδος σεισμικής ακαμψίας⁵, η αναλογική μέθοδος, η μέθοδος Sheed.

² Μέθοδος του πρότυπου λόγου φασμάτων Fourier ή μέθοδος κλασσικού φασματικού λόγου ή τεχνική Kagami ή τεχνική του Τυπικού Φασματικού Λόγου (Standard Spectral Ratio).

³ Μέθοδος του φασματικού λόγου της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα (H/V ή HVSR - Horizontal to Vertical Spectral Ratio) ή και μέθοδος Ενιαίου Σταθμού ή τεχνική Nakamura. (SSSR - Single Station Spectral Ratio).

⁴ Μέθοδος Kanai (Ανάλυση Fourier) ή Ιαπωνική μέθοδος.

⁵ Ρωσική μέθοδος ή μέθοδος σεισμικής ακαμψίας ή μέθοδος σεισμικής αντίστασης.

- 2. Εμπειρικές μέθοδοι:** Εφαρμόζουν σχέσεις ενίσχυσης για να υπολογίζουν τις μέγιστες παραμέτρους της εδαφικής κίνησης (συνήθως μόνον επιτάχυνσης και ταχύτητας) καθώς και ορισμένες τιμές στα φάσματα απόκρισης. Μεταχειρίζονται τα αναλυτικά μοντέλα (προσομοίωμα εδαφικής στήλης, μέτρα ενίσχυσης, αναλυτικές συναρτήσεις διάδοσης σεισμικού κύματος). Λαμβάνουν υπόψη το έδαφος, την επιφανειακή τοπογραφία, και τον σεισμό σχεδιασμού (μέγεθος, δεσπόζουσα περίοδος, και αριθμό σημαντικών κύκλων φόρτισης) ως απλές παραμέτρους σε εμπειρικές σχέσεις. Σχεδόν πάντοτε εξετάζουν τη μέση ταχύτητα S -κυμάτων σε μονοδιάστατα προσομοιώματα, ή και μια μόνον εδαφική κατηγοριοποίηση. Εφαρμόζονται συνήθως σε διατάξεις αντισεισμικών κανονισμών.
- 3. Ημι-εμπειρικές μέθοδοι:** Λαμβάνουν συνήθως υπόψη τη λεπτομερή διαδικασία γένεσης ενός σεισμού και τον μηχανισμό διάρρηξης του ρήγματος και υπολογίζουν χρονοϊστορίες σεισμικών κινήσεων σε συνδυασμό με καταγεγραμμένες σεισμικές κινήσεις μικρότερων σεισμών (λ.χ. με τη χρήση των συναρτήσεων Green).
- 4. Αναλυτικές μέθοδοι:** Βασίζονται στον θεωρητικό υπολογισμό της απόκρισης των επιφανειακών στρωμάτων με βάση πραγματικά ή θεωρητικά δεδομένα για το είδος της πηγής, το κυματικό πεδίο και το γεωφυσικό τοπικό μοντέλο. Χρησιμοποιούν ένα αναλυτικό ή συχνά αριθμητικό μοντέλο 1D, 2D, 3D διάδοσης κυμάτων. Οι τύποι κυμάτων που μελετούνται είναι δυνατόν να είναι διαφορετικοί και με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων αυτών είναι η δυνατότητα χρήσης σύνθετων καταστατικών σχέσεων για να περιγράψουν τη συμπεριφορά του εδάφους υπό συνθήκες δυναμικής φόρτισης και η δυνατότητα προσομοίωσης της ακριβούς στρωματογραφίας της περιοχής μελέτης, περιλαμβανομένης και της τοπογραφίας της λεκάνης.

Οι αριθμητικές μέθοδοι ενδείκνυνται για τυχαίες γεωμετρίες, ετερογενή μέσα, καταπονήσεις και γεωμετρικά σχήματα τα οποία δεν είναι αρκετά απλά. Προϋποθέτουν υπόβαθρο δεδομένων. Τα μοντέλα που έχουν προταθεί για να λάβουν υπόψη διάφορες πτυχές των εδαφικών επιδράσεων, ταξινομούνται στις εξής μεθόδους:

1. Μέθοδοι τομέα (Domain Methods)

Οι συνηθέστερες σήμερα αριθμητικές μέθοδοι ανάλυσης Τομέα είναι : οι πεπερασμένων διαφορών και οι πεπερασμένων στοιχείων. Κάνουν διακριτοποίηση του χώρου. Είναι οι πιο χρήσιμες για τις πολύπλοκες δομές, αλλά και πιο απαιτητικές από τις υπόλοιπες.

2. Μέθοδοι Ορίων ή Συνοριακών Στοιχείων (Boundary Element Methods)

Είναι ισχυρά εργαλεία για την προσομοίωση της διάδοσης κυμάτων σε ομογενή μέσα με πλευρικές ανωμαλίες. Έγιναν προσφιλείς μόλις τις τελευταίες δεκαετίες. Οι αλγόριθμοί τους βασίζονται σε ολοκληρωτικές εξισώσεις και διακριτοποιήσεις. Πλεονεκτούν στο ότι, αρκεί μόνον η διακριτοποίηση και οι συνθήκες στα σύνορα, για να επιλύσουν την εξίσωση κύματος. Επίσης, με την ανάλυση αυτή, αποφεύγεται η εισαγωγή των πλασματικών συνόρων που απαιτούν οι μέθοδοι τομέα.

3. Ασυμπτωτικές Μέθοδοι (Asymptotic Methods)

Κάνουν χρήση της θεωρίας ακτίνων και γεωμετρικών τεχνικών που βασίζονται στην ασυμπτωτική συμπεριφορά των λύσεων κύματος σε υψηλή συχνότητα.

4. Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid methods)

Υπολογίζουν χρονοϊστορίες σεισμικών κινήσεων με βάση τον συνδυασμό ενός θεωρητικού μοντέλου σεισμικού ρήγματος για σεισμικές κινήσεις μεγάλης περιόδου και ενός υπολογιστικού μοντέλου (συντά ημι-εμπειρικής μορφής) διάδοσης σεισμικών κυμάτων για το πλέον υψίσυχο μέρος της σεισμικής κίνησης.

2.4.8 Οι αριθμητικές μέθοδοι ΑΣΕΑ ανάλογα του επιπέδου παραμόρφωσης

Από τις ΑΣΕΑ που προαναφέρθηκαν (Ενοτ. 2.4.5), οι αριθμητικές μέθοδοι θεωρούνται κατεξοχήν αξιόπιστες επειδή είναι δυνατόν να λαμβάνουν συστηματικά υπόψη την ανομοιομορφία του εδάφους, τη μη-αρμονική μορφή της σεισμικής διέγερσης, καθώς και τη μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους υπό δυναμική φόρτιση.

Χαρακτηριστικό στις επιλύσεις της εδαφικής απόκρισης με αριθμητικές μεθόδους, είναι ότι απαιτείται η διερεύνηση μια σειράς από χρονοϊστορίες σεισμικής διέγερσης. Αντίθετα, κατά την εφαρμογή των εμπειρικών σχέσεων, λ.χ. από τους κανονισμούς, δεν είναι απαραίτητη η εισαγωγή μιας αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης αλλά οι εκτιμήσεις γίνονται με βάση τις μέσες τιμές V_s σε κάθε θέση γεώτρησης.

Οι **αριθμητικές μέθοδοι** διακρίνονται σε αναλύσεις στο πεδίο των συχνοτήτων (γραμμικές είτε ισοδύναμα γραμμικές) και στο πεδίο του χρόνου (γραμμικές είτε μη γραμμικές). Ανάλογα των καταστατικών σχέσεων (καταστατικά προσομοιώματα) που χρησιμοποιούν για την περιγραφή των **σχέσεων τάσεων - παραμορφώσεων**, διακρίνονται σε:

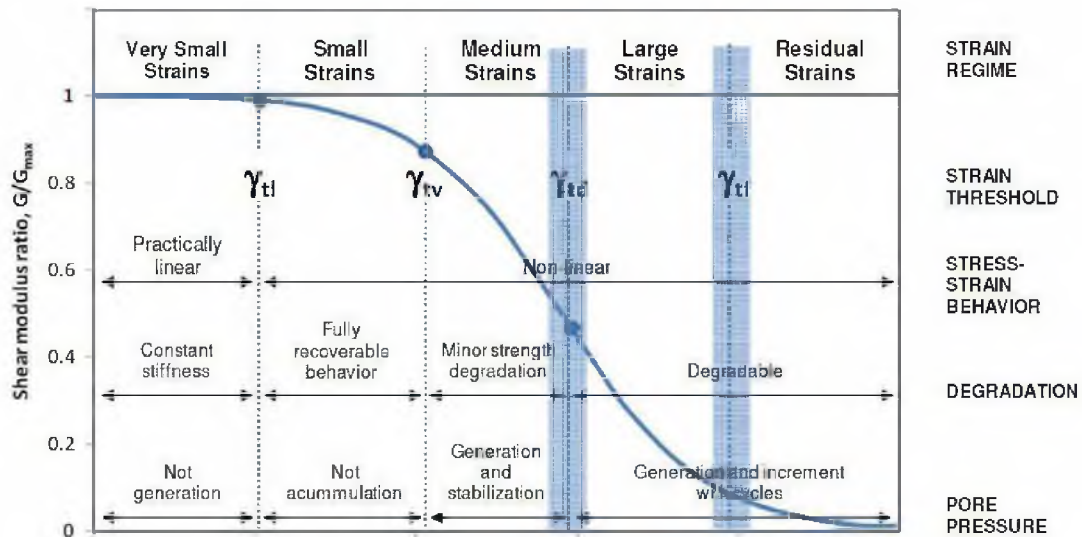
1. Γραμμικές ιξωδοελαστικές σχέσεις.
2. Υστερητικές γραμμικές ή ισοδύναμα γραμμικές σχέσεις (ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων).
3. Μη-γραμμικές ή ελαστοπλαστικές (ανάλυση στο πεδίο του χρόνου) που χρησιμοποιούν:
 - 3.1. υστερητικά, μη-γραμμικά ανακυκλικά προσομοιώματα σε 1 διάσταση, είτε
 - 3.2. προχωρημένα προσομοιώματα βασισμένα στην θεωρία πλαστικότητας.

Συνοπτική εικόνα των καταστατικών σχέσεων τάσεων - παραμορφώσεων και των μοντέλων που χρησιμοποιούνται ανάλογα των επιπέδων παραμόρφωσης δίνει ο Ishihara (1996) (Σχ. 2.4.8).

Shear strain	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹
	Small strain	Medium strain		Large strain	Failure strain	
Elastic	[Bar chart showing linear elastic region]					
Elasto-plastic		[Bar chart showing elasto-plastic region]				
Failure					[Bar chart showing failure region]	
Effect of load repetition				[Bar chart showing effect of load repetition]		
Effect of load rate				[Bar chart showing effect of load rate]		
Model	Linear elastic model		Visco-elastic model		Load history tracing type model	
Method of response analysis	Linear method		Equivelant-linear method		Step-by-step integration method	

Σχήμα 2.4.8 Εύρος αξιόπιστης εφαρμογής της καθεμιάς κατηγορίας μοντέλων που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την εδαφική συμπεριφορά ανάλογα με το πλάτος της διατμητικής παραμόρφωσης (Ishihara, 1996).

Το επίπεδο της διατμητικής παραμόρφωσης (Σχ. 2.4.8) επηρεάζει την απόσβεση και τη συμπεριφορά του εδάφους. Είναι γενικά δύσκολο να οριοθετηθούν οι κατηγορίες επειδή σε κάθε περίπτωση η εδαφική συμπεριφορά αλλάζει (λ.χ. Σχ. 2.4.3). Διακρίνονται γενικά οι κατηγορίες επιπέδων που περιγράφονται στο Σχήμα 2.4.9. Οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν, έπειτα από εφαρμογές της παρούσης μεθοδολογίας (GeoSeism) συνεκτιμώντας και τα προτεινόμενα στη βιβλιογραφία έρη μεταβολής της μορφής των καμπυλών, είναι:



Σχήμα 2.4.9 Εδαφική συμπεριφορά και κατώφλια παραμόρφωσης για κορεσμένα αργιλικά εδάφη [Πηγή: Díaz-Rodríguez and López-Molina, 2008].

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

(α) $\gamma_c < 10^{-5}$: Ο λόγος κρίσιμης απόσβεσης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3% και το έδαφος συμπεριφέρεται πρακτικά ως ελαστικό υλικό (Σχ. 2.4.3.α). Πιο συγκεκριμένα, το διάστημα αυτό χαρακτηρίζεται από: πολύ μικρές ελαστικές παραμορφώσεις, σχεδόν σταθερή δυσστησία, πολύ μικρές απώλειες ενέργειας, μη ανάπτυξη υπερπίεσης νερού πόρων. Σύμφωνα με πειραματικές δοκιμές (Díaz-Rodríguez and López-Molina, 2008), το γραμμικό κατώφλι παραμόρφωσης χαρακτηρίζεται από έναν λόγο περίπου $G/G_{max} = 0.99$ και στα περισσότερα αργιλώδη κυμαίνεται από 10^{-5} ως και $5 \cdot 10^{-5}$.

(β) $10^{-5} < \gamma_c < 10^{-4}$ έως $2 \cdot 10^{-4}$: Στην περιοχή αυτή των διατμητικών παραμορφώσεων τα εδάφη συμπεριφέρονται υστερητικά και απορροφούν ενέργεια κατά την ανακυκλική φόρτιση χωρίς μόνιμη παραμόρφωση. Ο βρόχος υστέρησης δεν αλλάζει σχήμα και δεν μετατοπίζεται μετά από μερικούς κύκλους φόρτισης. Η απομείωση του μέτρου διάτμησης και η αύξηση της απόσβεσης είναι ανεξάρτητη του αριθμού των κύκλων φόρτισης ενώ γίνεται πιο έντονη με την αύξηση της παραμόρφωσης. Τα άκρα κάθε βρόγχου υστέρησης είναι σχετικά γωνιώδη λόγω της απότομης αλλαγής δυσκαμψίας κατά την αποφόρτιση. Το διάστημα από περίπου 10^{-4} έως $2 \cdot 10^{-4}$ καλείται «κατώφλι παραμόρφωσης» (το ακριβές εύρος του αλλάζει από έδαφος σε έδαφος). Για μικρές παραμορφώσεις, δηλαδή παραμορφώσεις μέχρι και το κατώφλι, δεν υπάρχει ολίσθηση στις επαφές των κόκκων, και συνεπώς δεν συμβαίνει δυναμική συμπίκνωση και ανάπτυξη υπερπίεσης νερού πόρων. Σημειώνεται ότι για ιλυώδη και αργιλώδη εδάφη πλαστικότητας $PI = 14 - 30$, το κατώφλι της παραμόρφωσης που συνδέεται με ογκομετρικές παραμορφώσεις βρέθηκε μεταξύ $2.4 \cdot 10^{-4}$ ως $6 \cdot 10^{-4}$ (Hsu and Vucetic 2004, 2006).

(γ) $2 \cdot 10^{-4} < \gamma_c < 2 \cdot 10^{-3}$: Τα περισσότερα υλικά συμπεριφέρονται με έντονα μη γραμμική συμπεριφορά. Στις αναλύσεις, ο βρόχος υστέρησης θεωρείται σταθερός, το οποίο σημαίνει ότι η απομείωση του μέτρου διάτμησης και η αύξηση της απόσβεσης θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη του αριθμού των κύκλων φόρτισης. Στην πραγματικότητα, η παραδοχή αυτή δεν είναι ακριβής, καθόσον στις παραμορφώσεις αυτές αναπτύσσεται είτε κράτυνση του εδάφους, όταν υπάρχει δυνατότητα συμπίκνωσης, είτε ανάπτυξη υπερπίεσης του νερού των πόρων, σε κορεσμένα εδάφη. Η απομείωση του μέτρου διάτμησης και η αύξηση του λόγου απόσβεσης γίνεται πιο έντονη με την αύξηση της παραμόρφωσης (Σχ. 2.4.3.β). Η ισοδύναμη γραμμική μέθοδος εφαρμόζεται προσεγγιστικά μέχρι μια παραμόρφωση περίπου $2 \cdot 10^{-3}$. Για μεγαλύτερες παραμορφώσεις ($\gamma > 2 \cdot 10^{-3}$) χρειάζεται η χρήση ελαστοπλαστικού καταστατικού προσομοιώματος για δυναμική συμπεριφορά. Προφανώς, πλαστικές παραμορφώσεις υπάρχουν και σε μικρότερα πλάτη παραμόρφωσης, όμως μπορεί να γίνει μία αδρή προσέγγιση της υστερητικής συμπεριφοράς με την ισοδύναμη γραμμική μέθοδο ανάλυσης για λόγους απλοστευσης.

(δ) $\gamma_c > 2 \cdot 10^{-3}$: Στο διάστημα αυτό συμβαίνουν σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις και η υστέρηση είναι ασταθής. Ο αριθμός των κύκλων μπορεί να επηρεάσει το μέτρο διάτμησης.

Σε πολύ μαλακές αργίλους, ο ρυθμός παραμόρφωσης μπορεί επίσης να επηρεάσει τον βρόχο υστέρησης (Σχ. 2.4.3.γ).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι έχει αναγνωρισθεί ένα ακόμη κατώφλι παραμόρφωσης το οποίο προσδιορίζει την έναρξη της αποσταθεροποίησης της δομής του εδαφικού δείγματος (Σχ. 2.4.9). Για παραμορφώσεις κάτω από το όριο αυτό δεν θα συμβεί ποτέ αστοχία. Οι περισσότερες παραμορφώσεις και η συσσώρευση της πίεσης των πόρων συμβαίνουν στον πρώτο κύκλο (Lefebvre 1989, McCarron et al. 1995), και στη συνέχεια εμφανίζεται μια σταθεροποίηση. Για παραμορφώσεις πάνω από το όριο αυτό, συμβαίνει αποσταθεροποίηση της εσωτερικής δομής που συνοδεύεται από μεγάλες απώλειες ενέργειας σε κάθε κύκλο φόρτισης.

Συμπερασματικά, η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση στην παρούσα διδακτορική έρευνα είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί για ένα πλάτος διατμητικών παραμορφώσεων έως περίπου $2 \cdot 10^{-3}$.

2.4.9 Ισοδύναμη γραμμική ανάλυση

Το **ισοδύναμο γραμμικό μοντέλο** (equivalent linear model) είναι εύχρηστο και αρκετά αποτελεσματικό μοντέλο προσομοίωσης της μη γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους. Τις **αρχές της μεθόδου** αυτής παρουσίασαν οι Schnabel et al. (1972) στον κώδικα του *SHAKE*, οι Idriss and Sun (1992) στον κώδικα του *SHAKE91*, και οι Bardet et al. (Bardet J. P., Ichii K., and Lin C. H., 2000) στο εγχειρίδιο του *EERA*.

Η μέθοδος ξεκίνησε όταν, κατά τη διάρκεια προηγούμενων σεισμών παρατηρήθηκε ότι οι σεισμικές κινήσεις εξαρτώνται από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, οι κινήσεις που έφταναν στην επιφάνεια του εδάφους πάνω σε θέσεις μαλακών εδαφών παρατηρήθηκε να είναι μεγαλύτερες από εκείνες πάνω σε σκληρότερα εδάφη και σε εξάρσεις βράχων (λ.χ., Idriss and Seed, 1968, Seed and Idriss, 1970, Kramer, 1996). Αυτές οι ενισχύσεις της εδαφικής απόκρισης στη σεισμική κίνηση, προσομοιώθηκαν χρησιμοποιώντας λογισμικά που εκλάμβαναν απλοποιημένες παραδοχές εδαφικών συνθηκών, όπου οι διαστρωματώσεις του εδάφους είναι οριζόντιες κι εκτείνονται σε άπειρο χώρο. Ένα από τα πρώτα προγράμματα που αναπτύχθηκε γι' αυτούς τους σκοπούς ήταν το *SHAKE*.

Το *SHAKE* προσομοιώνει την απόκριση σε ένα εδαφικό προφίλ το οποίο αποτελείται από οριζόντιες στρώσεις εδαφικού είτε βραχώδους σχηματισμού πάνω σε βραχώδες υπόβαθρο, και το οποίο υποβάλλεται σε ένα παροδικό εξωτερικό φορτίο από καθέτως ανερχόμενα διατμητικά κύματα. Βασίζεται σε εξισώσεις για την κυματική διάδοση των Kanai (1951), Roesset and Whitman (1969), και Tsai and Housner (1970). Υποθέτει ότι η ανακυκλική

συμπεριφορά του εδαφικού υλικού μπορεί να προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας ένα ισοδύναμα γραμμικό μοντέλο.

Μερικές από τις πολλές τροποποιήσεις που το *SHAKE* υπέστη κατά καιρούς είναι, η ισοδύναμα γραμμική παραμόρφωση σε όρους συχνοτήτων (Sugito, 1994), η έκδοση *SHAKE91* (Idriss and Sun, 1992) η οποία κάνει αρκετές βελτιώσεις προκειμένου να εξετάζει περισσότερες παραμέτρους από το αρχικό λογισμικό, και άλλες. Το 1998 αναπτύσσεται το λογισμικό *EERA*. Καταρτίστηκε σε γλώσσα *FORTRAN 90*. Αποτελεί μια σύγχρονη εφαρμογή πάνω στις γνωστές αρχές του *SHAKE*, με πλεονεκτήματα τα οποία κατ' εξοχήν απορρέουν από το ότι λειτουργεί με δομή πινάκων. Ενδεικτικά τέτοια πλεονεκτήματα είναι ότι η ανάγνωση και η έξοδος των αποτελεσμάτων επιτελούνται μέσα από το περιβάλλον διαχείρισης φύλλων του λογισμικού *EXCEL*, στο οποίο και οι υπόλοιπες λειτουργίες του κώδικα είναι πλήρως ενσωματωμένες. Μέχρι σήμερα πολλά λογισμικά αναπτύχθηκαν πάνω στην ίδια μέθοδο της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης. Τα γνωστότερα παρατίθενται στο Παράρτημα Ι.

Επειδή πάνω στη μέθοδο της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης αναπτύχθηκε και η μεθοδολογία της παρούσης διδακτορικής έρευνας (λογισμικό πρόγραμμα *GeoSeism*), ακολουθεί συγκεκριμένη περιγραφή της μεθόδου σε ιδιαίτερα κεφάλαια (Κεφ. 3, Κεφ. 5.1).

Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση είναι μια αριθμητική μεθοδολογία η οποία προσομοιώνει τη σεισμική απόκριση μιας εδαφικής πολυστρωματικής απόθεσης που υπέρκειται ενός σεισμικού υποβάθρου με την ακριβή μαθηματική λύση για τη διάδοση κυμάτων τύπου SH. Ο υπολογισμός της σεισμικής συμπεριφοράς του εδάφους στη μέθοδο αυτή, γίνεται χρησιμοποιώντας το τέμνον μέτρο διάτμησης και την υστερητική απόσβεση. Απαιτείται μία επαναληπτική διαδικασία για την προσέγγιση των δυο αυτών ιδιοτήτων, με βάση το πλάτος της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης (γ %). Οι διαδοχικές τιμές λαμβάνονται από δημοσιευμένες πειραματικές καμπύλες που δίνουν τη μεταβολή του G/G_{max} και της απόσβεσης (ξ %) για διάφορους τύπους εδαφών.

Ιστορικά, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τιμές για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής τιμής της παραμόρφωσης (γ_{eff}) σε μια δοκιμή (i), με βάση την οποία θα υπολογισθεί το ζεύγος του μιγαδικού μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης κάθε επόμενης δοκιμής ($i+1$). Η αντιπροσωπευτική ή ενεργός αυτή τιμή, σε σχέση με τη μέγιστη παραμόρφωση μπορεί να γραφεί ως:

$$\gamma(j)_{eff,i} = R_{\gamma} \cdot \gamma(j)_{max} \quad (2.4.9.1)$$

Η πιο συχνή θεώρηση ενεργού παραμόρφωσης (λ.χ. *Shake91*, *ShakeVT*) είναι για τιμή ίση με το 65% της μέγιστης παραμόρφωσης (γ_{max}). Η τιμή αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 40%

έως 75% (εξαρτάται από την εισαγόμενη χρονοϊστορία). Τα *EERA* και *GeoSeism* εφαρμόζουν τη σχέση (Idriss and Sun, 1992):

$$R_{\gamma} = \frac{M - 1}{10} \quad (2.4.9.2)$$

Οι Yoshida et al. (2002) πρότειναν την ακόλουθη σχέση για τον χαρακτηρισμό της «εξομαλυσμένης» διατμητικής παραμόρφωσης που εξαρτάται από την συχνότητα:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{eff}} &= \gamma_{\text{max}} & f_p &> f \\ \gamma_{\text{eff}} &= \gamma_{\text{max}} \cdot \left(1 - \left(\frac{\log f - \log f_p}{\log f_e - \log f_p} \right)^m \right) & f_p &\leq f \leq f_e \\ \gamma_{\text{eff}} &= 0 & f &< f_e \end{aligned} \quad (2.4.9.3)$$

Όπου f_p είναι η συχνότητα στη μέγιστη παραμόρφωση (γ_{max}), f_e είναι η μικρότερη συχνότητα, και m μια πραγματική σταθερά. Οι ίδιοι χρησιμοποίησαν τις τιμές $f_e = 15$ Hz και $m = 2$.

Για τον υπολογισμό του μιγαδικού μέτρου διάτμησης (G^*) έχουν ιστορικά επίσης χρησιμοποιηθεί διάφορες σχέσεις. Για παράδειγμα, τα λογισμικά *Shake91*, *ShakeVT2* και η παρούσα διατριβή χρησιμοποιούν την (Εξ. 2.4.9.5). Το *Strata* χρησιμοποιεί την (Εξ. 2.4.9.6), ενώ το *ShakeVT2* χρησιμοποιεί τις Εξ. (2.4.9.4) –(2.4.9.6).

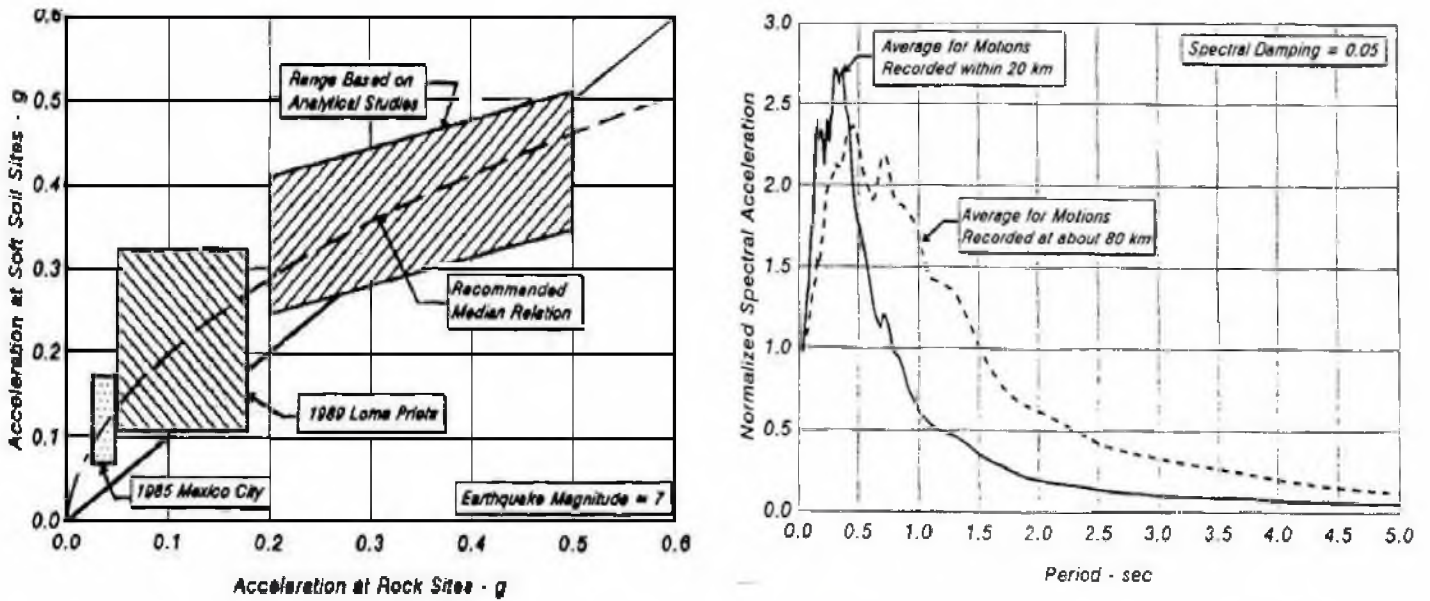
$$G^* = G (1 + 2 \cdot i \cdot \xi) \quad (2.4.9.4)$$

$$G^* = G \cdot [(1 - 2\xi^2) + 2 \cdot i \cdot \xi \sqrt{1 - \xi^2}] \quad (2.4.9.5)$$

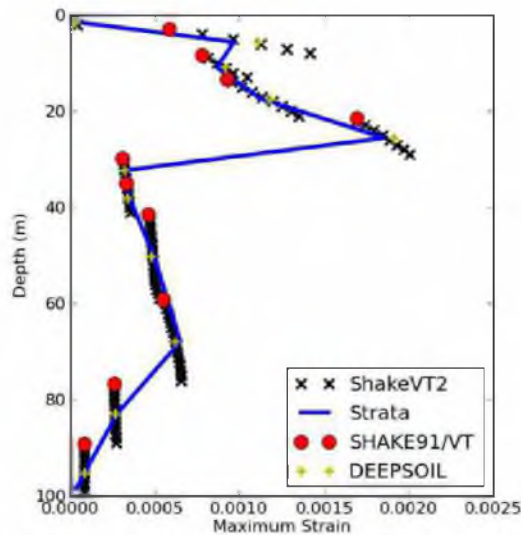
$$G^* = G \cdot (1 - \xi^2 + 2 \cdot i \cdot \xi) \quad (2.4.9.6)$$

Κάποιοι κώδικες χρησιμοποιούν το μέτρο διάτμησης G της εδαφικής στρώσης αντί του μιγαδικού μέτρου διάτμησης (G^*). Όπου συμβαίνει αυτό, η καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων (στο πεδίο του χρόνου) γίνεται ευθεία γραμμή με μια κλίση G αντί για μια διαδοχική σειρά υστερητικών βρόχων.

Τα αποτελέσματα της μονοδιάστατης και ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης έχουν ως σήμερα επιβεβαιωθεί από σημαντικό αριθμό ερευνητών. Καταρχήν, έγιναν αναλύσεις της εδαφικής απόκρισης χρησιμοποιώντας το λογισμικό *SHAKE* (Schnabel et al, 1972) για πάρα πολλές περιοχές όπου υπάρχουν μαλακές εδαφικές αποθέσεις (λ.χ., Idriss, 1990, Dickenson et al, 1991, Idriss et al, 1991). Οι αναλύσεις έδειξαν λογική συμφωνία μεταξύ των καταγραμμένων πραγματικών και των υπολογισθεισών κινήσεων, τόσο ως προς τις κορυφαίες επιταχύνσεις όσο και ως προς τα φασματικά παράγωγα. Ο Idriss (1990) είχε προτείνει μια καμπύλη (Σχ. 2.4.9.1) ως μια μέση προσέγγιση.



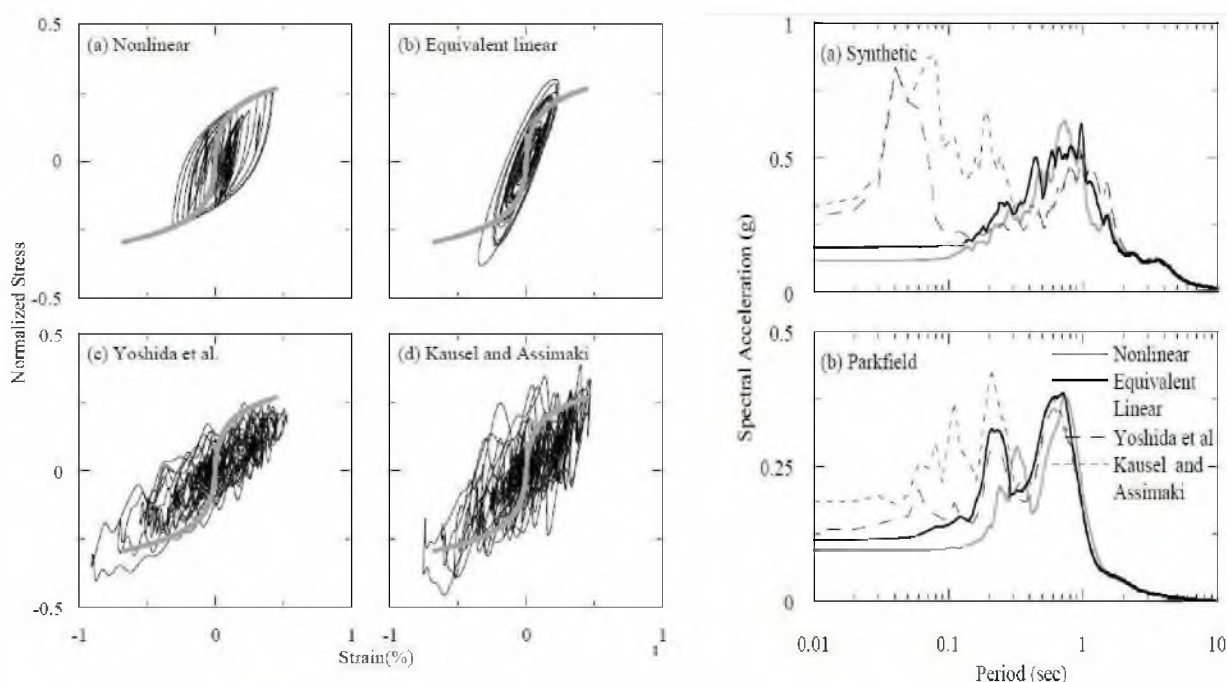
Σχήμα 2.4.9.1 Αριστερά: Διακόμανση της κορυφαίας εδαφικής επιτάχυνσης σε θέσεις με εδάφη μαλακά και σε θέσεις πάνω σε βράχους. Δεξιά: μέση κανονικοποιημένη φασματική επιτάχυνση από καταγραφές του σεισμού Loma Prieta (1989). [Πηγή: Idriss (1991)].



Σχήμα 2.4.9.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων σχετικά με τη διατμητική παραμόρφωση με το βάθος μεταξύ διαφορετικών λογισμικών [Πηγή: Lasley et al., 2014].

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Στη διερευνηθείσα βιβλιογραφία, χρήση της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης έχει γίνει επίσης σε πολλές ακόμη εργασίες, συγκρίνοντας σε πληθώρα περιοχών τα αποτελέσματα των διάφορων λογισμικών που αναπτύσσουν την μέθοδο αυτή, από παλιά (λ.χ. Idriss, 1990, Hardin and Drnevich (1972b), Seed et al. (1986), Sun et al. (1988), Vucetic and Dobry (1991)) μέχρι και πιο πρόσφατα (λ.χ. Yoshida et al. 2002, Kwak et al., 2008, Lasley et al., 2014). Ενδεικτικό είναι το γράφημα Σχήμα 2.4.9.2 στο οποίο γίνεται σύγκριση αποτελεσμάτων σχετικά με τη διατμητική παραμόρφωση με το βάθος μεταξύ διαφορετικών λογισμικών, καθώς και τα γραφήματα των σχέσεων τάσεων παραμορφώσεων με διάφορα λογισμικά (Σχ. 2.4.9.3).



Σχήμα 2.4.9.3 Σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων με διάφορα λογισμικά. [Πηγή: Kwak et al., 2008].

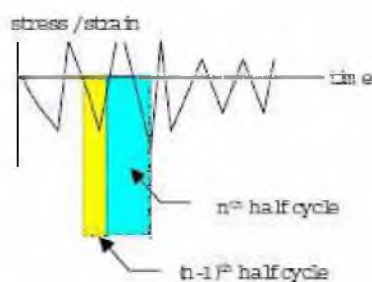
Η συνεχιζόμενη έρευνα με συσχετίσεις που γίνονται χρησιμοποιώντας τις μη γραμμικές αναλυτικές διαδικασίες και τις ισοδύναμα γραμμικές δείχνουν παρόμοια αποτελέσματα. Ενδεικτικά συμπεράσματα αναφέρονται:

- © Η μη γραμμική και υστερητική συμπεριφορά των εδαφών υπο ανακυκλική φόρτιση είναι δυνατόν να προσεγγίζεται με την ισοδύναμα γραμμική μέθοδο. Οι διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των ισοδύναμα γραμμικών αναλύσεων (μέθοδος ολικής τάσης) στο πεδίο των συχνοτήτων και των μη γραμμικών αναλύσεων (μέθοδος ενεργού τάσης) στο πεδίο του χρόνου εξαρτώνται από τον βαθμό της μη γραμμικότητας του εδάφους και την

ικανότητα της ανάπτυξης υπερπίεσης του νερού πόρων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η διατμητική παραμόρφωση παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (αδύναμες διεγέρσεις και σκληρά εδαφικά προφίλ), και οι δυο αναλύσεις εξάγουν ακριβή αποτελέσματα για την απόκριση του εδάφους.

- © Οι Lasley et al. (2014) σύγκριναν τη μονοδιάστατη απόκριση σε κοντινού πεδίου σεισμούς με δυο μεθόδους και με την πραγματική συμπεριφορά όπως την καταγράφουν (3) διαφορετικές χρονοϊστορίες. Οι Adampira et al. (2015) σύγκριναν τα φάσματα απόκρισης με τις φασματικές επιταχύνσεις που παρουσιάζουν κάποιοι έγκυροι κώδικες όπως είναι ο 2800 και ο UBC97. Τα αποτελέσματα της μη-γραμμικής προσομοίωσης του εδάφους που έχει υψηλή υπερπίεση νερού πόρων, όταν εξετάζεται στο πεδίο του χρόνου είναι πολύ διαφορετικά από εκείνα του πεδίου των συχνοτήτων που βασίζονται στην ισοδύναμα γραμμική μέθοδο.
- © Λόγω της αξιοπιστίας της μεθόδου, επεκτάσεις της έχουν χρησιμοποιηθεί και για την προσεγγιστική ανάλυση του προβλήματος της ρευστοποίησης σε οριζοντίως διαστρωμένα εδάφη. Μια τέτοια νέα μέθοδος, η οποία αποτελεί επέκταση της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης, είναι η κυκλοειδής ισοδύναμα γραμμική ανάλυση (cycle-wise equivalent linear analysis - CELA). Συσχέτιση της νέας αυτής μεθόδου με τις υπόλοιπες μονοδιάστατες αριθμητικές παρουσιάζουν οι εισηγητές της (Shiomi et al., 2000), όπως στον Πίνακα του Σχ. 2.4.9.4.

Ειδικά η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες MM που υλοποιούνται σε αστικές περιοχές.



	ELA	CELA	NLA
Integration	in frequency	in time	in time
Change of K and C	constant for whole period	constant for each cycle	changes at each step
Stiffness K	scant	scant	tangent
Damping	complex number	proportional to M and K	proportional to M and K

Σχήμα 2.4.9.4 Η μέθοδος CELA (cycle-wise equivalent linear method), σε σχέση με την ELA (equivalent-linear analysis) και την NLA (non-linear analysis). [Πηγή: Shiomi et al., 2000]

Τα **πλεονεκτήματα** της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης είναι τα εξής (Kramer, 1996):

1. Προσομοιώνει ικανοποιητικά την καταγραμμένη ενίσχυση, υποθέτοντας ότι η έξαρση βράχου δεν είναι όμοιας απόκρισης με το κάτωθεν της απόθεσης θαμμένο βραχώδες υπόστρωμα. Ξεχωρίζει δηλαδή διαφορετική εισαγόμενη κίνηση στο υπόβαθρο και διαφορετική στην έξαρση βράχου.
2. Υποθέτει ένα σεισμικό υπόβαθρο το οποίο μπορεί να είναι και σκληρό έδαφος αντί βράχου και μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε βάθος.
3. Σε σχέση με τις προσεγγιστικές και απλουστευτικές μεθόδους, το πλεονέκτημα είναι η ακρίβεια.

Τα **μειονεκτήματα** της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης σε σχέση με τη μη-γραμμική ανάλυση, θεωρούνται ότι είναι τα εξής:

1. Το βασικό μειονέκτημα της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης είναι ότι οι ιδιότητες του εδάφους διατηρούνται σταθερές από την αρχή μέχρι το τέλος της κίνησης του σεισμού (εντός μίας συγκεκριμένης δοκιμής). Λαμβάνει σταθερό μέτρο διάτμησης και απόσβεση σε κάθε επίπεδο παραμόρφωσης.
2. Η εγγενής γραμμικότητα της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης μπορεί να οδηγήσει σε «ψευδείς» συντονισμούς. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να εμφανίζονται ενισχύσεις σε συχνότητες όπου δεν πρέπει να υπάρχουν. Η εξήγηση αποδίδεται στο ότι παραμορφώνεται το συχνοτικό περιεχόμενο επειδή δεν χρησιμοποιείται μεταβαλλόμενο G και ξ κατά την διάρκεια του σεισμού αλλά μία τιμή, αυτή της τελικής δοκιμής.
3. Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση μπορεί να υπερεκτιμήσει τις κορυφαίες εδαφικές επιταχύνσεις.
4. Η χρήση της ενεργού τιμής της διατμητικής παραμόρφωσης μπορεί να οδηγήσει σε ένα υπερ-εξομαλυμένο και υπερ-αποσβενυμένο σύστημα, όταν η κορυφαία διατμητική παραμόρφωση δεν είναι αντιπροσωπευτική της εναπομένουσας χρονοϊστορίας. Από την άλλη, αν ληφθεί ενεργός τιμή ίση με την κορυφαία (λ.χ., όταν ο αριθμός των σημαντικών κύκλων είναι πάνω από 1 – 2), τότε εκτιμώνται μικρότερα G και μεγαλύτερα ξ από τα πραγματικά.
5. Στα μειονεκτήματα επίσης έχει αναφερθεί (Δρόσος, Γερολύμος, Γκαζέτας, 2008) και ότι η ισοδύναμα γραμμική μέθοδος «εμπεριέχει ένα εγγενές μειονέκτημα: λόγω του ενιαίου μειωτικού συντελεστή στο πλάτος της παραμόρφωσης που χρησιμοποιεί, αθέλητα επιβάλλει ένα πλασματικό φιλτράρισμα των υψίσυχνων συνιστωσών του σεισμικού κύματος. Η ακρίβεια των προβλέψεων της μεθόδου μειώνεται σε περιπτώσεις ισχυρής διατμητικής παραμόρφωσης. Σε τέτοια επίπεδα μη-γραμμικής συμπεριφοράς, η αξιοπιστία της μεθόδου είναι κάπως αμφίβολη και ο μηχανικός πρέπει να καταφύγει σε πιο λεπτομερή 1Δ υστερητικά μη-γραμμικά προσομοιώματα.

Εν τούτοις, η συνήθης χρήση μονοτονικής καμπύλης σχήματος υπερβολής σε συνδυασμό με το κριτήριο Masing για την αποφόρτιση/επαναφόρτιση οδηγεί στην υπερεκτίμηση της εδαφικής απόσβεσης και σε αφύσικο «ψαλίδισμα» των επιταχύνσεων. Αυτό σημαίνει ότι, η χρήση του υπερβολικού μοντέλου τάσης-παραμόρφωσης (Duncan) για μη γραμμική δυναμική ανάλυση με εν χρόνω ολοκλήρωση με την βοήθεια του κριτηρίου Masing οδηγεί σε βρόγχους υστέρησης μεγάλου πλάτους. Δηλαδή, οδηγεί σε μεγάλη τιμή του ξ (μεγαλύτερη από την πραγματική που προκύπτει από πειράματα). Το μοντέλο αυτό δεν είναι πολύ καλό για δυναμική ανάλυση.

Η προσεγγιστική επέκταση των προσομοιωμάτων αυτών σε 2 διαστάσεις παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες αλλά είναι εφικτή. Μία καλύτερη εναλλακτική είναι προσομοιώματα βασισμένα στην θεωρία πλαστικότητας. Μολονότι θεωρητικώς τα εν λόγω προσομοιώματα είναι περισσότερο αξιόπιστα στην περιγραφή της 2-διάστατης ανελαστικής απόκρισης του εδάφους, συχνά χαρακτηρίζονται από δυσκολία πρακτικής εφαρμογής λόγω και του μεγάλου αριθμού παραμέτρων που χρησιμοποιούν.

6. Η μη γραμμική ανάλυση είναι πιο ακριβής, ολοκληρώνει τη δυναμική εξίσωση σε κάθε βήμα χρόνου, αλλά είναι πιο δύσκολη και δαπανηρή. Οι μη γραμμικές μέθοδοι απαιτούν ισχυρό καταστατικό προσομοίωμα που ενδεχομένως απαιτήσει και εκτεταμένες επιτόπιες και εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου.
7. Οι μη γραμμικές μέθοδοι μπορεί να διατυπωθούν σε όρους ενεργού τάσης για να προσομοιώσουν τη δημιουργία της υδατικής υπερπίεσης. Η ανάλυση ενεργών τάσεων απαιτεί πολύ προχωρημένα καταστατικά μοντέλα για τον σκοπό αυτό. Η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση δεν μπορεί να προβλέψει την υπερπίεση πόρων (η διαφορά στην πολυπλοκότητα είναι σημαντική).
8. Οι διαφορές μεταξύ ισοδύναμων γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων εξαρτώνται από το βαθμό της μη γραμμικότητας της απόκρισης του εδάφους. Για τα χαμηλά έως μέτρια επίπεδα παραμόρφωσης (λ.χ., σχετικά ασθενείς εισαγόμενες κινήσεις σε συνεκτικά ή δύσκαμπτα εδάφη), οι ισοδύναμες γραμμικές μέθοδοι παρέχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα).
9. Οι εισηγητές της μεθόδου CELA εισηγήθηκαν τη νέα αυτή μέθοδο η οποία βασίζεται στη απευθείας ολοκλήρωση στον χρόνο και ενημερώνει τη δυσμησία και απόσβεση σε κάθε μισό κύκλο (φόρτισης-αποφόρτισης). Η μέθοδος προσομοιώνει προσεγγιστικά μεγάλες μεταβολές της, όπως π.χ. στη εδαφική ρευστοποίηση. Οι αλγόριθμοι τύπου CELA, που κάνουν ισοδύναμη γραμμική ανάλυση εξαρτώμενη από τη συχνότητα, βασίζονται στο γεγονός ότι τα μεγάλα πλάτη παραμόρφωσης συνδέονται με τις χαμηλές συχνότητες, ενώ τα μικρά πλάτη συνδέονται με δονήσεις σε υψηλές συχνότητες. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη εξισώσεων για την διατμητική παραμόρφωση εξαρτώμενων από τη συχνότητα.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :

Ισοδύναμα Γραμμική Ανάλυση

3.0 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης της εδαφικής απόκρισης, καταρτίστηκε σε κώδικα και αναπτύχθηκε στο λογισμικό *GeoSeism*. Τα στοιχεία και ο τρόπος χρήσης του λογισμικού περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο (Ενοτ. 5.0), όπως και τα βήματα και οι φορμαλισμοί του σχετικού υπο-προγράμματος (Ενοτ. 5.1, ακρωνύμιο *Άρτεμις*). Οι αρχές και η επιστάμενη περιγραφή του μοντέλου της μεθόδου, παρουσιάζονται στο παρόν Κεφάλαιο.

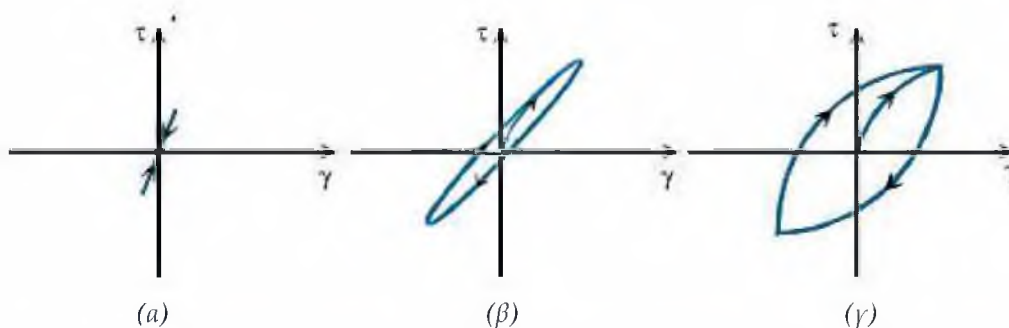
3.1 Περιγραφή του αντικειμένου της μεθόδου

Η **Ισοδύναμα Γραμμική Ανάλυση** είναι μια γραμμική (ελαστική) μέθοδος. Είναι γραμμική επειδή κάνει τη θεώρηση ότι οι εδαφικές ιδιότητες παραμένουν σταθερές σε κάθε κύκλο της σεισμικής φόρτισης (φόρτιση - αποφόρτιση), ανεξάρτητα του επιπέδου παραμόρφωσης που αναπτύσσεται σε κάθε χρονική υποδιαίρεση της ιστορίας φόρτισης. Προκειμένου ωστόσο οι ιδιότητες να είναι συμβιβαστές προς τις παραμορφώσεις του μη γραμμικού εδάφους, η θεώρηση χρησιμοποιεί κατάλληλη αριθμητική μαθηματική προσέγγιση. Προσεγγίζει τη μη-γραμμική εδαφική συμπεριφορά, σε όρους ισοδύναμα γραμμικών εδαφικών ιδιοτήτων τις οποίες υπολογίζει με τη βοήθεια επαναληπτικής διαδικασίας. Το αποτέλεσμα, όπως και πειραματικά αποδεικνύεται, είναι μια μέθοδος αξιόπιστη στην ελαστική έως και την ιξωδοελαστική περιοχή των παραμορφώσεων (Σχ. 2.4.1, Σχ. 2.4.6).

Μη-γραμμική χαρακτηρίζεται η εδαφική συμπεριφορά κατά την οποία συμβαίνει υστερητικού τύπου μεταβολή των σχέσεων τάσης - παραμόρφωσης. Δηλαδή, στη μεταβολή αυτή, η εσωτερική απόσβεση του υλικού σχηματίζει βρόχους υστερήσεως και δεν εξαρτάται από τις συχνότητες (Σχ. 3.1.1). Σε σχέση με την ελαστοπλαστική ανάλυση, η Ισοδύναμα Γραμμική Ανάλυση δεν παράγει όπως εκείνη πλαστικές παραμορφώσεις και ούτε απαιτεί πολύπλοκα και χρονοβόρα καταστατικά προσομοιώματα και αποκλειστικά ολοκλήρωση εν χρόνω.

Οι **ισοδύναμα γραμμικές εδαφικές ιδιότητες** που υπεισέρχονται στη μέθοδο αυτή, εξαρτώνται από την παραμόρφωση (strain-dependent). Περιλαμβάνουν το τέμνον μέτρο διάτμησης G (secant shear modulus) και τον λόγο κρίσιμης απόσβεσης (critical damping ratio) ή «λόγο απόσβεσης υστερητικού τύπου», εν συντομία «λόγο απόσβεσης» του εδαφικού υλικού (συμβολίζεται συνήθως $D\%$ ή $\xi\%$).

Σύμφωνα με τα κυρίαρχα συμπεράσματα των εργαστηριακών δοκιμών της εδαφοδυναμικής, η εσωτερική απόσβεση του εδαφικού υλικού είναι **υστερητικού τύπου** και ανεξάρτητη από τη συχνότητα, ενώ μόνον σε ειδικές περιπτώσεις (πολύ μαλακές άργιλοι) υπάρχει κάποια επίδραση (εξαρτάται) από τον ρυθμό (ταχύτητα) μεταβολής της παραμόρφωσης. Η συχνότητα φόρτισης και ο ρυθμός παραμόρφωσης βέβαια συνδέονται άμεσα. Γενικά ωστόσο, ο βρόγχος υστέρησης στα εδάφη δεν εξαρτάται από τη συχνότητα φόρτισης (ή τον ρυθμό παραμόρφωσης).



Σχήμα 3.1.1 Συμπεριφορά του εδάφους κάτω από ανακυκλική διατμητική παραμόρφωση διαφορετικού επιπέδου: (α) γραμμική ελαστική, (β) ιζωδοελαστική, (γ) υστερητική (με βάση τις πειραματικές δοκιμές) (βλ. Ενот. 2.4.8, Σχ. 2.4.3).

Η εξίσωση του ιζωδοελαστικού μοντέλου που χρησιμοποιεί η ισοδύναμα γραμμική μέθοδος διατυπώνει το μοντέλο Kelvin-Voigt με κατάλληλη μαθηματική έκφραση, όπως αναλυτικά παρουσιάζεται στις επόμενες ενότητες (Ενот. 3.2). Χρησιμοποιεί μόνον «σχηματικά» το μοντέλο αυτό, διότι είναι από τη φύση του ιζώδες. Είναι ιζώδες επειδή εμπεριέχει έναν όρο απόσβεσης (η) ο οποίος είναι σταθερός κι όχι συνάρτηση της συχνότητας φόρτισης (ω). Αν γίνει μία αντικατάστασή της ποσότητας $\omega \cdot \eta$ με $2 \xi \cdot G$, μετατρέπεται ο ιζώδης χαρακτήρας του μοντέλου σε υστερητικού τύπου. Αλλάζει με τον τρόπο αυτό τη φύση του προβλήματος, αφού η εξίσωση του μοντέλου αντί του ιζώδους όρου (η) εξαρτάται πλέον από έναν υστερητικό όρο ($\xi = \frac{\omega \cdot \eta}{2 \cdot G_0}$) ο οποίος είναι σταθερός · άρα ο ιζώδης όρος (η) είναι αναγκαστικά συνάρτηση της συχνότητας (ω) ώστε το μοντέλο να γίνει υστερητικό.

Με την αντικατάσταση αυτή, στη νέα εξίσωση η απόσβεση του υλικού, το μιγαδικό μέτρο δυστημσίας, και η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων δεν αποτελούν συνάρτηση της ταχύτητας φόρτισης (ή αλλιώς του ρυθμού παραμόρφωσης) και δεν εξαρτώνται από τις συχνότητες φόρτισης.

Η επαναληπτική διαδικασία, είναι μια διαδικασία που επιδιώκει να προσεγγίσει βήμα προς βήμα εκείνες τις τιμές των δυο ισοδύναμα γραμμικών εδαφικών ιδιοτήτων, δηλαδή του τέμνοντος μέτρου διάτμησης (G) και του λόγου υστερητικής απόσβεσης ($\xi\%$), οι οποίες αντιστοιχούν στο επιβαλλόμενο επίπεδο διατμητικής παραμόρφωσης. Το επίπεδο αυτό, αντιστοιχεί στην ενεργό (δρῶσα) διατμητική παραμόρφωση της μέγιστης τιμής της χρονοϊστορίας δυναμικής απόκρισης που υπολογίζεται. Οι χρονοϊστορίες απόκρισης προκύπτουν κατόπιν αντιστροφής των φασμάτων ενίσχυσης που μεταφέρει κάθε στρώση. Τα φάσματα ενίσχυσης σε κάθε στρώση, προκύπτουν από το γινόμενο των αντίστοιχων συναρτήσεων μεταφοράς με το πλάτος του φάσματος της επιβαλλόμενης διέγερσης (εξωτερικό σεισμικό φορτίο) σε κάθε συχνότητα. Τα γινόμενα όπως και οι υπολογισμοί των συναρτήσεων μεταφοράς εκτελούνται σε μορφή συναρτήσεων σε όρους συχνοτήτων. Οι συναρτήσεις μεταφοράς εκφράζουν λόγους μετατόπισης σε κάθε βάθος σε σχέση με κάποιο σημείο αναφοράς (π.χ. σε έξαρση βράχου). Για έναν εδαφικό σχηματισμό αποτελούμενο από n στρώσεις, οι μετατοπίσεις και οι διατμητικές τάσεις συγκροτούν ένα σύστημα εξισώσεων με $2n$ αγνώστους (Ενοτ. 3.4), οι οποίοι είναι τα πλάτη του ανερχόμενου και κατερχόμενου κύματος σε κάθε στρώση. Η επίλυση επαναλαμβάνεται για κάθε συχνότητα.

Κάθε δοκιμή της διαδικασίας υπολογισμού της απόκρισης πραγματοποιείται σε δυο διαδοχικά στάδια, τα οποία είναι:

1. Εκτίμηση της συνάρτησης «**εδαφικής δυναμικής μεγέθυνσης (ενίσχυσης ή απομείωσης)**» της σεισμικής διέγερσης.
2. Εκτίμηση της «**δυναμικής απόκρισης**» κατά την επιβολή συγκεκριμένης δόνησης.

Η προσέγγιση των παραπάνω δυναμικών ιδιοτήτων με τη βοήθεια της επαναληπτικής διαδικασίας, γίνεται συγκρίνοντας τις τιμές της ενεργού διατμητικής παραμόρφωσης με τις γραφικές καμπύλες που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου τύπου εδάφους. Οι καμπύλες είτε προσδιορίζονται από κατάλληλες δυναμικές εργαστηριακές δοκιμές είτε λαμβάνονται από δημοσιευμένα αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας. Στις εργαστηριακές δοκιμές γίνεται χρήση απλών αρμονικών φορτίσεων, ενώ οι δυναμικές ιδιότητες προσαρμόζονται ώστε να είναι οι τιμές τους συμβατές με τις παραμορφώσεις στην εδαφική στήλη. Το επίπεδο παραμόρφωσης χαρακτηρίζεται από το μέγιστο πλάτος της χρονοϊστορίας διατμητικής παραμόρφωσης.

Καμπύλες που περιγράφουν τη μη-γραμμική συμπεριφορά του εδάφους, δηλαδή καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης και του λόγου κρίσιμης

απόσβεσης (G/G_0 , ξ) συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης, έχουν προταθεί ως σήμερα για διάφορα υλικά (αμμώδη, αργιλικά, χαλικώδη) πολλών περιοχών. Μερικές αρκετά γνωστές παρατίθενται κατά την περιγραφή των καμπυλών που ενσωματώθηκαν στον κώδικα του *GeoSeism* (Ενοτ. 5.1.5: Σχ. 5.1.5, Πιν. 5.1.5). Οι καμπύλες, όπως και οι καταστατικές σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων, πρέπει να χρησιμοποιούνται με ιδιαίτερη προσοχή. Διότι πέραν του τύπου του εδάφους, η γενικότερη κατάσταση του, η αλληλεπίδραση της επιφανειακής γεωλογίας και των τοπικών εδαφικών συνθηκών με τις συνθήκες φόρτισης, μπορεί να διαφοροποιούν σημαντικά τη μη-γραμμική συμπεριφορά σε μια συγκεκριμένη θέση σε σχέση με τις προτεινόμενες τιμές της βιβλιογραφίας για το ίδιο ή παρόμοιο έδαφος¹.

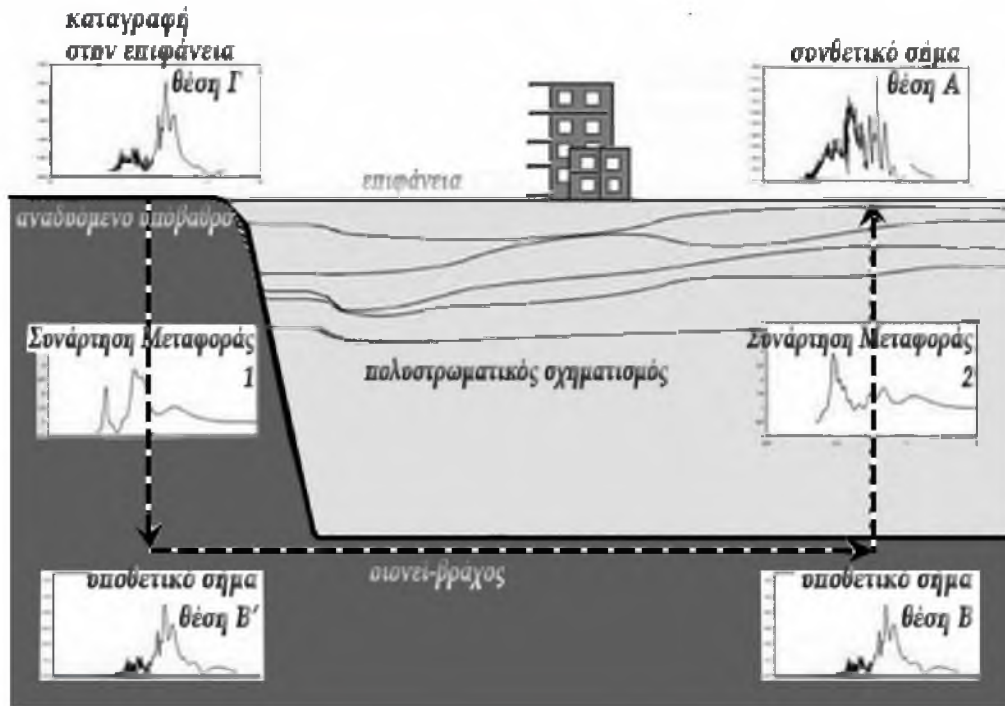
Εκ των ων ουκ άνευ στην ισοδύναμα γραμμική ανάλυση είναι ο υπολογισμός των **Λόγων Ενίσχυσης** (Amplification Ratio) ή Συναρτήσεων Μεταφοράς (Transfer Functions), επειδή αυτές είναι δυνατόν να απεικονίσουν μερικές από τις σημαντικές επιδράσεις των εδαφικών σχηματισμών στα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης χωρίς ιδιαίτερος πολύπλοκα μαθηματικά. Οι συναρτήσεις μεταφοράς επιδιώκουν την υπολογιστική εκτίμηση της κίνησης στην ελεύθερη επιφάνεια ή και σε διάφορα βάθη από την κίνηση του βράχου στο υπόβαθρο. Έχουν ως αναφορά μια συγκεκριμένη κίνηση σεισμού που καταγράφηκε είτε στο θαμμένο υπόβαθρο είτε στην ανάδυση του υποβάθρου. Μπορούν να συσχετίζουν τις κινήσεις σε διαφορετικά βάθη και, με τον τρόπο αυτό, την απόκριση κάθε σημείου σε σχέση με την απόκριση οποιουδήποτε άλλου.

Απαραίτητη πάντοτε πληροφορία για την καλή εφαρμογή της ισοδύναμης γραμμικής μεθόδου, δηλαδή για τη μελέτη δεδομένου εδάφους υπό συγκεκριμένη σεισμική (δυναμική ανακυκλική) φόρτιση, είναι η γνώση των «καμπυλών $G - \gamma - \xi\%$ ». Δηλαδή, ο αντικειμενικός προσδιορισμός των επιπέδων παραμόρφωσης και των καμπυλών απομείωσης του μέτρου διάτμησης και μεταβολής της απόσβεσης συναρτήσει του επιπέδου επιβαλλόμενης παραμόρφωσης.

Πρακτικό ενδιαφέρον στην υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζουν επίσης και μερικές τεχνικές που αναπτύσσονται για τους σκοπούς της μεθοδολογίας (Σχ. 3.1.2). Μια εξ αυτών είναι η κατάρτιση του **φάσματος Fourier**. Αναπτύσσει έναν αλγόριθμο για τον Διακριτό Μετασχηματισμό της χρονοϊστορίας επιτάχυνσης στο πεδίο των συχνοτήτων (DFT) και στη συνέχεια μια αντίστροφη διαδικασία για να ξαναμετατρέψει τα πλάτη συχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου (I-DFT). Καταρτίζονται τελικά χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετατόπισης, διατμητικής τάσης και διατμητικής παραμόρφωσης για κάθε στρώση. Ενδια-

1 Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι αργιλικές αποθέσεις υψηλής πλαστικότητας και υψηλής φυσικής υγρασίας ($PI > 200$, $w \% > 300$) στην πόλη του Μεξικού. Συμπεριφέρθηκαν σχεδόν γραμμικά κατά τον ισχυρό σεισμό του 1985 επιτρέποντας μεγάλες εδαφικές ενισχύσεις. Η συμπεριφορά αυτή διέψευσε την προηγούμενη πεποίθηση ότι μπορεί να είναι σημαντικά μη γραμμική λόγω της πολύ χαμηλής δυσστησίας.

φέρουσα επίσης είναι η τεχνική της **αποσυνέλιξης** (deconvolution), η οποία είναι μια τεχνική κατάρτισης της κίνησης (χρονοϊστορίας) στον βράχο από μια γνωστή κίνηση που μπορεί να καταγράφεται στην επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 3.1.2 Αριθμητική ανάλυση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης, με χρήση των Συναρτήσεων Μεταφοράς: Αποσυνέλιξη της επιβαλλόμενης σεισμικής κίνησης από την έξαρση του αναδύομενου βράχου στο θαμμένο υπόβαθρο (αριστερά). Υπολογισμός των χρονοϊστοριών δυναμικής απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους και σε διάφορα βάθη (δεξιά).

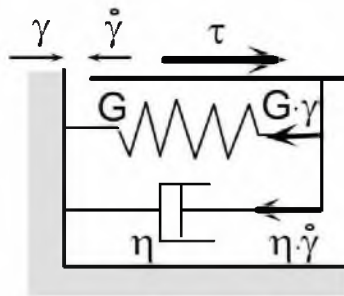
Πρέπει να σημειωθεί με εμφαντικό τρόπο ότι, με την παρούσα μεθοδολογία που αναπτύσσεται με βάση την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση είναι δυνατόν να προσομοιωθεί ικανοποιητικά η μη γραμμική και υστερητική συμπεριφορά των εδαφών τουλάχιστον εφόσον οι αναπτυσσόμενες διατμητικές παραμορφώσεις **δεν ξεπερνούν επίπεδα της τάξης του $2 \cdot 10^{-3}$** (προσεγγιστικά, για συνηθισμένη εδαφική ταλάντωση, χωρίς έντονα μη γραμμικά φαινόμενα, και σεισμούς της τάξης $M < 7.0$).

Όλες οι παραπάνω έννοιες μαζί με συναφή στοιχεία αναλύονται πιο συγκεκριμένα στις επόμενες ενότητες.

3.2 Περιγραφή του ισοδύναμα γραμμικού μοντέλου

3.2.1 Ισοδύναμα Γραμμική Μέθοδος - Βασικές αρχές

Συνοπτικά, το **ιξωδοελαστικό (ή βισκοελαστικό) μοντέλο** στο οποίο βασίζεται η ισοδύναμα γραμμική μέθοδος, θεωρεί ότι η σχέση τάσεων - παραμορφώσεων ενός υλικού, εν προκειμένω του εδάφους, είναι γραμμική ενώ λαμβάνει υπόψη την απώλεια της ενέργειας κατά την ανακυκλική φόρτιση. Η απώλεια της ενέργειας δημιουργεί βρόχους υστέρησης στην σχέση διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης κατά την ανακυκλική φόρτιση του εδαφικού υλικού. Στο πραγματικό έδαφος, η αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης οδηγεί σε μείωση του μέτρου διάτμησης και αύξηση του κρίσιμου λόγου απόσβεσης, εκφράζοντας την μη γραμμική συμπεριφορά του υλικού, όπως έχει αποδειχθεί εργαστηριακά (Kramer 1996). Το ιξωδοελαστικό προσομοίωμα του εδάφους επιτρέπει την απορρόφηση ενέργειας, χωρίς να υφίσταται αλλαγή των εδαφικών ιδιοτήτων με την αύξηση της παραμόρφωσης. Αυτή η αλλαγή των ιδιοτήτων θα ενσωματωθεί με την επαναληπτική διαδικασία της ισοδύναμα γραμμικής μεθόδου.



Σχήμα 3.2.1 Σχηματική αναπαράσταση του ιξωδοελαστικού μοντέλου τάσεων - παραμορφώσεων Kelvin-Voigt, το οποίο συντίθενται από ένα διατμητικό ελατήριο G κι έναν ιξώδη αποσβεστήρα τοποθετημένους εν παράλληλω.

Το **μηχανικό ανάλογο** που αποδίδει περισσότερο το ιξωδοελαστικό μοντέλο, προσομοιώνεται με βάση ένα σύστημα ελατηρίου και αποσβεστήρα (Σχ. 3.2.1) συνδεδεμένα σε παράλληλη διάταξη (ομοίωμα Kelvin-Voigt). Το ελατήριο περιγράφει τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού και ο αποσβεστήρας τα χαρακτηριστικά της απόσβεσης που στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι εκφράζει την απώλεια (κατανάλωση) ενέργειας². Η ιξώδης δύναμη ως γνωστόν είναι συνάρτηση της ταχύτητας φόρτισης ή αλλιώς του ρυθμού παραμόρφωσης.

Με κατάλληλη προσαρμογή της καταστατικής σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων (Ενοτ. 3.2.2), το μαθηματικό μοντέλο Kelvin-Voigt είναι δυνατόν να εκφράζεται (τελικά) ανεξάρτητο των συχνοτήτων φόρτισης. Τοιοιτοτρόπως, προσομοιώνεται ικανοποιητικά η μη γραμμική και υστερητική συμπεριφορά των εδαφών, μέχρι το μέγιστο εύρος παραμορφώσεων.

² Ανάλωση ενέργειας σε μορφή θερμότητας λόγω εσωτερικής τριβής (Ενοτ. 2.4.3, Ενοτ. 3.2.3).

3.2.2 Καταστατική σχέση μονοδιάστατης προσομοίωσης της υστερητικής συμπεριφοράς

Οι καταστατικοί νόμοι εκφράζουν ποσοτικά τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών, καθορίζοντας συνήθως τα μεγέθη των τάσεων που αναπτύσσονται κατά την παραμόρφωση του υλικού (σχέσεις τάσεων- παραμορφώσεων). Δεν είναι φυσικοί νόμοι. Δεν έχουν δηλαδή τη γενική εφαρμογή των φυσικών νόμων, αλλά είναι συσχετίσεις που βασίζονται είτε σε αξιώματα, με κάποιες πρόσθετες παραδοχές (λ.χ., ο νόμος της γραμμικής ελαστικότητας), είτε σε φαινομενολογικές θεωρήσεις που προκύπτουν από πειραματικές κυρίως μετρήσεις της συμπεριφοράς των υλικών. Είναι απαραίτητοι κατά την αναλυτική ή αριθμητική επίλυση προβλημάτων που αφορούν φορτίσεις των υλικών. Στα εδαφικά υλικά οι καταστατικοί νόμοι θα έπρεπε να προκύψουν από τη μικροσκοπική θεώρηση των μηχανισμών παραμόρφωσης (δηλαδή, τις ελαστικές και ανελαστικές παραμορφώσεις των κόκκων, την ολίσθηση και κύλιση μεταξύ των κόκκων, κ.λπ.) και από τη μελέτη του τρόπου μετάδοσης των δυνάμεων μεταξύ των κόκκων. Όμως, η μέθοδος αυτή υπερβαίνει τις σημερινές υπολογιστικές δυνατότητες και είναι πρακτικά αδύνατη.

Η καταστατική σχέση τάσεων - παραμορφώσεων με την οποία το ιξωδοελαστικό μοντέλο προσομοιώνει την εδαφική απόκριση βασίζεται στο μαθηματικό ανάλογο του Kelvin - Voigt. Στη γενική μορφή της εξίσωσης, η διατμητική τάση (τ - shear stress) εξαρτάται από τη διατμητική παραμόρφωση (γ - shear strain) και τον ρυθμό (ταχύτητα) μεταβολής της παραμόρφωσης ($\dot{\gamma}$ - shear strain rate) στον χρόνο, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tau = G \cdot \gamma + \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (3.2.2.1)$$

όπου, G είναι το μέτρο διάτμησης και η είναι το ιξώδες (viscosity). Στην περίπτωση της (μονοδιάστατης) εδαφικής στήλης (shear beam column), η διατμητική παραμόρφωση και ο ρυθμός της διατμητικής παραμόρφωσης ορίζονται από τη οριζόντια μετακίνηση $u(z,t)$ σε βάθος z και σε χρόνο t ως:

$$\gamma = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} \quad (3.2.2.2)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \cdot \partial t} \quad (3.2.2.3)$$

$$\tau = G \cdot \gamma + \eta \cdot \dot{\gamma} = G \cdot \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} + \eta \cdot \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \cdot \partial t} \quad (3.2.2.4)$$

Σε περίπτωση αρμονικής διεγερσης η μετακίνηση, η παραμόρφωση και ο ρυθμός παραμόρφωσης γράφονται ως ακολούθως:

$$u(z,t) = U(z) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.2.2.5)$$

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u(z,t)}{\partial z} = \frac{dU}{dz} \cdot e^{i\omega t} = \Gamma(z) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.2.2.6)$$

$$\dot{\gamma}(z,t) = \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z \cdot \partial t} = i \cdot \omega \cdot \gamma(z,t) \quad (3.2.2.7)$$

όπου, $U(z)$, $\Gamma(z)$ το πλάτος της μετακίνησης και της διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Επομένως, η σχέση τάσεων - παραμορφώσεων (Εξ. 3.2.2.1) στην περίπτωση αρμονικής φόρτισης γίνεται:

$$\tau(z,t) = \Sigma(z) \cdot e^{i\omega t}, \quad \text{ή αλλιώς}$$

$$\tau(z,t) = G \cdot \frac{dU}{dz} \cdot e^{i\omega t} + \eta \cdot i \cdot \omega \cdot \frac{dU}{dz} \cdot e^{i\omega t} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \tau(z,t) = (G + i \cdot \omega \cdot \eta) \cdot \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = G^* \cdot \frac{dU}{dz} \cdot e^{i\omega t} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \tau(z,t) = G^* \cdot \gamma(z,t) \quad (3.2.2.8)$$

όπου, G^* το μιγαδικό μέτρο διάτμησης και $\Sigma(z)$ το πλάτος της διατμητικής τάσης. Όπως αποδεικνύεται παρακάτω, με την εισαγωγή του λόγου της κρίσιμης απόσβεσης ξ (critical damping ratio), ο οποίος λαμβάνεται ίσος με $\xi = \frac{\omega \cdot \eta}{2 \cdot G}$, το μιγαδικό μέτρο G^* (complex shear modulus) γίνεται:

$$G^* = G + i \cdot \omega \cdot \eta = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi) \quad (3.2.2.9)$$

ή ισοδύναμα:

$$G^* = G + i \cdot G' \quad (3.2.2.10)$$

όπου

$$G' = 2 \cdot \xi \cdot G \quad (3.2.2.11)$$

Με τον τρόπο αυτό, το μιγαδικό μέτρο διάτμησης εκφράζει πλήρως τις δυναμικές ιδιότητες του εδάφους χωρίς να εξαρτάται από τη συχνότητα. Ταυτόχρονα, όλες οι εξισώσεις κι όλες οι λύσεις που προαναφέρθηκαν παραμένουν ίδιες, χωρίς καμία απολύτως διαφορά πέραν της αντικατάστασης των μέτρων διάτμησης M^* (G^* ή E^* κατά περίπτωση) με τις αντίστοιχες μιγαδικές εκφράσεις. Με ανάλογο τρόπο και οι ταχύτητες V_p , V_s , V_r και οι κυματικοί αριθμοί αντιπροσωπεύονται από τις αντίστοιχες μιγαδικές εκφράσεις:

$$V_{sh}^* = V_0 \cdot \sqrt{(1 + 2 \cdot i \cdot \xi)} \quad (3.2.2.12)$$

$$k^* = \frac{\omega}{V_{sh}^*} \quad (3.2.2.13)$$

Ο λόγος απόσβεσης ξ εξαρτάται από το επίπεδο της παραμόρφωσης γ ή ε (βλ. Ενот. 3.1.3). Εισάγοντας τη νέα έννοια του μιγαδικού μέτρου διάτμησης G^* , οι εξισώσεις που είναι δυνατόν να περιγράψουν τις δυναμικές αυτές ιδιότητες και παραμέτρους συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.2.2.

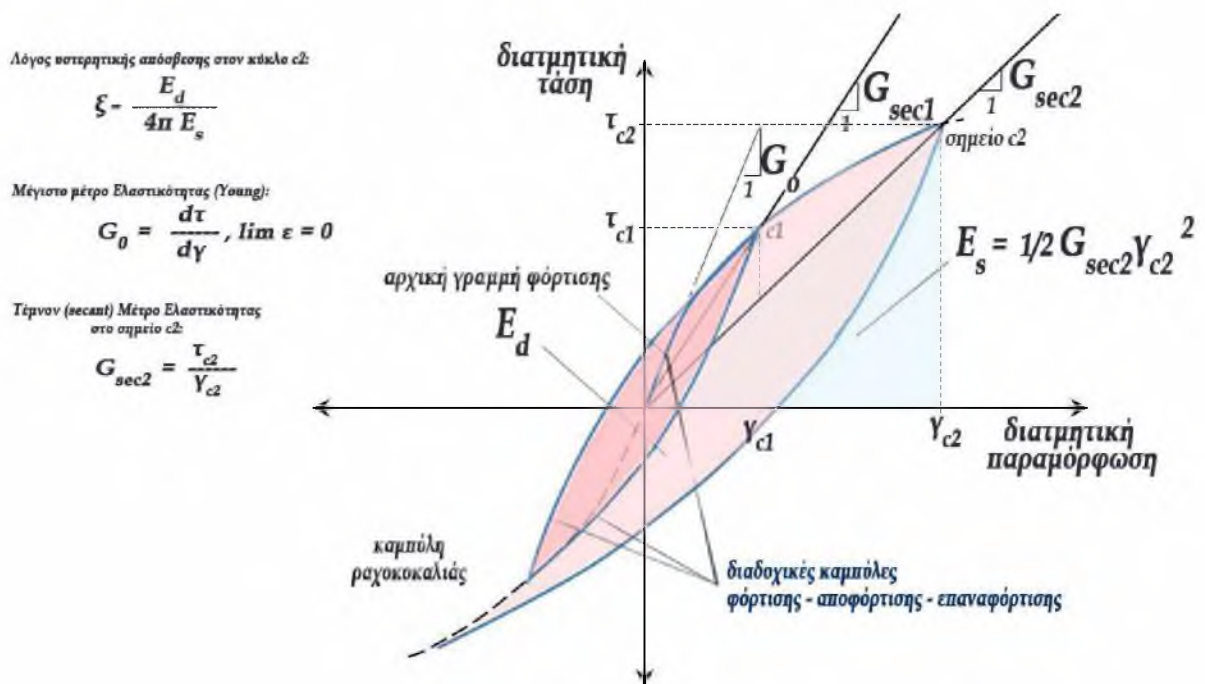
Πίνακας 3.2.2 Εκφράσεις του μέτρου διάτμησης G^* και των όρων του.

Εξίσωση	Απόδειξη
$G^* = G + i \cdot G'$	Εξίσωση 3.2.2.10
$G^* = G + i \cdot \omega \cdot \eta = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi)$	Εξίσωση 3.2.2.9
$G^* = G \cdot [(1 - 2 \cdot \xi^2) + 2 \cdot i \cdot \xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2}]$	Εξίσωση 3.2.4.2
$ G^* = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi) = G \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \xi^2}$	Εξίσωση 3.2.4.1
$ G^* = G \cdot [(1 - 2 \cdot \xi^2) + 2 \cdot i \cdot \xi \cdot \sqrt{1 - \xi^2}] = G$	Εξίσωση 3.2.4.3
$ G^* = \sqrt{G^2 + G'^2}$	Εξίσωση 3.2.2.10
$G' = 2 \cdot \xi \cdot G$	Εξίσωση 3.2.2.11
$\alpha(z, t) = G^* \cdot \gamma(z, t)$	Εξίσωση 3.2.2.8
$\frac{\tau^*}{\gamma^*} = G \cdot (\cos \delta + i \cdot \sin \delta) = G + i \cdot G' = G^*$	Εξίσωση 3.2.5.4
$\xi\% \text{ ή } D\% = \frac{\omega \cdot \eta}{2 \cdot G} = \frac{E_d}{4 \cdot \pi \cdot E_s}$	Εξίσωση 3.2.3.8
$\tan \delta = \frac{G'}{G} = \eta_d$	Εξίσωση 3.2.5.6

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

3.2.3 Υστερητική απόσβεση και ελαστική ενέργεια στην ανακυκλική φόρτιση

Εάν ένα εδαφικό δοκίμιο υποβληθεί σε ανακυκλιζόμενη διάτμηση, η σχέση τάσεων - παραμορφώσεων δεν είναι γραμμική - ελαστική αλλά σε κάθε πλήρη φόρτιση (φόρτιση - αποφόρτιση - επαναφόρτιση) διαγράφει καμπύλη εναλλασσόμενου προσήμου και σε μορφή βρόχων. Επιπλέον, σε κάθε βρόχο φόρτισης (υστέρησης) παρατηρείται απώλεια ελαστικής ενέργειας που οφείλεται στη σχετική ολίσθηση και αναδιάταξη των κόκκων του εδάφους λόγω της παραμόρφωσης του υλικού. Μια γενική μορφή καμπύλης και βρόχων υστέρησης απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.3.



Σχήμα 3.2.3 Βρόχος υστέρησης σε υστερητικό μοντέλο: Τέμνον μέτρο διάτμησης και υστερητική απόσβεση σε έναν πλήρη κύκλο φόρτισης. Μεταβολή των δυναμικών ιδιοτήτων συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης.

Όπως προαναφέρθηκε, τα πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η απώλεια ελαστικής ενέργειας του τύπου αυτού, η οποία καλείται υστερητικού τύπου απόσβεση, είναι ανεξάρτητη της συχνότητας (ω). Επιβεβαιώνουν επίσης ότι η υστερητική απόσβεση έχει ως αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση του πλάτους της ταλάντωσης.

Η **ιξώδους τύπου απόσβεση** διαφέρει από την υστερητική απόσβεση ως προς το ότι εξαρτάται από τη συχνότητα. Υπενθυμίζεται ότι, η ιξώδης απόσβεση σε μονοβάθμιο ταλαντωτή με απόσβεση, είναι συνάρτηση της φυσικής κυκλικής (ιδιο)συχνότητας του συστήματος, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ και ο λόγος ιξώδους απόσβεσης ξ δίνεται από την εξίσωση:

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}} = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_0} = \frac{c \cdot \omega_0}{2 \cdot k} \quad (3.2.3.1)$$

Το ζητούμενο για τους εισηγητές της μεθόδου της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης (Schnabel et al., 1972), όπως προαναφέρθηκε, ήταν να εκφραστεί η υστερητική απόσβεση του εδάφους με τρόπο που να είναι ανεξάρτητη της συχνότητας. Αυτό προέκυπε και πειραματικά, καθώς από την ιξωδοελαστική περιοχή και μετά ο βρόχος $\tau - \gamma$ είναι μια έλλειψη για την οποία είναι δυνατόν να υπολογιστεί η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε κύκλο φόρτισης (Σχ. 3.1.1).

Η **αποσβενόμενη ενέργεια E_d ή W_d** (energy dissipated), εκφράζει την ενέργεια η οποία καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου φόρτισης (φόρτιση - αποφόρτιση - επαναφόρτιση) και ισούται με το εμβαδόν που περικλείεται στον βρόχο τάσεων - παραμορφώσεων το οποίο μπορεί να εκφραστεί μαθηματικώς ως εξής (Σχ. 3.2.3):

$$E_d = \int_{\tau_c} \tau \, d\gamma \quad (3.2.3.2)$$

Στην περίπτωση αρμονικής φόρτισης ελεγχόμενης από τις παραμορφώσεις, δηλαδή $\gamma(t) = \gamma_c \cdot e^{i\omega t}$, η γενική (Εξ. 3.2.3.2) λαμβάνει τη μορφή:

$$E_d = \int_{\bar{t}}^{t+\frac{2\pi}{\omega}} \operatorname{Re}[\tau(t)] \cdot \operatorname{Re}\left[\frac{d\gamma}{dt}\right] dt \quad (3.2.3.3)$$

Στην τελευταία εξίσωση, μόνον το πραγματικό μέρος της τάσης και του ρυθμού παραμόρφωσης λαμβάνονται υπόψη (Meironitch, 1967). Με βάση την παραπάνω εξίσωση της τάσης (Εξ. 3.2.2.8), το πραγματικό μέρος της τάσης και του ρυθμού παραμόρφωσης είναι:

$$\operatorname{Re}[\tau(t)] = \operatorname{Re}[\gamma_c \cdot (G + i \cdot \omega \cdot \eta) \cdot e^{i\omega t}] = \gamma_c (G \cdot \cos\omega t - \omega \cdot \eta \cdot \sin\omega t) \quad (3.2.3.4)$$

και

$$\operatorname{Re}\left[\frac{d\gamma}{dt}\right] = \operatorname{Re}\left[\frac{d(\gamma_c \cdot e^{i\omega t})}{dt}\right] = -\gamma_c \cdot \omega \cdot \sin\omega t$$

Τελικά, η εξίσωση (3.2.3.3) της αποσβενόμενης ενέργειας, γίνεται:

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \gamma_c^2 \cdot \int_t^{t+\frac{2\pi}{\omega}} [-G \cdot \sin 2\omega t + \omega \cdot \eta \cdot (1 - \cos 2\omega t)] dt \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow E_d = \pi \cdot \omega \cdot \eta \cdot \gamma_c^2 \quad (3.2.3.5)$$

Στην παραπάνω έκφραση η απόσβεση είναι προφανώς **ιξώδους τύπου** και εξακολουθεί δηλαδή να είναι συνάρτηση της συχνότητας. Το γεγονός αυτό αναιρείται αν, όπως προαναφέρθηκε (Ενοτ. 3.2.2), η τιμή του η ληφθεί ίση προς:

$$\eta = \frac{2 \cdot G \cdot \xi}{\omega} \quad (3.2.3.6)$$

Η **ελαστική ενέργεια** E_s ή W_s εκφράζει τη μέγιστη ενέργεια παραμόρφωσης, που αποθηκεύεται σε κάθε κύκλο φόρτισης και είναι ίση με (Σχ. 3.2.3):

$$E_s = \frac{1}{2} \cdot \tau_c \cdot \gamma_c = \frac{1}{2} \cdot G \cdot \gamma_c^2 \quad (3.2.3.7)$$

Ο **λόγος της κρίσιμης απόσβεσης** ξ (ή D) μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με όρους E_s ή W_d , με υστερητική μορφή (Σχ. 3.2.3):

$$\xi = \frac{E_d}{4 \cdot \pi \cdot E_s} \quad (3.2.3.8)$$

Αυτό αποδεικνύεται κι ως εξής:

$$\xi = \frac{\frac{1}{4\pi} \cdot \pi \cdot \eta \cdot \omega \cdot \gamma_c^2}{\frac{1}{2} \cdot G \cdot \gamma_c^2} = \frac{\eta \cdot \omega}{2 \cdot G} \quad (3.2.3.9)$$

Εν κατακλείδι, η **υστερητική απόσβεση** είναι εσωτερική ιδιότητα του εδαφικού υλικού και έχει σημαντικό ρόλο στη διάδοση των σεισμικών κυματισμών, και κατά συνέπεια στη σεισμική απόκριση των εδαφικών σχηματισμών. Εκφράζεται με τον λόγο κρίσιμης απόσβεσης ξ , ο οποίος εξαρτάται από το επίπεδο της παραμόρφωσης ($\gamma\%$ ή $\varepsilon\%$). Για τα περισσότερα εδάφη κυμαίνεται από 2% σε πολύ μικρές παραμορφώσεις (ελαστική περιοχή) και έως συνήθως 30% σε μεγάλες παραμορφώσεις ($> 10^{-2}$). Τα πειραματικά αυτά δεδομένα σε σχέση με τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους παρουσιάζονται αναλυτικά στην Ενότητα 2.4.8. Οι καμπύλες απομείωσης που προσαρμόστηκαν μέχρι στιγμής στο *GeoSeism* παρατίθενται στην Ενότητα 5.1 (Σχ. 5.1.5).

Το άμεσο αποτέλεσμα της υστερητικής απόσβεσης είναι η προοδευτική μείωση του πλάτους της ταλάντωσης, το οποίο στη συχνότητα συντονισμού έχει πλέον πεπερασμένη τιμή.

3.2.4 Μοντέλα μέτρων διάτμησης, και η φυσική τους σημασία

Από τα προηγούμενα γίνεται κατανοητό ότι στην ισοδύναμα γραμμική μέθοδο ενδιαφέρουν τα μέτρα διάτμησης σε κάθε κύκλο φόρτισης (όχι σε χρονικές στιγμές), τα οποία είναι: το μιγαδικό (ή τέμνον) μέτρο διάτμησης G^* και το πραγματικό μέτρο διάτμησης G .

Το πραγματικό μέτρο (G) εκφράζει το φυσικό μέγεθος του λόγου της ανακυκλικής διατμητικής τάσης προς την αντίστοιχη διατμητική παραμόρφωση. Η τάση και η παραμόρφωση αναφέρονται σε μια χρονική στιγμή – η οποία για την ισοδύναμα γραμμική μέθοδο ενδιαφέρει να είναι μόνον εκείνη του μέγιστου πλάτους του κύκλου φόρτισης και ειδικά του μέγιστου κύκλου φόρτισης. Το πραγματικό μέτρο G είναι αυτονόητα διάφορο του ελαστικού μέτρου (G_0).

Το ελαστικό μέτρο (G_0), αναφέρεται μόνον σε μικρά επίπεδα ελαστικής παραμόρφωσης.

Το μιγαδικό G^* αποτελεί μια μαθηματική έκφραση που εκφράζει το μέτρο σε έναν κύκλο φόρτισης για το οποίο η αύξηση της απόσβεσης ξ έχει ως αποτέλεσμα να μένει σταθερός ο πραγματικός (το πραγματικό μέτρο G) αλλά να αυξάνει ο φανταστικός όρος του μέτρου διάτμησης (Εξ. 3.2.2.11: το G' εκφράζεται και σε όρους G).

Στην ισοδύναμα γραμμική μέθοδο έχουν προταθεί τα δυο παρακάτω μοντέλα.

Πρώτο μοντέλο: Το μιγαδικό μέτρο διάτμησης στην πρώτη μορφή του ισοδύναμου γραμμικού μοντέλου στην αυθεντική έκδοση του κώδικα *SHAKE* (Schnabel et al., 1972) υπολογιζόταν από τη σχέση:

$$G^* = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi) \rightarrow |G^*| = G \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \xi^2} \quad (3.2.4.1)$$

Στη σχέση αυτή, ο λόγος απόσβεσης ξ είναι σταθερός ανά κύκλο και ανεξάρτητος από την κυκλική συχνότητα ω . Κατά συνέπεια, και το μιγαδικό μέτρο $|G^*|$ διάτμησης είναι επίσης ανεξάρτητο από τη συχνότητα ω , όπως είναι και η απώλεια ενέργειας που αποσβένεται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης. Η απώλεια αυξάνεται γραμμικά με τον λόγο απόσβεσης, και μπορεί να υπολογιστεί από την Εξ. 3.2.3.5.

Δεύτερο μοντέλο: Σε μεταγενέστερη έκδοση, στο *SHAKE 91* (Idriss and Sun, 1992) το μιγαδικό μέτρο διάτμησης είναι φυσικά πάντοτε συνάρτηση του ξ και ανεξάρτητο από την κυκλική συχνότητα ω , αλλά δίνεται από τη σχέση (όπου $i = \sqrt{-1}$ είναι η φανταστική μονάδα):

$$G^* = G \cdot [(1 - 2 \cdot \xi^2) + 2 \cdot \xi \cdot i \cdot \sqrt{1 - \xi^2}] \quad (3.2.4.2)$$

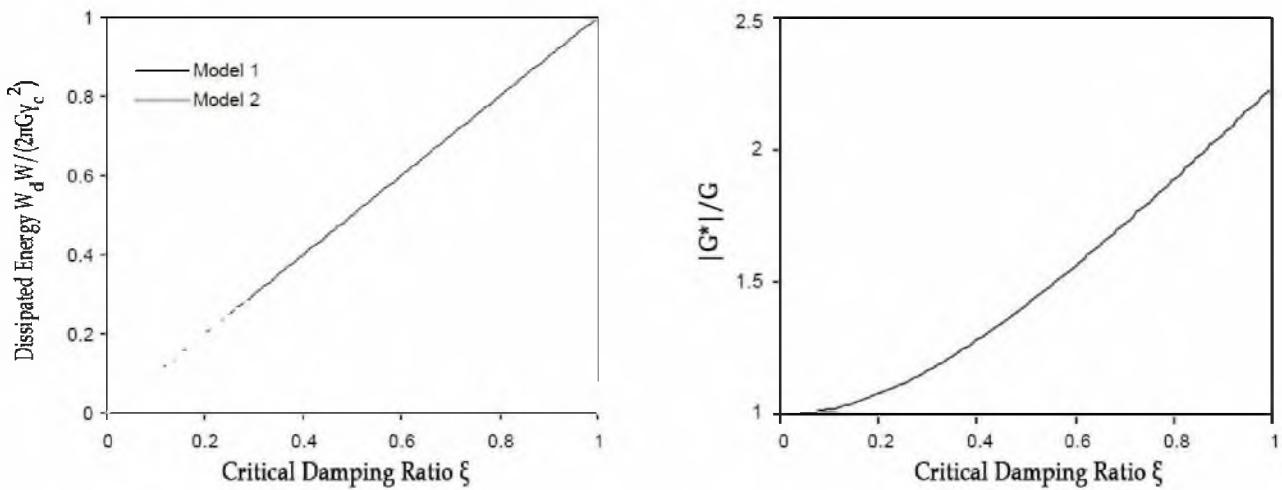
Η τελευταία αυτή σχέση (Εξ. 3.2.4.2) υπονοεί ότι το μιγαδικό και το πραγματικό μέτρο διάτμησης έχουν το ίδιο πλάτος, δηλαδή:

$$\begin{aligned} |G^*| &= \left| G \cdot [(1 - 2 \cdot \xi^2) + 2 \cdot \xi \cdot i \cdot \sqrt{1 - \xi^2}] \right| = \\ &= G \cdot \sqrt{(1 - 2\xi^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot (1 - \xi^2)} = G \end{aligned} \quad (3.2.4.3)$$

Η απώλεια ενέργειας (ανά κύκλο φόρτισης) για το δεύτερο μοντέλο, μπορεί να υπολογιστεί:

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot \gamma_c^2 \int_t^{t+2\pi/\omega} 2G \cdot \xi \sqrt{1 - \xi^2} dt = 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \xi \cdot \gamma_c^2 \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.2.4.4)$$

Σημείωση : Για $\xi < 0.2$ δεν υπάρχει πρακτικά διαφορά ανάμεσα στα δύο μοντέλα, επειδή το ξ^2 είναι πολύ μικρό. Για $\xi > 0.707$ το δεύτερο μοντέλο δίνει αρνητική πραγματική δυσκαμψία, κι επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 3.2.4 Κανονικοποιημένη μεταβολή του μιγαδικού μέτρου διάτμησης (αριστερά) και της αποσβενόμενης ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης (δεξιά) συναρτήσει του λόγου κρίσιμης απόσβεσης για τα δυο μοντέλα του G^* που προτείνονται στο SHAKE.

3.2.5 Διαφορά φάσης και συντελεστής απώλειας στην αρμονική φόρτιση

Στην απλή περίπτωση της αρμονικής φόρτισης με κυκλική συχνότητα (ω) ισχύουν οι σχέσεις:

$$\begin{aligned}\tau &= \tau_0 \cdot \sin \omega t \\ \gamma &= \gamma_0 \cdot \sin(\omega t - \delta)\end{aligned}\quad (3.2.5.1)$$

όπου τ_0 , γ_0 τα αντίστοιχα (μέγιστα) πλάτη της τάσης και παραμόρφωσης, και δ η διαφορά φάσης που δηλώνει τη χρονική υστέρηση ($-\delta$: αφαίρεση γωνίας) εμφάνισης της παραμόρφωσης από την επιβολή της τάσης. Με βάση τον νόμο του Euler οι ίδιες σχέσεις γράφονται σε μιγαδική και εκθετική μορφή, ως εξής:

$$\begin{aligned}\tau^* &= \tau_0 \cdot e^{i\omega t} \\ \gamma^* &= \gamma_0 \cdot e^{i(\omega t - \delta)}\end{aligned}\quad (3.2.5.2)$$

Σε τριγωνομετρική μορφή, οι μιγαδικές σχέσεις γράφονται ως εξής:

$$\begin{aligned}\tau^* &= \tau_0 \cdot \cos \omega t + i \cdot \tau_0 \cdot \sin \omega t \\ \gamma^* &= \gamma_0 \cdot \cos(\omega t - \delta) + i \cdot \gamma_0 \cdot \sin(\omega t - \delta)\end{aligned}\quad (3.2.5.3)$$

Από τις παραπάνω εκφράσεις είναι δυνατόν να υπολογιστεί (εναλλακτικά) ο λόγος τάσης προς παραμόρφωση στην ιξωδοελαστική συμπεριφορά, ο οποίος:

$$\begin{aligned}\frac{\tau^*}{\gamma^*} &= \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot e^{i\delta} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot (\cos \delta + i \cdot \sin \delta) \\ \frac{\tau^*}{\gamma^*} &= G \cdot (\cos \delta + i \cdot \sin \delta) = G + i \cdot G' = G^*\end{aligned}\quad (3.2.5.4)$$

Η διαφορά φάσης μπορεί επομένως να υπολογισθεί από τις παραπάνω εκφράσεις μεταξύ της ιξωδοελαστικής διατμητικής τάσης και παραμόρφωσης. Για το μιγαδικό μέτρο διάτμησης ισχύει (Εξ. 3.2.4.1):

$$|G^*| = \sqrt{G^2 + G'^2}\quad (3.2.5.5)$$

Το **πραγματικό μέρος** είναι η ποσότητα $G = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot \cos \delta$ η οποία εκφράζει το μέτρο διάτμησης στη γραμμική ελαστικότητα, δηλαδή την ελαστική απόκριση του υλικού.

Το **φανταστικό μέρος** είναι η ποσότητα $G' = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cdot \sin \delta$ η οποία εκφράζει την απώλεια ενέργειας.

Εναλλακτικά, η διαφορά φάσης μπορεί επίσης να υπολογιστεί από την έκφραση του συντελεστή απώλειας ή συντελεστή απόσβεσης η_d . Ο συντελεστής αυτός, εκφράζει ακριβώς την απώλεια ενέργειας ή την απόσβεση κατά την ταλάντωση, δηλαδή για κάθε κύκλο φόρτισης τον λόγο των αναπτυσσόμενων διατμητικών τάσεων σε μηδενική και μέγιστη παραμόρφωση:

$$\tan \delta = \frac{G'}{G} = \eta_d \quad (3.2.5.6)$$

Το *GeoSeism* χρησιμοποιεί έναν πιο απλό (και ακριβή πάντοτε) μαθηματικό τρόπο για την εκτίμηση της φάσης καθεμιάς παραμέτρου και των διαφορών φάσης μεταξύ τους. Χρησιμοποιεί τις μιγαδικές συνιστώσες των παραμέτρων και επιτελεί τους υπολογισμούς μέσα στην αριθμητική μεθοδολογία (Ενот. 5.1.4).

3.3 Παραδοχές εφαρμογής της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης

3.3.1 Παραδοχές της ελαστικής θεωρίας: σεισμική ενέργεια, ελαστικά κύματα, σεισμικά κύματα

Η **σεισμική ενέργεια** που απελευθερώνεται κατά τη γένεση ενός σεισμού είναι κινηματικού χαρακτήρα και διαδίδεται με τη μορφή κυμάτων. Παρά τη συνθετότητα του εδάφους, τα σεισμικά αυτά κύματα μπορούν απλουστευτικά να θεωρηθούν ως **ελαστικά κύματα**. Δηλαδή, να εφαρμόζεται η ελαστική θεωρία κυματικής διάδοσης.

Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση βασίζεται στις παραδοχές της **ελαστικής θεωρίας**, βασικές προϋποθέσεις ισχύος των οποίων είναι:

1. Οι εδαφικές παραμορφώσεις κατά την ταλάντωση είναι μικρές και ταυτόχρονα αντιστρέψιμες.
2. Το εδαφικό υλικό βρίσκεται συνεχώς στην ελαστική περιοχή και μετά το πέρας της ταλάντωσης (απομάκρυνση αιτίου - πέρας ταλάντωσης) δεν παρουσιάζονται μόνιμες παραμορφώσεις.

Μειονέκτημα της ελαστικής θεωρίας είναι ότι, σε ισχυρούς σεισμούς οι παραδοχές της δεν ισχύουν. Διαπιστώθηκε και πειραματικά ότι, ακόμη και σε πολύ μικρές παραμορφώσεις ($\gamma < 10^{-5}$) το έδαφος ανέπτυξε μία ελαφρά μη-γραμμική (αλλά καθαρά ελαστική) συμπεριφορά.

3.3.2 Παραδοχές για τα σεισμικά κύματα τύπου S και P

Για την ανάπτυξη μεθοδολογίας, η **μονοδιάστατη ισοδύναμα γραμμική** ανάλυση κάνει επίσης τις εξής παραδοχές σχετικά με την κυματική διάδοση:

1. Τα υλικά σημεία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Άρα, το μέσο κατά τη διάδοση των κυμάτων S υφίσταται μόνον διατμητική παραμόρφωση.
2. Το έδαφος αποτελείται από ένα πολυστρωματικό σχηματισμό, οποίος εδράζεται επί ευκάμπτου βραχώδους υποβάθρου.
3. Η μη-γραμμική συμπεριφορά του εδάφους προσεγγίζεται με επαναληπτικές γραμμικές αναλύσεις στις οποίες ο λόγος υστερητικής απόσβεσης και το τέμνον μέτρο διάτμησης του εδάφους κάθε στρώσης να τροποποιούνται έτσι ώστε να είναι συμβιβαστά προς το επίπεδο της διατμητικής παραμόρφωσης, με βάση τα πειραματικά δεδομένα.

Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση στην παρούσα διατριβή μελετά «μόνον» **κατακόρυφα διατμητικά κύματα τύπου SH**, θεωρώντας ότι:

- ⊗ Η εδαφική ταλάντωση στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια ενός σεισμού οφείλεται κυρίως στην ανάδυση κυμάτων χώρου, από το βραχώδες υπόβαθρο προς την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 3.5.1). Στην πραγματικότητα, σε αρκετές θέσεις μιας κοιλάδας τα επιφανειακά κύματα μπορεί να είναι σημαντικά.
- ⊗ Στα ανώτερα επιφανειακά στρώματα η ανάδυση των κυμάτων χώρου γίνεται σχεδόν κατακόρυφα (μικρή γωνία πρόσπτωσης).
- ⊗ Τα κατακόρυφα κύματα P μεταφέρουν πολύ μικρό ποσοστό ενέργειας σε σχέση με τα άλλα είδη κυμάτων και δεν επηρεάζουν σημαντικά τις κατασκευές.
- ⊗ Η μελέτη της πρόσπτωσης κυμάτων P ή SV υπό γωνία είναι αρκετά πιο σύνθετη. Ο βασικός λόγος που μελετώνται τα SH είναι ότι είναι πολύ απλή η ανάλυση και τα αποτελέσματα της απόκρισης είναι αντιπροσωπευτικά για την συμπεριφορά του εδάφους και για άλλου είδους κύματα (P ή SV).

3.3.3 Παραδοχές για τις εδαφικές συνθήκες

Ο όρος «μονοδιάστατη ανάλυση» σημαίνει ότι το προφίλ του εδάφους εκτείνεται στο άπειρο κατά τις οριζόντιες διευθύνσεις και το υπόβαθρο θεωρείται ως ημι-χώρος. Σε αυτόν τον τύπο ανάλυσης εξετάζεται συνήθως μόνον η κάθετη διάδοση των σεισμικών κυμάτων, και συνήθως τα κύματα διατμήσεως, ως αντιπροσωπευτικότερη προσέγγιση.

Πιο συγκεκριμένα, η **μονοδιάστατη (1Δ) ισοδύναμη γραμμική ανάλυση** περιορίζεται στις εξής συνθήκες (Σχ. 3.4.1):

1. Όλες οι εδαφικές στρώσεις είναι οριζόντιες. Δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη οι κλίσεις εδαφικών στρώσεων, η ανώμαλη επιφάνεια του εδάφους, οι επιρροές της (γεωμετρίας της) γεωλογικής λεκάνης, η επιρροή τυχόν υπόγειων κατασκευών.
2. Μελετώνται μόνον SH σεισμικά κύματα που διαδίδονται κατακόρυφα από το βραχώδες υπόβαθρο.
3. Η συχνότητα του προσπίπτοντος κύματος διατηρείται αναγκαστικά στην ανάκλαση και τη διέλευση για να ικανοποιούνται οι συνοριακές συνθήκες στη διεπιφάνεια των διαδοχικών στρωμάτων.

Ανεξαρτήτως αλγορίθμου επίλυσης, θα πρέπει απαραίτητα να ορισθεί η σχέση διατμητικών τάσεων - παραμορφώσεων ($\tau - \gamma$) που διέπει την δυναμική απόκριση (φόρτιση - αποφόρτιση - επαναφόρτιση) των διάφορων εδαφικών στρώσεων.

3.4 Φυσική περιγραφή του φαινομένου της μονοδιάστατης εδαφικής απόκρισης

Η μαθηματική περιγραφή του φαινομένου της εδαφικής απόκρισης που προσομοιώνεται από τη μονοδιάστατη (1Δ) ισοδυναμώς γραμμική ανάλυση, ξεκινά από τη θεώρηση ενός συνόλου σεισμικών κυμάτων χώρου. Τα κύματα έχουν φτάσει από τη σειсмоγόνο περιοχή και εισέρχονται στην περιοχή της μελέτης. Προσπίπτουν στη διεπιφάνεια του εξεταζόμενου εδαφικού σχηματισμού με το βραχώδες ή ημι-βραχώδες υπόβαθρο. Ανέρχονται τότε κατακόρυφα μέσα στο ομογενές ή πολυστρωματικό έδαφος. Φτάνοντας στο σύνορο της ελεύθερης επιφάνειας, ανακλώνται και επιστρέφουν στη βάση.

Στο κυματικό πεδίο που δημιουργείται στην περιοχή μελέτης, κάθε ζεύγος ανερχόμενου και κατερχόμενου κύματος μελετάται χωριστά, με μια κυματική εξίσωση. Η εξίσωση αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος οριζόντια πολωμένων διατμητικών σεισμικών κυμάτων τύπου SH (τα κύματα P, S έχουν διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης στις εξισώσεις τους, η μορφή της εξίσωσης είναι ίδια). Ο τύπος αυτός έχει επιβεβαιωθεί ιστορικά σε εφαρμογές πολλών ερευνητών ως αντιπροσωπευτικός και των άλλων τύπων κυμάτων χώρου (P ή SV), στην εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους. Κάθε κύμα του ζεύγους εμπεριέχει επιμέρους αρμονικά (μονοχρωματικά) κύματα διαφορετικών συχνοτήτων. Η διάδοση του κύματος συνοδεύεται από μια ταλάντωση κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης η οποία είναι ανακυκλική, σχηματίζοντας αδιάκοπα κύκλους φόρτισης - αποφόρτισης. Η συνολική κίνηση (διάδοσης και ταλάντωσης) μέσα στο ιξωδοελαστικό υλικό έχει ως αποτέλεσμα την προοδευτική απόσβεση της ενέργειας του αρχικού προσπίπτοντος κύματος. Το φαινόμενο όμως συνοδεύεται και από ταυτόχρονη διαφοροποίηση του πλάτους της συχνότητας καθενός εκ των αρμονικών. Οι πολλαπλές ανακλάσεις και διαθλάσεις πάνω στις οριζόντιες διεπιφάνειες των εδαφικών στρώσεων που συναντά κατά την κατακόρυφη διάδοση, κάνουν ακόμη πιο σύνθετη τη διαφοροποίηση αυτή. Στο κατερχόμενο τελικώς κύμα, εμφανίζεται μια ανακατανομή των συχνοτήτων σε σχέση με το αρχικό ανερχόμενο, εις τρόπον ώστε οι αντιστοιχες συχνότητες να εμφανίζονται για κάποιες εδαφικές συνθήκες ενισχυμένες ή απομειωμένες ως προς το μέγεθός τους.

Οι (συν)οριακές συνθήκες έχουν βεβαίως σημασία στη σεισμική εδαφική απόκριση, του παραπάνω φαινομένου (Ενοτ. 3.5). Στο φυσικό φαινόμενο σημασία έχουν και οι δυναμικές κυρίως ιδιότητες του υποβάθρου (Ενοτ. 3.6). Αν ο οιονεί-βράχος του υποβάθρου είναι εύκαμπτος, απορροφά ενέργεια με μορφή ιξώδους απόσβεσης και η σεισμική ενέργεια αποσβάζεται πιο γρήγορα. Αν ο οιονεί-βράχος του υποβάθρου είναι αρκετά άκαμπτος, τότε δεν επιτρέπει σημαντικό μέρος του κατερχόμενου κύματος να διαφύγει στον «ημι-άπειρο» χώρο. Το ανακλά, επιτρέποντάς το να συνεχίσει να συσσωρεύεται ενέργεια στον εδαφικό σχηματισμό. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση επομένως, η σεισμική ενέργεια εγκλωβίζεται στα μαλακά ανώτερα στρώματα του εδαφικού σχηματισμού και το κυματικό πεδίο ενισχύεται.

Η σχηματική παράσταση του φαινομένου, απεικονίζεται σε εδαφικό προφίλ με τις δυναμικές παραμέτρους που υπεισέρχονται (Σχ. 3.5.1).

3.5 Μαθηματική περιγραφή του φαινομένου της μονοδιάστατης εδαφικής απόκρισης

Η γενική έκφραση της μονοδιάστατης κυματικής εξίσωσης για κατακορύφως διαδιδόμενα κύματα διάτμησης SH σε μια διάσταση, είναι:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (3.5.1)$$

όπου, ρ είναι η πυκνότητα της εξεταζόμενης εδαφικής στρώσης. Υποθέτοντας ότι το έδαφος είναι **ιξωδοελαστικό**, δηλαδή ότι (κάθε στρώση) έχει τα διατμητικά χαρακτηριστικά του μοντέλου/στερεού Kelvin - Voigt, η γενική εξίσωση (Εξ. 3.5.1), γίνεται:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + n \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2 \cdot \partial t} \quad (3.5.2)$$

Για αρμονική διέγερση, η εξίσωση της μετατόπισης (u) ενός υλικού σημείου συναρτήσει του βάθους (z) και του χρόνου (t), μπορεί να γραφεί για κάθε στρώση (j) ως (Σχ. 3.5.1):

$$u(z,t) = U(z) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.5.3)$$

Αντικαθιστώντας την έκφραση αυτή της μετατόπισης, η προηγούμενη εξίσωση, γίνεται:

$$(G + i \cdot \omega \cdot n) \cdot \frac{d^2 U(z)}{dz^2} = -\rho \cdot \omega^2 \cdot U \quad (3.5.4)$$

Η οποία είναι μια συνήθης διαφορική εξίσωση με γενική λύση που δίνεται ως το άθροισμα ενός προσπίπτοντος κι ενός ανακλώμενου κύματος:

$$U(z) = A_j \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} + B_j \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j} \quad (3.5.5)$$

Με βάση την (Εξ. 3.5.5), η λύση της (Εξ. 3.5.3) για πολυστρωματικό έδαφος δίδεται σε όρους (μιγαδικής) μετατόπισης:

$$u(z,t) = (A_j \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} + B_j \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j}) \cdot e^{i \omega t} \quad (3.5.6)$$

και η αντίστοιχη (μιγαδική) τάση είναι:

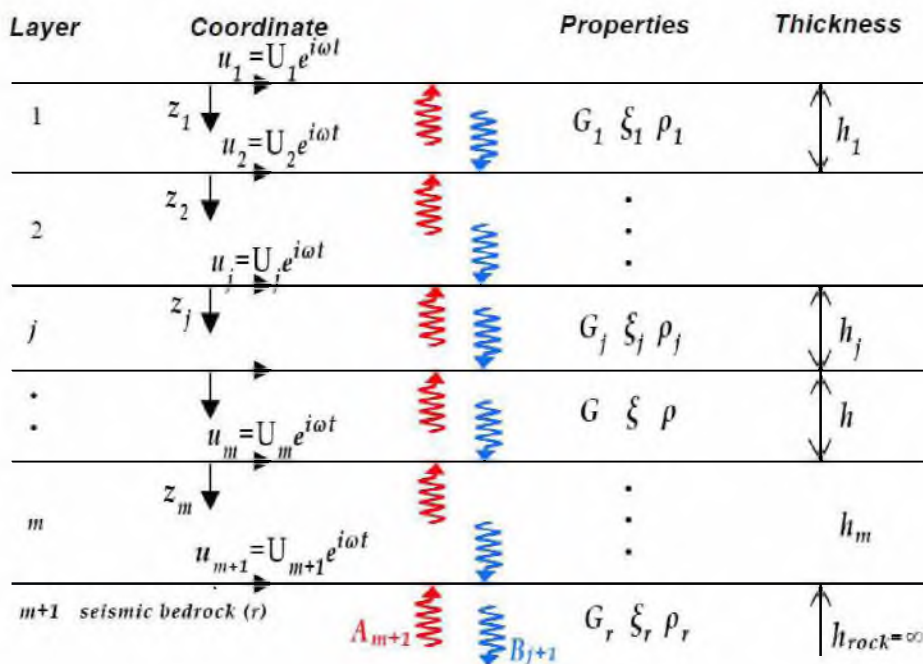
$$\tau(z,t) = i \cdot k_j^* \cdot G_j \cdot (A_j \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} - B_j \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j}) \cdot e^{i \omega t} \quad (3.5.7)$$

όπου, οι σταθεροί ανά συχνότητα όροι A_j και B_j είναι μιγαδικοί. Ο μιγαδικός κυματικός αριθμός k^* , η μιγαδική ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_{sh}^* , και το μιγαδικό μέτρο διάτμησης G^* , είναι (Εξ. 3.2.2.13, Εξ. 3.2.2.12, Εξ. 3.2.2.9) αντίστοιχα:

$$k^* = \frac{\omega}{V_{sh}^*}$$

$$V_{sh}^* = V \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot i \cdot \xi}$$

$$G^* = G \cdot (1 + 2 \cdot i \cdot \xi)$$



Σχήμα 3.5.1 Μονοδιάστατο (1D) εδαφικό προφίλ πολυστρωματικού εδαφικού σχηματισμού πάνω σε βράχο.

Ο δείκτης j απαριθμεί τις στρώσεις του εδαφικού σχηματισμού από πάνω προς τα κάτω. Οι αποστάσεις $z(j)$ των διεπιφανειών επίσης μετρώνται από πάνω προς τα κάτω. Κατά την παραμετροποίηση του προβλήματος, οι στρώσεις του πολυστρωματικού σχηματισμού υποδιαιρούνται όπως οι φυσικές. Για λόγους ακριβέστερης προσέγγισης της διατμητικής παραμόρφωσης και συνεπώς και της απόκρισης με το βάθος, κάθε εδαφική στρώση η οποία έχει αρκετό πάχος υποδιαιρείται νοητά σε λεπτότερες υποστρώσεις (π.χ. πάχους 2 m) - περιλαμβανομένων και των ομογενών εδαφικών σχηματισμών μεγάλου πάχους.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ένας πρώτος στόχος της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης είναι να υπολογιστεί ο λόγος του μέτρου της μετατόπισης μεταξύ δυο διαδοχικών στρώσεων, που εκφράζει δηλαδή τις Συναρτήσεις Μεταφοράς (Ενοτ. 3.1). Οι Συναρτήσεις Μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των πολυστρωματικών σχηματισμών καλούνται **Συναρτήσεις Ενίσχυσης** (Amplification Functions – AF), κι έχουν τη μορφή μιγαδικού λόγου μετατοπίσεων ή ταχυτήτων ή επιταχύνσεων ή μέτρου όπως:

$$|AF(\omega, j)| = \left| \frac{u(\omega, j)}{u(\omega, j+1)} \right| \quad (3.5.8)$$

Η επίλυση του συστήματος των $2m$ παραπάνω εξισώσεων (Εξ. 3.5.6, Εξ. 3.5.7), οι οποίες αντιστοιχούν σε $j = m$ πλήθος στρώσεων του εδαφικού προφίλ, γίνεται με τη βοήθεια των οριακών συνθηκών. Σύμφωνα και με τις παραδοχές της μονοδιάστατης ανάλυσης (Ενοτ. 3.3.3), οι **(συν)οριακές συνθήκες**, είναι:

α) μηδενική διατμητική τάση στην ελεύθερη επιφάνεια:

$$\tau(\omega, 1) = 0$$

β) ίσες τάσεις και ίσες μετατοπίσεις, λόγω διατήρησης της συνέχειας στο εδαφικό μέσο:

$$\tau(\omega, j-1) = \tau(\omega, j)$$

$$u(\omega, j-1) = u(\omega, j)$$

γ) αυτονόητα, ίσες συχνότητες στις διεπιφάνειες, λόγω διατήρησης της συνέχειας στο εδαφικό μέσο:

$$\omega(j-1) = \omega(j)$$

Επίσης, η επίλυση του συστήματος εκλαμβάνει απλουστευτικά ως μοναδιαίες τις σταθερές στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς βλάβη της γενικότητας ($z = 0$) και, ως εκ τούτου, προκύπτουν και ίσες λόγω της πρώτης συνθήκης:

$$\tau(z, t) = i \cdot k^* \cdot G^* \cdot (A_1 \cdot e^{ik^*h} - B_1 \cdot e^{-ik^*h}) \cdot e^{i\omega t} = 0 \Leftrightarrow \quad (3.5.9)$$

$$\Leftrightarrow A_1 = B_1$$

Στη συνέχεια, από την ικανοποίηση των συνοριακών συνθηκών στις διεπιφάνειες, προκύπτουν οι τελικές αναδρομικές σχέσεις (recursion formulas) των άγνωστων σταθερών A_j και B_j . Αντιστοιχούν στο ανερχόμενο και κατερχόμενο αντίστοιχα κύμα μέσα σε καθεμιά εδαφική στρώση:

$$A_{j+1}^* = \frac{1}{2} \cdot A_j^* \cdot (1 + \alpha_j^*) \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} + \frac{1}{2} \cdot B_j^* \cdot (1 - \alpha_j^*) \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j} \quad (3.5.10)$$

$$B_{j+1}^* = \frac{1}{2} \cdot A_j^* \cdot (1 - \alpha_j^*) \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} + \frac{1}{2} \cdot B_j^* \cdot (1 + \alpha_j^*) \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j} \quad (3.5.11)$$

Ειδικά σε **πολυστρωματικό έδαφος**, οι εκφράσεις (Εξ. 3.5.10, 3.5.11) εμπεριέχουν και τον **μιγαδικό λόγο εμπέδησης** α^*_j , ο οποίος εκφράζει την **αντίθεση (διαφορά) δυσστησίας** (λόγο ακαμψιών, σε όρους μέτρων διάτμησης G^* ή ταχυτήτων V_s^* , και ποκνότητας ρ) στη διεπιφάνεια δυο διαδοχικών στρώσεων. Η γενική έκφραση του λόγου, είναι:

$$\alpha^*_j = \frac{\rho_j \cdot V_s^*_j}{\rho_{j+1} \cdot V_s^*_{j+1}} \quad (3.5.12)$$

ή

$$\alpha^*_j = \frac{k^*_j \cdot G^*_j}{k^*_{j+1} \cdot G^*_{j+1}} = \sqrt{\frac{\rho_j \cdot G^*_j}{\rho_{j+1} \cdot G^*_{j+1}}}$$

Μετά την επίλυση του συστήματος ξεκινά η υπολογιστική διαδικασία. Με βάση τις παραπάνω αναδρομικές εξισώσεις, υπολογίζονται οι τιμές των σταθερών όρων A_j , B_j (μιγαδικοί αριθμοί) για όλες τις στρώσεις διαδοχικά προς τα κάτω. Η συνάρτηση μεταφοράς που συσχετίζει τις μετακινήσεις στη διεπιφάνεια μεταξύ των στρώσεων j και $j+1$ είτε σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους, ορίζεται αντίστοιχα ως εξής (Εξ. 3.5.8):

$$AF(\omega, j) = \frac{u^*(\omega, j)}{u^*(\omega, j+1)} = \frac{A_j + B_j}{A_{j+1} + B_{j+1}} \quad (3.5.13)$$

$$AF(\omega, j) = |TF(\omega, j)|$$

Η ταχύτητα και η επιτάχυνση υπολογίζονται στη συνέχεια από τη μετακίνηση:

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i \cdot \omega \cdot u(z, t), \quad (3.5.14)$$

και

$$\ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot u(z, t)$$

Σε αρμονική διέγερση ισχύει $|\ddot{u}(z, t)| = \omega \cdot |\dot{u}(z, t)| = \omega^2 \cdot |u(z, t)|$. Επομένως, ο λόγος $AF(\omega, j)$ ο οποίος εκφράζει τη συνάρτηση μεταφοράς, δηλαδή την ενίσχυση των μετατοπίσεων μεταξύ δυο θέσεων (λ.χ. διαδοχικών στρωμάτων), περιγράφει επίσης και την ενίσχυση των επιταχύνσεων και των ταχυτήτων μεταξύ των θέσεων αυτών. Δηλαδή, από την κορυφή του ενός μέχρι την κορυφή του άλλου των στρωμάτων j και $j+1$, ισχύει:

$$AF(\omega, j) = \frac{u(\omega, j)}{u(\omega, j+1)} = \frac{\dot{u}(\omega, j)}{\dot{u}(\omega, j+1)} = \frac{\ddot{u}(\omega, j)}{\ddot{u}(\omega, j+1)} = \frac{A_j + B_j}{A_{j+1} + B_{j+1}} \quad (3.5.15)$$

Ο παραπάνω λόγος εκφράζει τη δυναμική μεγέθυνση της δόνησης κατά τη διέλευσή της μέσα από το έδαφος. Η υπολογιστική διαδικασία έως το σημείο αυτό αφορά το πρώτο στάδιο κάθε επαναληπτικής δοκιμής (Ενοτ. 3.1).

Σκοπός στη συνέχεια είναι να συνεκτιμηθεί το τελικό φάσμα συχνοτήτων που εκφράζει τη δυναμική απόκριση του εδάφους στη συγκεκριμένη σεισμική δόνηση. Αυτό προκύπτει με πολλαπλασιασμό του πλάτους κάθε συχνότητας της συγκεκριμένης διέγερσης $DFT(\omega)$ με την αντίστοιχη συνάρτηση του λόγου ενισχύσεων $AF(\omega, j)$. Προηγείται φυσικά ο Μετασχηματισμός (Fourier) της διέγερσης σε φάσμα συχνοτήτων. Η επιβολή τη συγκεκριμένης δόνησης, εκφράζεται ως:

$$\ddot{u}(\omega, 1) = AF(\omega, j) \cdot DFT(\omega) \quad (3.5.16)$$

Από τη συνολική αυτή μεγέθυνση γίνονται οι κατάλληλες αναγωγές, αναλόγως της θέσης όπου λήφθηκε η σεισμική καταγραφή (Ενοτ. 3.6) και εκτιμάται η πραγματική τιμή των πλατών A_1 και B_1 στην επιφάνεια του εδάφους. Το σύστημα των $2m$ εξισώσεων λύνεται για δεύτερη φορά ώστε να υπολογιστούν οι πραγματικές τιμές όλων των πλατών A_j και B_j . Ταυτόχρονα, υπολογίζονται και οι συναρτήσεις των μετακινήσεων, των ταχυτήτων και των επιταχύνσεων σε κάθε διεπιφάνεια, καθώς και των διατμητικών τάσεων και των διατμητικών παραμορφώσεων στο μέσο κάθε εδαφικής στρώσης.

Τα φάσματα της απόκρισης σε κάθε βάθος μετατρέπονται από όρους συχνοτήτων σε όρους χρόνου, χρησιμοποιώντας τον αντίστροφο διακριτό μετασχηματισμό Fourier (I-DFT). Υπολογίζονται με τον τρόπο αυτό, οι χρονοίσοιρίες εδαφικής απόκρισης, σε όρους τάσεων, παραμορφώσεων, επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μετατοπίσεων, και σε κάθε βάθος.

Η διατμητική παραμόρφωση σε βάθος z και σε χρόνο t , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u(z, t)}{\partial t} = i \cdot k_j \cdot (A_j \cdot e^{i \cdot k_j \cdot h_j} - B_j \cdot e^{-i \cdot k_j \cdot h_j}) \cdot e^{i \omega t} \quad (3.5.17)$$

Η διατμητική μετατόπιση (Εξ. 3.5.5) και τάση (Εξ. 3.5.7) σε βάθος z και σε χρόνο t περιγράφηκαν παραπάνω.

Υπολογίζονται οι μέγιστες τιμές παραμόρφωσης ($\gamma(j)_{\max}$) και οι ενεργές τιμές ($\gamma(j)_{\text{eff}}$). Οι ενεργές τιμές παραμόρφωσης κάθε στρώσης, με βάση και τον τύπο του εδάφους, συγκρίνονται με τα διαγράμματα καμπυλών μεταβολής του Μέτρου Διάτμησης (G) και του λόγου απόσβεσης του ($\xi\%$). Μερικές ευρέως χρησιμοποιούμενες καμπύλες για άργιλο, άμμο και βράχο παρουσιάζονται στο διάγραμμα του Σχήματος 5.1.5 (Ενοτ. 5.1.5, *GeoSeism*).

Με λογαριθμική παρεμβολή στις κατάλληλες καμπύλες, επιλέγονται οι τιμές του G και του ξ που αντιστοιχούν στις τιμές γ_{\max} . Στο σημείο αυτό θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί η αριθμητική ανάλυση για την πρώτη δοκιμή.

Κάθε επόμενη επανάληψη της δοκιμής ξεκινά με βάση τις τιμές G , ξ της προηγούμενης. Με την επαναληπτική διαδικασία, οι τιμές του μέτρου διάτμησης και του λόγου απόσβεσης υπολογίζονται και διορθώνονται σταδιακά με διαδοχικά επαναληπτικά βήματα. Η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση επαναλαμβάνεται με νέες τιμές των G_j , ξ_j μέχρις ότου οι τιμές των γίνουν συμβατές με το επίπεδο παραμόρφωσης καθενός στρώματος το οποίο πρακτικά συμβαίνει όταν οι διαφορές μεταξύ δυο διαδοχικών βημάτων είναι αμελητέες.

3.6.1 Υπολογισμοί μετατοπίσεων και διατμητικών τάσεων με άλγεβρα μητρώων

Όπως προαναφέρθηκε (Ενοτ. 3.5), το σύστημα των εξισώσεων των αναδρομικών σχέσεων A_j , B_j (μιγαδικοί αριθμοί) περιλαμβάνει $m+1$ ζεύγη της μορφής των (Εξ. 3.5.10), (Εξ. 3.5.11). Οι εξισώσεις αυτές, όπως και οι μετατοπίσεις (Εξ. 3.5.6) και οι τάσεις (Εξ. 3.5.7) μπορούν να υπολογιστούν σε μητρική μορφή (Κεφ. 6.14, Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής, Π. Ντακούλας), ως εξής (Σχ. 3.5.1):

$$B_m = \left[\prod_{j=1}^{m-1} D_j \right] \cdot B_1 \quad A_m = \left[\prod_{j=1}^{m-1} D_j \right] \cdot A_1 \quad (3.6.1.1)$$

$$D_j = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} e^{-i(k_j^* - k_{j+1}^*) \cdot h_j} \cdot (1 + \alpha_j^*) & e^{i(k_j^* + k_{j+1}^*) \cdot h_j} \cdot (1 - \alpha_j^*) \\ e^{-i(k_j^* + k_{j+1}^*) \cdot h_j} \cdot (1 - \alpha_j^*) & e^{i(k_j^* - k_{j+1}^*) \cdot h_j} \cdot (1 + \alpha_j^*) \end{pmatrix} \quad (3.6.1.2)$$

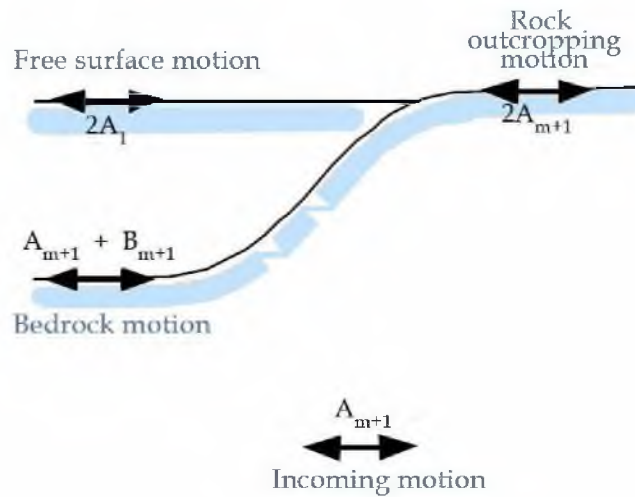
όπου, α_j^* ο λόγος εμπέδησης (Εξ. 3.5.12). Το ανάπτυγμα που υπολογίζει τις μετατοπίσεις και τάσεις προκύπτει αντικαθιστώντας τους μιγαδικούς όρους A_j (το πλάτος του ανερχόμενου κύματος) και B_j (το πλάτος του κατερχόμενου κύματος) στην παρακάτω μητρική εξίσωση:

$$X_j = \begin{pmatrix} u^*(\omega, j) \\ \tau^*(\omega, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-i k_j^* \cdot h_j} & e^{i k_j^* \cdot h_j} \\ -i \cdot k_j^* \cdot G_j^* \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j} & i \cdot k_j^* \cdot G_j^* \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B_j \\ A_j \end{pmatrix} \quad (3.6.1.3)$$

όπου, οι πιο πάνω όροι εξηγούνται στην Ενότητα 5.1.3.

3.6.2 Μαθηματική περιγραφή της απόκρισης του υποβάθρου

Η παραπάνω μεθοδολογία του προβλήματος είναι κοινή τόσο για την περίπτωση της έδρασης σε άκαμπτο όσο και σε εύκαμπτο υπόβαθρο. Σύμφωνα και με την ορολογία που χρησιμοποιεί η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση (Σχ. 3.6), διακρίνονται οι πιο κάτω περιπτώσεις.



Σχήμα 3.6 Ορολογία που χρησιμοποιεί η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση.

Όταν το υπόβαθρο είναι **άκαμπτος βράχος** (rigid rock), παραμένει απαραμόρφωτο και δεν απορροφά ενέργεια από τα προσπίπτοντα σεισμικά κύματα. Λόγω αυτής της ιδιότητας, όλα τα κατερχόμενα του εδαφικού προφίλ κύματα προσκρούουν πάνω στο σύνορο του υποβάθρου και ανακλώνται πλήρως προς την αντίθετη κατεύθυνση. Δηλαδή, στο σύνορο έδαφος - βράχος το ανακλώμενο κύμα γίνεται πρακτικά ίσο με το προσπίπτον (μηδενική σχετική μετατόπιση):

$$A_m = -B_m \quad (3.6.1)$$

Στην περίπτωση αυτή επομένως, αν το υπόβαθρο είναι άκαμπτο, η κίνηση που έρχεται μέσα από αυτό δεν επηρεάζεται από τα κύματα που «εγκλωβίστηκαν» μέσα στο εδαφικό στρώμα και γενικά από την παρουσία του υπερκείμενου εδαφικού στρώματος. Λειτουργεί ως ένα φυσικό σύνορο. Οποιοδήποτε κατερχόμενο εδαφικό κύμα το οποίο είναι προσπίπτον στο σύνορο αυτό, θα ανακλαστεί πλήρως προς την αντίθετη κατεύθυνση, και θα αρχίσει να ανέρχεται πάλι προς την επιφάνεια του εδάφους. Ως εκ τούτου, το σύνορο αυτό προκαλεί τον εγκλωβισμό των κυμάτων στον υπερκείμενο εδαφικό σχηματισμό.

Όταν το υπόβαθρο είναι **εύκαμπτο** (elastic rock), τότε πρόκειται για υγρή είτε για μαλακό βράχο ή ακόμη και για κάποιο σφιγρό έδαφος που επιτρέπει την απορρόφηση ενέργειας. Αυτό υπολογιστικά σημαίνει ότι υπεισέρχονται στους υπολογισμούς και οι όροι $u(\omega, z = H)$, $\tau(z=H)$ της μετατόπισης και τάσης στο πάνω μέρος του βράχου ($z = H$) με όρους A_{j+1} και B_{j+1} για τα πλάτη αμέσως κάτω από το σύνορο του εδάφους. Στις τελικές εκφράσεις εμπεριέχεται (εκ της ισότητας τάσεων) και ο μιγαδικός λόγος εμπέδησης (μη-μηδενικός).

$$A_m > B_m \quad (3.6.2)$$

Στην περίπτωση αυτή επομένως, αν το υπόβαθρο είναι εύκαμπτο (ελαστικό), τα κατερχόμενα κύματα που προσπίπτουν πάνω σε αυτό θα ανακλαστούν μόνον μερικώς. Καθότι, μέρος της ενέργειάς τους θα μεταβιβασθεί διαμέσου του ορίου ώστε να συνεχίσει να ταξιδεύει σε καθοδική κατεύθυνση κι εντός του βράχου. Η κινητική ενέργεια που διαδίδεται από την βάση του εδαφικού σχηματισμού προς το βραχώδες υπόβαθρο αντιπροσωπεύει την απόσβεση ακτινοβολίας (Ενοτ. 2.4.3) η οποία μειώνει τα πλάτη της κίνησης στην ελεύθερη επιφάνεια σε σχέση εκείνα που αντιστοιχούν σε περίπτωση άκαμπτου υποβάθρου.

Τόσο η κινητική ενέργεια που αντιπροσωπεύει την απόσβεση της ακτινοβολίας όσο και τα πλάτη A_{j+1} και B_{j+1} , μπορούν να υπολογισθούν από τη μαθηματική λύση του προβλήματος (Εξ. 3.5.10, 3.5.11). Προϋπόθεση είναι να είναι γνωστές (ή κατά προσέγγιση γνωστές) οι υπεισερχόμενες ιδιότητες, δηλαδή, η πυκνότητα (ρ), το αρχικό ελαστικό μέτρο διάτμησης (G) και ο συντελεστής υστερητικής απόσβεσης (ξ) του υποβάθρου.

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητή η σημαντική επιρροή της ποιότητας του υποβάθρου, αφού αντανακλάται στο σύστημα των εξισώσεων μέσα στον εδαφικό σχηματισμό, πράγμα που έρχεται φυσικά σε αντιστοιχία και με το φυσικό φαινόμενο της σεισμικής κίνησης μέσα στον εδαφικό σχηματισμό.

Στο σημείο αυτό, γίνεται επίσης κατανοητή και η χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς για την επίλυση του συστήματος των αναδρομικών εξισώσεων (Εξ. 3.5.10, 3.5.11). Έχει σημασία να είναι γνωστή η θέση από όπου λήφθηκε η καταγραφή της εξωτερικής αυτής διέγερσης. Αν δηλαδή λήφθηκε από θέση έξαρσης αναδύομένου βράχου, ή από κάποιο βάθος (λ.χ., κατακόρυφα φρεάτια, υπόβαθρο). Διακρίνονται οι δυο παρακάτω περιπτώσεις (Σχ. 3.6):

Η συνάρτηση μεταφοράς που εκφράζει τον λόγο του πλάτους της κίνησης από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια του εδάφους, σε μιγαδικούς όρους είναι:

$$AF(\omega, \text{rock}) = \frac{2 \cdot A_1}{A_{m+1} + B_{m+1}} \quad (3.6.2)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς που συσχετίζει την κίνηση στην ελεύθερη επιφάνεια της εδαφικής απόθεσης με αυτήν στην έξαρση του βράχου σε μιγαδικούς όρους είναι:

$$AF(\omega, \text{rock}) = \frac{A_1}{A_{m+1}} \quad (3.6.3)$$

Συμπερασματικά, οι συναρτήσεις μεταφοράς αποτελούν μια πρακτική τεχνική με τη βοήθεια της οποίας (Εξ. 3.6.2, 3.6.3), ακολουθεί επανυπολογισμός του συστήματος εξισώσεων των αναδρομικών σχέσεων από την αρχή.

Σημειώνεται πληροφοριακά επίσης ότι, η συνάρτηση μεταφοράς υποδηλώνει ότι η κίνηση σε οποιοδήποτε σημείο μπορεί να προσδιορισθεί με βάση την κίνηση σε οποιοδήποτε άλλο σημείο. Σε αυτήν τη δυνατότητα βασίζεται η διαδικασία της αποσυνέλιξης. Η συνέλιξη σημαίνει ολοκλήρωση ενός γινόμενου δύο συναρτήσεων στον χρόνο. Παράδειγμα συνέλιξης αποτελεί το ολοκλήρωμα Duhamel (Ενοτ. 5.5). Στην προκείμενη περίπτωση, η συνέλιξη εκφράζεται από το γινόμενο:

$$AF(\omega, j) \cdot DFT(\omega)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

Περιγραφή της εξωτερικής Βάσης *HelGeoRDaS_uTH*

4.1 Η γεωτεχνική - πολυθεματική βάση δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH*

4.1.1 *HelGeoRDaS_uTH* και Καλλιπάτειρα, διαλειτουργικοί ρόλοι στο *GeoSeism*

Η Βάση *HelGeoRDaS_uTH* (Σχ. 1.1) είναι μια εφαρμογή *MS Access 10.0®*. Η αρχιτεκτονική και η λειτουργία της ανταποκρίνονται σε ρόλο αυτόνομης Βάσης. Στο σύστημα *GeoSeism* ανέλαβε ρόλο εξωτερικής πηγής άντλησης δεδομένων σε επίπεδο πόλης.

Το κοινό χαρακτηριστικό της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH* με τη Βάση *Καλλιπάτειρα* είναι ότι και οι δυο αποτελούν Σχεσιακά Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (*rdbms*) καθώς και ότι και οι δυο αποθηκεύουν **πολυθεματικά δεδομένα** γεωτεχνικού ενδιαφέροντος.

Οι διαφορές της μιας Βάσης από την άλλη, συνοψίζονται στα εξής:

1. Η *HelGeoRDaS_uTH* αποθηκεύει ή και ανταλλάσσει **μόνον πρωτογενή** δεδομένα. **Δεν αλληλεπιδρά** με το *GeoSeism*. Δηλαδή, δεν επεξεργάζεται τα δεδομένα, δεν καταγράφει τα ενδιάμεσα είτε τα τελικά αποτελέσματα των επιλύσεων, δεν κάνει διαχείριση, δεν κάνει αμφίδρομες λειτουργίες.
2. Η *HelGeoRDaS_uTH* αντιπροσωπεύει μια οποιαδήποτε σύγχρονη τοπική βάση η οποία μπορεί να συνδέεται, περιστασιακά είτε μόνιμα, στο *GeoSeism* σε **ρόλο πηγής** δεδομένων. Είναι συμβατή, μπορεί να προσαρμοστεί σε όλα τα επίπεδα διαλειτουργικότητας (Ενοτ. 2.2.4, Σχ. 2.2.4).
3. Η *HelGeoRDaS_uTH* προτείνει μια αρχιτεκτονική με έμφαση στους Πίνακες και τις Φόρμες, για τον λόγο ότι προτείνει ένα **περιβάλλον φιλικό** να χρησιμοποιείται από ανθρώπους. Απεναντίας, η *Καλλιπάτειρα* δεν έχει ως στόχο τη διευκόλυνση των χρηστών της να καταχωρούν δεδομένα αλλά δίνει βαρύτητα στην ανάπτυξη ακόμη περισσότερων και μεγαλύτερων πινάκων και εσωτερικών λειτουργιών. Στόχος της *Καλλιπάτειρας* είναι η χωρίς προβλήματα διαλειτουργική λειτουργία μιας «υπερβάσης» η οποία θα διαβάζεται κατά κόρον από λογισμικά.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.1.2 Το πρότυπο *HelGeoRDaS* από το οποίο ξεκίνησε η *HelGeoRDaS_μΤΗ*

Η αρχιτεκτονική της *HelGeoRDaS_μΤΗ*, βασίστηκε αρχικά σε μια παλαιότερη έκδοση της βάσης του συστήματος *HelGeoRDaS* (Αντωνίου, 2003) του Ε.Μ.Π., η οποία είχε αναπτυχθεί σε περιβάλλον *MS Access*. Ως μέρος της παρούσης διατριβής, η έκδοση εκείνη τροποποιήθηκε κατάλληλα φτάνοντας στη σημερινή της μορφή. Οι επεκτάσεις και οι μετατροπές που έγιναν περιλαμβάνουν:

1. Εξέλιξη των εκδόσεων διαδοχικά σε περιβάλλον *MS Access 10.0*.
2. Προσθήκη Κύριου Πίνακα για την αποθήκευση των μετρήσεων από γεωφυσικές διασκοπήσεις (Crosshole - Downhole).
3. Προσθήκη Κύριου Πίνακα για την αποθήκευση των μετρήσεων από πρότυπες δοκιμές διείσδυσης πεντρομέτρου (CPT).
4. Προσθήκη Κύριου Πίνακα για την αποθήκευση δεδομένων αναφορικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων ύδρευσης.
5. Προσθήκη Κύριου Πίνακα για την αποθήκευση δεδομένων αναφορικά με τις βλάβες των αγωγών ύδρευσης.
6. Προσθήκη επιπλέον Πεδίων στους υπάρχοντες Κύριους Πίνακες.
7. Δημιουργία (νέων) Ερωτημάτων, ανάκτησης δεδομένων και συσχέτισης δεδομένων, καθώς και Μακροεντολών.
8. Προσθήκες (νέων) Φορμών Διεπαφής και μετατροπές στις προϋπάρχουσες Φόρμες.
9. Καταχώρηση περιεχομένου για την πόλη του Βόλου (περιλαμβανομένης και της Νέας Ιωνίας).
10. Σχεσιακή κωδικοποίηση όλων των εγγραφών των Πινάκων και σχεσιακή σύνδεση των νέων με τους υπάρχοντες Πίνακες.
11. Ανάπτυξη της εξωτερικής διαλειτουργίας με το *GeoSeism*.

4.1.3 Ο πολυθεματικός χαρακτήρας της *HelGeoRDaS_μΤΗ* και η έννοια της «Θέσης Έρευνας»

Η Σχεσιακή Βάση Δεδομένων *HelGeoRDaS_μΤΗ* χαρακτηρίζεται ως «πολυθεματική» (όχι απλά γεωτεχνική - γεωλογική) επειδή διαχειρίζεται σε ψηφιακή μορφή τα παρακάτω είδη δεδομένων:

1. **Γεωτεχνικά δεδομένα:** Δεδομένα από γεωτεχνικές έρευνες, όπως:
 - επιτόπου δοκιμές τύπου SPT,
 - επιτόπου δοκιμές τύπου CPT,
 - εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, με μετρήσεις των φυσικών και των μηχανικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων,
 - γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

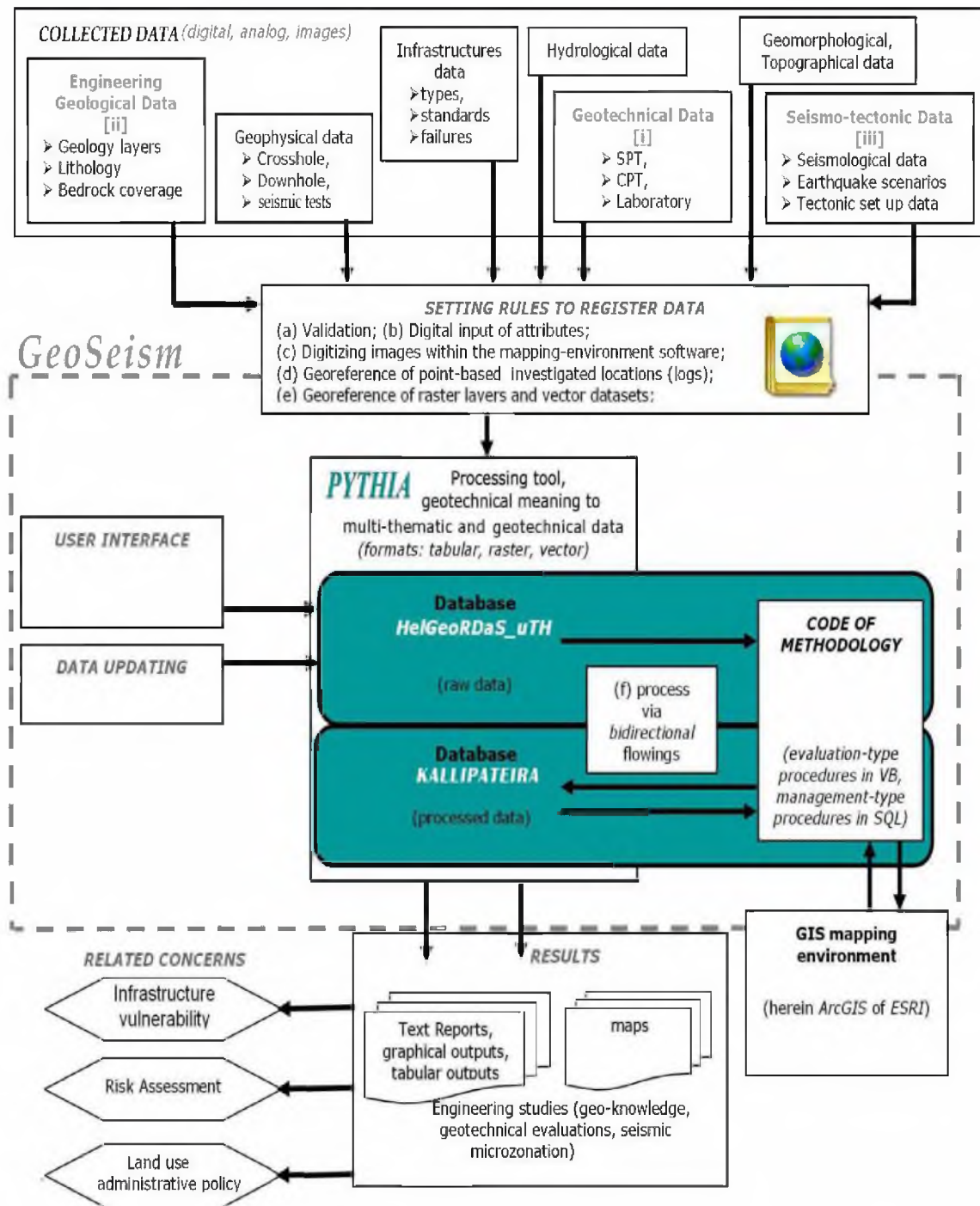
2. **Γεωφυσικά δεδομένα:** Δεδομένα από γεωφυσικές διασκοπήσεις Cross-hole και Downhole.
3. **Γεωλογικά δεδομένα:** Τεχνικο-γεωλογικά δεδομένα από διαθέσιμες περιγραφές των λιθολογικών ενότητων μιας θέσης, των τεκτονισμών που έχει υποστεί μια περιοχή, της αποσάθρωσης των γεωλογικών σχηματισμών, κ.λπ.
4. **Υδρολογικά δεδομένα:** Πληροφορίες των υπόγειων υδάτων, κυρίως από μετρήσεις Πιεζομέτρων για τον υπόγειο υδάτινο ορίζοντα (ΥΥΟ).
5. **Γεωγραφικές συντεταγμένες και Δεδομένα για την Επιφανειακή Τοπογραφία:** Περιλαμβάνουν σε κάθε Θέσης Έρευνας τις συντεταγμένες και το απόλυτο υψόμετρο (X, Y, Z) της επιφάνειας του εδάφους καθώς και το βάθος του οιονεί-βράχου.
6. **Δεδομένα δικτύων ύδρευσης:** Περιλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τα δίκτυα Υδρευσης (διάμετροι, υλικά, μήκη, ονομαστική αντοχή, κ.λπ.) και τις καταγραφές Βλαβών.

Θέσης Έρευνας (Θ.Ε. - Investigated Location): Στην παρούσα διατριβή, η έννοια αυτή αναφέρεται σε μια κατακόρυφη στήλη (site-specific) εδάφους. Η **εδαφική στήλη** μπορεί να μην είναι απαραίτητως γεώτρηση (borehole), όπως ήταν λ.χ. στο αρχικό πρότυπο *HelGeoRDaS*. Μπορεί απεναντίας να είναι μια γεωτεχνική έρευνα (λ.χ., ερευνητική γεώτρηση, ερευνητικό όρυγμα (φρέαρ), δοκιμή SPT, CPT) είτε μια γεωφυσική διασκόπηση είτε οτιδήποτε δίνει δεδομένα για τη γεωμετρία και τις ιδιότητες του εδάφους σε διάφορα βάθη ¹.

Πέραν του σχεδιασμού του συστήματος *HelGeoRDaS_uTH*, έγινε χάριν εφαρμογής και συλλογή δεδομένων από τα πολεοδομικά συγκροτήματα (ΠΣ) του Βόλου και της Νέας Ιωνίας. Αποθηκεύθηκαν με κατάλληλο τρόπο στο σύστημα προκειμένου να μελετηθεί μια μεγάλη σε έκταση περιοχή σε επίπεδο τοπικής ελληνικής πόλης (Κεφ. 7).

Η λειτουργική δομή της βάσης *HelGeoRDaS_uTH* μέσα στο ΓΣΠ *GeoSeism*, καθώς και ο πολυθεματικός χαρακτήρας των εισαγόμενων δεδομένων της, περιγράφονται στο *Σχήμα 4.1*. Ακολουθεί αναλυτικότερη παρουσίαση των δομών Λειτουργίας της Βάσης (Ενοτ. 4.3) μετά την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής (Ενοτ. 4.2) όπου περιγράφονται οι Πίνακες και οι Φόρμες.

¹ Οι έννοιες «γεωτεχνικό έργο» και «ερευνητικό έργο» και τα παράγωγά τους χρησιμοποιούνται με την ίδια σημασία στο παρόν κεφάλαιο. Δηλαδή, με τη σημασία της «Θέσης Έρευνας».



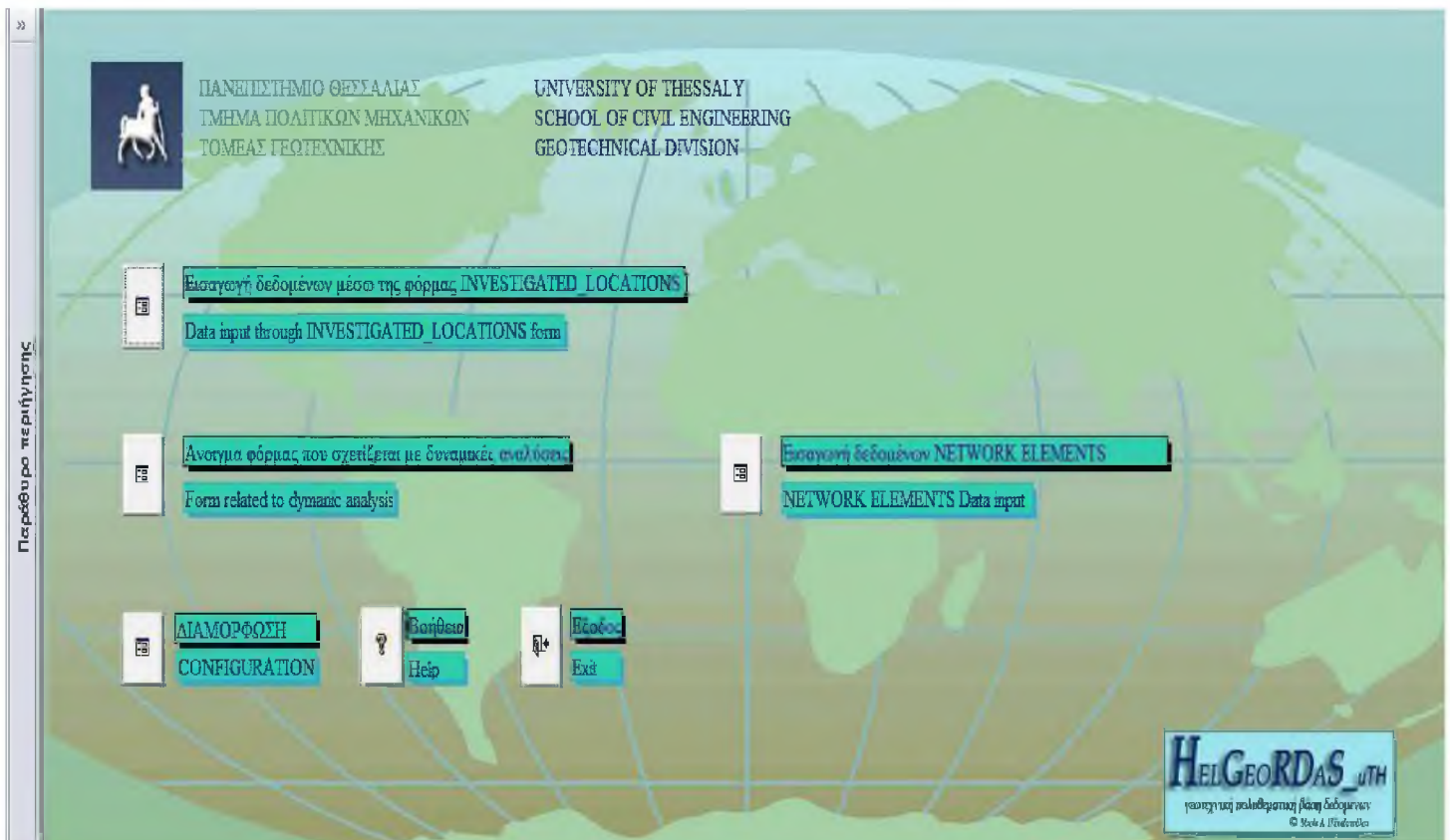
Σχήμα 4.1 Η Σχισιακή Γεωτεχνική - Πολυθεματική Βάση Δεδομένων HelGeoRDaS_uTH, μέσα στη λειτουργική δομή του ΓΣΠ GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.2 Αρχιτεκτονική

4.2.1 Εισαγωγική Φόρμα GENERAL, Φόρμα DYNAMIC, Φόρμα CONFIGURATION

Η εκκίνηση ξεκινά από την εισαγωγική Φόρμα GENERAL (Σχ. 4.a). Από τα κουμπιά εντολών (command buttons), επιτρέπεται η πλοήγηση στις υπόλοιπες φόρμες και τις λειτουργίες.

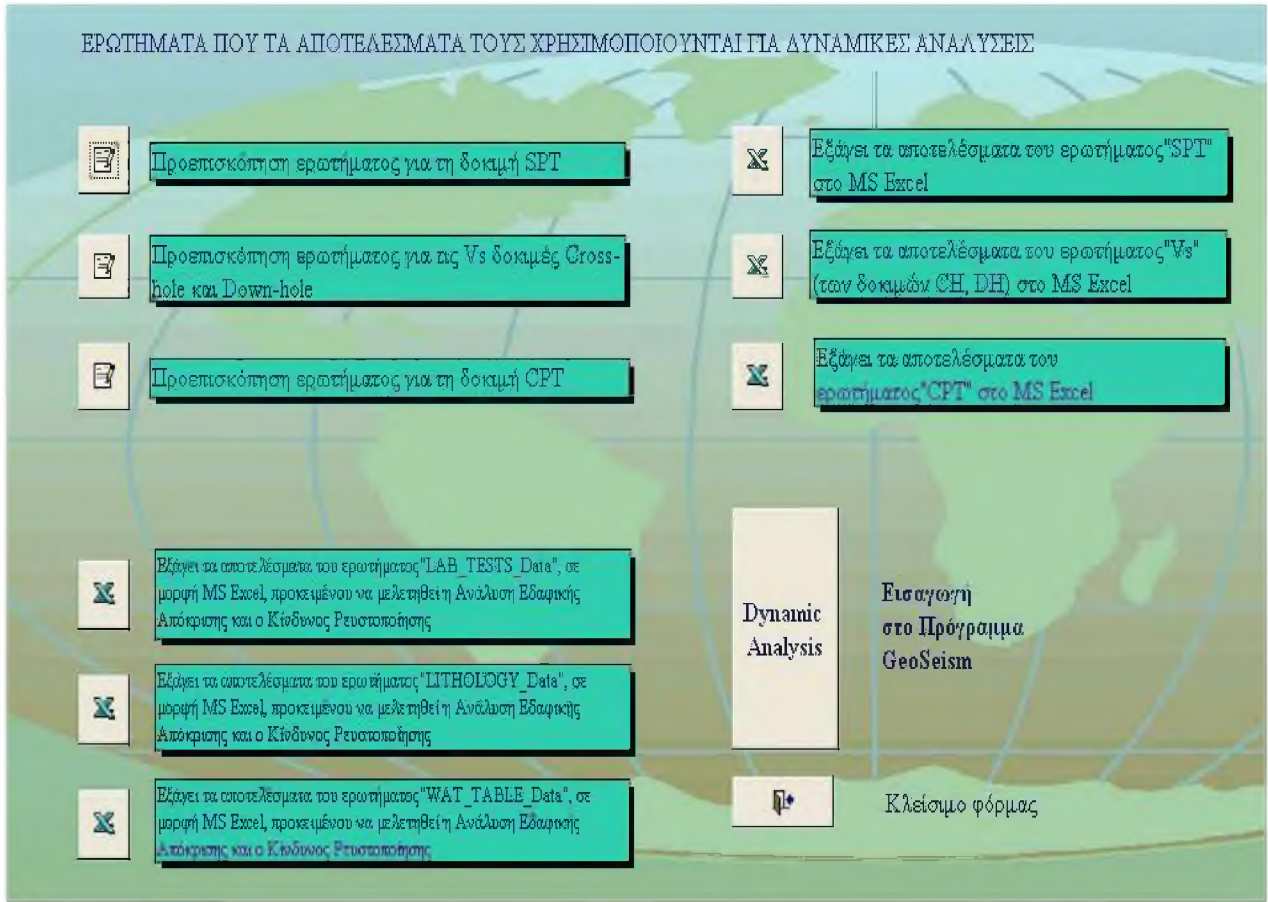


Σχήμα 4.a Αποψη της εισαγωγικής φόρμας GENERAL της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.

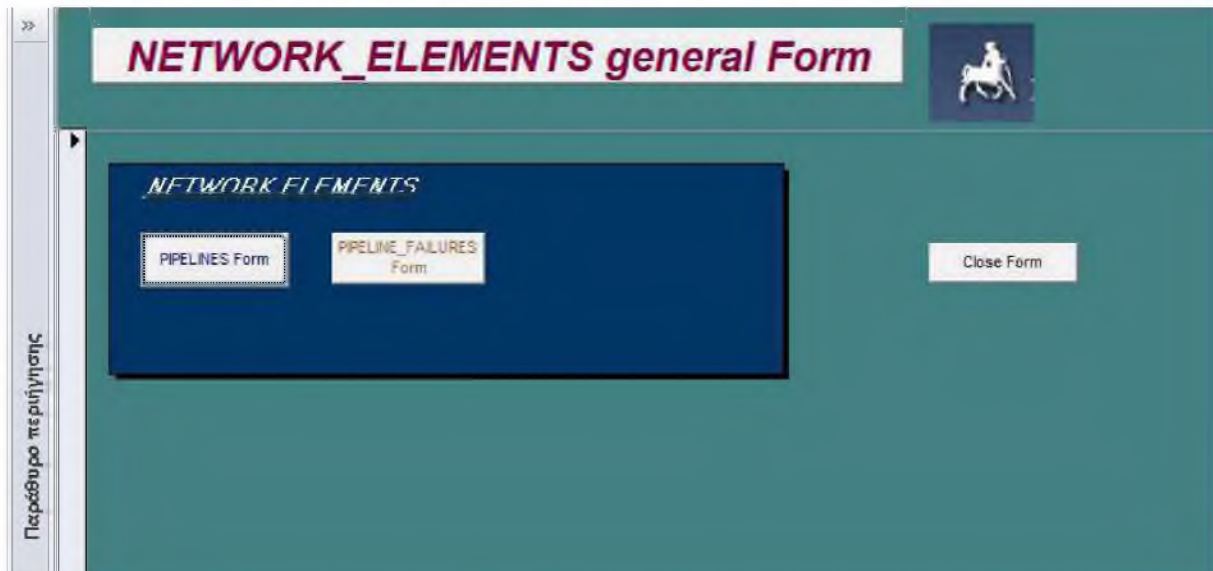
Το πρώτο κουμπί εντολής ανοίγει τη Φόρμα του Κύριου Πίνακα *INVESTIGATED_LOCATIONS* (Σχ. 4.2.2.1), από την οποία αρχίζει η εισαγωγή δεδομένων στο σύστημα.

Το δεύτερο κατά σειρά κουμπί εντολής ανοίγει τη Φόρμα *DYNAMIC* (Σχ. 4.β), από την οποία ετοιμάζονται τα αρχεία εξόδου (που θα χρησιμοποιηθούν στο *GeoSeism*).

Το τρίτο κατά σειρά κουμπί εντολής ανοίγει τη Φόρμα *NETWORK_ELEMENTS_general* (Σχ. 4.γ), από την οποία επιλέγονται στη συνέχεια οι Φόρμες που διαχειρίζονται τα δεδομένα για τα δίκτυα υποδομών/ύδρευσης (που θα χρησιμοποιηθούν στο *GeoSeism*).



Σχήμα 4.β Άποψη της φόρμας DYNAMIC της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.



Σχήμα 4.γ Άποψη της φόρμας NETWORK_ELEMENTS_general της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.

Το τέταρτο κουμπί εντολής ανοίγει τη Φόρμα *CONFIGURATION* (Σχ. 4.δ), η οποία περιέχει πληροφορίες σχετικές με την κατασκευή του συστήματος, το προσωπικό που ασχολήθηκε για την εισαγωγή των δεδομένων, καθώς και τα γεωτεχνικά γραφεία, δημόσια ή ιδιωτικά που διέθεσαν τμήμα του αρχείου τους προκειμένου να εισαχθεί στο σύστημα.

Το πέμπτο κουμπί εντολής (*HELP*), εμφανίζει το εγχειρίδιο χρήσης του συστήματος σε μορφή *Acrobat Reader*.

Η Φόρμα *DYNAMIC* (*ΔΥΝΑΜΙΚΗ*) (Σχήμα 4.β) παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να διατυπώσει Ερωτήματα με τα οποία να κάνει ανάκτηση δεδομένων με βάση κάποια κριτήρια (λ.χ. για όλες τις Θ.Ε. τα δεδομένα από μετρήσεις *SPT* για τα οποία υπάρχει ταυτόχρονα και λιθολογική πληροφορία). Έχουν δομηθεί αρκετά έτοιμα Ερωτήματα στη Βάση. Στην φόρμα αυτή διακριτοποιήθηκαν έξι (6) από αυτά, όσα είναι απαραίτητα στις επιλύσεις του *GeoSeism*. Τα Ερωτήματα αυτά, είναι :

Vs, SPT, CPT, LITHOLOGY, LAB_TESTS, WATER_TABLE.

Αποστέλλονται με αυτόματο τρόπο εντός του φακέλου Δεδομένων (*Inputs*) του *GeoSeism*, σε (έξι) αρχεία της μορφής *.xls*.



Σχήμα 4.δ Άποψη της φόρμας *CONFIGURATION* της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.2.2 Οι Κύριοι Πίνακες της HelGeoRDaS_μΤΗ

Έχουν δομηθεί εννέα (9) Κύριοι Πίνακες στους οποίους αποθηκεύονται δεδομένα. Χαρακτηρίζονται «θεματικοί» επειδή αποθηκεύουν ο καθένας εκείνα τα πρωτογενή δεδομένα που έχουν ένα συγκεκριμένο θεματικό ενδιαφέρον (Ενοτ. 4.1.3). Οι Κύριοι Πίνακες είναι:

1. *INVESTIGATED_LOCATIONS* (οι εγγραφές αναφέρονται σε μια Θέση Έρευνας),
2. *REAL_ID* (μητρώο πραγματικού κωδικού κάθε Θέσης Έρευνας),
3. *WATER_TABLE* (υδρολογικά δεδομένα),
4. *LITHOLOGY* (γεωλογικά δεδομένα),
5. *LAB_TESTS* (εργαστηριακά δεδομένα εδαφομηχανικής),
6. *INSITU_SPT_TESTS* (δεδομένα SPT),
7. *INSITU_CPT_TESTS* (δεδομένα CPT),
8. *INSITU_GEOPHYSIC_TESTS* (γεωφυσικά δεδομένα),
9. *ROCKMASS_CLASSIFICATION* (εργαστηριακά δεδομένα ταξινόμησης βραχομάζας),
10. *NETWORK_ELEMENTS* (δεδομένα δικτύου ύδρευσης),
11. *PIPELINE_FAILURES* (καταγραφές βλάβης αγωγών).

4.2.2.1 Ο Κύριος Πίνακας *INVESTIGATED_LOCATIONS* και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας που περιέχει το γενικό αρχείο των Θέσεων Έρευνας (Ενοτ. 4.1), ονομάζεται *INVESTIGATED_LOCATIONS*. Για τη φιλικότερη πρόσβαση στον Πίνακα αυτόν, διαμορφώθηκε και η ομώνυμη Φόρμα (Σχ. 4.2.2.1). Έχει ρόλο Κύριας Φόρμας στο Σύστημα της Βάσης, δηλαδή μέσω αυτής εισάγονται όλες οι πληροφορίες προς τους υπόλοιπους Πίνακες. Ως εκ τούτου, από άποψη Σχεσιακής Οργάνωσης η σχέση του Πίνακα με τους υπόλοιπους είναι «ένα-προς-ένα» (one-to-one) ή «ένα-προς-πολλά» (one-to-many). Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο σχέσης, ο κωδικός καταχώρησης κάθε ερευνητικής θέσης (*IL_ID*) είναι μοναδικός στον εν λόγω Πίνακα ενώ μπορεί να εμφανίζεται περισσότερες φορές στους υπόλοιπους. Αναλυτικά, τα Πεδία του Πίνακα οργανώνονται στις παρακάτω ομάδες.

Η ομάδα με τα «**Βασικά**» Δεδομένα της ερευνητικής θέσης, περιλαμβάνει τα εξής Πεδία (Σχ. 4.2.2.1):

- | | | |
|---|---|--|
| 1 | Bore_ID | Είναι το πρωτεύον κλειδί του πίνακα και περιέχει αριθμητικές τιμές, οι οποίες είναι μοναδικές για κάθε γεωτεχνικό έργο, που εισάγεται στο σύστημα. |
| 2 | INVESTIGATED_LOCATION_ID
(<i>IL_ID</i>) | Ο κωδικός της ερευνητικής θέσης. Τα δεδομένα του πεδίου είναι αλφαριθμητικά και είναι μοναδικά για κάθε έργο. |
| 3 | PROJECT | Αναφέρεται στον τύπος (είδος) της επιτόπου έρευνας (λ.χ. SPT, CPT, CH, κ.λπ.). |
| 4 | ΤΕΧΝΙΚΟ_ΕΡΓΟ | Αφορά το τεχνικό έργο για το οποίο έγινε η ερευνητική θέση. |
| 5 | AREA (ΠΕΡΙΟΧΗ) | Η περιοχή όπου έγινε το έργο (λ.χ. οικιστική περιοχή Βόλου, οικιστική περιοχή Νέας Ιωνίας, κ.λπ.). |

6	COORDX	Η συντεταγμένη Χ της ερευνητικής θέσης ως προς το γεωγραφικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87.
7	COORDY	Η συντεταγμένη Υ της ερευνητικής θέσης ως προς το γεωγραφικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87.
8	ELEVATION	Αναφέρεται στο υψόμετρο που έχει η κεφαλή της ερευνητικής θέσης από τη στάθμη της θάλασσας.
9	DEPTH	Το βάθος όπου έφθασε η ερευνητική θέση.
10	Geology BEDROCK	Το βάθος στο οποίο καταγράφηκε βραχώδες υπόβαθρο.

Τα πέντε τελευταία πεδία περιέχουν αριθμητικά δεδομένα, ενώ τα υπεράνω περιέχουν αλφαριθμητικά. Η μηδενική τιμή σε υψόμετρα, αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του εδάφους.

Η ομάδα με τα «**Επιπρόσθετα**» Δεδομένα της ερευνητικής θέσης, περιλαμβάνει Πεδία τα οποία περιγράφουν (Σχ. 4.2.2.1): την ημερομηνία έναρξης και λήξης του έργου έρευνας, τη διάμετρο και την κλίση της γεώτρησης, τον τύπο του δειγματολήπτη, την εταιρεία και τα στοιχεία των γεωλόγων και γεωτρωπανιστών, κ.λπ. Περιλαμβάνει επίσης: τον αριθμό του Οικοδομικού Τετραγώνου (Ο.Τ.), τον χωρικό προσδιορισμό της ακριβούς θέσης όπου έγινε το έργο (όνομα οδού, αριθμός οδού, συμβολή οδών, τοπωνύμιο, όνομα γέφυρας ή χειμάρρου, κ.λπ.), τα στοιχεία της πηγής είτε της ηλεκτρονικής Βάσης που χορήγησε τα δεδομένα (ANCESTRY). Περιλαμβάνεται επίσης έναν κωδικό (DataKind) ο οποίος εκτιμά συνοπτικά την πληρότητα των κατ' ουσίαν δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμά αν για το CH/DH, SPT, CPT μιας Θέσης Έρευνας είναι καταχωρημένα και τα αντίστοιχα δεδομένα στους Πίνακες LABS, ή και LITHOLOGY.

Η Φόρμα *INVESTIGATED_LOCATIONS* δίνει τα επτά (7) παρακάτω κουμπιά για την είσοδο του χρήστη σε άλλες Φόρμες:

Data about the Borehole kind of Investigated Locations

- ☺ WATER_TABLE Form (Ενοτ. 4.2.2.3)
- ☺ LAB_TESTS Form (Ενοτ. 4.2.2.5)
- ☺ LITHOLOGY Form (Ενοτ. 4.2.2.4)
- ☺ ROCKMASS_CLASSIFICATION Form (Ενοτ. 4.2.2.9)


All INSITU kinds of Investigated Locations

- ☺ INSITU_SPT_TESTS Form (Ενοτ. 4.2.2.6)
- ☺ INSITU_GEOPHYSIC_TESTS Form (Ενοτ. 4.2.2.8)
- ☺ INSITU_CPT_TESTS Form (Ενοτ. 4.2.2.7)

Η Φόρμα διαθέτει επίσης ακόμη τέσσερα (4) κουμπιά εντολών:

- ☺ REAL_ID Form : Ανοίγει τη Φόρμα του Κύριου Πίνακα *REAL_ID* (Ενοτ. 4.2.2.2),
- ☺ Find Record : Επιτελεί δυνητικά αναζήτηση κάποιας εγγραφής,
- ☺ Add Record : Δίνει δυνατότητα να καταχωρηθεί νέα εγγραφή με τη βοήθεια μιας Φόρμας ως οδηγού,
- ☺ Close Form : Κλείνει τη Φόρμα και επιστρέφει στην Φόρμα *GENERAL* της Βάσης.

INVESTIGATED LOCATIONS



Main Data about the Investigated Location

Kind of the INSITU Investigated_Location	SPT
Bore_ID	2830
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G1
Name of the area of the Investigated_Location	Volos
Coordinates X of the Investigated_Location	407924.56
Coordinates Y of the Investigated_Location	4357040.97
Elevation of the Investigated_Location	0.00
Depth of the Investigated_Location	25.30
Project - Τεχνικό έργο	Αντιστάσεις στον ποταμό Κρι
Θέση εκτέλεσης	Βόλος
Όδοι	Αντιστάσεις στον ποταμό Κρι
Βάση προέλευσης πληροφορίας	Helgeordas_μη κοινή με MM
O.T.	4

Find Record

REAL_ID Form

Add Record

Close Form

Data about the Borehole kind of Investigated Locations

WATER_TABLE Form

LAB_TESTS Form

LITHOLOGY Form

ROCKMASS_CLASSIFICATION Form

All INSITU kinds of Investigated Locations

INSITU_SPT_TESTS Form

INSITU_GEOPHYSIC_TESTS Form

INSITU_CPT_TESTS Form

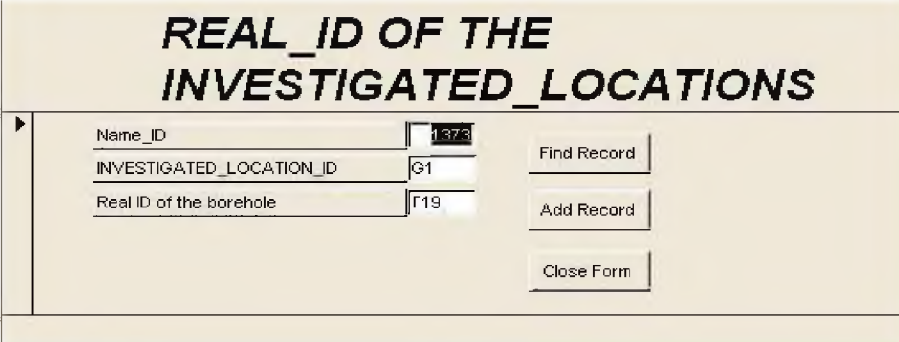
Additional Data about the Investigated Location

Start day of the Investigated_Location	
End day of the Investigated_Location	
Diameter of the Investigated_Location	0.00
Inclination of the Investigated_Location	V
Type of the sampler	
Executed	
Last name of the geologist who described the borehole	
Last name of the driller	
Type of the drilling rig	
Γραφείο εκτέλεσης της ερευνητικής θέσης	Κεντρικό Εργαστήριο Δημόσιας
Επίθετο γεωλόγου που περιέγραψε την ερευν θέση	
Επίθετο γεωρρυθμιστή	

Σχήμα 4.2.2.1 Άποψη της Φόρμας του Πίνακα INVESTIGATED_LOCATIONS της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.

4.2.2.2 Ο Κύριος Πίνακας REAL_ID και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας REAL_ID (Σχ. 4.2.2.2) περιλαμβάνει πεδία τα οποία περιέχουν τους κωδικούς του γεωτεχνικού έργου. Οι κωδικοί είναι: το κοινό πεδίο που αφορά την ερευνητική θέση (IL_ID), το πρωτεύον κλειδί του Πίνακα, που περιέχει τιμές οι οποίες είναι μοναδικές για κάθε γεωτεχνικό έργο (Name_ID), κ.λπ.



REAL_ID OF THE INVESTIGATED_LOCATIONS	
Name_ID	1373
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G1
Real ID of the borehole	Γ19

Find Record

Add Record

Close Form

Σχήμα 4.2.2.2 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του Πίνακα REAL_ID της Βάσης.

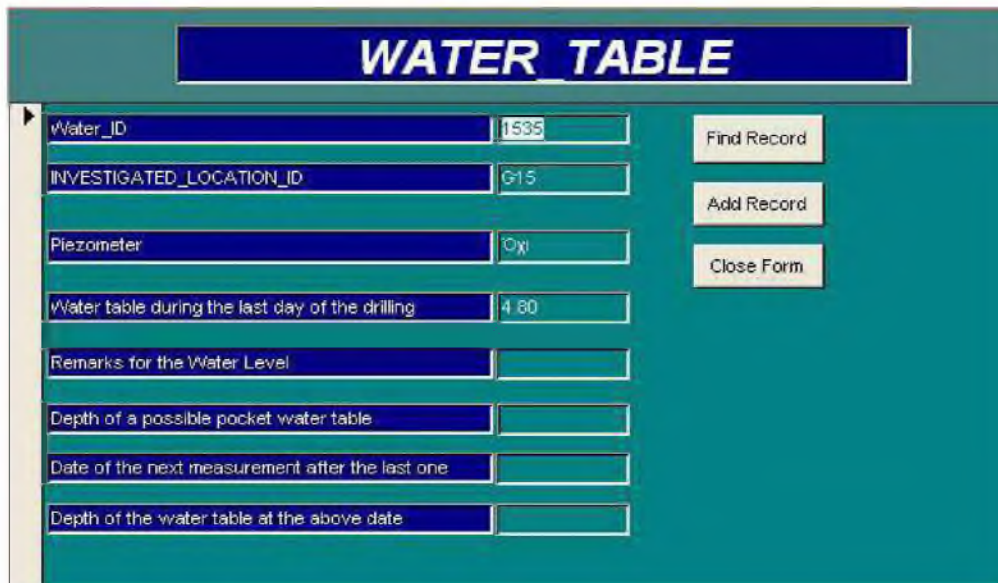
4.2.2.3 Ο Κύριος Πίνακας WATER_TABLE και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας WATER_TABLE (Σχ. 4.2.2.3) περιέχει δεδομένα σχετικά με τον Υπόγειο Υδάτινο Ορίζοντα (Υ.Υ.Ο.) μιας Θέσης Έρευνας - εφόσον έχει σε αυτήν τοποθετηθεί πιεζόμετρο. Θεωρείται αρκετά σημαντικός γιατί έχει τη δυνατότητα παρουσίασης δυναμικής πληροφορίας, όπως είναι η εξέλιξη της στάθμης του Υ.Υ.Ο. με τον χρόνο. Περιλαμβάνει οκτώ (8) πεδία, μεταξύ των οποίων είναι:

Το κοινό Πεδίο «IL_ID», το πρωτεύον κλειδί του πίνακα (Water_ID), το βάθος όπου συναντήθηκε η στάθμη του Υπόγειου Υδάτινου Ορίζοντα (Υ.Υ.Ο) κατά την τελευταία πρωινή μέτρηση που λήφθηκε αμέσως μόλις τελείωσε το έργο της γεωτεχνικής έρευνας, τη χρονιά που μετρήθηκε ο Υ.Υ.Ο., κ.λπ.

Περιέχει επίσης πληροφορίες, που περιγράφουν περισσότερο τις ειδικές εδαφικές συνθήκες, μερικές από τις οποίες ενδεικτικά είναι :

- ☉ Το βάθος του τυχόν επικρεμάμενου Υ.Υ.Ο. (μετρούμενη στάθμη) - οπότε στο αντίστοιχο πεδίο του «βάθους του Υ.Υ.Ο» σημειώνεται μια «εκτιμώμενη» στάθμη.
- ☉ Μια συμβολική τιμή «2000», σε περίπτωση που δεν συναντήθηκε υπόγειο νερό σε όλο το βάθος της Θέσης Έρευνας.
- ☉ Μια λεκτική ένδειξη «Αρτεσιανό» και το βάθος στο οποίο συναντήθηκε το αρτεσιανό ύδωρ (λ.χ., το πεδίο αυτό γράφει «Αρτεσιανό 11.7 m», ενώ για την ίδια θέση ο χειριστής γράφει στο πεδίο «Water Depth» το υψόμετρο «1.50»).



WATER TABLE	
Water_ID	1535
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G15
Piezometer	Οχι
Water table during the last day of the drilling	4.80
Remarks for the Water Level	
Depth of a possible pocket water table	
Date of the next measurement after the last one	
Depth of the water table at the above date	

Σχήμα 4.2.2.3 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του WATER_TABLE της *HelGeoRDaS_uTH*.

4.2.2.4 Ο Κύριος Πίνακας LITHOLOGY, η ομώνυμη Φόρμα, και Λιθολογικοί Κωδικοί για τον εναλλακτικό εδαφικό χαρακτηρισμό

Ο Πίνακας LITHOLOGY (Σχ. 4.2.2.4) περιέχει δεδομένα που αναφέρονται στο τεχνικογεωλογικό υλικό που συνάντησε η ερευνητική θέση. Περιλαμβάνει το κοινό Πεδίο «IL_ID» και σαράντα τρία (43) ακόμη πεδία, μερικά από τα οποία είναι :

Το πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*Stroma_ID*), το οποίο αποτελεί ταυτόχρονα και το κωδικό όνομα κάθε τύπου εδαφικής στρώσης (Ενοτ. 4.3.2.2: Γεωτεχνικός Κωδικός), το κωδικό όνομα κάθε τύπου βραχώδους στρώματος (*Rockmass_ID*), τα βάθη όπου ο δειγματολήπτης συνάντησε την οροφή και τη βάση ενός στρώματος, το χρώμα που έχει το εδαφικό ή βραχώδες στρώμα, κ.λπ.

Μια ιδιαιτερότητα του Πίνακα είναι ότι κάποια Πεδία είναι σύνδεσμοι που ανοίγουν τους Δευτερεύοντες Πίνακες. Οι Δευτερεύοντες αυτοί Πίνακες είναι: ο Πίνακας SOIL και ο Πίνακας ROCK της Βάσης Δεδομένων (Ενοτ. 4.2.3.1 και 4.2.3.2). Οι Δευτερεύοντες Πίνακες έχουν ρόλο «Πίνακα - λεξικού», δηλαδή, εμφανίζουν ένα σύνθετο πλαίσιο τύπου «combo box», το οποίο είναι ένας κατάλογος με συμβουλευτικά δεδομένα.

Σημαντικό ρόλο για τη μεθοδολογία του *GeoSeism* έχει το πεδίο που καταγράφει τη «Γεωλογική Περιγραφή» του εδαφικού ή του βραχώδους στρώματος που συναντά ο δειγματολήπτης. Η περιγραφή γίνεται με τα αλφαριθμητικά δεδομένα που περιέχονται σε δυο Πεδία, το ένα στην Ελληνική και το άλλο στην Αγγλική γλώσσα. Το περιεχόμενο του Πεδίου αυτού μπορεί συμβουλευτικά να ληφθεί μέσω του σύνθετου πλαισίου (combo box), από όπου

ο χρήστης να επιλέξει έτοιμες εκφράσεις, εφόσον είναι κατάλληλες για τη γεωλογική περιγραφή μιας εδαφικής στρώσης. Σημαντικό ρόλο έχουν επίσης και τα εικοσιτέσσερα Πεδία «**Λιθολογικών Κωδικών**», τα οποία εξηγούνται στη συνέχεια.

Πεδία Λιθολογικών Κωδικών: Σε εικοσιτέσσερα (24) Πεδία του Πίνακα *LITHOLOGY* εμπεριέχονται ακέραιοι οι οποίοι μεταφέρουν κωδικοποιημένη πληροφορία για τη λιθολογία ενός εδαφικού δείγματος. Πρόκειται για δώδεκα (12) Πεδία στα ελληνικά και ισάριθμα ταυτόσημα στα αγγλικά. Επιδέχονται μια ακέραια τιμή από το 1 έως το 12.

Για κάθε εδαφικό δείγμα είναι δυνατόν να αντιστοιχούν περισσότεροι του ενός Λιθολογικοί Κωδικοί, καθότι στόχος είναι να περιγράψουν όχι μόνον τη βασική αλλά και την **πλήρη σύνθεση** του εδαφικού υλικού (τη βασική την «αποφασίζει» ο Σημασιολογικός Διερμηνέας).

Κατά την καταχώρηση νέων δεδομένων στη βάση, συστήνεται ο χρήστης να πληκτρολογεί στα πεδία αυτά την κατάλληλη κατά την κρίση του τιμή. Η κρίση του βασίζεται στη γεωλογική περιγραφή, την οποία διαβάζει από το Πεδίο της Γεωλογικής Περιγραφής ή από τυχόν άλλες διαθέσιμες τεχνικές εκθέσεις. Οι τιμές λειτουργούν ως κωδικοί. Δηλαδή, μεταφέρουν στο *GeoSeism*, στον Σημασιολογικό Διερμηνέα (Ένοτ. 5.2) και σε οποιονδήποτε φυσικά χρήστη της Πληροφορίας της Βάσης την κωδικοποιημένη πληροφορία αναφορικά με το πόσες και ποιες είναι οι διαφορετικές λιθολογίες που εμπεριέχονται στο εδαφικό δείγμα.

□□□□□□ □□□□□□□□□□ αν το εδαφικό υλικό συνίσταται από «αμμοϊλό», τότε ο χρήστης πρέπει να πληκτρολογήσει τους κωδικούς 2 και 11, στα Πεδία «Άμμος» και «Ιλύς» (είτε στα Πεδία «Sand» και «Silt» που είναι στα αγγλικά), αντίστοιχα. Αν το εδαφικό υλικό συνίσταται από «Άργιλο», γράφεται ο κωδικός αριθμός «1», αλλιώς γράφεται «0». Στα πεδία που δεν έχει πληκτρολογηθεί κανένας κωδικός, η βάση εμφανίζει (αυτόματα) τη συμβατική τιμή μηδέν «0».

Αν στα Πεδία αυτά δεν πληκτρολογηθούν καθόλου τιμές, προβλέπεται η αυτοματοποιημένη επιλογή του κατάλληλου κωδικού από το *GeoSeism* (Σημασιολογικός Διερμηνέας *Ποθία*). Συνίσταται ωστόσο να πληκτρολογούνται από τον χρήστη, ίνα εξοικονομείται σημαντικός χρόνος στις επιλύσεις.

Ο **Λιθολογικός Χαρακτηρισμός** είναι μια εναλλακτική ταξινόμηση του εδαφικού δείγματος που αναπτύχθηκε με βάση τους Λιθολογικούς Κωδικούς (Σχ. 5.2.5.2). Αναπτύχθηκε για να βοηθή τη μεθοδολογία του *GeoSeism* να ξεπερνά πολλά προβλήματα που προκύπτουν όταν απουσιάζει ο εδαφικός χαρακτηρισμός και ειδικά όταν λόγω ανεπάρκειας δεδομένων (κυρίως της κοκκομετρίας) δεν είναι εφικτός ο εδαφικός χαρακτηρισμός (Σχ. 5.2.5.1).

Στο Πίνακα *LITHOLOGY* καταχωρούνται επίσης μερικές απλές μονοπαραμετρικές ταξινομήσεις (οι σύνθετες καταχωρούνται στον Πίνακα *ROCKMASS_CLASSIFICATION*, Ενот. 4.2.2.9), οι οποίες είναι:

1. Ο Δείκτης ολικής πυρηνοληψίας TCR (Total Core Recovery %): Ισούται με το ποσοστό του μήκους των τεμαχών του βραχώδους υλικού σε συνολικό εξεταζόμενο τμήμα ερευνητικής θέσης 1 m (πυρήνας της δειγματοληψίας), δηλαδή:

$$T.C.R = \frac{\Sigma(\text{μήκος τεμαχών})}{\text{μήκος του πυρήνα}} \times 100\% \quad (4.2.2.4.1)$$

2. Ο Δείκτης Ποιότητας ή Κερματισμού της βραχώμαζας RQD (Rock Quality Designation): Σύμφωνα με τη σχετική μέθοδο (Deere et al, 1967), αποτελεί ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχώμαζας με βάση τους πυρήνες γεωτρήσεων (πυρηνοληψίες). Ορίζεται ως το ποσοστό των τεμαχών μήκους άνω των 10 cm σε κάποιο μήκος της γεώτρησης, δηλαδή:

$$R.Q.D = \frac{\Sigma(\text{μήκος τεμαχών μήκους} > 10 \text{ cm})}{\text{Ολικό μήκος του πυρήνα}} \times 100\% \quad (4.2.2.4.2)$$

Καταχωρούνται επίσης διάφορες παράμετροι σχετικά με την περιγραφή και ταξινόμηση της βραχώμαζας. Οι τιμές που καταχωρούνται στα Πεδία αυτά, υποδεικνύονται συμβουλευτικά από τους Δευτερεύοντες Πίνακες. Ενδεικτικά οι παράμετροι είναι:

- ⊗ Η μηχανική αντοχή του «συμπαγούς» πετρώματος που δομεί τη βραχώμαζα: Εκτιμάται κατά τη δοκιμή μοναξονικής θλίψης (uniaxial compression strength) σε κυλινδρικά δοκίμια. Εξαρτάται κυρίως από το είδος του πετρώματος και τον βαθμό αποσάθρωσης (ταξινομήσεις κατά ISRM, 1981).
- ⊗ Οι ασυνέχειες (discontinuities) της βραχώμαζας: Συνήθως ομαδοποιούνται σε συστήματα ασυνεχειών (διεθνείς όροι: «Discontinuity sets» ή «Joint sets»), τα μέλη των οποίων έχουν λίγο πολύ κοινό προσανατολισμό, ενώ η συμπεριφορά τους σχετίζεται και με μια σειρά άλλων παραμέτρων.
- ⊗ Υπόλοιπες παράμετροι χαρακτηρισμού της βραχώμαζας, ενδεικτικές από τις οποίες είναι: Ο βαθμός αποσάθρωσης του στρώματος (Weathering), από το οποίο πεδίο ανοίγει συμβουλευτικά και ο Πίνακας-λεξικό *WEATHER* της Βάσης (Ενот.4.2.3.4). Η απόσταση των ασυνεχειών στη βραχώμαζα (Distance between joints), από το οποίο πεδίο ανοίγει συμβουλευτικά και ο Πίνακας-λεξικό *SPACING* της Βάσης (Ενот. 4.2.3.5). Η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών (Surface conditions of joint), από το πεδίο αυτό ο χρήστης μπορεί συμβουλευτικά να συνδεθεί με τον Πίνακα-λεξικό *SURFACE _JOINTS* της Βάσης (Ενот. 4.2.3.6). Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών, όπως αυτό περιγράφεται στον Πίνακα-λεξικό *FILLING_MATERIAL* της Βάσης (Ενот. 4.2.3.7), με τον οποίο Πίνακα μπορεί ο χρήστης να συνδεθεί μέσα από αυτό το Πεδίο. Ο Συντελεστής τραχύτητας που αφορά την τιμή του JRC για δείγμα 10 cm, από το οποίο Πεδίο ο χρήστης μπορεί συμβουλευτικά να συνδεθεί με τον

Πίνακα-λεξικό JRC της Βάσης (Ενοτ. 4.2.3.8). Η σχιστότητα των επιφανειών (π.χ. αν είναι λείες, επίπεδες, κυματοειδείς).

The screenshot shows a web-based form titled "LITHOLOGY". At the top, there is a header with the word "LITHOLOGY" in a grey box. Below the header, there are several input fields and buttons. The fields include "Stroma_ID" (value: 9176), "INVESTIGATED_LOCATION_ID" (value: G1), "Rockmass_ID" (value: 0), "Roof depth of the strata" (value: 0.00), and "Base depth of the strata" (value: 2.50). There are three buttons: "Find Record", "Add Record", and "Close Form". Below these fields, there are several dropdown menus and text input fields. The "Geological description" field is set to "Backfill materials". The "Colour of the stratum" and "Lithology_type" are dropdown menus. The "Weathering of strata", "Distance between joints", "Surface conditions of joint", and "Filling material of joint" are also dropdown menus. The "JRC10" field is a dropdown menu. The "Επιφανειακή σχιστότητα" (Surface fracturing) field is a text input. The "Schistosity surfaces" field is a text input. The "Core recovery%" and "R.O.D.%" fields are text inputs. On the right side, there are checkboxes for various geological materials: Clay, Sand, Sandgravel, Schist, Marl, Limestone, Conglomerate, Backfill, Peridotite, Sandstone, Silt, Argillaceous, Sand, Amalgam, Schistosity, Marl, Asbestos, Conglomerate, Epitaxial, Peridotite, Schistosity, and Silt.

Σχήμα 4.2.2.4 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του LITHOLOGY της HelGeoRDaS_uTH.

4.2.2.5 Ο Κύριος Πίνακας LAB_TESTS και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας LAB_TESTS (Σχ. 4.2.2.5) περιέχει τα αποτελέσματα των εργαστηριακών πειραμάτων που έγιναν σε εδαφικά δείγματα (δοκίμια) με σκοπό να προσδιορισθούν κάποιες από τις παραμέτρους του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού. Περιλαμβάνει το κοινό Πεδίο «IL_ID» και σαράντα τρία (43) ακόμη πεδία, μερικά από τα οποία περιέχουν τα ακόλουθα :

Το Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (Lab_ID), το κωδικό κλειδί «Stroma_ID», τα Βάθη της οροφής και της βάσης του εδαφικού ή του βραχώδους δοκιμίου, τα Φαινόμενα βάρη του υγρού και του ξηρού εδαφικού ή βραχώδους δοκιμίου, το Ειδικό βάρος των στερεών συστατικών του δοκιμίου, τον Λόγο κενών του εδαφικού ή του βραχώδους δοκιμίου (e%), τον Βαθμό κορεσμού του εδαφικού δοκιμίου (S%), το ποσοστό του εδαφικού δοκιμίου (άμμος, ιλύς, και άργιλος) που διέρχεται από τα κόσκινα #4, #10, #40, #200, το ποσοστό

φυσικής υγρασίας του εδαφικού ή του βραχώδους δοκιμίου ($w\%$), τα στοιχεία πλαστικότητας (Atterberg: LL, PL, IP), τον Δείκτη συμπίεσότητας (Cc), το Μέτρο συμπίεσης του εδαφικού δοκιμίου (E_{kPa}), την Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη του δοκιμίου (MPa), το αποτέλεσμα της δοκιμής Brazilian (MPa), κ.ά.

Σε μερικά Πεδία επίσης καταχωρούνται οι τιμές της Γωνίας εσωτερικής τριβής και της αντίστοιχης συνοχής των εδαφικών δοκιμίων, για καταπόνηση σε τριαξονική δοκιμή και σε δοκιμή διάτμησης, και για τους τρεις συνδυασμούς των συνθηκών φόρτισης, ήτοι: μη στερεοποιημένου εδαφικού δοκιμίου υπό αστράγγιστες συνθήκες (UU), στερεοποιημένου εδαφικού δοκιμίου που υποβλήθηκε σε ταχεία δοκιμή (CUPP), στερεοποιημένου εδαφικού δοκιμίου καταπονούμενου υπό στραγγιζόμενες συνθήκες (CD).

Σημαντικό ρόλο στη μεθοδολογία του GeoSeism έχουν τα πεδία της κοκκομετρικής ανάλυσης, των παραμέτρων της συνεκτικότητας, της κατάταξης εδαφών κατά το Σύστημα American United Soil Classification System (USCS), καθώς και το πεδίο που αναφέρει στην περιεκτικότητα του εδαφικού δείγματος σε οργανικά (%).

Σχήμα 4.2.2.5 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του LAB_TESTS της HelGeoRDaS_uTH.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.2.2.6 Ο Κύριος Πίνακας *INSITU_SPT_TESTS* και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας *INSITU_SPT_TESTS* (Σχ. 4.2.2.6) περιέχει τις μετρήσεις από επιτόπου δοκιμές SPT που προσδιορίζουν έμμεσα τις παραμέτρους του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού. Περιλαμβάνει το κοινό Πεδίο «*IL_ID*» και δέκα (10) ακόμη πεδία, μερικά από τα οποία είναι τα ακόλουθα :

Το κοινό Πεδίο «*IL_ID*», το πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*Insitu_ID*), τον κωδικό της εδαφικής στρώσης (*Stroma_ID*), το βάθος από το οποίο ξεκίνησε και το βάθος όπου σταμάτησε να εφαρμόζεται η *in situ* δοκιμή ή όπου εμφανίσθηκε αλλαγή στην τιμή της παραμέτρου που μετριέται με τη συγκεκριμένη δοκιμή, τον Συντελεστή διαπερατότητας *K* της δοκιμής *Maag*, της δοκιμής *Lugeon* και της πρεσσιομετρικής δοκιμής.

Σημαντικό ρόλο στη μεθοδολογία του *GeoSeism* έχει το πεδίο το οποίο αναφέρεται στα αποτελέσματα της δοκιμής SPT. Οι τιμές του είναι αλφαριθμητικού τύπου και εκφράζουν τον αριθμό των κρούσεων NSPT της πρότυπης δοκιμής διεισδυσης για τη συνολική διεισδυση 45 cm (15 - 15 - 15 cm) είτε τον αριθμό των κρούσεων που έχουν καταγραφεί για διεισδύσεις μικρότερες των 30 cm (λ.χ., 50/10). Τις τιμές αυτές προβλέπεται να τις επεξεργαστεί ο Σημαιολογικός Διερμηνέας και να εκτιμήσει την αντιπροσωπευτική αριθμητική τιμή (λ.χ. το πρωτογενές δεδομένο 50/10 αντιστοιχεί σε 50 κρούσεις για $\text{IL} \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square$), όπως αναλυτικά περιγράφεται στην υλοποιηθείσα μεθοδολογία (Ενοτ. 5.2.5).

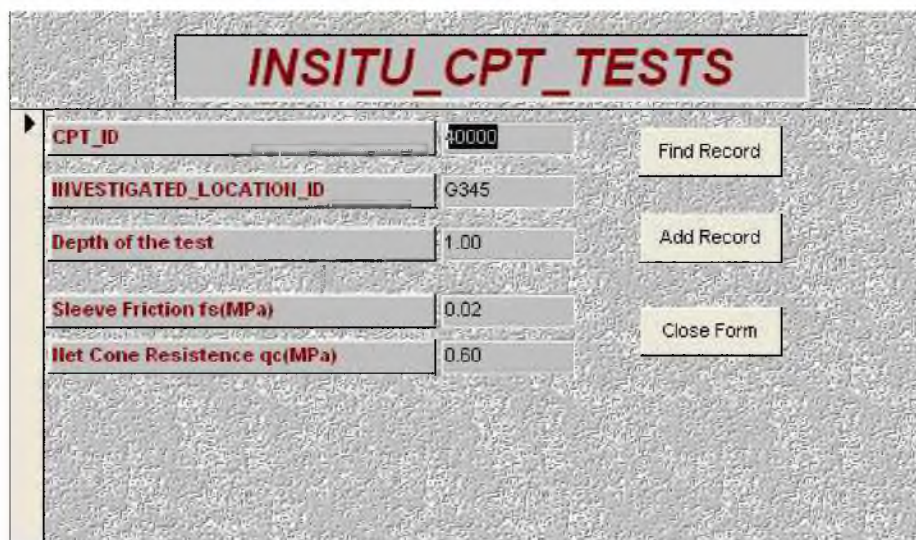
INSITU_SPT_TESTS	
Insitu_ID	0000
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G178
Start depth of the test	9.00
End depth of the test	9.10
Stroma_ID	20069
Number of blows II	REF
K from Lefranc test (10.7m/s)	
K from Maag test (10.7m/s)	
K from Lugeon test (10.7m/s)	
Results from pressuremeter test	

Σχήμα 4.2.2.6 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του *INSITU_SPT_TESTS* της Βάσης.

4.2.2.7 Ο Κύριος Πίνακας *INSITU_CPT_TESTS* και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας *INSITU_CPT_TESTS* (Σχ. 4.2.2.7) περιέχει τις μετρήσεις από επιτόπου δοκιμές CPT που προσδιορίζουν έμμεσα τις παραμέτρους του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία, τα οποία περιέχουν:

Το κοινό Πεδίο «*IL_ID*», το Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*CPT_ID*), το βάθος που ξεκίνησε η δοκιμή, την πλευρική τριβή που μετρήθηκε (sleeve friction *f_s* (MPa)), την αντίσταση της αιχμής του κώνου του οργάνου της δοκιμής πρότυπης διείδυσης (net cone resistance *q_c* (MPa)).



INSITU_CPT_TESTS		
CPT_ID	0000	Find Record
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G345	Add Record
Depth of the test	1.00	
Sleeve Friction <i>f_s</i> (MPa)	0.02	Close Form
Net Cone Resistance <i>q_c</i> (MPa)	0.60	

Σχήμα 4.2.2.7 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του *INSITU_CPT_TESTS*.

4.2.2.8 Ο Κύριος Πίνακας *INSITU_GEOPHYSIC_TESTS* και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας *INSITU_CPT_TESTS* (Σχ. 4.2.2.8) περιέχει τις μετρήσεις από επιτόπου γεωφυσικές δοκιμές τύπου Crosshole ή Downhole που προσδιορίζουν άμεσα τις παραμέτρους του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία, τα οποία περιέχουν:

Το κοινό Πεδίο «*IL_ID*», το Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*CrossDown_ID*), τα βάθη όπου ξεκίνησε και όπου σταμάτησε η δοκιμή ή όπου παρουσιάστηκε αλλαγή στην τιμή της μετρούμενης ταχύτητας, την τιμή της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων *V_s* (m/sec) και της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων *V_p* (m/sec), κατά την *in situ* δοκιμή Crosshole ή την Downhole.

GEOPHYSIC CROSSHOLE and DOWNHOLE tests		
CrossDown_ID	30000	Find Record
INVESTIGATED_LOCATION_ID	G038	Add Record
Start depth of the test	0.00	Close Form
End depth of the test	3.26	
Vs(m/sec)	202.41	
Vp(m/sec)	335.89	

Σχήμα 4.2.2.8 Άποψη της φόρμας του *INSITU_GEOPHYSIC_TESTS*.

4.2.2.9 Ο Κύριος Πίνακας *ROCKMASS_CLASSIFICATION* και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας *ROCKMASS_CLASSIFICATION* (Σχ. 4.2.2.9) περιέχει αποτελέσματα εργαστηριακών πειραμάτων που έγιναν με σκοπό να προσδιορισθούν κάποιες από τις παραμέτρους του βραχώδους υλικού. Περιλαμβάνει επτά (7) πεδία, τα οποία αναφέρονται:

Στο κοινό Πεδίο «*IL_ID*», στο Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*Rockmass_ID*), στα βάθη όπου ξεκίνησε και όπου σταμάτησε να μετράται ή παρουσιάστηκαν αλλαγές στο MR ή στο GSI του συστήματος, στην Ταξινόμηση βραχώμαζας σύμφωνα με το σύστημα RMR (Rock Mass Rating) κατά Bieniawski (1989), στην τιμή του συστήματος ταξινόμησης της βραχώμαζας (MR) – το οποίο αποτελεί τροποποίηση του συστήματος Bieniawski (RMR)-, την τιμή του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) σύμφωνα με το σύστημα Hoek (1995).

Στον Πίνακα *ROCKMASS_CLASSIFICATION*, καταχωρούνται σύνθετες πολυπαραμετρικές ταξινομήσεις, οι οποίες αναλυτικότερα είναι:

1. Η γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά το σύστημα RMR (Rock Mass Rating): Σύμφωνα με την τελική μορφή της μεθόδου (Bieniawski, 1989), ταξινομείται η βραχώμαζα με βάση την πολυπαραμετρική τιμή του δείκτη RMR η οποία είναι το άθροισμα των τιμών των έξι παραμέτρων (βαθμονομείται τελικά με τιμές από 0 – 100):
 - (α) Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη,
 - (β) RQD (%),
 - (γ) Απόσταση των ασυνεχειών (m),
 - (δ) Κατάσταση ασυνεχειών, άνοιγμα, πλήρωση, τραχύτητα, βαθμός αποσάθρωσης, κ.λπ.,

- (ε) Καθεστώς υπόγειου νερού,
- (στ) Προσανατολισμός ασυνεχειών.

Μια από τις σοβαρές αδυναμίες που οι ερευνητές εντοπίζουν στη μέθοδο αυτή είναι ότι, η εκτίμηση του πάχους του υλικού πληρώσεως των ασυνεχειών εμπεριέχει σημαντική αβεβαιότητα. Επιπροσθέτως ότι, αρκεί μικρή μεταβολή του πάχους του υλικού πληρώσεως και η επιρροή αυτή στον συνολικό δείκτη γίνεται υπερβολικά μεγάλη.

Κατά τη χρήση του δείκτη RMR για την εκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχώμαζας συνιστάται ο υπολογισμός του RMR να γίνεται με άθροιση μόνον των πέντε πρώτων παραμέτρων, δηλαδή χωρίς συμμετοχή της επιρροής του προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης του έργου.

2. Η γεωτεχνική ταξινόμηση με τον Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI): Έχει προταθεί (Hoek et. al., 1992) ως ένας επίσης πολυπαραμετρικός δείκτης. Επεκτείνει την ταξινόμηση RMR ώστε να εξετάζονται κατάλληλα και οι κατακερματισμένες βραχώμαζες με βάση κάποιο κριτήριο αστοχίας και με παραμέτρους που αφορούν στα χαρακτηριστικά τους. Εφαρμόζεται κυρίως σε βραχώμαζες με αλληλεμπλοκή μεταξύ των βραχωδών τεμαχών, δηλαδή με μικρό ποσοστό συμμετοχής εδαφικού υλικού (τυπικά λιγότερο από 20% του συνολικού όγκου της βραχώμαζας). Ειδιάλλως, έχει προταθεί και κάποια GSI .
3. Η ταξινόμηση (MR): πρόκειται για σύστημα ταξινόμησης (Barton, 1987, Barton and Bandis, 1982) που συσχετίζει με μια σχέση τον συντελεστή J_r του συστήματος ταξινόμησης «Q» με το συντελεστή τραχύτητας ασυνέχειας JRC για δείγματα 200 mm και 1000 mm (Σχ. 4.2.2.9). Στη συνέχεια, με την ακόλουθη μαθηματική έκφραση διορθώνει τον συντελεστή JRC , ως εξής:

$$JRC_n = JRC_o \left(\frac{L_n}{L_o} \right)^{-0.02JRC_o} \quad (4.2.2.9)$$

Όπου: JRC_o και L_o αναφέρονται σε εργαστηριακά δείγματα 100 mm,
 JRC_n , L_n αναφέρονται σε μεγέθη επιτόπου μπλοκ.

DESCRIPTION	PROFILE	J _r	JRC 200mm	JRC 1m
Rough	Stepped	4	20	11
Smooth		3	14	9
Slickensided		2	11	8
Rough	Undulating	3	14	9
Smooth		2	11	8
Slickensided		1.5	7	6
Rough	Planar	1.5	2.5	2.3
Smooth		1.0	1.5	0.9
Slickensided		0.5	0.5	0.4

Σχήμα 4.2.2.9 Σχέση μεταξύ συντελεστή J_r του συστήματος ταξινόμησης «Q» με το συντελεστή τραχύτητας ασυνέχειας JRC για δείγματα 200 mm και 1000 mm.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θεωρώντας ως επί τόπου μέγεθος τα 200 mm μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής JRC για δοκίμια 100 mm που είναι άλλωστε και η τυπική διάμετρος των γεωτρήσεων (Σχ. 4.2.3.8, Ενοτ. 4.2.3.8).

Σχήμα 4.2.2.9 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του ROCKMASS_CLASSIFICATION.

4.2.2.10 Οι Κύριοι Πίνακες NETWORK_ELEMENTS και PIPELINE_FAILURES

Οι Πίνακες NETWORK_ELEMENTS και PIPELINE_FAILURES (Σχ. 4.2.2.10, 4.2.2.11) και οι ομώνυμες Φόρμες τους, δημιουργήθηκαν για να καταγράφουν δεδομένα για το δίκτυο ύδρευσης των πόλεων και τις βλάβες λειτουργίας των αγωγών.

Τα κυριότερα Πεδία του Πίνακα NETWORK_ELEMENTS, περιέχουν:

Το Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*Index_Number*), την ταυτότητα του εξεταζόμενου τεμαχίου του αγωγού (*NETWORK_ELEMENT_ID*), το εμπορικό προϊόν και τα στοιχεία κατασκευαστή, το υλικό (πολυαιθυλένιο, χυτοσίδηρος, κ.λπ.), την ονομαστική διάμετρο (mm), το πάχος του τοιχώματος (mm), την κλάση πίεσης (atm), τον τύπο του αγωγού, την κατάταξη της πρώτης ύλης (λ.χ., PE 100), το μήκος του αγωγού (m), την κατηγορία σπουδαιότητας του δικτύου, τις συντεταγμένες της αρχής και του πέρατος κάθε εξεταζόμενου μήκους του αγωγού, τα ενδιάμεσα βάθη, την οικονομική αξία (διαβάθμιση), τη λειτουργική σπουδαιότητα, και ια χαρακτηριστικά κάθε εξεταζόμενου αγωγού.

Τα κυριότερα Πεδία του Πίνακα PIPELINE_FAILURES, περιέχουν:

Το Πρωτεύον κλειδί του πίνακα (*Failure_Index*), την ταυτότητα του εξεταζόμενου τεμαχίου του αγωγού (*NETWORK_ELEMENT_ID*), τη θέση αστοχίας, τους χρόνους επισκευής, τις καταγεγραμμένες βλάβες (combo box), τις συντεταγμένες στις θέσεις Ευαισθησίας, την τρωτότητα, και όμοια.

NETWORK ELEMENTS: PIPELINES			
NETWORK_ELEMENT_ID	[Dropdown]		
Index_Number	1	Find Record	
Depth1(m)	0.50	Depth2(m)	0.50
CoordX1	409472.02	CoordX2	409446.22
CoordY1	4356712.41	CoordY2	4356677.90
CoordZ1	1.00	CoordZ2	0.90
Dimension (mm)/Material	110	Typology (atm)	10
Material	PE	Length (m)	10.00
Characteristics	Project		
Importance (global value)			
mitigating or eliminating	Characteristics		
quantifiable value (or rank order) and importance	vulnerability in potential threats		
capabilities (resources)	Inventory	pipeline	

Σχήμα 4.2.2.10 Άποψη της ομώνυμης φόρμας του NETWORK_ELEMENTS.

PIPELINE_FAILURES			
NETWORK_ELEMENT_ID	P1		
Failure_ID			Find Record
DepthF1(m)			Add Record
CoordX_F1			Close Form
CoordY_F1			
CoordZ_F1			
Failure_site	βασικό δάπεδο	Failure_element	pipeline
Type of failure	Σύνδεση	Cause of failure	permanent displac
Repairing time(hours)		Recorded failures	
Fragility			

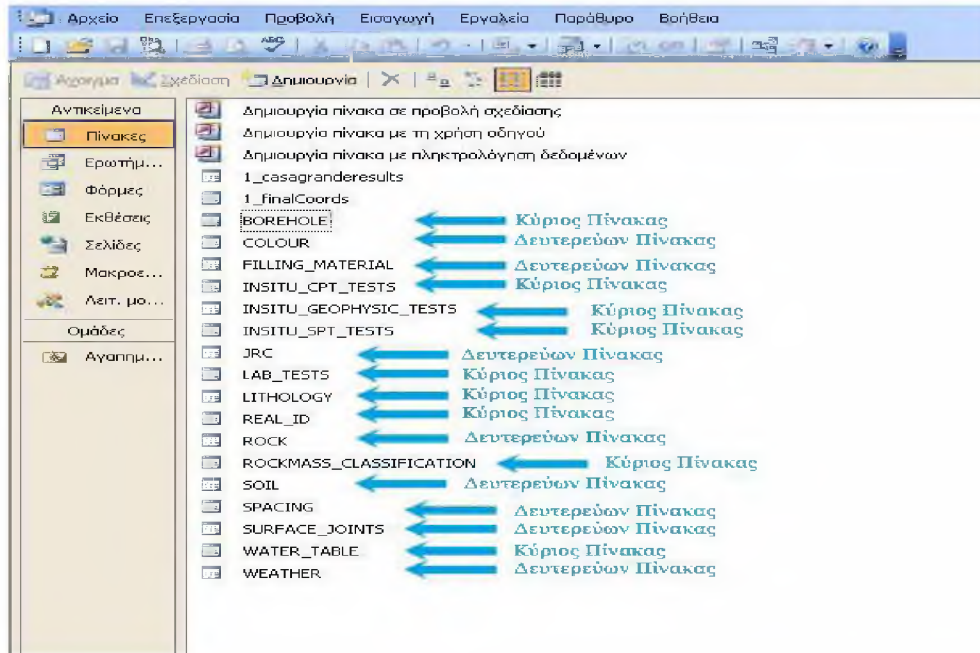
Σχήμα 4.2.2.11 Αποψη της ομώνυμης φόρμας του PIPELINE_FAILURES.

4.2.3 Οι Δευτερεύοντες Πίνακες της HelGeoRDaS_uTH

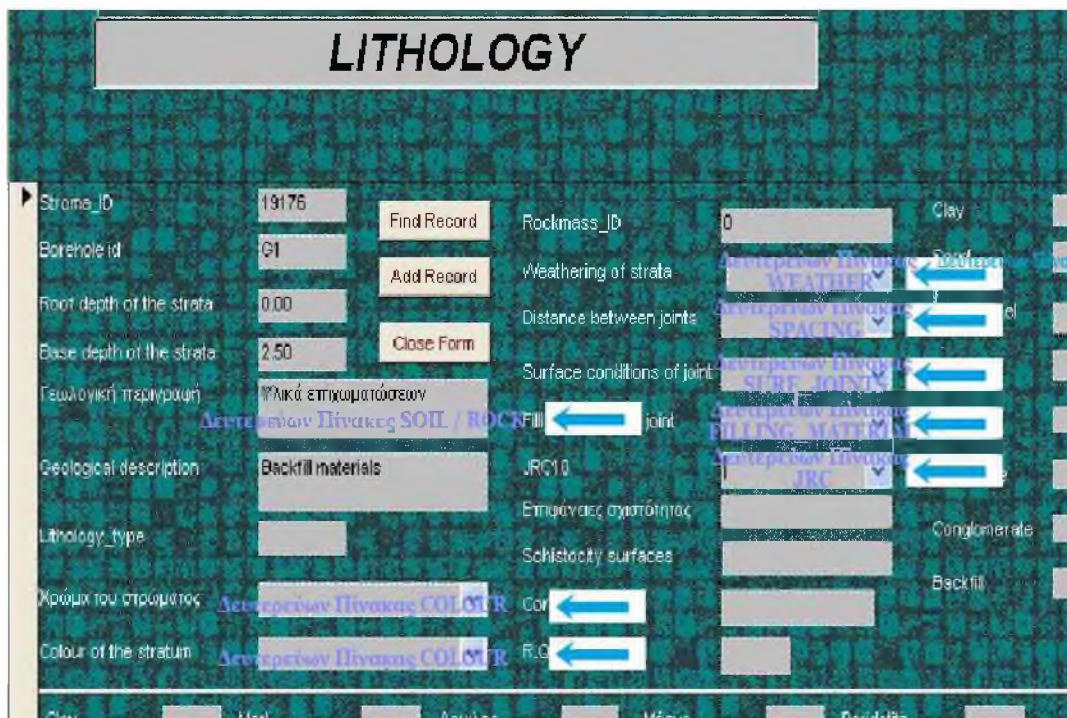
Δομήθηκαν οκτώ (8) Δευτερεύοντες Πίνακες (Σχ. 4.2.3.a, 4.2.3.β) οι οποίοι υποστηρίζουν ορισμένα πεδία κάποιων από τους Κύριους Πίνακες. Οι Δευτερεύοντες Πίνακες έχουν κυρίως συμβουλευτικό ρόλο αφού χρησιμεύουν ως λεξικά και περιέχουν κωδικοποιημένη τη γεωλογική πληροφορία, η οποία αφορά θεματικά στοιχεία όπως, το χρώμα του στρώματος, την αποσάθρωση, την πυκνότητα των ασυνεχειών, την κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών (σύμφωνα και με την ταξινόμηση της Διεθνούς Ένωσης Βραχομηχανικής (ISRM, 1981), κ.λπ.

Οι Δευτερεύοντες Πίνακες της Βάσης, δεν σχετίζονται μεταξύ τους, όπως οι Κύριοι Πίνακες (Σχ. 3.4) αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Διαθέτουν κι αυτοί ομώνυμες Φόρμες για τη φιλικότερη προβολή του συστήματος στους χρήστες. Οι Δευτερεύοντες Πίνακες, είναι:

1. SOIL (τύποι Εδαφών),
2. ROCK (τύποι Βράχων),
3. COLOUR (Χρώμα),
4. WEATHER (Αποσάθρωση),
5. SPACING (Απόσταση Ασυνεχειών),
6. SURFACE_JOINTS (Κατάσταση Επιφανειών των Ασυνεχειών),
7. FILLING_MATERIAL (Υλικό Πλήρωσης Ασυνεχειών),
8. JRC (Συντελεστής Τραχύτητας Ασυνεχειών).



Σχήμα 4.2.3.α Γενική άποψη των Κύριων και Δευτερεύοντων Πινάκων που εμπεριέχονται στον κατάλογο TABLES της Βάσης.



Σχήμα 4.2.3.β Άποψη του έμμεσου τρόπου πρόσβασης στους Δευτερεύοντες Πίνακες μέσα από Πεδία της Φόρμας LITHOLOGY.

4.2.3.1 Ο Δευτερέων Πίνακας SOIL και η ομώνυμη Φόρμα

Στην περιγραφή εδαφικού στρώματος (πεδίο *DESCRIPTION*) του Πίνακα *LITHOLOGY*, εάν πρόκειται για εδαφικό στρώμα μπορεί συμβουλευτικά να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας-λεξικό *SOIL* (Σχ. 4.2.3.1). Όπως φαίνεται και στην εικονιζόμενη Φόρμα, κάθε Πεδίο δίνει τον τυπικό γεωτεχνικό συμβολισμό ανάλογα της λιθολογίας που επικρατεί στο χαλικώδες ή αμμώδες ή ιλυώδες ή αργιλώδες εδαφικό υλικό.

	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY
▶ SW		SW	ML	CL
GP		SP	OL	OL
GM		SM	MH	CH
GC		SC	OH	OH
*				

Σχήμα 4.2.3.1 Ο Πίνακας-λεξικό *SOIL*.

4.2.3.2 Ο Δευτερέων Πίνακας ROCK και η ομώνυμη Φόρμα

Στην περιγραφή εδαφικού στρώματος (πεδίο *DESCRIPTION*) του Πίνακα *LITHOLOGY*, όταν πρόκειται για βραχώδες στρώμα μπορεί συμβουλευτικά να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας-λεξικό *ROCK* (Σχ. 4.2.3.2). Ο Πίνακας μπορεί φυσικά να επεκταθεί μελλοντικά και με άλλα είδη πετρωμάτων. Όπως φαίνεται και στην εικονιζόμενη Φόρμα, κάθε Πεδίο μεταφράζει στα αγγλικά τον τύπο των πετρωμάτων που συναντώνται σε μια περιοχή, ως εξής:

- | | | |
|---|--|--|
| 1 | Πυριγενή-Εκρηξιγενή-Ηφαιστειακά-Πλουτωνικά πετρώματα (IGNEOUS) | Αφορά σε αυτόν τον τύπο των πετρωμάτων που συναντώνται σε μια περιοχή. |
| 2 | Ιζηματογενή πετρώματα (SEDIMENTARY) | Περιλαμβάνει τα ιζηματογενή πετρώματα μιας περιοχής. |
| 3 | Μεταμορφωσιγενή πετρώματα (METAMORPHIC) | Αφορά τα μεταμορφωμένα πετρώματα που συναντώνται σε μια περιοχή. |

	IGNEOUS	SEDIMENTARY	METAMORPHIC	ΠΥΡΙΓΕΝΗ	ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ
▶ Granite		Limestone	Gneiss	Γρανίτης	Ασβεστόλιθος	Γνεύσιος
Basalt		Dolomite	Amphibolite	Βασάλτης	Δολομίτης	Αμφιβολίτης
Peridotite		Marl	Phyllite	Περιδοίτης	Μάρμα	Φυλλίτης
Serpentine		Chert	Schist	Σερπεντινίτης	Κερατόλιθος	Σχιστόλιθος
Andesite		Sandstone	Marble	Ανδεσίτης	Ψαμμίτης	Μάρμαρο
Rhyolite		Siltstone	Metasandstone	Ρυόλιθος	Ιλυόλιθος	Μεταψαμμίτης
Gabbro		Claystone	Metasiltstone	Γάββρος	Αργιλόλιθος	Μεταίλυόλιθος
Diorite		Shale	Quartzite	Διαρίτης	Αργιλικός Σχιστόλιθος	Χαλαζίτης
Diabase		Breccia		Διαβάσης	Λατυποπαγές	
Dacite		Conglomerate		Δασίτης	Κροκαλοπαγές	
*						

Σχήμα 4.2.3.2 Ο Πίνακας-λεξικό *ROCK*.

COLOUR : Πίνακας			
Χρώμα του στρώματος	Colour of the strata	Χρώμα του στρώματος	Colour of the strata
Ανοιχτό γκρι	Light grey	Εσκούρο καφέ	Dark brown
Ανοιχτό γκρι έως ανοικτό πράσινο	Light grey to light green	Εσκούρο κίτρινο με απόχρωση μπλε	Bluish to dark yellow
Ανοιχτό γκρι έως καστανό	Light grey to light brown	Εσκούρο κίτρινο με απόχρωση μπλε έως μαύρο	Black to dark yellow
Ανοιχτό γκρι έως κίτρινο έως πρασινωτό	Light grey to yellowish to greenish	Εσκούρο πράσινο	Dark green
Ανοιχτό γκρι έως πράσινο	Light grey to green	Εσκούρο πράσινο έως μαύρο	Dark green to black
Ανοιχτό γκρι έως σκούρο γκρι έως μαύρο	Light grey to dark grey to black	Υπόλευκο	Whitish
Ανοιχτό γκρι ή λευκό έως γκριζωτό	Light grey or white to greyish	Υπόλευκο έως γκριζωτό	Whitish to greyish
Ανοιχτό γκρι ή λευκό έως κίτρινο	Light grey or white to yellow	Υπόλευκο έως κίτρινο έως λευκό	Whitish to yellowish to white
Ανοιχτό γκρι και τοπικά γκριζωτό έως καστανό	Light grey and locally greyish to light brown	Υπόλευκο έως καστανό έως κίτρινο	Whitish to light brown to yellow
Ανοιχτό κίτρινο	Light yellow	Υπόλευκο έως κίτρινο έως γκριζωτό	Whitish to yellow to greyish
Ανοιχτό κόκκινο	Light red	Υπόλευκο έως λευκό έως καστανό	Whitish to white to light brown
Ανοιχτό πράσινο	Light green	Υπόλευκο έως λευκό έως κίτρινο	Whitish to white to yellow
Ανοιχτό πράσινο έως καστανό έως πρασινωτό	Light green to light brown to greenish	Υπόλευκο έως πρασινωτό	Whitish to greenish
Γαλάζιο έως γκριζωτό	Blue to greyish	Κίτρινο έως καστανό έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Yellow to light brown to greyish to greenish
Γκρι	Grey	Κίτρινο έως καστανό και τοπικά μαύρο	Yellow to light brown and locally black
Γκρι έως ανοικτό γκρι	Grey to light grey	Κίτρινο	Yellowish
Γκρι έως γκριζωτό έως μαύρο	Grey to greyish to black	Κίτρινο έως γκριζωτό	Yellowish to greyish
Γκρι έως καστανό έως κίτρινο	Grey to light brown to yellow	Κοκκινωτό έως γκριζωτό	Reddish to greyish
Γκρι έως καστανό έως πρασινωτό	Grey to light brown to greenish	Κοκκινωτό έως γκριζωτό έως μπλε	Reddish to greyish to blue
Γκρι έως σκούρο γκρι	Grey to dark grey	Καστανό έως πρασινωτό έως κοκκινωτό	Light brown to greenish to reddish
Γκρι έως σκούρο γκρι και τοπικά μαύρο	Grey to dark grey and locally black	Καστανό έως υπόλευκο	Light brown to whitish
Γκρι και τοπικά καστανό	Grey and locally light brown	Καστανό και τοπικά γκριζωτό	Light brown and locally greyish
Γκρι και τοπικά πρασινωτό	Grey and locally greenish	Καστανό και τοπικά γκριζωτό έως πρασινωτό	Light brown and locally greyish to greenish
Γκρι και τοπικά σκούρο γκρι	Grey and locally dark grey	Καστανό και τοπικά κοκκινωτό	Light brown and locally reddish
Γκριζωτό	Greyish	Καστανό και τοπικά λευκό	Light brown and locally white
Γκριζωτό έως άσπρο και τοπικά πρασινωτό	Greyish to white and locally greenish	Καφέ	Brown
Γκριζωτό έως ιώδες	Greyish to purple	Καφέ έως κοκκινωτό	Brown to reddish
Γκριζωτό έως καστανό	Greyish to light brown	Καφέ έως πρασινωτό έως γκρι έως μαύρο	Brown to greenish to grey to black
Γκριζωτό έως καστανό έως κίτρινο	Greyish to light brown to yellow	Καφετί	Brownish
Γκριζωτό έως καστανό έως κοκκινωτό	Greyish to light brown to reddish	Καφετί έως γκριζωτό	Brownish to greyish
Γκριζωτό έως καστανό έως λευκό	Greyish to light brown to white	Καφετί έως πρασινωτό	Brownish to greenish
Γκριζωτό έως καστανό έως υποκίτρινο έως κοκκινωτό	Greyish to light brown to yellowish to reddish	Κίτρινο	Yellow
Γκριζωτό έως καστανό και τοπικά μαύρο	Greyish to light brown and locally black	Κίτρινο έως καστανό	Yellow to light brown
Γκριζωτό έως κίτρινο	Greyish to yellow	Κίτρινο έως καστανό έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Yellow to light brown to greyish to greenish
Γκριζωτό έως κίτρινο έως μαύρο	Greyish to yellowish to black	Κίτρινο έως καστανό και τοπικά μαύρο	Yellow to light brown and locally black
Γκριζωτό έως μαύρο και τοπικά ανοικτό γκρι	Greyish to black and locally light grey	Κίτρινο	Yellowish
Γκριζωτό έως μπλε	Greyish to blue	Κίτρινο έως γκριζωτό	Yellowish to greyish
Γκριζωτό έως πράσινο έως κίτρινο	Greyish to green to yellowish	Κίτρινο έως γκριζωτό έως γαλάζιο	Yellowish to greyish to blue
Γκριζωτό έως πρασινωτό	Greyish to greenish	Κίτρινο έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Yellowish to greyish to greenish
Γκριζωτό έως πρασινωτό έως καστανό έως κίτρινο	Greyish to greenish to light brown to yellow	Κίτρινο έως καφετί	Brownish to yellowish
Γκριζωτό έως πρασινωτό έως μαύρο	Greyish to greenish to black	Κίτρινο έως κοκκινωτό	Yellowish to reddish
Γκριζωτό έως πρασινωτό και τοπικά ανοικτό γκρι	Greyish to greenish and locally light grey	Κίτρινο έως λευκό	Yellowish to white
Γκριζωτό έως πρασινωτό και τοπικά κίτρινο	Greyish to greenish and locally yellow	Κίτρινο έως πρασινωτό	Yellowish to greenish
Γκριζωτό έως υπόλευκο	Greyish to whitish	Κίτρινο έως πρασινωτό έως καστανό	Yellowish to greenish to light brown
Ιώδες	Violet	Κίτρινο έως υπόλευκο	Yellowish to whitish
Ιώδες έως πράσινο	Violet to green	Κόκκινο	Red
Καστανό	Light brown	Κόκκινο έως ιώδες	Red to purple
Καστανό έως γκρι έως μαύρο	Light brown to grey to black	Κόκκινο έως μαύρο	Red to black
Καστανό έως γκρι έως σκούρο γκρι	Light brown to grey to dark grey	Κόκκινο και τοπικά κίτρινο	Red and locally yellow
Καστανό έως γκρι έως σκούρο γκρι έως μαύρο	Light brown to grey to dark grey to black	Κοκκινωτό	Reddish
Καστανό έως γκριζωτό	Light brown to greyish	Κοκκινωτό έως γκριζωτό	Reddish to greyish
Καστανό έως γκριζωτό έως κίτρινο	Light brown to greyish to yellowish	Κοκκινωτό έως καστανό	Reddish to light brown
Καστανό έως γκριζωτό έως κοκκινωτό	Light brown to greyish to reddish	Κοκκινωτό έως καστανό έως γκριζωτό	Reddish to light brown to greyish
Καστανό έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Light brown to greyish to greenish	Κοκκινωτό έως καστανό έως μαύρο	Reddish to light brown to black
Καστανό έως γκριζωτό έως υπόλευκο	Light brown to greyish to whitish	Κοκκινωτό έως καστανό έως πρασινωτό	Reddish to light brown to greenish
Καστανό έως καστανό-γκρίζο	Light brown to light brown-grey	Κοκκινωτό έως καφετί	Reddish to brown
Καστανό έως καστανό-γκρίζο έως ανοικτό γκρι	Light brown to light brown-grey to light grey	Κοκκινωτό έως γκριζωτό	Reddish to greyish
Καστανό έως καστανό-κόκκινο	Light brown to light brown-reddish	Κοκκινωτό έως πρασινωτό	Reddish to greenish
Καστανό έως καφέ	Light brown to brown	Κοκκινωτό έως γκριζωτό	Reddish to greyish
Καστανό έως κίτρινο	Light brown to yellow	Κοκκινωτό έως κίτρινο έως γκρι έως πράσινο	Reddish to yellowish to grey to green
Καστανό έως κίτρινο έως γκριζωτό	Light brown to yellow to greyish	Κοκκινωτό έως κίτρινο	Reddish to yellowish
Καστανό έως κίτρινο έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Light brown to yellow to greyish to greenish	Κοκκινωτό έως κίτρινο έως γκριζωτό	Reddish to yellowish to greyish
Καστανό έως κίτρινο έως λευκό	Light brown to yellow to white	Κοκκινωτό έως κίτρινο και τοπικά βυσσινί	Reddish to yellowish and locally purple
Καστανό έως κίτρινο και πράσινο	Light brown to yellow and green	Κοκκινωτό έως γκριζωτό και τοπικά καστανό	Reddish to greyish and locally light brown
Καστανό έως κίτρινο και τοπικά κοκκινωτό	Light brown to yellow and locally reddish	Κοκκινωτό έως καστανό	Reddish to light brown
Καστανό έως κίτρινο	Light brown to yellowish	Κοκκινωτό έως κίτρινο	Reddish to yellowish
Καστανό έως κίτρινο και τοπικά ανοικτό γκρι	Light brown to yellowish and locally light grey	Κοκκινωτό έως κίτρινο έως γκρι έως πράσινο	Reddish to yellowish to grey to green
Καστανό έως κοκκινωτό	Light brown to reddish	Κοκκινωτό έως κίτρινο	Reddish to yellowish
Καστανό έως κοκκινωτό έως γκριζωτό	Light brown to reddish to greyish	Κοκκινωτό έως κίτρινο	Reddish to yellowish
Χρώμα του στρώματος	Colour of the strata	Μαύρο	Black
Πρασινωτό	Greenish	Μαύρο έως γκριζωτό	Black to greyish
Πρασινωτό έως γκριζωτό	Greenish to greyish	Μαύρο έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Black to greyish to greenish
Πρασινωτό έως γκριζωτό έως σκούρο γκρι έως μαύρο	Greenish to greyish to dark grey to black	Μαύρο έως ιώδες	Black to violet
Πρασινωτό έως γκριζωτό και τοπικά κίτρινο	Greenish to greyish and locally yellow	Μαύρο έως πρασινωτό	Black to greenish
Πρασινωτό έως καστανό	Greenish to light brown	Μοβ	Purple
Πρασινωτό έως καστανό έως κοκκινωτό	Greenish to light brown to reddish	Μοβ έως γκριζωτό έως πρασινωτό	Purple to greyish to greenish
Πρασινωτό έως καστανό έως λευκό	Greenish to light brown to white	Πράσινο	Green
Πρασινωτό έως καφέ	Greenish to brown	Πράσινο έως ιώδες	Green to purple
Πρασινωτό έως κίτρινο	Greenish to yellowish	Πρασινωτό	Greenish
Πρασινωτό έως κίτρινο	Greenish to yellowish	Πρασινωτό έως γκριζωτό	Greenish to greyish
Πρασινωτό έως μαύρο	Greenish to black	Πρασινωτό έως γκριζωτό έως σκούρο γκρι έως μαύρο	Greenish to greyish to dark grey to black
Ροδιωτό έως λευκό	Rose to white	Πρασινωτό έως γκριζωτό και τοπικά κίτρινο	Greenish to greyish and locally yellow
Ροζ	Rose	Πρασινωτό έως καστανό	Greenish to light brown
Σκούρο γκρι	Dark grey	Πρασινωτό έως καστανό έως κοκκινωτό	Greenish to light brown to reddish
Σκούρο γκρι έως ανοικτό γκρι	Dark grey to light grey	Πρασινωτό έως καστανό έως λευκό	Greenish to light brown to white
Σκούρο γκρι έως καστανό	Dark grey to light brown	Πρασινωτό έως καφέ	Greenish to brown
Σκούρο γκρι έως μαύρο	Dark grey to black	Πρασινωτό έως κίτρινο	Greenish to yellowish
Σκούρο γκρι έως μαύρο και τοπικά ανοικτό γκρι	Dark grey to black and locally light grey	Πρασινωτό έως μαύρο	Greenish to black
Σκούρο γκρι έως πρασινωτό	Dark grey to greenish	Ροδιωτό έως λευκό	Rose to white

Σχήμα 4.2.3.3 Ο Πίνακας-Λεξικό COLOUR

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.2.3.3 Ο Δευτερεύων Πίνακας COLOUR και η ομώνυμη Φόρμα

Ο Πίνακας-λεξικό COLOUR περιέχει συνδυασμούς χρωμάτων για τις εδαφικές στρώσεις, στα ελληνικά και στα αγγλικά (Σχ. 4.2.3.3). Το Πεδίο COLOR του Πίνακα LITHOLOGY αποτελεί τη Φόρμα Εισαγωγής δεδομένων στον Πίνακα αυτόν. Από τα Πεδία του μπορεί ο χρήστης να επιλέξει κάποιον από τους προτεινόμενους χρωματισμούς ή και να προσθέσει κάποιον δικό του. Περιλαμβάνονται και συνδυασμοί χρωμάτων, λ.χ., σκούρο γκρι ως μαύρο, κίτρινο ως καστανό, κ.λπ.

4.2.3.4 Ο Δευτερεύων Πίνακας WEATHER και η ομώνυμη Φόρμα

Το Πεδίο WEATHERING του Πίνακα LITHOLOGY αναφέρεται στον βαθμό αποσάθρωσης που ενδεχομένως να έχει υποστεί ένα βραχώδες υπόστρωμα. Αποτελεί τη Φόρμα Εισαγωγής δεδομένων ενός σύνθετου πλαισίου (combo box), του Πίνακα-λεξικού WEATHER. Ο χρήστης της Βάσης δύναται να επιλέξει μια κατηγορία είτε να προσθέσει δικές του είτε να κάνει συνδυασμό περισσότερων της μιας κατηγορίας. Ο Πίνακας έχει δημιουργηθεί με βάση το σύστημα ταξινόμησης της ISRM (Ενοτ. 4.2.2.9). Έχει τα εξής Πεδία (Σχ. 4.2.3.4): χαρακτηρισμό της Κατηγορίας αποσάθρωσης (CLASS), και του Βαθμού αποσάθρωσης (WEATHERING).



	CLASS	WEATHERING
▶	RESIDUAL	F
	SLIGHTLY WEATHERED	SW
	MODERATELY WEATHERED	MW
	HIGHLY WEATHERED	HW
	COMPLETELY WEATHERED	CW
	RESIDUAL SOIL	RS
*		

Σχήμα 4.2.3.4 Ο Πίνακας-λεξικό WEATHER.

4.2.3.5 Ο Δευτερεύων Πίνακας SPACING και η ομώνυμη Φόρμα

Το Πεδίο SPAC_JOINTS του Πίνακα LITHOLOGY αφορά την απόσταση που έχουν οι ασυνέχειες μεταξύ τους στη βραχομάζα (Distance between joints). Αποτελεί τη Φόρμα Εισαγωγής σε ένα σύνθετο πλαίσιο στο οποίο ο χρήστης εισάγει δεδομένα σύμφωνα με το πεδίο SPAC_JOINTS του Πίνακα-λεξικού SPACING. Τα δεδομένα είναι αλφαριθμητικά και σύμφωνα με την ταξινόμηση που προτείνει η ISRM (Ενοτ. 4.2.2.9). Μπορεί να αποθηκευθεί και συνδυασμός δύο ή περισσότερων κατηγοριών. Ο Πίνακας έχει τα εξής Πεδία (Σχ. 4.2.3.5): χαρακτηρισμό της Απόστασης (SPACING) μεταξύ των ασυνεχειών, και βαθμονόμησης για το ομώνυμο Πεδίο SPAC_JOINTS του Πίνακα LITHOLOGY.

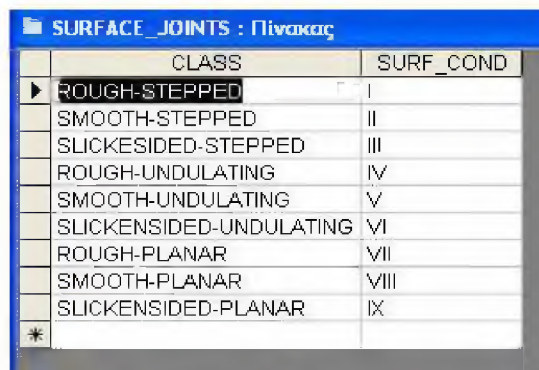


SPACING : Πίνακας	
SPACING	SPAC_JOINTS
<0,02m	I
0,02-0,06m	II
0,06-0,2m	III
0,2-0,6m	IV
0,6-2m	V
2-6m	VI
>6m	VII
*	

Σχήμα 4.2.3.5 Ο Πίνακας-λεξικό SPACING.

4.2.3.6 Ο Δευτερευών Πίνακας SURFACE_JOINTS και η ομώνυμη Φόρμα

Το Πεδίο SURF_COND του Πίνακα LITHOLOGY (Σχ. 4.2.2.4) χαρακτηρίζει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι επιφάνειες των ασυνεχειών (Surface conditions of joints), αν είναι λείες, τραχείες κ.λπ. Ο Πίνακας έχει Πεδία με αφηρητικά δεδομένα, σύμφωνα με την ταξινόμηση που προτείνει η ISRM (Ενοτ. 4.2.2.9). Τα Πεδία είναι (Σχ. 4.2.3.6): η Ταξινόμηση των επιφανειών των ασυνεχειών, ήτοι, κατάταξη των επιφανειών σε κατηγορίες (CLASS), και η βαθμονόμηση της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών για το ομώνυμο πεδίο SURF_COND του Πίνακα LITHOLOGY.



SURFACE_JOINTS : Πίνακας	
CLASS	SURF_COND
ROUGH-STEPPED	I
SMOOTH-STEPPED	II
SLICKESIDED-STEPPED	III
ROUGH-UNDULATING	IV
SMOOTH-UNDULATING	V
SLICKESIDED-UNDULATING	VI
ROUGH-PLANAR	VII
SMOOTH-PLANAR	VIII
SLICKESIDED-PLANAR	IX
*	

Σχήμα 4.2.3.6 Ο Πίνακας-λεξικό SURFACE_JOINTS.

4.2.3.7 Ο Δευτερευών Πίνακας FILLING_MATERIAL και η ομώνυμη Φόρμα

Το Πεδίο FIL_MAT του Πίνακα LITHOLOGY (Σχ. 4.2.2.4) παραπέμπει στον Πίνακα-λεξικό FILLING_MATERIAL ο οποίος αναφέρεται στο υλικό που υπάρχει ή δεν υπάρχει μέσα σε μια ασυνέχεια. Περιλαμβάνει αφηρητικά δεδομένα. Έχει τα εξής πεδία (Σχ. 4.2.3.7): την Ταξινόμηση του υλικού που υπάρχει μέσα στις ασυνέχειες (Type of material inside a joint), και την αντίστοιχη βαθμονόμηση για το ομώνυμο πεδίο FIL_MAT του LITHOLOGY.

Type of material inside a joint	Symbols for the filling material
Nothing	I
Clay	II
Chlorite	III
Quartz	IV
Calcite	V
*	

Σχήμα 4.2.3.7 Ο Πίνακας-λεξικό *FILLING_MATERIAL*.

4.2.3.8 Ο Δευτερευών Πίνακας *JRC* και η ομώνυμη Φόρμα

Το Πεδίο *JRC10* του Πίνακα *LITHOLOGY* (Σχ. 4.2.2.4) αφορά στον συντελεστή τραχύτητας που υπάρχει μέσα σε μια ασυνέχεια για δείγμα (δοκίμιο) 10 cm, όσο δηλαδή είναι και η τυπική διάμετρος των γεωτρήσεων. Περιέχει αλφαριθμητικούς χαρακτήρες. Οι τιμές του Πεδίου αυτού μπορούν να συμπληρωθούν με τη βοήθεια του σύνθετου πλαισίου που οδηγεί στα δεδομένα του Πίνακα-λεξικού *JRC*, τα οποία περιλαμβάνουν (Σχ. 4.2.3.8): την Ταξινόμηση της τραχύτητας που υπάρχει μέσα στις ασυνέχειες (*CLASS*), την αντιστοιχη βαθμονόμηση για το ομώνυμο πεδίο (*SURF_COND*) του Πίνακα *LITHOLOGY*, τον δείκτη τραχύτητας για δείγμα 20 cm (*JRC20*) και δείγμα 10 cm (*JRC10*).

CLASS	SURF_COND	JRC20	JRC10
ROUGH-STEPPED	I	20	30.5
SMOOTH-STEPPED	II	14	18
SUCKESIDED-STEPPED	III	11	13.2
ROUGH-UNDULATING	IV	14	18
SMOOTH-UNDULATING	V	11	13.2
SUCKENSIDED-UNDULATING	VI	7	7.8
ROUGH-PLANAR	VII	2.5	2.6
SMOOTH-PLANAR	VIII	1.5	1.5
SUCKENSIDED-PLANAR	IX	0.5	0.5
*			

Σχήμα 4.2.3.8 Ο Πίνακας-λεξικό *JRC*.

4.3 Λειτουργία

4.3.1 Δομικά στοιχεία της Λειτουργίας

Η HelGeoRDaS_uTH είναι, όπως προαναφέρθηκε, ένα **Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (rdbms)**. Ως εφαρμογή επί της εφαρμογής MS Access, υλοποιεί το standard της SQL². Η **SQL** είναι μια τυπική γλώσσα που χρησιμοποιείται στις Βάσεις Δεδομένων για δυο σκοπούς: (α) τον ορισμό Δεδομένων (DDL - Data Definition Language), και (β) την ανάκτηση και επεξεργασία Δεδομένων (DML - Data Manipulation Language).

Το σύστημα της Βάσης αυτής, έχει σχεδιασθεί να αποτελείται από **Πίνακες (Tables)**, Κύριους (Primary) και Δευτερεύοντες (Secondary). Στους **Κύριους Πίνακες** αποθηκεύονται τα δεδομένα μιας Θ.Ε. (Ενοτ. 4.1). Οι **Δευτερεύοντες Πίνακες** έχουν ρόλο λεξικού που, ο καθένας στο δικό του θεματικό περιεχόμενο, περιέχει προτεινόμενες επιλογές.

Κάθε Πίνακας, έχει **δύο διαστάσεις**. Δηλαδή, αποτελείται από γραμμές Εγγραφών (Records) και στήλες Πεδίων (Fields). Χαρακτηρίζεται από ένα διαφορετικό **θεματικό περιεχόμενο**. Δηλαδή, ένας Πίνακας περιέχει τα στοιχεία της δοκιμής SPT, άλλος τις υδρολογικές πληροφορίες, άλλος τις εργαστηριακές μετρήσεις, κ.ο.κ. Ο θεματικός αυτός αποκλειστικός χαρακτήρας κάθε Πίνακα εξυπηρετεί σημαντικά στην εξοικονόμηση χώρου. Όθεν, οι Πίνακες δεν έχουν κοινά μεταξύ τους Πεδία δεδομένων, πέραν των Πεδίων που έχουν ρόλο σχεσιακών κλειδίων (Ενοτ. 4.3.2).

Στο σύστημα σχεδιάστηκαν επίσης δυο ειδών **Φόρμες (Forms)**. Οι Φόρμες που αντιστοιχούν στους **Πίνακες** και οι Φόρμες **Διαλόγου** του χρήστη με τη Βάση.

Οι Φόρμες των Πινάκων είναι ομώνυμες των. Παρέχουν ένα φιλικό παράθυρο στον χρήστη, για να πληκτρολογεί ευκολότερα τα εισαγόμενα κάθε φορά δεδομένα. Ενώ, απεναντίας, οι Πίνακες διευκολύνουν περισσότερο την επικοινωνία στα λογισμικά.

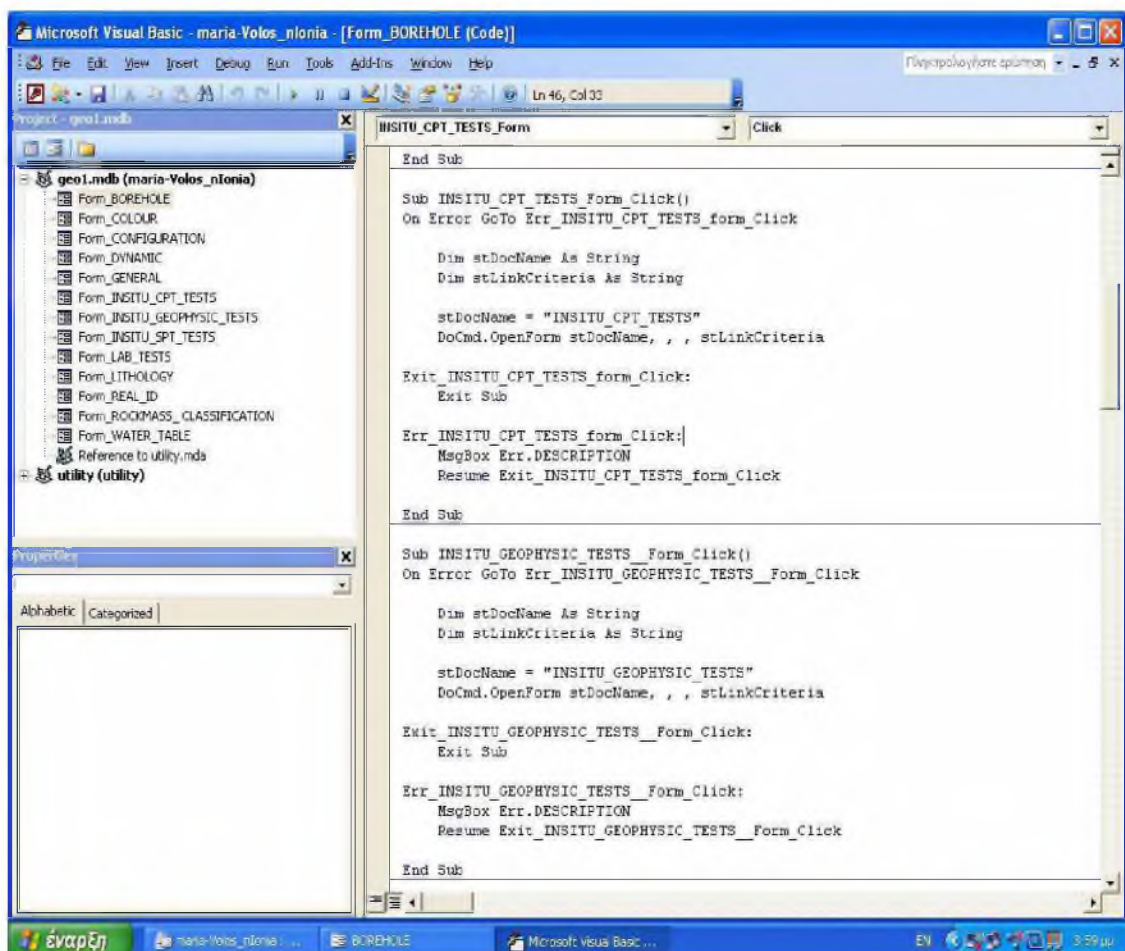
Οι Φόρμες διαλόγου εξυπηρετούν ως περιβάλλον πλοήγησης. Ανοίγουν με την εξής σειρά: εισαγωγική Φόρμα **GENERAL (ΓΕΝΙΚΗ_ΦΟΡΜΑ)**, Φόρμα **DYNAMIC (ΔΥΝΑΜΙΚΗ_ΦΟΡΜΑ)**, Φόρμα **CONFIGURATION (ΦΟΡΜΑ_ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ)**.

Η προσαρμογή ενός **κουμπιού εντολής (command button)** μέσα στο περιβάλλον της Βάσης γίνεται με πληκτρολόγηση κατάλληλου κώδικα στο ενσωματωμένο **VBA**, το οποίο προγραμματίζει την ενέργεια που θα εκτελεστεί μόλις πιεστεί το κουμπί (click). Η ενέργειες που ήδη προγραμματίστηκαν είναι συνήθως η αυτόματη εκτέλεση κάποιου ζεύγους Μακροεντολών. Η πρώτη Μακροεντολή συνήθως κάνει υποβολή του (υπάρχοντος) δομημένου Ερωτήματος και η άλλη κάνει μεταβίβαση (exports) των αποτελεσμάτων του Ερωτήματος (σε αρχείο συνήθως .xls) μέσα σε φάκελο που έχει υποδειχθεί (φάκελος Inputs). Από τον φάκελο αυτόν, τα τακτοποιημένα (σε θεματικά Πεδία Πινάκων) αυτά

² SQL : Δομημένη Γλώσσα Ερωτημάτων (Structured Query Language).

δεδομένα είναι αναγνώσιμα σε κάθε χρήστη (end-user) όπως και στο λογισμικό *GeoSeism* (ως εισαγόμενα input) για να τα χρησιμοποιήσει στη μεθοδολογία του.

Η όλη δομή της Βάσης αποφαινεται ιδιαίτερα χρήσιμη για την **αποθήκευση** νέων δεδομένων και για την **ανάκτηση** αποθηκευμένων δεδομένων. Η αποθήκευση γίνεται με πληκτρολόγηση και η ανάκτηση με Ερωτήματα SQL είτε με αντικείμενα με τα οποία είναι εφοδιασμένο το περιβάλλον για ευκολότερο προγραμματισμό. Στο σύστημα δομήθηκαν **Ερωτήματα**, δηλαδή προκαθορισμένα κριτήρια ανάκτησης αποθηκευμένων δεδομένων. Δομήθηκε επίσης κώδικας για **Μακροεντολές**, δηλαδή αυτόματες λειτουργίες ανάκτησης πληροφοριών και εξαγωγής αρχείων. Για τα Ερωτήματα και τις Μακροεντολές γίνεται αναλυτική παρουσίαση στη συνέχεια (Ενот. 4.3.4), αφού εξηγηθεί διεξοδικότερα η Σχισιακή δομή οργάνωσης της Βάσης (Ενот. 4.3.2) και η αποθήκευση των δεδομένων (Ενот. 4.3.3).



Σχήμα 4.3.2 Αποψη του Κώδικα VB που προγραμματίζει ένα κουμπι εντολής, στη Βάση (περιβάλλον MS Access).

4.3.2 Σχισιακή Οργάνωση και Γεωτεχνικοί Κωδικοί

4.3.2.1 Σχισιακή Οργάνωση και πλεονεκτήματα

Το σύστημα της Βάσης ως προς την οργάνωση χαρακτηρίζεται ως «**Σχισιακό**» («relational dbms»), επειδή υπάρχει η δυνατότητα να συσχετίζονται όλοι οι Πίνακες μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, οι Πίνακες έχουν μεταξύ τους ένα ή περισσότερα κοινά Πεδία τέτοια ώστε, κάθε εγγραφή του Πεδίου του ενός Πίνακα να συσχετίζεται με μια ή περισσότερες εγγραφές του κοινού Πεδίου στον άλλον Πίνακα. Το Πεδίο του πρώτου Πίνακα ρυθμίστηκε να είναι Πρωτεύον κλειδί (Primary key), ενώ του δεύτερου Πίνακα να είναι το Ξένο κλειδί, δηλαδή να αποθηκεύει το Πρωτεύον κλειδί του πρώτου (Foreign key). Μερικές αρχές με βάση τις οποίες οργανώθηκε σχισιακά η παρούσα Βάση, είναι:

1. Κάθε Πίνακας έχει ένα μονό Πεδίο σε ρόλο Πρωτεύοντος κλειδιού (single Primary key). Δεν σχεδιάστηκαν σύνθετα Πρωτεύοντα κλειδιά, τα οποία δηλαδή να αποτελούνται από Πεδία περισσότερα του ενός.
2. Το Πρωτεύον κλειδί έχει μοναδικές τιμές σε κάθε εγγραφή προσδιορίζοντας έτσι μοναδικά κάθε εγγραφή του Πίνακα. Επιπλέον, είναι το κοινό Πεδίο όλων των σχισιακά συνδεδεμένων Πινάκων. Με τον τρόπο αυτό, επιτρέπει τη σχισιακή αλληλοσύνδεση των Πινάκων για την εμφάνιση ολοκληρωμένης πληροφορίας (ενέργειες Join, Relate).
3. Η σχισιακή σύνδεση διαμορφώθηκε με τύπο «ένα-προς-πολλά» (one-to-many) και «ένα-προς-ένα» (one-to-one). Οι τύποι των συνδέσεων αυτών επιλέχθηκαν κατά περίπτωση (Σχ. 4.3.2.1).
4. Κάποιοι Πίνακες έχουν περισσότερα του ενός Ξένα κλειδιά. Αυτή η δομή εξυπηρετεί στους σκοπούς των Γεωτεχνικών Κωδικών, που εξηγούνται στη συνέχεια (Ενот. 4.3.2.2).

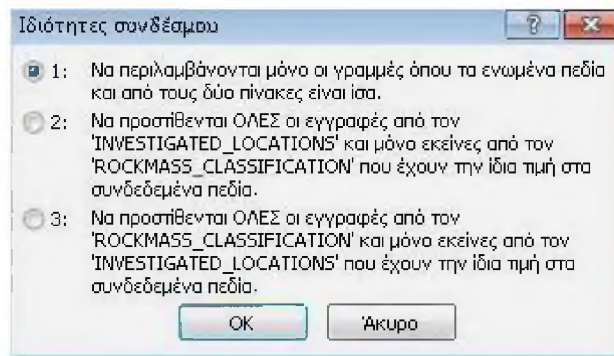
Συνοπτικά, η Σχισιακή σύνδεση των Κύριων Πινάκων μεταξύ τους, στο σύστημα της Βάσης, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3.2.2. Περιλαμβάνει:

(α) Τα Πρωτεύοντα κλειδιά (*INVESTIGATED_LOCATION_ID*, *NETWORK_ELEMENTS_ID*) τα οποία δηλώνουν την ταυτότητα κάθε Θ.Ε. (Ενот. 4.1.3). Είναι τα κοινά Πεδία των υπολοίπων Πινάκων. Το πρώτο εμφανίζει μοναδική τιμή στον επιτελικό Πίνακα *INVESTIGATED_LOCATIONS*, το δεύτερο στον Πίνακα *NETWORK_ELEMENTS*.

(β) Η σχισιακή Σύνδεση των Πινάκων των επιτόπου δοκιμών (*SPT*, *CPT*, *CH/DH*) και των εργαστηριακών δοκιμών (*LAB_TESTS*) με τον Πίνακα που περιέχει τη στρωματογραφία (*LITHOLOGY*). Το Πρωτεύον κλειδί του τελευταίου, είναι κοινό για τους υπόλοιπους. Η Σχέση είναι «ένα-προς-πολλά» επειδή ο τύπος αυτού του συνδέσμου εξυπηρετεί στις περιπτώσεις όπου μέσα σε ένα εδαφικό στρώμα έχουν γίνει πολλές (ή και καθόλου) δοκιμές. Το στρώμα ωστόσο διατηρεί τη μοναδική του τιμή.

(γ) Η σχεσιακή Σύνδεση μεταξύ των Πινάκων *LITHOLOGY* και *ROCKMASS_CLASSIFICATION*. Υπάρχει ένα κοινό Πεδίο, το οποίο είναι Πρωτεύον κλειδί για τον πρώτο Πίνακα, ενώ ο Τύπος του συνδέσμου εξυπηρετεί στις περιπτώσεις όπου ένα γεωλογικό στρώμα βαθμονομείται με κάποιο από τα συστήματα που υπάρχουν στον δεύτερο Πίνακα.

(δ) Η σχεσιακή Σύνδεση του Πίνακα που περιέχει τη στρωματογραφία (*LITHOLOGY*) με τους Δευτερεύοντες Πίνακες, οι οποίοι έχουν τον ρόλο λεξικού υποστήριξης (Ragueneil, 1973).

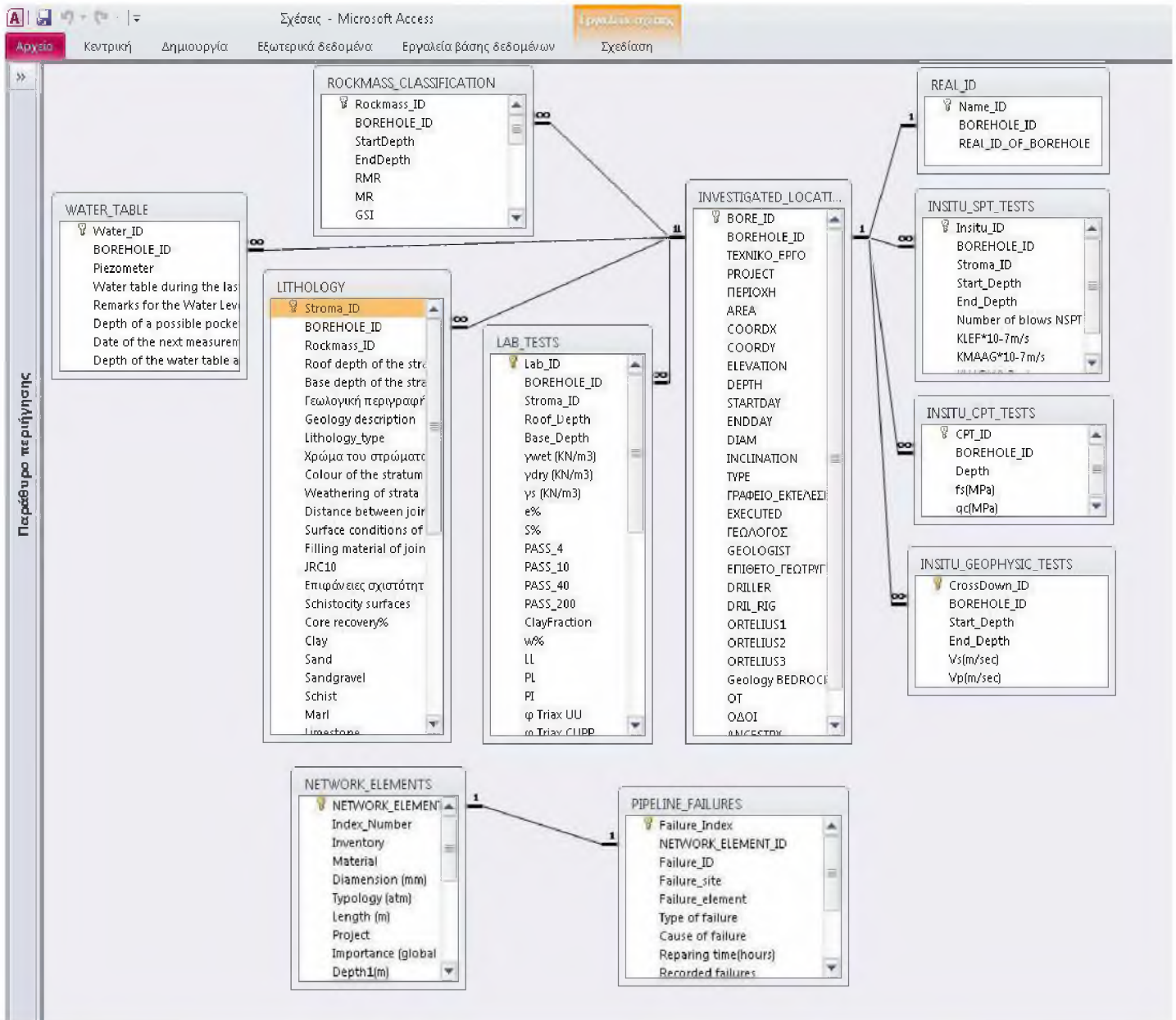


Σχήμα 4.3.2.1 Τύποι συνδέσμων στα Σχεσιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων.

Τα σχεσιακά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (rdbms) δίδουν επιπλέον πλεονεκτήματα, σε σχέση με την ψηφιακή αποθήκευση της πληροφορίας που γίνεται σε φύλλα εργασίας (spreadsheets) ή σε δομές ιεραρχικής ταξινόμησης. Ενδεικτικά αναφέρονται:

1. Επιτρέπουν πιο σύνθετες χρήσεις από τα απλά φύλλα εργασίας, καθώς περιέχουν πολλούς Πίνακες οι οποίοι και σχετίζονται μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα κοινά Πεδία.
2. Οι Πίνακες διαθέτουν ενσωματωμένα (build-in) πρόσθετα εργαλεία με δυνατότητες (ταξινόμησης, φίλτρων με απλά κριτήρια ανάκτησης πληροφοριών, κ.λπ.).
3. Παράλληλα, το σύστημα παρέχει και εξωτερικές ή και σύνθετες λειτουργίες (ανάκτηση πληροφοριών μέσω ερωτημάτων, δόμησης μακροεντολών, κ.λπ.).
4. Επιτρέπουν αποθήκευση χιλιάδων δεδομένων, ακόμη και για ένα μόνον στοιχείο.
5. Επιτρέπουν αποθήκευση είτε συνολικής πληροφορίας είτε τμηματικής πληροφορίας που ωστόσο δύναται να συμπληρωθεί στο μέλλον (με την προσθήκη νέων Πεδίων, την εισαγωγή νέων Πινάκων, είτε την τροποποίηση υπαρχόντων).
6. Επιτρέπουν ταυτόχρονη πρόσβαση στα δεδομένα (multiuser architecture) από πολλούς χρήστες ή και ταυτόχρονη χρήση των δεδομένων (multitasking architecture) από πολλές εφαρμογές.
7. Οργανώνουν τα δεδομένα σε Πληροφορία (Ενοτ. 5.2). Η Πληροφορία είναι εύκολα προσπελάσιμη και οι ταχύτητες ανάκτησης δεδομένων σημαντικές.

Σε κάθε περίπτωση, τόσο η εξέλιξη του συστήματος όσο και η παραπέρα διαχείριση και αξιοποίηση των πληροφοριών της Βάσης, είναι θέμα εμπειρίας και στόχων του κάθε χρήστη.



Σχήμα 4.3.2.2 Άποψη της Σχεσιακής σχέσης των Κύριων Πινάκων της Βάσης HelGeoRDaS_uTH.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4.3.2.2 Γεωτεχνικοί Κωδικοί και πλεονεκτήματα

Οι Γεωτεχνικοί Κωδικοί είναι αλφαριθμητικού τύπου κωδικοί που έχουν γεωτεχνική σημασία. Ο ρόλος τους, όπως η παρούσα διατριβή διαπιστώνει (Ενοτ. 8.3.3), είναι απαραίτητος μέσα στα **διαλειτουργικά ΓΣΠ που εξειδικεύονται** σε πληροφορία σχετική με τις εδαφικές συνθήκες, επειδή μπορούν να διαχέουν εδαφικά δεδομένα μέσω των τοπολογικών σχέσεων καθώς και να οδηγήσουν στη γεωτεχνική χαρτογράφηση των εδαφικών σχηματισμών σε επίπεδο Μικροζωνικής Μελέτης (Ενοτ. 2.3.1). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι βέβαια να ακολουθεί χαρτογράφηση με χωρική ανάλυση, εφαρμόζοντας κάποια από τις αναλυτικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής (Σχ. 2.3.1.5). Οι Γεωτεχνικοί Κωδικοί προτείνονται για τα εξής **πλεονεκτήματα**:

1. Παρέχουν τη μοναδική γεωτεχνική ταυτότητα μιας εδαφικής στρώσης.
2. Είναι Πρωτεύοντα κλειδιά στους Πίνακες της στρωματογραφίας (*LITHOLOGY* και *ROCKMASS_CLASSIFICATION*), ενώ είναι Ξένα κλειδιά σε όλους τους άλλους διασυνδεδεμένους Πίνακες.
3. Μπορούν να χρησιμοποιούνται από το *GeoSeism* αλλά και να σχεδιάζονται στις ψηφιακές χαρτογραφήσεις ως οντότητες με τις δικές τους ιδιότητες και χαρακτηριστικά (λ.χ. η σύσταση ή το δυναμικό ρευστοποίησης μιας εδαφικής στρώσης), σε σχέση με τις άλλες οντότητες. Με το χαρακτηριστικό αυτό συμβάλλουν στην ευκολότερη διανίχνευση του 3D εδαφικού μοντέλου μια περιοχής, και μάλιστα αυτομάτως από τα ΓΣΠ.
4. Κάθε τέτοια οντότητα έχει χωρικές ιδιότητες. Δηλαδή, απεικονίζεται με ένα γεωμετρικό αντικείμενο το οποίο συνδέεται με μια βάση με όλα τα περιγραφικά δεδομένα που το αφορούν.

Η σημασία των Γεωτεχνικών Κωδικών σε ένα διαλειτουργικό ΓΣΠ, κατά πρώτον είναι ότι το εξειδικεύουν σε «ΓΣΠ για τις εδαφικές συνθήκες». Κατά δεύτερον, συμβάλλουν στη **σχεσιακή οργάνωση** μιας βάσης (Ενοτ. 4.3.1), στη **σημασιολογική διαλειτουργία** με στόχο τη διάχυση δεδομένων (Ενοτ. 5.2.5) και στον ορισμό **τοπολογικών σχέσεων** των εδαφικών οντοτήτων (Ενοτ. 2.3.1). Όπως επιβεβαιώθηκε από την εμπειρία της εφαρμογής του *GeoSeism* σε ελληνική πόλη (Κεφ. 7), για ρόλο Πρωτεύοντος κλειδιού δεν επαρκούν τα Πεδία των γεωγραφικών συντεταγμένων της Θέσης Έρευνας ούτε τα κοινά με άλλους Πίνακες Πεδία. Χρειάζονται επιπλέον και τα καθορισμένα Πεδία Γεωτεχνικών Κωδικών σε συγκεκριμένους Πίνακες. Έχουν πολλαπλή σημασία η οποία διαπιστώνεται πρακτικά. Επιτυγχάνουν πλήρη σχεσιακή ανάπτυξη και μάλιστα με τη μεγαλύτερη δυνατή οικονομία χώρου στον υπολογιστή (λ.χ., δυνατότητα αυτόματης ανάκτησης όλων των διαθέσιμων καταχωρήσεων που έχουν τα χαρακτηριστικά της οντότητας, ευκολότερη προσέγγιση του γεωτεχνικού χάρτη μιας περιοχής, κ.λπ.).

4.3.3 Τύποι Δεδομένων και αποθήκευση Δεδομένων

Τα περισσότερα Πεδία Δεδομένων καταχωρούνται στην Ελληνική γλώσσα και συχνά το αμέσως επόμενο πεδίο περιέχει την ίδια περιγραφή στην Αγγλική γλώσσα.

Η εισαγωγή των Δεδομένων γίνεται με δυο (2) διαφορετικούς τύπους χαρακτήρων:

- ⊗ **Αλφαριθμητικοί χαρακτήρες:** Περιλαμβάνουν συνήθως κωδικούς ταυτότητας είτε περιγραφικά στοιχεία του γεωτεχνικού έργου (λ.χ., προέλευση δεδομένων, ονόματα, οδοί, στοιχεία δειγματοληψιών, χρονολογήσεις, γεωλογικές ή λιθολογικές περιγραφές των στρωμάτων), είτε ημερομηνίες σε τυποποιημένες μορφές.
- ⊗ **Αριθμητικοί χαρακτήρες:** Περιλαμβάνουν αριθμητικές χωρικές πληροφορίες (λ.χ., γεωγραφικές συντεταγμένες, βάθος ερευνητικής θέσης, βάθη εδαφικών στρώσεων), είτε τιμές διάφορων παραμέτρων (λ.χ., τιμές εργαστηριακών δοκιμών, αριθμός κρούσεων *N* της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης *SPT*, πίεση κώνου αιχμής και πλευρική τριβή της δοκιμής *CPT*).

Η αποθήκευση των Δεδομένων γίνεται με απλή καταχώρησή τους (με πληκτρολόγηση) στα κατάλληλα Πεδία των Κύριων Πινάκων. Η καταχώρηση έρχεται αντιμέτωπη με δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπισθούν άλλοτε κατά κρίση κι άλλοτε συστηματικά, σύμφωνα και με τις εμπειρίες που αποκομίσθηκαν από την παρούσα έρευνα (Ενοτ. 7.1.2.1).

Σε κάθε περίπτωση, η καταχώρηση ξεκινά απαραίτητως από τον Πίνακα *INVESTIGATED_LOCATIONS*, ο οποίος έχει **εποπτικό** χαρακτήρα επειδή μέσω αυτού γίνεται η πλοήγηση στους υπόλοιπους, όπως προαναφέρθηκε.

4.3.4 Ανάκτηση Δεδομένων και Μακροεντολές

Η ανάκτηση των Δεδομένων είναι δυνατόν να γίνεται είτε **άμεσα**, με απευθείας άνοιγμα κάποιας Φόρμας μέσω των Φίλτρων (*Filters*) και αναζήτηση συγκεκριμένης εγγραφής, είτε θέτοντας κάποια **Ερωτήματα** προς τη Βάση που ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Τα **Φίλτρα** (*Filters*) είναι απλά Ερωτήματα που έχουν προκαθορισμένα κριτήρια ανάκτησης αποθηκευμένων δεδομένων και είναι ήδη εφοδιασμένα στο περιβάλλον της *Access* (Σχ. 7.1.2.2.2). Ανακτούν απλές μεμονωμένες πληροφορίες με κριτήριο κάποιο χαρακτηριστικό ταξινόμησης, λ.χ. τις τιμές ενός Πεδίου που είναι «μεγαλύτερες από», «μικρότερες από», «μεταξύ δυο τιμών», «σε αύξουσα σειρά», και όμοια.

Τα **Ερωτήματα** (*Queries*), σχεδιάζονται κάθε φορά από τον χρήστη με τη βοήθεια του κώδικα είτε των σχετικών αντικειμένων που διαθέτει το περιβάλλον της *Access*. Υπάρχουν αρκετά ήδη δομημένα και διαθέσιμα για χρήση στη Βάση. Τα Ερωτήματα δεν έχουν απαραίτητως προκαθορισμένα κριτήρια. Ούτε αποθηκεύουν δεδομένα. Διακρίνονται σε δυο είδη: τα Ερωτήματα **Επιλογής**, και τα Ερωτήματα **Συσχέτισης**. Τα πρώτα ανακτούν από τη

Βάση τα ήδη αποθηκευμένα δεδομένα τα οποία έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (αναλόγως τι ψάχνει κάθε φορά ο χρήστης). Τα δεύτερα ανακτούν δεδομένα με κριτήριο τη σχέση τους ως προς κάποια άλλα, δηλαδή τη μεταβολή μιας πληροφορίας σε σχέση με κάποια άλλη. Η ποιοτική διαφορά των δυο ειδών γίνεται κατανοητή με τις συγκεκριμένες εφαρμογές που ακολουθούν (Ενοτ. 4.3.5).

Τα **πλεονεκτήματα** που προσφέρουν τα Ερωτήματα στη Βάση, όπως επιβεβαιώνεται κι από την παρούσα έρευνα (Ενοτ. 7.1.2.2), είναι:

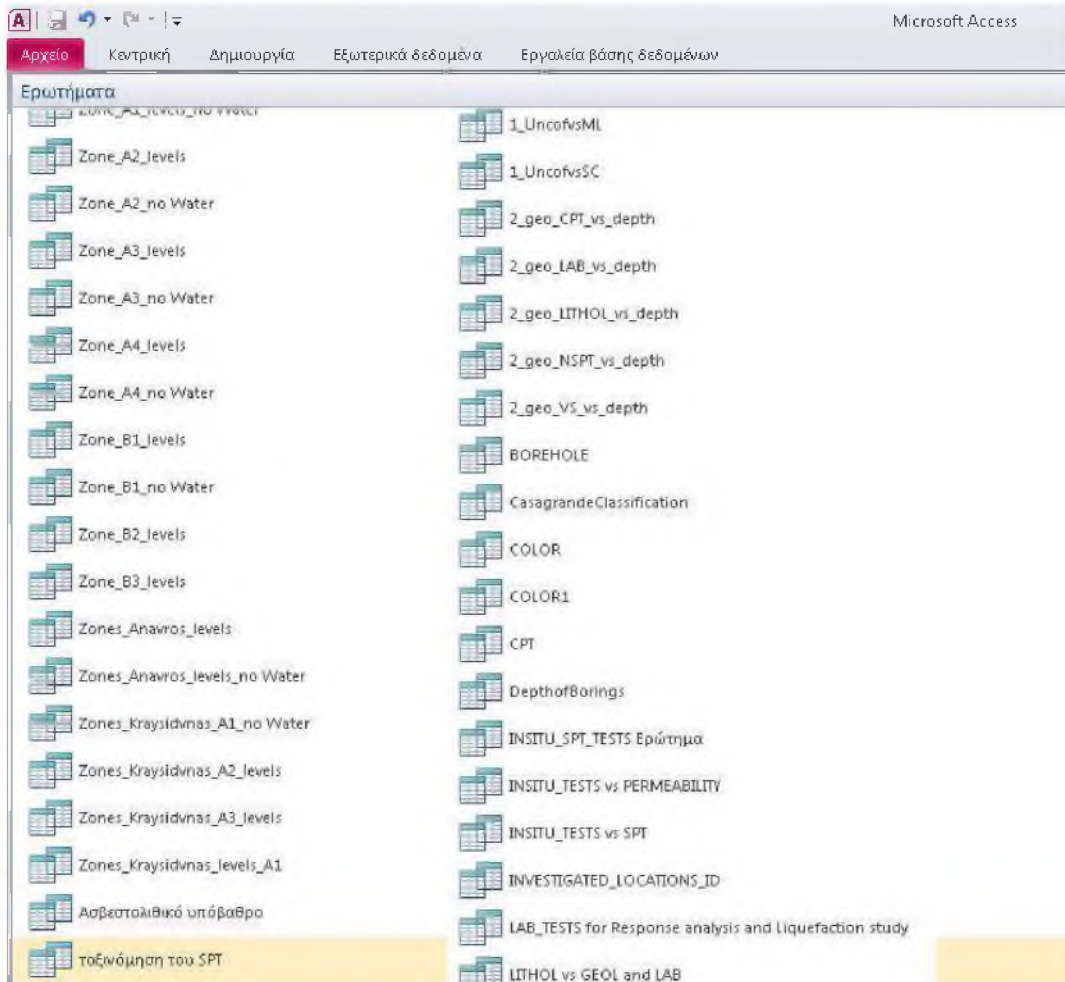
- Ⓞ Παραδίδουν το **πινακοποιημένο** αποτέλεσμα τους αυτόματα σε μορφή αρχείου.
- Ⓞ Με παράλληλη χρήση άλλων πακέτων λογισμικού διαχείρισης δεδομένων (τύπου *MS Office* κ.λπ.), τα αποτελέσματα των Ερωτημάτων μπορούν να προβάλλονται άμεσα σε γραφήματα. Δίνουν επομένως στη Βάση δυνατότητα πιο **εποπτικής εικόνας** των αποθηκευμένων δεδομένων.
- Ⓞ Τα αποτελέσματα των Ερωτημάτων είναι **χωρική Πληροφορία**, καθότι περιέχει περιγραφικά και γεωγραφικά χωρικά δεδομένα. Εξάγεται, σε πινακοποιημένα αρχεία *.dbf* (ή εκδόσεις *.xls* και *ASCII* που μετατρέπονται σε *.dbf*). Με παράλληλη χρήση ειδικών πακέτων λογισμικού (τύπου *ArcGIS* και συναφών), είναι δυνατόν να προβάλλεται σε χαρτογραφικά υπόβαθρα δίνοντας ακόμη πιο ρεαλιστική εικόνα των αποθηκευμένων δεδομένων στον γεωγραφικό χώρο.
- Ⓞ Μέσω της ενσωματωμένης στη Βάση *VBA (Visual Basic Application)*, ο χρήστης μπορεί να **παρακολουθεί τη σύνταξη** των Ερωτημάτων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων όταν αυτή γίνεται με βάση κριτήρια πιο σύνθετα από τα φίλτρα (δηλαδή τα απλά εργαλεία με τα οποία είναι εφοδιασμένοι πάντοτε οι Πίνακες).
- Ⓞ Τα κριτήριά τους πέραν της επιλογής κάνουν ταυτόχρονα και συσχέτιση των δεδομένων διαφορετικών Πινάκων μέσω των σχεσιακών συνδέσεων, και επομένως και μέσω των **γεωγραφικών συντεταγμένων** και των **γεωτεχνικών κωδικών**. Ως εκ τούτου, το αποτέλεσμα των Ερωτημάτων μπορεί να είναι σύνθετο, δηλαδή να περιλαμβάνει μια σύνθεση πεδίων προερχόμενων από διαφορετικούς Πίνακες της Βάσης. Το στοιχείο αυτό δίνει στα εξαγόμενα δεδομένα τον **χαρακτήρα ολοκληρωμένης Πληροφορίας** (Ενοτ. 5.2.5).

Οι **Μακροεντολές** είναι ένα εργαλείο της *MS Access* το οποίο αυτοματοποιεί σημαντικά τη διαδικασία ανάκτησης και εξαγωγής δεδομένων. Είναι κομμάτια κώδικα που καταρτίστηκαν για να τρέχουν προκαθορισμένες λειτουργίες. Για λόγους περισσότερης αυτοματοποίησης, οι λειτουργίες είναι συνήθως περισσότερες της μιας. Έτσι, στη Βάση προγραμματίστηκαν περί δυο πλειάδες Μακροεντολών, οι οποίες αφορούν:

- Ⓞ εμφάνιση της αρχικής Φόρμας κατά την εκκίνηση του προγράμματος,
- Ⓞ κλείσιμο κάθε Φόρμας κατά την έξοδο,
- Ⓞ αυτόματο τρέξιμο κάθε Ερωτήματος, με ταυτόχρονη μορφοποίηση αρχείου αποτελεσμάτων και εξαγωγή του αρχείου σε ειδικό φάκελο του υπολογιστή,
- Ⓞ άνοιγμα μιας Φόρμας μέσα από άλλη Φόρμα,

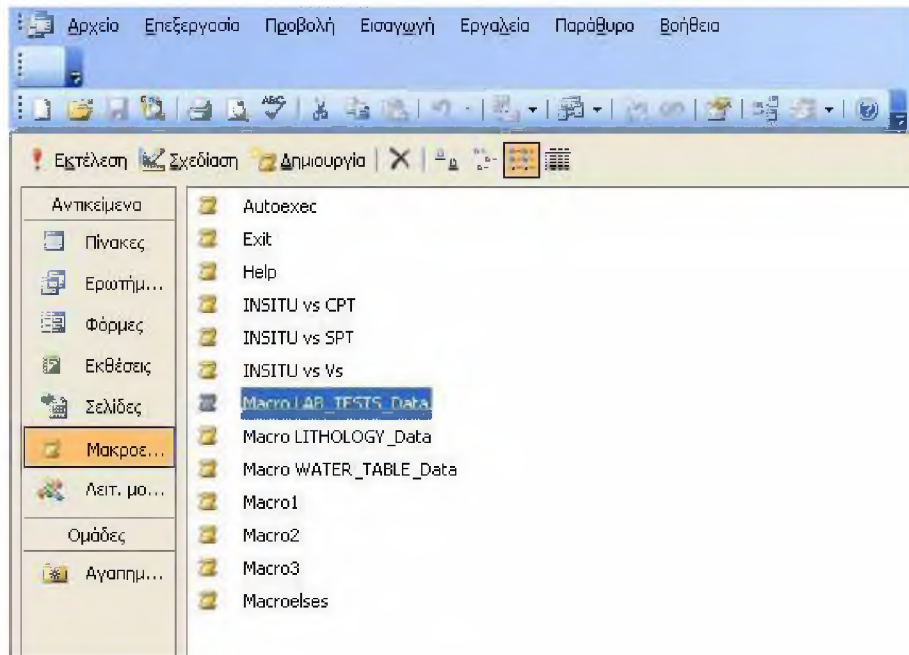
© όλες οι λειτουργίες που ενσωματώθηκαν σε κουμπιά εντολών, και όμοια.

Τα Ερωτήματα (Σχ. 4.3.4) και οι Μακροεντολές (Σχ. 4.3.5.α, 4.3.5.β) που έχουν ήδη δομηθεί στον σύστημα της Βάσης, παρουσιάζονται στα επόμενα.

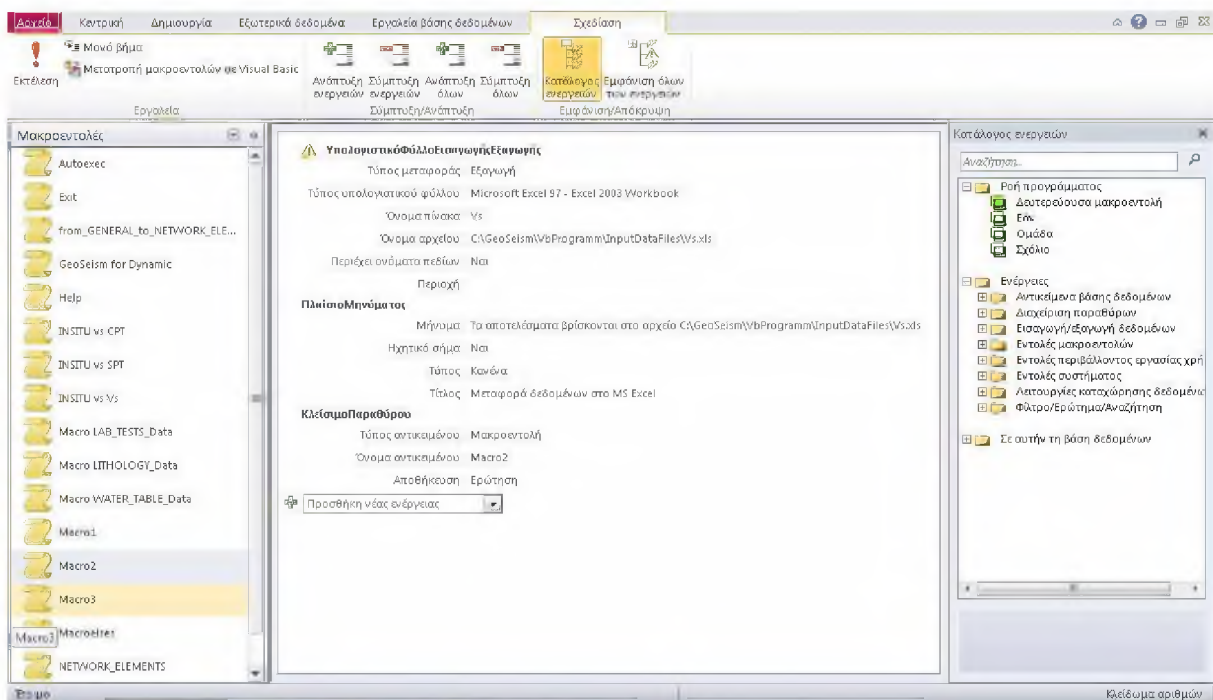


Σχήμα 4.3.4 Άποψη μερικών ήδη δομημένων ερωτημάτων της Βάσης (περιβάλλον MS Access).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(α)



(β)

Σχήμα 4.3.5 (α) Δομημένες Μακροεντολές που διαχειρίζονται Ερωτήματα.
(β) Η Μακροεντολή που ανακτά και διεκπεραιώνει αποτελέσματα για να χρησιμοποιηθούν ως εισαγόμενα αρχεία στο GeoSeism.

4.3.5 Προκατασκευασμένα Ερωτήματα για το *GeoSeism*

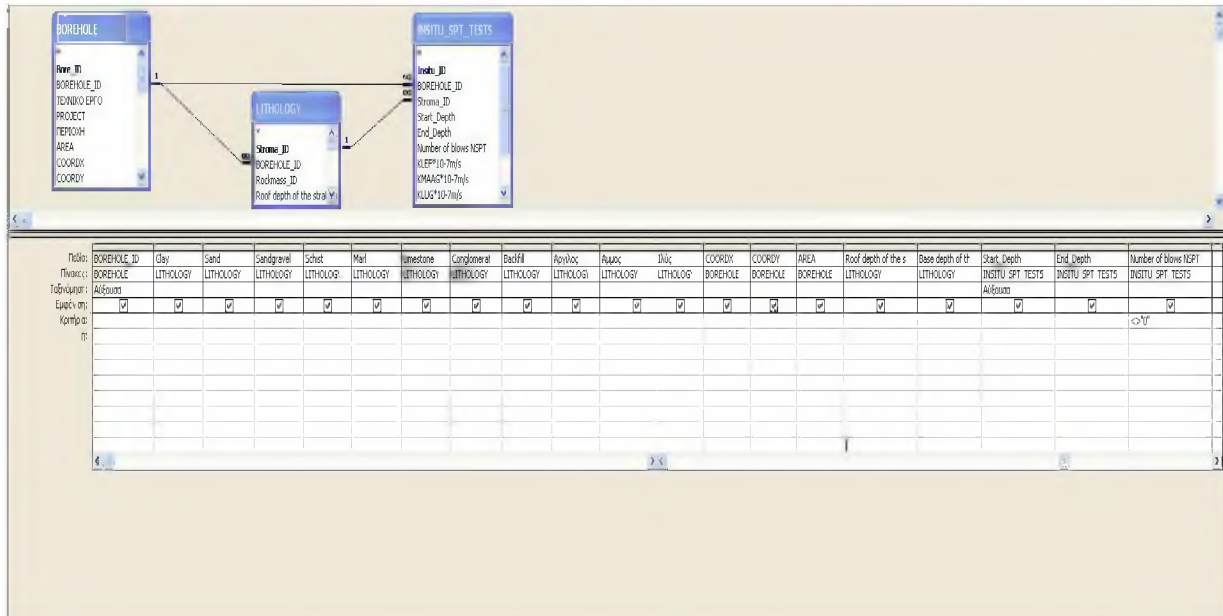
Στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH* έχουν ήδη δομηθεί τα Ερωτήματα που ενδιαφέρουν την **ανάλυση της εδαφικής απόκρισης** του *GeoSeism* (Κεφ. 5.1). Περιγράφονται τα έξι (6) πιο σημαντικά Ερωτήματα:

1. **Ερώτημα SPT** (Σχ. 4.3.5.1): Ο εξαγόμενος Πίνακας είναι συνδυασμός ενός υπο-Ερωτήματος επιλογής κι ενός συσχέτισης. Το πρώτο, ανακτά όλες τις εγγραφές του Πίνακα *SPT*, με κριτήρια: α) τις ζητούμενες Θέσεις Έρευνας, και β) την ταξινόμησή τους με αύξουσα σειρά. Το δεύτερο, επειδή οι εν λόγω εγγραφές αντιστοιχούν στα βάθη που έγινε η δοκιμή, εμφανίζει δίπλα σε καθεμιά τα αντίστοιχα Πεδία του Πίνακα *LITHOLOGY*, καθώς και τα Πεδία του κεντρικού Πίνακα *INVESTIGATED_LOCATIONS* (δηλαδή, τις γεωγραφικές συντεταγμένες, τα δεδομένα σχετικά με την επιφανειακή τοπογραφία, και γενικές πληροφορίες των Θέσεων).
2. **Ερώτημα CPT** (Σχ. 4.3.5.2): Το ίδιο ακριβώς με το προηγούμενο Ερώτημα, με τη διαφορά ότι (αντί για *SPT*) ανακτώνται εγγραφές του Πίνακα *CPT*.
3. **Ερώτημα Vs** (Σχ. 4.3.5.3): Το ίδιο ακριβώς με το πρώτο Ερώτημα, με τη διαφορά ότι (αντί για *SPT*) ανακτώνται εγγραφές του Πίνακα *CROSSHOLE-DOWNHOLE*. Το κριτήριο αναζήτησης Θέσεων με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες, συχνά προϋποθέτει μια ανοχή περί τα ένα ως τρία μέτρα.
4. **Ερώτημα LAB_TESTS**: Ο εξαγόμενος Πίνακας είναι συνδυασμός ενός υπο-Ερωτήματος επιλογής κι ενός συσχέτισης. Το πρώτο, ανακτά όλες τις εγγραφές του Πίνακα *LAB*, με κριτήρια: α) τις ζητούμενες Θέσεις Έρευνας, και β) την ταξινόμησή τους με αύξουσα σειρά. Το δεύτερο, εμφανίζει δίπλα σε καθεμιά τα αντίστοιχα Πεδία του Πίνακα *INVESTIGATED_LOCATIONS* - όπως και το πρώτο Ερώτημα.
5. **Ερώτημα LITHOLOGY**: Το ίδιο ακριβώς με το προηγούμενο Ερώτημα, με τη διαφορά ότι (αντί για *LAB*) ανακτώνται εγγραφές του Πίνακα *LITHOLOGY*.
6. **Ερώτημα WATER_TABLE** Το ίδιο ακριβώς με το προηγούμενο Ερώτημα, με τη διαφορά ότι (αντί για *LITHOLOGY*) ανακτώνται εγγραφές του Πίνακα *WATER_TABLE*.

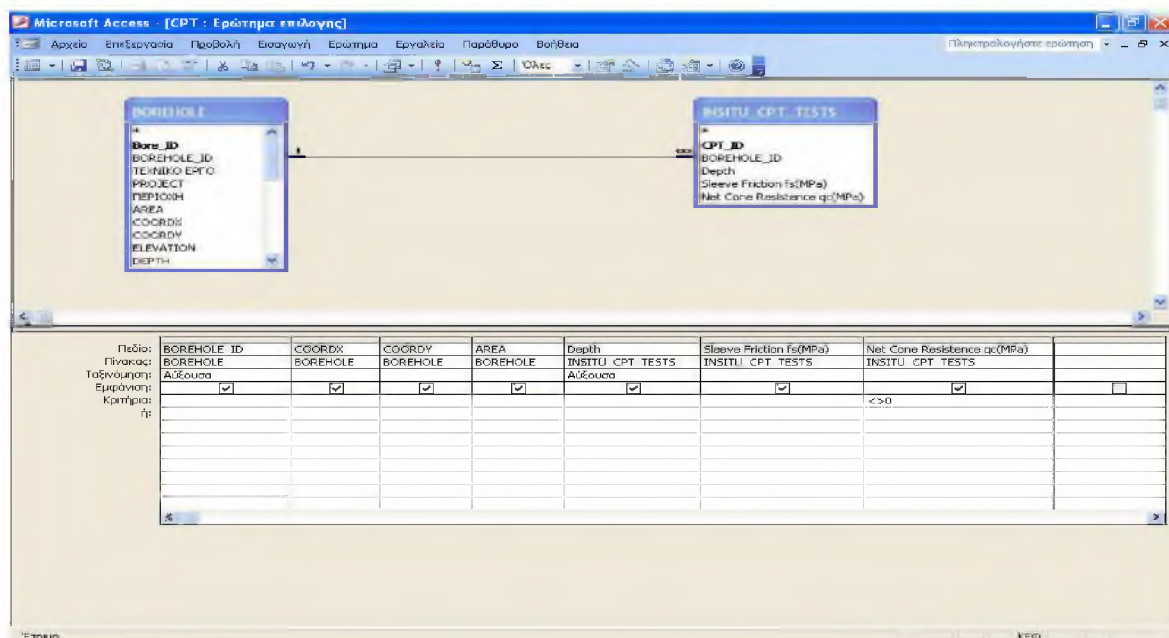
Τα τρία πρώτα Ερωτήματα χρησιμοποιούνται για την ισοδύναμα γραμμική ανάλυση (*Αρτεμης*), ενώ τα τρία επόμενα για την εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης (*Πολυνόη*). Όλα τα παραπάνω Ερωτήματα τρέχουν αυτόματα με το πάτημα των αντίστοιχων κουμπιών εντολών που προσαρμόσθηκαν πάνω στη Φόρμα *DYNAMIC*. Τα τρία πρώτα κουμπιά συνοδεύονται και από «ετικέτα» (label) περιγραφής του Ερωτήματος.

Τα κουμπιά ενεργοποιούν τις εξής Μακροεντολές (Σχ. 4.3.5.1, Σχ. 4.3.5.2, Σχ. 4.3.5.3): *Macro1*, *Macro2*, *Macro3*, *Macro LAB_TESTS_Data*, *Macro LITHOLOGY_Data*, *Macro*

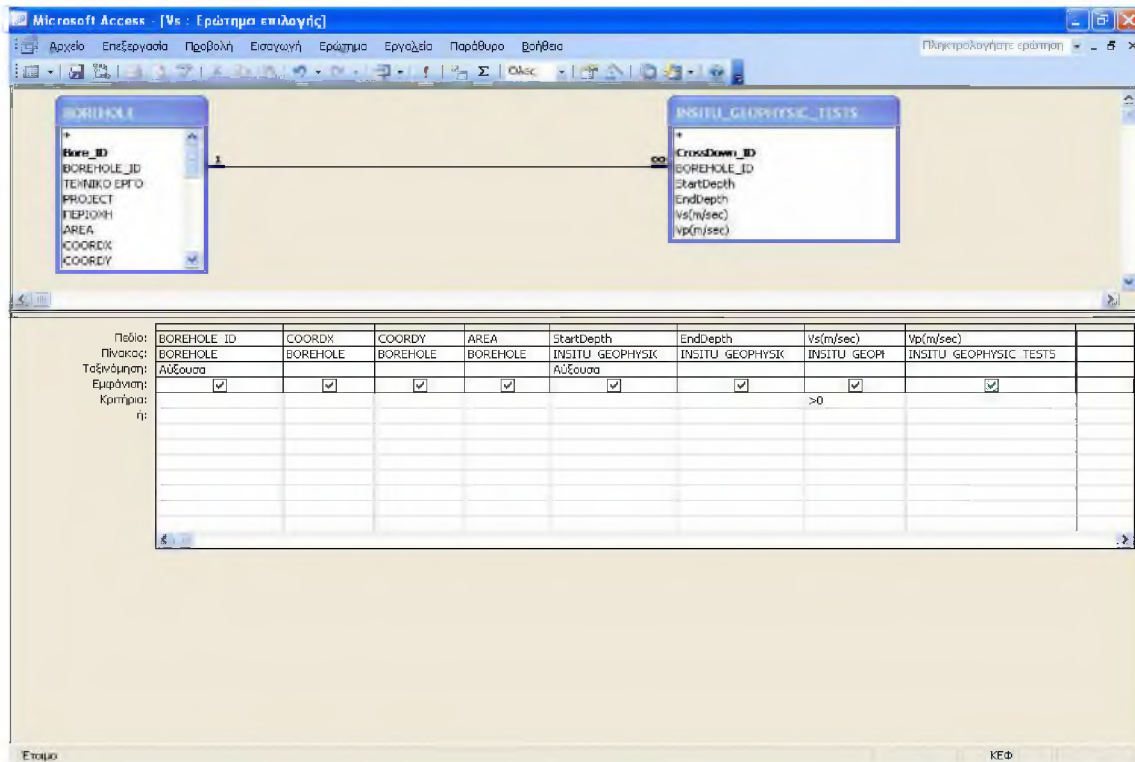
WAT_TABLE_Data, αντίστοιχα. Κάθε Μακροεντολή, αφού τρέξει αυτόματα τα Ερωτήματα, εξάγει τα αποτελέσματα σε αρχεία .xls, τα οποία και τοποθετεί σε ιδιαίτερο φάκελο «Inputs» για να χρησιμοποιηθούν από το GeoSeism.



Σχήμα 4.3.5.1 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος SPT.



Σχήμα 4.3.5.2 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος CPT.



Σχήμα 4.3.5.3 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος Vs.

Περισσότερα ερωτήματα, παρατίθενται ενδεικτικά στο σχετικό Παράρτημα ΙΙ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :

Περιγραφή Λογισμικού GeoSeism

5.0 Περιγραφή του λογισμικού GeoSeism

5.0.1 Δομή και Γενικές Αρχές

Το λογισμικό GeoSeism αναπτύχθηκε με γλώσσα *Visual Basic* σε προγραμματιστικό περιβάλλον VB6 (Perry, 1999), και σταδιακά μεταφράζεται σε γλώσσα C (Kernighan and Ritchie, 1988). Η βασική πλατφόρμα της εφαρμογής είναι τα *Microsoft Windows* και το υλικό που υποστηρίζουν. Έχει αρθρωτή δομή (Σχ. 1.2) που περιλαμβάνει (Ενοτ. 1.5):

- α) Την κεντρική μεθοδολογία του ΓΣΠ GeoSeism, η οποία τρέχει μέσα από την εφαρμογή *Αρτεμις* (Κεφ. 5.1). Η ίδια μεθοδολογία διαχειρίζεται και την κεντρική βάση *Καλλιπάτειρα* (Ενοτ. 5.02). Η βάση αυτή υπέχει ρόλο «υπερ-Βάσης» στο παρόν πρότυπο σύστημα διαλειτουργικού ΓΣΠ.
- β) Τα τέσσερα υπο-προγράμματα, τα οποία έχουν ρόλο διαλειτουργούντων εφαρμογών και τα οποία είναι: *Πυθία* (Κεφ. 5.2), *Πολυνόη* (Κεφ. 5.3), *Θεμιστόκλεια* (Κεφ. 5.4), *Πενθεσίλεια* (Κεφ. 5.5). Αλληλοσυνδέονται με μορφή κλάσεων (class modules) και διαδικασιών (procedures). Μπορούν να αποτελούν συλλογή είτε και να λειτουργήσουν ως αυτόνομες εφαρμογές. Το κοινό στοιχείο τους είναι ότι κάνουν ανταλλαγή δεδομένων από και προς την κεντρική βάση *Καλλιπάτειρα*.
- γ) Τις εφαρμογές οι οποίες έχουν επίσης ρόλο διαλειτουργούντων συστημάτων και οι οποίες είναι: το λογισμικό *ArcGIS*, το οποίο χρησιμοποιείται ως χαρτογραφικό περιβάλλον (Ενοτ. 5.03), η βάση *HelGeoRDaS_uTH*, η οποία έχει ρόλο ενός οποιουδήποτε εξωτερικού ΓΣΠ που τροφοδοτεί με νέα δεδομένα το σύστημα (Κεφ. 4), και ό,τι άλλο συνδεθεί σε επόμενες εκδόσεις (δηλαδή, ΓΣΠ, λογισμικά, βάσεις, *Map Objects*, κ.λπ.).

Η αρθρωτή επιλογή των συγκεκριμένων υπο-προγραμμάτων έγινε για λόγους:

1. **Αυτονομίας:** Τόσο η καρδιά όσο και καθεμιά από τις περιφερειακές εφαρμογές μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα για άλλους σκοπούς. Έτσι, είναι εφικτό να αναπαράγεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες είτε να επεκτείνεται χωρίς επιβάρυνση της κεντρικής υπολογιστικής ισχύος του GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

2. **Συμβατότητας:** Ο πηγαίος κώδικας, στην καρδιά της εφαρμογής, ως το στρατηγικό προγραμματιστικό περιβάλλον της *Microsoft*, είναι απόλυτα συμβατός με τα *MS Windows* και τις εφαρμογές που παράγουν.
3. **Διαλειτουργικότητας:** Οι αυτόνομες περιφερειακές εφαρμογές αλληλεπιδρούν (μόνον) μέσω της «υπερ-Βάσης» *Καλλιπάτειρας*. Η τελευταία, ως εφαρμογή *Microsoft*, είναι ευρέως γνωστή τεχνολογία τόσο για χρήση όσο και για περαιτέρω προγραμματισμό. Είναι συμβατή με πληθώρα λογισμικών. Επίσης, πληρεί τις προδιαγραφές μιας τεχνολογίας που αφενός αναβαθμίζεται και αφετέρου ενσωματώνει μηχανισμούς τεχνικής και συντακτικής διαλειτουργικότητας με τα όμοιας προδιαγραφής εξωτερικά συστήματα. Για την αντιμετώπιση των σημασιολογικών ετερογενειών συνδέθηκε στο σύστημα και δοκιμάστηκε για πρώτη φορά ο Σημασιολογικός Διερμηνέας *Πυθία*. Από άποψη διαλειτουργικότητας επομένως, το σύστημα επιβεβαιώνει ότι μπορούν να δημιουργούνται διαλειτουργικές μεθοδολογίες και σε εφαρμογές της Γεωτεχνικής Μηχανικής (Ενοτ. 2.2.4, 5.05). Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται είναι ικανές για διαλειτουργία μέσα σε ΓΣΠ.
4. **Εξειδίκευσης:** Τα διαλειτουργούντα λογισμικά στο παρόν σύστημα έχουν το καθένα έναν ειδικευμένο και συμπληρωματικό ρόλο (Ενότητες 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5). Εναρμονίζονται επομένως με επίκαιρες τάσεις των διαλειτουργικών ΓΣΠ (Ενοτ. 2.2.4, 2.2.5). Μερικές τέτοιες τάσεις είναι: η διαλειτουργικότητα και η ενοποίηση μεθοδολογιών, η ανάπτυξη μοντέλων σημασιολογικής διαλειτουργικότητας, ο περιορισμός του αριθμού των ΓΣΠ που κάνουν ίδιες λειτουργίες, η δυνατότητα παροχής απομακρυσμένων υπηρεσιών τύπου *cloud services*, κ.λπ.
5. **Υποστήριξης:** Με τα *Microsoft Windows* και το υλικό που υποστηρίζουν έχει εξασφαλιστεί η βασική πλατφόρμα από την οποία οι αναπτυσσόμενες εφαρμογές μπορούν να εκτελούνται, να ενημερώνονται και να αναβαθμίζονται.

5.0.2 Ο ρόλος της Καλλιπάτειρας στο GeoSeism

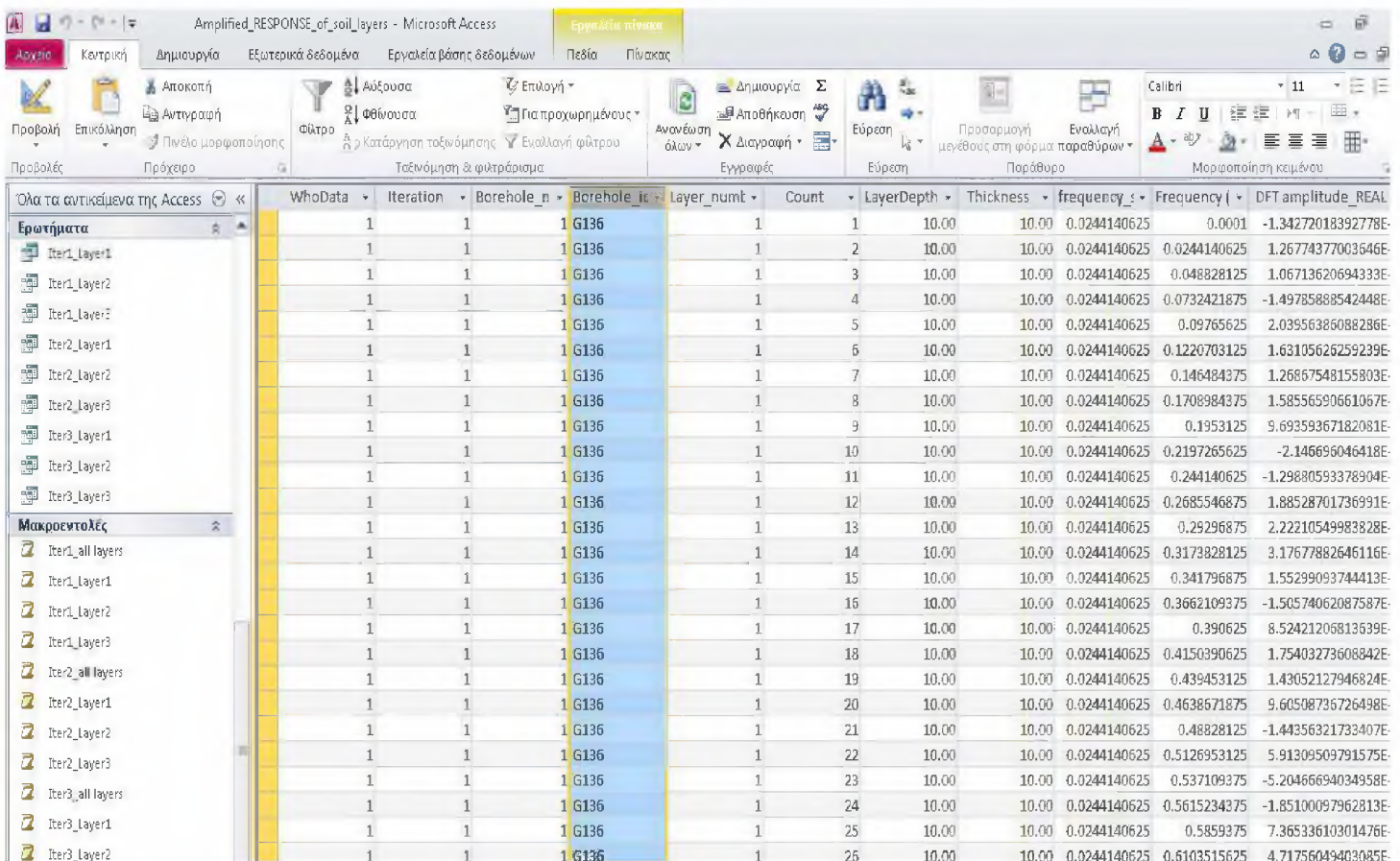
Η *Καλλιπάτειρα*, όπως προαναφέρθηκε (Ενοτ. 1.3, 1.5, 4.1), είναι ένα **πολυθεματικής εδαφικής πληροφορίας** (κύρια γεωτεχνικού-γεωλογικού ενδιαφέροντος) **σχεσιακό σύστημα βάσης διαχείρισης δεδομένων** (dbms) ανεπτυγμένο σε *app MS Access (v 2010)*.

Στο περιβάλλον εργασίας της (Σχ. 5.0.2) έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός από Πίνακες στους οποίους αποθηκεύονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα κατά τη λειτουργία του *GeoSeism*. Το σύστημα διαχειρίζεται αυτομάτως τους Πίνακες αυτούς, όπως και άλλα στοιχεία της *Καλλιπάτειρας*. Γι' αυτό δεν χρειάστηκαν προς το παρόν να διαμορφωθούν Φόρμες, οι οποίες γενικά προσφέρουν φιλικότερο περιβάλλον εργασίας σε μη εξειδικευμένους χρήστες. Αναπτύχθηκαν εντούτοις Ερωτήματα και Μακροεντολές για να βοηθούν κατά τον προαιρετικό έλεγχο των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων. Όλα τα αντικείμενα αυτά βασίζονται στις ίδιες αρχές που διέπουν και την ανάπτυξη της βάσης *HelGeoRDaS_uTH* (Κεφ. 4).

Η διαφορά μεταξύ της κεντρικής διαχειριστικής βάσης (Καλλιπάτειρα), και της εξωτερικής (HelGeoRDaS_uTH), έγκειται στα εξής:

Η Καλλιπάτειρα, εγκαταστάθηκε λειτουργικά στον πυρήνα του λογισμικού GeoSeism ώστε να αλληλεπιδρά αμφίδρομα με αυτό. Δηλαδή, να καταχωρούνται σε αυτήν όλα τα αρχικά δεδομένα, τα ενδιάμεσα αποτελέσματα, καθώς και τα τελικά αποτελέσματα από τις επιλύσεις του προγράμματος. Η καταχωρημένη πληροφορία μπορεί αυτόματα να ανανεώνεται σε κάθε επίλυση, αναλόγως των νέων δεδομένων που λαμβάνει από εξωτερικές σχεσιακές βάσεις τύπου HelGeoRDaS_uTH, καθώς και αυτόματα να ανταλλάσσει πληροφορία με τις υπόλοιπες δομικές μονάδες του GeoSeism.

Η HelGeoRDaS_uTH αποθηκεύει ή και ανταλλάσσει **μόνον πρωτογενή δεδομένα**, δεν κάνει αμφίδρομες λειτουργίες με το GeoSeism. Διασφαλίζει έτσι διαφορετικά επίπεδα συνεργασίας. Προς το παρόν έχει ρόλο αποκλειστικά «δότη». Δηλαδή, αποθηκεύει μόνιμο περιεχόμενο στο οποίο δεν επιτρέπει επεξεργασία δεδομένων από το σύστημα παρά μόνον με πρωτοβουλία του χρήστη.



WhoData	Iteration	Borehole_n	Borehole_id	Layer_num	Count	LayerDepth	Thickness	frequency_s	Frequency	DFT amplitude_REAL
1	1	1	G136	1	1	10.00	10.00	0.0244140625	0.0001	-1.34272018392778E-
1	1	1	G136	1	2	10.00	10.00	0.0244140625	0.0244140625	1.26774377003646E-
1	1	1	G136	1	3	10.00	10.00	0.0244140625	0.048828125	1.06713620694333E-
1	1	1	G136	1	4	10.00	10.00	0.0244140625	0.0732421875	-1.49785888542448E-
1	1	1	G136	1	5	10.00	10.00	0.0244140625	0.09765625	2.03956386088286E-
1	1	1	G136	1	6	10.00	10.00	0.0244140625	0.1220703125	1.63105626259239E-
1	1	1	G136	1	7	10.00	10.00	0.0244140625	0.146484375	1.26867548155803E-
1	1	1	G136	1	8	10.00	10.00	0.0244140625	0.1708984375	1.58556590661067E-
1	1	1	G136	1	9	10.00	10.00	0.0244140625	0.1953125	9.69359367182081E-
1	1	1	G136	1	10	10.00	10.00	0.0244140625	0.2197265625	-2.146696046418E-
1	1	1	G136	1	11	10.00	10.00	0.0244140625	0.244140625	-1.29880593378904E-
1	1	1	G136	1	12	10.00	10.00	0.0244140625	0.2685546875	1.88528701736991E-
1	1	1	G136	1	13	10.00	10.00	0.0244140625	0.29296875	2.22210549983828E-
1	1	1	G136	1	14	10.00	10.00	0.0244140625	0.3173828125	3.17677882646116E-
1	1	1	G136	1	15	10.00	10.00	0.0244140625	0.341796875	1.55299093744413E-
1	1	1	G136	1	16	10.00	10.00	0.0244140625	0.3662109375	-1.50574062087587E-
1	1	1	G136	1	17	10.00	10.00	0.0244140625	0.390625	8.52421206813639E-
1	1	1	G136	1	18	10.00	10.00	0.0244140625	0.4150390625	1.75403273608842E-
1	1	1	G136	1	19	10.00	10.00	0.0244140625	0.439453125	1.43052127946824E-
1	1	1	G136	1	20	10.00	10.00	0.0244140625	0.4638671875	9.60598736726498E-
1	1	1	G136	1	21	10.00	10.00	0.0244140625	0.48828125	-1.44356321733407E-
1	1	1	G136	1	22	10.00	10.00	0.0244140625	0.5126953125	5.91309509791575E-
1	1	1	G136	1	23	10.00	10.00	0.0244140625	0.537109375	-5.20466694034958E-
1	1	1	G136	1	24	10.00	10.00	0.0244140625	0.5615234375	-1.8510097962813E-
1	1	1	G136	1	25	10.00	10.00	0.0244140625	0.5859375	7.36533610301476E-
1	1	1	G136	1	26	10.00	10.00	0.0244140625	0.6103515625	4.71756049403085E-

Σχήμα 5.0.2 Περιβάλλον εργασίας της κεντρικής διαχειριστικής βάσης Καλλιπάτειρα του GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Πλεονεκτήματα του GeoSeism, ως αποτέλεσμα του ότι στη δομή του προγραμματίστηκε μια κεντρική διαχειριστική βάση (*Καλλιπάτειρα*), είναι:

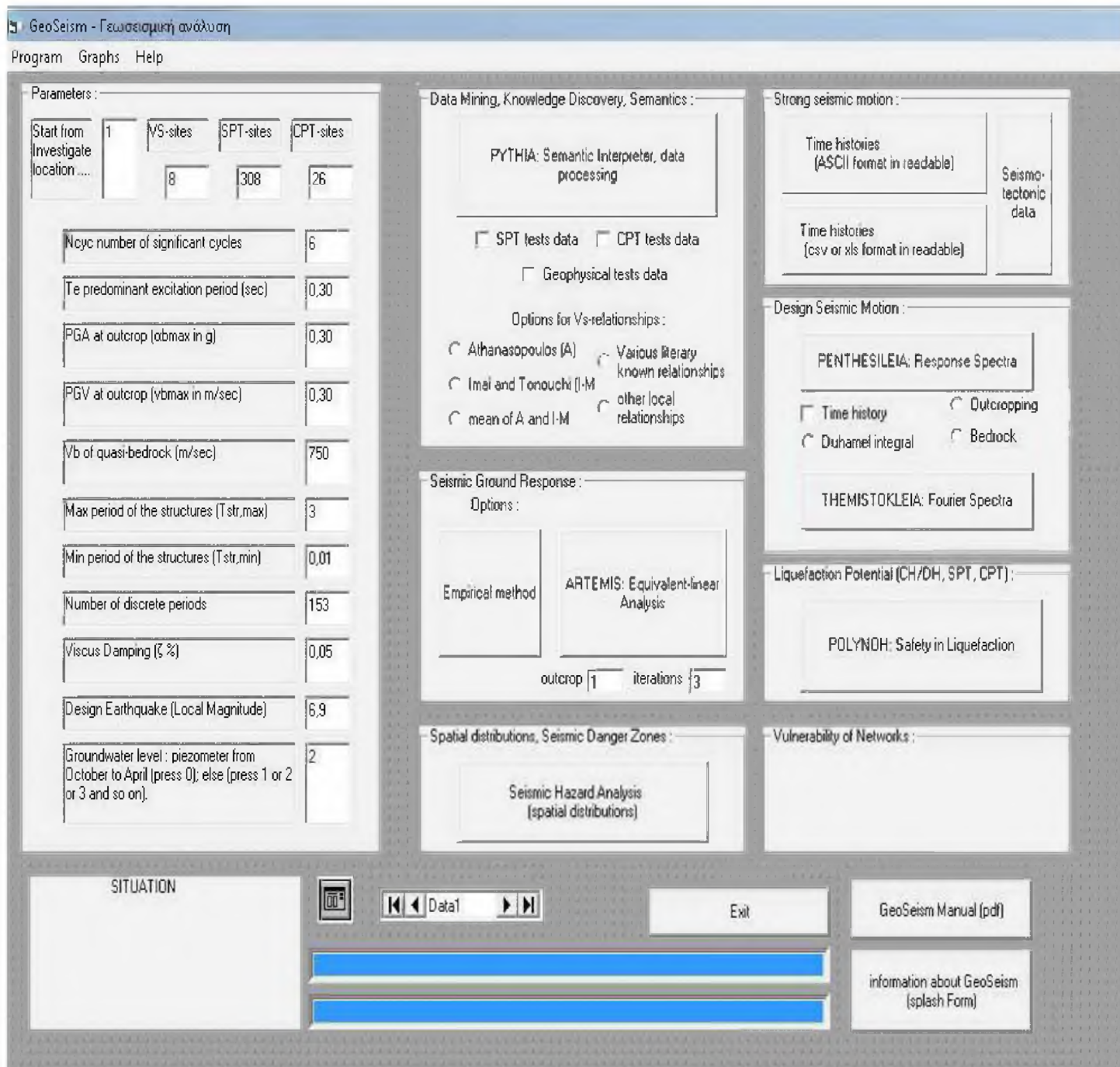
- ☉ Καθώς τα δεδομένα και τα αποτελέσματα καταγράφονται σε πινακοποιημένη μορφή, είναι αναγνώσιμα από μηχανές (λογισμικά) αλλά και από χρήστες.
- ☉ Ο χρήστης έχει δυνατότητα: να παρακολουθεί άμεσα τα ενδιάμεσα αποτελέσματα, να παρεμβαίνει χειροκίνητα τροποποιώντας μεμονωμένα δεδομένα είτε και ολόκληρα αρχεία και τις μορφές τους, να υποβάλει (και αυτοσχέδια) ερωτήματα επιλογής και συσχέτισης, να έχει περισσότερες επιλογές σύνδεσης και απεικόνισης αποτελεσμάτων σε λογισμικό χαρτογραφίας (τύπου *ArcGIS*), και όμοια.
- ☉ Πλεονεκτεί ειδικά σε σχέση με τους κώδικες που δεν καταρτίστηκαν πάνω σε δομή διαχείρισης βάσεων δεδομένων και τρέχουν μόνον με προσωρινή μνήμη. Αφενός διότι αποκτά κατά τις επιλύσεις μεγαλύτερη χωρητικότητα κι αφετέρου διότι μπορεί να διαχειρίζεται απευθείας εξωτερικές βάσεις δεδομένων.

Από τεχνολογικής άποψης, πέραν των σκοπών της καθαυτής μεθοδολογίας του, το *GeoSeism* προτείνει ένα πρότυπο διαλειτουργικού ΓΣΠ. Στο πρότυπο αυτό, η αυτόματη αλληλεπίδραση με την *Καλλιπάτειρα* και με όλες τις δομικές μονάδες κατευθύνεται από τον πηγαίο Κώδικα του *GeoSeism* κι όχι από κώδικα εντός της *Καλλιπάτειρας*. Η δομή αυτή επιλέγηκε από την αρχή του κώδικα, όταν υπήρχε η προοπτική να επεκτείνεται η μεθοδολογία και δεν ήταν επιθυμητό να υποχρεώνονται σε αλλαγές αναγκαστικά και οι υπόλοιπες μονάδες. Επιτρέπει τις αμφίδρομες λειτουργίες, και έχει τα γενικά πλεονεκτήματα των επαγγελματικών αυτοματισμών (π.χ. στη βιομηχανία τα programmable logic controllers). Επειδή η τεχνική διαλειτουργικότητα ξεκινά από το πρόβλημα της ετερογένειας σε επίπεδο τεχνολογικών περιβαλλόντων, προτύπων και σχημάτων δεδομένων, θα πρέπει να επιλέγονται ανάλογα πληροφοριακά συστήματα όταν πρόκειται να αναπτύσσονται συνεργασίες. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΓΣΠ του *GeoSeism* προϋποθέτει, οι βάσεις των οποίων ένας τουλάχιστον ρόλος είναι του «δότη» (όπως η βάση *HelGeoRDaS_uTH*) να είναι συμβατές με τα χαρακτηριστικά του.

5.0.3 Χαρτογραφικό περιβάλλον και Διεπαφή Προγραμματισμού και Διασύνδεσης

Ως **χαρτογραφικό (και σχεδιαστικό) περιβάλλον** στην παρούσα έκδοση του *GeoSeism*, χρησιμοποιείται μια δοκιμαστική έκδοση του λογισμικού εμπορίου *ArcGIS*, v 9.2 (ESRI 1996a και 1996b). Το συγκεκριμένο λογισμικό επιλέγηκε επειδή είναι πολύ παραγωγικό σε επεξεργασίες, έχει έτοιμα σημαντικά μαθηματικά εργαλεία χωρικής ανάλυσης και πολλές ενσωματωμένες δυνατότητες, καθώς και χαρτογραφικό περιβάλλον με επιλογές διαλειτουργίας με τα μεγάλα ΓΣΠ. Με αυτήν την εφαρμογή εκτελούνται οι εξειδικευμένες λειτουργίες διαχείρισης και επεξεργασίας του χαρτογραφικού υποβάθρου (Ενοτ. 2.3.1: πολυθεματικοί χάρτες, ψηφιοποιημένες αναλογικές εικόνες, διανυσματικής δομής αρχεία,

πίνακες περιγραφικών δεδομένων). Για λόγους πνευματικών δικαιωμάτων, δεν λειτουργεί προς το παρόν αυτόματα από το GeoSeism αλλά χειρωνακτικά. Ως σχεδιαστικό περιβάλλον μπορεί μελλοντικά να συνδεθεί το ίδιο ή οποιοδήποτε αντίστοιχο εμπορικό πακέτο ή κάποια ανοικτή τεχνολογία διαδικτύου που να επιτρέπει γεωγραφική απεικόνιση και επεξεργασία.



Σχήμα 5.0.3.1 Η Αρχική Φόρμα της Διελαφής Διασύνδεσης και Προγραμματισμού του GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ως γραφικό περιβάλλον διεπαφής στο *GeoSeism*, χρησιμοποιείται μια «Αρχική» Φόρμα σχεδιασμένη στο προγραμματιστικό περιβάλλον του πηγαίου κώδικα. Το ίδιο γραφικό περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιείται κι ως Διεπαφή Προγραμματισμού και Διασύνδεσης των περιφερειακών εφαρμογών (API - Application Programming Interface) που συνδέονται με τον πυρήνα του *GeoSeism* (βλ. κουμπιά εντολών στο Σχ. 5.0.3.1). Μέσω αυτής της πόλης είναι στο μέλλον δυνατόν να γίνονται αιτήσεις από άλλα προγράμματα και η ανταλλαγή δεδομένων.

Η **Αρχική Φόρμα** αποτελείται από (Σχ. 5.0.3.1) τα παρακάτω:

Μενού Επιλογών (θέση Α), όπου ο χρήστης επιλέγει (Σχ. 5.0.3.2): τα αρχεία εισαγωγής δεδομένων (input), την εμφάνιση των διαγραμμάτων στην οθόνη, την εμφάνιση του εγχειριδίου χρήσης, την εμφάνιση πληροφοριών για το πρόγραμμα.

Κουτιά Επιλογής Παραμέτρων (θέση Β), όπου οργανώθηκε η επικοινωνία με τον χρήστη όσον αφορά τις εξ ορισμού βασικές παραμέτρους υπολογισμών, όπως: η Μέγιστη και η Ελάχιστη Περίοδος κατασκευής, η ιξώδης απόσβεση για την εκτίμηση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, το Μέγεθος σεισμού Σχεδιασμού (Magnitude Local), κ.ά.

Γραμμή Εντολών (θέση Γ), όπου δηλώνονται: οι εφαρμογές που θα διαλειτουργήσουν μεταξύ τους (*Πυθία, Αρτεμις, Πενθεσίλεια, Πολυνόη, κ.ο.κ.*), οι διαδικασίες μετατροπής του μορφότυπου των δεδομένων, και όμοιες.

Γραμμή Εντολών (θέση Δ), η οποία εμφανίζεται κατά τη λειτουργία με πληροφορίες για τη διαδικασία που τρέχει κάθε στιγμή.

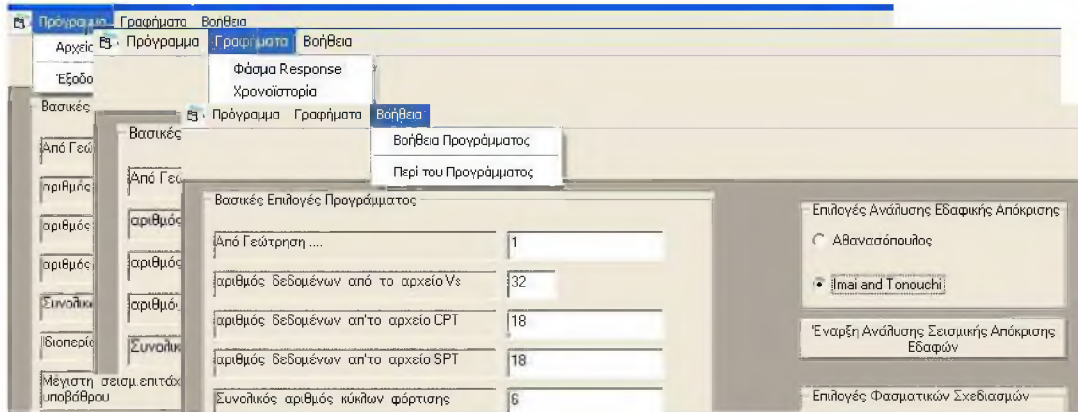
Διάφορα βοηθητικά μικροεργαλεία, όπως (θέση Ε): μπάρες προόδου (progress bars), παράθυρα μηνυμάτων, κ.λπ., τα οποία αναδύονται κατά τη λειτουργία του *GeoSeism*.

Από την πρώτη πτυσσόμενη λίστα του Μενού Επιλογών (Σχ. 5.0.3.2) επιλέγονται τα εισαγόμενα αρχεία. Ανοίγει η σχετική Φόρμα (Σχ. 5.0.3.3) όπου ο χρήστης δηλώνει τα αρχεία με τη βοήθεια φυλλομετρητή. Για την αριθμητική μεθοδολογία (*Αρτεμις*) προγραμματίστηκαν έξι (6) αρχεία με τα εδαφικά δεδομένα κι ένα (1) αρχείο με τα σεισμικά δεδομένα κάθε επίλυσης. Τα αρχεία δημιουργούνται και εισάγονται αυτοματοποιημένα, όταν ο χρήστης πατήσει τα αντίστοιχα κουμπιά εντολών από τη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*. Στο *GeoSeism* έχουν επίσης προγραμματιστεί κώδικες οι οποίοι ελέγχουν και εξασφαλίζουν τη συντακτική διαλειτουργικότητα των δεδομένων. Για παράδειγμα, μετατρέπονται αυτομάτως σε αριθμητικές οι εκ παραδρομής πληκτρολογηθείσες αλφαριθμητικές παράμετροι, μετατρέπονται σε δεκαδικές με χαρακτήρα τελείας οι δεκαδικές τιμές που πληκτρολογούνται εκ παραδρομής με υποδιαστολές σε χαρακτήρα κόμματος, κ.λπ.

Από τη δεύτερη πτυσσόμενη λίστα του Μενού Επιλογών (Σχ. 5.0.3.2), επιλέγονται οι αποθηκευμένες φόρμες των Φασμάτων και των Χρονοϊστοριών. Οι ίδιες Φόρμες επίσης,

αναδύονται και σταματούν για εξέταση προς τον χρήστη και κατά την πορεία της επίλυσης (Σχ. 5.0.3.4).

Από την τρίτη πτυσσόμενη λίστα του μενού της *ΑΡΧΙΚΗΣ* Φόρμας (Σχ. 5.0.3.2), είναι διαθέσιμο το εγχειρίδιο του λογισμικού (μορφής Acrobat Reader®) και μια φόρμα με πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή του.



Επιλογές Ανάλυσης Εδαφικής Απόκρισης

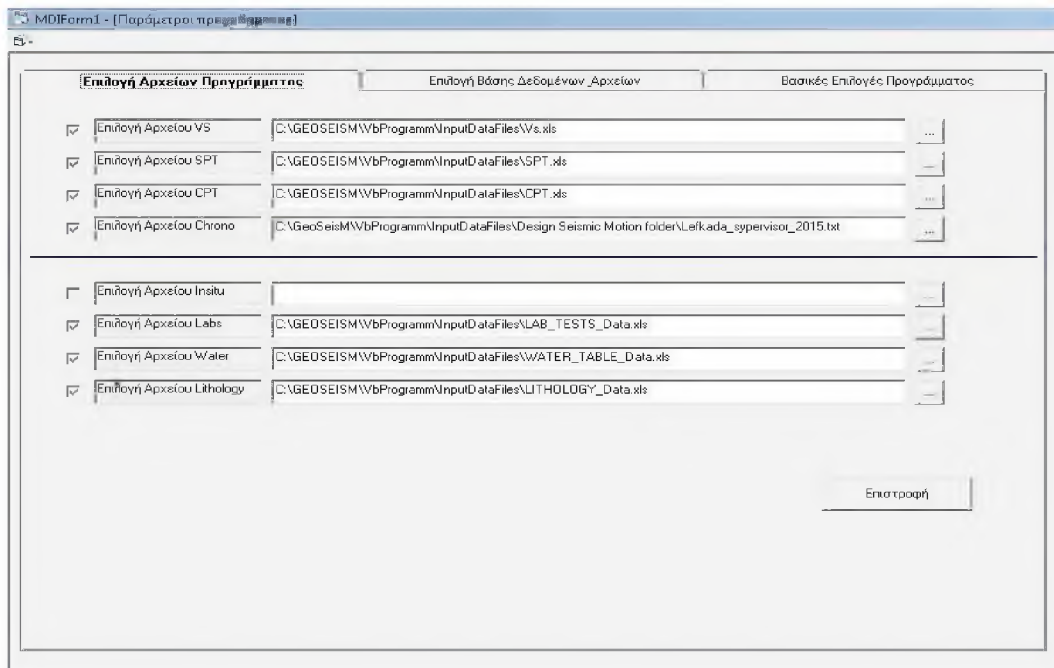
Αθανασόπουλος

Imai and Tonouchi

Έναρξη Ανάλυσης Σεισμικής Απόκρισης Εδαφών

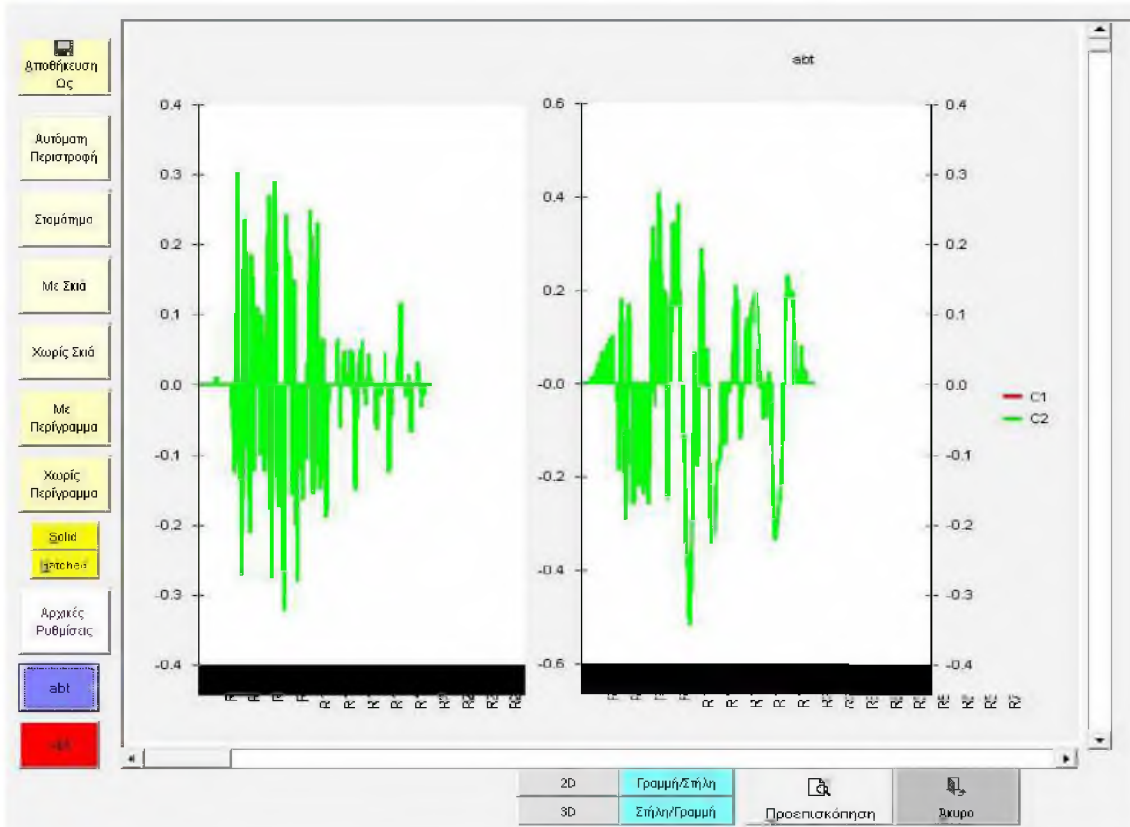
Επιλογές Φασματικών Σχεδιασμών

Σχήμα 5.0.3.2 Αναδιπλούμενα Μενού Επιλογών της *ΑΡΧΙΚΗΣ* Φόρμας.



Σχήμα 5.0.3.3 Φόρμα επιλογής Δεδομένων-Αποτελεσμάτων, με τη βοήθεια του φυλλομετρητή.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 5.0.3.4 Ενδεικτική Φόρμα Φασμάτων-Χρονοϊστοριών του GeoSeism.

```

General
MyQry = MyQry & " AND [Frequency (Hz)] = " & kcount *
MyQry = MyQry & " AND [Layer_number] = " & StrozeisPer
Set MyRec5 = MyDb.OpenRecordset(MyQry)
MyRec5.MoveLast
MyRec5.MoveFirst
If MyRec5.RecordCount > 0 Then
DoEvents
alpha(1, kcount * delf).Real = MyRec5.Fields("
alpha(1, kcount * delf).Image = MyRec5.Fields
Stop
If freq < 0.25 Then 'to prevent aliasing errors, SHOW HOW TO DO IT!!!!
alpha(1, kcount * delf).Real = 0#
alpha(1, kcount * delf).Image = 0#
End If
End If

*****ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΩΜΕΝΑ: *****
*****ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΩΜΕΝΑ: *****
For j = 1 To StrozeisPerDoreId(i)
MyQry = ""
MyQry = "select * from DynamicAmplification_Equivalent_Linear WHERE WhoData = 1 AND Iteration = " & Dokime
MyQry = MyQry & " AND LayerDepth = " & MyRec1.Fields("LayerDepth")
MyQry = MyQry & " AND Borehole_number = " & i
MyQry = MyQry & " AND [Frequency (Hz)] = " & freq
MyQry = MyQry & " AND [Layer_number] = " & j
Set MyRec5 = MyDb.OpenRecordset(MyQry)
MyRec5.MoveLast
MyRec5.MoveFirst
If MyRec5.RecordCount > 0 Then
Do Until MyRec5.EOF
DoEvents
csr(j) = MyRec5.Fields("csr_density")

```

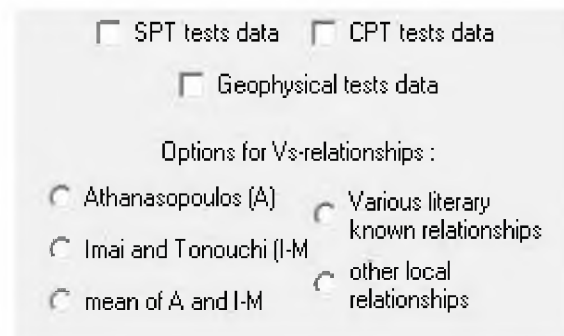
Σχήμα 5.0.3.5 Περιβάλλον εργασίας του κώδικα του GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Στην αρχική Φόρμα επίσης, ο χρήστης μπορεί να δηλώσει αν η καταγραφή της επιβαλλόμενης χρονοϊστορίας διέγερσης έγινε σε έξαρση βράχου είτε στη βάση των εδαφικών τομών, καθώς και να δηλώσει τον αριθμό επαναληπτικών δοκιμών (από 1 έως 8) για την ισοδύναμα γραμμική ανάλυση (βλ. Σχ. 5.0.3.1). Τέλος, υπάρχουν επιλογές (Σχ. 5.0.3.6) με τις οποίες ο χρήστης δηλώνει την μεθοδολογία με την οποία το GeoSeism θα υπολογίσει τις ταχύτητες διατμητικών κομάτων (V_s):

1. Βάσει εμπειρικών σχέσεων Αθανασόπουλου (1994).
2. Βάσει εμπειρικών σχέσεων Imai and Tonouchi (1982).
3. Βάσει αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας του Σηματολογικού Διερμηνέα (Ενοτ. 5.2.5) η οποία επιλέγει κατάλληλη εμπειρική σχέση με βάση τη λιθολογική περιγραφή και τη διατμητική αντοχή της εξεταζόμενης εδαφικής στρώσης.
4. Βάσει άλλων σχέσεων ή τιμών που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές σε έναν τόπο.

Σχήμα 5.0.3.6 Κουτιά επιλογής μεθοδολογίας με την οποία το GeoSeism θα υπολογίσει τις ταχύτητες διατμητικών κομάτων (V_s).



5.0.4 Λειτουργία του GeoSeism (περιεχόμενος Κώδικας και Διαδικασίες)

Το GeoSeism στην πραγματικότητα είναι μία συλλογή από τα υπο-προγράμματα που προαναφέρθηκαν (Ενοτ. 1.3, 1.5), τα οποία συνεργαζόμενα επιτελούν προσομοίωση των τοπικών εδαφικών συνθηκών, εκτίμηση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης και αναλύσεις της σεισμικής επικινδυνότητας σε μια περιοχή ενδιαφέροντος (επιπέδου MM).

Ο πηγαίος κώδικας αναπτύχθηκε στο IDE VB6(SP6). Το έργο που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει διαδικασίες (procedures) δομημένες σε μονάδες (modules). Κάποιες διαδικασίες εκτελούν συναρτήσεις (functions) από άλλες μονάδες και ενέργειες (events). Το έργο χρησιμοποιεί επίσης αντικείμενα (objects) με ιδιότητες (properties), καθώς και μερικές φόρμες ως γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI). Με τον τρόπο αυτό γίνεται πιο φιλικό για τον χρήστη αλλά και διασυνδέει εύκολα τις δομικές μονάδες του συστήματος. Στην ενδεικτική εικόνα του περιβάλλοντος εργασίας (Σχ. 5.0.3.5), μαζί με τον πηγαίο κώδικα του GeoSeism διακρίνονται και μερικές από τις Διαδικασίες (επιλογές της πάνω πτυσσόμενης λίστας), η εργαλειοθήκη (αριστερά) και ο εξερευνητής του συστήματος (δεξιά).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Οι Διαδικασίες που ξεκινούν πατώντας κουμπιά εντολών από την *ΑΡΧΙΚΗ* Φόρμα, είναι :

- (Α). Σημαιολογικός Διερμηνέας (*Πυθία*),
- (Β). Αριθμητική ανάλυση της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης (*Άρτεμις*),
- (Γ). Έλεγχος του Κινδύνου Ρευστοποίησης, από CH-DH, SPT, CPT (*Πολυνόη*),
- (Δ). Ανάλυση της ισχυρής εδαφικής κίνησης, υπολογισμός των Φασμάτων Fourier (DFT – IDFT), υπολογισμός των Φασμάτων Απόκρισης (*Θεμιστόκλεια, Πενθεσίλεια*),
- (Ε). Αποτελέσματα της σεισμικής επικινδυνότητας για τη Γεωβάση χαρτογράφησης (*ArcGIS*).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1 :

Μεθοδολογία Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης - Περιγραφή της Άρτεμις

5.1 Κώδικας ΑΡΤΕΜΙΣ

5.1.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο υπο-πρόγραμμα Άρτεμις του GeoSeism, ακολουθεί το μοντέλο, τις παραδοχές και τη μαθηματική περιγραφή της μεθόδου της Ισοδύναμης Γραμμικής Ανάλυσης που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3. Στην παρούσα ενότητα, διευκρινίζονται οι διαδικασίες της μεθοδολογίας. Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 5.

5.1.2 Βήματα της Μεθόδου

Η ισοδύναμα γραμμική ανάλυση πραγματοποιείται με μετάβαση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων. Τα βήματα που ακολουθεί το GeoSeism παρατίθενται αναλυτικά στον Πίνακα 5.1.2. Την ανάλυση εκτελεί το υπο-πρόγραμμα Άρτεμις, το οποίο ενδιάμεσα καλεί σε διαλειτουργία τα άλλα υπο-προγράμματα (την Πενθεσίλεια στα βήματα 1, 2 και 14, τη Θεμιστόκλεια στα βήματα 3 και 10, την Πυθία στα βήματα 4 και 5).

Πίνακας 5.1.2 Ροϊκό διάγραμμα της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης του GeoSeism (Άρτεμις).

ΒΗΜΑΤΑ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ
ΒΗΜΑ 1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ: Ορίζεται μια εισαγόμενη (στο πεδίο

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

	<p>μελέτης) οριζόντια εξωτερική διέγερση υπό μορφή χρονοϊστορίας επιτάχυνσης. Μπορεί να προέρχεται από καταγραφή (recording) πραγματικού σεισμού είτε να είναι μια τεχνητά κατασκευασμένη (artificial) χρονοϊστορία. Ορίζεται επίσης η θέση όπου επιβάλλεται αυτή η διέγερση, δηλαδή, στην έξαρση αναδύομένου βράχου είτε στη διεπιφάνεια του εδάφους με το θαμμένο υπόβαθρο.</p>
ΒΗΜΑ 2	<p>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ: Υπολογίζονται οι παράμετροι και τα φάσματα απόκρισης που αντιστοιχούν στην εισαγόμενη διέγερση. Οι παράμετροι περιλαμβάνουν: την αναγωγή της χρονοϊστορίας επιτάχυνσης σε χρονοϊστορίες ταχύτητας και μετακίνησης καθώς και τον υπολογισμό της κορυφιαίας τιμής και του αριθμού των σημαντικών κύκλων. Τα φάσματα περιλαμβάνουν: τα τρία ελαστικά φάσματα απόκρισης (επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετακίνησης) υποθέτοντας ενιαία απόσβεση κατασκευών (μέχρι) 5%, καθώς και την τιμή του μέγιστου φασματικού πλάτους και την αντίστοιχη δεσπίζουσα περίοδο της διέγερσης.</p>
ΒΗΜΑ 3	<p>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΥΧΝΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΑΣ (ΦΑΣΜΑ FOURIER): Ανάγεται η εισαγόμενη χρονοϊστορία σε άθροισμα αρμονικών συνιστωσών με συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους και εφαρμόζεται ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier DFT(ω).</p>
ΒΗΜΑ 4	<p>ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΡΟΦΙΛ: Καταρτίζονται λεπτομερείς εδαφικές τομές, κατά το πρότυπο της <i>Πυθίας</i>. Δηλαδή, κάθε τομή περιλαμβάνει τη γεωμετρία και τις ταχύτητες διατμητικών κυμάτων (V_s) του 1Δ εδαφικού προφίλ καθώς και τα πλήρη δεδομένα αναφορικά με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των υποστρώσεων (αρίθμηση, πάχη, στρώματογραφία, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, βάθος στάθμης υπόγειου ύδατος, ιδιότητες υποβάθρου, γεωμετρία, επιλογή καμπυλών G/G_{max}-ξ%-γ%, κ.λπ.). Στο Βήμα αυτό κλήθηκε ο Σημαιολογικός Διερμηνέας.</p>
ΒΗΜΑ 5	<p>ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΛΛΕΙΠΩΝ Ή ΑΣΑΦΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: Ο Σημαιολογικός Διερμηνέας επιτελεί ανάκτηση και συμπλήρωση των διαθέσιμων εδαφικών δεδομένων, υποδιαίρεση όλων των φυσικών στρώσεων σε υποστρώσεις λεπτότερου πάχους (≤ 1 m) και σε υποστρώσεις στα σημεία ενδιαφέροντος, καθώς και σχεδιασμό των λεπτομερών εδαφικών τομών όπως προαναφέρθηκαν (Ενοτ. 5.2.5).</p>

Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας.

ΒΗΜΑ 6	<p>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ (ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΙΤΕ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ) ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ: Πριν εφαρμοσθεί η εξωτερική διέγερση, υπολογίζονται για κάθε υποστρώση οι αναδρομικές σχέσεις του πλάτους των ανερχόμενων και κατερχόμενων κυματισμών, ως συναρτήσεις συχνότητων. Η επίλυση του συστήματος εξισώσεων για όλες τις υποστρώσεις γίνεται εφαρμόζοντας τις συνοριακές συνθήκες (Ενοτ. 3.5).</p>
---------------	--

ΒΗΜΑ 7 ΦΑΣΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ: Στο στάδιο αυτό υπολογίζονται δυνητικά τα φάσματα ενίσχυσης σε κάθε διεπιφάνεια. Προηγείται η εκτίμηση των Συναρτήσεων Μεγέθυνσης $AF(\omega, j)$, δηλαδή οι λόγοι της μετατόπισης κάθε διεπιφάνειας $u(\omega, j)$ σε σχέση με τη μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους $u(\omega, 1)$, για όλο το φάσμα συχνοτήτων (ω):

$$AF(\omega, j) = \frac{u(\omega, 1)}{u(\omega, j)} \quad (5.1.2.1)$$

Υπολογίζεται υποχρεωτικά το φάσμα ενίσχυσης μεταξύ της εδαφικής επιφάνειας και της βάσης της εδαφικής τομής. Με αυτό συνεκτιμάται η ποιότητα του οιονεί-βράχου και υπολογίζονται οι Λόγοι Ενίσχυσης που αντιστοιχούν σε συνθήκες άκαμπτου είτε εύκαμπτου υποβάθρου (Σχ. 3.6), οι οποίοι αντίστοιχα είναι:

$$AF(\omega, \text{rock}) = \frac{2}{A_{m+1} + B_{m+1}} \quad (5.1.2.2)$$

$$AF(\omega, \text{rock}) = \frac{1}{A_{m+1}} \quad (5.1.2.3)$$

ΒΗΜΑ 8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ: Υπολογίζεται το γινόμενο της διεγερσης $DFT(\omega)$ και των Συναρτήσεων Μεγέθυνσης $AF(\omega, \text{rock})$:

$$\text{ΑΛΦΑ}(\omega) = DFT(\omega) \cdot AF(\omega, \text{rock}) \cdot \frac{g}{\omega^2} \quad (5.1.2.4)$$

και επανυπολογίζονται τα φάσματα ενισχύσεων για συνισταμένη μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους ίση προς :

$$u(\omega, 1) = \text{ΑΛΦΑ}(\omega) \quad (5.1.2.5)$$

ΒΗΜΑ 9 ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ: Υπολογίζονται οι συνολικές (απόλυτες) παράμετροι της σεισμικής εδαφικής απόκρισης σε όρους φασμάτων συχνοτήτων: Υποχρεωτικά της διατμητικής παραμόρφωσης στη βάση κάθε εδαφικού στρώματος. Κατ' επιλογήν και τα υπόλοιπα φάσματα στη βάση κάθε εδαφικού στρώματος (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση) και στο μέσον κάθε στρώσης (διατμητική τάση).

ΒΗΜΑ 10 ΣΥΝΙΣΤΑΜΕΝΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥ: Εκτελείται ο Αντίστροφος Μετασχηματισμός Fourier (I-DFT) σε κάθε φάσμα του Βήματος 9. Υπολογίζονται συνολικά πέντε (5) χρονοϊστορίες οι οποίες περιγράφουν τις παραμέτρους της συνισταμένης σεισμικής εδαφικής απόκρισης, δηλαδή: της επιτάχυνσης, της ταχύτητας, της μετάθεσης, της διατμητικής παραμόρφωσης και της διατμητικής τάσης σε κάθε εδαφική υποστρώση.

ΒΗΜΑ 11 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ: Σε κάθε χρονοϊστορία επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης του Βήματος 10, υπολογίζεται το μέγιστο εύρος $\gamma(j)_{\max}$ που αντιστοιχεί στο μέσον κάθε εδαφικής υποστρώσης j .

ΒΗΜΑ 12 ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ: Υπολογίζεται η ενεργός (δρώσα) διατμητική παραμόρφωση στο μέσον κάθε υποστρώσης j :

$$\gamma(j)_{\text{eff}} = R_\gamma \cdot \gamma(j)_{\max} \quad (5.1.2.6)$$

	<p>Όπου, ο λόγος R_γ εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού Σχεδιασμού (M_{des}) και μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση (Idriss and Sun, 1992):</p> $R_\gamma = \frac{M_{des} - 1}{10} \quad (5.1.2.7)$ <p>ΒΗΜΑ 13 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (G - ξ%): Προσεγγίζονται οι τιμές του ζεύγους G(j) και ξ(j) σε κάθε υποστρώση οι οποίες είναι συμβιβαστές προς την εκτιμηθείσα ενεργό παραμόρφωση του Βήματος 12. Χρησιμοποιούνται οι πειραματικές καμπύλες που περιγράφουν τη μεταβολή των ιδιοτήτων του εδάφους σε διαφορετικά επίπεδα παραμόρφωσης (Ενοτ. 5.1.5).</p>
<p><i>Επανάληψη της διαδικασίας από το Βήμα 6</i></p>	
<p>ΒΗΜΑ 14</p>	<p>ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ: Γίνεται υπολογισμός των τριών ελαστικών φασμάτων (φασματική επιτάχυνση S_a, φασματική ταχύτητα S_v, φασματική μετακίνηση S_d) της δυναμικής απόκρισης στις βάσεις των κατ' επιλογήν εδαφικών υποστρώσεων, υποθέτοντας μια απόσβεση κατασκευών (μέχρι) 5%. Γίνεται επίσης υπολογισμός των αντίστοιχων κανονικοποιημένων ελαστικών φασμάτων καθώς και υπολογισμός των ψευδο-φασμάτων (επιτάχυνσης P_{sa} και ταχύτητας P_{sv}).</p>

5.1.3 Συναρτήσεις Μεγέθυνσης ή Λόγοι Μεγέθυνσης

Οι **Συναρτήσεις Μεγέθυνσης ή Λόγοι Μεγέθυνσης** (Amplification Functions or Ratios) είναι Συναρτήσεις Μεταφοράς (Transfer Functions) που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση πολυστρωματικών εδαφικών σχηματισμών. Τις Συναρτήσεις Μεταφοράς τις χρησιμοποιούν με διάφορες μορφές διάφοροι επιστημονικοί κλάδοι. Στο *GeoSeism* έχουν τη μορφή λόγων μετατόπισης ανάμεσα σε δύο σημεία. Περιλαμβάνουν τις μιγαδικές συνιστώσες ($Re[AF]$, $Im[AF]$) και το μέτρο τους ($|AF|$):

$$AF(\omega, j) = \frac{u^*(\omega, j)}{u^*(\omega, j+1)} \quad (5.1.3.1)$$

$$|AF(\omega, j)| = \left| \frac{u^*(\omega, j)}{u^*(\omega, j+1)} \right| \quad (5.1.3.2)$$

Αναλυτικότερα, η Συνάρτηση Μεγέθυνσης για πολυστρωματικό έδαφος επί υποβάθρου, προκύπτει από την (Εξ. 3.5.6) και τον λόγο (Εξ. 5.1.3.1):

$$AF(\omega, j) = \frac{u^*(\omega, j) \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t}}{u^*(\omega, j+1) \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t}} = \frac{A_j^* + B_j^*}{A_{j+1}^* + B_{j+1}^*} \quad (5.1.3.3)$$

Η παραπάνω (Εξ. 5.1.3.3) αντιστοιχεί στη γενική περίπτωση και καλύπτει τόσο τα εδάφη, όπου αντί πολλών στρώσεων υπάρχει μόνον μια ($j = 1$), όσο και τα πολυστρωματικά εδάφη. Η θεώρηση εύκαμπτου υποβάθρου είναι επίσης η γενική περίπτωση - καλύπτει και τις συνθήκες άκαμπτων υποβάθρων ($B_{j+1}^* = 0$). Για απλουστευτικούς λόγους, η πρώτη θέση (j) τίθεται στην οροφή μιας εδαφικής στρώσης (ή υποστρώσης), ώστε και η αρχή του τοπικού άξονα συντεταγμένων να τίθεται στην οροφή της ($z_j = 0$). Η πιο πάνω σχέση μεταπίπτει στην πιο απλοποιημένη μορφή:

$$AF(\omega, j) = \frac{u^*(\omega, j) \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t}}{u^*(\omega, j+1) \cdot e^{i \cdot \omega \cdot t}} = \frac{A_j^* + B_j^*}{A_j^* \cdot e^{i k_j^* \cdot h_j} + B_j^* \cdot e^{-i k_j^* \cdot h_j}} \quad (5.1.3.4)$$

Όπου,

- h: πάχος της εξεταζόμενης εδαφικής στρώσης,
- ω : τρέχουσα συχνότητα του φάσματος, κυκλική συχνότητα του φαινομένου της ανακυκλικής κίνησης κατά τη διάδοση του SH κύματος,
- $k^* j$: κυματικός αριθμός στη στρώση j της μιγαδικής ταχύτητας διατμητικών κυμάτων $Vs^* j$, συναρτήσει της συχνότητας:

$$k^* j = \frac{\omega}{Vs^* j} \quad (5.1.3.5)$$

- $A^* j, B^* j$: μιγαδικοί όροι (αναδρομικές συναρτήσεις) του πλάτους του ανερχόμενου και κατερχόμενου κύματος της δόνησης στην (υπο-)στρώση j , αντίστοιχα,
- $u^*(\omega, j), u^*(\omega, j+1)$: μιγαδική μετατόπιση στα σημεία j και $j+1$ αντίστοιχα, ως συνάρτηση της συχνότητας, (τα σημεία μπορεί να είναι λ.χ. η οροφή και η βάση της στρώσης j είτε οποιαδήποτε σημεία του χώρου, διαδοχικά ή μη).

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις εξηγούνται αναλυτικά στην Ενότητα 3.5.

5.1.4 Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων και διαφορά φάσης

Καθώς το GeoSeism υπολογίζει όλες τις παραμέτρους με μιγαδικούς όρους, ο υπολογισμός των (γωνιών) φάσεων πλεονάζει. Υπολογίζεται ωστόσο για λόγους πληρότητας η φάση και των πέντε παραμέτρων της κίνησης από τη γωνία:

$$\varphi(\omega, j) = a \tan \left(\frac{\text{Im}[\tau^*(\omega, j)]}{\text{Re}[\tau^*(\omega, j)]} \right) \quad (5.1.4)$$

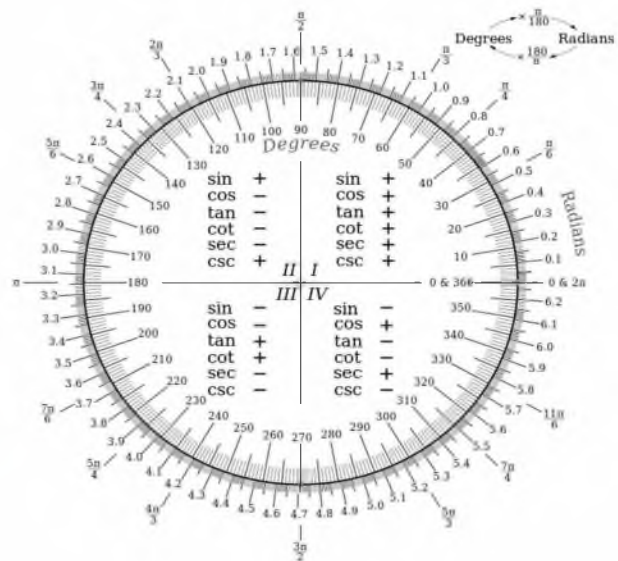
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Το αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε ακτίνια (rad) ως μονάδα μέτρησης της γωνίας. Στο δεύτερο και το τρίτο τεταρτημόριο η γωνία π προστίθεται ή αφαιρείται, αντιστοίχα. Στη συνέχεια, γίνεται αναγωγή στο κατάλληλο τεταρτημόριο. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις (Σχ. 5.1.4):

- ⊙ $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] = 0$ και $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] \geq 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = 0$
- ⊙ $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] = 0$ και $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] < 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = \pi$
- ⊙ $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] = 0$ και $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] \geq 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = \frac{\pi}{2}$
- ⊙ $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] = 0$ και $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] < 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = -\frac{\pi}{2}$
- ⊙ $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] > 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = \arctan\left(\frac{\text{Im}[\tau^*(\omega, j)]}{\text{Re}[\tau^*(\omega, j)]}\right)$
- ⊙ $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] < 0$ και $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] > 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = \pi + \varphi(\omega, j)$
- ⊙ $\text{Re}[\tau^*(\omega, j)] < 0$ και $\text{Im}[\tau^*(\omega, j)] < 0 \rightarrow \varphi(\omega, j) = -\pi + \varphi(\omega, j)$

Η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και της παραμόρφωσης, προκύπτει με αφαίρεση της παραπάνω γωνίας φάσης της τάσης και της παραμόρφωσης σε κάθε συχνότητα.

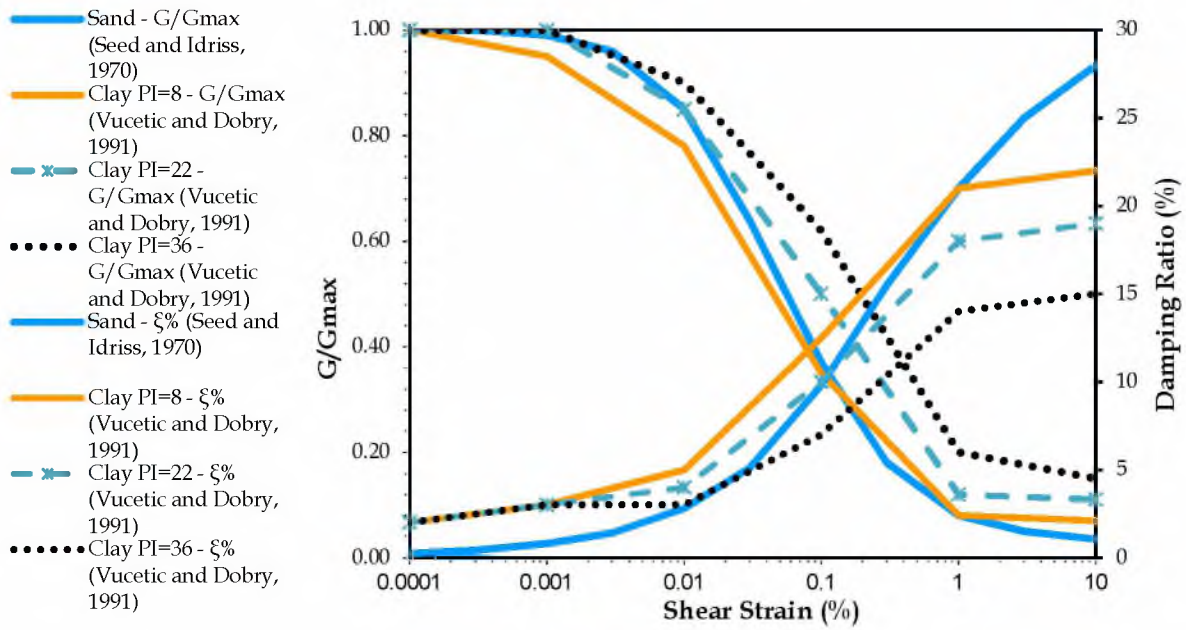
Σχήμα 5.1.4 Υποδιαίρεση του κύκλου σε ακτίνια και μοίρες, με βάση το οποίο το GeoSeism υπολογίζει τις γωνίες φάσης των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης (Πηγή: Wikipedia).



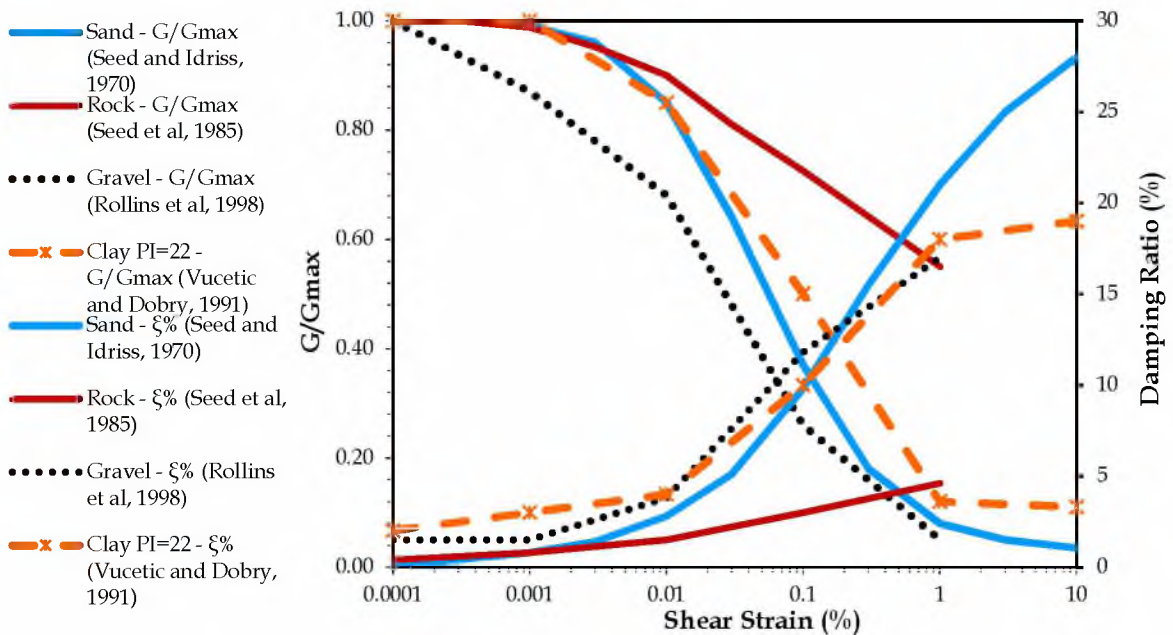
5.1.5 Καμπύλες μεταβολής απόσβεσης και διάτμησης συναρτήσει της παραμόρφωσης

Η μη-γραμμική συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου εδάφους (υποστρώσης) περιγράφεται με τις καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης και της υστερητικής

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)



(β)

Σχήμα 5.1.5 Καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης G^* και του λόγου κρίσιμης απόσβεσης $\xi\%$, συναρτήσει της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης για γνωστούς τύπους εδάφους:

(α) άμμος, και αργίλων, (β) άμμος, χαλικώδους και (ημι)βραχώδους εδάφους.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

απόσβεσης συναρτήσει του επιπέδου επιβαλλόμενης παραμόρφωσης ($G - \gamma\% - \xi\%$). Οι καμπύλες, προέρχονται κυρίως από επιτόπια δειγματοληψία και εργαστηριακό έλεγχο του συγκεκριμένου εδάφους. Αποτελούν απαραίτητο δεδομένο προκειμένου να εφαρμοσθεί η μέθοδος της ισοδύναμη γραμμικής ανάλυσης. Στο GeoSeism υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης καμπυλών της επιλογής του χρήστη, σε μορφή Πίνακα (Παράρτημα ΙΙΙ).

Οι καμπύλες που προς το παρόν αναπτύχθηκαν στην τρέχουσα έκδοση του GeoSeism (Σχ. 5.1.5) παρατίθενται και στο Υπόμνημα ΙΙΙ σε μορφή πίνακα (Πιν. 5.1.5).

Στο Βήμα 13 (Πιν. 5.1.2), από την ενεργό τιμή της διατμητικής παραμόρφωσης και με βάση τις παραπάνω καμπύλες (δηλ. τη μη-γραμμική συμπεριφορά) του εξεταζόμενου εδαφικού υλικού, εκτιμώνται οι συμβατές τιμές G και $\xi\%$ οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τον επόμενο επαναληπτικό κύκλο υπολογισμών. Τα βήματα επαναλαμβάνονται μέχρις ότου η διαφορά των τιμών G και $\xi\%$ μεταξύ δυο διαδοχικών επαναλήψεων για όλα τα στρώματα να είναι επαρκώς μικρή. Συνήθως επιτυγχάνονται διαφορές μικρότερες από 1% μετά από λίγους επαναληπτικούς κύκλους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.2 : Σημασιολογικός Διερμηνέας – Περιγραφή της Πυθίας

5.2 Κώδικας ΠΥΘΙΑ

5.2.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία του Σημασιολογικού Διερμηνέα Πυθία του *GeoSeism* αναπτύχθηκε σταδιακά, προκειμένου να επιλύονται αυτοματοποιημένα τα συστηματικά προβλήματα που διαπιστώνονταν κατά την ενοποίηση εδαφικών δεδομένων (Ενοτ. 5.2.3) στις εφαρμογές της Ανάλυσης της Σεισμικής Εδαφικής Απόκρισης (Κεφ. 5.1) και της Ρευστοποίησης (Κεφ. 5.3). Ο στόχος της μεθοδολογίας είναι: να αυτοματοποιεί τις επεξεργασίες που απαιτούν τυπική κρίση μηχανικού, να εκτελεί άπαξ όσες επαναλαμβάνονται άσκοπα, καθώς και να ξεπερνά τα αδιέξοδα στη ροή του κώδικα που εμφανίζονται εξαιτίας της ανεπάρκειας ή παρερμηνείας των κατά περίπτωση δεδομένων.

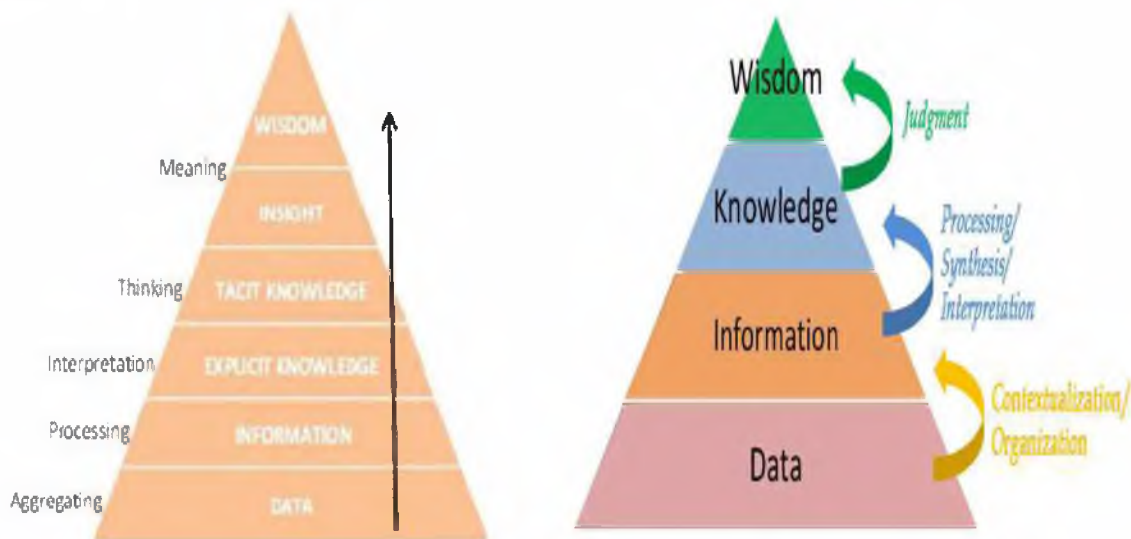
Τον όρο «Σημασιολογικός Διερμηνέας» δίνει η παρούσα διατριβή στον νέο αυτό τύπο γνωστικών αλγόριθμων τον οποίο προτείνει για την επεξεργασία ειδικά των δεδομένων που αναφέρονται σε εδαφικές συνθήκες και χρησιμοποιούνται από διαλειτουργικά ΓΣΠ. Προορίζεται να ενσωματώνεται στα ΓΣΠ και να ενημερώνεται από τα διεθνή σημασιολογικά πρότυπα. Η μεθοδολογία του επομένως μπορεί να είναι ευρύτερη από την ήδη υλοποιηθείσα στην Πυθία. Η γενική ιδέα εξηγείται στη συνέχεια (Ενοτ. 5.2.4) και στα πορίσματα της διατριβής (Κεφ. 8). Περιγράφεται η ήδη υλοποιηθείσα μεθοδολογία (Ενοτ. 5.2.5), αφού διευκρινιστεί το πρόβλημα που καλείται να λύνει (Ενοτ. 5.2.3) και η σχετική ορολογία της Πληροφορικής (Ενοτ. 5.2.2). Τα πορίσματα (Ενοτ. 5.2.2) εξηγούνται μέσα από παραδείγματα (Ενοτ. 5.2.6). Γίνεται επίσης πρακτική εφαρμογή της Πυθίας σε τμήμα ελληνικής πόλης (Ενοτ. 7.2) στην οποία εφαρμογή ο έλεγχος των αποτελεσμάτων είναι εφικτός και δια χειρός.

5.2.2 Οι έννοιες «Δεδομένα», «Πληροφορία» και «Γνώση» στα ΓΣΠ

Τα «Δεδομένα» (Data), η «Πληροφορία» (Information), και η «Γνώση» (Knowledge), τα τελευταία χρόνια είναι γνωστά ως πυραμίδα ή ιεραρχία «DIKW» και αποτελούν τεχνικούς όρους της Πλη-

ροφορικής. Αντιστοιχούν σε ιεραρχικά επίπεδα γνώσης (Σχήμα 5.2.2). Η επεξεργασία καθενός επιπέδου δημιουργεί το αμέσως ανώτερό του.

Η πυραμίδα DIKW δεν έχει ακόμη συζητηθεί σε θέματα Γεωτεχνικής Μηχανικής, και θέματα Πολιτικού Μηχανικού γενικότερα, ενώ ούτε είναι γνωστός ο εισηγητής της στην Πληροφορική (Wallace, 2007). Οι έννοιες ωστόσο ήταν γνωστές τουλάχιστον από τον προηγούμενο αιώνα σε επιστήμες της εκπαίδευσης, της διδακτικής και της φιλοσοφίας, με επίκεντρο τη γνωστική ψυχολογία (θεωρία γνωστικής ανάπτυξης Piaget, κ.ά.) και τις πραγματιστικές προσεγγίσεις των θεωριών μάθησης (Dewey and Bentley, 1949, 1976). Η για πρώτη φορά ρητή διάκριση μιας ιεραρχικής σχέσης στις έννοιες «δεδομένα, πληροφορία, γνώση» αποδίδεται στον εκπαιδευτικό που εισηγήθηκε και τον όρο «knowledge management» (Henry, 1974), σύμφωνα με κάποιους ερευνητές (Wallace, 2007). Έκτοτε, αναφορές στην έννοια DIKW παρουσιάζονται και από ερευνητές των επιστημών της Πληροφορικής και των Υπολογιστών. Η σημασία που της δίνουν οι τελευταίοι είναι διαφορετική από τις παιδαγωγικές και τις φιλοσοφικές επιστήμες, παρότι και πάλι οι ορισμοί που διατυπώνονται είναι διάφοροι. Η συζήτηση (Πιν. 5.2.2) έχει ως αποτέλεσμα τα αρχικά «DIKW» να καταλογίζονται στις αξίες του «διανοητικού κεφαλαίου» (intellectual capital), για αρκετούς σύγχρονους ερευνητές, αλλά και να επισημαίνεται ότι «δεν υπάρχει ακόμη σαφής και πλήρης ορισμός όχι μόνον των εννοιών αυτών αλλά ακόμη περισσότερο της σχέσης μεταξύ τους» (Liew, 2007). Ένας λόγος μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι, κάθε όρος στην ιεραρχία δεν ορίζεται με μια απόλυτη έννοια αλλά μόνον με τη διαφοροποίηση σε σχέση με τον αμέσως ανώτερό του. Ένας ακόμη λόγος μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η θεωρητική προσέγγιση μέχρι του παρόντος δεν συνοδεύτηκε με κάποια ποσοτικοποίηση των όρων ώστε να μπορούν να εφαρμόζονται πρακτικά με τη χρήση υπολογιστικής μεθοδολογίας.



Σχήμα 5.2.2 Πυραμίδα της γνώσης ή ιεραρχικά επίπεδα γνώσης (knowledge pyramid ή hierarchy): Δυο από τις πολλές εκδοχές που προτάθηκαν από ερευνητές της Πληροφορικής.

Η παρούσα διδακτορική έρευνα εισάγει για πρώτη φορά τη συζήτηση της DIKW στον ερευνητικό χώρο των ΓΣΠ και στις εφαρμογές των γεωτεχνικών. Περιγράφει τον τρόπο που ο στρουκτου-

ραλισμός της γνώσης γίνεται πρακτικά εργάσιμος κατά τον σχεδιασμό της διαχεόμενης Πληροφορίας της σχετικής με τις εδαφικές συνθήκες που ενδιαφέρουν τις επιστήμες της Μηχανικής - και ειδικά τα πεδία των Γεωτεχνικών και των Πολιτικών Μηχανικών. Εφαρμόζει πρακτικά την ιδέα αυτή στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας *Πυθία*, δίνοντας έναν μετρήσιμο ορισμό των παραπάνω εννοιών καθώς και της επεξεργασίας που οι έννοιες επιδέχονται προκειμένου να αναβαθμίζονται στα διαδοχικά επίπεδα.

Λόγω και των ραγδαίων εξελίξεων στις τεχνολογίες χωρικών δεδομένων και στη γεωχωρική εν γένει τεχνολογία (GIS, Geomatics), οι έννοιες DIKW πρέπει να επαναθεωρηθούν προκειμένου να εκφράζουν και το περιεχόμενο των ΓΣΠ. Για παράδειγμα, η πληροφορία σήμερα δεν ξεκινά κατ' ανάγκη από ασύνδετα στοιχεία παρατήρησης ή ψηφία και μεγάλα δεδομένα, όπως παλαιότερα. Ξεκινά από ένα επίπεδο Δεδομένων που έχει πρωταρχικά επεξεργαστεί κατά τη διάχυσή του μέσα από συστήματα διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων. Η πρωταρχική επεξεργασία (pre-process) περιλαμβάνει σχεδόν πάντοτε ανάπτυξη οργάνωσης, όπως: διαλογή, διόρθωση, ταξινόμηση σε Πεδία, σε Εγγραφές και σε Πίνακες, συνοδευτικά δεδομένα στατιστικής ανάλυσης, μεταδεδομένα, συσχετισμό δεδομένων με τη βοήθεια σχεσιακών είτε αντικειμενοστραφών μοντέλων, και όμοια. Έχουν επίσης αναπτυχθεί τεχνικές «Knowledge Data Discovery» (KDD) με τις οποίες η Πληροφορία διαμορφώνεται ανάλογα του βαθμού και του σκοπού της επεξεργασίας των Δεδομένων.

Η παρούσα έρευνα πραγματεύεται τις έννοιες της πυραμίδας της γνώσης¹, μέσα από εφαρμογές περιγραφής των εδαφικών συνθηκών και της σεισμικής εδαφικής απόκρισης. Οι εφαρμογές αντιπροσωπεύουν τα ΓΣΠ που έχουν δυνατότητες να εκτελούν ολοκληρωμένο κύκλο μεθοδολογιών είτε από μόνα τους είτε με διαλειτουργικές συνεργασίες με άλλα ΓΣΠ. Ένας ολοκληρωμένος κύκλος περιλαμβάνει: αποθήκευση πολυθεματικών εδαφικών δεδομένων, απεικονίσεις, και υπολογισμούς νέων δεδομένων και πληροφοριών. Τα συμπεράσματα της παρούσης έρευνας **αποδεικνύονται πρακτικά** με την ανάπτυξη της *Πυθίας*. Από την εφαρμογή της σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης σε ελληνική πόλη (Ενοτ. 7.2), τα συμπεράσματα συνοψίζονται στα εξής:

1. Το επίπεδο «Δεδομένα» αποτελεί ήδη «πρωτοβάθμια Πληροφορία (επειδή οργανώνεται στο πινακοποιημένο πλαίσιο της σχεσιακής Βάσης, όπου ταυτόχρονα αποκτά και συμφραζόμενο νόημα).
2. Τα «Δεδομένα» και οι «Πληροφορίες» είναι δυνατόν να αποτελούν σταθερά είτε διαβαθμισμένα επίπεδα (επειδή δεν είναι πάντοτε δυνατή η αναβάθμιση όλης της επιμέρους πληροφορίας).
3. Η «Κρίση» και η «Κατανόηση», δεν είναι διακριτά επίπεδα, αλλά υποκειμενικές είτε αντικειμενικές διαδικασίες. Υποκειμενική είναι η μεθοδολογία που χρειάζεται να κάνει προσεγγίσεις ή και ασαφή λογική προκειμένου να ερμηνεύσει ένα πλήθος Δεδομένων.

¹ Οι όροι «Δεδομένα», «Πληροφορία», «Γνώση» της ιεραρχίας DIKW στο κεφάλαιο 5.2 έχουν ίδια σημασία είτε χρησιμοποιούνται με κεφαλαίο είτε με μικρό αρχίγραμμα.

Αντικειμενική είναι η μεθοδολογία όταν τα Δεδομένα είναι ολοκληρωμένα ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωση νέας Πληροφορίας η οποία να είναι απολύτως «ισοδύναμη» με το πλήθος Δεδομένων τα οποία συνέθεσε.

- Κάθε επεξεργασία Πληροφορίας είναι διαδικασία Γνώσης. Ενώ για τις τεχνικές Εξόρυξης Δεδομένων και τους Αλγόριθμους Μάθησης η γνώση είναι το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας (εξέλιξης), για τον Σημασιολογικό Διερμηνέα η γνώση είναι η διαδικασία. Αν τα Δεδομένα και η Πληροφορία είναι το αντικείμενο της γνώσης («know-what»), τότε ο πηγαίος κώδικας μιας μεθοδολογίας είναι η τεχνογνωσία («know-how») που μεταφέρεται ως μεταδεδομένο διατηρώντας οδηγίες για το πώς έγινε η σημασιολογική μετάβαση (επεξεργασία) του Δεδομένου προς τα ανώτερα επίπεδα.
- Ο σημασιολογικός διερμηνέας *Πυθία*, αποτελεί ο ίδιος μια πρακτική εφαρμογή της DIKW και των ακόλουθων εννοιών.

Δεδομένα: θεωρούνται τα χαρακτηριστικά γνώρισμα του κόσμου.

Πληροφορία: θεωρείται κάθε περιγραφή του κόσμου, η οποία αποτελείται από Δεδομένα τα οποία οργάνωσε και επεξεργάστηκε με την ενέργεια της Γνώσης.

Γνώση: θεωρείται κάθε αντικειμενικό είτε και υποκειμενικό ολοκληρωμένο μοντέλο του κόσμου (λ.χ. σύνολο από μεθόδους και κανόνες, αξιώματα, παραδοχές, ειδικευση επιστήμης) με το οποίο διαμορφώνεται η Πληροφορία.

Πίνακας 5.2.2 Συγκριτικός χάρτης των εννοιών DIKW (Πυραμίδα της Γνώσης).

Δεδομένα	<p>Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO ο όρος «δεδομένα» (data) σημαίνει μια παράσταση γεγονότων, εννοιών ή εντολών σε τυποποιημένη μορφή που είναι κατάλληλη για επικοινωνία, ερμηνεία ή επεξεργασία από άνθρωπο ή από αυτόματα μέσα. Το είδος των δεδομένων που εισάγει/εξάγει ένα πληροφοριακό σύστημα μπορεί να είναι υπό μορφή εικόνας, ήχου, κειμένου, ή ειδικών συμβόλων (αριθμών, γραμμάτων κ.λπ.). Τα γεωγραφικά χωρικά δεδομένα και η πληροφορία διαφέρουν ουσιαστικά από άλλα είδη δεδομένων, δεδομένου ότι είναι από την φύση τους χωρικά δομημένα σε κάποια διάσταση.</p> <p>Οι περισσότεροι ορισμοί θέλουν τα δεδομένα να αποτελούν τη βασική, πρωτογενή και γενικά άνευ επεξεργασίας πληροφορία (Kelley, 2002). Είναι εκείνα τα στοιχεία που υπόκεινται σε ανάλυση (Amidon, 1997), και τα οποία πρέπει να υποβληθούν σε οργάνωση και να τεθούν σε συνάφεια μεταξύ τους προκειμένου να μετατραπούν σε πληροφορία (Garvin, 1996).</p> <p>Από την άλλη, οι ορισμοί (Merriam-Webster, 2016) που επιχειρούν να προσδιορίσουν τα δεδομένα σε σχέση με το ανώτερό τους επίπεδο, θέλουν τα δεδομένα να είναι αφενός οι τεκμηριωμένες (factual) πληροφορίες που χρησιμοποιούνται ως βάση για συλλογισμό (reasoning), συζήτηση, ή υπολογισμούς, αφετέρου η εξαγόμενη πληροφορία η οποία περιλαμβάνει ταυτόχρονα χρήσιμες και περιττές πληροφορίες οι οποίες πρέπει να τεθούν σε διαλογή και επεξεργασία ή και ολοκλήρωση προκειμένου να αποκτήσουν (πιο συγκεκριμένο) νόημα.</p>
----------	--

<p>Πληροφορία</p>	<p>Σύμφωνα με τα πρότυπα του ISO, πληροφορία είναι η τρέχουσα σημασία που αποδίδεται στα δεδομένα χρησιμοποιώντας τις συμβατικές παραδοχές που εφαρμόζονται σε αυτά. Τα δεδομένα είναι ένα σύνολο συμβόλων που χρησιμοποιούνται για να παριστάνουν αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, τα οποία υφίστανται επεξεργασία για να παράγουν πληροφορίες:</p> <p style="text-align: center;">δεδομένα + ερμηνεία = πληροφορία</p> <p>Η πληροφορία όταν ορίζεται σε σχέση με τα δεδομένα, τότε είναι δεδομένα με περιεχόμενο, με συνάφεια (Amidon, 1997), τα οποία έχουν μορφή («in formation»), δηλαδή έχουν αποθηκευτεί, αναλυθεί και απεικονισθεί και είναι εφικτά επικοινωνίας σε κάποια γλώσσα ομιλίας ή γραφικής παράστασης ή αριθμητικού πίνακα (Dixon, 2000). Είναι επεξεργασμένα δεδομένα διαμορφωμένα και ερμηνευμένα (explicitated) σε βαθμό που να είναι χρήσιμα για κάποιας μορφής ανάλυση (Kelley, 2002) ώστε να μπορούν εύκολα να τίθενται σε επανάχρηση (Tiwana, 2001). Διαφέρει από τα δεδομένα στο ότι είναι χρήσιμη με την έννοια ότι τεκμαίρεται από τα δεδομένα (is inferred from data) (Rowley, 2006) απαντώντας στα ερωτήματα «ποιός», «τι», «πού», «πόσα», «πότε» (Ackoff, 1989) (Rowley, 2006). Ο τελευταίος ορισμός έρχεται σε αντίθεση με τους ορισμούς που δεν συμφωνούν ότι η διαφορά ανάμεσα στα δεδομένα και την πληροφορία είναι δομική κι όχι λειτουργική (structural, not functional) (Rowley, 2006).</p> <p>Η ορθή πληροφορία κάνει τα δεδομένα χρήσιμα (Bellinger et al., 2004) για τη λήψη αποφάσεων είτε για ενέργειες (Liew, 2007), δηλαδή δίνει και νοηματική αξία στα δεδομένα. Γι' αυτό, η πληροφορία ορίζεται ως δεδομένα τα οποία είναι προικισμένα (endowed) με νόημα και σκοπό (Wallace, 2007, Gamble and Blackwell, 2002), είναι «οργανωμένα είτε κατασκευασμένα δεδομένα» τα οποία έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία με τέτοιο τρόπο ώστε η πληροφορία έχει πλέον συνάφεια (relevance) για έναν συγκεκριμένο σκοπό ή περιεχόμενο (specific purpose or context) και είναι γι' αυτόν τον λόγο σημαίνουσα, με αξία χρήσιμη και σχετική (meaningful, valuable, useful and relevant) (Rowley, 2007).</p> <p>Η πληροφορία όταν ορίζεται άνωθεν της, τότε έχει σχέση με το νόημα και σχηματίζει τη βάση της γνώσης (Krogh et al., 2000). Η πληροφορία ορίζεται ως γνώση (knowledge by description) που παρέχεται σε περιγραφική μορφή (Rowley, 2006) και είναι, κατά πρώτον, η επικοινωνία ή το προϊόν (επεξεργασία) της γνώσης ή ευφύιας (reception of knowledge or intelligence) είτε, κατά δεύτερον, είναι η γνώση που λαμβάνεται από την έρευνα, τη μελέτη είτε την οδηγία είτε, κατά τρίτον, είναι το ποσοτικό μέτρο του περιεχομένου της πληροφορίας (Webster, 2016). Η πληροφορία ως μήνυμα, στις ποικίλες μορφές της επικοινωνίας, έχει μια επίδραση στην κρίση και τη συμπεριφορά (Davenport and Prusak, 2000).</p>
<p>Γνώση</p>	<p>Η γνώση όταν ορίζεται σε σχέση με την κάτωθεν ιεραρχία, περιγράφεται συνήθως ως επεξεργασία (as processed). Είναι πληροφορία η οποία έχει αποκτήσει νόημα (Amidon, 1997). Είναι ένα σώμα πληροφοριών, τεχνικής και εμπειρίας που συγχωνεύονται γύρω από ένα συγκεκριμένο θέμα (Horibe, 1999). Είναι ένα ρευστό μείγμα πλατισωμένης εμπειρίας, αξιών, συναφούς πληροφορίας (contextual information) των εμπειρογνομόνων που παρέχει ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση και την ενσωμάτωση νέων εμπειριών και πληροφοριών ... (Davenport και Prusak, 2000). Η Γνώση κατοικεί στον χρήστη ... συμβαίνει μόνο όταν η ανθρώπινη εμπειρία και γνώση εφαρμόζεται πάνω σε δεδομένα και πληροφορίες (Kelley, 2002). Είναι ένα μίγμα οργανωμένης εμπειρίας, τιμών, πληροφοριών και θεωρήσεων που προσφέρουν ένα πλαίσιο για τον υπολογισμό νέων εμπειριών και πληροφοριών (Sydanmaanlakka, 2002). Ως επεξεργασία είναι ένα μείγμα συναφών πληροφοριών, αξιών, εμπειρίας και κανόνων (Rowley, 2006), όπου οι πληροφορίες έχουν υποβληθεί σε επεξεργασία, οργάνωση ή και δομήθηκαν με κάποιο τρόπο ή έχουν βρει εφαρμογή ή έχουν τεθεί σε δράση.</p> <p>Η Γνώση στα επιστημονικά πεδία της λογικής ορίζεται ως διαδικασία (procedural). Στο τυπικό σύστημα του προτασιακού λογισμού ή λογικής, η γνώση είναι ένα σύστημα στο</p>

	<p>οποίο οι τύποι που αναπαριστάνουν προτάσεις μπορούν να σχηματίζονται με το συνδυασμό ατομικών προτάσεων χρησιμοποιώντας λογικούς συνδέσμους, και στον οποίο ένα σύστημα τυπικών κανόνων αποδείξεως επιτρέπει σε ορισμένους τύπους να καθιερώνονται ως «θεωρήματα». Η γνώση έχει ένα ιδιαίτερο γνώρισμα, ότι δηλαδή είναι «δραστική» πληροφορία, ... συχνά αναδεικνύεται στον νου των ανθρώπων κατά την αποκόμιση εμπειριών (Tiwana, 2001), περιλαμβάνει τις πεποιθήσεις των ομάδων ή ατόμων, και είναι στενά συνδεδεμένη με τη δράση (Krogh et al., 2000). Είναι οι νοηματικές συνδέσεις που κάνουν οι άνθρωποι στο μυαλό τους μεταξύ των πληροφοριών και η εφαρμογή τους στην πράξη σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον (Dixon, 2000)</p> <p>Για κάποιους ερευνητές (Zins, 2007), κάθε όρος του DIKW έχει μια υποκειμενική και μια αντικειμενική έκφανση ή και τα δύο, όχι με την έννοια της αυθαιρεσίας και της αλήθειας, αλλά με την έννοια της μη-καθολικής και της «καθολικής» ή «συλλογικής» (Zins, 2007). Στην επιστήμη της πληροφορικής, τα στοιχεία των μελετών και των πληροφοριών δεν αποκομίζουν γνώση, η γνώση απεναντίας είναι ένα εσωτερικό (υποκειμενικό) και όχι ένα εξωτερικό (καθολικό - συλλογικό) φαινόμενο (Zins, 2007). Απέναντι στην άποψη αυτή, άλλοι ερευνητές υποστήριξαν ότι η σύλληψη της γνώσης σε συμβολική μορφή σημαίνει μετατροπή της σε πληροφορία, δηλαδή, ότι «όλη η γνώση είναι σιωπηρή/αυτονόητη χωρίς να χρειάζονται εξηγήσεις (tacit) (Zeleny, 2005). Υπενθυμίζεται σχετικά ότι, ο γνωστικός εποικοδομισμός του Piaget δίνει έμφαση στην ανάπτυξη της λογικής σκέψης. Η διαδικασία επεξεργασίας της πληροφορίας, της κάθε νέας αναπαράστασης, συνδυάζει ένα σύνολο γνωστικών και ψυχολογικών λειτουργιών [...], οι γνώσεις παρουσιάζονται με δύο μορφές: τη μηχανική-δηλωτική γνώση και την διαδικαστική γνώση (Anderson, 1976). Από όλη την παραπάνω συζήτηση, αναδεικνύεται λοιπόν το ερώτημα για το ποια είναι η κύρια πηγή γνώσης: ο νους ή οι αισθήσεις.</p>
Σοφία	<p>Παρότι συχνά περιλαμβάνεται ως ένα επίπεδο της ιεραρχίας DIKW, υπάρχει αισθητά περιορισμένη αναφορά στην έννοια της «σοφίας» στις συζητήσεις περί DIKW. Για κάποιους ερευνητές έχει χαρακτηριστεί ως «μη-υλική» (Wallace, 2007, Boiko, 2005). Άλλοι ερευνητές χαρακτηρίζουν τη σοφία ως το να γνωρίζεις το σωστό που πρέπει να κάνεις (Chisholm and Warman, 2007) και την ικανότητα να κάνεις κρίσεις και αποφάσεις φαινομενικά «χωρίς σκέψη» (Gamble and Blackwell, 2002, Wallace, 2007). Άλλος την περιγράφει ως το να γνωρίζει κανείς το «γιατί» (know-why) (Zeleny, 1987) αλλά αργότερα την επανορίζει προκειμένου να διακρίνει το «γιατί το κάνεις» (why do), το οποίο θεωρεί ως σοφία, από το «γιατί είναι» (why is), το οποίο θεωρεί ως «πληροφορία», και επεκτείνει τον ορισμό του συμπεριλαμβάνοντας μια μορφή του «γνωρίζω τι» (know-what), τι να κάνω, πώς να δράσω ή τι να διεκπεραιώσω (Zeleny, 2005).</p>

5.2.3 Σημασιολογικές ετερογένειες που καλείται να επιλύσει ο Σημασιολογικός Διερμηνέας κατά την ενοποίηση εδαφικών (εδαφοτεχνικών) Δεδομένων

Η ενοποίηση ή συσσωμάτωση δεδομένων (data integration) περιλαμβάνει διαδικασίες που είναι απαραίτητες στα ΓΣΠ τα οποία, εκτός από αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου και αποθήκευση δεδομένων, επιπλέον επιτελούν και υπολογισμούς. Αντικείμενο της ενοποίησης είναι η εισαγωγή της διαχεόμενης πληροφορίας, η ανάλυση των δεδομένων της, η οργάνωση και η σύνθεση με τις οποίες τα δεδομένα θα «ερμηνεύονται» για να περιγράψουν νέες ολοκληρωμένες Πληροφορίες (έννοιες). Ολοκληρωμένη θεωρείται η Πληροφορία όταν: (α) έχει καλύψει τις ελλείψεις των πρωτογενών δεδομένων ώστε να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τους επιδιωκόμενους σκοπούς, και (β) έχει υποβληθεί σε επεξεργασίες που είναι απαραίτητες προκειμένου να εξοικονομηθεί χρόνος στη συνέχεια - στις υπολογιστικές διαδικασίες των μεθοδολογιών και λογισμικών που θα τη χρησιμοποιήσουν. Μεταξύ των προβλημάτων που τα ΓΣΠ καλούνται να αντιμετωπίσουν κατά την ενοποίηση της πληροφορίας είναι και οι ετερογένειες που εμφανίζουν τα δεδομένα μεταξύ τους (διαφορετικές μονάδες μέτρησης, παράγωγοι παράμετροι αντί της αναγκαίας, κ.λπ.). Οι εννοιολογικές ή γνωσιακές ετερογένειες (Ενοτ. 2.2.4) έχουν τον πλέον σημαντικό ρόλο κατά την ολοκλήρωση (ενοποίηση) πληροφορίας. Στην πράξη διαπιστώνεται ότι δεν προκύπτουν μόνον λόγω διαφορετικών μοντέλων, δηλαδή μεθόδων και συστημάτων έκφρασης (λ.χ. εδαφικής ταξινόμησης, κ.λπ.), αλλά και λόγω διαφορετικού επιπέδου εξέλιξης της πληροφορίας. Πριν δοθούν εξηγήσεις σχετικά με το πώς μπορεί να διακρίνει ένας σημασιολογικός διερμηνέας αυτή τη διαφορά εξέλιξης της πληροφορίας (Ενοτ. 5.2.6), εκτίθεται αμέσως πιο συγκεκριμένα το πρόβλημα.

Η διαφορά εξέλιξης της πληροφορίας και εν γένει το πρόβλημα της ετερογένειας των δεδομένων (ή και της ετερογένειας των ΓΣΠ), διαπιστώθηκε όταν επιχειρήθηκε εφαρμογή του λογισμικού *GeoSeism* σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης μιας πόλης. Δηλαδή, όταν έπρεπε να χρησιμοποιήσει με αυτοματοποιημένο τρόπο έναν μεγάλο σε όγκο αριθμό δεδομένων - από τη βάση *HelGeoRDaS_uTH*. Διάφορες κενές κυρίως παράμετροι στα Πεδία κάθε Πίνακα είχαν τότε ως αποτέλεσμα η ροή των υπολογισμών κάποτε να διακόπτεται είτε να οδηγείται σε εσφαλμένα αποτελέσματα - τα οποία συνήθως περνούν ακόμη και απαρατήρητα είτε μετακυλίσουν φαινομενικά το λάθος σε κάποιον επόμενο υπολογισμό. Το «πρόβλημα» εντοπίζεται σε διάφορα στάδια από τότε που επιχειρείται εδαφικός χαρακτηρισμός κάθε εδαφικής στρώσης μέχρι και την κατάρτιση μιας λεπτομερούς κατακόρυφης εδαφικής τομής. Κατά συνέπεια, μετακυλιέται και κατά την ανταλλαγή αποτελεσμάτων μεταξύ των διαλειτουργούντων δομικών μονάδων του ΓΣΠ, οπότε η επίτευξη διαλειτουργίας καθίσταται αδύνατη -ακόμη και μεταξύ συμβατών συστημάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται:

Συχνά απουσιάζει σε διάφορες στρώσεις η εδαφική ταξινόμηση, είτε το φαινόμενο ειδικό βάρος, είτε ένα από τα στοιχεία της πλαστικότητας, είτε οι πρώτες επιφανειακές τιμές CPT, είτε τα ποσοστά των διερχόμενων από ορισμένα κόσκινα, κ.λπ. Σε άλλες περιπτώσεις, δεν απουσιάζει μόνον η ζητούμενη παράμετρος (λ.χ. ο εδαφικός χαρακτηρισμός) αλλά και οι παράμετροι από τις οποίες θα μπορούσε αυτήν έμμεσα να εκτιμηθεί (λ.χ. οι κοκκομετρίες για ένα ή περισσότερα από τα κόσκινα, τα όρια πλαστικότητας). Άλλοτε υπεισέρχονται συντακτικές ετερογένειες (στις μονάδες, στους χαρακτήρες, κ.λπ.), είτε κάποιες εδαφικές στρώσεις συνεκτιμώνται εσφαλμένα (λ.χ. οι μηδενικές τιμές Vs στα

ποτάμια και θαλάσσια βάθη ερμηνεύονται εσφαλμένα ως επιφανειακές στρώσεις, κ.λπ.). Μπορεί επίσης να υπεισέρχονται τυχαία σφάλματα πληκτρολόγησης, είτε κοινοί είτε δύσκολοι όροι αλφαριθμητικών χαρακτήρων, είτε η απουσία ενός δεδομένου να καθιστά εννοιολογικά ασαφή και τα υπόλοιπα δεδομένα (λ.χ., απουσιάζει μια γεωλογική περιγραφή, ή είναι ασαφής ή είναι κενή η παράμετρος του εδαφικού χαρακτηρισμού και λείπει και μια βασική κοκκομετρία). Πρόκειται για σημασιολογικής φύσης προβλήματα όπου τα δεδομένα ερμηνεύονται εσφαλμένα και οδηγούν σε διακοπή μιας υπολογιστικής διαδικασίας είτε σε μηδενικά αποτελέσματα είτε σε ελλιπή αποτελέσματα είτε και σε μη αντιληπτά σφάλματα στα ενδιάμεσα αποτελέσματα. Μέσα από την αυτοματοποιημένη διαχείριση μεγάλου πλήθους δεδομένων, παρατηρήθηκαν πολλές τέτοιες περιπτώσεις.

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα των παραπάνω προβλημάτων είναι η αδυναμία μετάδοσης ορθής σημασίας μέσα από τα δεδομένα. Κατ' επέκταση, η αδυναμία αυτοματοποίησης είτε η αυτοματοποίηση με κόστος να μένει αχρησιμοποίητο μεγάλο μέρος αποθηκευμένων δεδομένων (περιορισμένη παραγωγικότητα). Στην πρώτη περίπτωση, ο χρήστης του λογισμικού, και γενικά ο χρήστης της πληροφορίας μιας βάσης, υποχρεώνεται να αναλώνει ανυπολόγιστο χρόνο για παρεμβάσεις, ρυθμίσεις και καθυστερήσεις, ενώ επιβαρύνεται και το ίδιο το υπολογιστικό σύστημα. Στη δεύτερη περίπτωση, η διαλειτουργικότητα καθίσταται προβληματική επειδή ο κώδικας μιας υπολογιστικής διαδικασίας δεν κατανοεί πάντοτε σωστά πώς να χρησιμοποιήσει τα Δεδομένα που έλαβε. Ως εκ τούτου, ένα τουλάχιστον σημαντικό ποσό Δεδομένων αποβαίνει ανεκμετάλλευτο ακόμη κι όταν αρχικά υπάρχει μεγάλη διαθέσιμη ποσότητα. Σε αντίστοιχο αποτέλεσμα καταλήγουν και οι μακρές διαδικασίες που επαναλαμβάνονται σε κάθε διαλειτουργούσα μονάδα ενώ θα ήταν συμφερότερο να εκτελούνται μόνον μια φορά (π.χ., ο σχεδιασμός των τριών τύπων εδαφικών προφίλ του Σχήματος 5.2.5.3). Τα προβλήματα εννοιολογικής ετερογένειας έχουν άμεση σχέση με τη διαφορά εξέλιξης της πληροφορίας. Με άλλα λόγια, η μη κατανοήσιμη για τα ΓΣΠ πληροφορία, η οποία δηλαδή δεν είναι ολοκληρωμένη και ερμηνευμένη (εκφρασμένη) σωστά, περιορίζει την **παραγωγικότητα** των αποθηκευμένων δεδομένων.

Ο λόγος που δεν επιλύονται πιο αποτελεσματικά τα παραπάνω προβλήματα είναι η έλλειψη μιας ειδικευμένης μεθοδολογίας. Δεν είναι εύκολο για τα λογισμικά που χρησιμοποιούν δεδομένα μέσω των ΓΣΠ για άλλους σκοπούς, να αναπτύσσουν και επιπλέον μεθοδολογία για τη λεπτομερή και εξαντλητική επεξεργασία των δεδομένων που εισάγουν. Πρέπει τα εισαγόμενα δεδομένα να παράγουν εύκολα πληροφορία ολοκληρωμένη, παραγωγική και αυτοματοποιημένη. Ειδικά όταν ανταλλάσσονται μεταξύ διαλειτουργούντων ΓΣΠ. Οι δε επαναλαμβανόμενες διαδικασίες να οργανώνονται σε ένα αυτόνομο διαλειτουργικό πρόγραμμα - αντί να υπολογίζονται ξεχωριστά σε καθένα από τα διαλειτουργούντα συστήματα και μάλιστα πολλαπλές φορές στο κάθε σύστημα. Το διαλειτουργικό αυτό πρόγραμμα να παρέχει έτοιμες τις Πληροφορίες, απευθείας είτε μέσα από τον Παγκόσμιο Ιστό. Τον ρόλο τέτοιου ειδικευμένου προγράμματος προτείνεται να αναλάβει ο Σημασιολογικός Διερμηνέας.

Από όλους τους παραπάνω προσδιορισμούς του προβλήματος, γίνεται κατανοητός ο λόγος που επιλέγηκαν συγκεκριμένες λύσεις για τον σχεδιασμό του *GeoSeism*. Εξασφαλίζουν τη δυνατότητα να παρακολουθεί την εξέλιξη της τεχνολογίας, να ενημερώνεται με δεδομένα και με μοντέλα, και να εφαρμόζεται σε επίπεδο μικροζωνικής μελέτης πόλεων. Οι συγκεκριμένες λύσεις είναι:

Κατά πρώτον, αναπτύχθηκε μια αυτόνομη μονάδα σε ρόλο Σημασιολογικού Διερμηνέα, προκειμένου να παρέχει τη ζητούμενη ολοκληρωμένη εδαφική πληροφορία και, αναγκαστικά, να ξεπερνά και τα παραπάνω προβλήματα κατά την ενσωμάτωση Δεδομένων (και Πληροφορίας).

Κατά δεύτερον, επειδή η παρατηρούμενη σημασιολογική ετερογένεια μεταξύ των διαφόρων ΓΣΠ αποδίδεται ουσιαστικά στην πολυπλοκότητα του γεωγραφικού χώρου και στις διαφορετικές αντιλήψεις που υπάρχουν για αυτόν, σχεδιάστηκε με δομή διαλειτουργικού ΓΣΠ. Τη θέση των αλληλοσυνεργαζόμενων λογισμικών και γεωγραφικών βάσεων είναι δυνατόν στο μέλλον να αντικαταστήσει οποιαδήποτε σχετική υπηρεσία του Ιστού είτε άλλη υπερ-βάση (λ.χ. διαμοίραση δεδομένων μέσω των μεγάλων ΓΣΠ των κρατικών υπηρεσιών).

5.2.4 Γενική ιδέα του Σημαιολογικού Διερμηνέα και γεωτεχνικός διερμηνέας «Πυθία»

Η γενική ιδέα του Σημαιολογικού Διερμηνέα αποβλέπει σε μια εξελιγμένη γενιά διαλειτουργικών ΓΣΠ όπου να είναι δυνατή η εικονική περιήγηση στο γήινο περιβάλλον με ταυτόχρονη δυνατότητα προβολής του υπεδάφους (Σχ. 5.2.4.1). Η προβολή να γίνεται σε μορφή εδαφικών τομών κατάλληλων για τις ανάγκες των Μηχανικών. Δηλαδή, να περιλαμβάνει γεωτεχνικού ενδιαφέροντος πληροφορία, η οποία να παρέχεται διαδραστικά, λεπτομερώς, ψηφιακά, και αυτοματοποιημένα. Ως εκ τούτου, δεν θα επιβαρύνεται το σύστημα ούτε θα υποχρεώνεται να παρεμβαίνει ο χρήστης στα αναμενόμενα να ανακύψουν προβλήματα εύρεσης, ενσωμάτωσης και παραμετροποίησης. Ούτε θα είναι αναγκαίο να έχει την επιστημονική εμπειρία, τη γνώση και την ενημέρωση που κατά περίπτωση απαιτείται προκειμένου να αυτενεργεί ο χρήστης της Πληροφορίας (άνθρωποι είτε μηχανές άντλησης δεδομένων, Ίντερνετ των Πραγμάτων, κ.λπ.) επιτελώντας υπολογισμούς.

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 5.2.4.1, κάθε επιλεγμένη τομή (δεξιά) συνοδεύουν αναδιπλούμενοι πίνακες με λεπτομερή ψηφιακή πληροφορία των εδαφικών συνθηκών (κάτω αριστερά), κατάλληλη για τις εφαρμογές της Γεωτεχνικής Μηχανικής και των Μικροζωνικών Μελετών.



Σχήμα 5.2.4.1 Πρόταση της Διατριβής: Προβολή επιλεγμένων εδαφικών τομών στον Ιστό με τη συμβολή του Σημαιολογικού Διερμηνέα.

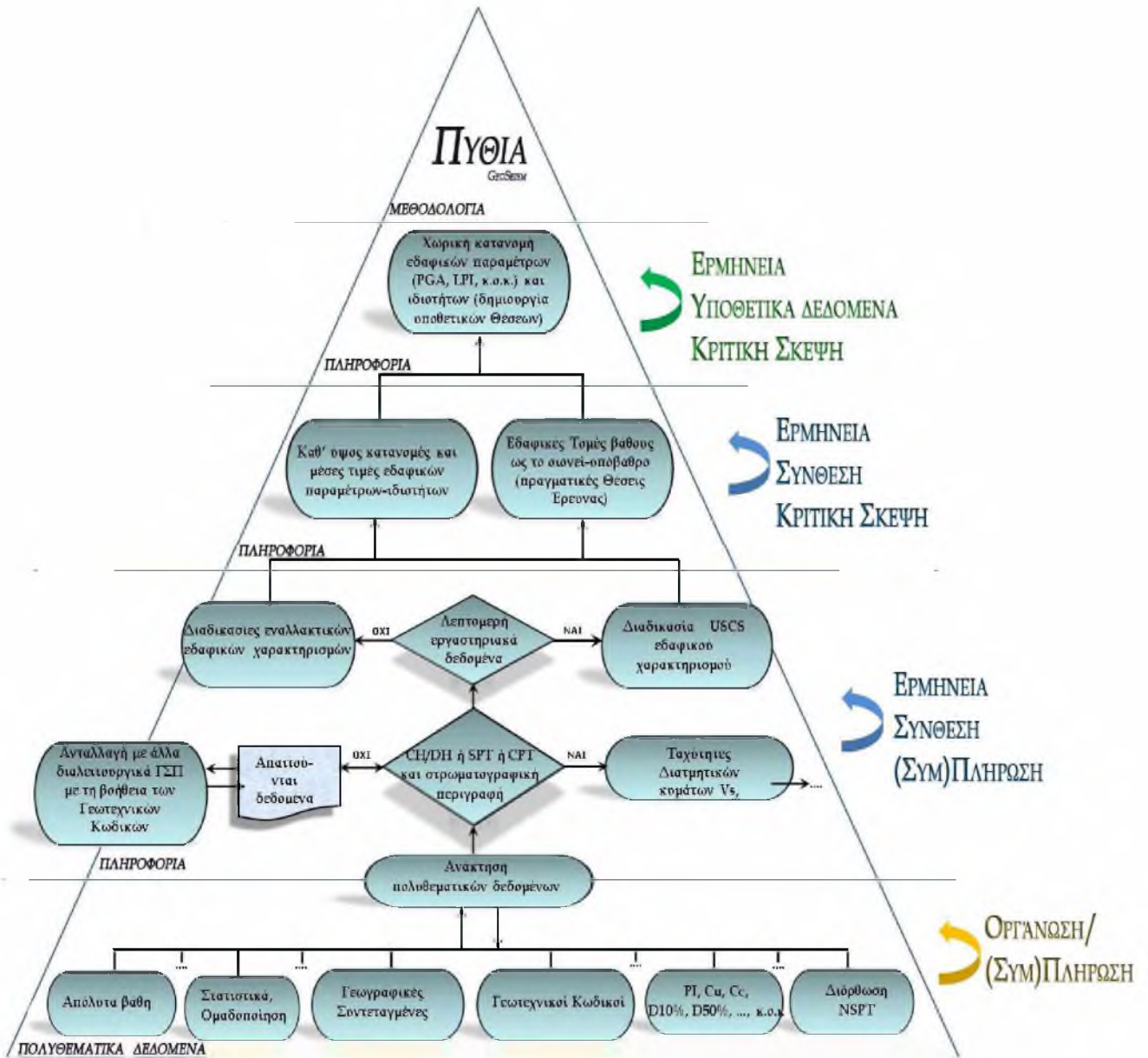
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Εν κατακλείδι:

Ο «**Σημασιολογικός Διερμηνέας**» (ΣΔ) (semantic interpreter) προτείνεται από την παρούσα έρευνα, να αποτελέσει μια νέα κατηγορία επεξεργαστών δεδομένων ειδικά για ΓΣΠ, οι οποίοι να βοηθούν στον αυτοματοποιημένο και ολοκληρωμένο προσδιορισμό (γνώση) των εδαφικών συνθηκών. Δηλαδή, να επεξεργάζονται τα πολυθεματικά Δεδομένα συνθέτοντας ή και ερμηνεύοντας νοηματικά σύνολα, τα οποία να έχουν ολοκληρωμένο νόημα (Πληροφορία) για έναν συγκεκριμένο σκοπό, στις εφαρμογές των Μηχανικών. Επειδή η συγκεκριμένη γνώση (τεχνογνωσία) μπορεί να παρέχεται μαζί με τις πληροφορίες, στον πηγαίο κώδικα της μεθοδολογίας είτε στα μεταδεδομένα, **η μεθοδολογία επομένως του Σημασιολογικού Διερμηνέα ειδικά για τα ΓΣΠ πρέπει να θεωρείται ως ιεραρχικό επίπεδο Γνώσης** (Σχ. 5.2.4.2).

Ο ΣΔ περιλαμβάνει έναν αλγόριθμο είτε μια συλλογή από αλγόριθμους σε ρόλο υπηρεσίας του Σημασιολογικού Ιστού είτε σε ρόλο διαμεσολαβητή («proxy contexts»), ανάμεσα σε διαλειτουργικά ΓΣΠ είτε μεταξύ μιας οποιασδήποτε Βάσης διαχείρισης Δεδομένων κι ενός αποδέκτη (λ.χ. ένα λογισμικό). Ο ρόλος του είναι να δίνει απαντήσεις, δηλαδή έτοιμη εδαφική πληροφορία, και να διευκολύνει τη διαμοίραση πληροφορίας τόσο εντός όσο και διασυστημικά.

Μια πρώτη εφαρμογή του ΣΔ αποτελεί το υπο-πρόγραμμα του *GeoSeism* με το ακρωνύμιο **Πυθία**. Επιχειρεί ειδικά τη γεωτεχνική ερμηνεία των αποθηκευμένων Δεδομένων. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία του (Ενοτ. 5.2.5), στην οποία φυσικά προβλέπονται επεκτάσεις και βελτιώσεις. Δεν επιδιώκει να είναι ένας επεξεργαστής γεωχωρικών δεδομένων ο οποίος να απασχολείται με τυπικές λειτουργίες διαχειριστικού και στατιστικού χαρακτήρα. Απεναντίας, επιδιώκει να δώσει συγκεκριμένη **νοηματική αξία στα αποθηκευμένα Δεδομένα μιας Βάσης**, για τους συγκεκριμένους σκοπούς. Δηλαδή, προκειμένου να είναι δυνατή η εκτίμηση της επίδρασης των εδαφικών συνθηκών στις ΑΣΕΑ και στους σχετικούς ελέγχους (κινδύνου ρευστοποίησης, τρωτότητας υποδομών, και συναφών) στο πλαίσιο των μικροζωνικών μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας.



Σχήμα 5.2.4.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία πάνω στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί ο σημασιολογικός διερμηνέας. Συμβάλλει στη διάχυση αυτοματοποιημένης και λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες μέσα από τα ΓΣΠ.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

5.2.5 Μεθοδολογία

Στο ροϊκό διάγραμμα (Σχ. 5.2.4.2) παρουσιάζεται το γενικό μοντέλο πάνω στο οποίο αν επεκτείνεται η μεθοδολογία του σημασιολογικού διερμηνέα τότε θα δίνει μέσα από τα ΓΣΠ την πληροφορία ακριβώς που χρειάζονται οι γεωτεχνικοί πολιτικοί μηχανικοί. Μπορεί να περιλάβει οποιαδήποτε διαδικασία παράγει νέα πληροφορία σχετική με τις εδαφικές συνθήκες. Η διαδικασία να επιτελεί υπολογισμούς είτε να ανταλλάσει πληροφορία ή και δεδομένα με άλλα πληροφοριακά συστήματα (δυνατότητα που διαθέτουν τα διαλειτουργικά ΓΣΠ).

Ο μέχρι στιγμής υλοποιημένος κώδικας της *Pythias* του *GeoSeism* περιλαμβάνει εκείνες τις διαδικασίες του εν λόγω διαγράμματος, οι οποίες δεν υλοποιούν ακόμη αυτομάτως χωρική κατανομή (ανώτατο επίπεδο) αλλά μόνον επεξεργάζονται (αναλύουν)² χωρικά δεδομένα (και πληροφορία) σχετικά με τις πραγματικές Θέσεις Έρευνας. Προκειμένου να τηρούνται και περιορισμοί συνεργασίας, π.χ. να μένουν άθικτα τα πρωτογενή δεδομένα της *HelGeoRDaS_uTH* (και κάθε όμοιας εξωτερικής βάσης), οι αμφίδρομες επικοινωνίες ρυθμίστηκε να επιτρέπονται μόνον μέσα στην κεντρική διαχειριστική βάση *Καλλιπάτειρα*. Επιτρέπονται δηλαδή μόνον μεταξύ των υποπρογραμμάτων, τα οποία στο πρότυπο σύστημα *GeoSeism* υπέχουν θέση διαλειτουργούντων ΓΣΠ.

Α) ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΥΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ή ΠΡΩΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ σε Βάση):
Οι διαδικασίες που αναπτύχθηκαν αφορούν συμπλήρωση και οργάνωση των πρωτογενών δεδομένων στη βάση. Αυτές, είναι:

- (α) επανυπολογισμός των βαθών με βάση τα απόλυτα υψόμετρα,
- (β) ομαδοποιήσεις και επισήμανση των διδυμων γεωτρήσεων,
- (γ) διόρθωση του αριθμού των κτύπων (N_{SPT}) για τη διείσδυση του δειγματολήπτη της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (SPT - Terzaghi) και η αντικατάσταση των αλφαριθμητικών τιμών τους με αριθμητικές,
- (δ) υπολογισμοί σχετικοί με τα εργαστηριακά δεδομένα, δηλαδή, ο υπολογισμός του συντελεστή ομοιομορφίας (C_u), του συντελεστή καμπυλότητας (C_c), της διαμέτρου κόκκων σε διάφορα ποσοστά διερχόμενων (10%, 30%, 50% και 60%), κ.ά.

Η διόρθωση των τιμών (αριθμός κρούσεων) των μετρήσεων της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης (SPT - Terzaghi) γίνεται με σχέσεις που αναπτύχθηκαν για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Το πρώτο από τα τρία τμήματα προχώρησης των 15 cm απορρίπτεται καθώς θεωρείται ότι είναι υλικό διαταραγμένο από τη διαδικασία διάτρησης ή είναι υλικό το οποίο κατέπεσε από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης. Η γενική έκφραση της πρωτογενούς τιμής N_{SPT} (η οποία μετράται κατά την εκτέλεση της επιτόπου δοκιμής) διορθώνεται στην τιμή N_{SPT1} σύμφωνα με τη σχέση (για $N_{SPT} < 50$):

$$N_{SPT} = \delta\delta - \gamma\gamma - \beta\beta/\alpha\alpha \rightarrow N_{SPT1} = \gamma\gamma \cdot 15/15 + \beta\beta \cdot 15/\alpha\alpha \quad (5.2.5.1)$$

² Η έννοια «επεξεργασία» για τον Σημασιολογικό Διερμηνέα συμπεριλαμβάνει την «ανάλυση».

Όπου οι παράμετροι δδ και γγ αντιστοιχούν στις τιμές του αριθμού των κτύπων για τα πρώτα και δεύτερα 15 cm της συνολικής διείσδυσης, ενώ η παράμετρος ββ στον αριθμό των κτύπων για τα εναπομένοντα αα cm της συνολικής διείσδυσης. Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οι τιμές διορθώνονται λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση του νερού στη στήλη εκτέλεσης της δοκιμής, με την εμπειρική σχέση (για $N_{SPT1} > 15$):

$$N_{SPT1'} = 15 + \frac{1}{2} (N_{SPT1} - 15) \quad (5.2.5.2)$$

Διόρθωση των CPT δεν προβλέπεται. Οι παράμετροι των μετρούμενων τιμών q_c (αντίσταση αιχμής κώνου του πενετρομέτρου) και f_s (πλευρική τριβή του πενετρομέτρου), διορθώνονται απλώς ως προς τυχόν σφάλματα και ως προς τις μονάδες μέτρησης.

Στο ίδιο επίπεδο εντάσσονται και εργασίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα (κατά την εφαρμογή σε επίπεδο πόλης, Κεφ. 7) αλλά δεν επιτελούνται μέχρι στιγμής αυτοματοποιημένα. Αυτές, είναι: ο ορισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων σε κοινό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, ο ορισμός και η σχεσιακή σύνδεση των γεωτεχνικών κωδικών, και κάποιες ακόμη.

B) ΔΕΥΤΕΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ: Οι κυριότερες διαδικασίες που αναπτύχθηκαν στον κώδικα και επιτελούνται αυτοματοποιημένα είναι:

- (α) Εδαφικός χαρακτηρισμός των εδαφικών υποστρώσεων με βάση εργαστηριακά δεδομένα και τα κριτήρια του ευρέως γνωστού ενοποιημένου συστήματος εδαφικής ταξινόμησης USCS (Unified Soil Classification System) (Σχ. 5.2.5.1). Η διαδικασία αφορά σύνθεση δεδομένων.
- (β) Εναλλακτικοί εδαφικοί χαρακτηρισμοί, όταν λόγω ανεπάρκειας δεδομένων δεν επιτυγχάνεται ο πρώτος εδαφικός χαρακτηρισμός (ενδεικτικά Σχ. 5.2.5.2).

Εδαφικός Χαρακτηρισμός με βάση τους Λιθολογικούς Κωδικούς (Ενοτ. 4.2.2.4). Κάθε Κωδικός ορίζεται με βάση την τεχνικο-γεωλογική εδαφική περιγραφή (αν υπάρχει). Η διαδικασία αφορά σύνθεση και ερμηνεία πληροφορίας.

Εδαφικός Χαρακτηρισμός με λεκτική ανίχνευση της τεχνικο-γεωλογικής περιγραφής (λέξη επί λέξη σάρωση των φράσεων). Εξυπηρετεί στον αυτόματο ορισμό Λιθολογικών Κωδικών. Είναι μακρά διαδικασία (μορφής «If - End If»). Θα έπρεπε ίσως να εκσυγχρονιστεί με τις μηχανές αναζήτησης που επινοήθηκαν στα μεταξύ χρόνια από Μηχανικούς των Υπολογιστών.

- (γ) Επιλογή κατάλληλης καμπύλης μεταβολής των δυναμικών εδαφικών ιδιοτήτων (για την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση), με βάση τον εδαφικό χαρακτηρισμό και την πλαστικότητα του εδαφικού υλικού (Σχ. 5.2.5.2, καμπύλες Σχ. 5.1.5). Η διαδικασία αφορά ερμηνεία πληροφορίας.
- (δ) Προσδιορισμός διάφορων μηχανικών παραμέτρων, όπως είναι: η γωνία τριβής ϕ^0 (για αμμώδη εδάφη), και η αστράγγιστη διατμητική αντοχή (για αργιλικά εδάφη), κ.λπ., με βάση τους προηγούμενως διορθωμένους αριθμούς κτύπων NSPT.

(ε) Προσδιορισμός της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων (V_s) με βάση τις δοκιμές SPT ή CPT και τον εδαφικό χαρακτηρισμό. Η διαδικασία αφορά σύνθεση δεδομένων και πληροφορίας.

Από την πληθώρα των εμπειρικών σχέσεων και νομογραμμάτων της βιβλιογραφίας, αναπτύχθηκαν σχέσεις (Πιν. 5.2.5.1, Πιν. 5.2.5.2) οι οποίες χρησιμοποιούνται για διάφορους συνδυασμούς τύπων εδάφους. Όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες τις μιας σχέσης, εκεί ο κώδικας εκτιμά τον μέσο όρο τους ως πιο αντιπροσωπευτική τιμή V_s για τη συγκεκριμένη εδαφική στρώση.

Σημειώνεται ότι τα 1Δ εδαφικά προφίλ που δημιουργούνται στο επίπεδο αυτό δεν περιέχουν την πολυθεματική πληροφορία των εδαφικών τομών (του επόμενου επιπέδου).

Πίνακας 5.2.5.1 Οι εμπειρικές σχέσεις που δομήθηκαν στον κώδικα για την εκτίμηση των τιμών V_s με βάση τις μετρήσεις CPT³.

Ερευνητές	Εμπειρική σχέση V_s (m/sec)	Τύπος εδάφους
Hegazy and Mayne (1995)	$V_s = (10.1 \cdot \log q_c - 11.4)^{1.67} \cdot (f_s \cdot 100 / q_c)^{0.3}$	Όλοι οι τύποι εδαφών
Tsiambaos and Sabatakakis (2011)	$V_s = 179 \cdot q_c^{0.394}$ (MPa)	
Mayne and Rix (1995)	$V_s = 1.75 \cdot q_c^{0.627}$ (kPa)	Αργιλικά
Tsiambaos and Sabatakakis, (2011)	$V_s = 176 \cdot q_c^{0.557}$ (MPa)	
Tsiambaos and Sabatakakis, (2011)	$V_s = 194 \cdot q_c^{0.258}$ (MPa)	Αμμώδη

Πίνακας 5.2.5.2 Οι εμπειρικές σχέσεις που δομήθηκαν στον κώδικα για την εκτίμηση των τιμών V_s με βάση τις μετρήσεις SPT (όταν $NSPT1' < 50$)⁴.

Ερευνητές	Εμπειρική σχέση V_s (m/sec)	Τύπος εδάφους
Imai and Tonouchi (1982)	$V_s = \alpha \cdot N_{SPT}^\beta$	Όλοι οι τύποι των εδαφών
Athanasopoulos (1994)		Μη-χαλκώδη Χαλκώδη
Athanasopoulos (1994)		
Athanasopoulos (1994)		

³ Η βάση διαθέτει q_c , f_s σε MPa, ενώ οι σχέσεις όπου δεν διευκρινίζουν εκφράζουν kPa. Όπου q_t (kPa), f_s (kPa), οι ερευνητές αναφέρουν ως «μετρούμενες τιμές» και χωρίς να προβλέπουν περαιτέρω διόρθωση ($q_t - f_s$ μικρή απόκλιση από $q_c - f_s$).

⁴ Όπου N_{SPT} η τελική διορθωμένη τιμή.

Σε τμήματα των δυο παραπάνω διαδικασιών, ο προσδιορισμός των απόντων δεδομένων αναπτύσσεται με κλήση τεχνικών ασαφούς λογικής. Οι διαδικασίες αυτές αξίζει στο μέλλον να επεκταθούν περισσότερο.

(Γ) ΤΡΙΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ: Προς το παρόν αναπτύχθηκε μόνον μια διαδικασία, η οποία ωστόσο είναι μακρά και σύνθετη. Η διαδικασία, είναι:

(α) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ (Σχ. 5.2.5.3): Είναι υπολογιστική διαδικασία. Υποδιαιρείται το έδαφος σε λεπτές στρώσεις και υποστρώσεις. Οι στρώσεις ορίζονται με βάση την γεωλογική περιγραφή ή τη λιθολογική περιγραφή. Οι υποστρώσεις ορίζονται με βάση τις κατά βάθος δειγματοληψίες των *in situ* δοκιμών (SPT, CPT, CH/DH). Όπου διαπιστώνονται αλλαγές υλικού με βάση τις διαδοχικές εργαστηριακές δειγματοληψίες, εκλαμβάνονται επιπλέον εδαφικές υποδιαιρέσεις. Το συνολικό βάθος της εδαφικής τομής ανέρχεται στο συνολικό πάχος της εδαφικής απόθεσης μέχρι το οιονει-υπόβαθρο. Προεκτείνεται (νοητά) ο κατώτερος εδαφικός σχηματισμός μέχρι το βάθος αυτό.

Η εδαφική τομή στο στάδιο αυτό δεν είναι ένα απλό 1D προφίλ. Μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά λεπτομερή χαρτογραφική απεικόνιση. Περιλαμβάνει πολυθεματική πληροφορία για κάθε εδαφική στρώση (και υποστρώση). Προέκυψε με σύνθεση της γεωλογικής με τη γεωτεχνική και τη γεωφυσική πληροφορία. Χρησιμοποιούνται δηλαδή όλα τα πολυθεματικά δεδομένα και η πληροφορία της βάσης (υδρολογικά, τοπογραφικά, εργαστηριακά, κ.λπ.). Στα ΓΣΠ οι εδαφικές στρώσεις θα μπορούσαν να ορισθούν ως τοπολογίες. Στον σημασιολογικό ιστό τα δεδομένα κάθε στρώσης θα μπορούσαν να ανακτώνται ως διασυνδεδεμένα πρότυπα (Ενοτ. 2.2.5). Στις υποστρώσεις στις οποίες απουσιάζουν εργαστηριακά ή και άλλα δεδομένα γίνεται και ερμηνεία των υπάρχοντων είτε της πλησιέστερης πληροφορίας της ίδιας γεωλογικής στρώσης. Στη διαδικασία αυτή βοηθούν σημαντικά οι Γεωτεχνικοί Κωδικοί. Για τον σχεδιασμό γενικώς αναπτύχθηκαν και δοκιμάζονται διάφορα μοντέλα (ενδεικτικός σχεδιασμός τομής στον Πιν. 7.2.1.1).

(β) Άλλες υπολογιστικές διαδικασίες οι οποίες αναπτύχθηκαν, διατηρούνται απενεργοποιημένες. Ο λόγος είναι ότι είναι απλουστευμένες, αργούν το πρόγραμμα και οι στόχοι τους καλύπτονται από την ακρίβεια των αντίστοιχων υπολογισμών που γίνονται μέσα στην ισοδύναμη γραμμική ανάλυση⁵.

Μέχρι και το δεύτερο επίπεδο εξέλιξης, η Πληροφορία που παράγεται θεωρείται αντικειμενική, δηλαδή αντικειμενικά επεξεργασμένη. Από εδώ και πάνω η Πληροφορία που παράγεται θεωρείται «σχεδιασμένη» διότι υπεισέρχονται σε αυτήν σημαντικές προσεγγίσεις.

⁵ Τέτοιες διαδικασίες είναι:

- (α) Εκτίμηση της μέσης τιμής των εδαφικών ιδιοτήτων σε κάθε εδαφική στήλη. Απαιτεί εξαντλητική στατιστική διεργασία.
- (β) Εκτίμηση της μέσης εδαφικής ιδιοπεριόδου με βάση τη μέση τιμή ταχύτητας διατμητικών κυμάτων και με βάση την απλοποιημένη μέθοδο Rayleigh (Biggs, 1965).
- (γ) Εκτίμηση της καθ' ύψος μεταβολής των εδαφικών παραμέτρων και των εδαφικών ιδιοτήτων.

(Δ) ΤΕΤΑΡΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ: Έχει εξασφαλιστεί η απαραίτητη υποδομή ώστε να αναπτυχθούν μελλοντικά οι διαδικασίες που προϋποθέτουν χωρική ανάλυση. Τέτοιες διαδικασίες θα ενδιέφερε να επιτελούν χωρική μεταβολή διάφορων εδαφικών παραμέτρων και εδαφικών ιδιοτήτων. Στη διαδικασία αυτή θα δημιουργούνται νέα δεδομένα, με εφαρμογή των τεχνικών παρεμβολής και χαρτογράφησης (Σχ. 2.3.1.2, Σχ. 2.3.1.3).

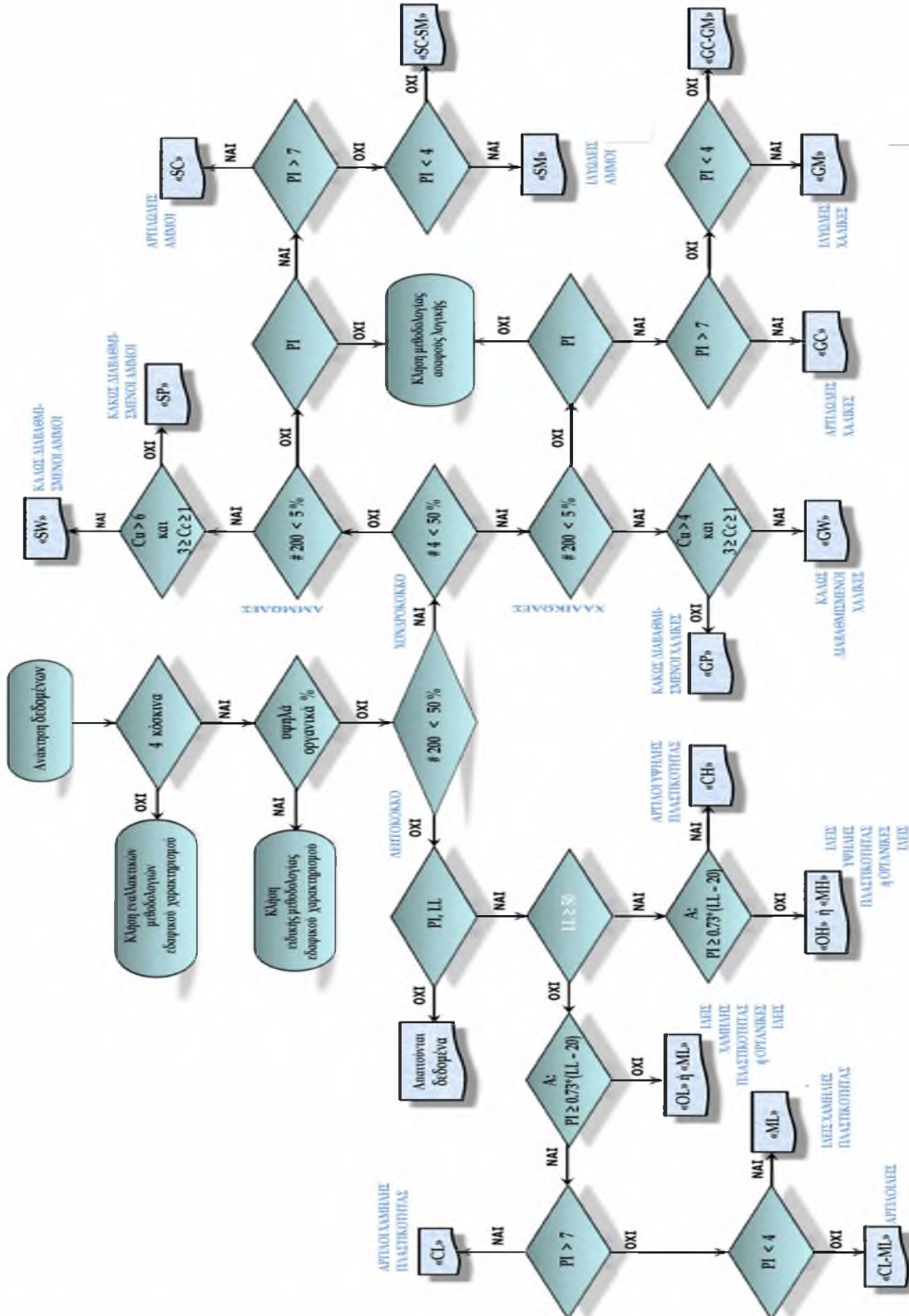
Σημειώνεται ότι οι **Γεωτεχνικοί Κωδικοί**⁶ (Ενοτ. 4.3.2) έχουν ιδιαίτερο ρόλο στην παραπάνω μεθοδολογία του Σημασιολογικού Διερμηνέα (λ.χ. κριτήριο των ερωτημάτων SQL, κριτήριο ταξινόμησης), όπως έχουν και στην οργάνωση των δεδομένων εντός της γεωγραφικής βάσης (*HelGeoRDaS_uTH*) και στην ψηφιακή απεικόνιση των εδαφικών συνθηκών.

Όπως εξηγήθηκε στην Ενότητα 2.3.1 και στην Ενότητα 4.3.2, οι Γεωτεχνικοί Κωδικοί αναπτύχθηκαν ως σχεσιακά κλειδιά που δίνουν τοπολογική ταυτότητα σε κάθε εδαφική στρώση και ταυτόχρονα διασυνδέουν τα γεωτεχνικά με τα γεωλογικά, τα γεωφυσικά, τα εργαστηριακά και τα υδρολογικά δεδομένα. Κάθε Κωδικός αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη εδαφική στρώση και λειτουργεί ως σχεσιακό κλειδί με το οποίο ανακτώνται τα δεδομένα που αναφέρονται στην ίδια στρώση.

Το μοντέλο αυτό εξασφαλίζει τη δυνατότητα ανάκτησης χωρικών δεδομένων τόσο στο εσωτερικό του συστήματος όσο και διασυστηματικά - κατά τις αμφίδρομες λήψεις αποτελεσμάτων μεταξύ των υποπρογραμμάτων.

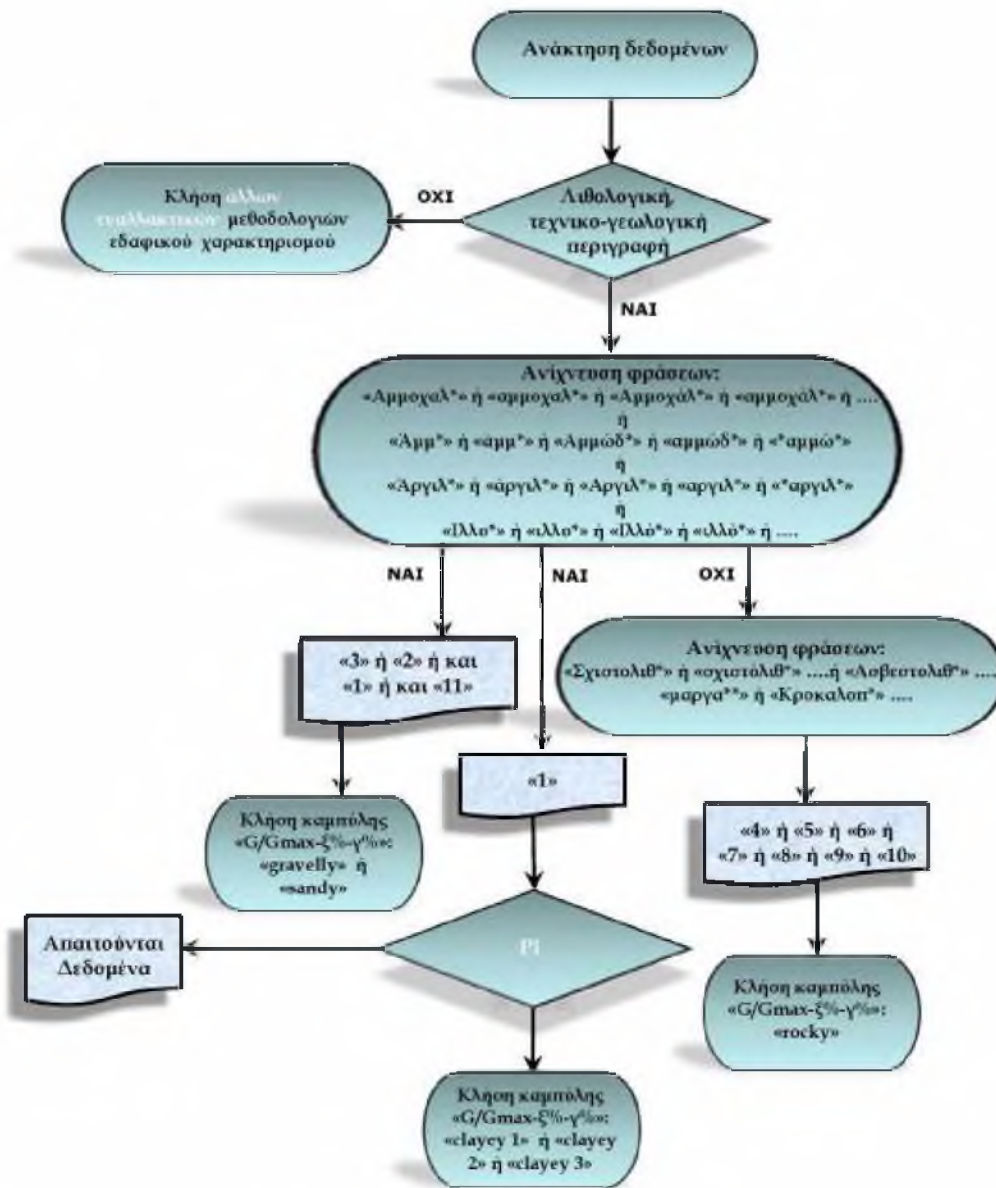
Το αυτό διαπιστώνει η έρευνα και προτείνει να επεκταθεί η δυνατότητα αυτή ακόμη περισσότερο, περιλαμβάνοντας επίσης δίκτυα εξωτερικών παρόχων γεωχωρικής πληροφορίας. Με τον τρόπο αυτό, οι εδαφικές (υπο)στρώσεις και οι εδαφικές τομές που προσδιορίζει ο Διερμηνέας θα μπορούν να ορίζουν έναν συνεχή τοπολογικό χώρο. Η σκέψη αυτή έχει άλλωστε φυσική σημασία, επειδή στα εδαφικά και γεωλογικά στρώματα είναι δυνατή η οντολογική συνέχεια ανεξάρτητα της φυσικής εξέλιξής τους στον χώρο. Ένα από τα πλεονεκτήματα επίσης της τοπολογικής θεώρησης θα είναι και η αυτόματη μέσω ΓΣΠ συλλογή εδαφικών δεδομένων (ιδιότητες, παράμετροι) και η εμφάνιση των τοπολογικών δεδομένων του εδάφους (περιλαμβανομένων των εδαφικών αποθέσεων και της επιφανειακής γεωλογίας) κατά τις τρισδιάστατες απεικονίσεις.

⁶ Οι κωδικοποιήσεις στο Σχήμα 5.2.6.2 είναι: (α) οι γεωτεχνικοί κωδικοί της γεώτρησης, (β) της εδαφικής στρώσης, και (γ) της εργαστηριακής δειγματοληψίας.

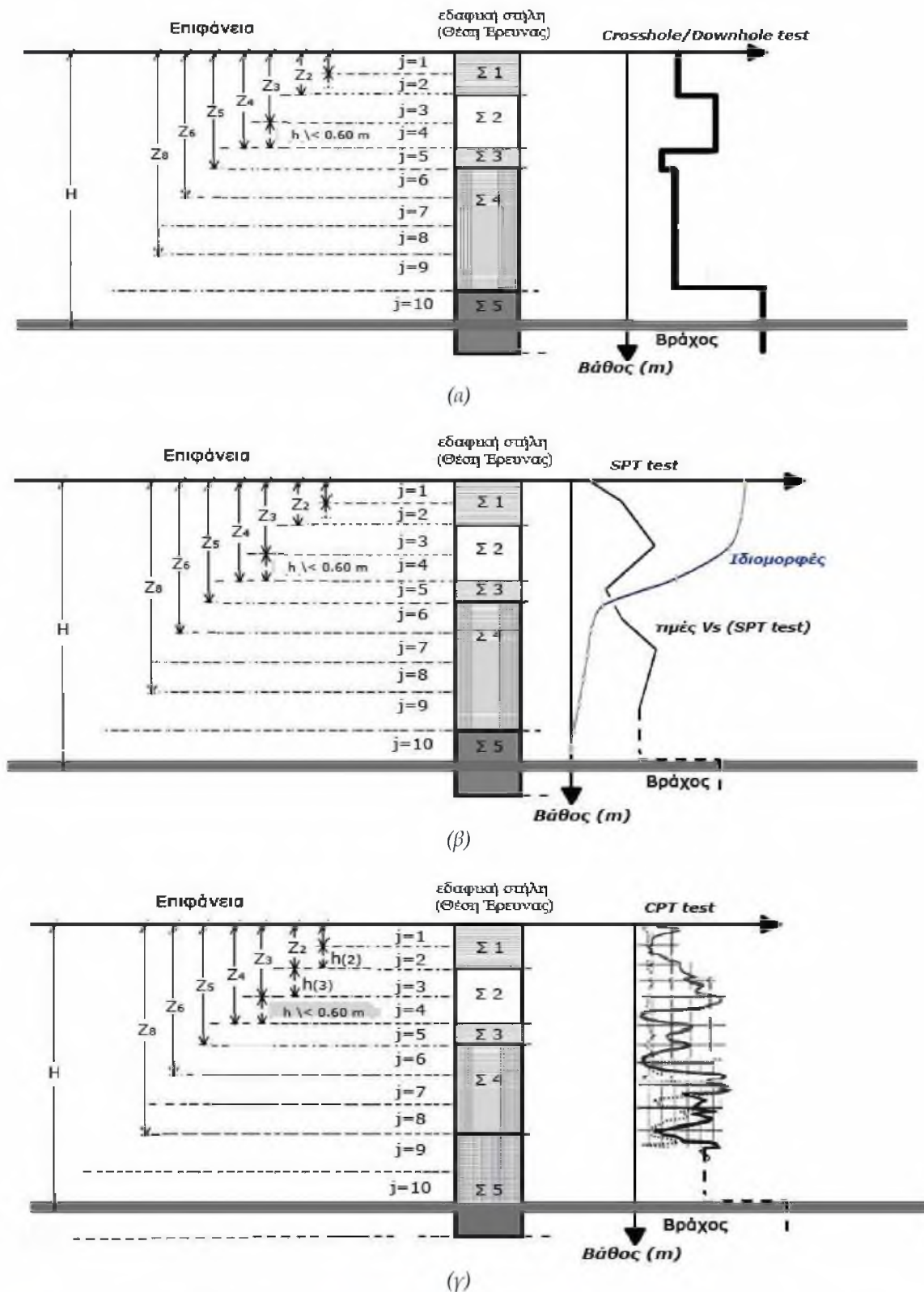


Σχήμα 5.2.5.1 Εδαφικός χαρακτηρισμός με βάση τα κριτήρια του συστήματος κατάταξης εδαφών USCS «Unified Soil Classification System» (GeoSeism, αλγόριθμος υποπρογράμματος Πυθία).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 5.2.5.2 Εναλλακτικός εδαφικός χαρακτηρισμός με βάση τη λιθολογία (Λιθολογικούς Κωδικούς), όταν απουσιάζουν τα κατάλληλα εργαστηριακά δεδομένα, και με στόχο την επιλογή καμπύλης «G/Gmax-ξ%-γ%» του Σχήματος 5.1.5 (GeoSeism, Σημασιολογικός Διερμηνέας Πυθία).



Σχήμα 5.2.5.3 Σχεδιασμός εδαφικών προφίλ για τρεις τύπους επιτόπου δοκιμών:
(α) Crosshole/Downhole, (β) SPT, και (γ) CPT.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

5.2.6 Γνωσιακή εξέλιξη των επιπέδων ΔΙΚW: Σχηματοποιημένα παραδείγματα γεωτεχνικής ερμηνείας των εδαφικών συνθηκών από την Πυθία

Στόχος της ενότητας αυτής είναι να κάνει κατανοητά τα συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν στην Ενότητα 5.2.2, σχετικά με το πώς στα ΓΣΠ γίνεται εργάσιμη η γνωσιακή εξέλιξη των επιπέδων της ιεραρχίας ΔΙΚW ⁷ μέσα από τη μεθοδολογία ενός σημασιολογικού διερμηνέα.

Οι ακόλουθες παρατηρήσεις αναφέρονται στον φυσικό κόσμο, και συγκεκριμένα στις εδαφικές συνθήκες. Τα διαφορετικά εδαφικά βάρη αναπαριστώνται με διαφορετικές εδαφικές στρώσεις. Θέση ΓΣΠ έχει το πρότυπο διαλειτουργικό λογισμικό *GeoSeism*, περιλαμβανομένης της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH* και του πρότυπου Σημασιολογικού Διερμηνέα *Πυθία*.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο ΓΣΠ η εργάσιμη μονάδα κάθε έννοιας στην περιγραφή του φυσικού κόσμου είναι τα Δεδομένα. Ως Δεδομένο θεωρείται κάθε χαρακτηριστικό γνώρισμα του πραγματικού κόσμου με την προϋπόθεση ότι αυτό καταγράφηκε ρητά.

Πράγματι, μια εδαφική στρώση μπορεί να αναπαρασταθεί από το σύνολο των δεδομένων της (Σχ. 5.2.6.1), και εκατοντάδες δεδομένα ακόμη (πολυθεματικά, όμορες οντολογίες, κ.λπ.). Τα εργάσιμα δεδομένα έχουν σύνταξη με μορφή χαρακτήρων είτε αριθμητικών τιμών. Μπορεί να αναφέρονται στις ιδιότητες (φυσικές, μηχανικές, δυναμικές) κάθε στρώσης και στη γεωμετρία της (γεωγραφική θέση, μετρικές και τοπολογικές σχέσεις). Μπορεί να αναφέρονται και στις σχέσεις μεταξύ τους (λ.χ. παρουσία νερού, υπόγειων κατασκευών, στρωματογραφία). Η διαφορά ενός δεδομένου από ένα απλώς εργάσιμο στοιχείο είναι ότι το δεδομένο μπορεί να αποκτήσει σημασιολογία.

2567	G329	20891	12.50	13.00	19.50	0.726	100.00	98.00	89.00	68.00	25.8	44.00	22.00	22	0.152	CL
------	------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	------	-------	-------	----	-------	----

Σχήμα 5.2.6.1 Τα Δεδομένα για τον σημασιολογικό διερμηνέα (Πυθία) είναι γνωρίσματα του πραγματικού κόσμου τα οποία καταγράφηκαν ρητά.

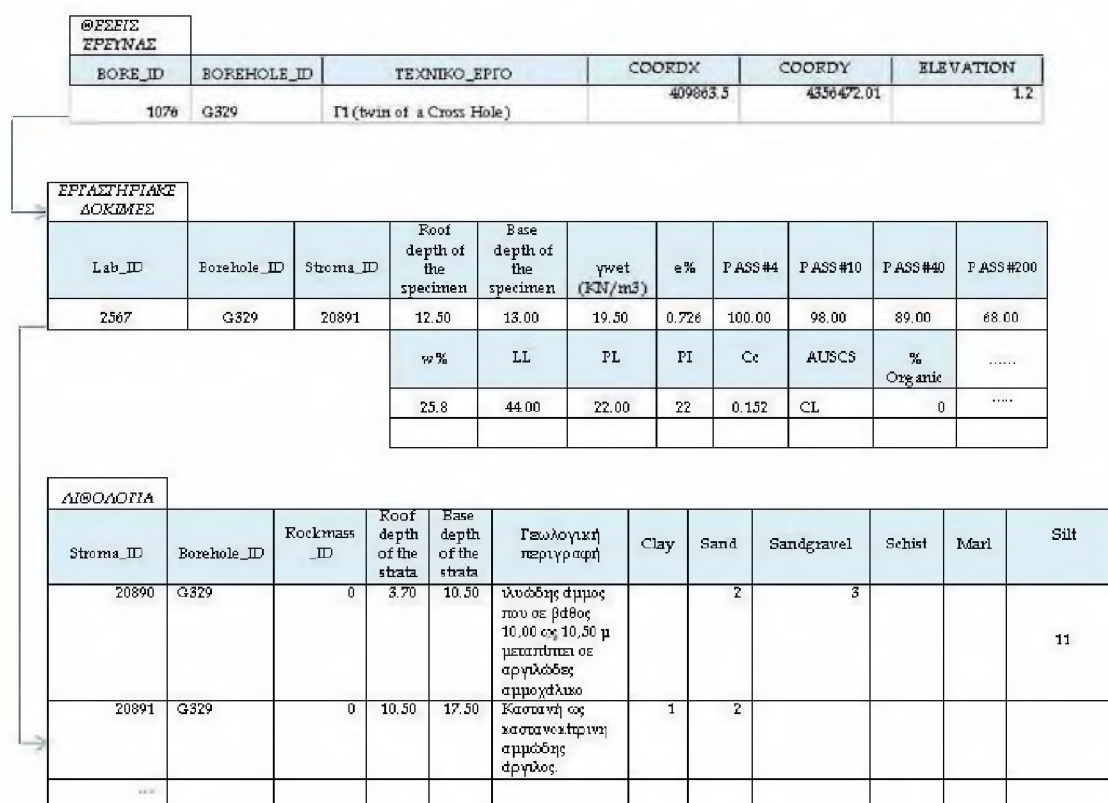
ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΒΑΣΗ ΣΕ ΕΝΑ ΓΣΠ

Η Βάση είναι μια οργανωμένη συλλογή ρητών Δεδομένων. Επομένως, αντιπροσωπεύει τη φυσική αποθήκη διάφορων αναπαραστάσεων (πληροφοριών) του πραγματικού κόσμου. Η οργάνωση των Δεδομένων στη δομή της Βάσης, έδωσε κάποιο νόημα και μετέτρεψε επομένως τα Δεδομένα σε Πληροφορίες. Έτσι, το κάθε Δεδομένο αντιπροσωπεύει και μια Πληροφορία. Κάθε τέτοια Πληροφορία δεν μπορεί να έχει ολοκληρωμένο νόημα. Το νόημα το αποκτά μόνον στο πλαίσιο της Βάσης, όπου διασυνδέεται με μια ή περισσότερες όμοιες Πληροφορίες και διαβαθμίζεται αναλόγως.

⁷ Οι όροι «Δεδομένα», «Πληροφορία», «Γνώση» της ιεραρχίας ΔΙΚW στην ενότητα αυτή έχουν την ίδια σημασία είτε χρησιμοποιούνται με κεφαλαίο είτε με μικρό αρχίγραμμα.

Αντιστοιχεί επομένως στο «πρώτο επίπεδο» της ιεραρχίας DIKW, το οποίο είναι το επίπεδο οργάνωσης των Δεδομένων (παρακάτω θα εντοπιστούν κι άλλα επίπεδα Πληροφορίας).

Πράγματι, στο Σχήμα 5.2.6.2 τα ίδια πιο πάνω Δεδομένα δεν είναι πλέον ασύνδετα μεταξύ τους. Οι τίτλοι των Πεδίων, των Εγγραφών και των Πινάκων καθώς και οι κωδικοποιήσεις προσθέτουν στα Δεδομένα οργάνωση καθώς και συμφραζόμενους προσδιορισμούς ⁸. Οι κωδικοποιήσεις στο ίδιο σχήμα είναι οι γεωτεχνικοί κωδικοί (ταυτότητες): της γεώτρησης, της εδαφικής στρώσης και της εργαστηριακής δειγματοληψίας. Τα Δεδομένα πλαισιώνονται σε Πεδία και Πίνακες και οι Πίνακες διασυνδέονται αλληλοσυμπληρώνοντας Πληροφορία μεταξύ τους. Για παράδειγμα, σύνολα τιμών από διάφορα Πεδία συνδέονται σχεσιακά μέσω των Πινάκων (βλ. τίτλοι Πινάκων: «Θέσεις Έρευνας», «Εργαστηριακές δοκιμές», «Λιθολογία»), συγκροτώντας λεπτομερή Πληροφορία για την εδαφική στρώση η οποία έχει ταυτότητα «20891» (Γεωτεχνικός Κωδικός). Από μόνο του το στοιχείο «20891» δεν έχει νόημα, ούτε μια εγγραφή (γραμμή) ενός Πίνακα μπορεί να εξελιχθεί σε πιο ολοκληρωμένη πληροφορία χωρίς να έχει οργανωθεί με σχεσιακό τρόπο.



Σχήμα 5.2.6.2 Η Βάση του ΓΣΠ είναι μια οργανωμένη συλλογή ρητών Δεδομένων, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει και μια Πληροφορία «πρώτου επιπέδου στην ιεραρχία DIKW.

⁸ Στο συγκεκριμένο παράδειγμα: οι «γεωτεχνικοί κωδικοί», οι «γεωγραφικές συντεταγμένες» -X, -Y σε μια θέση, το «υψόμετρο», κ.ά. του πρώτου Πίνακα συνδέονται σχεσιακά με τις τιμές «βάθος», «βάθος οροφής», «φαινόμενο ειδικό βάρος», «δείκτης κενών», «περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκο υλικό», «φυσική υγρασία», «πλαστικότητα», «εδαφικός χαρακτηρισμός», «κορεσμένη με νερό», «περιγραφή», «χρώμα», κ.ά. στους επόμενους δυο Πίνακες.

ΤΑ ΜΕΤΑΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΤΟΤΕ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ

Το Μεταδεδωμένο κάποιου Δεδομένου δεν είναι Πληροφορία αλλά του προσθέτει κάποια σημασία. Η ομοιότητα επομένως του Δεδομένου με το Μεταδεδωμένο είναι ότι και τα δυο μπορούν να αποτελέσουν βασικά δομικά στοιχεία σημασιολογίας.

Πράγματι, το Μεταδεδωμένο δίνει Πληροφορία για το Δεδομένο. Το μεταδεδωμένο της γεώτρησης «G329» στο Σχήμα 5.2.6.2 είναι ένα στοιχείο του μητρώου «1076» (από μόνη της η τιμή «1076» δεν σημαίνει τίποτα). Για παράδειγμα, πληροφορεί ότι το Δεδομένο είναι αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, οι μετρήσεις είναι στιγμιότυπα χειμερινής περιόδου, τοποθετήθηκε πιεζόμετρο, το μέγεθος του αρχείου, τα δεδομένα είναι διαδοχικά, κ.λπ.

Η ΒΑΣΗ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΓΝΩΣΗ

Η Βάση δεν είναι γνώση διότι δεν αντιπροσωπεύει τη γνώση του ανθρώπου (με την έννοια της επιστημονικής γνώσης). Η Βάση είναι «μόνον» ένα πρώτο επίπεδο Πληροφορίας. Απαιτείται η ανθρώπινη γνώση για να συμπεράνει στην πράξη από ποια δεδομένα προκύπτουν κι άλλες πληροφορίες και ποιες είναι ⁹.

Πράγματι, στο παράδειγμα του Σχήματος 5.2.6.2, η σχεσιακότητα δεν αναπληρώνει πλήρως τη διαδικασία ανάδειξης σχέσεων μεταξύ των Δεδομένων. Για παράδειγμα, δεν συμπεραίνει το αν οι εδαφικές στρώσεις σε σχέση με το περιβάλλον τους είναι λίγο ή πολύ στιφρές, αν κάτω από κάποιες συνθήκες είναι ευπαθείς σε ρευστοποίηση, κ.λπ. Το ίδιο διαπιστώνεται κι από άλλα παραδείγματα.

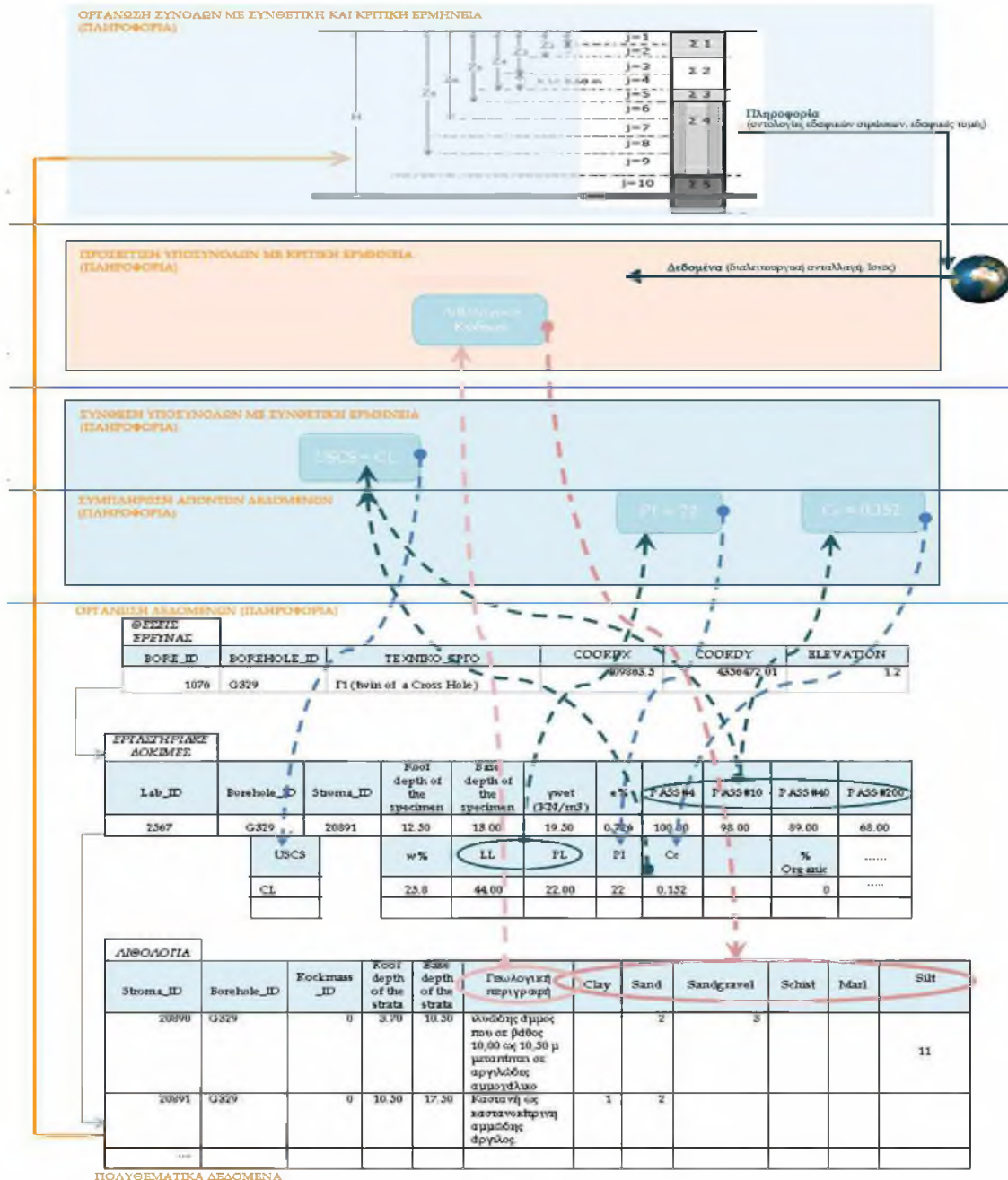
ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΝΑ ΕΞΕΛΙΣΣΕΤΑΙ (ΙΕΡΑΡΧΙΚΑ) ΓΝΩΣΙΑΚΑ

Στο πλήρες ΓΣΠ, η οργάνωση της βάσης εμπλουτίζει τα Δεδομένα με νόημα και σχέσεις μεταξύ τους (πλαίσιο αναφοράς), ενώ το λογισμικό και ο Σημασιολογικός Διερμηνέας παράγουν (υπολογιστικά) νέα πληροφορία από τα δεδομένα. Οι πληροφορίες διαβαθμίζονται με μια πρόσθετη αξία καθώς εξελίσσονται από τα δεδομένα προς τη γνώση. Επομένως, ως Πληροφορία θεωρείται κάθε περιγραφή του κόσμου, η οποία αποτελείται από Δεδομένα τα οποία οργάνωσε και επεξεργάστηκε με την ενέργεια της Γνώσης.

Πράγματι, στο παράδειγμα του Σχήματος 5.2.6.3, υπάρχει πληροφορία πάνω από το επίπεδο της «οργάνωσης δεδομένων» (πρώτο επίπεδο DIKW). Η οργάνωση συνόλων συνθέτει πληροφορία με βάση το πλαίσιο αναφοράς, ενώ η κριτική σκέψη συνθέτει πληροφορία με βάση την «προβλεψιμότητα». Ο Σημασιολογικός Διερμηνέας παράγει πληροφορία που διαβαθμίζεται στα επίπεδα: «σύνθεσης», «κριτικής σκέψης» και «οργάνωσης συνόλων πληροφοριών». Το λογισμικό θα παράξει

⁹ Στα συστήματα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων, η μοντελοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια πινάκων που ορίζουν σχέσεις μεταξύ των δεδομένων, όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4. Σε ορισμένα συστήματα διαχείρισης αντικειμενοστραφών βάσεων δεδομένων, επιτρέπεται η αποθήκευση διαδικασιών για ανάκτηση και επεξεργασία δεδομένων ξεχωριστά από το αποθηκευτικό μέσο που περιέχει τη Βάση.

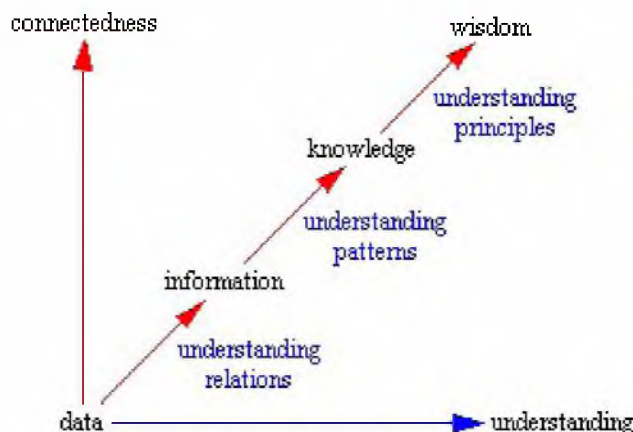
υπεράνω πληροφορία, όπως δείχνει στη συνέχεια το Σχήμα 5.2.6.5. Η Πληροφορία που παράγει ο διερμηνέας δεν είναι ελλιπής, είναι κατά το μέγιστο δυνατό λεπτομερής (ολοκληρωμένη), κι έχει νοηματική αξία η οποία είναι γενικής χρήσης. Η Πληροφορία που θα παράξει στη συνέχεια το λογι-



Σχήμα 5.2.6.3 Διαδοχικά επίπεδα διαμόρφωσης Πληροφοριών από τον σημασιολογικό διερμηνέα. Στόχος εδώ είναι οι λεπτομερείς εδαφικές τομές (στην κορυφή): από τα απλά οργανωμένα πολυθεματικά δεδομένα (κάτω), μέσω κριτικής σκέψης (ερμηνείες σύνθεσης και προσέγγισης) Δεδομένων και Πληροφοριών (τρεις ενδιάμεσες διαβαθμίσεις).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

σμικό θα μπορεί να έχει νοηματική αξία για συγκεκριμένους σκοπούς (υπολογισμούς, συμπεράσματα). Ο κώδικας αντιπροσωπεύει τη «γνώση», η οποία είναι κτήμα των ΓΣΠ. Τα επίπεδα αυτά των πληροφοριών για κάποιους σύγχρονους ερευνητές χαρακτηρίζονται «γνώση» και «σοφία» (Bellinger et al., 2004: Σχ. 5.2.6.4).



Σχήμα 5.2.6.4 Διαδοχικά επίπεδα διαμόρφωσης Πληροφοριών: «Πληροφορία» με βάση την κατανόηση των σχέσεων των δεδομένων, «Γνώση», με βάση την κατανόηση των προτύπων, και «Σοφία» με βάση την κατανόηση των αρχών (Bellinger et al., 2004).

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ Ή ΚΡΙΤΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ

Οι επεξεργασίες (είτε και υπολογιστικές διαδικασίες) παραγωγής Πληροφορίας είναι δυνατόν να είναι συνθετικές είτε προσεγγιστικές. Οι συνθετικές, συνθέτουν ομάδες δεδομένων είτε πιο απλών Πληροφοριών ή και συμπληρώνουν τα πρωτογενή πολυθεματικά (εδαφικά) δεδομένα που ενδεχομένως λείπουν. Οι προσεγγιστικές, επειδή συναντούν αδυναμία στο να συμπληρωθεί κάποια έλλειψη, αναπτύσσουν τεχνικές προσέγγισης αντίστοιχες μιας ανθρώπινης κριτικής σκέψης (λ.χ., με βάση τα συμφραζόμενα δεδομένα, με βαθμούς αλήθειας και ασαφή λογική, με εναλλακτικές πληροφορίες, με παρεμβολή). Και οι δυο τύποι Πληροφορίας επιδιώκουν ολοκληρωμένη πληροφορία η οποία να είναι όσο το δυνατόν σημασιολογικά χρήσιμη για τους μηχανικούς.

Πράγματι, στο Σχήμα 5.2.6.3 ο εδαφικός χαρακτηρισμός είναι μια διαδικασία σύνθεσης πολλών Δεδομένων, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από το παράδειγμα του χαρακτηρισμού με βάση το σύστημα USCS (Σχ. 5.2.5.1). Υπεισέρχονται βέβαια Κρίσεις (λ.χ. ερωτήματα δομής ελέγχου, λήψη απόφασης). Ωστόσο, το αποτέλεσμα είναι μια συνθετική επεξεργασία που μπορεί εύκολα να τυποποιηθεί στον κώδικα του ΓΣΠ, χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία Γνώσης.

Περαιτέρω, η Πληροφορία που παρήχθη είναι μόνον μια τιμή λ.χ. «CL», η οποία ωστόσο κατά τη Γεωτεχνική Μηχανική έχει αρκετά ολοκληρωμένο νόημα (ερμηνεύεται ως «αργιλώδες έδαφος χαμηλής πλαστικότητας»). Στην εδαφική στρώση υπήρχαν σίγουρα κι άλλα υλικά (λ.χ. εναλλαγές, χαλίκια, κ.λπ.) αλλά η μεθοδολογία

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

συμπέρανε ότι αυτός ο χαρακτηρισμός είναι ο κατάλληλος. Πάντως, η τιμή «CL» είναι Πληροφορία ισοδύναμη με ένα μεγαλύτερο σύνολο πολυθεματικών δεδομένων, είτε αρχικά ασύνδετων (λ.χ. τα δεδομένα κοκκομετρίας) είτε πρωτοβαθμώς επεξεργασμένων (λ.χ. συντελεστές καμπυλότητας C_c , δείκτης πλαστικότητας PI , κ.λπ.).

Η ίδια διαδικασία πέραν από σύνθεση θα κάνει και προσεγγίσεις (λ.χ. κλήση μεθοδολογιών εναλλακτικού χαρακτηρισμού, κλήση μεθοδολογιών ασαφούς λογικής) μόνον όπου συναντήσει αδυναμία να προχωρήσει. Για τους ίδιους λόγους ο εναλλακτικός εδαφικός χαρακτηρισμός (ένα παράδειγμα τέτοιου παρατίθεται στο Σχ. 5.2.5.2) είναι μια διαδικασία δημιουργίας Πληροφορίας με προσέγγιση (κριτική σκέψη). Στην πρώτη περίπτωση, τα Δεδομένα είναι επαρκή για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία (Σχ. 5.2.5.1) και ως εκ τούτου διαμορφώνεται η νέα Πληροφορία «CL» η οποία είναι ολοκληρωμένη και απολύτως «ισοδύναμη» με το πλήθος Δεδομένων τα οποία συνέθεσε. Ο υπολογισμός της παρέχεται αυτοματοποιημένα, μέσα από την υπολογιστική διαδικασία ενός σημασιολογικού διερμηνέα.

Στο παράδειγμα του Σχήματος 5.2.6.5, παρουσιάζεται ακόμη ένα συνοπτικό παράδειγμα. Στο παράδειγμα αυτό, η πληροφορία που εξάγεται με προσέγγιση είναι οι εφαρμογή των μεθόδων χωρικής ανάλυσης.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΙ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ

Οι έννοιες «Κρίση» και «Κατανόηση» είναι ενέργειες (λειτουργίες) που υπεισέρχονται στη διαδικασία της Γνώσης χωρίς απαραίτητα να αποθηκεύουν ή να διατυπώνουν ερωτήσεις και αποτελέσματα (λ.χ. επίπεδα πληροφορίας). Η Κρίση ερμηνεύει σύνολα Δεδομένων και είναι υποκειμενική. Η Κατανόηση είναι η επιτυχής ανάγνωση των ενδιάμεσων ερμηνειών. Το αποτέλεσμα τους στα ΓΣΠ εκδηλώνεται μέσα από την ικανότητά των διαλειτουργούντων συστημάτων να κατανοούν, να ανταλλάσσουν και στη συνέχεια να χρησιμοποιούν τα γεωγραφικά δεδομένα.

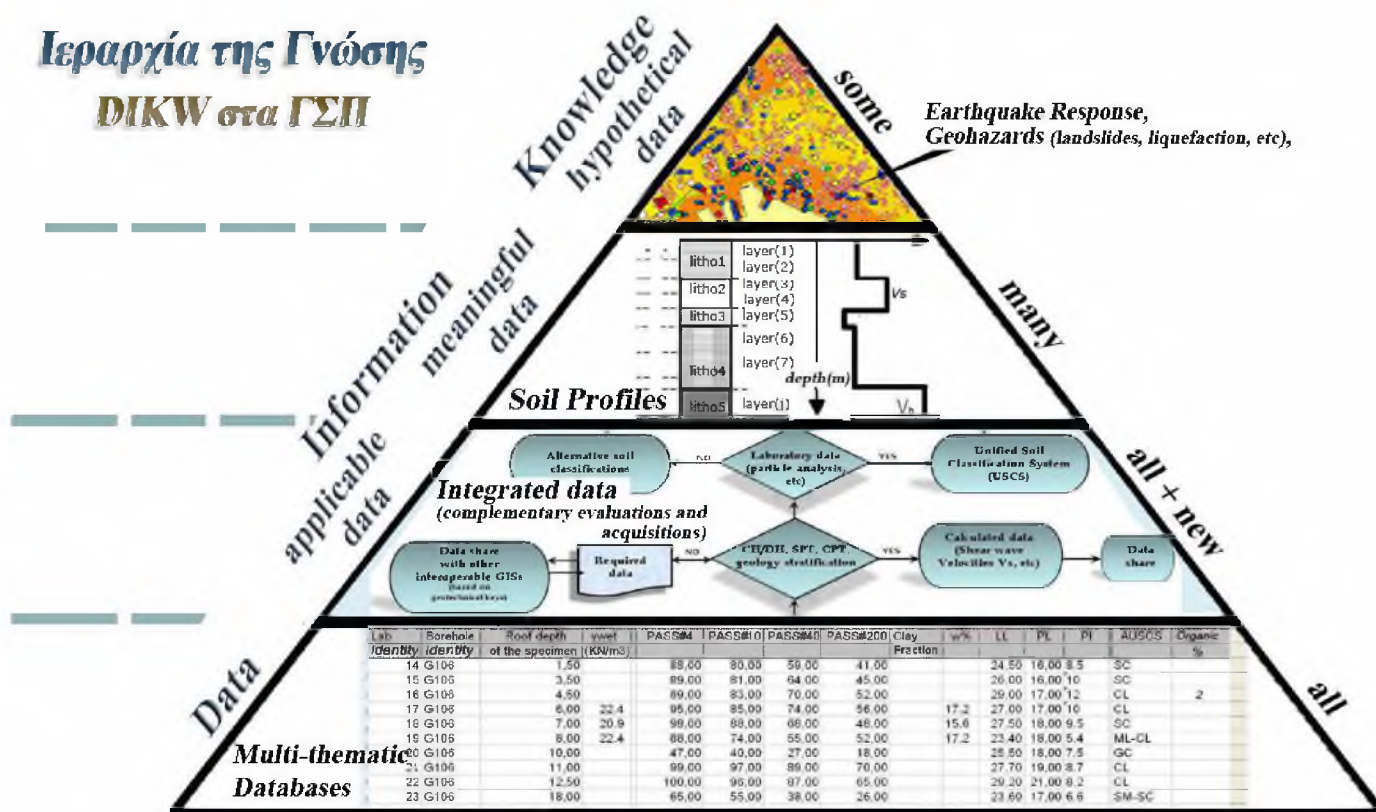
Πράγματι, στο Σχήμα 5.2.5.1, η Κρίση είναι οι δομές ελέγχου (λ.χ. ερωτήματα «If - Else») που υπεισέρχονται για να γίνουν επιλογές και ενδιάμεσες συσχετίσεις. Στο Σχήμα 5.2.5.2, η Κρίση υπεισέρχεται με υποκειμενικότητα, επειδή η μεθοδολογία χρειάζεται να κάνει εναλλακτικές προσεγγίσεις προκειμένου να ερμηνεύσει ένα πλήθος Δεδομένων. Στο Σχήμα 5.2.5.1, η Κατανόηση είναι η ικανότητα να αναγνωσθούν ορθά όλα τα ενδιάμεσα δεδομένα να εξαλειφθούν οι τυχόν ετερογένειες και να υπεισέλθουν οι διαδικασίες του κώδικα μέχρι να εξαχθεί το αποτέλεσμα «CL». Η Κατανόηση είναι επίσης η ικανότητα να ανταλλαχθεί ο όρος «CL» μεταξύ των διαλειτουργούντων συστημάτων και να χρησιμοποιηθεί ως ένας εκ των πρότυπων όρων στις μεθοδολογίες τους. Περαιτέρω, και στις δυο διαδικασίες υπεισέρχονται ερωτήματα επιλογής, τα οποία αποτελούν Κρίσεις (όχι απλώς ένωση συνόλων).

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΓΝΩΣΗ

Στο ΓΣΠ, ως Γνώση θεωρείται κάθε αντικειμενικό είτε και υποκειμενικό ολοκληρωμένο μοντέλο του κόσμου (λ.χ. σύνολο από μεθόδους και κανόνες, αξιώματα, παραδοχές, ειδικευση επιστήμης) με το

οποίο διαμορφώνεται η Πληροφορία. Επομένως, η μεθοδολογία στα ΓΣΠ έχει τη θέση της Γνώσης, όπως οι Βάσεις έχουν τη θέση της Μάθησης.

Πράγματι, και στα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν είναι αυτονόητο ότι δεν μπορεί να γίνει σημασιολογική ενσωμάτωση (ερμηνεία) των πολυθεματικών Δεδομένων χωρίς γνωστικές λειτουργίες, είτε του ανθρώπου είτε μιας υπολογιστικής διαδικασίας. Δηλαδή, δεν μπορεί να παραχθεί Πληροφορία και να λειτουργήσουν οι διαδικασίες αποτελεσματικά, χωρίς τη συμβολή μιας ειδικής μεθοδολογίας. Ο τρόπος εξέλιξης της Πληροφορίας (κριτήρια, παράμετροι, κ.λπ.) από το ένα επίπεδο στο άλλο, είναι καταγεγραμμένη στον κώδικα, διατηρώντας οδηγίες για το πώς έγινε η μετάβαση (επεξεργασία) των Δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα.



Σχήμα 5.2.6.5 Σχηματοποιημένο παράδειγμα δομισμού της Γνώσης των εδαφικών συνθηκών μέσα από τη σημασιολογική εξέλιξη της Πληροφορίας στην οποία συμβάλλει ο Σημασιολογικός Διερμηνέας στα ΓΣΠ.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΔΙΕΡΜΗΝΕΑΣ

Ο Σημασιολογικός Διερμηνέας είναι μια τυπική Γνώση. Αναλυτικότερα, είναι μια κοινά συμφωνημένη αναπαράσταση της γνώσης (ως ένα σύνολο εννοιών, σχέσεων και ιδιοτήτων) η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογιστική (εξαγωγή συμπερασμάτων, νέας γνώσης) και για τη δομημένη περιγραφή της γνώσης στα πεδία ενδιαφέροντος που άπτονται των εδαφικών συνθηκών. Ο

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σημασιολογικός Διερμηνέας είναι η δυνατότητα των ΓΣΠ να ανταλλάσσουν δεδομένα με σαφή, κοινή έννοια και να μεταδίδουν νοήματα μέσα από τα δεδομένα.

Πράγματι, τα παραπάνω επιβεβαιώνονται μέσα από τα σχηματικά παραδείγματα (Σχ. 5.2.6.3, Σχ. 5.2.6.5) και τη λογική. Ο Σημασιολογικός Διερμηνέας παράγει όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή (ολοκληρωμένη) Πληροφορία, η οποία είναι γενικής χρήσης. Στην τρέχουσα έκδοση στοχεύει μόνον στην κατασκευή της εδαφικής τομής, αλλά σε μελλοντικές εκδόσεις προβλέπεται να επεκτείνεται εφαρμόζοντας αλγόριθμους με τους οποίους θα παράγει ακόμη περισσότερα μοντέλα. Η τρέχουσα επίσης μεθοδολογία αναπτύσσεται πάνω σε γνώσεις της Γεωτεχνικής Μηχανικής και των συναφών επιστημών. Πάντως, η Πληροφορία που παράγει είναι ένα είδος οντολογίας. Δηλαδή, είναι μια δομημένη και κοινά συμφωνημένη εννοιολογική αναπαράσταση της γνώσης του φυσικού κόσμου η οποία έχει νοηματική αξία για κάθε λογισμικό που θα τη χρησιμοποιήσει στη συνέχεια για συγκεκριμένους σκοπούς (λ.χ. για την ισοδύναμα γραμμική ανάλυση του *GeoSeism*).

ΤΙ ΧΡΕΙΑΖΟΝΤΑΙ ΟΛΕΣ ΟΙ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Τα παραπάνω ήταν μερικά από τα σημαντικότερα συμπεράσματα περί σημασιολογικής εξέλιξης της πληροφορίας και δομισμού της γνώσης, που διαπιστώνονται πρακτικά στο πρότυπο διαλειτουργικό ΓΣΠ *GeoSeism*.
2. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του προτεινόμενου Σημασιολογικού Διερμηνέα είναι, όπως πολλές φορές προαναφέρθηκε, η αυτοματοποιημένη παραγωγή της θεμελιώδους (γενικής χρήσης) και ολοκληρωμένης (ή ισοδύναμα ολοκληρωμένης) Πληροφορίας, προς όφελος των υπολογιστικών διαδικασιών και των χρηστών. Το όφελος αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται για γεωτεχνικές ερμηνείες σε τοπολογίες Μικροζωνικών Μελετών, σε μεγάλες Βάσεις Δεδομένων ή και σε Μεγάλα Δεδομένα.
3. Ο Σημασιολογικός Διερμηνέας θα μπορούσε να χρησιμοποιείται στον σημασιολογικό ιστό, όπου να καθιερωθεί ως ένα δομημένο πλαίσιο μεθοδολογιών για την οργάνωση της εδαφικής πληροφορίας των ΓΣΠ. Επίσης, να παρέχει έναν ανοικτό κώδικα με την κοινή και συμφωνημένη εννοιολογική μορφοποίηση που αφορά στα πεδία ενδιαφέροντος της Γεωτεχνικής Μηχανικής.
4. Σε μια μελλοντική επέκταση, ο Σημασιολογικός Διερμηνέας θα μπορούσε επίσης να ανιχνεύει την αντικειμενικότητα και την υποκειμενικότητα των Πληροφοριών, καθώς και την ολότητα και τη διάδραση των ερμηνειών του φυσικού κόσμου που επιδέχονται λογικο-μαθηματική διατύπωση. Να τα αποδεικνύει όλα αυτά μέσω των μεταδεδομένων και του πηγαίου κώδικά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.3 :

Έλεγχος κινδύνου ρευστοποίησης εδάφους - Περιγραφή της Πολυνόης

5.3 Κώδικας ΠΟΛΥΝΟΗ

5.3.1 Το φαινόμενο της ρευστοποίησης

Το φαινόμενο της **Ρευστοποίησης**, αναφέρεται στη σημαντική αύξηση της υπερπίεσης του ύδατος πόρων και ταυτόχρονη μείωση της διατμητικής αντοχής υπό αστράγγιστες συνθήκες, η οποία υπό την επίδραση διατμητικών τάσεων είναι δυνατόν να οδηγήσει σε ανάπτυξη μεγάλων διατμητικών παραμορφώσεων κατά την διάρκεια ή μετά το πέρας της σεισμικής φόρτισης. Αυτή η **μερική ή και ολική απώλεια** της διατμητικής αντοχής λόγω σεισμού εμφανίζεται σε μη συνεκτικά εδάφη (άμμοι, αμμοϊλίδες, αμμοχάλικα) όταν είναι κορεσμένα και υπόκεινται σε (μονοτονική ή ανακυκλική) φόρτιση υπό αστράγγιστες συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη της **υπερπίεσης πόρων**, οφείλεται στην τάση των μη συνεκτικών εδαφών να συμπυκνώνονται όταν υπόκεινται σε ανακυκλική διατμητική παραμόρφωση. Η συμπύκνωση αυτή δεν είναι δυνατή κατά τη διάρκεια της δόνησης όταν το μη συνεκτικό έδαφος είναι κορεσμένο, καθώς τότε επικρατούν **αστράγγιστες συνθήκες** που εμποδίζουν τη συνολική μεταβολή όγκου. Όταν δεν υπάρχει δυνατότητα ταχείας στράγγισης του μη συνεκτικού εδάφους, αυτό είναι δυνατόν να τελεί υπό ρευστοποίηση για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά το πέρας της σεισμικής φόρτισης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία.

Από την εξέταση της μορφής των αστοχιών που μπορεί να προκαλέσει μια σεισμική ακολουθία, η ρευστοποίηση περιγράφεται ότι πρόκειται ουσιαστικά για ροή της εδαφικής μάζας εντός μίας ζώνης αστοχίας. Δεδομένου ότι στον σεισμό, οι αστοχίες μπορούν να αποδοθούν σε δυο βασικούς μηχανισμούς:

- (α) Στις **πρόσθετες (αδρανειακές) δυνάμεις** που επέβαλε ο σεισμός στη μάζα του εδάφους με την ταυτόχρονη μείωση της διατμητικής αντοχής. Οι αστοχίες εμφανίζονται με τη μορφή καθιζήσεων και οριζόντιων μετακινήσεων στην ελεύθερη επιφάνεια.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

- (β) Στην παρουσία **στατικών διατμητικών τάσεων** και την ταυτόχρονη μείωση ή απώλεια της διατμητικής αντοχής κάποιων από τις εδαφικές στρώσεις του υποβάθρου. Οι αστοχίες, στην περίπτωση αυτή, εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή της κατολίσθησης μεγάλων εδαφικών μαζών.

Τύποι εδάφους στους οποίους αναμένονται υπό κατάλληλες προϋποθέσεις τα φαινόμενα ρευστοποίησης, είναι (Ενοτ. 5.3.3):

1. **Χαλαρά μη-συνεκτικά** εδάφη: Η ρευστοποίηση συνοδεύεται από σχεδόν ολοκληρωτική απώλεια της διατμητικής αντοχής που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες παραμορφώσεις. Μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε αστοχία ροής μάζας εδάφους-νερού (flow failure), αν το ρευστοποιημένο έδαφος δεν είναι οριζόντιο. Σε θέσεις με εδαφικές κλίσεις (εφόσον ξεπερνούν εμπειρικά τις $> 5^\circ$) και όπου ο ποσοτικός έλεγχος δείχνει υψηλό κίνδυνο ρευστοποίησης, απαιτούνται μέτρα πρόληψης της πλευρικής εξάπλωσης του εδάφους.
2. **Μέσης πυκνότητας** ως πυκνά μη-συνεκτικά εδάφη: Η ρευστοποίηση προκαλεί μικρότερη απώλεια διατμητικής αντοχής και αυξημένες ανακυκλικές διατμητικές παραμορφώσεις. Δεν οδηγεί εύκολα σε αστοχία ροής, εκτός αν το έδαφος έχει αρκετή κλίση.
3. **Περιβολή από συνεκτική στρώση**: Διατήρηση επί μακρόν των υδατικών υπερπίεσεων που αναπτύχθηκαν λόγω σεισμού παρατηρείται (στους δυο προηγούμενους τύπους εδαφών) όταν οι μη συνεκτικές εδαφικές στρώσεις περιβάλλονται (άνω και κάτω) από συνεκτικές στρώσεις μικρής διαπερατότητας (π.χ. άργιλοι), οι οποίες εμποδίζουν την ταχεία εκτόνωση των υδατικών υπερπίεσεων.
4. **Λεπτόκοκκα εδάφη** υπό προϋποθέσεις: Φαινόμενα ρευστοποίησης είναι δυνατόν να εμφανιστούν σε ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμους, όταν συντρέχουν οι συνθήκες που προβλέπουν τα Κινεζικά Κριτήρια (Ενοτ. 5.3.3).

5.3.2 Ο έλεγχος του Δυναμικού Ρευστοποίησης

Για τον έλεγχο του **Δυναμικού (ή Κινδύνου) Ρευστοποίησης** (Liquefaction Potential ή Susceptibility in Liquefaction), η τρέχουσα έκδοση του *GeoSeism* υπολογίζει μόνον τον **παράγοντα ασφάλειας σε ρευστοποίηση για κάθε εδαφική στρώση**. Ο έλεγχος αναπτύσσεται σε δυο στάδια, τα οποία είναι:

- (Α) **Προκαταρκτικός έλεγχος**: Ο έλεγχος αυτός ακολουθεί ποιοτικά κριτήρια, με βάση την κοκκομετρία και τις παραμέτρους αντοχής. Εφόσον πληρούνται, ακολουθεί ο ποσοτικός έλεγχος για εξακρίβωση (Ενοτ. 5.3.3).
- (Β) **Ποσοτικός έλεγχος**: Ο έλεγχος λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του σεισμού σε ό,τι αφορά τις αναπτυσσόμενες εδαφικές επιταχύνσεις και τις διατμητικές τάσεις. Εφαρμόζεται η εμπειρική μεθοδολογία των Youd and Idriss (2001) για κριτήρια σχετικά με μετρήσεις SPT, CPT και απευθείας Vs (Ενοτ. 5.3.4).

5.3.3 Στάδιο Προκαταρκτικού ελέγχου

Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, εκτελείται ο προκαταρκτικός (ή ποιοτικός) έλεγχος για κάθε εδαφική στρώση. Προηγείται ο σχεδιασμός των εδαφικών προφίλ, σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως ο Σημαιολογικός Διερμηνέας για τον σκοπό αυτό¹ (Ενοτ. 5.2.5). Συνοπτικά, τα κριτήρια του προκαταρκτικού ελέγχου τα οποία αν πληρούνται υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης ρευστοποίησης είναι :

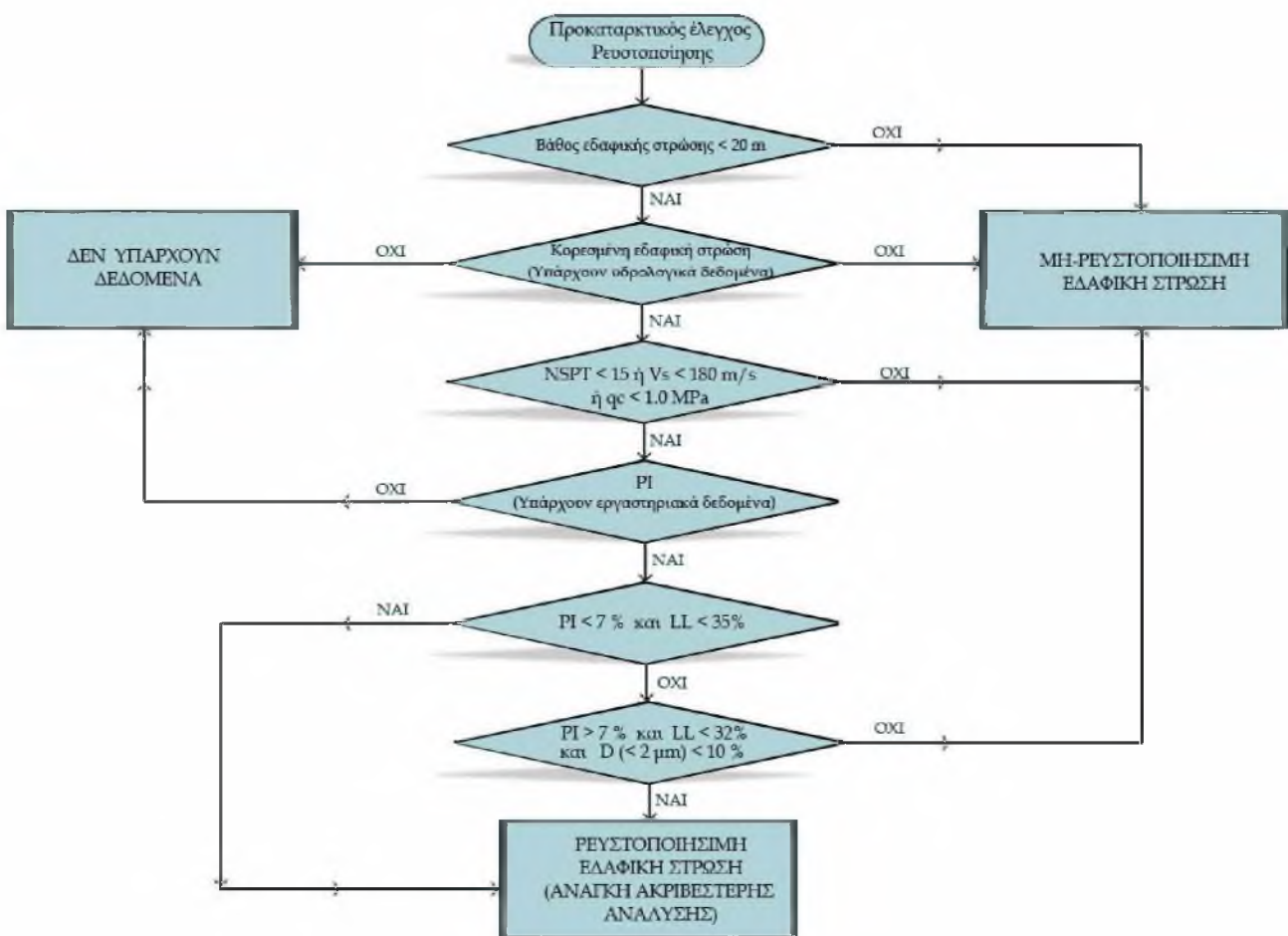
- (α) Η στάθμη του υδάτινου οριζοντα (ΥΟ): Αναζητούνται οι κορεσμένες στρώσεις που βρίσκονται κάτω από την στάθμη του ΥΟ σε μικρό βάθος (< 20 m).
- (β) Η εμπειρική συσχέτιση της (ανακυκλιζόμενης και αστράγγιστης) διατμητικής αντοχής με τις τιμές του Ευρωκώδικα που αντιστοιχούν σε χαλαρά ή και μέτρια εδαφικά υλικά (EC8: Κατηγορία εδάφους D, Πιν. 2.1.2):
 1. την ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων $V_{sh} < 180 \text{ m/sec}$, είτε
 2. τον αριθμό των κτύπων της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης NSPT < 15, είτε
 3. την αντίσταση της αιχμής της δοκιμής πενετρομέτρου qc-CPT < 1.0 MPa - σε αντιστοιχία του EC8 με τη σχέση των Tsiambaos and Sabatakis (2011) για όλα τα εδάφη με $V_{sh} < 180 \text{ m/sec}$.
- (γ) Ο Δείκτης Πλαστικότητας (PI): Εφόσον υπάρχουν κοκκομετρικά δεδομένα ελέγχεται η περίπτωση μη-συνεκτικής εδαφικής στρώσης με (Youd, 1998):
 - Ⓞ Δείκτη Πλαστικότητας $PI < 7 \%$, και
 - Ⓞ Όριο Υδαρότητας $LL < 35\%$.
- (δ) Σε περίπτωση που διαπιστωθεί συνεκτικό έδαφος ($PI > 7 \%$), ελέγχεται αν ισχύουν τα Κινέζικα κριτήρια (Wang, 1979), με την τροποποιημένη μορφή (Andrew and Martin, 2000):
 - Ⓞ ποσοστό αργιλικού κλάσματος (κόκκου < 2 μm) < 10 %, και
 - Ⓞ όριο Υδαρότητας $LL < 32 \%$.

Η ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των παραπάνω συνθηκών επιτείνει τον κίνδυνο ρευστοποίησης, χωρίς αυτός να αποκλείεται εντελώς όταν πληρούνται δύο ή τρεις από τις συνθήκες. Σε κάθε περίπτωση η κοκκομετρική διαβάθμιση, κατά πρώτο λόγο, καθώς και ο αριθμός κτύπων N-SPT αποτελούν τη βάση του προκαταρκτικού ελέγχου. Η ροή της μεθοδολογίας στο στάδιο του Προκαταρκτικού ελέγχου παρουσιάζεται σε διάγραμμα (Σχ. 5.3.3).

Αν σε μια στρώση δεν υπάρχουν τα παραπάνω συγκεκριμένα δεδομένα, τότε επικουρεί ο Σημαιολογικός Διερμηνέας ¹ με διαδικασίες οι οποίες εξηγούνται στο σχετικό κεφάλαιο (Κεφ. 5.2, Πυθία), και οι οποίες συνοπτικά επιτελούν τα εξής:

1 Σημαιολογικός διερμηνέας όπως είναι η Πυθία είτε αλγόριθμος αντίστοιχης μεθοδολογίας.

1. επιχειρούν να εκτιμήσουν το δεδομένο που λείπει με βάση τα συναφή δεδομένα της εδαφικής στρώσης είτε με εναλλακτικές τιμές (λ.χ., διαδικασία εδαφικής ταξινόμησης, εναλλακτικός λιθολογικός χαρακτηρισμός, συμβατικές τιμές, κ.ο.κ.).
2. αν προβεί άγονη η προηγούμενη εκτίμηση, αναζητούν το δεδομένο που λείπει στο πλησιέστερο βάθος της ίδιας εδαφικής στρώσης.
3. καταγράφουν τις ελλείψεις κάθε σταδίου (σε ειδικό Πεδίο παρατηρήσεων της Καλλιπάτειρας), ώστε να διατηρείται μεταδεδομένη Πληροφορία για τον βαθμό αβεβαιότητας της τελικής απόφασης.



Σχήμα 5.3.3 Ροϊκό διάγραμμα της προκαταρκτικής εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης, από το GeoSeism.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

5.3.4 Στάδιο Ποσοτικού ελέγχου

Για τις εδαφικές στρώσεις που πληρούνται τα κριτήρια του Προκαταρκτικού ελέγχου, εκτελείται και Ποσοτικός έλεγχος. Το ίδιο και για τις στρώσεις για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα μακροσκοπικής ανάλυσης (λ.χ. όρια πλαστικότητας, κοκκομετρία ή τουλάχιστον χαρακτηρισμός AUSCS) και δεν είναι δυνατόν να γίνει προκαταρκτικός έλεγχος. Στόχος του ελέγχου είναι να εκτιμηθεί ο **Συντελεστής Ασφαλείας έναντι Ρευστοποίησης FSL** (Liquefaction Safety Factor). Ο έλεγχος μπορεί να γίνει με βάση τις επιτόπου μετρήσεις από δοκιμές, κατά προτεραιότητα: (α) CH ή DH, είτε (β) SPT, είτε (γ) CPT.

Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή κάθε βήματος του Ποσοτικού ελέγχου του *GeoSeism*. Η εκτίμηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής αντοχής του εδάφους (CRR) γίνεται με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε από τους Youd and Idriss (2001). Μετά την εκτίμηση της επιβαλλόμενης σεισμικής διατμητικής τάσης (CSR - Cycling Stress Ratio) του εδάφους (Ενοτ. 5.3.4.1), προκειμένου η διαδικασία να φτάσει στην εκτίμηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής αντοχής ή ανακυκλικό λόγο αντίστασης σε ρευστοποίηση (CRR - Cycling Resistance Ratio) του εδάφους, ο κώδικας αποφασίζει επί τη βάση τι είδους μετρήσεων (CH/DH ή SPT ή CPT) θα κάνει υπολογισμούς για την εξεταζόμενη Θέση Έρευνας (ορισμός Ενοτ. 4.1.3). Επιλέγει τότε ένα από τα αντίστοιχα βήματα (βήμα 2.1: Ενοτ. 5.3.4.2 ή βήμα 2.2: Ενοτ. 5.3.4.3 ή βήμα 2.3: Ενοτ. 5.3.4.4), τα οποία περιγράφονται ακολούθως.

Οι παρακάτω όροι χρησιμοποιούνται στις επόμενες ενότητες.

g	η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/sec^2),
σ_{vo} και σ'_{vo} (ή $\sigma_{v,eff}$)	αντιστοίχως, η ολική και η ενεργός κατακόρυφη τάση των υπερκείμενων γαιών στο μέσο της εξεταζόμενης εδαφικής στρώσης,
P_a	ατμοσφαιρική πίεση $P_a = 98.1 \text{ kPa}$ (1 atm),
f_s ή f_c	πλευρική τριβή του πενετρομέτρου (CPT sleeve friction resistance), (τα f_s και f_c συμβολίζουν την ίδια παράμετρο),
q_c	μετρημένη επί πεδίου αντίσταση αιχμής κώνου (cone penetration resistance measured at the tip ή cone tip resistance),
q_t	διορθωμένη τιμή αντίστασης αιχμής κώνου (corrected tip resistance),
z	το βάθος, σε μέτρα (m), από την επιφάνεια του εδάφους.

Στο Παράρτημα IV παρατίθενται τα γραφήματα και οι όροι που χρησιμοποιούνται στο στάδιο Ποσοτικού ελέγχου από το *GeoSeism*.

5.3.4.1 Βήμα 1: Επιβαλλόμενη σεισμική διατμητική τάση CSR

Η CSR υπολογίζεται από τον λόγο της ακριβούς τιμή της ενεργού διατμητικής τάσης που εκτιμάται από την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση, δια την ενεργό γεωστατική τάση στο μέσον κάθε εδαφικής στρώσης:

$$CSR = \frac{\tau_{\text{ανωστ}}}{\sigma'_{\text{vo}}} \quad (5.3.4.1)$$

5.3.4.2 Βήμα 2.1: Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάσει μετρήσεων SPT

Υπολογίζονται πρώτα οι παρακάτω διορθωτικοί συντελεστές.

Συντελεστής διόρθωσης της πίεσης των υπερκείμενων γαιών (Σχ. 5.3.1): Επειδή οι τιμές των κτύπων αυξάνουν όσο αυξάνει η ενεργός τάση των υπερκείμενων γαιών, σε κάθε βάθος εφαρμόζεται ο συντελεστής (Liao and Whitman, 1986) :

$$C_N = \sqrt{\frac{Pa}{\sigma'_{\text{vo}}}} \leq 1.7 \quad (5.3.4.2.1)$$

Ο C_N αποτελεί κανονικοποίηση της ενεργού κατακόρυφης τάσης σ'_{vo} με μια πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

- (α) Για βάθη $z > 3.5$ m και $\sigma'_{\text{vo}} \leq 200$ kPa, ο συντελεστής C_N λαμβάνεται από τη σχέση (Εξ. 5.3.4.2.1).
- (β) Για μικρά βάθη (ως περίπου 3.5 m,) ο συντελεστής θεωρείται σταθερός:
$$C_N = 1.7$$
- (γ) Δεν εξετάζεται η ρευστοποίηση για βάθη > 20 m.

Συντελεστής διόρθωσης της ενέργειας κρούσης (hammer energy ratio correction) (Σχ. 5.3.2): Ανάλογα του τύπου της σφύρας και του μηχανισμού της πρότυπης δοκιμής, προτείνονται αναγωγικοί συντελεστές από 0.75 ως 1.30. Επειδή δεν δίνονται σε όλες των περιπτώσεων πληροφορίες ρυθμίστηκε εξ ορισμού τιμή: $C_E = 1$.

Συντελεστής επιρροής του ποσοστού λεπτόκοκκης ιλύος (fine content): Αναφέρεται κι ως «διόρθωση του ποσοστού ιλύος» ($f_c\%$), το οποίο αντιστοιχεί στο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No 200. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις (Idriss με τη βοήθεια Seed et al., 1985):

- (α) Αν $f_c \leq 0.05$, τότε $\alpha = 0, \beta = 1$
- (β) Αν $f_c \geq 0.35$, τότε $\alpha = 5, \beta = 1.2$

(γ) Αν $0.05 < f_c < 0.35$, τότε

$$\alpha = e^{(1.76 - \left(\frac{190}{f_c^2}\right))} \quad (5.3.4.2.2)$$

$$\beta = 0.99 + \left(\frac{f_c^{1.5}}{1000}\right) \quad (5.3.4.2.3)$$

Άλλοι διορθωτικοί συντελεστές δεν λαμβάνονται υπόψη προς το παρόν στον κώδικα.

Με τη βοήθεια των παραπάνω συντελεστών και του μετρημένου επί πεδίου αριθμού κτύπων NSPT, εκτιμάται η ισοδύναμη τιμή του αριθμού των κτύπων (για έδαφος με λιγότερο από 5% λεπτόκοκκη ιλύ):

$$(NI)_{60} = \beta \cdot C_N \cdot C_E \cdot NSPT \quad (5.3.4.2.4)$$

Η διορθωμένη τιμή $(NI)_{60,CS}$ είναι η ισοδύναμη με την καθαρή άμμο ² (για κορεσμένη αμμώδη απόθεση):

$$(NI)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot C_N \cdot C_E \cdot NSPT \quad (5.3.4.2.5)$$

Τελικά, το GeoSeism υπολογίζει την CRR ³ σύμφωνα με το γράφημα (Σχ. 5.3.5) των Seed et al. (1985) και τη σχέση που αναφέρεται σε εδαφικό υλικό ισοδύναμο της καθαρής άμμου και σε σεισμό $M = 7.5$ (Rauch, 1998):

$$CRR = \left(\frac{1}{34 - (NI)_{60}}\right) + \left(\frac{(NI)_{60}}{135}\right) + \left(\frac{50}{(10 \cdot (NI)_{60} + 45)^2}\right) - \left(\frac{1}{200}\right) \quad (5.3.4.2.6)$$

5.3.4.3 Βήμα 2.2: Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάση μετρήσεων CPT

Υπολογίζονται πρώτα οι ακόλουθες κανονικοποιήσεις και διορθώσεις.

Κανονικοποίηση της αντίστασης αιχμής κώνου: Η κανονικοποιημένη, αδιάστατη τιμή q_{c1N} (normalized Cone Penetration Resistance) της αντοχής αιχμής κώνου q_c (tip resistance), είναι (Olsen 1997):

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{Pa}\right) \quad (5.3.4.3.1)$$

² Καθαρή άμμος (clean sand): χαρακτηρίζεται ένα εδαφικό υλικό όταν το ποσοστό διερχόμενου από το κόκκινο ιλύος (No 200) είναι: $f < 5\%$ (Seed et al., 1985, Robertson and Wride, 1998).

³ Για τιμές $(NI)_{60cs} \geq 30$, ο κώδικας θέτει τιμή $CRR = 0.49$.

Ο όρος C_q εκφράζει τον λόγο συντελεστή κανονικοποίησης (normalized factor of cone penetration resistance) της ενεργού κατακόρυφης τάσης σ'_{vo} με μια πίεση ίση με την ατμοσφαιρική :

$$C_q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.3.4.3.2)$$

Όπου, ο εκθέτης n παίρνει εμπειρικές τιμές ανάλογα του κοκκώδους τύπου του εδάφους (Olsen 1997), από $n = 0.5$ για αμμώδη και $n = 1$ για αργιλικά εδάφη.

Εμμεση κατηγοριοποίηση του εδάφους (Σχ. 5.3.3): Προσδιορίζονται οι κανονικοποιημένοι λόγοι αντίστασης αιχμής κώνου (Q - normalized Cone Resistance) και πλευρικής τριβής (F - normalized Friction Ratio) και, με βάση αυτούς, γίνεται εκτίμηση του δείκτη τύπου εδάφους I_c (soil behavior type index) σύμφωνα με τις σχέσεις (Robertson and Wride, 1998):

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \right) \cdot \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$
$$F = \left(\frac{f_c}{q_c - \sigma_{vo}} \right) \cdot 100\% \quad (5.3.4.3.3)$$

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

Επανυπολογισμός των όρων C_q , Q , I_c : Οι κανονικοποιημένοι όροι (Εξ. 5.3.4.3.3) προτάθηκε (Robertson and Wride, 1998) να επιλύονται αρχικά με εκθέτη $n = 1$ (αργιλικό έδαφος) και στη συνέχεια να γίνεται επανυπολογισμός τους ανάλογα του εκτιμώμενου δείκτη τύπου εδάφους I_c , ως εξής:

(α) Αν $I_c > 2.6$, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αργιλώδες και είναι τόσο πλούσιο σε περιεκτικότητα αργίλου ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να ρευστοποιηθεί. Ο έλεγχος ολοκληρώνεται και προτείνεται να επιβεβαιωθεί ότι δεν είναι ρευστοποιήσιμο με την εξέταση των Κινέζικων κριτηρίων (Youd, 1998).

(β) Αν $I_c < 2.6$, το έδαφος είναι πιθανώς κοκκώδες και προτείνεται επανυπολογισμός των όρων C_q , Q , I_c με τιμή $n = 0.5$ (αμμώδες έδαφος). Στη συνέχεια:

- (1) Αν ο (νέος) δείκτης $I_c < 2.6$ τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη-πλαστικό και κοκκώδες. Η νέα τιμή θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της Αντίστασης σε Ρευστοποίηση, στη συνέχεια.
- (2) Αν ο (νέος) δείκτης $I_c > 2.6$ τότε το έδαφος είναι πιθανώς πολύ ιλυώδες και πλαστικό. Γίνεται επανυπολογισμός της κανονικοποιημένης αντίστασης αιχμής κώνου q_{c1N} με n

= 0.7 (Εξ. 5.3.4.3.1), και με την νέα αυτή τιμή επανυπολογίζεται οι λόγοι και ο δείκτης F , Q , I_c (Εξ. 5.3.4.3.3). Οπότε, στον υπολογισμό της Αντίστασης σε Ρευστοποίηση στη συνέχεια, θα χρησιμοποιηθεί η (νέα) ενδιάμεση αυτή τιμή του δείκτη I_c .

Σε κάθε περίπτωση, τα εδάφη με $I_c \geq 2.4$ θα πρέπει να ελέγχονται και με άλλα κριτήρια (λ.χ. νέα δειγματοληψία) προκειμένου να επιβεβαιωθεί το αν πράγματι είναι ρευστοποιήσιμα. Επίσης, και τα εδάφη με δείκτη $I_c > 2.6$, τα οποία ωστόσο έχουν κανονικοποιημένο λόγο τριβής $F < 1.0\%$ (περιοχή 1 του (Σχ. 5.3.4), είναι πιθανώς πολύ ευαίσθητα και θα πρέπει να ελέγχονται με νέα δειγματοληψία. Παρότι δεν χαρακτηρίζονται τεχνικώς ρευστοποιήσιμα σύμφωνα με τα κινέζικα κριτήρια, τέτοιου είδους ευαίσθητα εδάφη ενδέχεται να υποστούν χαλάρωση και απώλεια αντοχής κατά τη διάρκεια σεισμικής κίνησης.

Υπολογισμός του συντελεστή διόρθωσης K_c : Ανάλογα των πιο πάνω κοκκομετρικών χαρακτηριστικών, προτάθηκε ο διορθωτικός συντελεστής K_c (Robertson and Wride, 1998) :

$$\text{(α) Αν } I_c \leq 1.64, \text{ τότε} \quad K_c = 1$$

$$\text{(β) Αν } I_c > 1.64, \text{ τότε}$$

$$K_c = -0.403 \cdot I_c^4 + 5.581 \cdot I_c^3 - 21.63 \cdot I_c^2 + 33.75 \cdot I_c - 17.88 \quad (5.3.4.3.4)$$

Αναγωγή ιλυωδών άμμων στην αντίσταση της καθαρής άμμου: Αναγωγή της κανονικοποιημένης αντίστασης αιχμής κώνου q_{c1N} στην τιμή $(q_{c1N})_{cs}$ που είναι ισοδύναμη με καθαρή άμμο (clean-sand equivalent normalized cone penetration resistance):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \cdot q_{c1N} \quad (5.3.4.3.5)$$

Το GeoSeism υπολογίζει την CRR με βάση το γράφημα (Σχ. 5.3.6) των Robertson and Wride (1998) που αντιστοιχεί σε καθαρή άμμο και σεισμό $M = 7.5$ – και τις σχέσεις :

$$\begin{aligned} (q_{c1N})_{cs} < 50 &\rightarrow CRR_{7.5} = 0.8333 \cdot \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right) + 0.05 \\ 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 &\rightarrow CRR_{7.5} = 93 \cdot \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right)^3 + 0.08 \end{aligned} \quad (5.3.4.3.6)$$

5.3.4.4 Βήμα 2.3. Αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή CRR επί τη βάσει μετρήσεων CH/DH

Υπολογίζονται πρώτα οι παρακάτω διορθωτικοί συντελεστές.

Διόρθωση της πίεσης των υπερκείμενων γαιών: Η διορθωμένη τιμή (V_{s1}) της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων (V_s), προκύπτει μετά τη διόρθωση της πίεσης των υπερκείμενων γαιών (overburden-stress corrected shear wave velocity) από τη σχέση (Sykora 1987, Kayen et al. 1992, Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.25} \quad (5.3.4.4.1)$$

Το GeoSeism υπολογίζει την CRR με βάση το γράφημα (Σχ. 5.3.7) των Robertson and Wride (2000) που αντιστοιχεί σε καθαρή άμμο και σεισμό μεγέθους M - και τη συνάρτηση των Andrus and Stokoe (1997) :

$$CRR = \left(\alpha \cdot \left(\frac{V_s}{100} \right)^2 + \beta \cdot \left(\frac{1}{V_{s^*} - V_s} - \frac{1}{V_{s^*}} \right) \right) \quad (5.3.4.4.2)$$

Όπου, $\alpha = 0.022$, $\beta = 2.8$, V_{s^*} είναι η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων που αντιστοιχεί σε συμβάν ρευστο-ποίησης και λαμβάνεται ίση προς 200m/s για $f_c > 35\%$, και 215 m/s για $f_c < 5\%$. Για ενδιάμεσες τιμές του f_c γίνεται γραμμική παρεμβολή.

5.3.4.5 Βήμα 3: Αναγωγή των CRR στον Σεισμό Σχεδιασμού

Ο Σεισμός Σχεδιασμού της εκάστοτε μελέτης για το GeoSeism (αριθμητική ανάλυση) είναι $M_{des} < 7$. Ανάγεται πρώτα στον σεισμό σχεδιασμού $M = 7.5$ των γραφημάτων (Σχ. 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7), από τη σχέση των Andrus and Stokoe (1997), για $n = -2.56$:

$$MSF = \left(\frac{M_{des}}{7.5} \right)^n \quad (5.3.4.5.1)$$

Με βάση το ανηγμένο Μέγεθος του σεισμού, επανυπολογίζεται:

$$CRR = MSF \cdot CRR \quad (5.3.4.5.2)$$

5.3.4.5 Βήμα 4: Εκτίμηση του Συντελεστή Ασφάλειας έναντι Ρευστοποίησης (FSL)

Υπολογίζεται ο FSL (ή FS) Συντελεστής Ασφάλειας έναντι Ρευστοποίησης (Factor of Safety against Liquefaction), από τον λόγο:

$$FSL = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.3.4.6)$$

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- (α) αν $FSL > 1$, τότε το έδαφος θεωρείται δεν έχει ευπάθεια σε ρευστοποίηση⁴,
- (β) αν $FSL < 1$, τότε το έδαφος ρευστοποιήσιμο, απαραίτητη η λήψη μέτρων προστασίας.

⁴ Σημείωση: $FSL = 5$ για τον κώδικα σημαίνει ότι δεν διαπιστώθηκε ευπάθεια σε ρευστοποίηση από τις διαδικασίες ελέγχου με ποιοτικά κριτήρια, πριν χρειαστεί κάποια εξακρίβωση με έλεγχο ποσοτικών κριτηρίων.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.4 :

Ευθής και Αντίστροφος Μετασχηματισμός Fourier - Περιγραφή της Θεμιστόκλειας

5.4 Μεθοδολογία Ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων

Η ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων είναι μια τεχνική με την οποία περιγράφεται το **συχνотικό περιεχόμενο** της σεισμικής απόκρισης του εδάφους. Αναπτύχθηκε στη μεθοδολογία *Θεμιστόκλεια* του GeoSeism με στόχο να επικουρεί την αριθμητική μεθοδολογία της Ισοδύναμα Γραμμικής Ανάλυσης. Συγκεκριμένα, μετασχηματίζει οποιαδήποτε χρονοϊστορία (εισαγόμενης διέγερσης είτε εκτιμώμενης εδαφικής απόκρισης) από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων και αντίστροφα. Το παρόν κεφάλαιο, αναφέρεται στον ρόλο της ανάλυσης (Ενοτ. 5.4.1), στο μαθηματικό υπόβαθρο των Μετασχηματισμών Fourier (Ενοτ. 5.4.2), και στην ανάπτυξη τους μέσα στο λογισμικό (Ενοτ. 5.4.3). Τέλος, παρατίθενται μερικές εφαρμογές για έλεγχο αποτελεσμάτων μεταξύ του GeoSeism και του EERA (Ενοτ. 5.4.4).

5.4.1 Εφαρμογή στην Ισοδύναμα Γραμμική Μέθοδο

Η **ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων**, γενικά ως τεχνική, βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην τεχνολογία της κυματικής σε δυο περιπτώσεις:

- (α) Όταν απαιτείται απλή επεξεργασία της μορφής των κυμάτων ή σημάτων (signal processing),
- (β) Όταν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση της πληροφορίας που μεταφέρει η μορφή των κυμάτων ή σημάτων (data analysis).

Η εκτίμηση της δυναμικής απόκρισης με την ισοδύναμα γραμμική μέθοδο αποτελεί ουσιαστικά μια εφαρμογή **επεξεργασίας της μορφής** του εισερχόμενου κύματος. Η επεξεργασία λαμβάνει χώρα όταν πολλαπλασιάζεται κάθε συχνότητα της εισερχόμενης

σεισμικής κίνησης με την εδαφική δυναμική μεγέθυνση της ίδιας συχνότητας. Παραπέμπει στο φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο τα πλάτη της κίνησης σε κάθε συχνότητα του σεισμικού κύματος υφίστανται διαφοροποίηση (φιλτράρισμα) κατά τη διάδοσή τους μέσα από το έδαφος.

Η ανάλυση βασίζεται στον Μετασχηματισμό Fourier (Ενοτ. 5.4.2.1). Το GeoSeism συγκεκριμένα ανέπτυξε τον **Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier** (DFT, Ενοτ. 5.4.2.2). Διαλειτουργεί αυτομάτως επικουρώντας την ισοδύναμη γραμμική ανάλυση, ως εξής (Πιν. 5.1.2):

1. Η **εισαγόμενη διέγερση** (χρονοϊστορία) αναλύεται στο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο παριστά την αναλογία των πλατών των επιμέρους αρμονικών κυμάτων.
2. Υπολογίζεται η **συνολική δυναμική απόκριση** του εδάφους από το γινόμενο του φάσματος των συναρτήσεων μεγέθυνσης και του φάσματος της εισαγόμενης διέγερσης.
3. Τα φάσματα των (πέντε) παραμέτρων της συνισταμένης σεισμικής εδαφικής απόκρισης (απόλυτη επιτάχυνση, διατμητική παραμόρφωση, κ.ο.κ) **μετασχηματίζονται σε χρονοϊστορίες** με τη βοήθεια του αντίστροφου Μετασχηματισμού Fourier (IDFT, Ενοτ. 5.4.2.2).

5.4.2 Το μαθηματικό μοντέλο της Ανάλυσης συχνοτήτων

5.4.2.1 Ο Μετασχηματισμός Fourier ή Φάσμα Συχνοτήτων Fourier

Ο **Συνεχής Μετασχηματισμός Fourier** ή **Συνεχούς Χρόνου Μετασχηματισμός Fourier** ή απλά **Μετασχηματισμός Fourier** ή απλά **Φάσμα (Συχνοτήτων) Fourier**, εκφράζει το **φάσμα συχνοτήτων** μιας συνάρτησης χρόνου $f(t)$. Πρόκειται για μαθηματική συνάρτηση που χρησιμοποιεί ολοκλήρωμα, δηλαδή «συνεχές άθροισμα», για να μετρά το πλάτος των επιμέρους συχνοτήτων μέσα σε μια χρονικά εξαρτώμενη απεριοδική διαταραχή (συνάρτηση χρόνου). Αποτέλεσε επέκταση της συνάρτησης της σειράς Fourier¹ επειδή προκόπτει με την επιμήκυνση της περιοδικότητας της δεύτερης ώστε να προσεγγίσει το άπειρο - κάνοντας δηλαδή το κύμα (ή σήμα) περιοδικό.

Παρότι ο Μετασχηματισμός δεν περιορίζεται σε συναρτήσεις χρόνου αλλά και χώρου, χρησιμοποιείται για να περιγράψει κύματα που είναι μη-περιοδικά και συνεχή στο πεδίο του χρόνου.

Η **σειρά Fourier**, είναι μια συνάρτηση σύμφωνα με την οποία ένα περιοδικό κύμα (ή σήμα) είναι δυνατόν να αναλυθεί σε άθροισμα μιας **απειρίας** απλών αρμονικών, οι οποίες στα μαθηματικά αντιπροσωπεύονται από ημίτονα και συνημίτονα. Αυτό επιτυγχάνεται όταν, οι συχνότητες κάθε αρμονικής είναι ακέραια **πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους**. Αν επομένως η

¹ Η **σειρά Fourier** (επινοήση του μαθηματικού Jean-Baptiste Joseph Fourier, 1768 – 1830), είναι μαθηματική συνάρτηση που επιτρέπει τη μετατροπή μιας συνάρτησης του χρόνου $f(t)$ σε συνάρτηση συχνοτήτων $F(k)$.

αρχική κίνηση είναι μια οποιαδήποτε χρονοϊστορία $f(t)$, λ.χ. η σεισμική εδαφική επιτάχυνση $\ddot{u}_g(t)$, τότε η σειρά Fourier γράφεται με τη μαθηματική έκφραση ενός αθροίσματος όρων ακολουθίας:

$$f(t) = \frac{\alpha(0)}{2} + \sum_{k=1}^N \left(\overbrace{\alpha(k) \cdot \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)}^{A(k) \cdot \sin(\varphi(k))} + \overbrace{\beta(k) \cdot \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)}^{A(k) \cdot \cos(\varphi(k))} \right) = \quad (5.4.2.1.1)$$

$$= \sum_{k=0}^N A(k) \cdot \sin(\alpha(k) \cdot t + \varphi(k)) = \sum_{k=-N}^N F(k) \cdot e^{i \frac{2\pi kt}{T}}$$

όπου:

$$F(k) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} \frac{A(k)}{2i} \cdot e^{i \frac{2\pi kt}{T}} = \frac{1}{2} \cdot (\alpha(k) - i \cdot \beta(k)) & k > 0 \\ \frac{1}{2} \cdot \alpha(0) & k = 0 \\ F^*(|k|) & k < 0 \end{cases} \quad (5.4.2.1.2)$$

$$T, t \in \mathbb{R} \text{ και } f(t), F(k) \in \mathbb{C} \text{ και } N \in \mathbb{N} \text{ και } k \in \mathbb{Z}$$

Στις παραπάνω ισοδύναμες σχέσεις, το περιοδικό σήμα ή κύμα που γράφεται με έκφραση τριγωνομετρικού πολωνύμου αναλύθηκε ισοδύναμα σε άθροισμα (άπειρων) συνημίτονων ή και άθροισμα (άπειρων) εκθετικών όρων. Οι τιμές $F(k)$ αντιστοιχούν σε χρόνους $t(n) = n \cdot \Delta t$, όπου Δt ένα σταθερό χρονικό διάστημα (λ.χ. 0.01 sec) και $f(n\Delta t) = F(k)$ για φυσικούς αριθμούς $n = 0, \dots, N-1$. Οι **ψηφιακές συχνότητες** k είναι ακέραιοι που ορίζουν τις γωνιακές συχνότητες $\omega(k) = k \cdot (2\pi/T)$.

Η επαλληλία όρων (Εξ. 5.4.2.1.1) καλείται «σειρά Fourier» εφόσον το άθροισμα είναι σημαντικό μεγάλο, θεωρητικά άπειρο ($N \rightarrow \infty$)². Οι συντελεστές, γνωστοί ως «**συντελεστές Fourier**», υπολογίζονται ως εξής:

² Η σειρά της Εξίσωσης (5.4.2.1.1) καλείται «σειρά Fourier» εφόσον το άθροισμα είναι σημαντικό μεγάλο, θεωρητικά άπειρο ($N \rightarrow \infty$). Ειδικότερα, η σειρά Fourier συγκλίνει απόλυτα και ομοιόμορφα σε $f(t)$ όταν η παράγωγος του $f(t)$ (η οποία δεν μπορεί να οριστεί παντού) είναι τετραγωνικά ολοκληρώσιμη. Αν μια συνάρτηση είναι τετραγωνικά ολοκληρώσιμη στο διάστημα $[t_0, t_0+T]$, τότε η σειρά Fourier συγκλίνει στη συνάρτηση σχεδόν σε κάθε σημείο.

$$\alpha(k) = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cdot \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt \quad (5.4.2.1.3)$$

$$\beta(k) = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) dt \quad (5.4.2.1.4)$$

$$F(k) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cdot e^{-i \frac{2\pi kt}{T}} dt \quad (5.4.2.1.5)$$

όπου: $\alpha(k), \beta(k) \in \mathbb{R}$ και $f(t), F(k) \in \mathbb{C}$ και $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, N-1$

Ο ακέραιος k καλείται «**βαθμός** της $F(k)$ », και καθορίζει την περίοδο T των προσεγγιστικών συναρτήσεων $f(t)$. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, οι συναρτήσεις είναι δυνατόν να εξετάζονται μόνον (είναι ορισμένες) στο διάστημα $[0, 2\pi]$ - αντί του $[t_0, t_0+T]$ ³.

Σημειώσεις: Οι παραπάνω σχέσεις σημαίνουν ότι, η επιτάχυνση $\ddot{u}_g(t)$, και εν γένει οποιαδήποτε $f(t)$ συνάρτηση πραγματικής μεταβλητής t , είναι ολοκληρώσιμη στο διάστημα $[t_0, t_0 + T]$ για πραγματικούς αριθμούς t_0 και T . Αν η αναπαράσταση της συνάρτησης $f(t)$ αφορά άθροισμα άπειρων όρων (δηλαδή σειρά) αρμονικών συναρτήσεων, κι έξω από το διάστημα η σειρά είναι περιοδική με περίοδο T (συχνότητα $1/T$), τότε η ανωτέρω προσέγγιση των συντελεστών $\alpha(k)$, $\beta(k)$ και $F(k)$ ισχύει σε ολόκληρη την ευθεία των πραγματικών αριθμών. Οι συντελεστές Fourier $F(k)$ είναι δυνατόν να γραφούν σε όρους χρόνου $f(t)$ επειδή οι εκθετικές συναρτήσεις είναι ορθογωνικές. Η μιγαδική τιμή του συντελεστή $F(k)$ εκφράζει το πλάτος και τη φάση της k ης αρμονικής, ενώ η $F(0)$ τη μέση τιμή των τιμών $f(t)$. Οι συντελεστές ορίζονται ως εξής:

- **Φάσμα πλάτους Fourier** ορίζεται η $F(k)$, δηλαδή η γραφική παράσταση του πλάτους k -στής αρμονικής $F(k)$, η οποία αντιστοιχεί σε συχνότητα $\omega(k)$.
- **Φάσμα φάσης Fourier**, ορίζεται η $\varphi(k)$, δηλαδή η γραφική παράσταση της φάσης $\varphi(k)$ της k -οστής αρμονικής, η οποία αντιστοιχεί σε συχνότητα $\omega(k)$.

Το διάστημα T πρέπει να είναι μεγάλο, επειδή όσο αυξάνει το μήκος του διαστήματος στο οποίο υπολογίζουμε τη σειρά Fourier τότε οι συντελεστές της (Εξ. 5.4.2.1.3, 5.4.2.1.4, 5.4.2.1.5) αρχίζουν να μοιάζουν με τον μετασχηματισμό Fourier και το άθροισμα της σειράς (Εξ 5.4.2.1.1, 5.4.2.1.2) με τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier. Μια από τις πολλές

³ Οποιαδήποτε συνάρτηση $f(t)$ ορισμένη στο διάστημα $[\alpha, \beta]$ μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει ως πεδίο ορισμού το $[0, 2\pi]$ με κατάλληλη αναγωγή, η οποία δίνεται από τη σχέση
$$x = 2\pi (t-\alpha) / (\beta-\alpha)$$

εκφράσεις του Μετασχηματισμού Fourier συνεχούς χρόνου (περίπτωση όπου η συνάρτηση χρόνου είναι η χρονοϊστορία επιτάχυνσης, ή οποιαδήποτε άλλη $f(t)$ συνάρτηση) τότε είναι:

$$F(k) = \int_{-T/2}^{T/2} \ddot{u}_g(t) \cdot e^{-i \frac{2\pi k t}{T}} dt \quad (5.4.2.1.6)$$

Υπάρχουν πολλές εκφράσεις ολοκληρωμάτων για τον καθορισμό του **Μετασχηματισμού Fourier** μιας ολοκληρώσιμης συνάρτησης από το πεδίο των πραγματικών στο πεδίο των μιγαδικών αριθμών ($f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$). Μια έκφραση ανάλογη της μιγαδικής συνάρτησης που αναπτύχθηκε στο *GeoSeism* για τον ευθύ (Εξ. 5.4.2.2.2) και τον αντίστροφο Μετασχηματισμό (Εξ. 5.4.2.2.1), είναι της μορφής:

$$\text{Ευθύς:} \quad F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i \omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i \left(\frac{2\pi k}{T}\right) t} dt \quad (5.4.2.1.7)$$

για κάθε πραγματικό αριθμό $\omega = 2\pi k/T$.

$$\text{Αντίστροφος:} \quad f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(k) \cdot e^{i \omega t} dk = \int_{-\infty}^{\infty} F(k) \cdot e^{i \left(\frac{2\pi k}{T}\right) t} dk \quad (5.4.2.1.8)$$

για κάθε πραγματικό αριθμό t .

Όπου, η δόνηση f σε όρους χρόνου και ο μετασχηματισμός F σε όρους συχνοτήτων, είναι αναπαραστάσεις του ίδιου σεισμικού «γεγονότος». Η ανεξάρτητη μεταβλητή t αντιπροσωπεύει τον χρόνο (sec) και είναι πραγματικός αριθμός, η μεταβλητή k αντιπροσωπεύει τη συχνότητα (Hz) και είναι φυσικός αριθμός (ακέραιος).

5.4.2.2 Έυθός και Αντίστροφος Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier

Ο **Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier** (Discrete Fourier Transform – DFT) είναι μια συνάρτηση που επιχειρεί διακριτοποίηση του Συνεχούς Μετασχηματισμού Fourier. Η διακριτοποίηση πρακτικά διευκολύνει την υλοποίηση αλγόριθμου σε υπολογιστικό κώδικα⁴. Μετατρέπει διακριτά δεδομένα από όρους χρόνου σε όρους φάσματος συχνοτήτων. Στη συνάρτηση αυτή, το πεπερασμένο τμήμα που αναλύεται είναι ένα μόνον τμήμα (μία περίοδος) ενός απείρως εκτεινόμενου περιοδικού σήματος (εν προκειμένω, σεισμικό κύματος).

⁴ Μερικά πλεονεκτήματα: επιτρέπει τη διαχείριση (αποθήκευση, επεξεργασία, αναπαραγωγή) πεπερασμένου πλήθους δειγμάτων κι επομένως οικονομία χώρου και χρόνου, σχετικά μειωμένο κόστος, αυξημένη ποιότητα σε σχέση προς τις αντίστοιχες αναλογικές τεχνικές, δυνατότητα υλοποίησης νέων διεργασιών, όπως για παράδειγμα την κρυπτογράφηση και τη συμπίεση του όγκου των δεδομένων, κ.ά.

Ο Αντίστροφος Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (Inverse DFT – IDFT) επαναφέρει το φάσμα συχνοτήτων στην αρχική μορφή της συνάρτησης στον χρόνο.

Η συνάρτηση συχνότητας ή Ευθύς Μετασχηματισμός (Εξ. 5.4.2.2.1) και η συνάρτηση χρόνου ή Αντίστροφος Μετασχηματισμός (Εξ. 5.4.2.2.2) αποτελούν το ζεύγος μετασχηματισμού Fourier. Το ζεύγος μεταπίπτει από τη συνάρτηση (Εξ. 5.4.2.1.7, Εξ. 5.4.2.1.8) στη μορφή:

$$\text{Ευθύς:} \quad F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot e^{-i \frac{2\pi nk}{N}} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (5.4.2.2.1)$$

για κάθε πραγματικό αριθμό t .

$$\text{Αντίστροφος:} \quad f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{i \frac{2\pi nk}{N}} \quad n = 0, \dots, N-1 \quad (5.4.2.2.2)$$

για κάθε πραγματικό αριθμό ω .

Η μορφή του παραπάνω ζεύγους είναι δυνατόν να διαφέρει σε κάθε αλγόριθμο. Εκφράζει άλλωστε μια σύμβαση χωρίς απόλυτη φυσική σημασία. Φυσική σημασία θα είχε αν ήταν συνεχής, όπως είναι ο χώρος και ο χρόνος όπου εξελίσσονται τα φυσικά φαινόμενα. Οι διαφορετικές σχέσεις παράγονται από ισοδύναμες εκφράσεις με βάση κυρίως την ταυτότητα του Euler ⁵ ($e^{i\omega t} = \cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$). Μετασχηματίζουν κάθε ακολουθία N μιγαδικών αριθμών $f_0, f_1, f_2, \dots, f_{N-1}$, η οποία αντιστοιχεί στην χρονοϊστορία της εισερχόμενης σεισμικής δόνησης, σε μια N -περιοδική ακολουθία μιγαδικών αριθμών $F_0, F_1, F_2, \dots, F_{N-1}$, η οποία αντιστοιχεί στο φάσμα της εισερχόμενης σεισμικής δόνησης. Η διαφοροποίηση των τελικών συναρτήσεων παρατηρείται ως προς το πρόσημο της δύναμης της εκθετικής ταυτότητας και τον παράγοντα κανονικοποίησης της σειράς Fourier. Παρατίθενται μερικές γνωστές μαθηματικές εκφράσεις (Πιν. 5.4.2.2).

Λόγω της συμμετρικής διάταξης των συζυγών μιγαδικών όρων, καθώς και λόγω της περιοδικότητας, οι τιμές k μπορεί να ορίζονται σε οποιοδήποτε διάστημα ακέραιων. Εκτός δηλαδή από το διάστημα $[0, N - 1]$, που χρησιμοποιεί το *GeoSeism*, το ίδιο αποτέλεσμα έχουν αν ορίζονται στο διάστημα $[-N/2, N/2 - 1]$ για άρτιο πλήθος N είτε $[-(N-1)/2, (N-1)/2]$ για περιττό πλήθος N , ή σε άλλο. Οι αρνητικές συχνότητες δεν έχουν φυσική σημασία.

⁵ Η ταυτότητα του Euler : Αν στο ανάπτυγμα για την εκθετική συνάρτηση

$$e^z = 1 + \frac{z}{1!} + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \dots, \quad -\infty < z < \infty$$

αντικαταστήσουμε $z = ix$, ($i = \sqrt{-1}$), γίνεται

$$e^{ix} = 1 + ix - \frac{x^2}{2!} - i \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + i \frac{x^5}{5!} - \frac{x^6}{6!} - \dots = \left(1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \right) + i \left(x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots \right)$$

το οποίο ισοδυναμεί με την τριγωνομετρική συνάρτηση $e^{ix} = \cos x + i \sin x$.

Πίνακας 5.4.2.2 Μερικά γνωστά ζεύγη Διακριτού Μετασχηματισμού Fourier.

A	DFT :	$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot e^{-i \frac{2\pi nk}{N}}$	(Chopra, 1995). Τις ίδιες ανέπτυξε και το GeoSeism.
	IDFT :	$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{i \frac{2\pi nk}{N}}$	
B	DFT :	$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot e^{-i \frac{2\pi nk}{N}}$	
	IDFT :	$f(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{i \frac{2\pi nk}{N}}$	
Γ	DFT :	$F(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot e^{-i \frac{2\pi nk}{N}}$	
	IDFT :	$f(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{i \frac{2\pi nk}{N}}$	

Συνοπτικά, οι συμβολισμοί έχουν ως εξής:

$k \in \mathbb{Z}$, $n \in \mathbb{N}$, $f(n)$, $F(k) \in \mathbb{C}$ και $k = 0, \dots, N-1$ και $n = 0, \dots, N-1$,	
N	το πλήθος τιμών του εξεταζόμενου δείγματος στον χρόνο,
n	η τρέχουσα τιμή κάθε αρμονικής από $[0, \dots, N-1]$,
$f(n)$	η τιμή της χρονοϊστορίας του κύματος (ή σήματος) τη στιγμή n ,
k	η τρέχουσα συχνότητα κάθε αρμονικής, σε ψηφιακούς όρους, η οποία παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, \dots, N-1]$,
k/N	k κύκλοι ανά N τιμές είναι η συχνότητα κάθε αρμονικής,
$F(k)$	η συχνοτική τιμή του φάσματος στην τρέχουσα συχνότητα k (εμπεριέχει Πλάτος και Φάση),
T ή T_s	Περίοδος δειγματοληψίας,
N/T	το πλήθος τιμών ανά περίοδο,
$f_0 = 1/T$	η θεμελιώδης συχνότητα, και ταυτόχρονα η πρώτη αρμονική, $2f_0 =$ η συχνότητα της δεύτερης αρμονικής, $3f_0 =$ η συχνότητα της τρίτης αρμονικής, κ.ο.κ.,
ω	η γωνιακή συχνότητα $\omega = k (2\pi/T) = 2\pi / (N \cdot \Delta t)$,
t	οι χρονοστιγμές $t = n \cdot \Delta t$,
$-i(\omega)t$	ο εκθέτης $-i(\omega)t = -i(2\pi/T)t = -i(2\pi k)t = -i2\pi k(n/N)$,

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Εν κατακλείδι, με την τεχνική του Διακριτού Μετασχηματισμού, μια μιγαδική συνάρτηση $f(t)$ μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά αριθμών στην οποία οι (μιγαδικές) τιμές $F(\omega)$ αντιστοιχούν σε χρόνους $tn = n \cdot \Delta t$, όπου Δt είναι το σταθερό χρονικό βήμα. Η δυνατότητα αντιστροφής της συνάρτησης εξασφαλίζεται με κατάλληλο υπολογισμό του βήματος των συχνοτήτων $\omega(k)$, ως εξής:

$$\omega(k) = \frac{2\pi k}{N \Delta t} \quad k=0, \dots, N-1 \quad (5.4.2.2.3)$$

Οι συχνότητες της εξερχόμενης συνάρτησης είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους συχνότητας (για $k = 1$), της οποίας η περίοδος T είναι το μήκος του δείγματος. Ο συνδυασμός των N αρμονικών που λαμβάνονται από τον DFT επομένως είναι για τον λόγο αυτόν περιοδικές με την ίδια περίοδο.

5.4.3 Η μεθοδολογία DFT – IDFT του GeoSeism

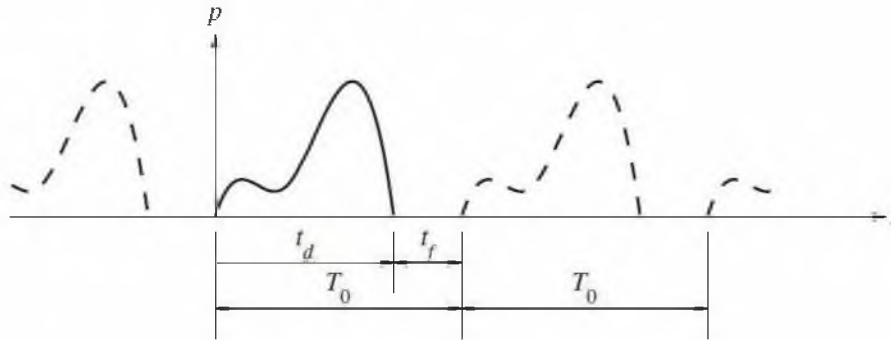
Για την ανάλυση στο πεδίο των συχνοτήτων, το GeoSeism εφάρμοσε το ζεύγος του Διακριτού Μετασχηματισμού Fourier (DFT - IDFT) της περίπτωσης Α του Πίνακα 5.4.2.2. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο που περιγράφηκε (Ενοτ. 5.4.2.2). Ακολουθούν πρακτικές σημειώσεις για την επιτυχή κατασκευή μιας δειγματοληψίας, δηλαδή μιας μετατροπής ενός συνεχούς σήματος σε διακριτό.

Απαραίτητες **συμβάσεις**, είναι:

- (α) Ο DFT και ο IDFT πρέπει να έχουν αντίθετα πρόσημα δύναμης εκθετικών όρων.
- (β) Το γινόμενο των παραγόντων κανονικοποίησης πρέπει να είναι $1/N$.
- (γ) Οι μιγαδικοί του δεύτερου μισού πλήθους των πλατών συχνότητας (από $N/2$ ως $N - 1$) πρέπει να είναι συζυγείς και ίσου πλήθους με τους μιγαδικούς του πρώτου μισού (από 0 ως $N/2 - 1$) και μάλιστα με μια διάταξη συμμετρική από τους ακραίους ($0, N-1$) προς τους μέσους ($N/2 - 1, N/2$). Σε περίπτωση περιττού πλήθους όρων της ακολουθίας, ο επιπλέον όρος διατάσσεται στο μέσον της ακολουθίας.
- (δ) Ο χρόνος της δειγματοληψίας πρέπει να αντιστοιχεί στον φυσικό χρόνο που χρειάζεται για να αποκριθεί ο καθορισμένος ταλαντωτής.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη χρήση οποιωνδήποτε σχέσεων DFT, η εξέταση μικρότερης περιόδου από την αναγκαία επιφέρει σφάλματα στα αποτελέσματα ανάλογα των χαρακτηριστικών του ταλαντωτή. Σύμφωνα και με τα πειράματα του Chopra (1995), ο χρόνος της ελεύθερης ταλάντωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Σχ. 5.4.3). Επειδή η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυξάνει με την εξέταση μεγαλύτερης διάρκειας απόκρισης, η περίοδος (T) της περιοδικά επεκτεινόμενης διέγερσης πρέπει να είναι τουλάχιστον $T \geq T_0 = t_a + t_f$. Μια οποιαδήποτε τυχαία (μη-περιοδική) διέγερση είναι τότε δυνατόν να περιγραφεί

ως περιοδική, εις τρόπον ώστε να μπορούν να προσδιορίζονται και οι παράγοντες που επιδρούν στην απόκριση του ταλαντωτή εξαιτίας της διέγερσης.



Σχήμα 5.4.3 Περιοδική επέκταση μιας χρονοϊστορίας $p(t)$ [Πηγή: Chopra, 1995].

Συνάγεται από τα παραπάνω ότι, η επιλογή της περιόδου (T) και του πλήθους (N) των σημείων που θα εξετάσει μια δειγματοληψία έχουν ιδιαίτερη σημασία. Εν προκειμένω, ο ταλαντωτής αντιστοιχεί στην απόκριση μιας εδαφικής στρώσης. Ο φυσικός αυτός χρόνος υπεισέρχεται στον Μετασχηματισμό Fourier ως μια περίοδος δειγματοληψίας T .

Σε πρώτο βήμα, το GeoSeism επιχειρεί να προσεγγίσει το πλήθος (N) που θα εξετάσει η δειγματοληψία. Ακολουθεί την πρακτική του SHAKE (Schnabel et al., 1972), σύμφωνα με τον κανόνα:

$$N2 = 2^k, \quad k = \text{ακέραιος} \left(\frac{\log N1}{\log 2} + 1.0 \right) \quad (5.4.3.1)$$

Έτσι, στην περίπτωση που το αρχικό μήκος ($N1$) της σεισμικής διέγερσης δεν είναι δύναμη του δύο, η ακολουθία της αρχικής χρονοϊστορίας πρέπει να επεκταθεί έως και $N = N2$. Η μεθοδολογία τότε επεκτείνει την ακολουθία με την προσθήκη μηδενικών όρων (τεχνική γνωστή ως «padding zero») μέχρι να φτάσει σε συνολικό μήκος την πλησιέστερη δύναμη του δύο.

Σε επόμενο βήμα, εξετάζεται αν επαρκεί το παραπάνω πλήθος $N = N2$ για να αποδώσει κατάλληλο ρυθμό δειγματοληψίας. Σύμφωνα με το Θεώρημα Δειγματοληψίας των Nyquist-Shannon⁶, τα σήματα περιορισμένου εύρους φάσματος (τα οποία δηλαδή στο πεδίο συχνοτήτων έχουν τιμές μέχρι μια μέγιστη συχνότητα) μπορούν να ανακατασκευαστούν πλήρως

⁶ Το θεώρημα δειγματοληψίας των «Nyquist-Shannon» είναι γνωστό με πολλά ονόματα. Παρότι αποδίδεται τιμητικά στους Harry Nyquist και Claude Shannon, το ανακάλυψαν ανεξάρτητα από αυτούς και άλλοι, λ.χ. «Nyquist - Shannon - Kotelnikov», ή «Whittaker - Shannon - Kotelnikov», ή «Whittaker - Nyquist - Kotelnikov - Shannon». Συχνά καλείται κι ως «θεμελιώδες θεώρημα παρεμβολής».

από την δειγματοληπτημένη μορφή τους εάν χρησιμοποιηθεί **συχνότητα δειγματοληψίας** (F_s)⁷ μεγαλύτερη ή ίση από το διπλάσιο της **μέγιστης συχνότητάς τους** (f_0)⁸:

$$F_s \geq 2 \cdot f_0 \quad (5.4.3.2)$$

Στη βιβλιογραφία (λ.χ., Newland, 1975), η F_s ονομάζεται Συχνότητα του Nyquist, η $F_s/2$ λειτουργεί ως συχνότητα αναδιπλώσης (folding frequency), η υποδειγμάτιση ($F_s < 2 \cdot f_0$) εμφανίζει στο φάσμα φαινόμενα σφαλμάτων επικάλυψης (Ενοτ. 5.4.4).

Μετά από εφαρμογές του GeoSeism πάνω σε υστερητικούς και σε ιξώδεις ταλαντωτές υποβαλλόμενους σε συνήθεις ισχυρές κινήσεις, η μεθοδολογία τελικά εφαρμόζει τις σχέσεις (Εξ. 5.4.3.1), (Εξ. 5.4.3.2) και :

$$\begin{aligned} N = N_2, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 : \quad f_0 = F\left(\frac{N}{2}-1\right) &= \frac{1}{2 \cdot \Delta t}, \\ \Delta t = 0.01 \text{sec}, \quad \Delta f = F_s / N, \quad F_s = F(N-1) &= \frac{1}{\Delta t} \end{aligned} \quad (5.4.3.3)$$

Εν κατακλείδι, το μήκος της εξεταζόμενης χρονοϊστορίας λαμβάνεται τελικά τουλάχιστον διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που ενδιαφέρει τη μελέτη. Η περίοδος της δειγματοληψίας καλύπτει και τον χρόνο απόκρισης του εδαφικού σχηματισμού μετά το τέλος της διέγερσης. Το βήμα του φάσματος ($\Delta f = F_s/N$) γίνεται αρκετά μικρό, ώστε αποσοβούνται σφάλματα επικάλυψης μεταξύ των συχνοτήτων στο φάσμα. Με τον τρόπο αυτό η ανακατασκευή των χρονοϊστοριών δυναμικής απόκρισης γίνεται επιτυχώς και στο πεδίο του χρόνου.

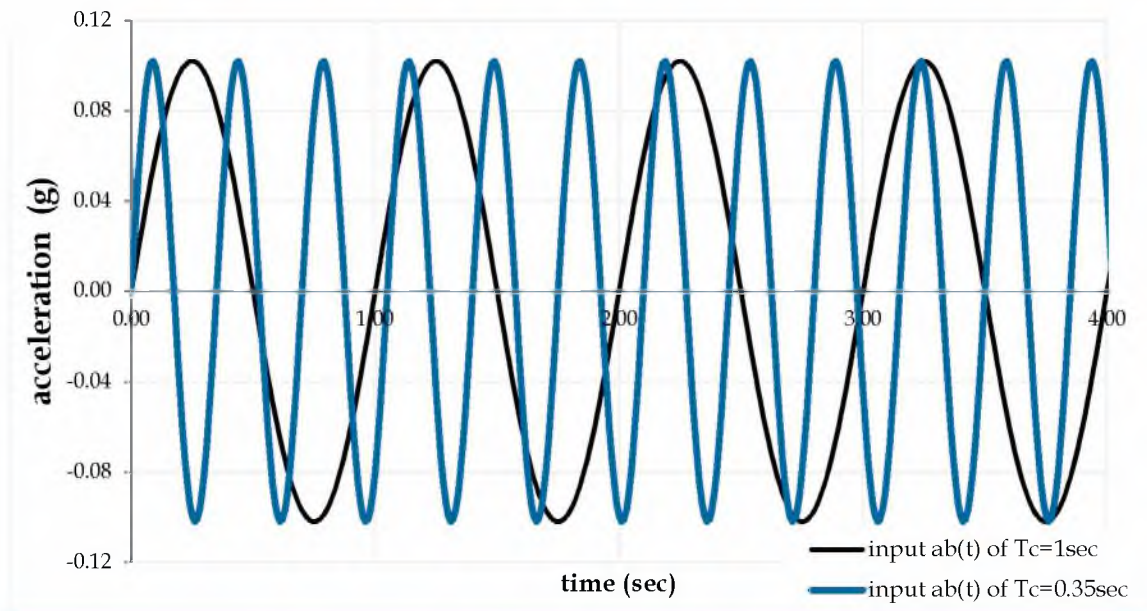
5.4.4 Σφάλματα επικάλυψης και πώς τα αντιμετωπίζει το GeoSeism

Τα «σφάλματα επικάλυψης» (aliasing errors), είναι ένα φαινόμενο που προβληματίζει στις εφαρμογές του Μετασχηματισμού Fourier, όπως περιγράφηκε παραπάνω (Ενοτ. 5.4.3). Χαρακτηρίζει την περίπτωση όπου διαφορετικές συχνότητες γίνονται δυσδιάκριτες - εις τρόπον ώστε οι υπολογισμοί να εμπλέκονται. Εμφανίζονται τότε στα φάσματα συχνοτήτων και εικόνες μικρών συχνοτήτων με αποτέλεσμα όλη η συνάρτηση να είναι συγκεχυμένη. Στη συνέχεια, δεν ανακατασκευάζονται επιτυχώς ούτε στο πεδίο του χρόνου.

⁷ Συχνότητα Δειγματοληψίας ή «ρυθμός δειγματοληψίας», λ.χ. $F_s = 100$ Hz, σημαίνει ότι (σε περιοδικά επαναλαμβανόμενο κύμα) ο δειγματολήπτης δημιουργεί 100 δειγμάτα σε κάθε δευτερόλεπτο σήματος.

⁸ Όλοι οι συμβολισμοί της Ενότητας 5.4.2 ισχύουν και στην Ενότητα 5.4.3, πλην της θεμελιώδους συχνότητας (f_0) η οποία στην Ενότητα 5.4.3 συμβολίζει τη μέγιστη συχνότητα (για λόγους συμφωνίας με το Σχήμα 5.4.3).

Για παράδειγμα στο Σχήμα 5.4.4.1, εξαιτίας μιας ακατάλληλης δειγματοληψίας η μικρή θεμελιώδης συχνότητα (περιόδου 1 sec) είναι δυνατόν να εμφανιστεί με ψευδείς επικάλυψεις στο φάσμα ενώ η μεγάλη συχνότητα (περιόδου 0.35 sec) να μην ανακατασκευαστεί σωστά στο πεδίο του χρόνου.



Σχήμα 5.4.4.1 Μονοχρωματικές αρμονικές διεγέρσεις που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σφάλμα επικάλυψης μέσα στο ίδιο κύμα.

Για την ανάλυση της απόκρισης πολυστρωματικών εδαφικών σχηματισμών, η μεθοδολογία του GeoSeism υιοθέτησε τις σχέσεις (Εξ. 5.4.3.1), (Εξ. 5.4.3.2) και (Εξ. 5.4.3.3) προκειμένου να αποσοβούνται σφάλματα επικάλυψης. Την ίδια μεθοδολογία ακολουθεί και στη μελέτη μονοβάθμιων ιξώδων ταλαντωτών, δεδομένου ότι η Θεμιστόκλεια μπορεί να χρησιμοποιείται και για επιλύσεις ανεξάρτητες της Αρτεμης. Η μέγιστη συχνότητα των δειγματοληψιών είναι 50 Hz. Σημειώνεται ότι, στην πράξη συχνότητες 20 - 25 Hz είναι υπεραρκετές για κατασκευές, εκτός από εξαιρέσεις όπως λ.χ. τα τοξωτά φράγματα που είναι ευάλωτα σε υψηλές συχνότητες.

5.4.5 Επιβεβαίωση της μεθοδολογίας Θεμιστόκλεια του GeoSeism

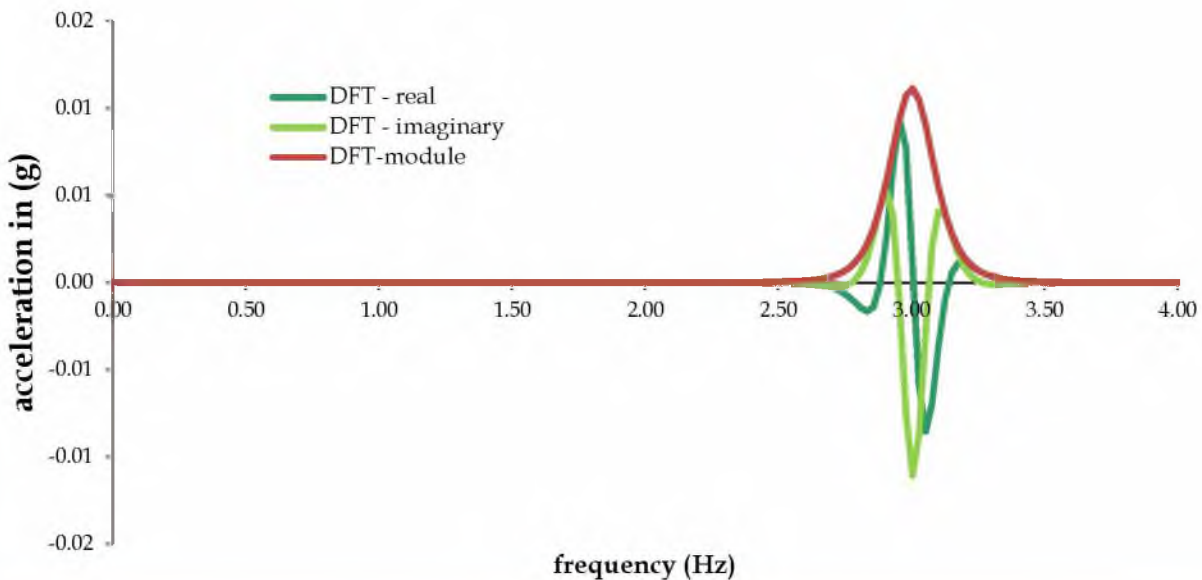
Η επιτυχής κατάρτιση της μεθοδολογίας Θεμιστόκλεια του GeoSeism, διαπιστώνεται έμμεσα από τα ακριβή αποτελέσματα της ισοδύναμη γραμμικής ανάλυσης (Αρτεμης), με την οποία διαλειτουργεί κατά κόρον. Για ενδεικτικούς ωστόσο λόγους παρατίθενται στη συνέχεια μερικά αποτελέσματα από τις Εφαρμογές του Κεφαλαίου 6, τα οποία και συγκρίνονται με τα

αντίστοιχα του λογισμικού *EERA*. Υπενθυμίζεται ότι στο Κεφάλαιο 6 εξετάστηκε ένας πολυστρωματικός εδαφικός σχηματισμός υποβαλλόμενος σε διαφορετικές εξωτερικές διεγέρσεις.

Μια πρώτη επιβεβαίωση της ακρίβειας της παρούσης μεθοδολογίας δίνουν έμμεσα τα γραφήματα της Ενότητας 6.3 στα οποία είναι πρακτικώς μηδενική η φανταστική συνιστώσα (U - image) των ανακατασκευασμένων χρονοϊστοριών.

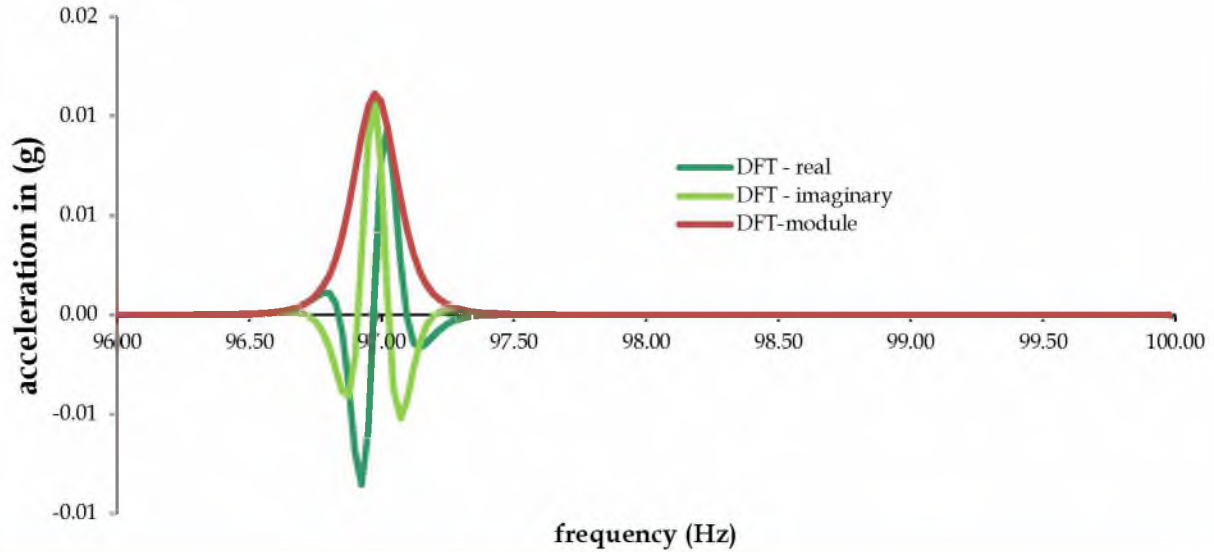
Περαιτέρω επιβεβαίωση δίνουν τα επόμενα γραφήματα. Ο DFT αναλύει τα μιγαδικά πλάτη του φάσματος της αρχικής χρονοϊστορίας, σε ένα εύρος από 0 Hz έως 50 Hz, ενώ στο εύρος από 50 - 100 Hz τοποθετεί τα αντίστοιχα συζυγή πλάτη. Οι συχνότητες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους 0.0244140625 Hz.

Στο (Σχ. 5.4.5.1) απεικονίζεται το φάσμα συχνοτήτων της εισαγόμενης επιτάχυνσης (Σχ. 6.03). Στην εικόνα (α) οι θεμελιώδεις συχνότητες της διέγερσης είναι συγκεντρωμένες σε ένα εύρος από 2.5 έως 3.5 Hz, με δεσπόζουσα στα 3.00 Hz. Τα πλάτη στις υπόλοιπες συχνότητες είναι σχεδόν μηδενικά. Στην εικόνα (β) απεικονίζονται λεπτομερώς οι συμμετρικές πραγματικές και αντισυμμετρικές φανταστικές συνιστώσες των συζυγών μιγαδικών συνιστωσών του φάσματος, όπως αυτές κατασκευάζονται από τον IDFT. Σημειώνεται ότι, οι μιγαδικές συνιστώσες και οι συζυγείς τιμές είναι μερικά από τα ενδιάμεσα αποτελέσματα (Ένот. 1.2, παράγραφος α) τα οποία δεν προσφέρει το λογισμικό *EERA*.



(α)

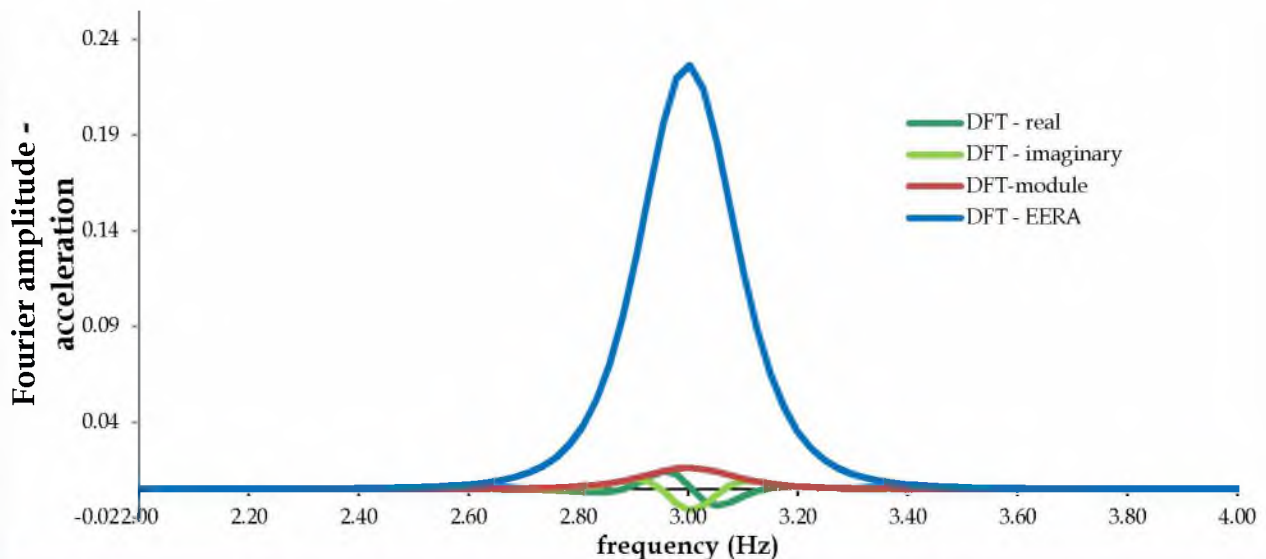
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(β)

Σχήμα 5.4.5.1 Μετασχηματισμός Fourier στο GeoSeism, όπου η εισαγόμενη επιτάχυνση (Σχ. 6.0.3) αναλύεται στο φάσμα των συχνοτήτων, με μιγαδικές συνιστώσες.

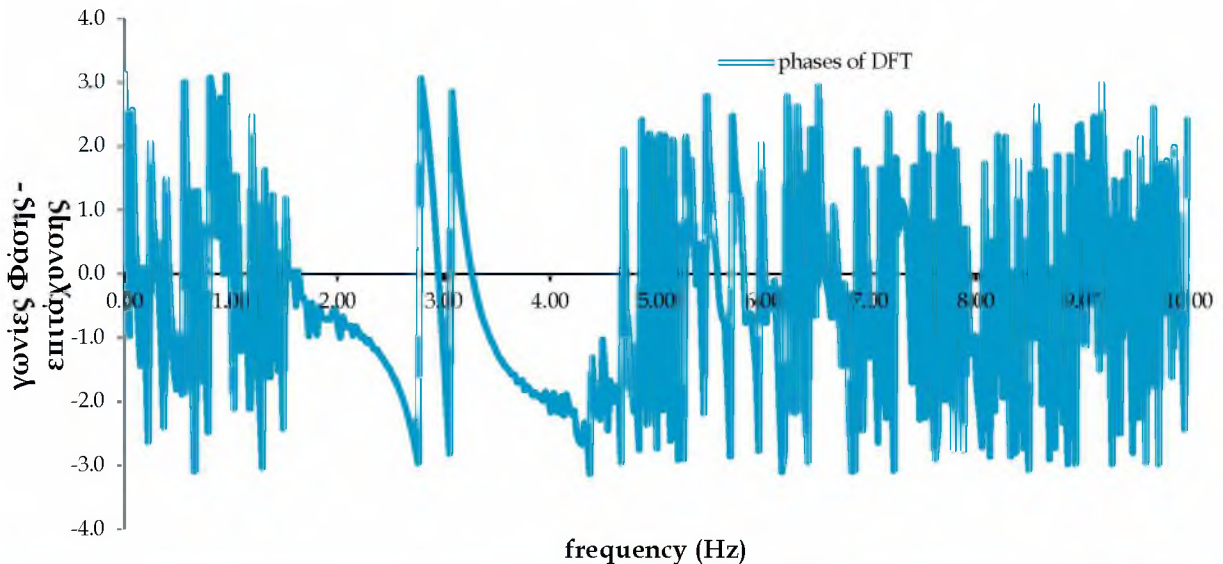
Η ακρίβεια στα γραφήματα (Σχ. 5.4.5.2) διαπιστώνεται από την σύμπτωση της συχνότητας συντονισμού, παρότι είναι φανερό ότι τα λογισμικά EERA και GeoSeism χρησιμοποιούν διαφορετικό παράγοντα κανονικοποίησης στο ζεύγος DFT - IDFT (Πιν. 5.4.2.2).



Σχήμα 5.4.5.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων του EERA και του GeoSeism για το μέτρο του πλάτους Fourier (το EERA δεν δίνει μιγαδικές συνιστώσες, μόνον μέτρο).

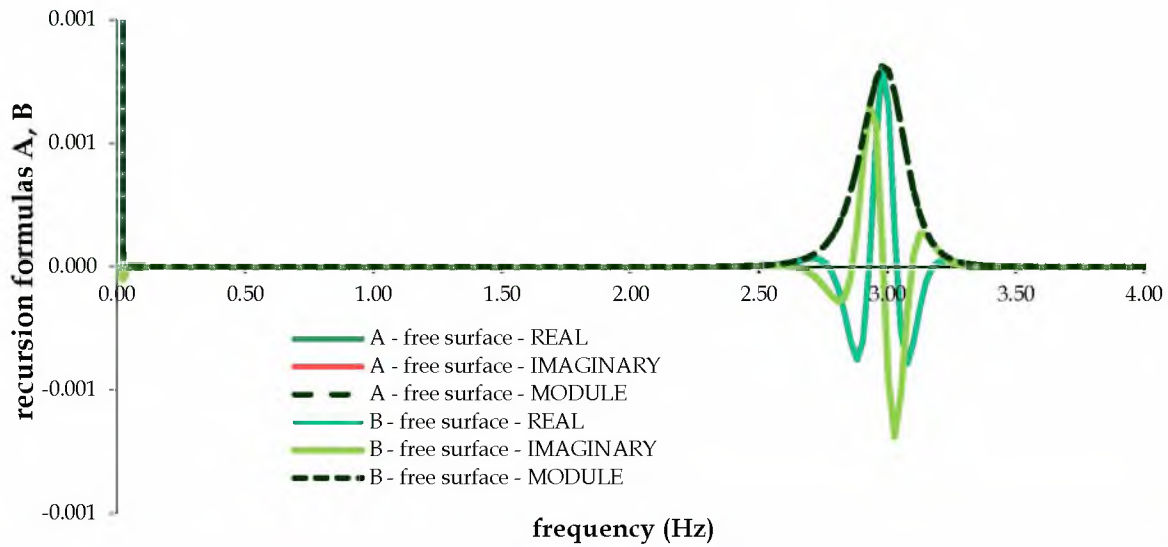
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ενδεικτικά παρατίθεται και το φάσμα των φάσεων (Σχ. 5.4.5.3) για την ίδια διέγερση. Κοντά στη δεσπόζουσα συχνότητα (όπου εμφανίζει μέγιστα πλάτη το φάσμα συχνοτήτων), οι γωνίες Φάσης δίνουν μηδενικές τιμές και μια ιδιαίτερη εικόνα.

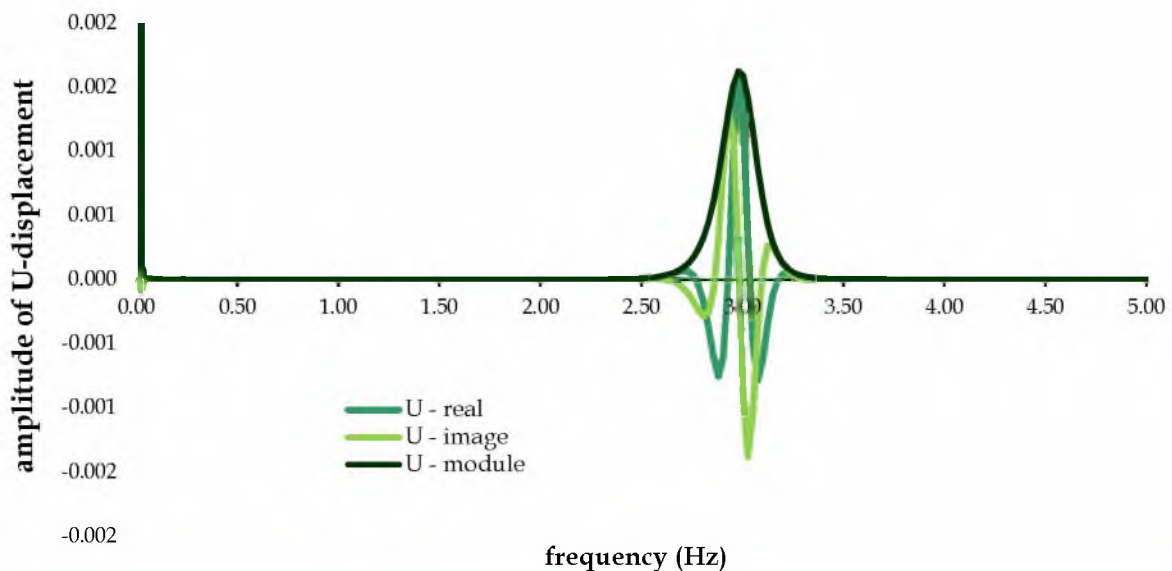


Σχήμα 5.4.5.3 Κατανομή των γωνιών Φάσης της εισαγόμενης επιτάχυνσης (Σχ. 6.0.3) στο φάσμα των συχνοτήτων.

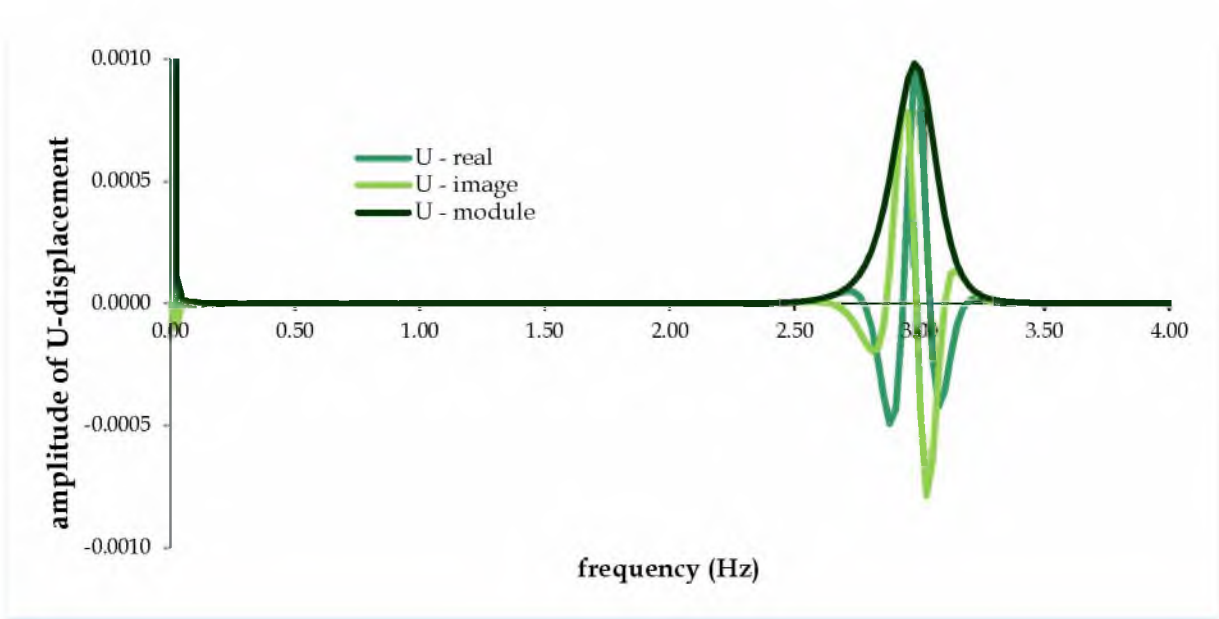
Τα επόμενα γραφήματα (Σχ. 5.4.5.4) απεικονίζουν τα φάσματα συχνοτήτων της δυναμικής εδαφικής απόκρισης για την πρώτη Εφαρμογή (Ενοτ. 6.1). Εξετάζεται η απόκριση του τριστρωματικού σχηματισμού (εδαφικό μοντέλο: Σχ. 6.0.1), σε μια δοκιμή, υποβαλλόμενου στην προαναφερθείσα εξωτερική διέγερση (Σχ. 6.03), καταγεγραμμένη στη βάση της εδαφικής τομής.



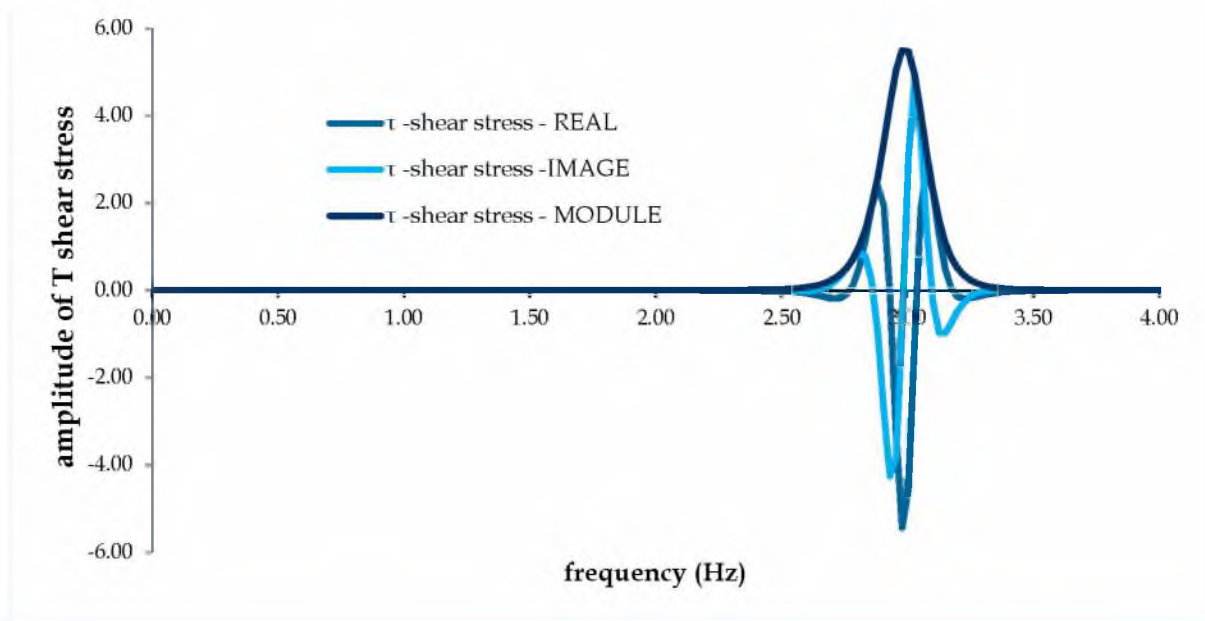
Σχήμα 5.4.5.4 Φάσμα συχνοτήτων των αναδρομικών όρων A , B , για τα ανερχόμενα και κατερχόμενα κύματα αντίστοιχα, στην οροφή της πρώτης επιφανειακής στρώσης.



Σχήμα 5.4.5.5 Φάσμα συχνοτήτων της μετατόπισης στην επιφάνεια του εδάφους.

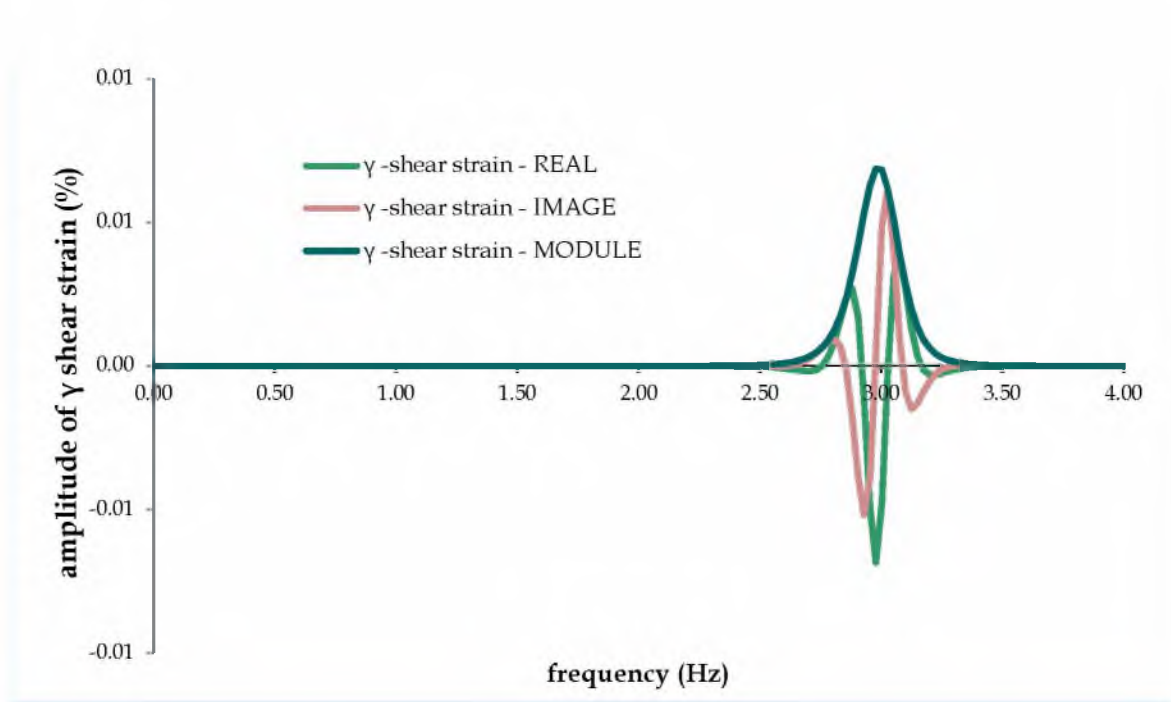


Σχήμα 5.4.5.6 Φάσμα συχνοτήτων της μετατόπισης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.

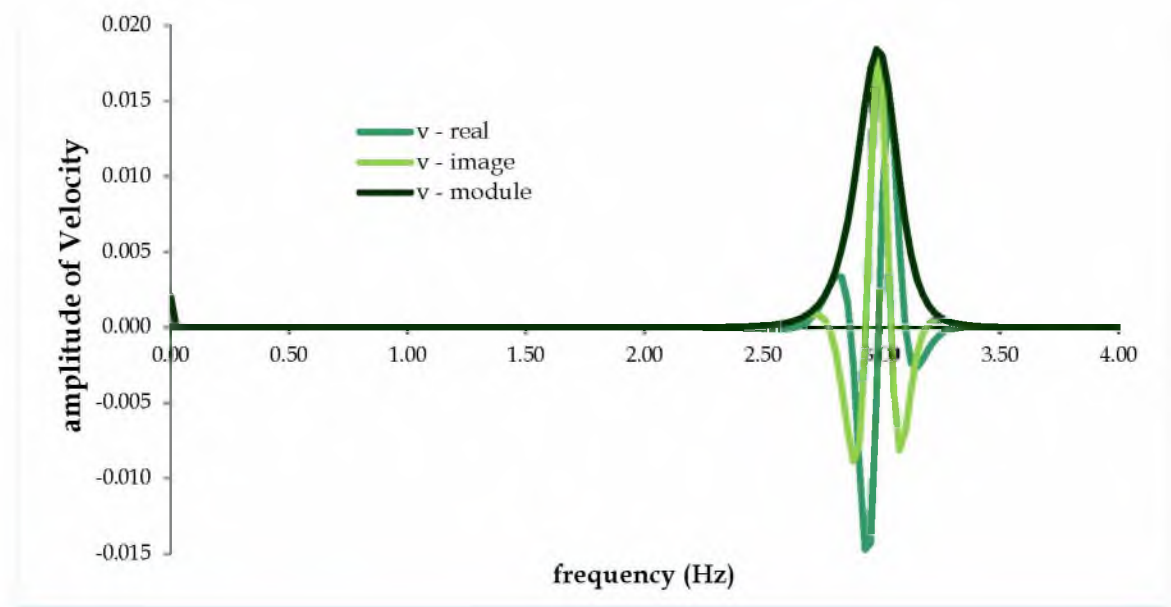


Σχήμα 5.4.5.7 Φάσμα συχνοτήτων της διατμητικής τάσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

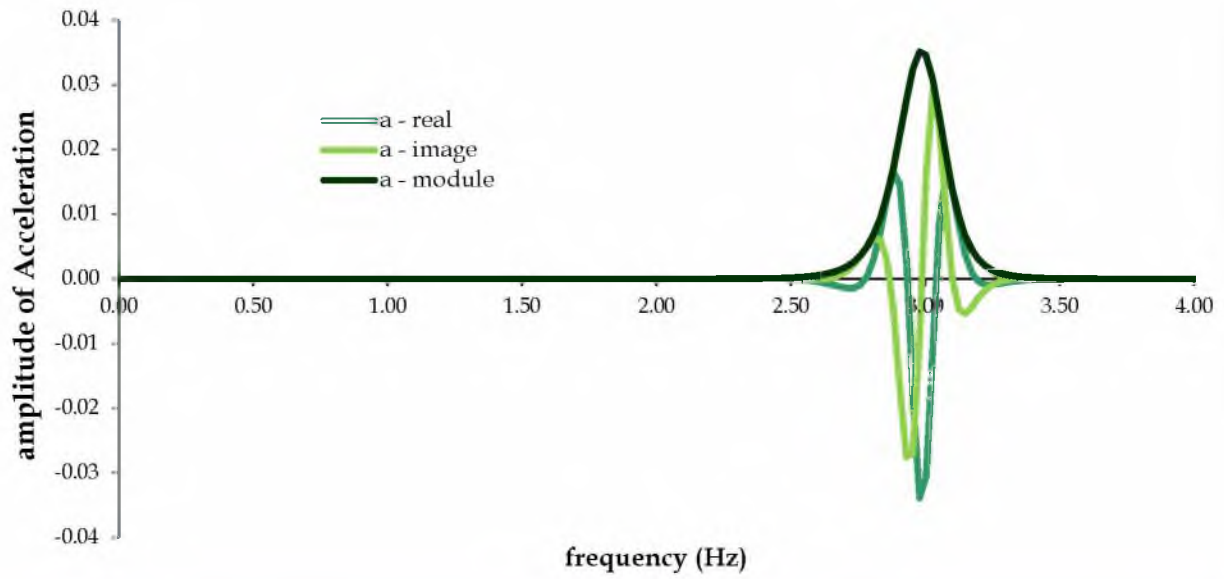


Σχήμα 5.4.5.8 Φάσμα συχνοτήτων της διατμητικής παραμόρφωσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.

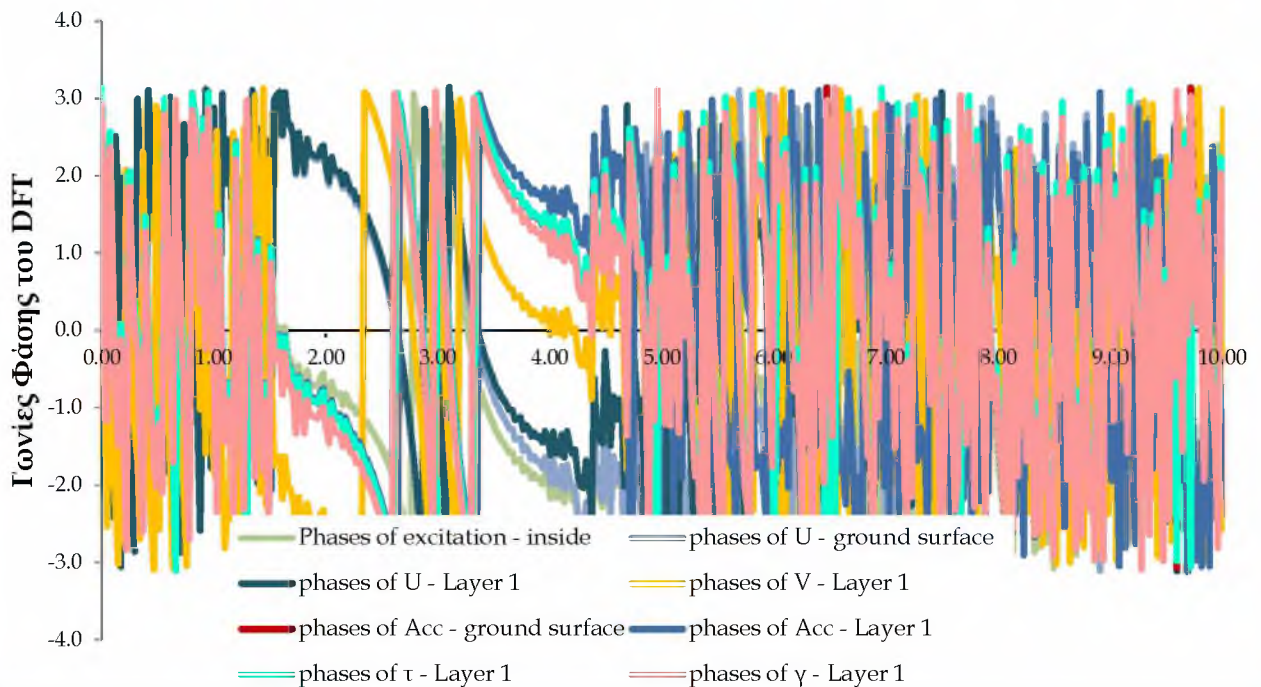


Σχήμα 5.4.5.9 Φάσμα συχνοτήτων της ταχύτητας στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 5.4.5.10 Φάσμα συχνότητων της επιτάχυνσης στη βάση της πρώτης επιφανειακής στρώσης.



Σχήμα 5.4.5.11 Φάσεις των παραμέτρων δυναμικής απόκρισης της πρώτης επιφανειακής στρώσης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.5 : Ελαστικά Φάσματα Απόκρισης - Περιγραφή της Πενθεσίλειας

5.5 Μεθοδολογία υπολογισμού των ελαστικών φασμάτων απόκρισης

Τα φάσματα (σεισμικής) απόκρισης (Response Spectra) είναι μια τεχνική με την οποία περιγράφεται η σεισμική απόκριση των τεχνικών κατασκευών που θεμελιώνονται στο έδαφος. Η μεθοδολογία κατάρτισης των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, αναπτύχθηκε στο υπο-πρόγραμμα Πενθεσίλεια του GeoSeism. Περιγράφεται στη συνέχεια (Ενοτ. 5.5.5) αφού παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο (Ενοτ. 5.5.1) και γίνει αναφορά στη σημασία τους για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών (Ενοτ. 5.5.2) και την περιγραφή του μηχανισμού (Ενοτ. 5.5.3, Ενοτ. 5.5.4) της ελαστικής απόκρισης μονοβάθμιων συστημάτων με ιξώδη απόσβεση τα οποία υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση στη βάση τους. Ακολουθεί έλεγχος της μεθοδολογίας (Ενοτ. 5.5.6).

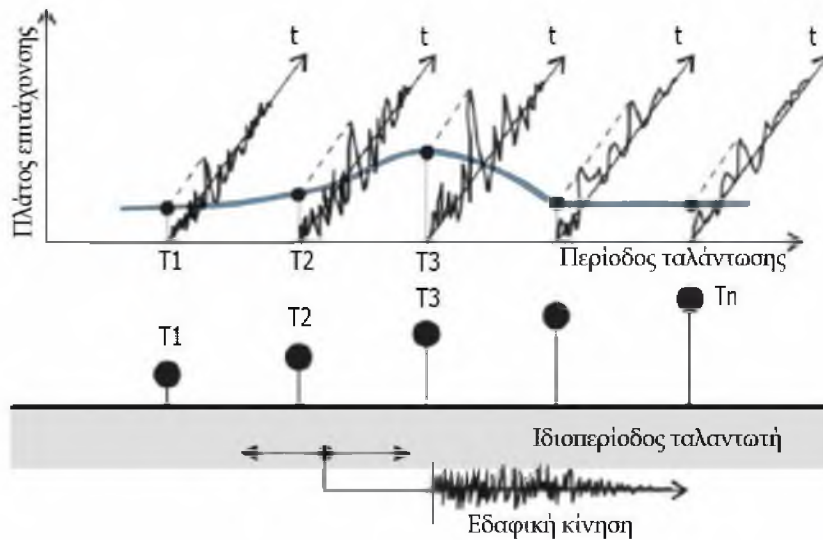
5.5.1 Ορισμός και είδη Ελαστικών Φασμάτων (σεισμικής) Απόκρισης

Το ελαστικό φάσμα σεισμικής απόκρισης, περιγράφει σε μορφή γραφικής παράστασης το μέγιστο πλάτος της ελαστικής απόκρισης (ταλάντωσης) ενός φάσματος διάφορων κατασκευών για δεδομένη σεισμική διέγερση στη βάση τους (Σχ. 5.5.1).

Γίνεται η παραδοχή ότι η συμπεριφορά κάθε κατασκευής προσομοιώνεται με μονοβάθμιο ¹ αρμονικό ταλαντωτή ο οποίος έχει τη φυσική ιδιοσυχνότητα της κατασκευής και αναπτύσσει ιξώδη απόσβεση. Κάθε ταλαντωτής διεγείρεται θεωρητικά με μια (συγκεκριμένη) σεισμική διέγερση στη βάση του. Η Πληροφορία που δίνει τότε το φάσμα είναι η μέγιστη απόλυτη «φασματική απόκριση», δηλαδή το μέγιστο πλάτος ταλάντωσης που προκάλεσε στο πάνω μέρος κάθε διαδοχικού ταλαντωτή η ίδια συνιστώσα του σεισμού. Το

¹ Βαθμοί ελευθερίας ονομάζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές μέσω των οποίων προσδιορίζεται (πλήρως) η θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.

πλάτος ταλάντωσης αναφέρεται συνήθως σε όρους απόλυτης επιτάχυνσης, ή κάποιου από τα υπόλοιπα φυσικά μεγέθη της κίνησης, και είναι συνάρτηση της φυσικής ιδιοσυχνότητας (ή ιδιοπεριόδου) καθενός ταλαντωτή κι ενός ενιαίου συντελεστή απόσβεσης ανάλογου του υλικού και του είδους της κατασκευής (Πιν. 5.5.1.1, Πιν. 2.4.4).



Σχήμα 5.5.1 Αρχή κατασκευής ενός φάσματος απόκρισης για δεδομένη σεισμική εδαφική κίνηση στη βάση των διαδοχικών μονοβάθμιων ταλαντωτών.

Πίνακας 5.5.1.1 Τιμές ποσοστού απόσβεσης των κατασκευών, όπως ισχύουν σήμερα στον ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό (ΕΑΚ 2000).

Είδος κατασκευής	$\zeta(\%)$
Μεταλλική: με κοχλιώσεις	2
με συγκολλήσεις	4
Σκυρόδεμα: άοπλο	3
οπλισμένο	5
προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία: οπλισμένη	6
διαζωματική	5
Ξύλινη: κολλητή	4
κοχλιωτή	4
ηλωτή	5

Ειδικότερα, στο GeoSeism: Το ελαστικό φάσμα απόκρισης αναφέρεται σε μια γεωγραφική θέση (X, Y, Z), συνήθως στην επιφάνεια του εδάφους (Z = 0). Ο οριζόντιος άξονας της

γραφικής παράστασης καλύπτει μια βαθμιαία αυξανόμενη γκάμα ιδιοπεριόδων που αντιστοιχούν σε διαφορετικούς ταλαντωτές ίδιας απόσβεσης (συνήθως μέχρι 5%). Το εύρος διακύμανσης καλύπτει ένα φάσμα από 0.10 sec ως 3 sec, το οποίο ενδιαφέρει τις μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας. Σχεδιάζονται όλα τα παρακάτω φάσματα, τα οποία εκφράζουν τους «δείκτες δυναμικής συμπεριφοράς» (απόκρισης) μιας κατασκευής (Πιν. 5.5.1.2). Παρότι προκύπτουν το ένα κατόπιν αναγωγής από το άλλο, είναι όλα χρήσιμα στην κατανόηση της επιρροής κάθε σεισμού στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών επειδή παρέχουν το καθένα μια ποσότητα με φυσική σημασία.

Το **Φάσμα Απόκρισης Σχετικών Μετατοπίσεων**, για τις παραμέτρους ιξώδους απόσβεσης (ζ) και ιδιοσυχνότητας κάθε ταλαντωτή (ω_0), δίνει τις μέγιστες απόλυτες τιμές της μετατόπισης στην μάζα του ταλαντωτή κατά τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση. Ορίζεται ως:

$$S_d(\zeta, \omega_0) = |\mathbf{u}(t)|_{\max} \quad (5.5.1.1)$$

Το **Φάσμα Απόκρισης Σχετικών Ταχυτήτων**, δίνει τις μέγιστες απόλυτες τιμές της ταχύτητας στην μάζα του ταλαντωτή κατά τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση. Ορίζεται ως:

$$S_v(\zeta, \omega_0) = |\dot{\mathbf{u}}(t)|_{\max} \quad (5.5.1.2)$$

Το **Φάσμα Απόκρισης Απόλυτων Επιταχύνσεων**, δίνει τις μέγιστες απόλυτες τιμές της ολικής επιτάχυνσης στην μάζα του ταλαντωτή κατά τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση. Ορίζεται ως:

$$S_a(\zeta, \omega_0) = |\ddot{\mathbf{x}}(t)|_{\max} = |\ddot{\mathbf{u}}(t) + \ddot{\mathbf{u}}_g(t)|_{\max} \quad (5.5.1.3)$$

Τα **Ψευδοφάσματα**, περιλαμβάνουν την ψευδοφασματική (απόλυτη) επιτάχυνση PSA και την ψευδοφασματική (σχετική) ταχύτητα PSV, οι οποίες προκύπτουν κατά προσέγγιση με πολλαπλασιασμό του φάσματος S_d με την ιδιοσυχνότητα ω_0 . Εκφράζονται ως:

$$\begin{aligned} S_a(\zeta, \omega_0) &\cong \omega_0^2 \cdot S_d(\zeta, \omega_0) = PSA, \text{ και} \\ S_v(\zeta, \omega_0) &\cong \omega_0 \cdot S_d(\zeta, \omega_0) = PSV \end{aligned} \quad (5.5.1.4)$$

Η πιο πάνω προσέγγιση ισχύει για μικρές τιμές του συντελεστή απόσβεσης ($\zeta \leq 20\%$). Υπονοεί ότι σε περίπτωση ταλαντωτή χωρίς απόσβεση ($\zeta = 0$), η φασματική επιτάχυνση S_a είναι ίση με την ποσότητα PSA.

Το **Κανονικοποιημένο Φάσμα Απόκρισης**, είναι μια πιο εύχρηστη απεικόνιση του φάσματος απόκρισης. Σχηματίζεται από τη διαίρεση ενός φάσματος απόκρισης με την αντίστοιχη μέγιστη τιμή (μετακίνησης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης) της σεισμικής εδαφικής απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους ($T = 0$ sec).

Το **Εξομαλυμένο Φάσμα** χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό νέων κατασκευών ώστε να καλύπτει όλες τις μορφές φασμάτων πιθανών σεισμών που μπορούν να πλήξουν την περιοχή του έργου. Το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από εξομάλυνση πολλών φασμάτων (π.χ., εκτιμώντας μια μέση τιμή και μία διασπορά). Δεδομένου ότι, τα φάσματα απόκρισης καταγεγραμμένων σεισμών παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ τους, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης και των εδαφικών συνθηκών.

Το **Φάσμα Σχεδιασμού**, δίνει τις μέσες τιμές απόκρισης μιας περιοχής. Συνήθως είναι μειωμένο σε σχέση με το ελαστικό. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς (q) ανάλογα της ικανότητας του φορέα για απόδοση ενέργειας (EC8)².

Πίνακας 5.5.1.2 Σχέση μεταξύ των φασμάτων απόκρισης (Chopra,1995) (*): Στις παρακάτω σχέσεις οι ισότητες (=) ισχύουν για $\zeta = 0$, ενώ οι τελεστές (\approx) ισχύουν μόνον για $0 < \zeta < 0.2$.

Relative displacement, $ x(t) _{\max}$	$= S_d$	$\approx \frac{S_v}{\omega_0}$	$\approx \frac{S_a}{\omega_0^2}$ *	$= \frac{S_{pv}}{\omega_0}$	$= \frac{S_{pa}}{\omega_0^2}$
Relative velocity, $ \dot{x}(t) _{\max}$	$\approx \omega_0 S_d$	$= S_v$	$\approx \frac{S_d}{\omega_0}$	$\approx S_{pv}$	$\approx \frac{S_{pa}}{\omega_0}$
Absolute acceleration, $ \ddot{x}_a(t) _{\max}$	$\approx \omega_0^2 S_d$ *	$\approx \omega_0 S_v$	$= S_a$	$\approx \omega_0 S_{pv}$	$\approx S_{pa}$ *

² Ο συντελεστής συμπεριφοράς (q), αναφέρεται στην ικανότητα απόδοσης σεισμικής ενέργειας, κυρίως μέσω της πλαστικής συμπεριφοράς των στοιχείων ενός δομήματος. Η επιρροή της πλαστιμότητας του φορέα μειώνει τη σεισμική απόκρισή του και η μείωση αυτή λαμβάνεται υπόψη στο φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση. Ο συντελεστής q εξαρτάται από τον τύπο του φορέα (το υλικό των μελών της κατασκευής, λ.χ. οπλισμένο σκυρόδεμα), από την κανονικότητά του σε κάτοψη και όψη, και από την κατηγορία πλαστιμότητας (κατηγορία Χαμηλής ή Μέσης ή Υψηλής Πλαστιμότητας). Ο EC8 προβλέπει συγκεκριμένους υπολογιστικούς και κατασκευαστικούς κανόνες.

5.5.2 Η σημασία των ελαστικών φασμάτων για τον αντισεισμικό κανονισμό, και οι εδαφικοί παράγοντες που επιδρούν στη μορφή τους

Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης (ΕΦΑ) αναπτύχθηκαν στο *GeoSeism* δεδομένης της χρήσης τους στον υπολογισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού και της σημασίας τους στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών.

Στην Ελλάδα σήμερα ³, ισχύει ο ΕΑΚ2003 με τον οποίο εφαρμόζεται και ο Ευρωκώδικας (EC8). Ο Υπολογισμός σεισμικών δράσεων εξακολουθεί να γίνεται με βάση κυρίως το ΕΦΑ σε οριζόντια διεύθυνση, αν και στον EC8 υπεισέρχεται και τα ΕΦΑ στην κατακόρυφη διεύθυνση. Εμπειρικά, οι οριζόντιες συνιστώσες έχουν διαφοροποιημένο φάσμα από την κατακόρυφη. Η κατακόρυφη συνιστώσα κατά κανόνα είναι πλούσια μόνο σε χαμηλές περιόδους επειδή διαμορφώνεται κυρίως από κύματα Ρ και SV.

Οι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφή των φασμάτων απόκρισης (για συγκεκριμένη ω_n και απόσβεση ζ μιας κατασκευής), είναι:

1. Τοπικές εδαφικές συνθήκες (Ενοτ. 2.1.2).
2. Γεωλογικές και τοπογραφικές συνθήκες.
3. Μέγεθος του σεισμού (σε συνδυασμό με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες).
4. Μηχανισμός διάρρηξης και διάδοσης της ενέργειας.
5. Επικεντρική απόσταση (σε συνδυασμό με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, λ.χ. οι κοντινοί σεισμοί έχουν φάσματα απόκρισης πλούσια σε υψηλές συχνότητες).
6. Υποκεντρικό βάθος (οι σεισμοί ενδιάμεσου ή μεγάλου βάθους έχουν ΕΦΑ πλούσια σε χαμηλές συχνότητες, σε αντίθεση με τους επιφανειακούς σεισμούς που έχουν ΕΦΑ πλούσια σε υψηλές συχνότητες).

Οι τρεις πρώτοι από τους παραπάνω παράγοντες αποδείχθηκε ιστορικά ότι έχουν την μεγαλύτερη επίδραση στη σεισμική δράση. Σε περιπτώσεις θεμελίωσης σε βραχώδεις ή σκληρούς εδαφικούς σχηματισμούς, τα επίπεδα σεισμικής διέγερσης στο υπόβαθρο προσδιορίζονται από τους αντισεισμικούς κανονισμούς. Σε περιπτώσεις θεμελίωσης πάνω σε μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς, που χαρακτηρίζονται από γεωμετρικές και μηχανικές ιδιαιτερότητες, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους- κατασκευής καθορίζουν τη σεισμική διέγερση και τη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής.

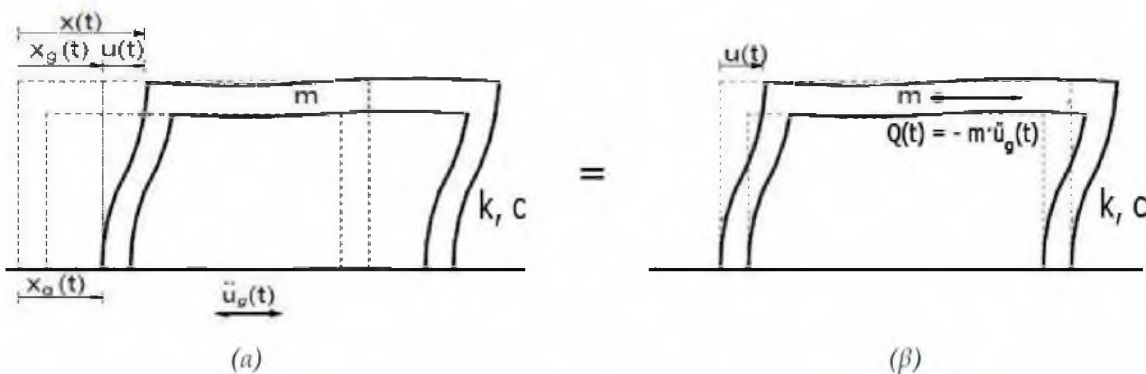
³ Χρονολογικά, οι Ελληνικοί Αντισεισμικοί Κανονισμοί εισάγουν τα φάσματα απόκρισης στον υπολογισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού από το 1992 (προαιρετική ισχύς του ΝΕΑΚ/92, υποχρεωτική ισχύ 1995) και μετά. Η νέα για τα ελληνικά δεδομένα φιλοσοφία σχεδιασμού συνδυάζεται με τον κανονισμό του οπλισμένου σκυροδέματος βάσει της μεθόδου των «οριακών καταστάσεων» για τη διαστασιολόγηση.

5.5.3 Περιγραφή του μηχανισμού απόκρισης μιας υπέργειας κατασκευής

Κατά τη διάρκεια της σεισμικής κίνησης, το έδαφος, κι επομένως και η βάση μιας κατασκευής (ταλαντωτής) που είναι θεμελιωμένη πάνω σε αυτό, κινείται γρήγορα, με εναλλασσόμενο πρόσημο, γύρω από την αρχική θέση ηρεμίας. Το μέγεθος που συνήθως ενδιαφέρει στο δυναμικό σχεδιασμό για αυτήν την κίνηση της βάσης είναι η επιτάχυνση, η οποία συχνά συμβολίζεται με $\ddot{u}_g(t)$.

Η κίνηση του εδάφους είναι σύνθετη, καθώς το περιεχόμενό της καλύπτει ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Είναι δυνατόν να απεικονίζεται με ένα φάσμα Fourier, συνήθως στην επιφάνεια του εδάφους, σε κάθε συχνότητα του οποίου αντιστοιχεί ένα πλάτος (μέγιστης τιμής). Εξαιτίας της αδράνειάς της, η υπέργεια μάζα της κατασκευής, δεν ακολουθεί την κίνηση της βάσης αλλά κάνει μια δική της ταλάντωση (Σχήμα 5.5.3). Λόγω αυτής της διαφορετικής κίνησης μεταξύ της μάζας και της βάσης προκαλείται παραμόρφωση και ως εκ τούτου, και ένταση (εντατική κατάσταση) στην κατασκευή. Το πλάτος της σχετικής κίνησης της μάζας της δοκού του πλαισίου περιγράφεται από ορισμένες μεταβλητές (k , m , ξ) και προσομοιώνεται με ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή.

Για ελαστική συμπεριφορά (ελαστικά φάσματα απόκρισης), η δυσκαμψία είναι σταθερή, ανεξάρτητη του χρόνου t . Για ανελαστική όμως συμπεριφορά (ανελαστικά φάσματα απόκρισης), η δυσκαμψία αλλάζει με το χρόνο και επομένως για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης απαιτείται να δοθεί ο δείκτης πλαστιμότητας $\mu = u_{\max} / u_y$, όπου u_{\max} είναι η μέγιστη ανεκτή μετατόπιση και u_y η μετακίνηση εκείνη πέραν της οποίας η κατασκευή παύει να συμπεριφέρεται ελαστικά. Μία κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος έχει περίπου $\mu = 3$ ενώ μια μεταλλική κατασκευή έχει $\mu = 5 - 8$.



Σχήμα 5.5.3 Παραμόρφωση κατασκευής (μονοβάθμιου ταλαντωτή) κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης⁴: (α) πραγματική κατάσταση, (β) ισοδύναμη κατάσταση.

⁴ Ο συμβολισμός των διανυσμάτων \ddot{u} , \dot{u} , u , γίνεται συχνά κι ως \ddot{x} , \dot{x} , x . Τα πρώτα εννοούν την Σχετική ως προς τη βάση κίνηση κι όχι τη συνολική ή Απόλυτη (Βάσης + Σχετική).

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά είδη ταλάντωσης ενός συστήματος:

1. η ελεύθερη ταλάντωση χωρίς απόσβεση,
2. η ελεύθερη ταλάντωση με απόσβεση,
3. η εξαναγκασμένη ταλάντωση χωρίς απόσβεση, και
4. η εξαναγκασμένη ταλάντωση με απόσβεση.

5.5.4 Μαθηματική περιγραφή του μηχανισμού της απόκρισης

Η εξαναγκασμένη ταλάντωση με απόσβεση είναι η πιο γενική και αντιπροσωπευτική ταλάντωση για το έδαφος. Στην εξιδανικευμένη περίπτωση του μονοβάθμιου (αρμονικού) ιξώδους ταλαντωτή (Σχ. 5.5.3), για την εφαρμογή των εξισώσεων δυναμικής ισορροπίας, η μετακίνηση του εδάφους (βάση) συμβολίζεται με $x_g(t) = u_g(t)$ και η σχετική μετακίνηση της μάζας ως προς τη βάση με $u(t)$. Η συνολική μετακίνηση τη χρονική στιγμή t , μετρούμενη από την αρχική θέση της κατασκευής (απόλυτη μετακίνηση) είναι:

$$x(t) = x_g(t) + u(t) \quad (5.5.4.1)$$

Σύμφωνα με τη θεώρηση d' Alembert, η πραγματική κατάσταση (Σχ. 5.5.3.a) μπορεί να υπολογίζεται με μια ισοδύναμη κατάσταση του ίδιου συστήματος (Σχ. 5.5.3.β) στην οποία η βάση δεν κινείται αλλά μια συνολική οριζόντια δύναμη εξασκείται στο κέντρο μάζας ίση με:

$$Q(t) = -m \cdot \ddot{u}_g(t) \quad (5.5.4.2)$$

Η εδαφική διέγερση είναι η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης ή της ταχύτητας⁵. Γνωρίζοντας μια από τις τρεις παραμέτρους της κίνησης, λ.χ. την $\ddot{u}_g(t)$, είναι εύκολο να υπολογιστούν οι άλλες δύο (με ολοκλήρωση ή παραγωγή), οπότε η επίλυση της εξίσωσης δυναμικής ισορροπίας δίνει την απόκριση της κατασκευής και όλα τα απαιτούμενα εντατικά μεγέθη για τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Η γενική εξίσωση της δυναμικής ισορροπίας είναι⁶:

$$F_i + F_d + F_s = Q(t) \quad (5.5.4.3)$$

Για πολυβάθμια συστήματα διατυπώνονται εξισώσεις κίνησης ισάριθμες με τους βαθμούς ελευθερίας κίνησης.

Η αδρανειακή δύναμη $Q(t)$ λόγω μετατόπισης της βάσης, παράγει τις δυνάμεις στο επίπεδο μάζας του ταλαντωτή. Οι δυνάμεις αυτές είναι η δύναμη της αδράνειας (F_i), της απόσβεσης (F_d) και της ελαστικής δύναμης επαναφοράς (F_s) (αντίδρασης):

⁵ Πρακτικά, δεν χρησιμοποιείται η μετατόπιση ως διέγερση επειδή χάνονται οι λεπτομέρειες της επιτάχυνσης στην ανάλυση.

⁶ Δείκτης i : inertia, Δείκτης d : damping, Δείκτης s : spring.

$$F_i = m \cdot \ddot{u}(t), \quad F_d = c \cdot \dot{u}(t), \quad F_s = k \cdot u(t), \quad Q(t) = -m \cdot \ddot{u}_g(t) \quad (5.5.4.4)$$

Επομένως, στην περίπτωση σεισμικής φόρτισης η συνολική αδρανειακή δύναμη είναι:

$$F_i = m \cdot (\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)) \quad (5.5.4.5)$$

Στις εκτιθέμενες εξισώσεις:

m	η μάζα του μονοβάθμιου ταλαντωτή,
$\zeta = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_o}$	ο λόγος κρίσιμης απόσβεσης,
k	η δυσκαμψία του συστήματος,
$\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$	η ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή,
$c = 2 \cdot m \cdot \omega_o \cdot \zeta$	η σταθερά του αποσβεστήρα,
$\omega_d = \omega_o \sqrt{1 - \zeta^2}$	η (γωνιακή) συχνότητα απόκρισης.

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω ποσότητες και την Εξ. 5.5.4.4 στην Εξ. 5.5.4.3, προκύπτει η ισοδύναμη σχέση:

$$\ddot{u}(t) + 2 \cdot \omega_o \cdot \zeta \cdot \dot{u}(t) + \omega_o^2 \cdot u(t) = \pm \ddot{u}_g(t) \quad (5.5.4.6)$$

Η γενική λύση της παραπάνω εξίσωσης κίνησης, η οποία είναι εξαναγκασμένη ταλάντωση με απόσβεση, στην περίπτωση αρμονικής εξωτερικής φόρτισης $Q(t)$ εκφράζει τη συνολική σχετική μετατόπιση $u(t)$ μονοβάθμιου ταλαντωτή. Η συνολική αυτή μετατόπιση είναι το άθροισμα μιας μεταβατικής απόκρισης $u_1(t)$ και μιας σταθερής απόκρισης $u_2(t)$ (Ντακούλας, 2012):

$$Q(t) = -m \cdot \ddot{u}_g(t) = Q_0 \cdot \sin \Omega t \quad (5.5.4.7)$$

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) \quad (5.5.4.8)$$

$$u_1(t) = e^{-\zeta \omega_o t} (C_2 \cos \omega_d t + C_1 \sin \omega_d t) \quad (5.5.4.9)$$

$$u_2(t) = \frac{Q_0}{k} \cdot \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_o}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{\Omega}{\omega_o}\right]^2} \cdot \left(\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_o}\right)^2\right] \sin \Omega t - 2\zeta \cos \Omega t \right) \quad (5.5.4.10)$$

$$(5.5.4.11)$$

$$\text{ή} \quad u_2(t) = u_s \mathcal{A} \sin(\Omega t - \phi)$$

Όπου

$$C_1 = \frac{Q_0}{k} \cdot \frac{\Omega}{\omega_d} \cdot \frac{\left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2 - 1}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2} \quad \text{και} \quad C_2 = \frac{Q_0}{k} \cdot \frac{2\zeta \frac{\Omega}{\omega_0}}{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (5.5.4.12)$$

$$\mathcal{A} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad \text{και} \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta \Omega / \omega_0}{1 - \left(\frac{\Omega}{\omega_0}\right)^2} \right) \quad (5.5.4.13)$$

Συνοψίζοντας, η συνολική λύση της (Εξ. 5.5.4.6) αποτελείται από τη **μεταβατική απόκριση** (transient response) και τη **σταθερή απόκριση** (steady-state response). Η μεταβατική απόκριση αποσβαίνεται σταδιακά και επικρατεί η δεύτερη. Η σταθερή απόκριση περιγράφεται από τη μερική λύση, και συμβαίνει στη συχνότητα της επιβαλλόμενης φόρτισης αλλά με διαφορά φάσης σε σχέση με τη φόρτιση. Ένα τυπικό παράδειγμα δίδεται στο Σχήμα 5.5.4.1.

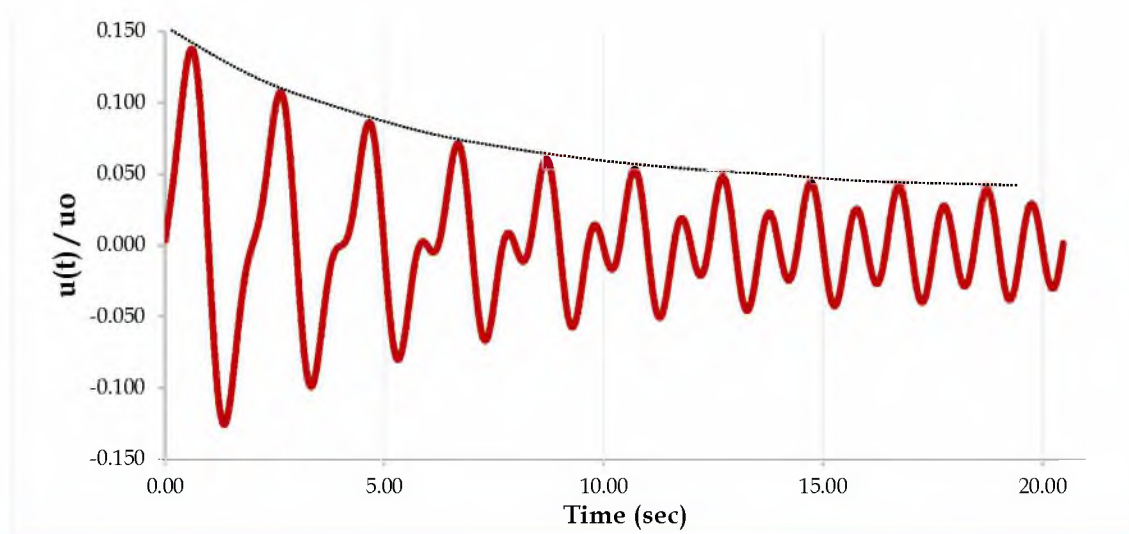
Η παραπάνω λύση της σχετικής μετατόπισης $u(t)$ είναι δυνατόν να υπολογισθεί και με απευθείας ολοκλήρωση της εξίσωσης κίνησης (Εξ. 5.5.4.6) με αριθμητικές μεθόδους ή από το ολοκλήρωμα Duhamel. Στο ολοκλήρωμα αυτό, η μεταβατική απόκριση εφαρμόζεται για κάθε στοιχειώδη παλμό της διέγερσης και η λύση λαμβάνεται με ολοκλήρωση της απόκρισης των στοιχειωδών παλμών από χρόνο μηδέν έως t :

$$u(t) = \frac{1}{\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \cdot \sin(\omega_d(t-\tau)) d\tau \quad (5.5.4.14)$$

Σε περίπτωση που ο ταλαντωτής δεν βρίσκεται αρχικά σε ηρεμία, η παραπάνω σεισμική διέγερση θα προκαλεί μία απόκριση $u(t)$ ίση με το άθροισμα της ομογενούς λύσης (ελεύθερη ταλάντωση λόγω αρχικών συνθηκών) και της μη-ομογενούς απουσία αρχικών συνθηκών:

$$u(t) = e^{-\zeta\omega t} (u_0 \cos \omega_d t + \frac{\dot{u}_0 + \zeta\omega u_0}{\omega_d} \sin \omega_d t) + \frac{1}{m \cdot \omega_d} \int_0^t Q(\tau) \cdot e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \cdot \sin(\omega_d(t-\tau)) d\tau \quad (5.5.4.15)$$

Ο δεύτερος όρος της (Εξ. 5.5.4.15) είναι το ολοκλήρωμα του Duhamel, με τη βοήθεια του οποίου μπορεί να εκφραστεί η απόκριση για οποιαδήποτε εξωτερική δυναμική φόρτιση $Q(\tau)$. Η γενική συνάρτηση συνολικού φορτίου $Q(\tau)$ μπορεί δηλαδή να θεωρηθεί ως ένα σύνολο παλμών, όπου τ είναι η μεταβλητή της ολοκλήρωσης που παίρνει τιμές στο διάστημα $0 \leq \tau \leq t$. Όσο το χρονικό βήμα dt είναι πιο μικρό (τείνει στο μηδέν), το άθροισμα τείνει στη μορφή του ολοκληρώματος αυτού. Το ολοκλήρωμα του Duhamel μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην περίπτωση γραμμικού συστήματος όπου ισχύει η μέθοδος της Σχήμα 6.2.3



Σχήμα 5.5.4.1 Δυναμική απόκριση μονοβάθμιου ταλαντωτή ιξώδους απόσβεσης, από διεγείρουσα αρμονική δύναμη. Διακρίνονται τα στάδια της μεταβατικής και της σταθερής κατάστασης.

5.5.5 Η μεθοδολογία του GeoSeism (υπο-πρόγραμμα Πενθεσίλεια)

Το GeoSeism υπολογίζει (στο υπο-πρόγραμμα Πενθεσίλεια) τη συνολική σχετική μετατόπιση $u(t)$ με εν χρόνω ολοκλήρωση. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με βάση τον αριθμητικό αλγόριθμο που προτάθηκε από τους Nigam and Jennings (1968). Η μεθοδολογία αναπτύσσεται ως ακολούθως.

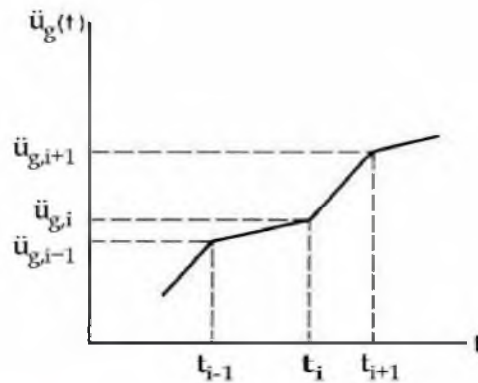
Το χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας της εισαγόμενης σεισμικής διέγερσης (χρονοϊστορία επιτάχυνσης), υποδιαιρείται σε επιμέρους χρονικές στιγμές. Σε καθεμιά από αυτές, η επιτάχυνση στην εξίσωση της δυναμικής ισορροπίας (Εξ. 5.5.4.6) μπορεί να θεωρηθεί ως τμήμα μιας γραμμικής συνάρτησης (Σχ. 5.5.5). Για παράδειγμα, στις 4096

διακριτές τιμές εμπεριέχονται 4095 διαστήματα, σε καθένα εκ των οποίων λογαριάζεται η $u(t)$ ανά ίσα χρονικά παράθυρα των $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$, από t ως $t + \Delta t$.

$$\ddot{u} + 2 \cdot \omega_0 \cdot \zeta \cdot \dot{u} + \omega_0^2 \cdot u = - \ddot{u}_{g,i} - \frac{\Delta \ddot{u}_{g,i}}{\Delta t_i} (t - t_i) \quad (5.5.5.1)$$

Όπου:

$$t_i \leq t \leq t_{i+1}, \quad \Delta t_i = t_{i+1} - t_i, \quad \Delta \ddot{u}_{g,i} = \ddot{u}_{g,i+1} - \ddot{u}_{g,i}$$



Σχήμα 5.5.5 Εξιδανικευμένη μορφή διαδοχικών τιμών της εισαγόμενης ιστορίας επιτάχυνσης σε γράφημα.

Η λύση της εξίσωσης (Εξ. 5.5.5.1), τη χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στο βήμα $i+1$ (από τη χρονική στιγμή t_i ως τη στιγμή t_{i+1}), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$u(t) = e^{-\zeta \omega(t-t_i)} \cdot (C_1 \cdot \sin \omega_d(t-t_i) + C_2 \cdot \cos \omega_d(t-t_i)) - \frac{\ddot{u}_{g,i}}{\omega_0^2} + \frac{2\zeta \cdot \Delta \ddot{u}_{g,i}}{\omega_0^3 \Delta t_i} - \frac{\Delta \ddot{u}_{g,i} (t-t_i)}{\omega_0^2 \Delta t_i} \quad (5.5.5.2)$$

Όπου:

$$\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}, \quad t_i \leq t \leq t_{i+1}, \quad (5.5.5.3)$$

και οι σταθερές της ολοκλήρωσης είναι:

$$C_1 = \frac{1}{\omega_d} \cdot (\zeta \cdot \omega_0 \cdot u_i + \dot{u}_i - \frac{2\zeta^2 - 1}{\omega_0^2} \cdot \frac{\Delta \ddot{u}_{g,i}}{\Delta t_i} + \frac{\zeta}{\omega_0} \cdot \ddot{u}_{g,i}) \quad (5.5.5.4)$$

$$C_2 = u_i - \frac{2\zeta}{\omega_o^3} \cdot \frac{\Delta \ddot{u}_{g,i}}{\Delta t_i} + \frac{\ddot{u}_{g,i}}{\omega_o^2} \quad (5.5.5.5)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις με άλγεβρα μητρώων αναπτύσσονται ως εξής:

$$\begin{pmatrix} u_{i+1} \\ \dot{u}_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_i \\ \dot{u}_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{u}_{g,i} \\ \ddot{u}_{g,i+1} \end{pmatrix} \quad (5.5.5.6)$$

Οι συνιστώσες της (Εξ. 5.5.5.6) είναι:

$$\begin{aligned} S_d &= u_{i+1} = A_{11} \cdot u_i + A_{12} \cdot \dot{u}_i - B_{11} \cdot \ddot{u}_{g,i} - B_{12} \cdot \ddot{u}_{g,i+1} \\ S_v &= \dot{u}_{i+1} = A_{21} \cdot u_i + A_{22} \cdot \dot{u}_i - B_{21} \cdot \ddot{u}_{g,i} - B_{22} \cdot \ddot{u}_{g,i+1} \end{aligned} \quad (5.5.5.7)$$

Τα στοιχεία των μητρώων A και B, έχουν ως εξής:

$$A_{11} = e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] \quad (5.5.5.8)$$

$$A_{12} = e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\frac{1}{\omega_d} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] \quad (5.5.5.9)$$

$$A_{21} = - e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\frac{\omega_o}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] \quad (5.5.5.10)$$

$$A_{22} = e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[- \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] \quad (5.5.5.11)$$

$$\begin{aligned} B_{11} &= e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_o^2 \cdot \Delta t_i} + \frac{\zeta}{\omega_o} \right) \cdot \frac{1}{\omega_d} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{2\zeta}{\omega_o^3 \cdot \Delta t_i} + \frac{1}{\omega_o^2} \right) \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] - \frac{2\zeta}{\omega_o^3 \cdot \Delta t_i} \end{aligned} \quad (5.5.5.12)$$

$$\begin{aligned}
 B12 = & - e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \frac{1}{\omega_d} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \right. \\
 & \left. + \left(\frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] + \frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} - \frac{1}{\omega_0^2}
 \end{aligned} \tag{5.5.5.13}$$

$$\begin{aligned}
 B21 = & e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i} + \frac{\zeta}{\omega_0} \right) \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \right. \\
 & - \left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i} + \frac{\zeta}{\omega_0} \right) \cdot \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) - \\
 & - \left(\frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} + \frac{1}{\omega_0^2} \right) \cdot \omega_d \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) - \\
 & \left. - \left(\frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} + \frac{1}{\omega_0^2} \right) \cdot \zeta \cdot \omega_0 \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] + \frac{1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i}
 \end{aligned} \tag{5.5.5.14}$$

$$\begin{aligned}
 B22 = & - e^{-\zeta\omega\Delta t_i} \cdot \left[\left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) + \right. \\
 & - \left(\frac{2\zeta^2-1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) - \\
 & - \left(\frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \omega_d \cdot \sin(\omega_d \cdot \Delta t_i) - \\
 & \left. - \left(\frac{2\zeta}{\omega_0^3 \cdot \Delta t_i} \right) \cdot \zeta \cdot \omega_0 \cdot \cos(\omega_d \cdot \Delta t_i) \right] - \frac{1}{\omega_0^2 \cdot \Delta t_i}
 \end{aligned} \tag{5.5.5.15}$$

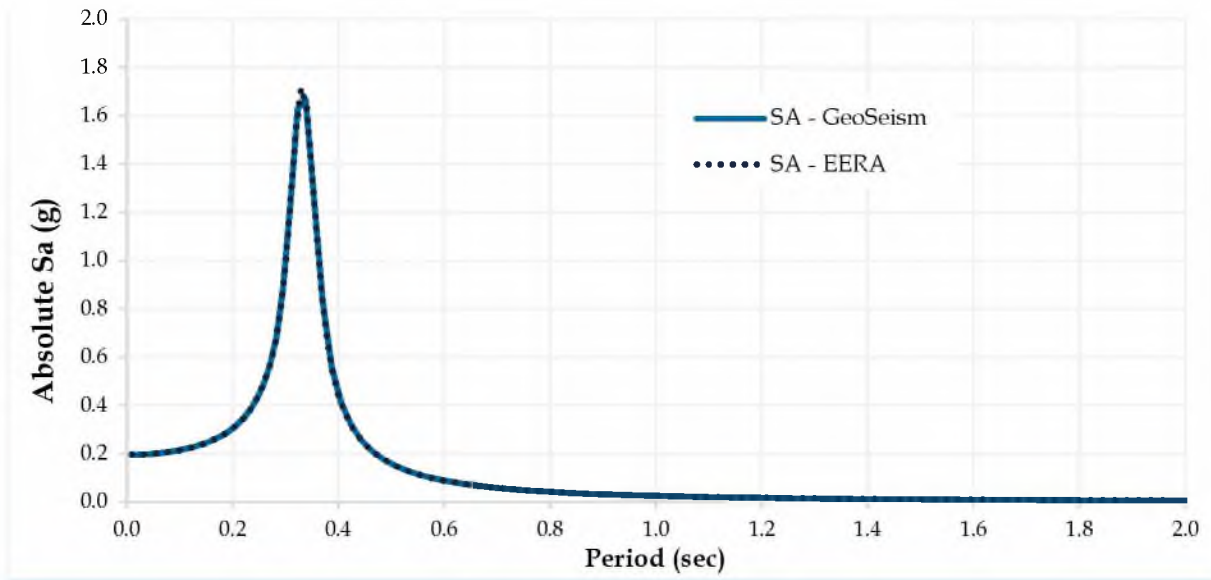
Από το άθροισμα των παραπάνω συναρτήσεων της σχετικής μετατόπισης (S_d) και της σχετικής ταχύτητας (S_v), υπολογίζεται η απόλυτη (συνολική) επιτάχυνση που αποδίδει τη σχετική επιτάχυνση και την επιτάχυνση της βάσης:

$$S_a = \ddot{u}_{i+1} = - (2 \cdot \zeta \cdot \omega_0 \cdot S_v + \omega_0^2 \cdot S_d) \tag{5.5.5.16}$$

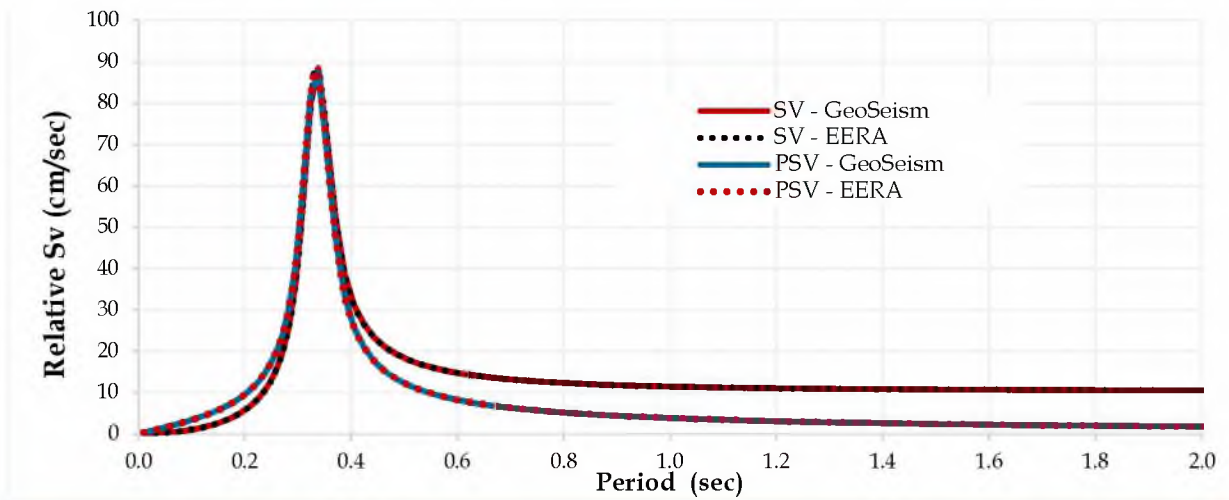
Τέλος, ο κώδικας υπολογίζει τα μέγιστα φασματικά πλάτη συγκρατώντας τις μέγιστες απόλυτες τιμές των συναρτήσεων S_d , S_v και S_a , σύμφωνα με τις (Εξ. 5.5.1.1, 5.5.1.2, 5.5.1.3 και 5.5.1.4). Τα ψευδο-φασματικά πλάτη υπολογίζονται με χρήση της φυσικής συχνότητας $\omega_0 = 2\pi/T$ κάθε ταλαντώτη.

5.5.6 Έλεγχοι της μεθοδολογίας Πενθεσίλεια του GeoSeism

Παρουσιάζονται τα ελαστικά φάσματα για την Εφαρμογή 4. Έγινε ισοδύναμα γραμμικά ελαστική ανάλυση της απόκρισης του εδαφικού σχηματισμού Β (Σχ. 6.0.2), για την επιβαλλόμενη εξωτερική διέγερση (Σχ. 6.03, Ενот. 6.0) σε συνθήκες άκαμπτου βράχου ($V_b = \infty$).

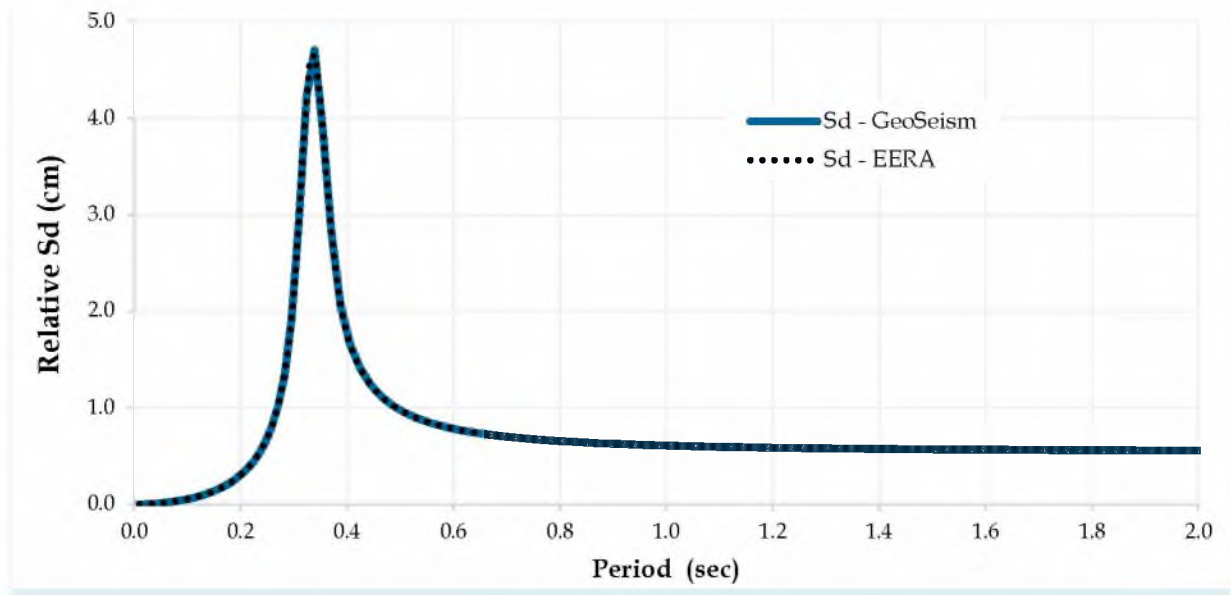


Σχήμα 5.5.6.1 Απόλυτη φασματική επιτάχυνση στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.

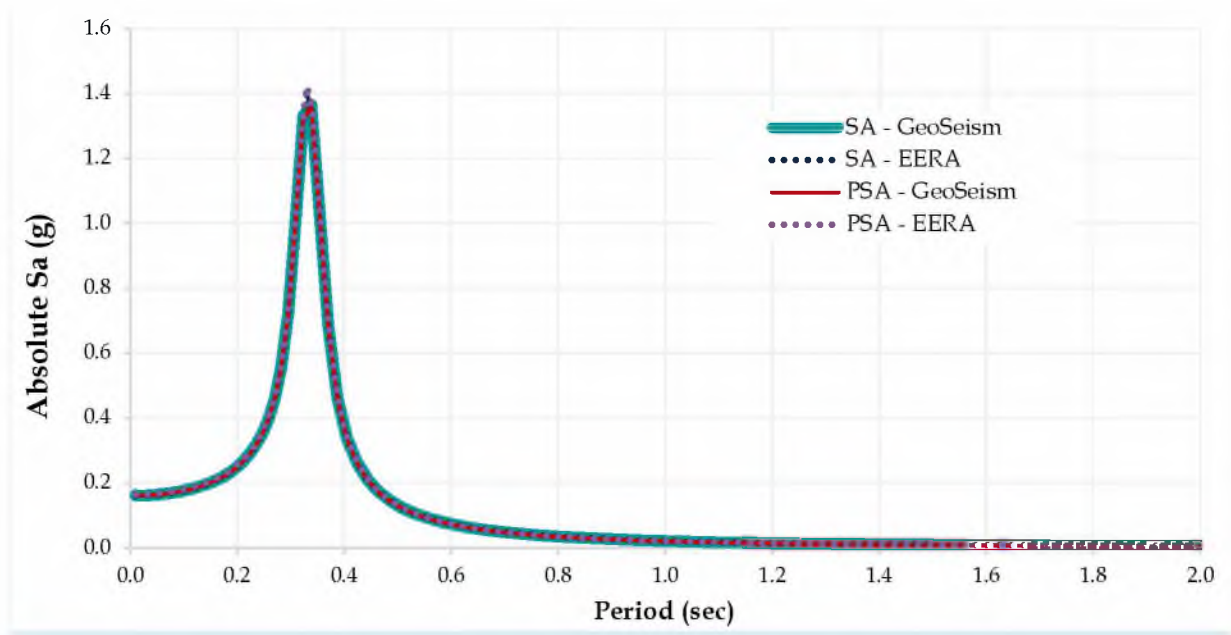


Σχήμα 5.5.6.2 Σχετική φασματική ταχύτητα και ψευδοταχύτητα στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

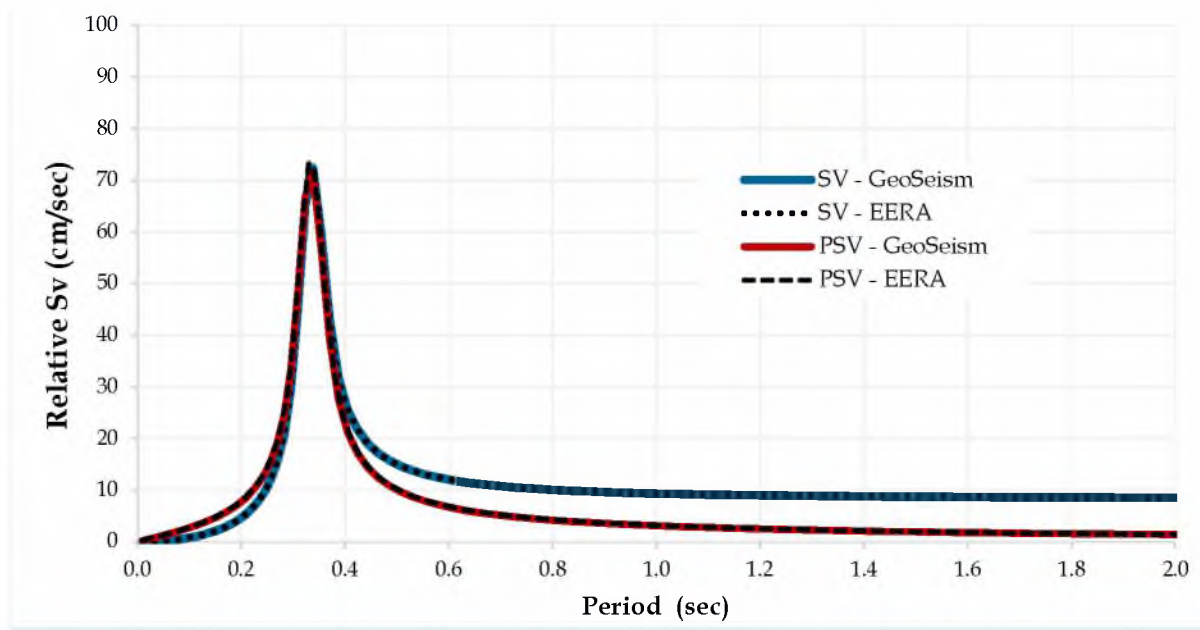


Σχήμα 5.5.6.3 Σχετική φασματική μετατόπιση στη βάση του εδαφικού σχηματισμού.

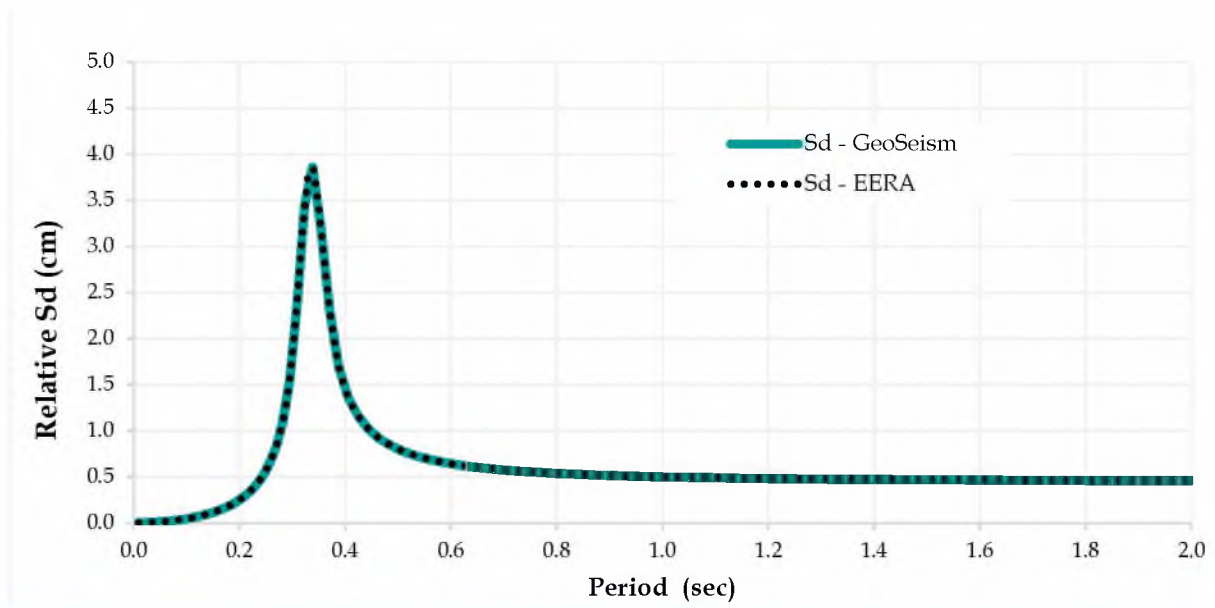


Σχήμα 5.5.6.4 Απόλυτη φασματική επιτάχυνση και ψευδοεπιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 5.5.6.5 Σχετική φασματική ταχύτητα και ψευδοταχύτητα στην επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 5.5.6.6 Σχετική φασματική μετατόπιση στην επιφάνεια του εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Επιβεβαίωση της αριθμητικής μεθοδολογίας

6.0 Επιβεβαίωση του προγράμματος *GeoSeism* με βάση τα προγράμματα *SHAKE*, *EERA*, και *FLAC* για πολυστρωματικό εδαφικό σχηματισμό

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται έλεγχοι με τους οποίους είναι δυνατή η επιβεβαίωση της ακρίβειας της μεθοδολογίας της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης (υποπρόγραμμα *Αρτεμις*) του λογισμικού *GeoSeism* για την εκτίμηση της μονοδιάστατης εδαφικής απόκρισης.

Εν συντομία, η μεθοδολογία του λογισμικού *GeoSeism* (Ενот. 5.1) εφαρμόζει την ισοδύναμη γραμμική μέθοδο που περιγράφηκε στα προηγούμενα (Κεφ. 3). Βασίζεται στη θεώρηση ότι το εδαφικό μοντέλο είναι ένας ημι-άπειρος οριζοντίως στρωματοποιημένος εδαφικός σχηματισμός ο οποίος υπέρκειται ομογενούς ημι-χώρου υποβαλλόμενου σε καθέτως διαδιδόμενα διατμητικά κύματα. Η ένταση των κυμάτων είναι σε επίπεδα ισχυρής σεισμικής κίνησης ώστε το έδαφος να συμπεριφέρεται ως ένα ελαστικό υλικό με ισοδύναμη γραμμικές ιδιότητες. Η γραμμική ανάλυση γίνεται στο πεδίο των συχνοτήτων επιτελώντας μια επαναληπτική διαδικασία για την εκτίμηση των μη-γραμμικών επιδράσεων στο έδαφος. Η μεθοδολογία εστιάζει στις δυναμικές ιδιότητες που εξαρτώνται από τη μεταβολή της παραμόρφωσης και οι οποίες είναι το τέμνον μέτρο διάτμησης G και ο κρίσιμος λόγος απόσβεσης $\xi\%$. Η υστερητικού τύπου απόσβεση του εδάφους εκδηλώνεται με μια συμπεριφορά ανεξάρτητη των συχνοτήτων, παρόλο που εξαρτάται από την ταχύτητα (ρυθμός) μεταβολής της παραμόρφωσης.

Οι έλεγχοι υλοποιούνται με τη βοήθεια τεσσάρων εφαρμογών. Για λόγους σύγκρισης, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά εδάφη, ο τριστρωματικός σχηματισμός Α (Σχ. 6.0.1) και ο επίσης τριστρωματικός σχηματισμός Β (Σχ. 6.0.2) που εξετάζεται σε πολλές υποστρώσεις. Ο σχηματισμός Β χρησιμοποιείται επίσης στην επιβεβαίωση του προγράμματος *FLAC* (Itasca, 2011). Η σεισμική διέγερση αποτελείται από μια μεταβαλλόμενου πλάτους αρμονική επιτάχυνση. Τα στοιχεία της επιβαλλόμενης διέγερσης (Σχ. 6.0.3) και οι παράμετροι του προσομοιώματος παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Εδαφικός Σχηματισμός Α

Ο εδαφικός σχηματισμός Α (Σχ. 6.0.1) έχει συνολικό πάχος 30 m και υπέρκειται ενός σχετικά εύκαμπτου βραχώδους υποβάθρου. Ο σχηματισμός εμφανίζει οριζόντια στρωματοποίηση τριών εδαφικών αποθέσεων πάχους 10 m η κάθε μία. Η μεσαία στρώση (υλικό 2) εσωκλείεται ανάμεσα σε μια πιο μαλακή υπερκείμενη (υλικό 1) και μια στιφρότερη υποκείμενη (υλικό 3). Η συμπεριφορά όλων των υλικών θεωρείται γραμμικά ελαστική. Οι ιδιότητες των υλικών δίδονται στον Πίνακα 6.0.1.

Σχήμα 6.0.1 Εδαφική τομή με τη γεωμετρία του εδαφικού σχηματισμού Α.

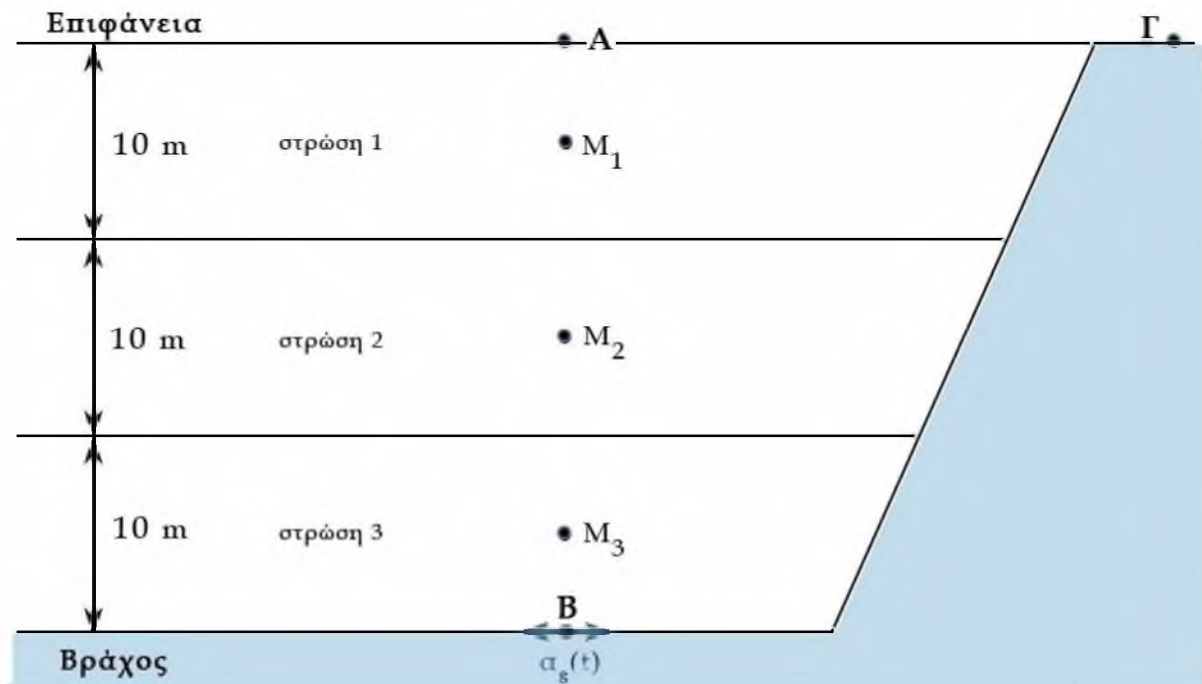
Πίνακας 6.0.1 Πίνακας ιδιοτήτων του εδαφικού σχηματισμού Α.

αριθμός στρώσης	υλικό	Πάχος Στρώσης (m)	Ελαστικό Μέτρο Διάτμησης G _{max} (MPa)	Συνολικό ειδικό βάρος (kN/m ³)	Ταχύτητα διατμητικών κομάτων (m/sec)	Λόγος κρίσιμης απόσβεσης ¹ (%)
1	1	10.00	80.00	19.62	200.00	10
2	2	10.00	180.00	19.62	300.00	10
3	3	10.00	320.00	19.62	400.00	10
Βράχος	4		599.90 ή ∞	23.54	500.00 ή ∞	1.

¹ Όταν δεν γίνονται επαναλήψεις της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης τότε ο λόγος κρίσιμης απόσβεσης λαμβάνεται 10%. Ειδικά, όταν γίνονται επαναλήψεις, η τιμή του λόγου κρίσιμης απόσβεσης εξαρτάται από την τιμή της διατμητικής παραμόρφωσης.

Εδαφικός Σχηματισμός Α

Ο εδαφικός σχηματισμός Α (Σχ. 6.0.1) έχει συνολικό πάχος 30 m και υπέρκειται ενός σχετικά εύκαμπτου βραχώδους υποβάθρου. Ο σχηματισμός εμφανίζει οριζόντια στρωματοποίηση τριών εδαφικών αποθέσεων πάχους 10 m η κάθε μία. Η μεσαία στρώση (υλικό 2) εσωκλείεται ανάμεσα σε μια πιο μαλακή υπερκείμενη (υλικό 1) και μια στιφρότερη υποκείμενη (υλικό 3). Η συμπεριφορά όλων των υλικών θεωρείται γραμμικά ελαστική. Οι ιδιότητες των υλικών δίδονται στον Πίνακα 6.0.1.



Σχήμα 6.0.1 Εδαφική τομή με τη γεωμετρία του εδαφικού σχηματισμού Α.

Πίνακας 6.0.1 Πίνακας ιδιοτήτων του εδαφικού σχηματισμού Α.

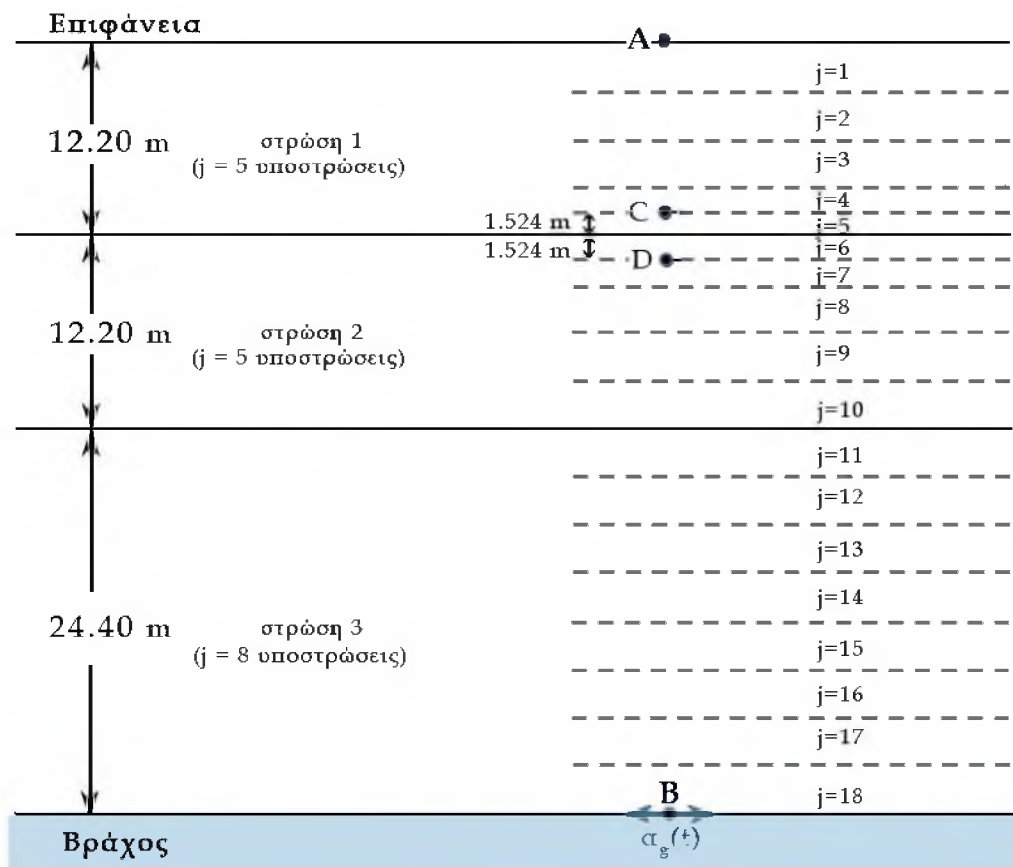
αριθμός στρώσης	υλικό	Πάχος Στρώσης (m)	Ελαστικό Μέτρο Διάτμησης G _{max} (MPa)	Συνολικό ειδικό βάρος (kN/m ³)	Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (m/sec)	Λόγος κρίσιμης απόσβεσης ¹ (%)
1	1	10.00	80.00	19.62	200.00	10
2	2	10.00	180.00	19.62	300.00	10
3	3	10.00	320.00	19.62	400.00	10
Βράχος	4		599.90 ή ∞	23.54	500.00 ή ∞	1.

¹ Όταν δεν γίνονται επαναλήψεις της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης τότε ο λόγος κρίσιμης απόσβεσης λαμβάνεται 10%. Ειδικά, όταν γίνονται επαναλήψεις, η τιμή του λόγου κρίσιμης απόσβεσης εξαρτάται από την τιμή της διατμητικής παραμόρφωσης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Εδαφικός Σχηματισμός Β

Ο εδαφικός σχηματισμός Β (Σχ. 6.0.2) έχει συνολικό πάχος 48.80 m και αποτελείται από τρεις οριζόντιες στρώσεις διαφορετικών υλικών, τα πάχη των οποίων παρουσιάζονται στο σχήμα. Η στρώση 2 αποτελείται από πιο δύσκαμπτο υλικό σε σχέση με τα υλικά των άλλων δύο στρώσεων. Η υποδιαίρεση σε μικρότερου πάχους υποστρώσεις γίνεται μόνο για λόγους ακριβέστερης περιγραφής της κατανομής των μεγίστων τιμών της απόκρισης με το βάθος. Ο σχηματισμός υπέρκειται ενός σχετικά εύκαμπτου βραχώδους υποβάθρου. Οι ιδιότητες των υλικών δίδονται στον Πίνακα 6.0.2.



Σχήμα 6.0.2 Εδαφική τομή με τη γεωμετρία του εδαφικού σχηματισμού Β (FLAC benchmark problem).

Πίνακας 6.0.2 Πίνακας ιδιοτήτων του εδαφικού σχηματισμού Β.

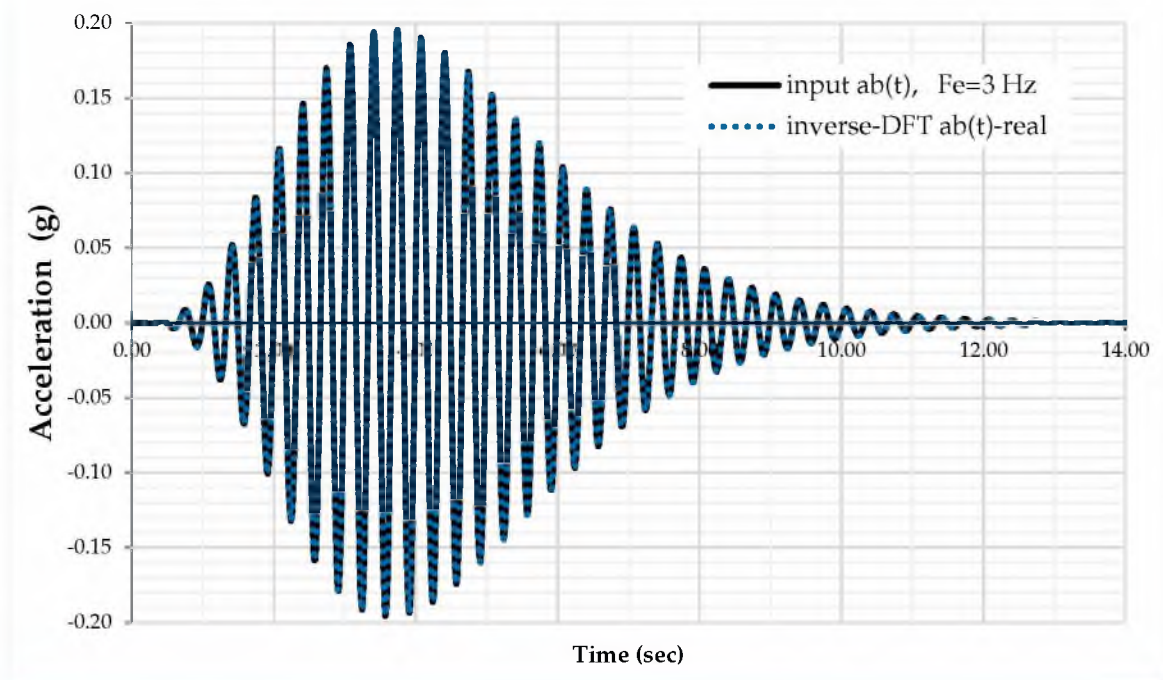
αριθμός στρώσης	υλικό	Πάχος Στρώσης (m)	Ελαστικό Μέτρο Διάτμησης G_{max} (MPa)	Συνολικό ειδικό βάρος (kN/m ³)	Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (m/sec)	Λόγος κρίσιμης απόσβεσης ¹ (%)
1	1	3.048	150.00	17.658	288.675	10
2	1	3.048	150.00	17.658	288.675	10

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

3	1	3.048	150.00	17.658	288.675	10
4	1	1.524	150.00	17.658	288.675	10
5	1	1.524	150.00	17.658	288.675	10
6	2	1.524	300.00	19.620	387.298	10
7	2	1.524	300.00	19.620	387.298	10
8	2	3.048	300.00	19.620	387.298	10
9	2	3.048	300.00	19.620	387.298	10
10	2	3.048	300.00	19.620	387.298	10
11	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
12	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
13	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
14	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
15	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
16	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
17	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
18	3	3.048	150.00	17.658	288.675	10
Βράχος	4		∞	22.000	∞	1.

Επιβαλλόμενη εξωτερική διέγερση

Η επιβαλλόμενη εξωτερική διέγερση είναι η ίδια χρονοϊστορία επιτάχυνση με εκείνη του παραδείγματος του *FLAC Version 7.0* (Σχ. 6.0.3). Στην τρίτη εφαρμογή εκλαμβάνεται ως καταγεγραμμένη στο αναδυόμενο βραχώδες υπόβαθρο (outcrop rock) ενώ σε όλες τις άλλες εφαρμογές εκλαμβάνεται ως καταγεγραμμένη στο θαμμένο οιονεί-βραχώδες υπόβαθρο.



Σχήμα 6.0.3 Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως διέγερση.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Η χρονοϊστορία καταρτίζεται από την εξίσωση:

$$\ddot{u}(t) = \sqrt{\beta e^{-\alpha t}} t^\gamma \sin(2\pi f t) \quad (\text{Εξ. 6.0.3})$$

όπου $\alpha = 2.2$, $\beta = 0.375$, $\gamma = 8.0$ και $f = 3.0$ Hz.

Η διέγερση δείχνει μια μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην τιμή 0.1957 g, την οποία τη φτάνει μετά από 3.74 sec. Το φάσμα των συχνοτήτων της χρονοϊστορίας αυτής (Ενοτ. 5.4.5, Σχ. 5.4.5.1, Σχ. 5.4.5.2) εμφανίζει μέγιστη τιμή μιγαδικού μέτρου στη συχνότητα των $3.0029 \approx 3.00$ Hz.

Ακολουθεί η παράθεση εκείνων των αποτελεσμάτων ανά εφαρμογή (Ενοτ. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4) που συνιστούν την επιβεβαίωση. Μαζί με τα αποτελέσματα του *GeoSeism*, απεικονίζονται γραφικά και τα αποτελέσματα των λογισμικών *EERA* και *FLAC*.

Σημειώνεται ότι η ανάλυση από το πρόγραμμα *FLAC* είναι πλήρως ανεξάρτητη διότι έχει υστερητικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να κάνει βρόγχους υστέρησης με εν χρόνω ολοκλήρωση (όχι στο πεδίο συχνοτήτων). Τα τέμνοντα μέτρα G και οι αποσβέσεις ξ προκύπτουν σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα σαν συνάρτηση της παραμόρφωσης γ . Στις συγκεκριμένες όμως εφαρμογές γίνεται καθαρά γραμμικά ελαστική ανάλυση, προκειμένου οι αναλύσεις του *FLAC* να είναι συγκρίσιμες με αυτές των *EERA* και *GeoSeism*. Δηλαδή, γίνεται γραμμικά ελαστική ανάλυση με σταθερό G και σταθερή απόσβεση ξ κατά την διάρκεια της ανάλυσης.

Οι συνολικές γραφικές παραστάσεις της δυναμικής απόκρισης του *GeoSeism* παρατίθενται στα Παραρτήματα 1, 2, 3 και 4, αντίστοιχα για καθεμιά Εφαρμογή.

6.1 Εφαρμογή 1

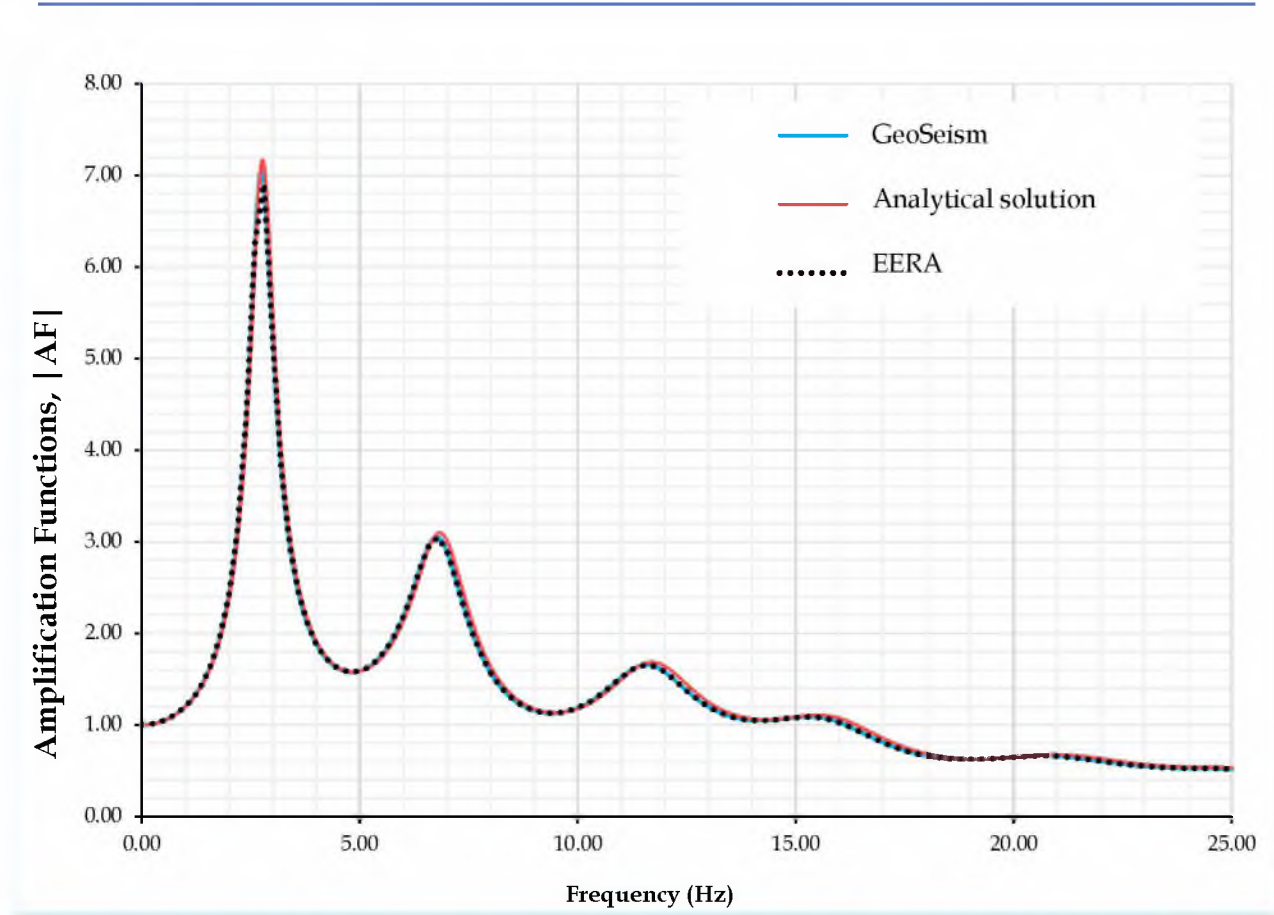
Γίνεται γραμμικά ελαστική ανάλυση του εδαφικού σχηματισμού A (Σχ. 6.0.1), κατά την οποία θεωρείται ότι η εισαγόμενη διέγερση (Σχ. 6.0.3) εφαρμόζεται στη βάση του σχηματισμού. Η περίπτωση αυτή, ισοδυναμεί με συνθήκες άκαμπτου βράχου στο υπόβαθρο ($V_b = \infty$). Η ανάλυση γίνεται χωρίς επαναλήψεις για την διόρθωση του μέτρου διάτμησης G και του λόγου κρίσιμης απόσβεσης ξ .

Εξετάζεται αρχικά η Συνάρτηση Ενίσχυσης AF_1 (Συνάρτηση Μεταφοράς για ανάλυση πολυστρωματικού σχηματισμού) μεταξύ της βάσης και της επιφάνειας του εδάφους:

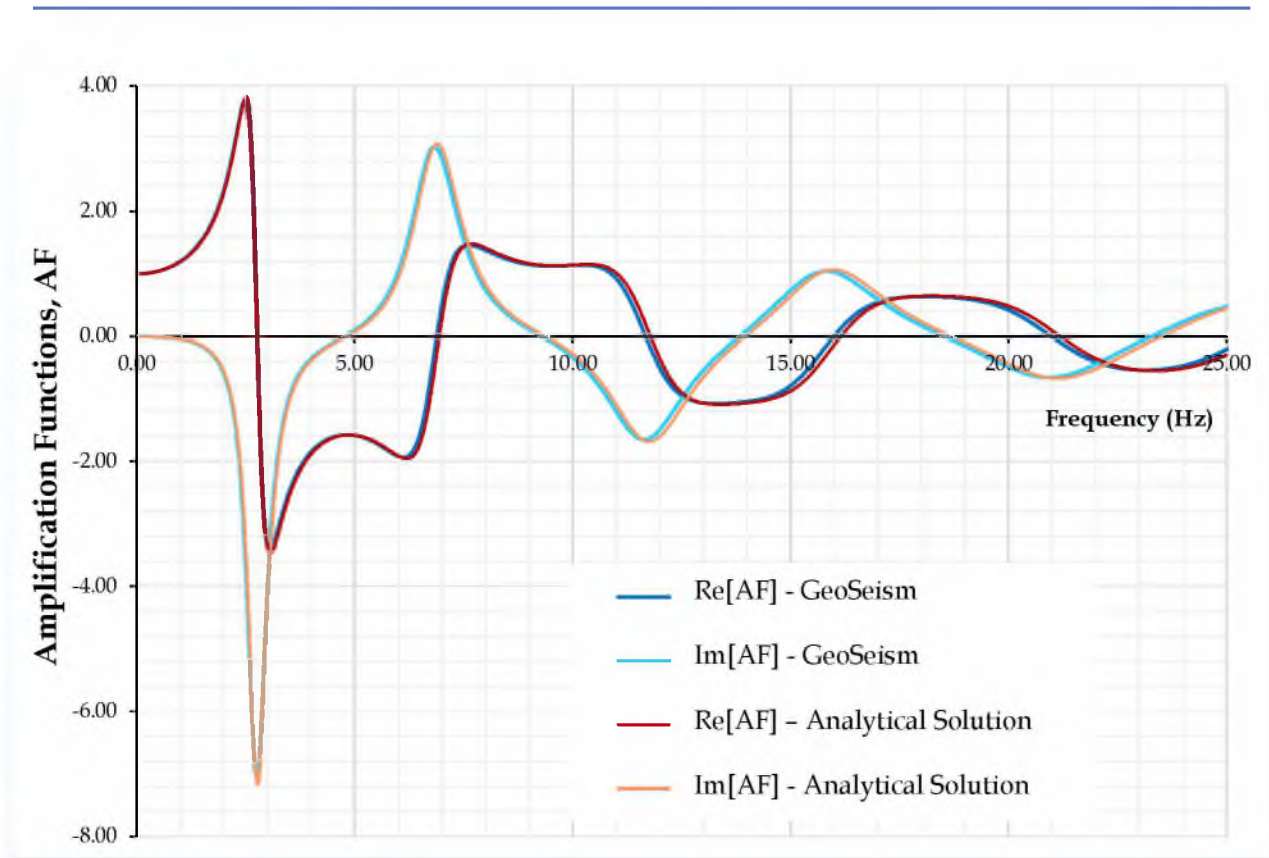
$$AF_1 = \frac{u_A}{u_B} \quad (6.1.1)$$

Όπου, u_A και u_B είναι οι ολικές μετατοπίσεις στα σημεία A και B (Σχ. 6.0.1). Στην περίπτωση αυτή, η συνάρτηση μεταφοράς AF_1 είναι εντελώς ανεξάρτητη από την παρουσία εύκαμπτου ή άκαμπτου βράχου στην βάση του σχηματισμού. Σημειώνεται όμως ότι για όλα τα υπόλοιπα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εφαρμογή αυτή θεωρείται ότι το βραχώδες υπόβαθρο έχει άπειρη δυσκαμψία.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος *GeoSeism* συγκρίνονται κυρίως με την ακριβή μαθηματική λύση (Σχ. 6.1.1), με τη βοήθεια του προγράμματος *Mathematica* (Stephen Wolfram). Συγκεκριμένα, παρατίθενται σε γραφικές παραστάσεις τα αποτελέσματα για την απόλυτη τιμή $|AF_1|$ (Σχ. 6.1.1a), καθώς και τις μιγαδικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς (Σχ. 6.1.1β), δηλαδή το πραγματικό μέρος $Re[AF_1]$ και το φανταστικό μέρος $Im[AF_1]$.



Σχήμα 6.1.1.a Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.



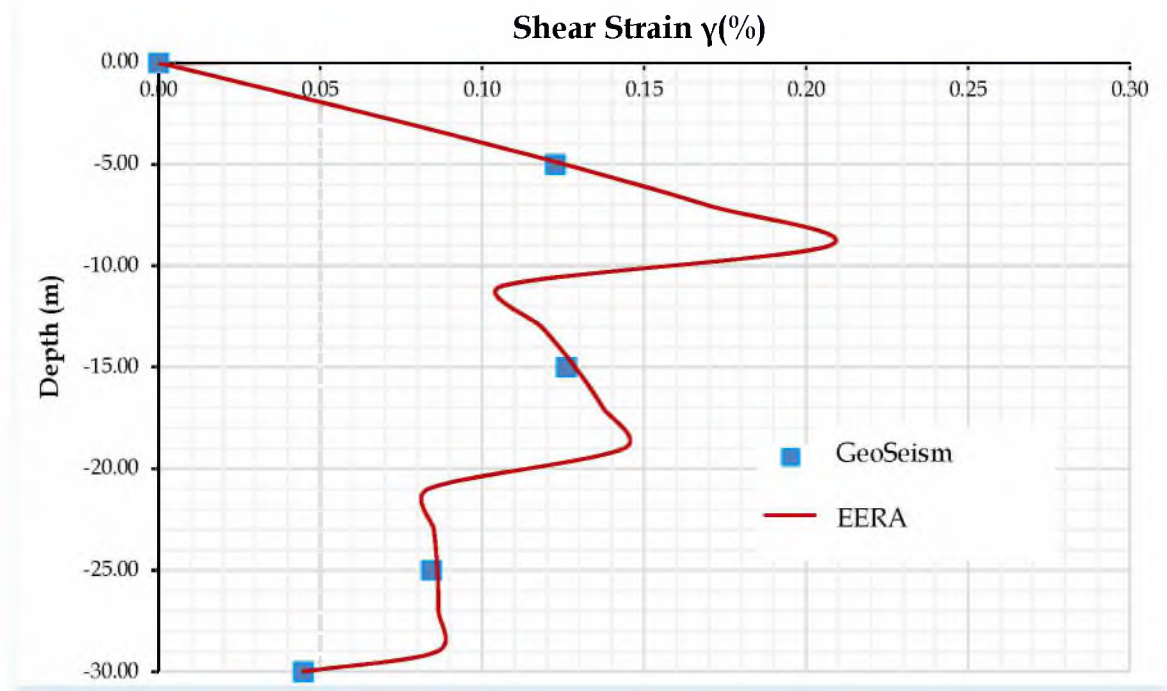
Σχήμα 6.1.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.

Τα αποτελέσματα των Σχημάτων 6.1.1 καταδεικνύουν μία πολύ καλή συμφωνία μεταξύ του προγράμματος *GeoSeism*, της Αναλυτικής λύσης, και του προγράμματος *EERA*, αναφορικά με τον υπολογισμό των Συναρτήσεων Μεταφοράς. Όπου, η ακριβής αναλυτική ή μαθηματική λύση (exact solution) είναι αυτή που προκύπτει από μαθηματικούς τύπους (Ντακούλας, 2012), χωρίς αριθμητικές προσεγγίσεις.

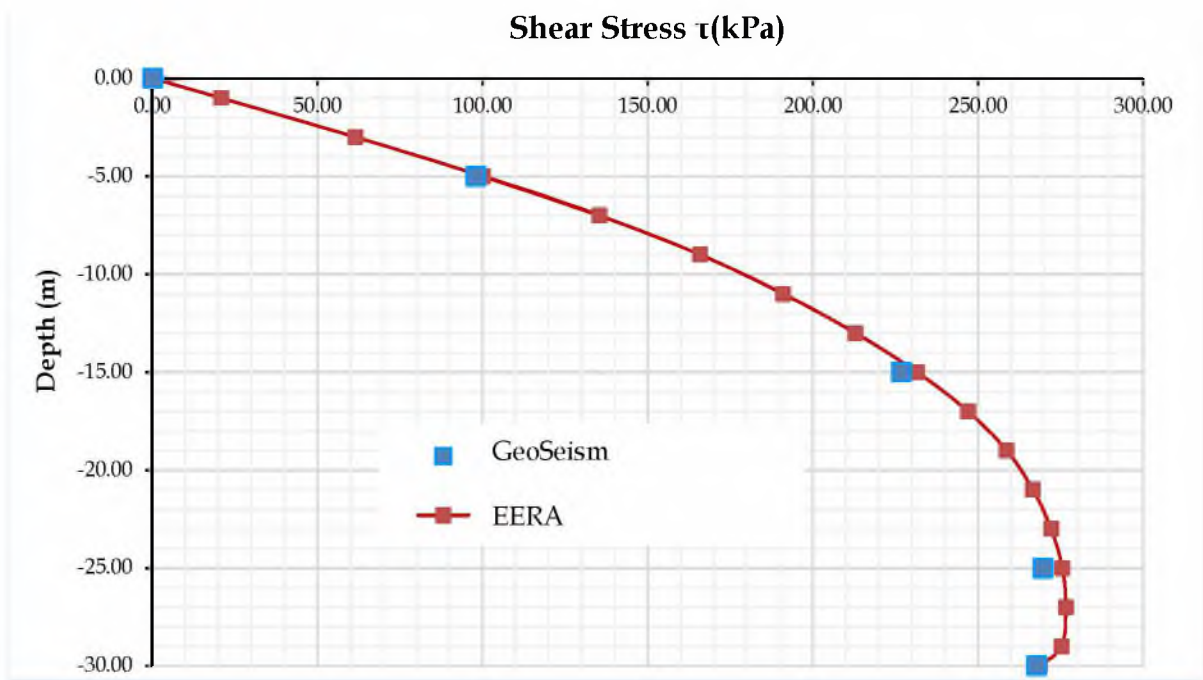
Οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν τις βασικές παραμέτρους της δυναμικής απόκρισης στο πεδίο του χρόνου σε διάφορα βάθη. Συγκεκριμένα, στις γραφικές παραστάσεις (Σχ. 6.1.2) και (Σχ. 6.1.3) απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση και τη διατμητική τάση, αντίστοιχα, στα γραφήματα (Σχ. 6.1.5), (Σχ. 6.1.4.a) και (Σχ. 6.1.4.β) αντίστοιχα απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση, την απόλυτη μετατόπιση, και τη σχετική μετατόπιση. Σε όλες τις παραστάσεις συγκρίνονται τα προγράμματα *EERA* και *GeoSeism*.

Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν την πολύ καλή σύγκλιση έως και ταύτιση μεταξύ των προγραμμάτων *EERA* και *GeoSeism*.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

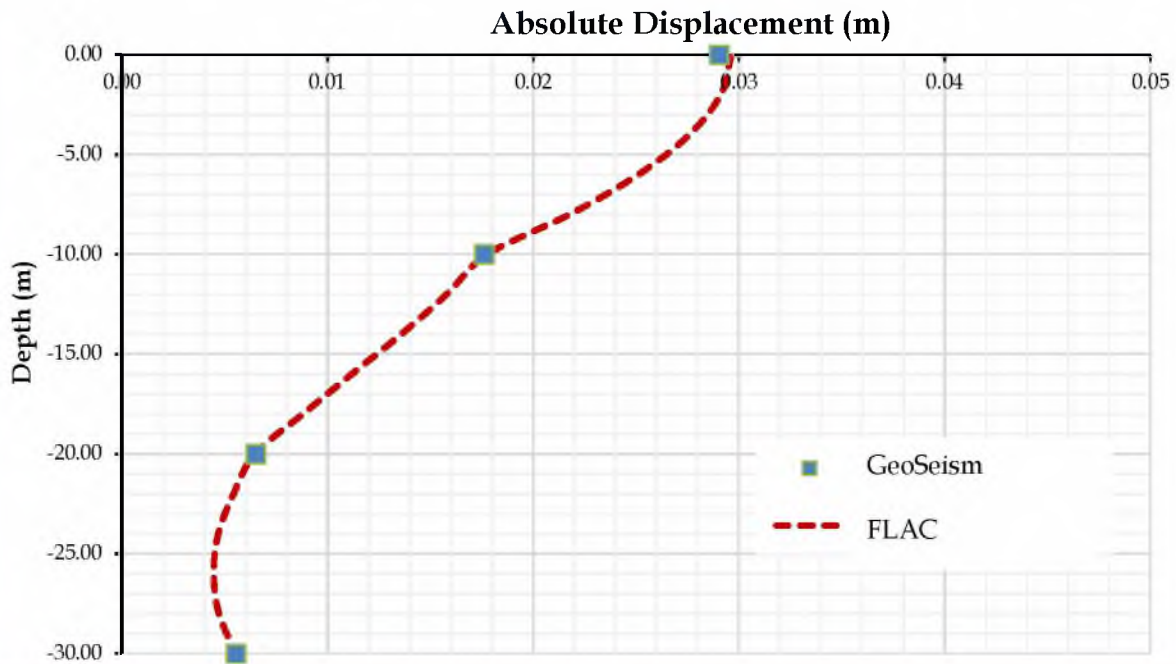


Σχήμα 6.1.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.

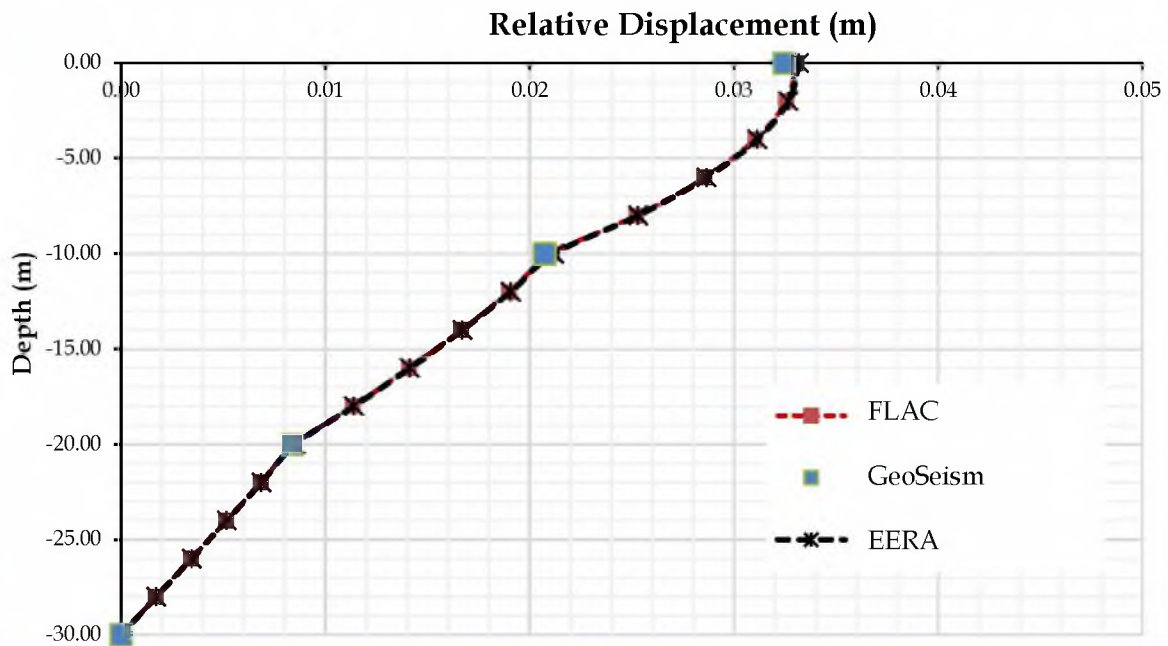


Σχήμα 6.1.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



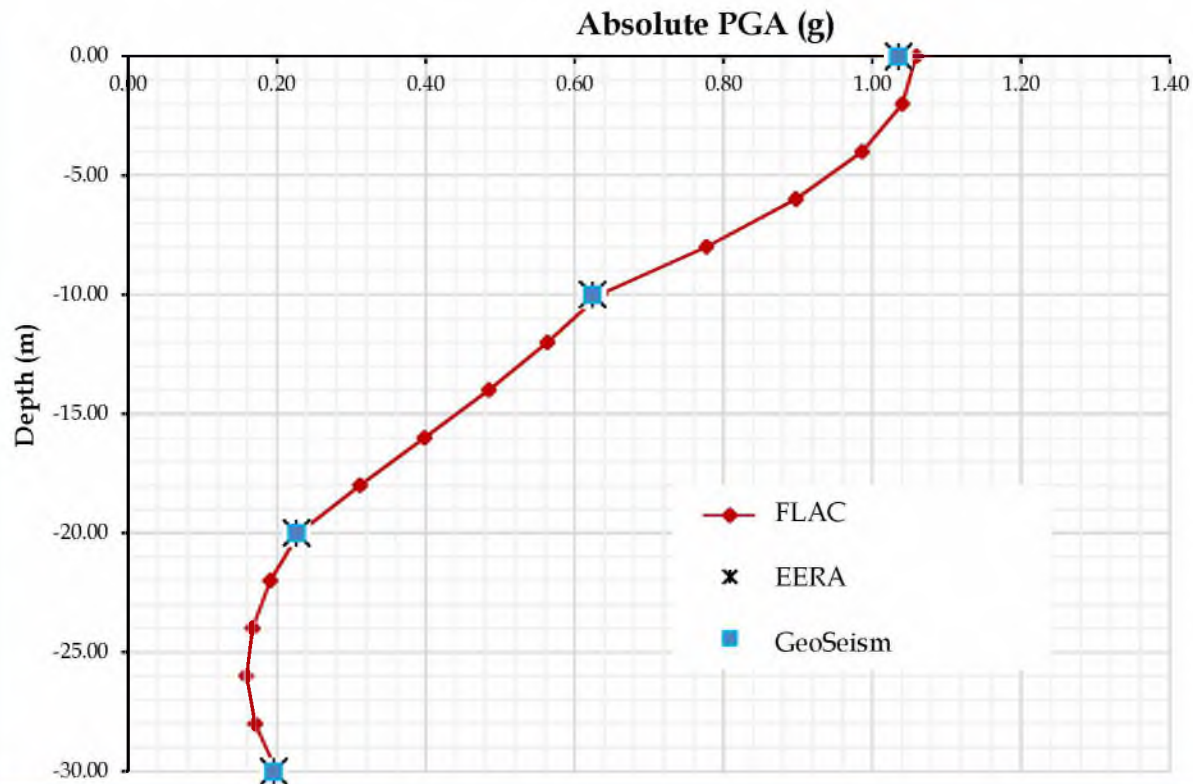
(a)



(β)

Σχήμα 6.1.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για (α) την απόλυτη μετατόπιση, και (β) τη σχετική μετατόπιση.

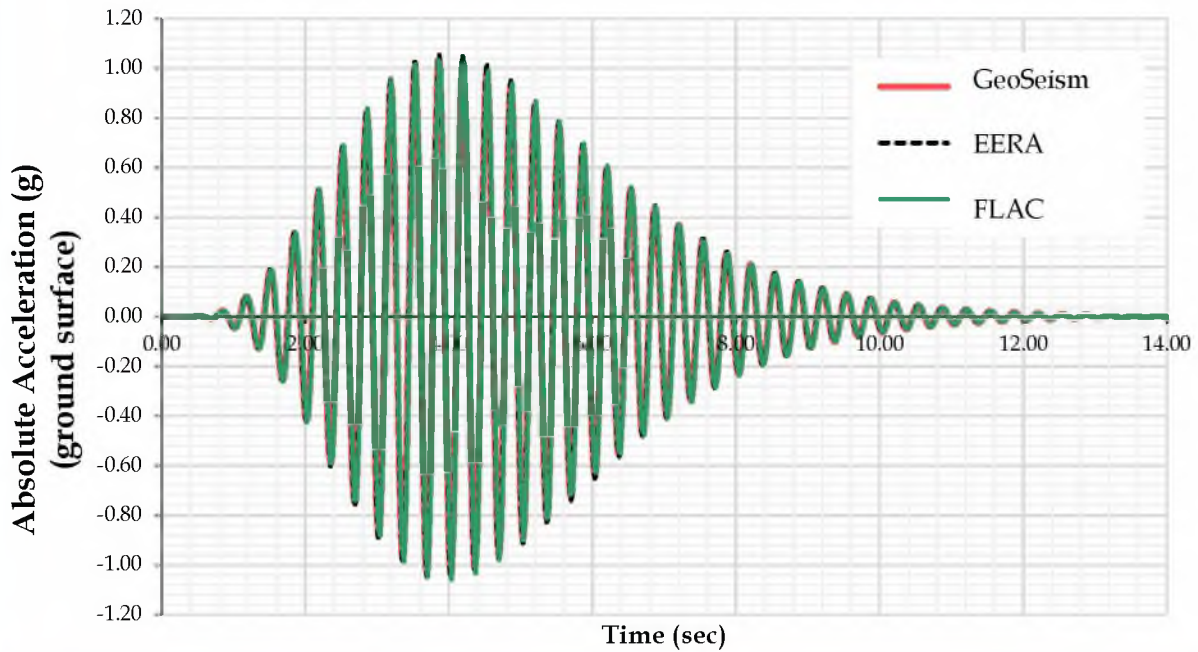
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



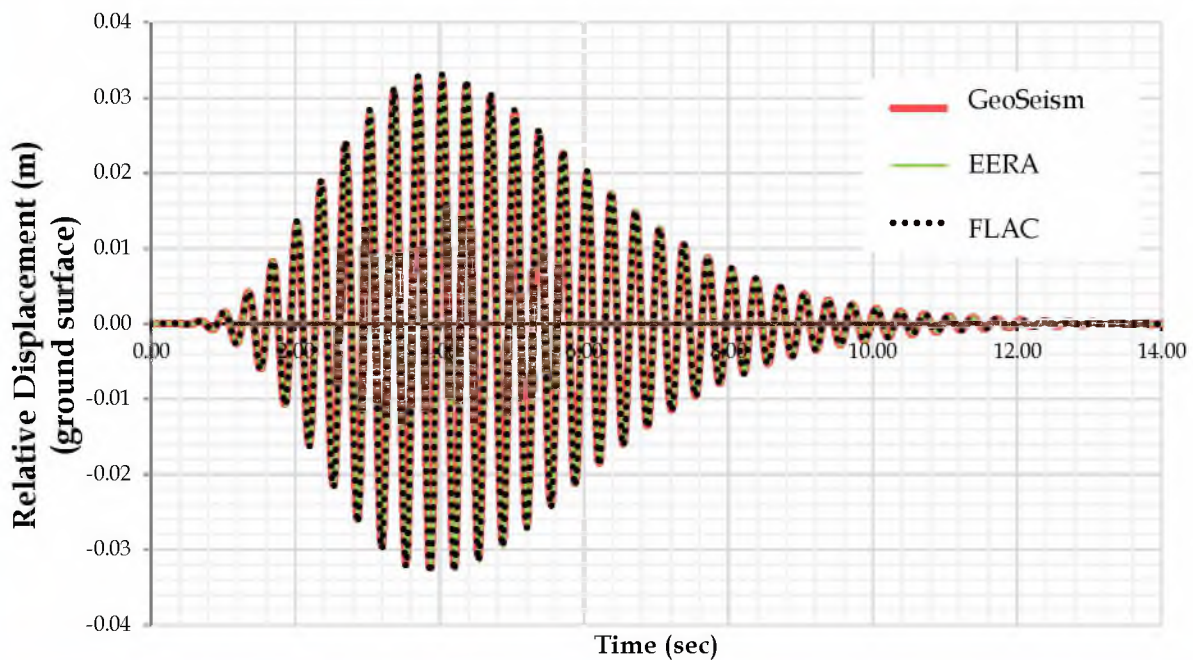
Σχήμα 6.1.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση.

Στην απόλυτη μετατόπιση παρακάτω (Σχ. 6.1.4.α), το *GeoSeism* χρειάστηκε διόρθωση του οριζώντιου άξονα - επεξεργασία την οποία επίσης ανέπτυξε στον κώδικα της αριθμητικής ανάλυσης.

Ακολουθούν ενδεικτικές γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τις χρονοϊστορίες μερικών από τις παραμέτρους δυναμικής απόκρισης σε διαφορετικά βάρη. Συγκεκριμένα, στα γραφήματα (Σχ. 6.1.6.α) και (Σχ. 6.1.6.β) απεικονίζονται αντίστοιχα οι χρονοϊστορίες της απόλυτης επιτάχυνσης και της σχετικής μετατόπισης στο ύψος Α (επιφάνεια εδάφους). Συγκρίνονται τα αποτελέσματα των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA* και *FLAC*. Τα αποτελέσματα μπορεί να θεωρηθεί με πολύ καλή ακρίβεια ότι συμπίπτουν. Το ίδιο δείχνουν και τα αμέσως επόμενα γραφήματα χρονοϊστοριών (Σχ. 6.1.7), της διατμητικής παρα-
 $\sigma_{\theta\theta}$ διατμητικής τάσης στο ύψος M2 (το μέσο της μεσαίας στρώσης, Σχ. 6.0.1). Πέραν των γραφικών παραστάσεων, για λόγους ακριβέστερης σύγκρισης έγινε και αριθμητική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση κατέδειξε ότι οι αποκλίσεις κυμαίνονται σε ποσοστά σχεδόν μηδενικά (διαφορές συνήθως στο τρίτο δεκαδικό), δηλαδή σε επίπεδα που θεωρούνται αποδεκτά για να επιβεβαιώσουν την πολύ καλή σύγκλιση του *GeoSeism* με τα άλλα δυο λογισμικά.



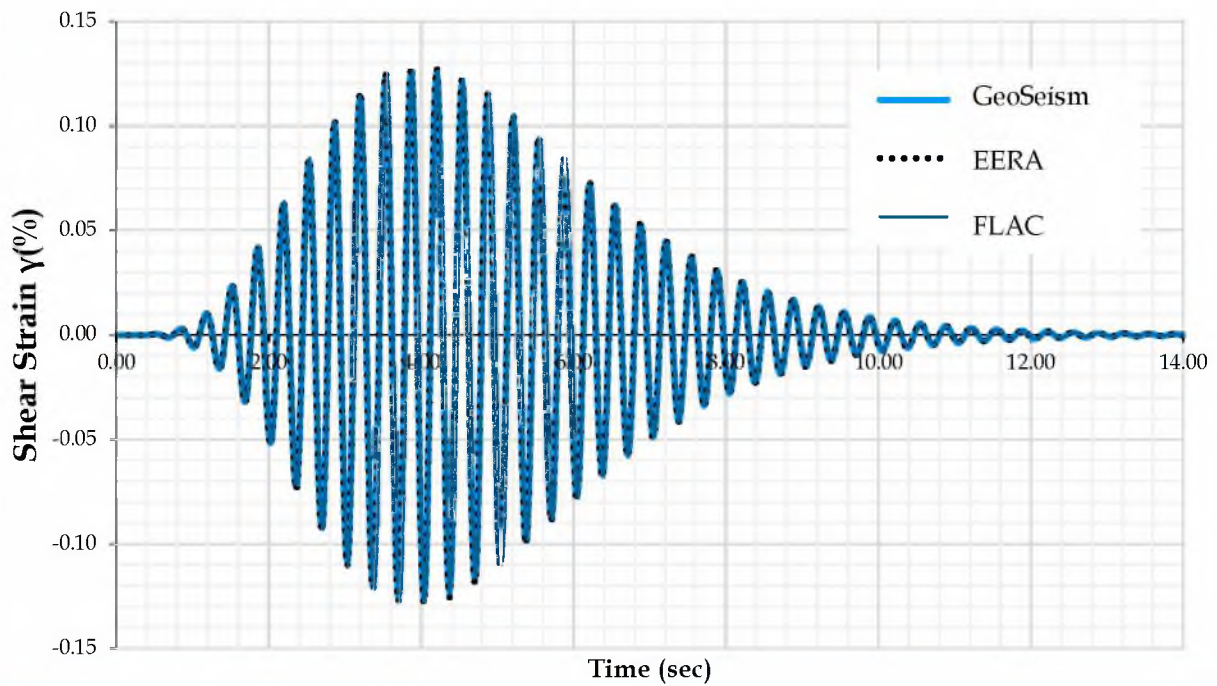
(a)



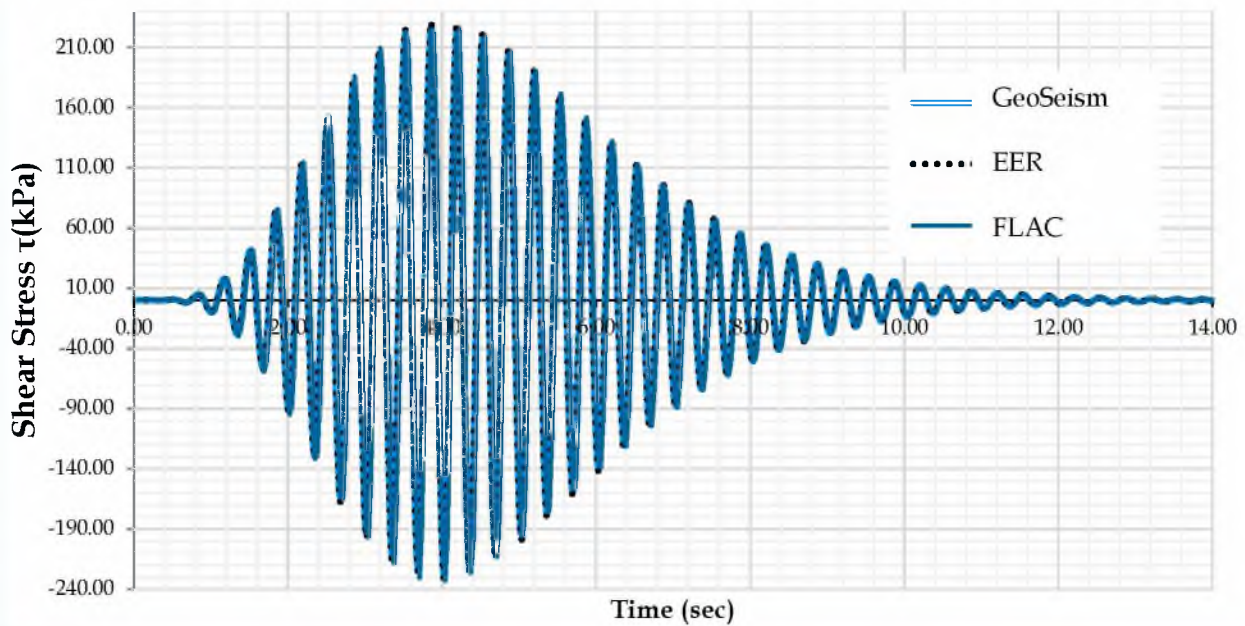
(β)

Σχήμα 6.1.6 Χρονοϊστορίες (α) απόλυτης επιτάχυνσης και (β) σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια εδάφους).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(α)



(β)

Σχήμα 6.1.7 Χρονοϊστορίες (α) διατμητικής παραμόρφωσης και (β) διατμητικής τάσης στο ύψος M (το μέσο της μεσαίας στρώσης).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

6.2 Εφαρμογή 2

Γίνεται γραμμικά ελαστική ανάλυση του εδαφικού σχηματισμού A (Σχ. 6.0.1), σε τρεις επαναληπτικές δοκιμές. Θεωρείται ότι η εισαγόμενη διέγερση (Σχ. 6.0.3) εφαρμόζεται στη βάση του σχηματισμού. Η περίπτωση αυτή, είναι η ίδια με την προηγούμενη και, ισοδυναμεί με συνθήκες άκαμπτου βράχου ($V_b = \infty$). Σε κάθε δοκιμή, ο λόγος της ενεργού διατμητικής παραμόρφωσης προς τη μέγιστη διατμητική παραμόρφωση λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα.

Η εφαρμογή αυτή επιβεβαιώνει την ορθή σύγκλιση των αποτελεσμάτων κατά τη διαδικασία των επαναλήψεων. Τα υλικά στις τρεις στρώσεις του σχηματισμού είναι αργιλικά. Συνεπώς, στις κατώτερες αναλύσεις χρησιμοποιούνται οι καμπύλες μεταβολής G/G_0 και ξ για αργίλους (Idriss, 1990).

Στις επόμενες γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται η καθ' ύψος κατανομή της απόσβεσης ξ (Σχ. 6.2.1.a) και του λόγου G/G_0 (Σχ. 6.2.1.β) με το βάθος για τις πρώτες τρεις δοκιμές, από τα προγράμματα *Geoseism* και *EERA*. Παρατηρούνται τα εξής:

1. Το *EERA* ξεκινά την πρώτη δοκιμή με $\xi = 0.24\%$ επειδή είναι ρυθμισμένο σε ποιότητα εδάφους αργιλική (Matrix 1: Idriss 1990, $\xi = 0.24\%$). Το *GeoSeism* ξεκινά με εξ ορισμού τιμή $\xi = 10\%$ πάντοτε. Ως εκ τούτου, όλες οι διαφορές της πρώτης ή και της δεύτερης δοκιμής, δεν έχουν φυσική σημασία αλλά έγκεινται στη διαφορετική αρχική ρύθμιση του κώδικα καθενός λογισμικού. Είναι φανερό ότι στην τρίτη δοκιμή ήδη τα αποτελέσματα και των δυο προγραμμάτων συγκλίνουν. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα για την πλήρη σύγκλιση απαιτείται τουλάχιστον μια ακόμη δοκιμή.
2. Στην τρίτη δοκιμή τα G/G_0 και ξ των *GeoSeism* και *EERA* συγκλίνουν διαδοχικά περισσότερο στις ανώτερες στρώσεις, μέχρι που σχεδόν ταυτίζονται στην πρώτη επιφανειακή στρώση (θαλασσί και βυσσινή γραμμή). Το αποτέλεσμα αυτό είναι φαινομενικό. Στην πραγματικότητα η πρώτη στρώση απαιτεί υποδιαίρεση σε υποστρώσεις πάχους λ.χ. 2 m αντί για 10 - 15 m, ενώ όλες οι κατώτερες υποστρώσεις έχουν πολύ καλή σύγκλιση με το πραγματικό μοντέλο.
3. Σε συνέχεια της προηγούμενης παρατήρησης, το πραγματικό μοντέλο αποδίδει καλύτερα η μαύρη διακεκομμένη γραμμή του *EERA* για την τρίτη δοκιμή. Εξακολουθεί να αποκλίνει σημαντικά από τις άλλες δυο (τη θαλασσί και τη βυσσινή). Η γραμμή αυτή είναι το αποτέλεσμα του ίδιου προβλήματος με μόνη διαφορά ότι η πρώτη επιφανειακή στρώση υποδιαιρέθηκε σε λεπτότερες νοητές υποστρώσεις (των 2 m). Επομένως, η σύγκριση των γραμμών ειδικά στη πρώτη επιφανειακή στρώση δίδει αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για το γενικευμένο συμπέρασμα ότι στα πρώτα επιφανειακά βάθη η

ανάλυση της εδαφικής απόκρισης είναι πιο ακριβής αν λαμβάνει υπόψη λεπτότερες εδαφικές υποδιαίρεσεις (π.χ. 1/5 του πάχους της στρώσης).

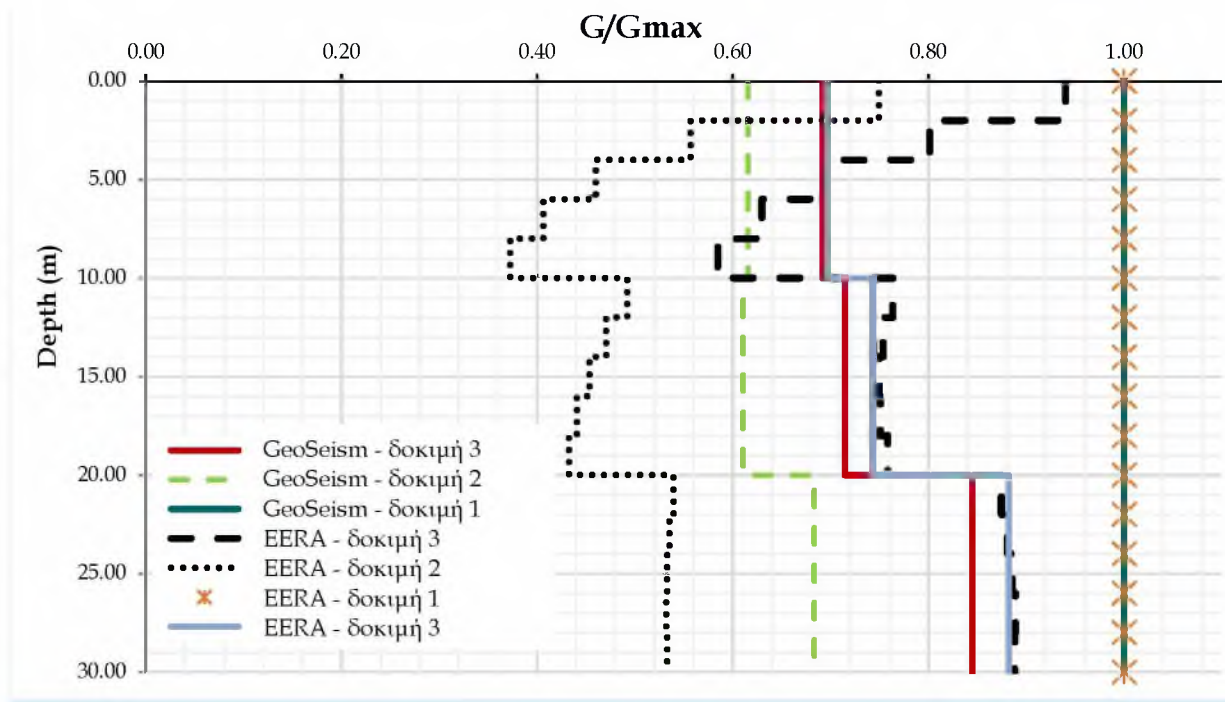
4. Σε κάθε περίπτωση, η πρώτη ως άνω παρατήρηση δικαιολογεί απολύτως τις αποκλίσεις των αποτελεσμάτων της πρώτης και της δεύτερης δοκιμής και στις υπόλοιπες γραφικές παραστάσεις (Σχ. 6.2.2, Σχ. 6.2.3, Σχ. 6.2.4, Σχ. 6.2.5). Η καλή σύγκλιση των προγραμμάτων φαίνεται στην τρίτη δοκιμή, όπου πράγματι τα αποτελέσματα των *GeoSeism* και *EERA* συγκλίνουν ή και συμπίπτουν κατά θέσεις.

Μετά τις γραφικές παραστάσεις (Σχ. 6.2.1) της κατανομής καθ' ύψος των G/G_0 και ξ , ακολουθεί η παράσταση με τις μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση (Σχ. 6.2.2), για τη διατμητική τάση (Σχ. 6.2.3), για την απόλυτη επιτάχυνση (Σχ. 6.2.4.a), και τη σχετική επιτάχυνση (Σχ. 6.2.4.β). Συγκρίνονται τα αποτελέσματα του *GeoSeism* και του *EERA*. Όλες οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν την πολύ καλή σύγκλιση των προγραμμάτων από την τρίτη δοκιμή και μετά.

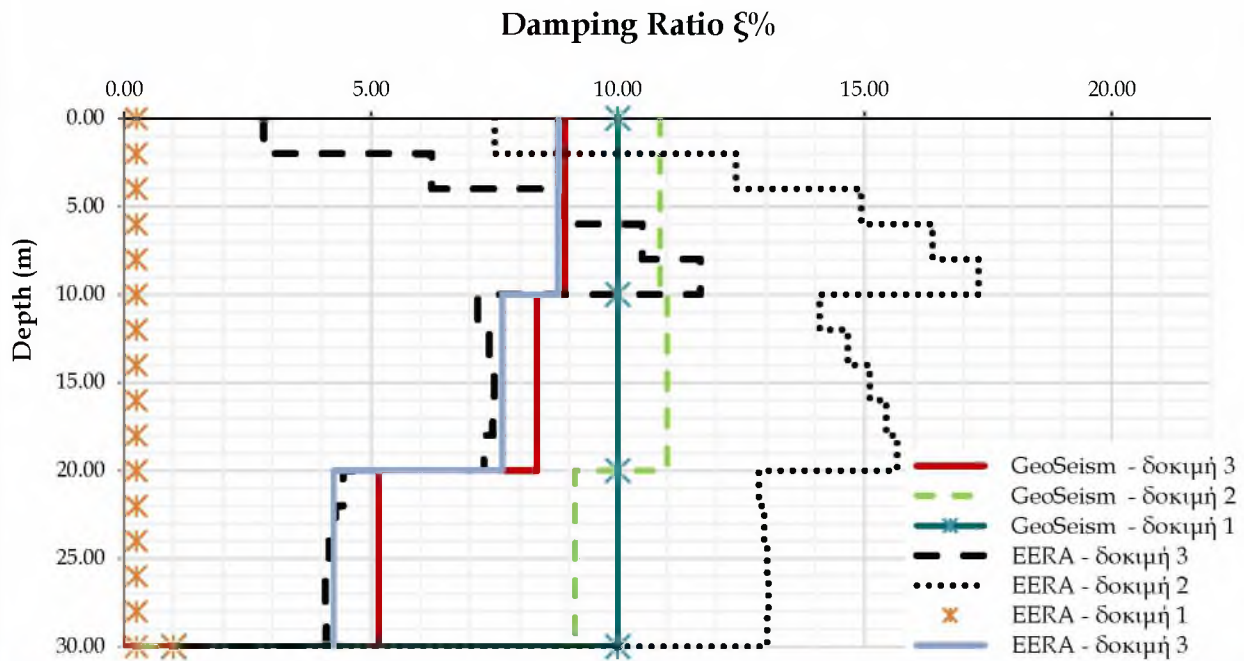
Η διατμητική παραμόρφωση ενδεικτικά, η οποία έχει και τον πλέον σημαντικό ρόλο για την επιλογή των εδαφικών ιδιοτήτων (G , ξ), στην τρίτη δοκιμή έχει ήδη την πολύ καλή σύγκλιση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2.1:

Πίνακας 6.2.1 Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης

depths (m)	<i>GeoSeism</i>	<i>EERA</i>
	max shear strain%	max shear strain%
0	0	0
-5	0.0978193	0.1035
-15	0.0856063	0.0853
-25	0.0395969	0.0394
-30	0.0225684	0.0152



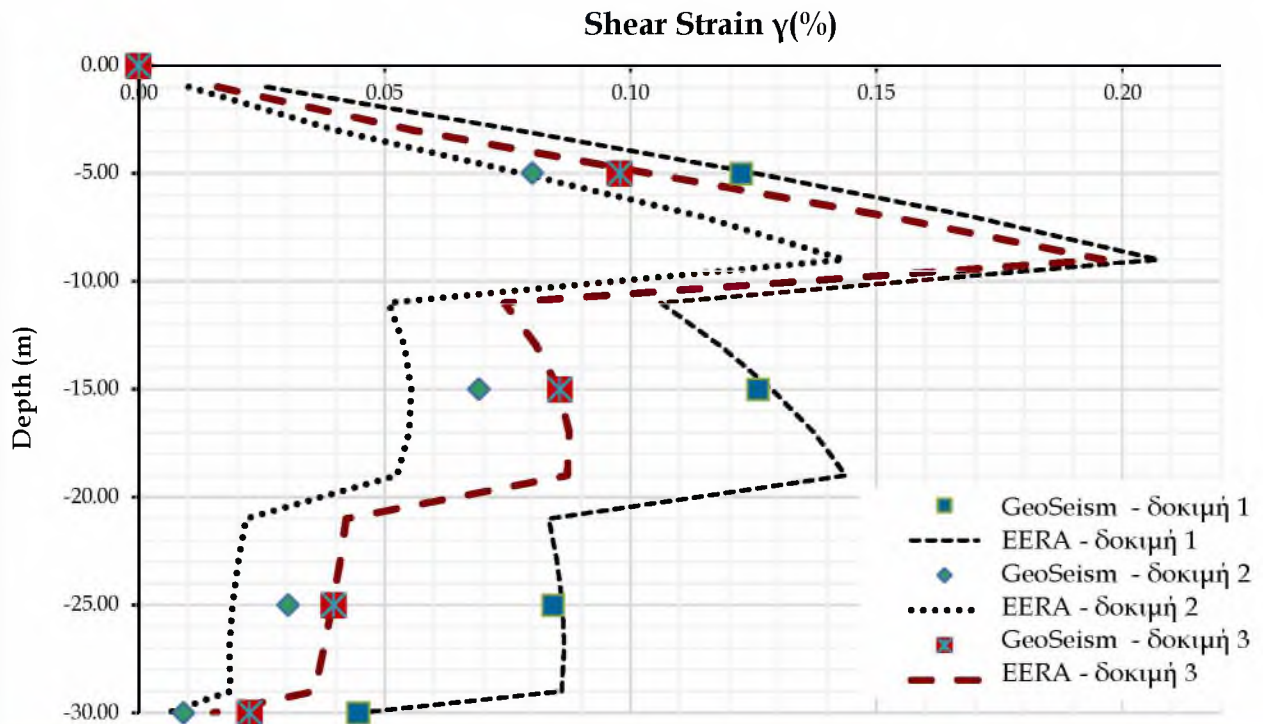
(a)



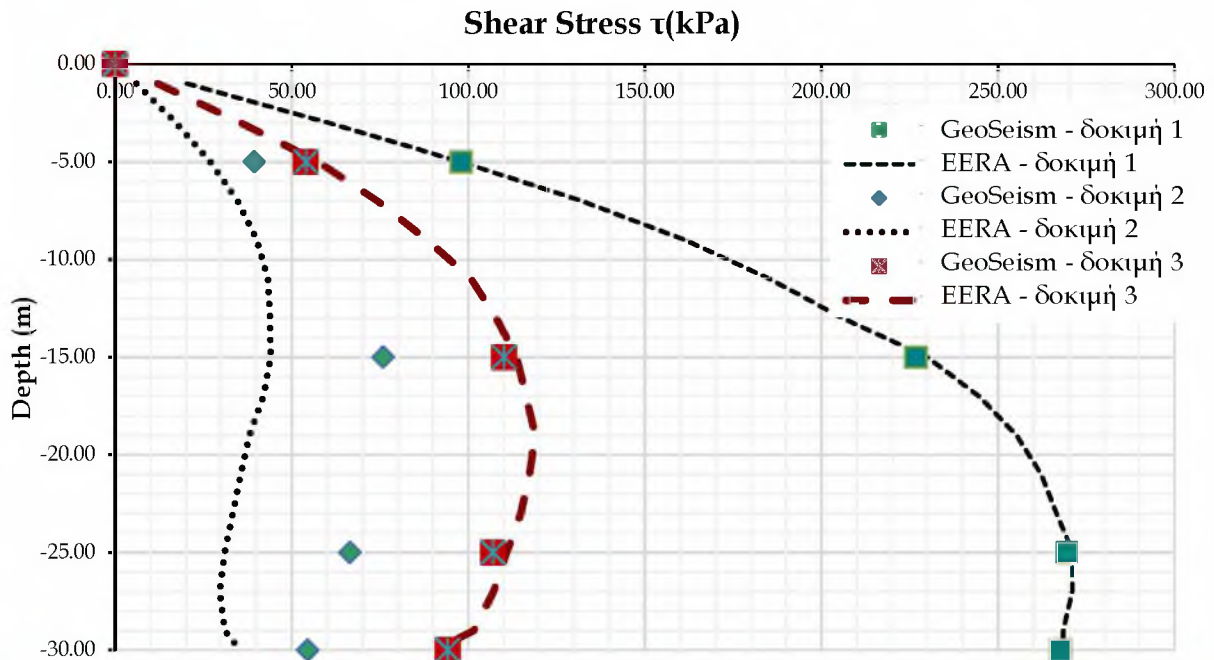
(β)

Σχήμα 6.2.1 Κατανομή καθ' ύψος των G/G_0 και ξ .

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

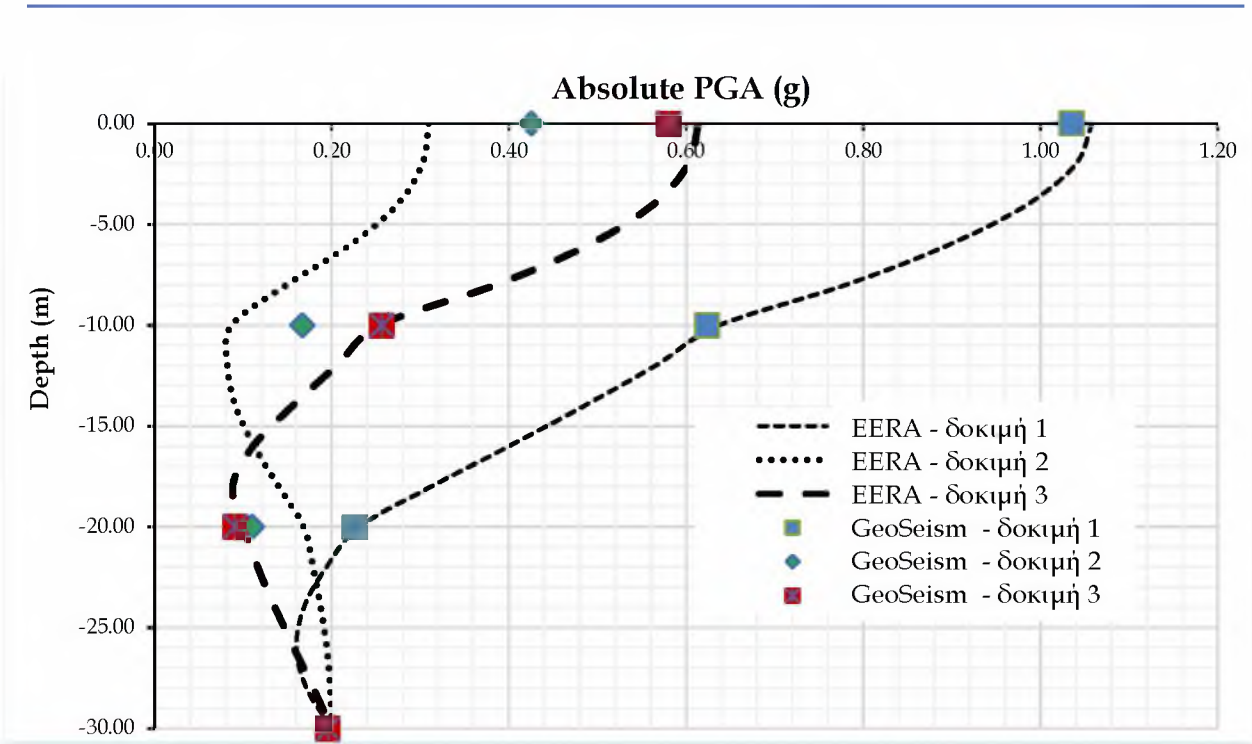


Σχήμα 6.2.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.

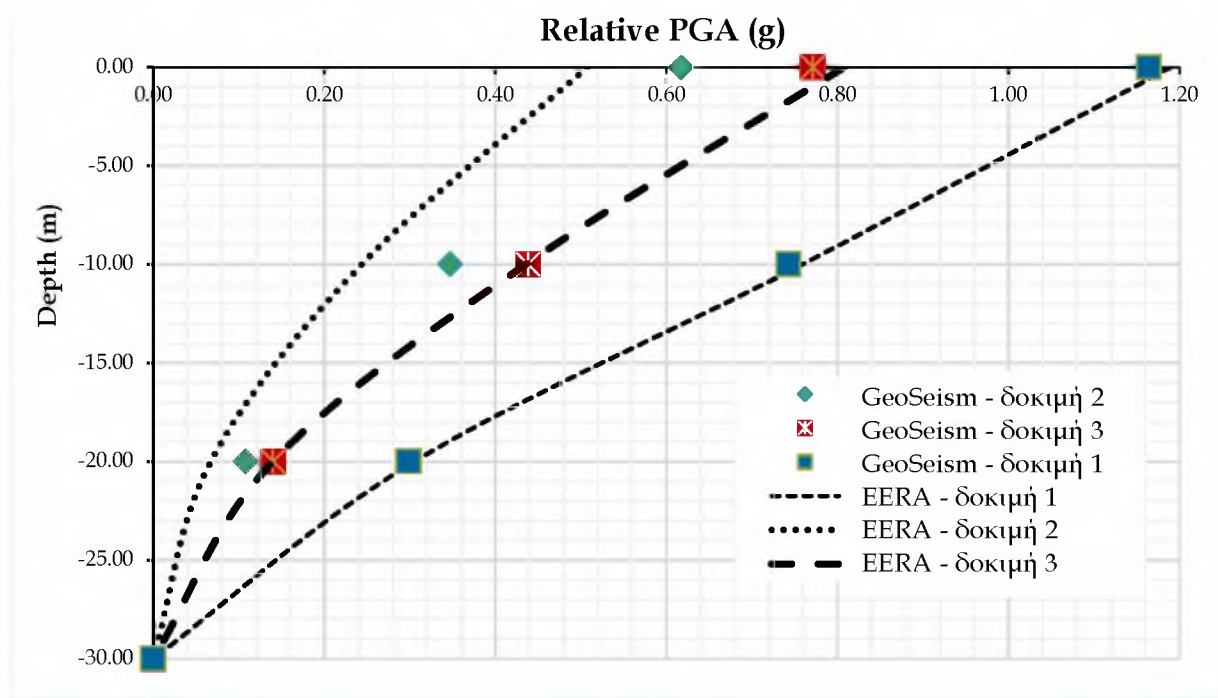


Σχήμα 6.2.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)



(β)

Σχήμα 6.2.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για (α) την απόλυτη επιτάχυνση, και (β) τη σχετική επιτάχυνση.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

6.3 Εφαρμογή 3

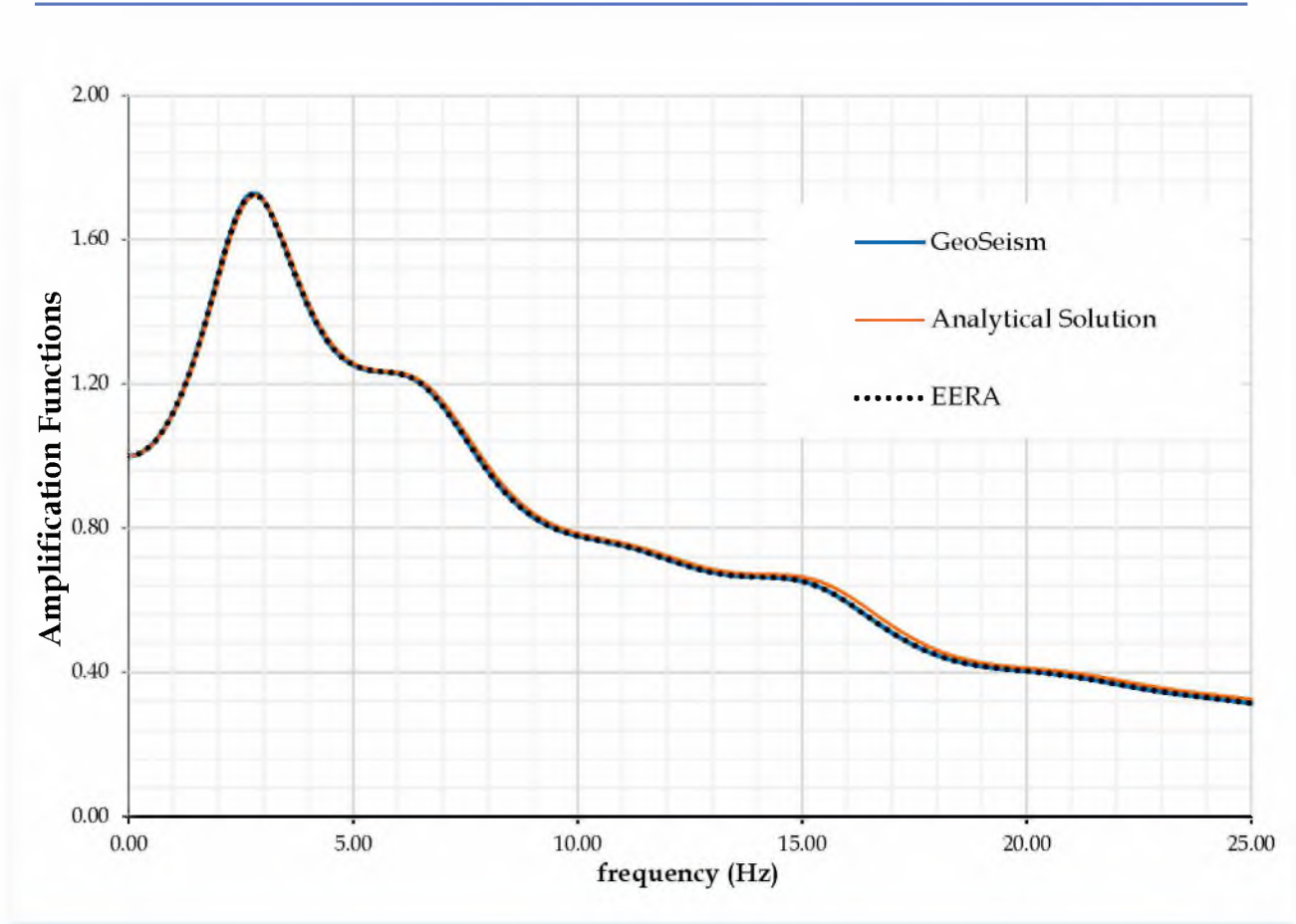
Επαναλαμβάνεται η γραμμικά ελαστική ανάλυση της Εφαρμογής 1, για τον εδαφικό σχηματισμό A (Σχ. 6.0.1) σε μια δοκιμή, με τη διαφορά ότι τώρα θεωρείται ότι το βραχώδες υπόβαθρο είναι εύκαμπτο (χαρακτηρίζεται από $V_b < \infty$, ρ , ξ). Θεωρείται ότι η εισαγόμενη διέγερση (Σχ. 6.0.3) καταγράφεται στην επιφάνεια του αναδυόμενου υπόβαθρου.

Εξετάζεται αρχικά η Συνάρτηση Ενίσχυσης AF_2 (Συνάρτηση Μεταφοράς για ανάλυση πολυστρωματικού σχηματισμού) μεταξύ της βάσης και της επιφάνειας του εδάφους:

$$AF_2 = \frac{u_A}{u_\Gamma} \quad (6.3.1)$$

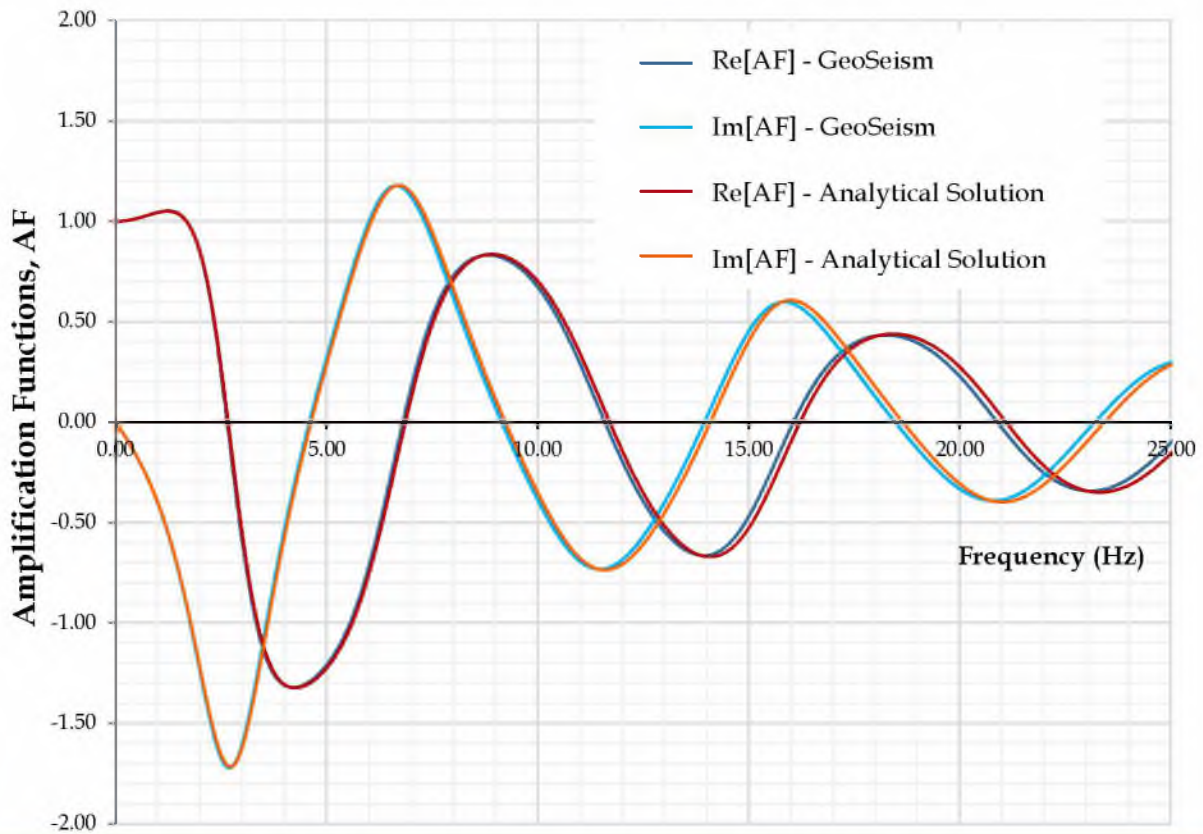
Όπου, u_A και u_Γ είναι οι ολικές μετατοπίσεις στα σημεία A και Γ (Σχ. 6.0.1). Στην περίπτωση αυτή, η συνάρτηση μεταφοράς AF_2 εξαρτάται σημαντικά από την δυσκαμψία του βράχου στην βάση του σχηματισμού.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος *GeoSeism* συγκρίνονται κυρίως με την ακριβή μαθηματική λύση (Σχ. 6.3.1), με τη βοήθεια του προγράμματος *Mathematica* (Stephen Wolfram). Συγκεκριμένα, συγκρίνεται η απόλυτη τιμή $|AF_2|$ (Σχ. 6.3.2.a), καθώς και τις μιγαδικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς (Σχ. 6.3.2.β), δηλαδή το πραγματικό μέρος $\text{Re}[AF_2]$ και το φανταστικό μέρος $\text{Im}[AF_2]$.



Σχήμα 6.3.1.a Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_2 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στο αναδύμενο υπόβαθρο της εδαφικής τομής, σε μια μόνον δοκιμή.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

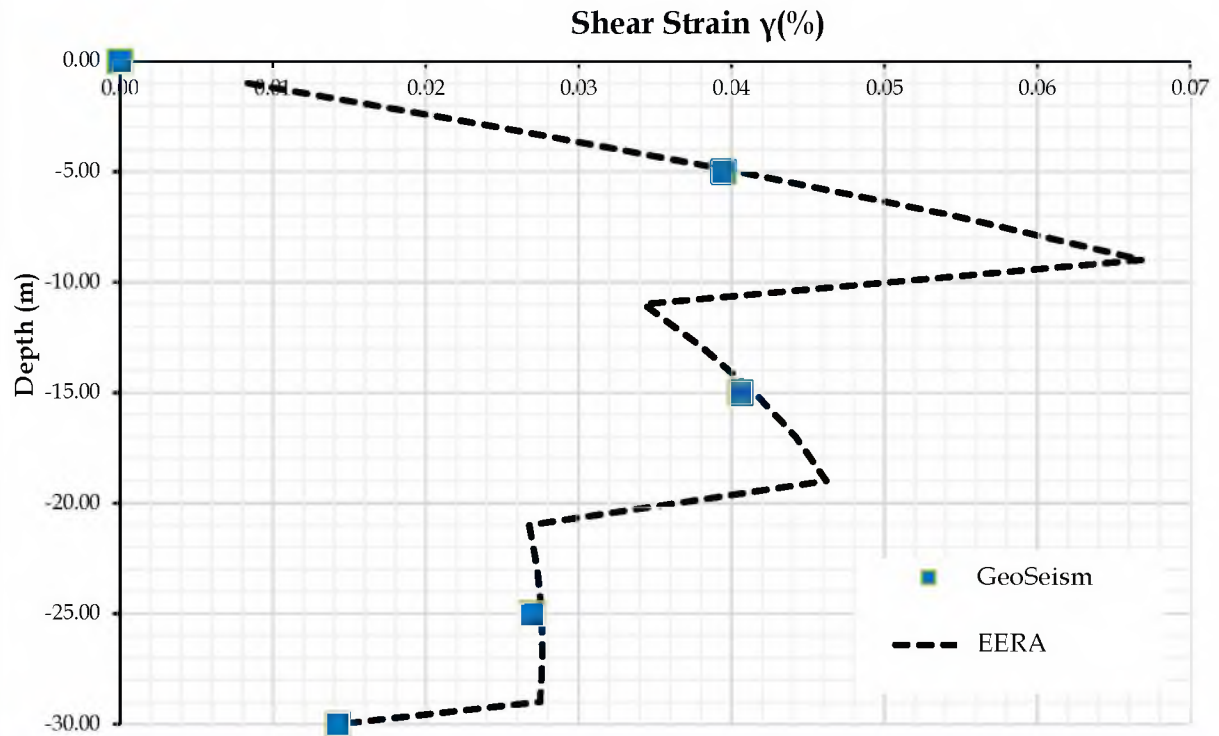


Σχήμα 6.3.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_2 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στο αναδύομενο υπόβαθρο της εδαφικής τομής, σε μια μόνον δοκιμή.

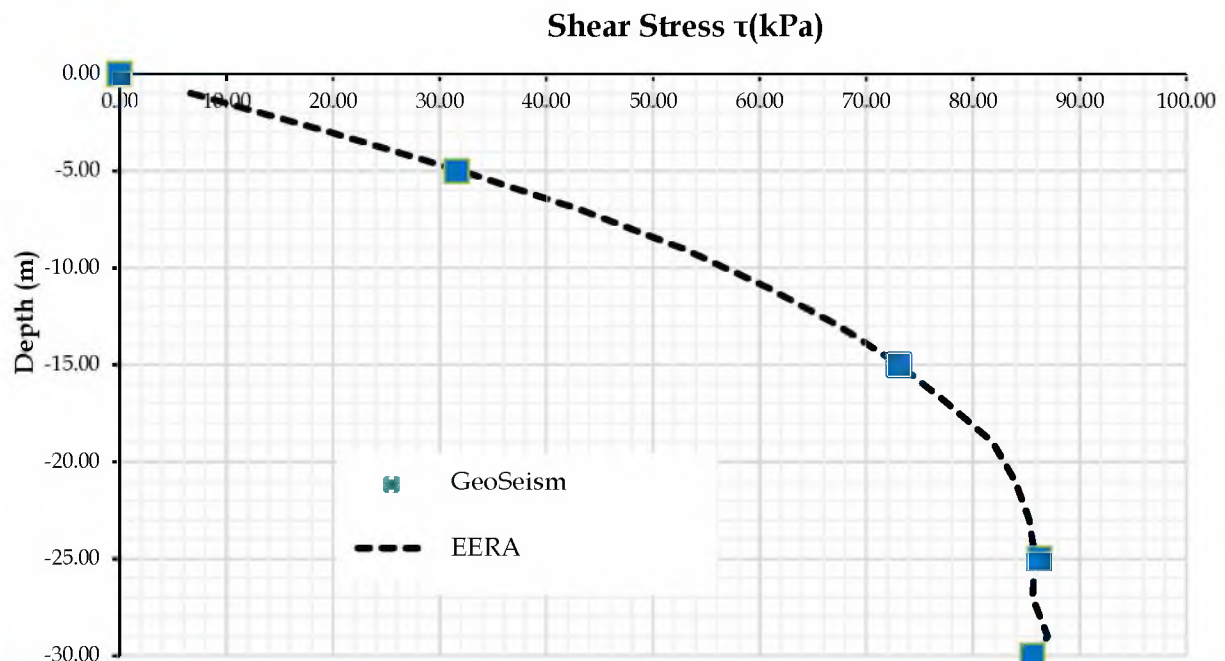
Τα αποτελέσματα των Σχημάτων 6.3.1 καταδεικνύουν μία πολύ καλή συμφωνία (πρακτικά σύμπτωση) μεταξύ του προγράμματος *GeoSeism*, της Αναλυτικής λύσης (ακριβής μαθηματική λύση), και του προγράμματος *EERA*, αναφορικά με τον υπολογισμό των Συναρτήσεων Μεταφοράς.

Οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν τις βασικές παραμέτρους της δυναμικής απόκρισης στο πεδίο του χρόνου σε διάφορα βάθη. Συγκεκριμένα, στις παραστάσεις (Σχ. 6.3.2) και (Σχ. 6.3.3) απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση και τη διατμητική τάση, αντίστοιχα, στις παραστάσεις (Σχ. 6.3.4), (Σχ. 6.3.5) αντίστοιχα απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση, και τη σχετική μετατόπιση. Σε όλες αυτές τις γραφικές παραστάσεις συγκρίνονται τα προγράμματα *EERA* και *GeoSeism*. Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν την πολύ καλή σύγκλιση των δυο προγραμμάτων. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται κατά θέσεις είναι πολύ μικρές (διαφορές τρίτου ή δεύτερου δεκαδικού).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

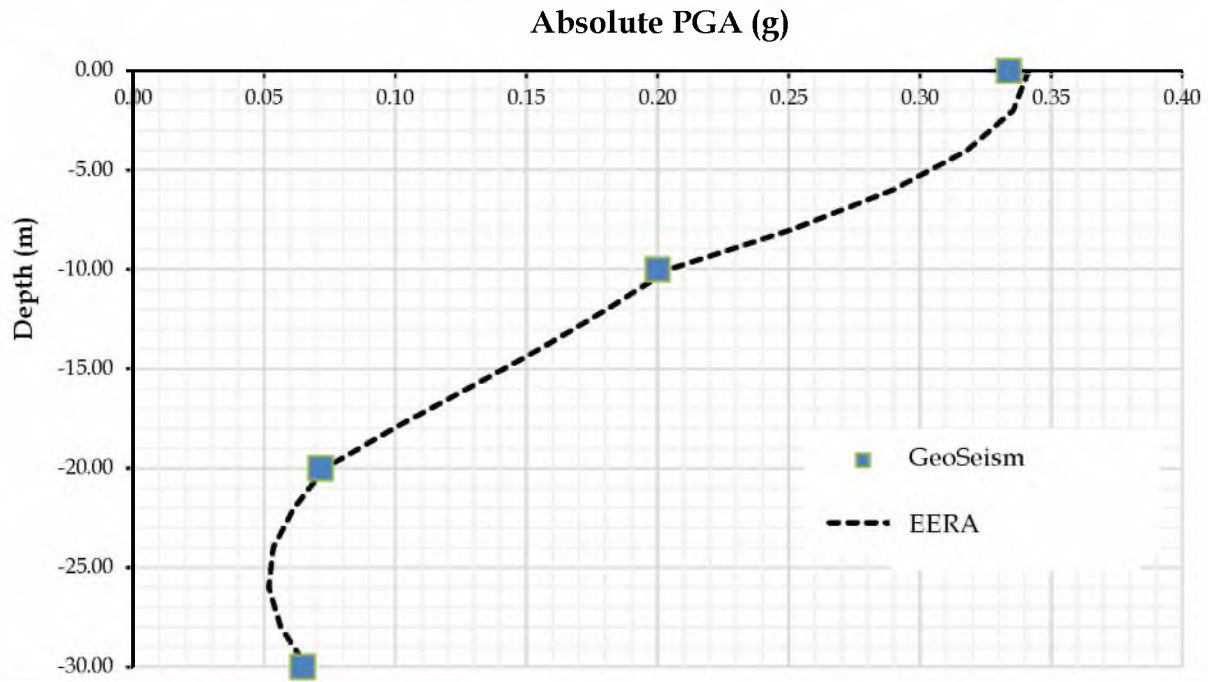


Σχήμα 6.3.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση.

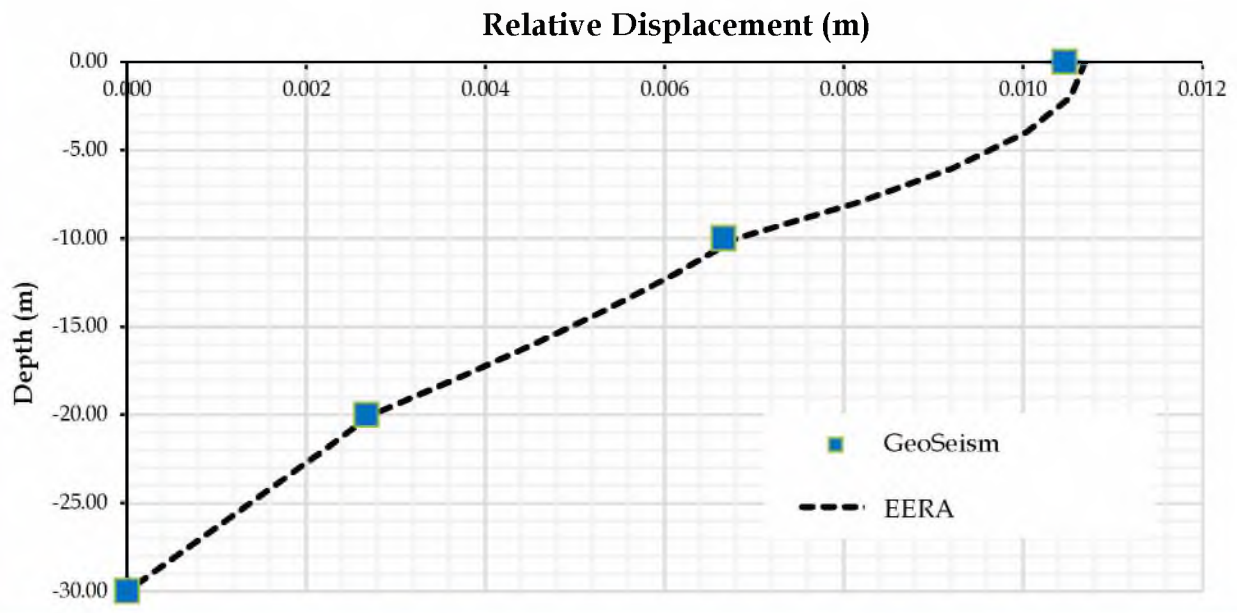


Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.3.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση.



Σχήμα 6.3.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση.



Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.3.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη σχετική μετατόπιση (απόλυτη μετατόπιση δεν προσφέρει το EERA).

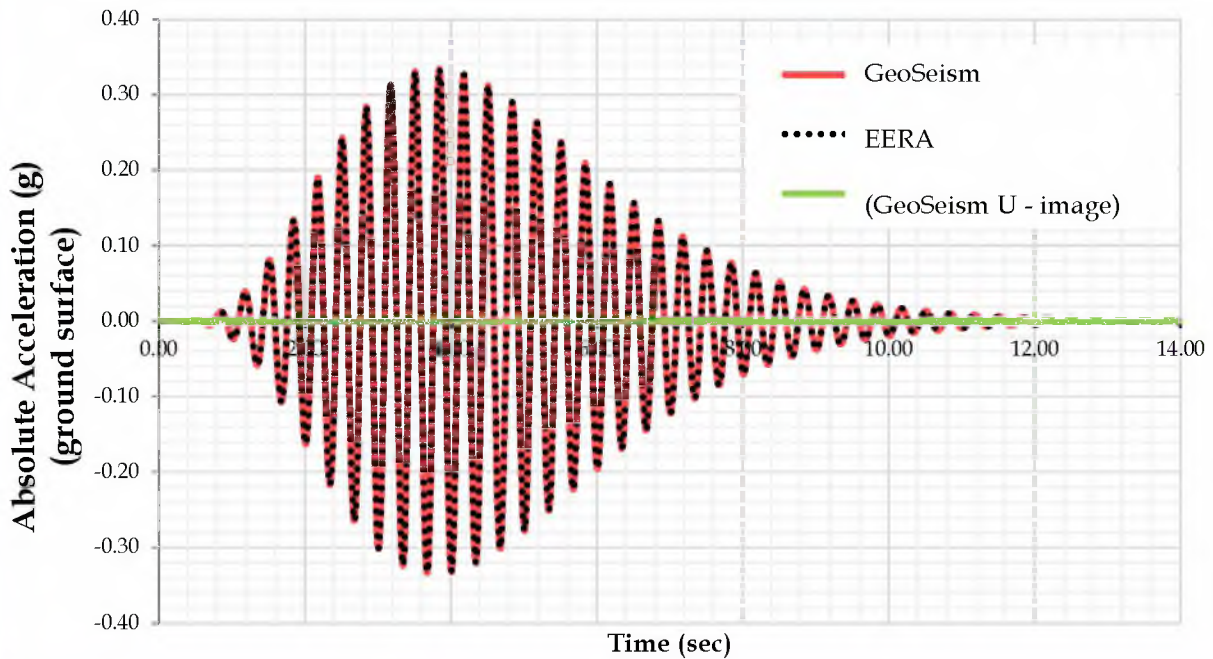
Ακολουθούν γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν ενδεικτικά τις χρονοϊστορίες μερικών από τις παραμέτρους δυναμικής απόκρισης σε διαφορετικά βάθη. Συγκεκριμένα, στις παραστάσεις (Σχ. 6.3.6.α) και (Σχ. 6.3.6.β) απεικονίζονται αντίστοιχα οι χρονοϊστορίες της απόλυτης επιτάχυνσης και της σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια εδάφους, Σχ. 6.0.1). Στις παραστάσεις παρατίθενται προς σύγκριση τα αποτελέσματα των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA* και *FLAC*. Τα αποτελέσματα μπορεί να θεωρηθεί με πολύ καλή ακρίβεια ότι συμπίπτουν. Το ίδιο ισχύει και στα αμέσως επόμενα γραφήματα χρονοϊστοριών (Σχ. 6.3.7), της διατμητικής παραμόρφωσης και της διατμητικής τάσης στο ύψος M2 (το μέσο της μεσαίας στρώσης, Σχ. 6.0.1).

Πέραν των γραφικών παραστάσεων, για λόγους ακριβέστερης σύγκρισης έγινε και αριθμητική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση κατέδειξε ότι οι αποκλίσεις κυμαίνονται σε ποσοστά πρακτικώς μηδενικά. Οι αποκλίσεις είναι οπωσδήποτε όχι μεγαλύτερες από 4 %, δηλαδή κυμαίνονται σε επίπεδα που θεωρούνται αποδεκτά για να επιβεβαιώσουν την πολύ καλή σύγκλιση του *GeoSeism* με το *EERA*.

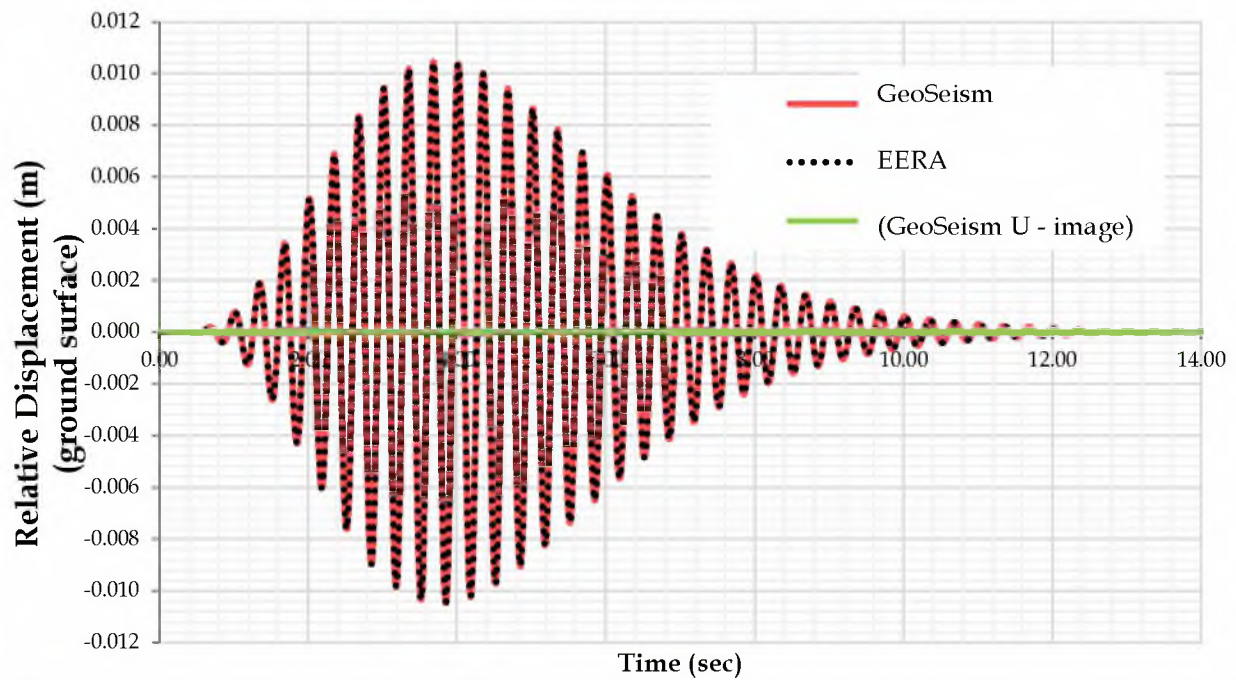
Η διατμητική παραμόρφωση ενδεικτικά, η οποία έχει και τον πλέον σημαντικό ρόλο για την επιλογή των εδαφικών ιδιοτήτων (G , ξ), στην πρώτη δοκιμή έχει ήδη την πολύ καλή σύγκλιση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3.1.

Πίνακας 6.3.1 Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης

depths (m)	<i>GeoSeism</i>	<i>EERA</i>
	max shear strain%	max shear strain%
0	0	0
-5	0.0394844	0.0394799
-15	0.0405927	0.0405880
-25	0.0269775	0.0269744
-30	0.0142574	0.0122999



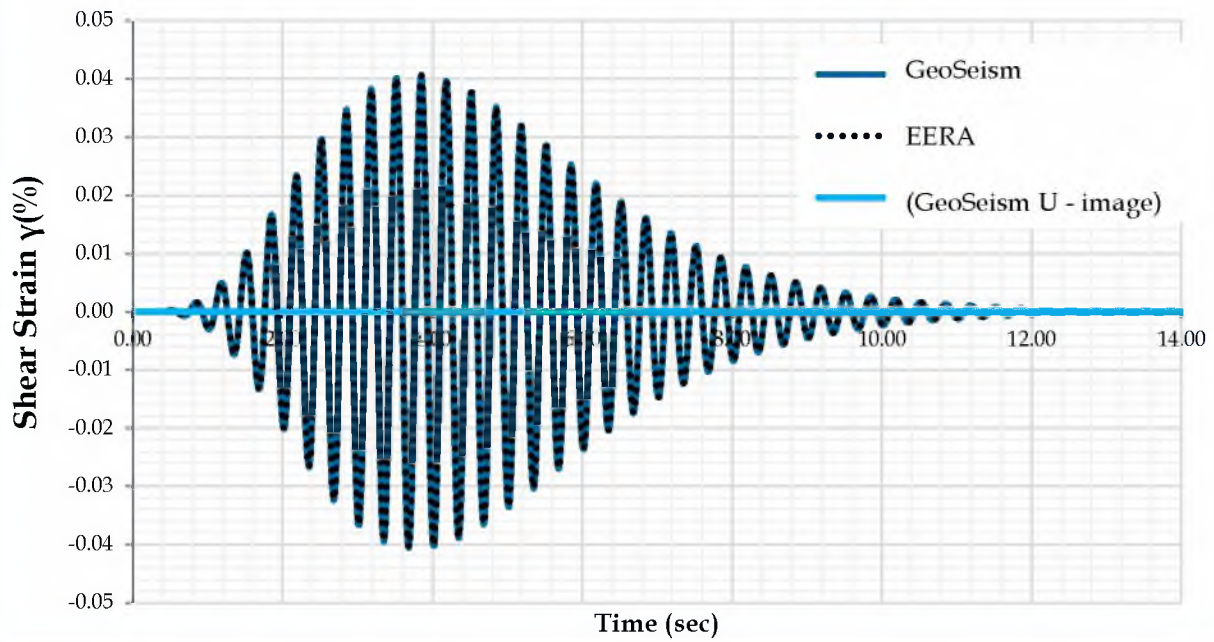
(α)



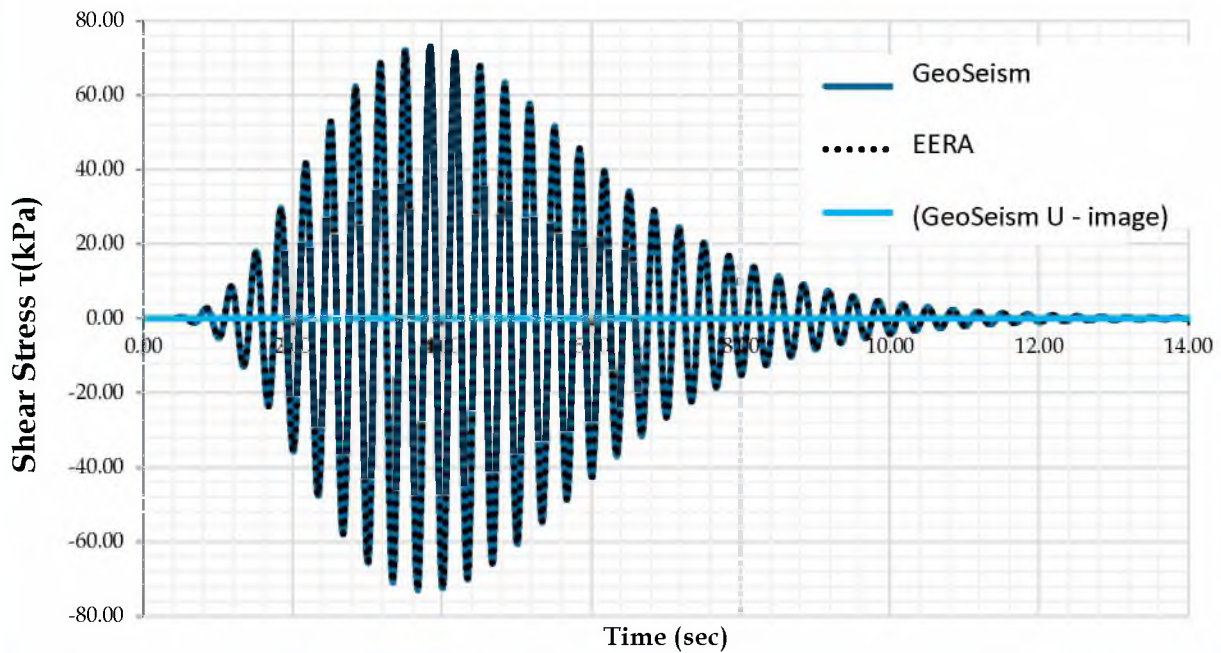
(β)

Σχήμα 6.3.6 Χρονοϊστορίες (α) της απόλυτης επιτάχυνσης και (β) της σχετικής μετατόπισης στο ύψος A (επιφάνεια εδάφους).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)



(β)

Σχήμα 6.3.7 Χρονοϊστορίες (α) της διατμητικής παραμόρφωσης και (β) της διατμητικής τάσης στο ύψος M2 (στο μέσο της μεσαίας στρώσης, Σχ. 6.0.1).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Αλληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

6.4 Εφαρμογή 4

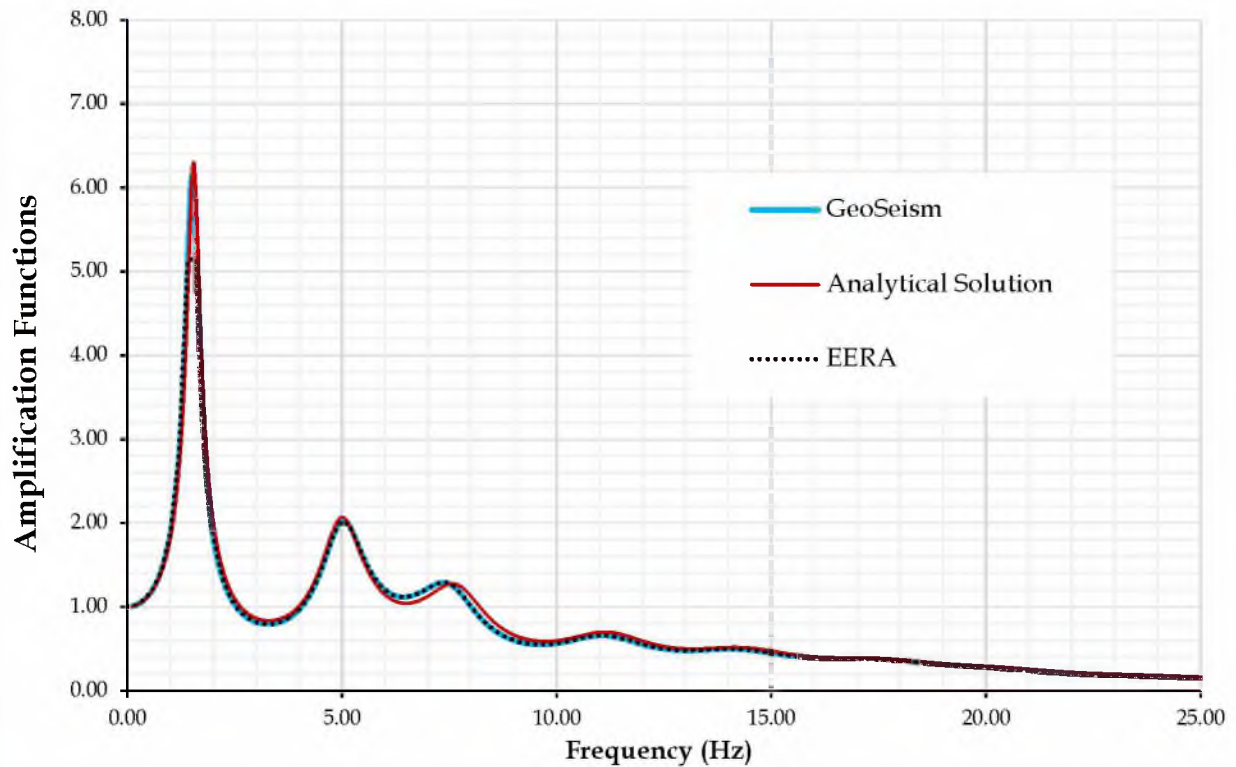
Γίνεται ισοδύναμα γραμμικά ελαστική ανάλυση του εδαφικού σχηματισμού B (Σχ. 6.0.2), σε μια δοκιμή. Θεωρείται ότι η εισαγόμενη διέγερση (Σχ. 6.0.3) εφαρμόζεται (καταγράφεται) στη βάση του σχηματισμού. Η περίπτωση αυτή, ισοδυναμεί με συνθήκες άκαμπτου βράχου ($V_b = \infty$).

Η εφαρμογή 4 έχει παρουσιασθεί αρχικά ως μέρος της επιβεβαίωσης του προγράμματος *FLAC* (Itasca 2011), όπου χρησιμοποιείται ως πρόβλημα αναφοράς (benchmark problem). Για τον εδαφικό σχηματισμό B, εξετάζεται αρχικά η συνάρτηση μεταφοράς AF_1 μεταξύ βάσης και επιφάνειας του εδάφους:

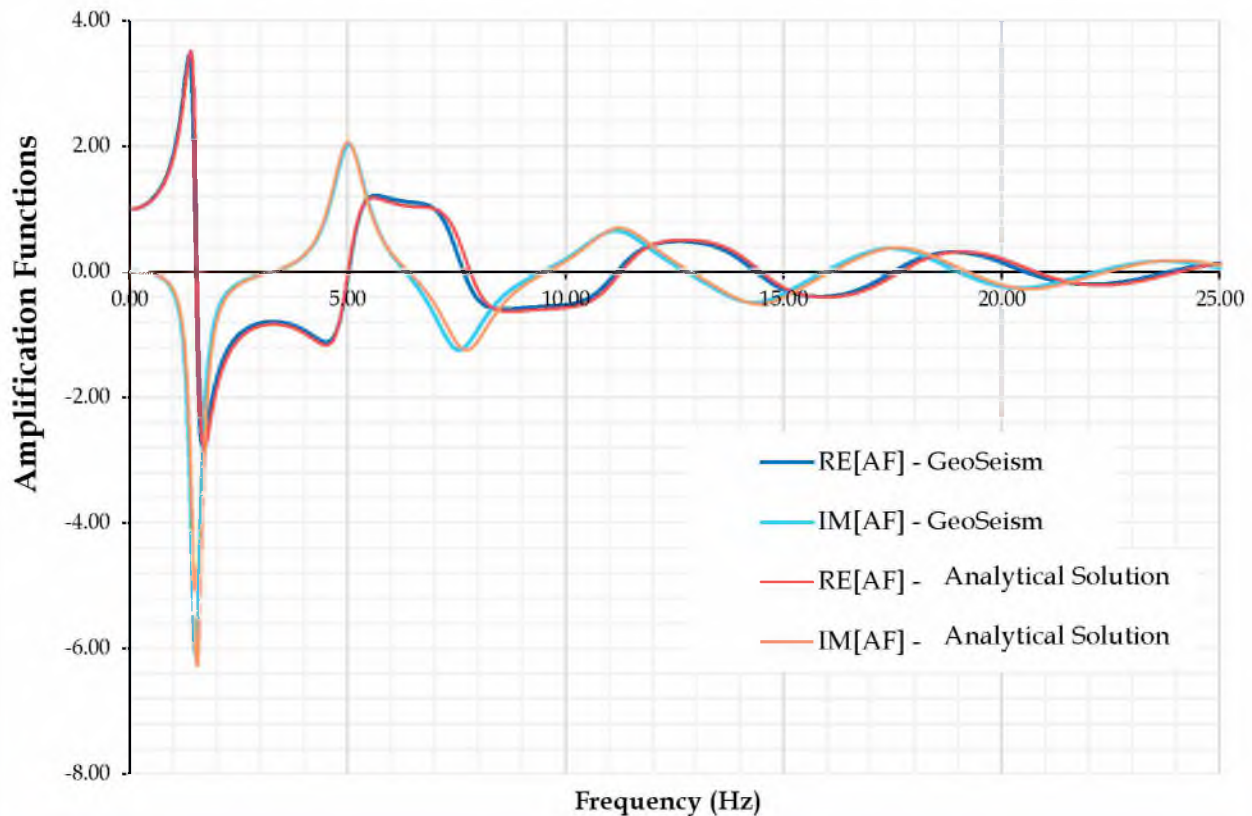
$$AF_1 = \frac{u_A}{u_B} \quad (6.4.1)$$

Όπου, u_A και u_B είναι οι ολικές μετατοπίσεις στα σημεία A και B (Σχ. 6.0.2). Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ότι το βραχώδες υπόβαθρο έχει άπειρη δυσκαμψία, καθόσον η συνάρτηση μεταφοράς AF_1 είναι εντελώς ανεξάρτητη από την παρουσία εόκαμπτου ή άκαμπτου βράχου στην βάση του σχηματισμού. Σημειώνεται ότι για όλα τα υπόλοιπα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εφαρμογή αυτή θεωρείται ότι το βραχώδες υπόβαθρο έχει άπειρη δυσκαμψία.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος *GeoSeism* συγκρίνονται με την ακριβή μαθηματική λύση στα Σχήματα 6.4.1. Συγκεκριμένα, συγκρίνεται η απόλυτη τιμή $|AF_1|$ (Σχ. 6.4.1.a), καθώς και τις μιγαδικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς (Σχ. 6.4.1.β), δηλαδή το πραγματικό μέρος $Re[AF_1]$ και το φανταστικό μέρος $Im[AF_1]$.



Σχήμα 6.4.1.a Μέτρο της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.



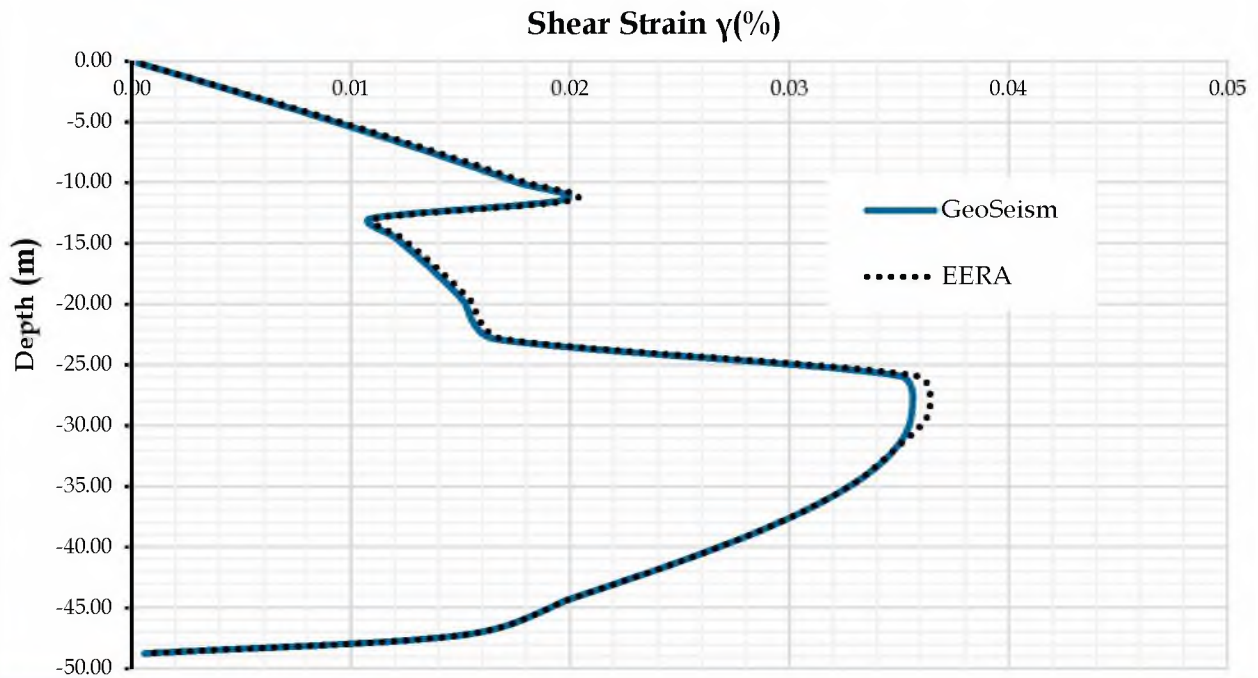
Σχήμα 6.4.1.β Πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες της Συνάρτησης Μεταφοράς AF_1 στην επιφάνεια του εδάφους για αρμονική διέγερση που καταγράφεται στη βάση της εδαφικής τομής.

Τα αποτελέσματα των Σχημάτων 6.4.1 καταδεικνύουν μία πολύ καλή συμφωνία μεταξύ του προγράμματος *GeoSeism*, της Αναλυτικής λύσης (η ακριβής μαθηματική λύση με το *Mathematica*), και του προγράμματος *EERA*, αναφορικά με τον υπολογισμό των Συναρτήσεων Μεταφοράς.

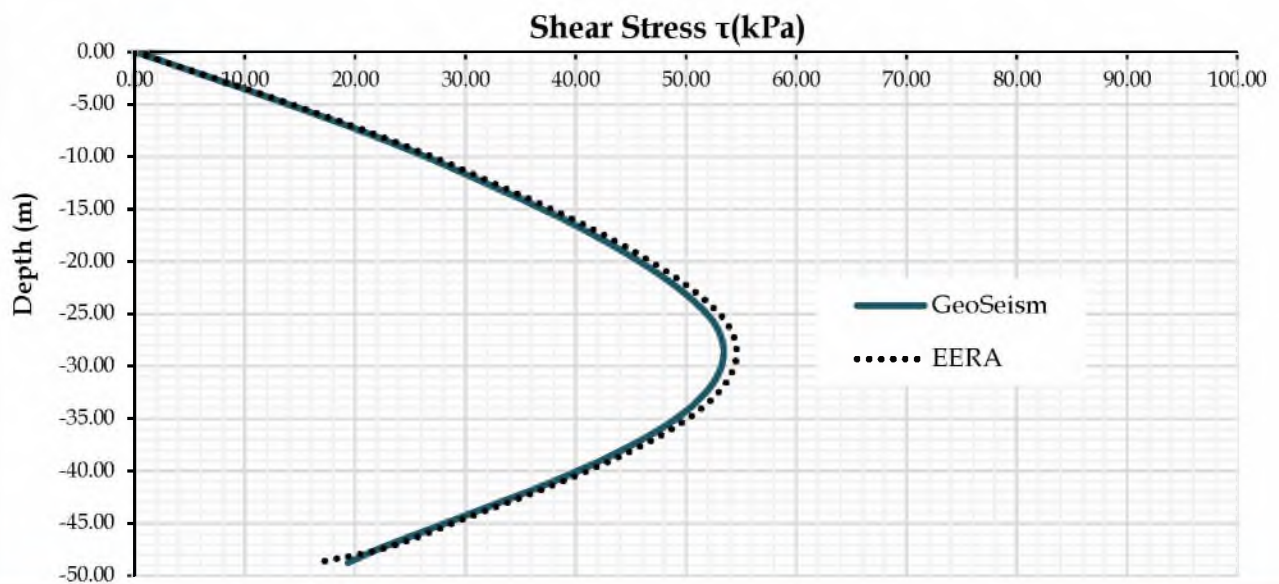
Οι ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν τις βασικές παραμέτρους της δυναμικής απόκρισης στο πεδίο του χρόνου σε διάφορα βάθη. Συγκεκριμένα, στις παραστάσεις (Σχ. 6.4.2) και (Σχ. 6.4.3) απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση και τη διατμητική τάση, αντίστοιχα, στις παραστάσεις (Σχ. 6.4.4), (Σχ. 6.4.5.a), (Σχ. 6.4.5.β), (Σχ. 6.4.6.a) και (Σχ. 6.4.6.β) αντίστοιχα απεικονίζονται οι μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση, την απόλυτη μετατόπιση, τη σχετική μετατόπιση, την απόλυτη ταχύτητα και τη σχετική ταχύτητα. Στις παραστάσεις συγκρίνονται τα προγράμματα *SHAKE*, *EERA*, *FLAC* και *GeoSeism*.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν την πολύ καλή σύγκλιση έως και ταύτιση μεταξύ των προγραμμάτων αυτών και του *GeoSeism*.

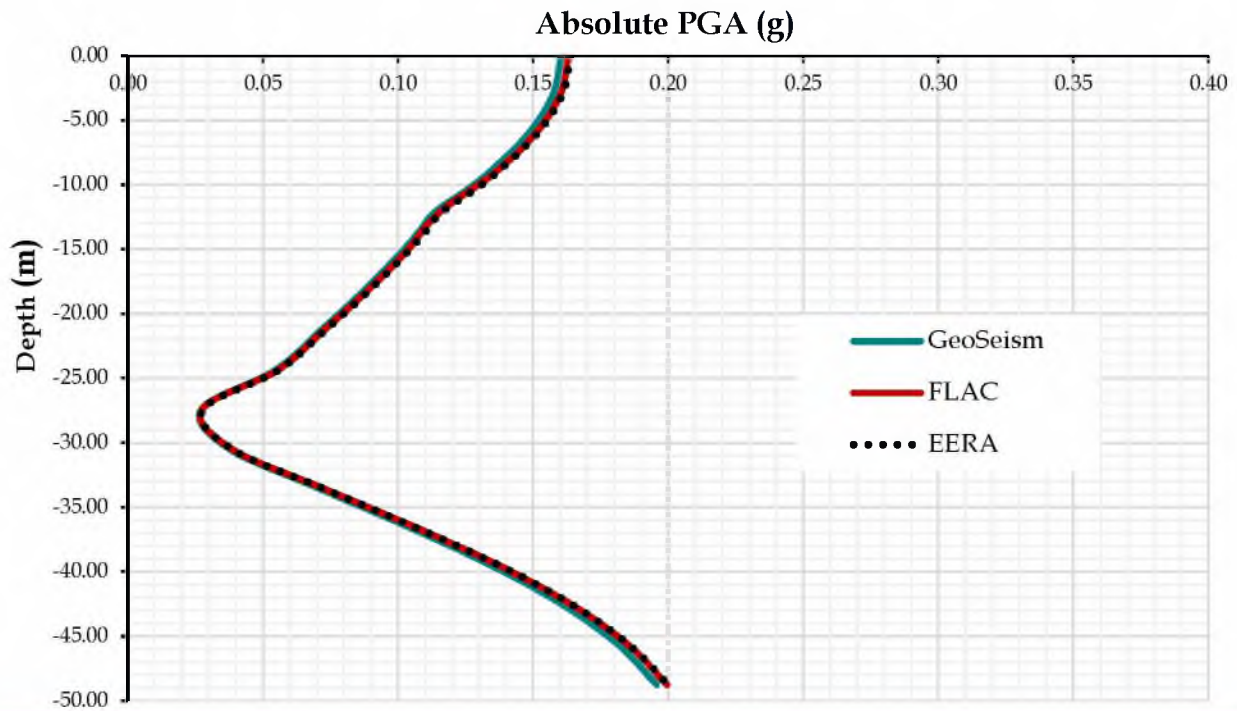


Σχήμα 6.4.2 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική παραμόρφωση των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*.

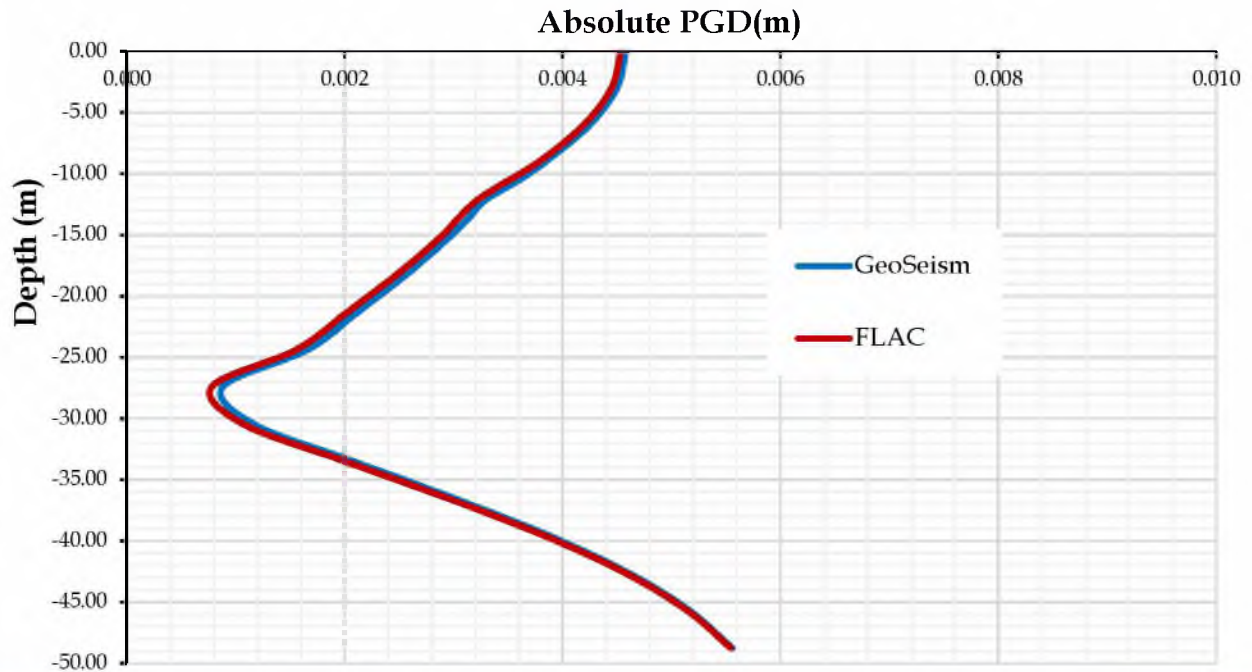


Σχήμα 6.4.3 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για τη διατμητική τάση των προγραμμάτων *GeoSeism*, *EERA*.

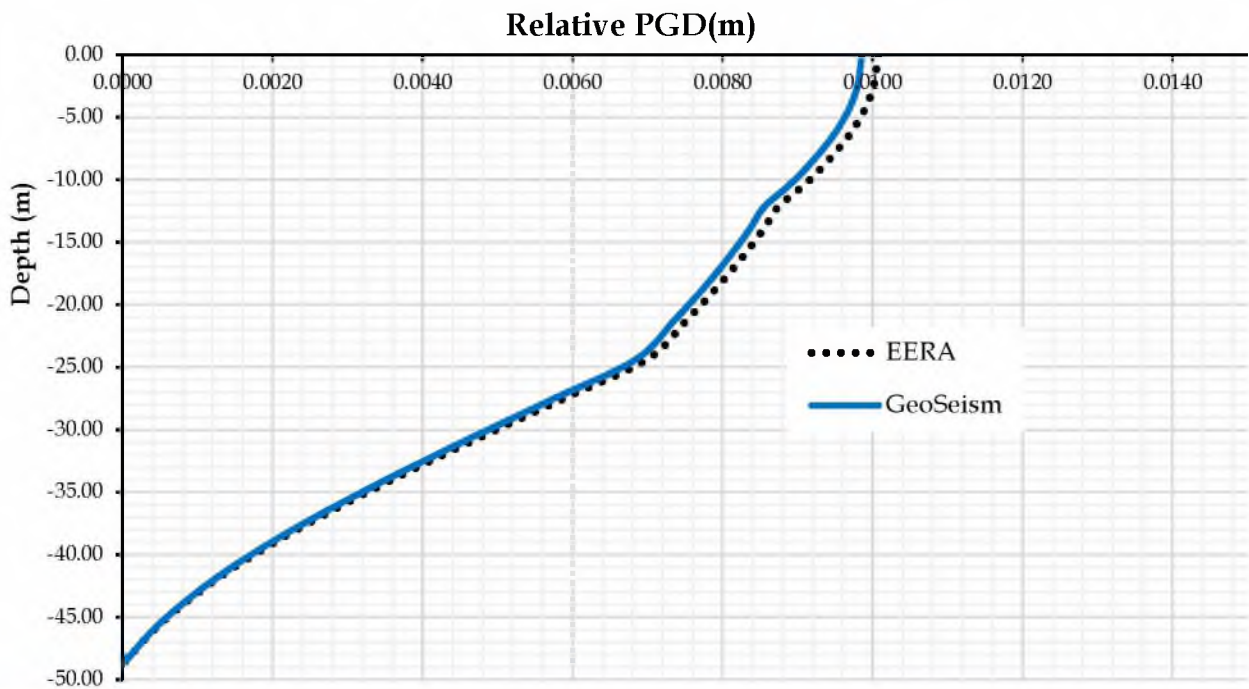
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 6.4.4 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές για την απόλυτη επιτάχυνση των προγραμμάτων GeoSeism, EERA, FLAC.



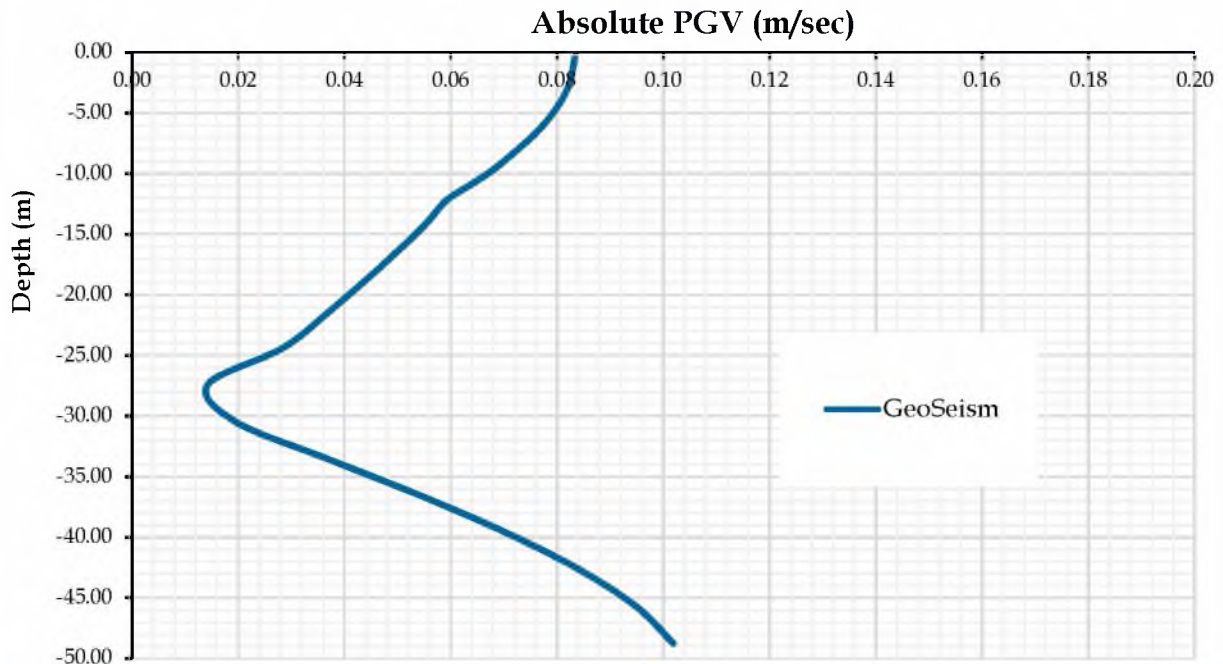
(a)



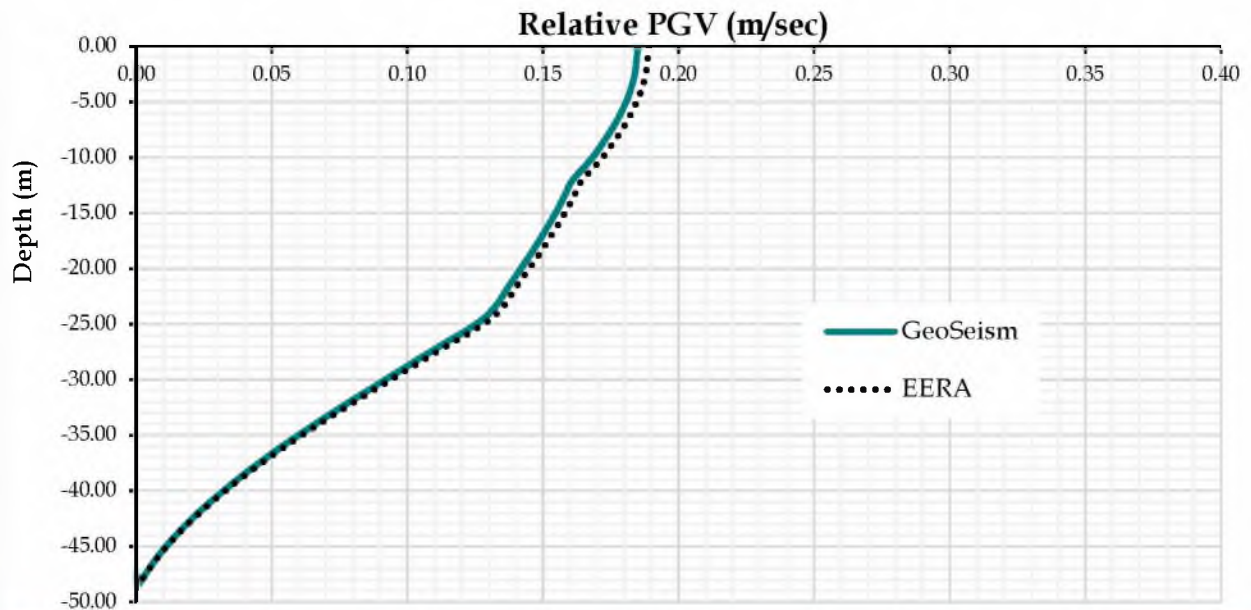
(β)

Σχήμα 6.4.5 Μέγιστες καθ' ύψος τιμές της (α) απόλυτης και (β) της σχετικής μετατόπισης (απόλυτη μετατόπιση δεν παρέχει το EERA) των προγραμμάτων GeoSeism, EERA, FLAC.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)



(β)

Σχήμα 6.4.6 Μέγιστες καθ' όψος τιμές για τη σχετική ταχύτητα (απόλυτη ταχύτητα δεν παρέχει το EERA) των προγραμμάτων GeoSeism και EERA.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

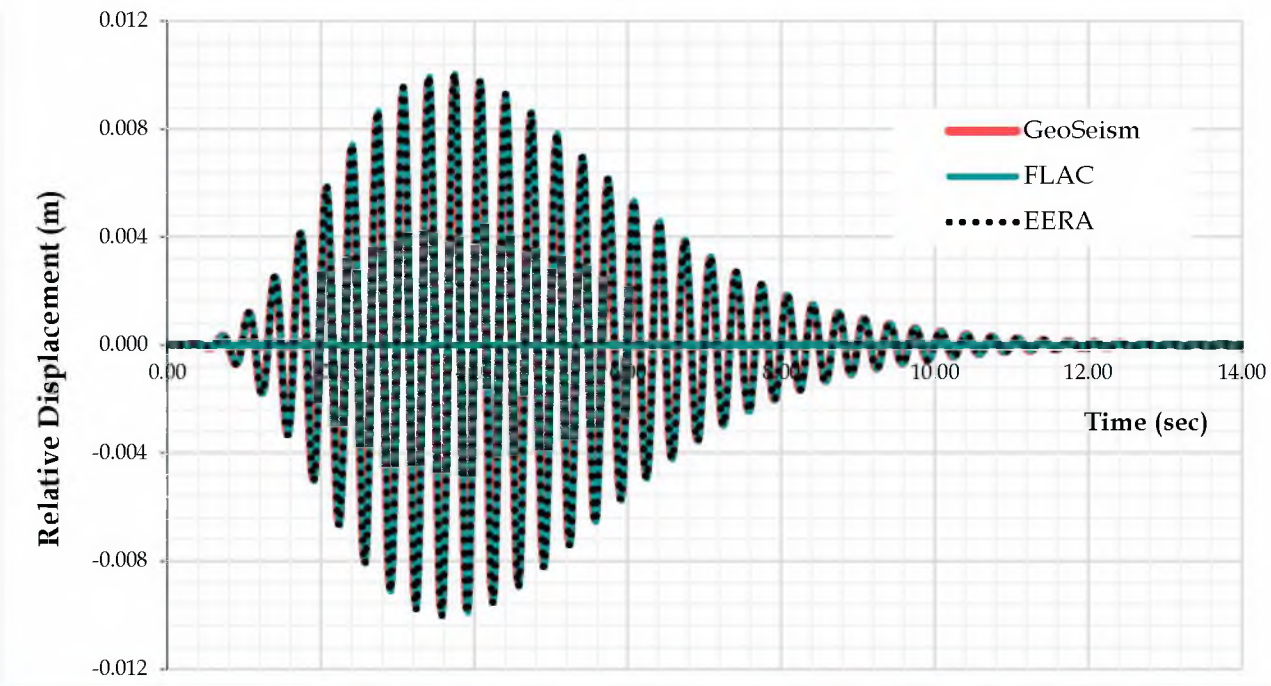
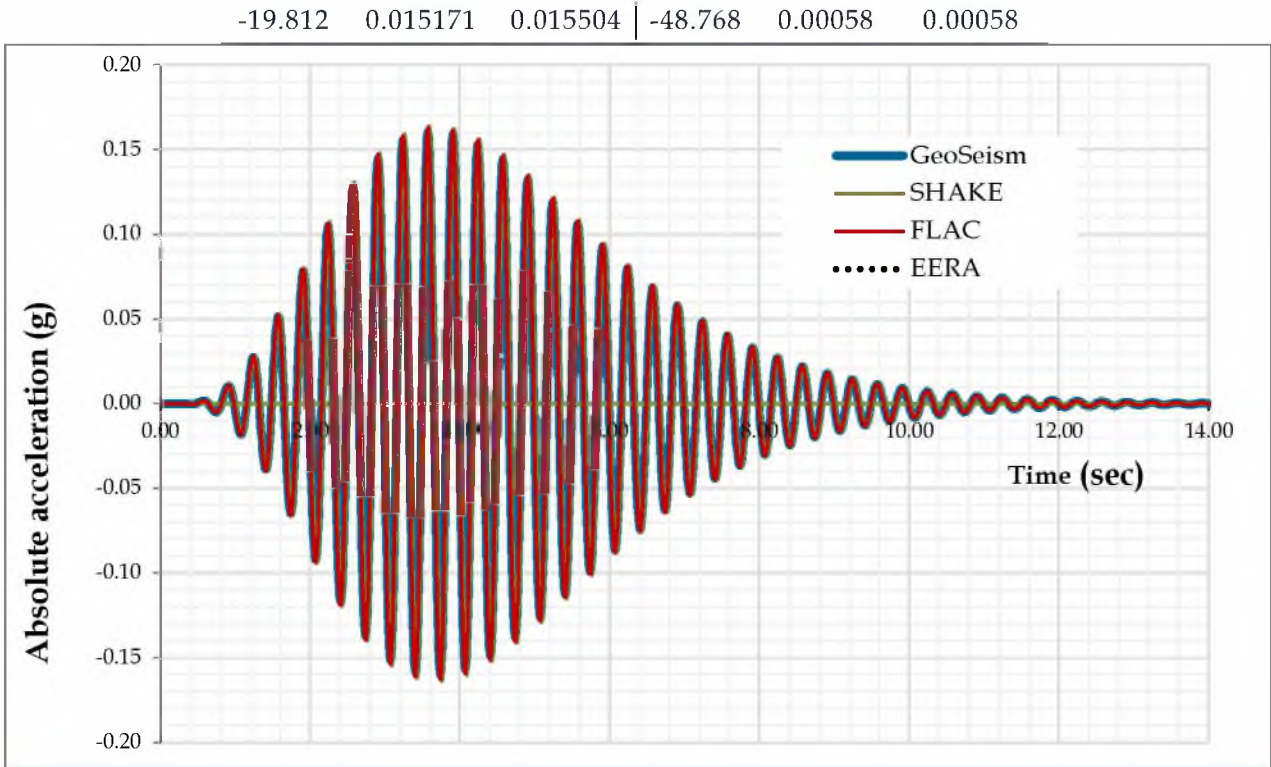
Ακολουθούν γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν ενδεικτικά τις χρονοϊστορίες μερικών από τις παραμέτρους δυναμικής απόκρισης σε διαφορετικά βάθη. Συγκεκριμένα, στα παραστάσεις (Σχ. 6.4.7.α) και (Σχ. 6.4.7.β) απεικονίζονται αντίστοιχα οι χρονοϊστορίες της απόλυτης επιτάχυνσης και της σχετικής μετατόπισης στο ύψος Α (επιφάνεια εδάφους, Σχ. 6.0.2). Στις παραστάσεις (Σχ. 6.4.8.α) και (Σχ. 6.4.8.β) απεικονίζονται αντίστοιχα οι χρονοϊστορίες της απόλυτης επιτάχυνσης στο ύψος Β (βράχος, Σχ. 6.0.2). Στα γραφήματα αυτά, παρατίθενται προς σύγκριση τα αποτελέσματα των προγραμμάτων *GeoSeism*, *SHAKE*, *EERA* και *FLAC*. Τα αποτελέσματα μπορεί να θεωρηθεί με πολύ καλή ακρίβεια ότι συμπίπτουν. Το ίδιο ισχύει και στις αμέσως επόμενες γραφικές παραστάσεις χρονοϊστοριών (Σχ. 6.4.9) και (Σχ. 6.4.10) της διατμητικής παραμόρφωσης και της διατμητικής τάσης, αντίστοιχα, οι οποίες αναφέρονται στο μέσον των στρώσεων 4 και 5, εκατέρωθεν του σημείου C (Σχ. 6.0.2). Ομοίως, οι γραφικές παραστάσεις των χρονοϊστοριών (Σχ. 6.4.11) και (Σχ. 6.4.12) της διατμητικής παραμόρφωσης και της διατμητικής τάσης, αντίστοιχα, οι οποίες αναφέρονται στο μέσον των στρώσεων 6 και 7, εκατέρωθεν του σημείου D (Σχ. 6.0.2).

Πέραν των γραφικών παραστάσεων, για λόγους ακριβέστερης σύγκρισης έγινε και αριθμητική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση κατέδειξε ότι οι αποκλίσεις κυμαίνονται σε ποσοστά από σχεδόν μηδενικά (πάντως όχι μεγαλύτερα από 4 %), δηλαδή σε επίπεδα που θεωρούνται αποδεκτά για να επιβεβαιώσουν την πολύ καλή σύγκλιση του *GeoSeism* με τα προγράμματα *SHAKE*, *EERA* και *FLAC*. Η διατμητική παραμόρφωση ενδεικτικά, η οποία έχει και τον πλέον σημαντικό ρόλο για την επιλογή των εδαφικών ιδιοτήτων (G, ξ), στην πρώτη δοκιμή έχει ήδη πολύ καλή σύγκλιση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.4.1:

Πίνακας 6.4.1 Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης

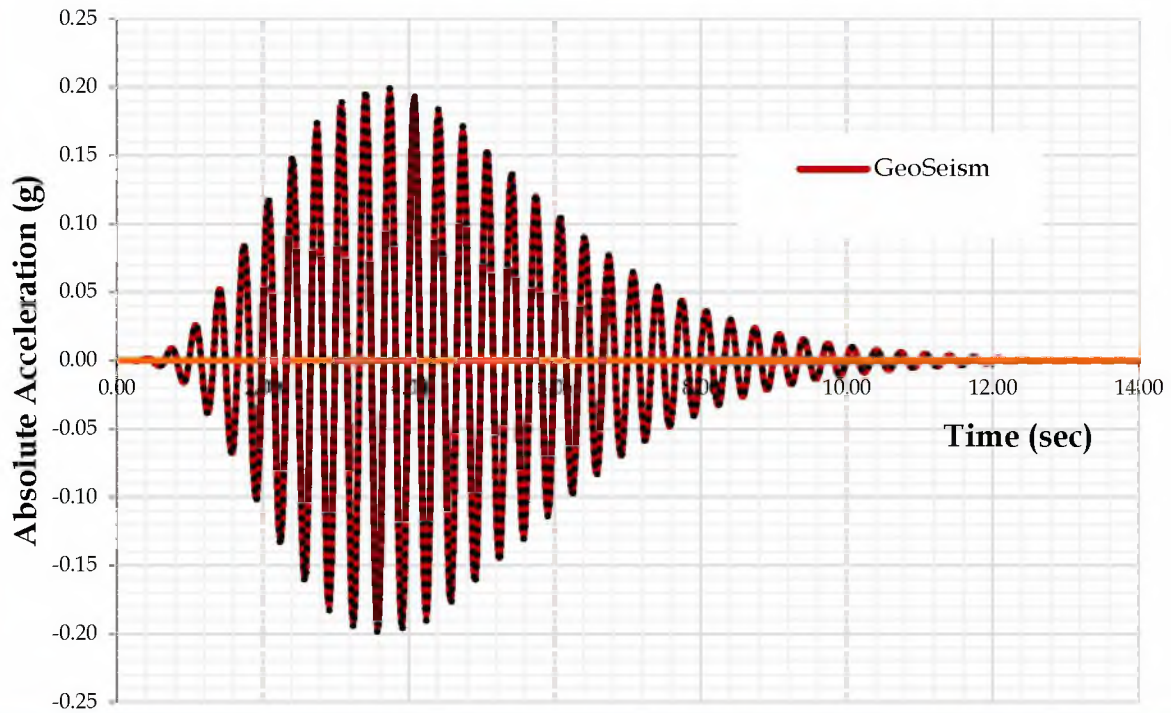
depths (m)	<i>GeoSeism</i> max shear strain%	<i>EERA</i> max shear strain%	depths (m)	<i>GeoSeism</i> max shear strain%	<i>EERA</i> max shear strain%
0	0	0	-22.860	0.016557	0.01692
-1.524	0.002872	0.002935	-25.908	0.035011	0.03578
-4.572	0.008505	0.008692	-28.956	0.03558	0.036362
-7.620	0.013809	0.014113	-32.004	0.034783	0.034783
-9.906	0.017448	0.017831	-35.052	0.032692	0.032692
-11.430	0.019667	0.020099	-38.100	0.029389	0.029389
-12.954	0.01091	0.011149	-41.148	0.025074	0.025074
-14.478	0.011978	0.012241	-44.196	0.020126	0.020126
-16.764	0.013457	0.013752	-47.244	0.015089	0.015089

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

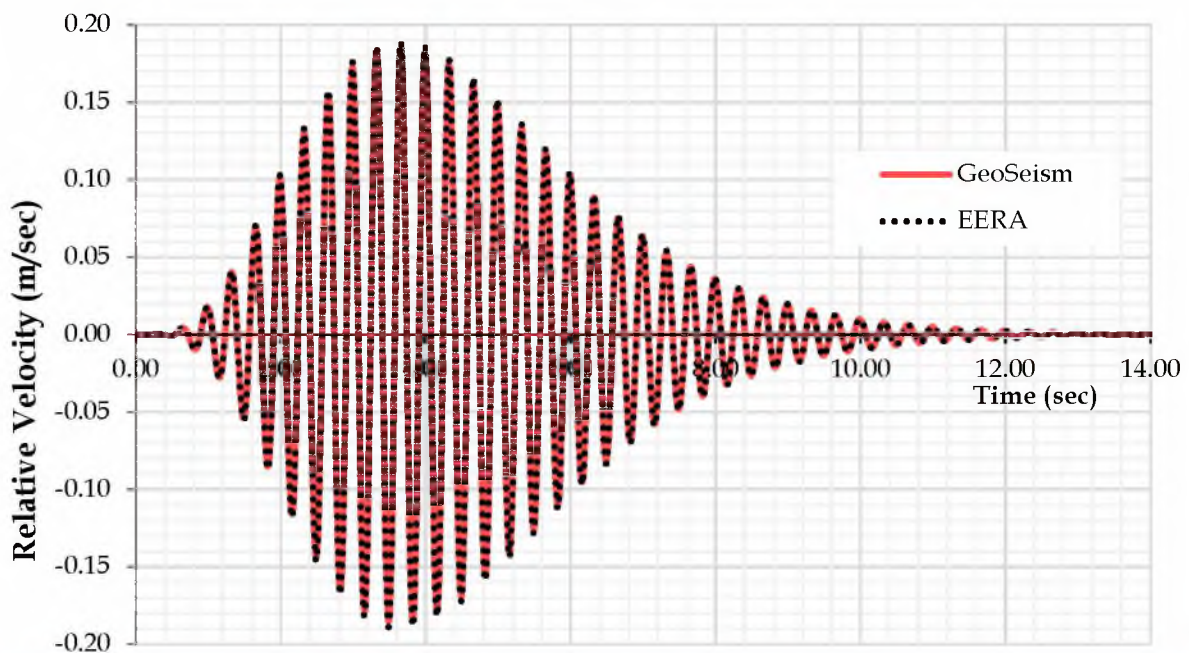


Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.4.7 Χρονοϊστορίες απόλυτης επιτάχυνσης και σχετικής μετατόπισης στο ύψος Α (επιφάνεια, Σχ. 6.02) των GeoSeism, SHAKE, EERA και FLAC.



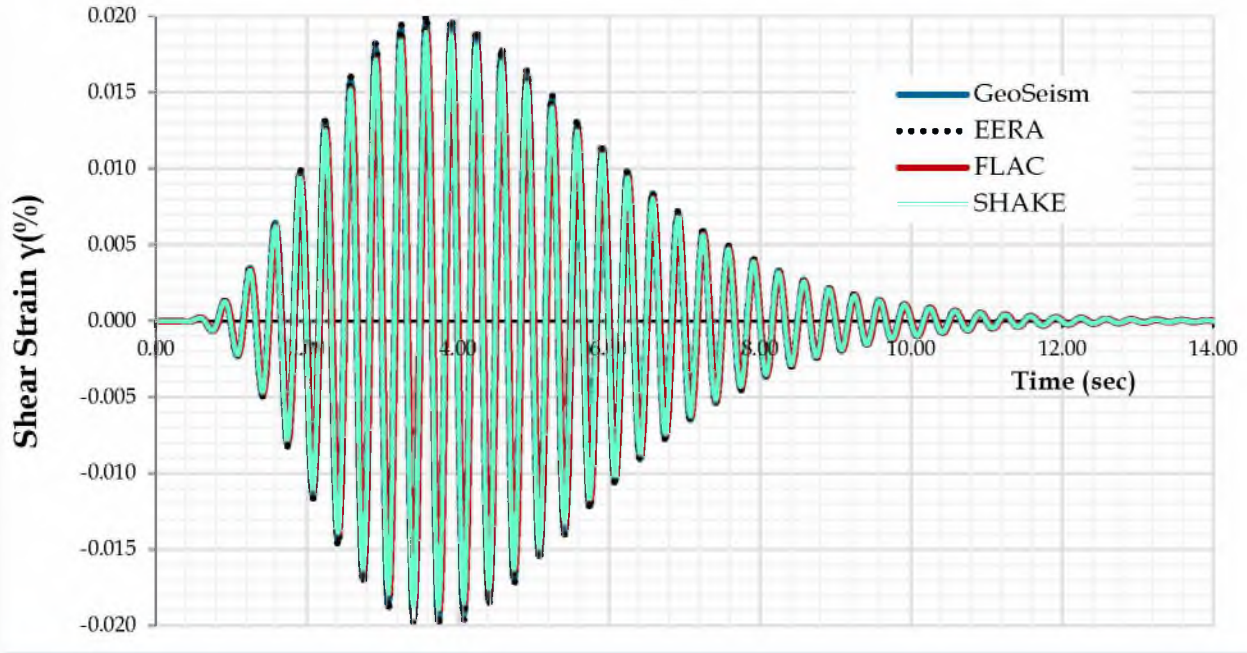
(a)



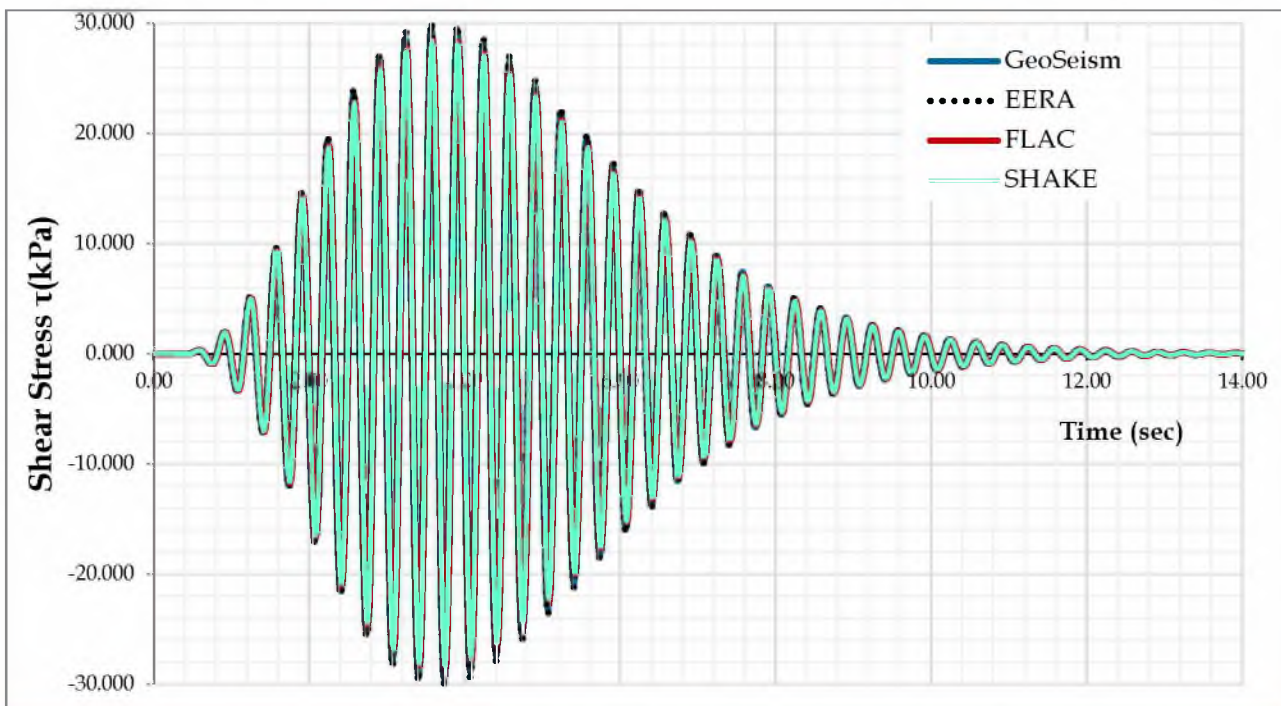
(β)

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.4.8 Χρονοϊστορίες απόλυτης επιτάχυνσης στο ύψος B (βράχος, Σχ. 6.0.2) και σχετικής ταχύτητας στο ύψος A (επιφάνεια, Σχ. 6.0.2) των GeoSeism και EERA.

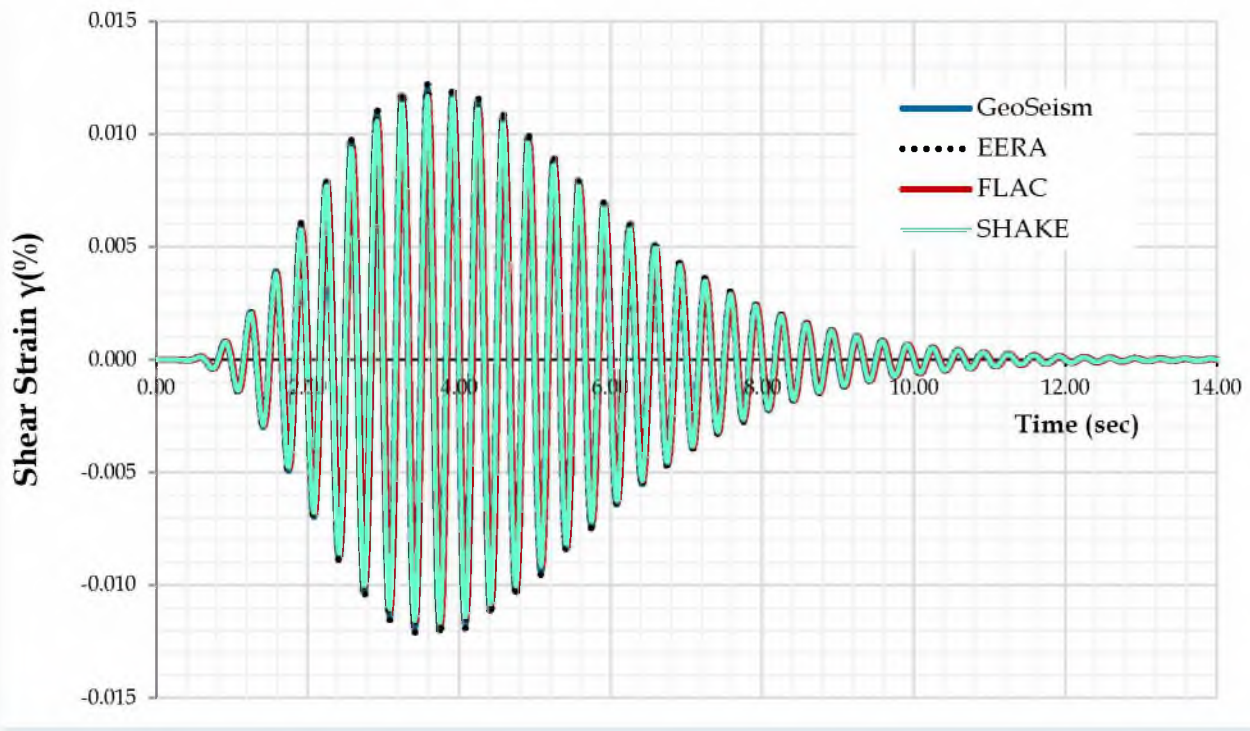


Σχήμα 6.4.9 Χρονοϊστορία διατμητικής παραμόρφωσης στο μέσον της στρώσης 5 (0.762 m κάτω από το σημείο C, Σχ. 6.02).

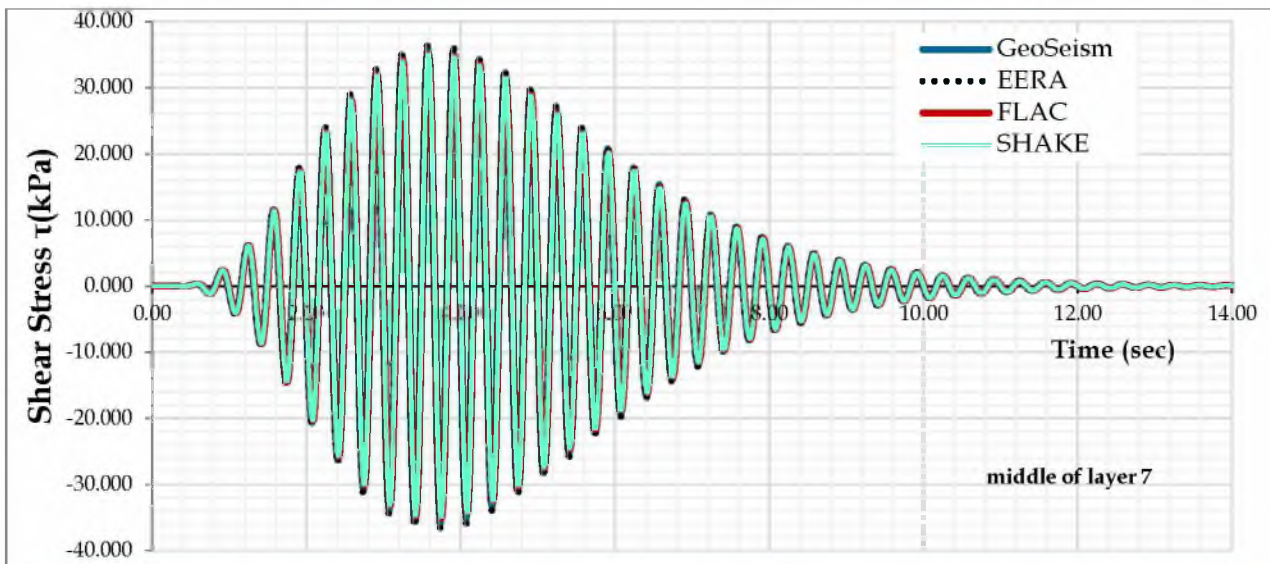


Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.4.10 Χρονοϊστορία διατμητικής τάσης στο μέσον της στρώσης 5 (0.762 m κάτω από το σημείο C, Σχ. 6.02).



Σχήμα 6.4.11 Χρονοϊστορία διατμητικής παραμόρφωσης στο μέσο της στρώσης 7 (0.762 m κάτω από το σημείο ύψος D, Σχ. 6.02), με τα αποτελέσματα μεταξύ των προγραμμάτων GeoSeism, SHAKE, FLAC και EERA.



Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 6.4.12 Χρονοϊστορίες διατμητικής τάσης στο μέσον της στρώσης 7 (0.762 m κάτω από το σημείο D, Σχ. 6.02). Τα αποτελέσματα μεταξύ των προγραμμάτων GeoSeism, SHAKE, FLAC και EERA.

Πίνακας 6.4.2 Σύγκριση μέγιστης διατμητικής παραμόρφωσης και τάσης στα σημεία C, D και στο μέσον των στρώσεων 4, 5, 6 και 7.

Σημεία	Μέσον εδαφικής στρώσης	GeoSeism	EERA	SHAKE	FLAC	EERA
Μέγιστη διατμητική τάση (kPa)						
C	4	26.1628	26.7377			
	5			28.4005	28.5237	28.4718
	6	29.4886	30.1366			
D	6	32.7135	33.4323			
	7			35.0034	35.0932	35.0913
Μέγιστη διατμητική παραμόρφωση (%)						
C	4	0.01745	0.0178			
	5			0.0189	0.0189	0.0189
	6	0.0197	0.0201			
D	6	0.0109	0.0112			
	7			0.0117	0.0116	0.0117

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :

Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη

7.0 Εφαρμογή της Βάσης Δεδομένων *HelGeoRDaS_uTH* και του λογισμικού *GeoSeism*

Προκειμένου να διαπιστωθεί η επιτυχής κατασκευή της Σχεσιακής Βάσης Πολυθεματικών Δεδομένων γεωτεχνικού ενδιαφέροντος *HelGeoRDaS_uTH* και του λογισμικού εκτίμησης της μονοδιάστατης σεισμικής εδαφικής απόκρισης *GeoSeism*, διενεργήθηκαν:

(α) Έλεγχοι των αποτελεσμάτων κάθε υπο-προγράμματος του *GeoSeism* σε σχέση και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων λογισμικών. Οι έλεγχοι επιβεβαίωσαν την επιτυχή κατάρτιση του κώδικα. Παρουσιάζονται:

- ⊗ Ο έλεγχος της ισοδύναμα γραμμικής ανάλυσης (*Αρτεμις*), στο Κεφάλαιο 6,
- ⊗ Ο έλεγχος της επεξεργασίας δεδομένων (*Πυθία*), στην Ενότητα 7.2,
- ⊗ Ο έλεγχος της εκτίμησης του δυναμικού ρευστοποίησης (*Πολυνόη*), στην Ενότητα 7.2.6,
- ⊗ Ο έλεγχος του ζεύγους Μετασχηματισμών στα πεδία συχνοτήτων και χρόνου (*Θεμιστόκλεια*), στην Ενότητα 5.4.5,
- ⊗ Ο έλεγχος του σχεδιασμού των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (*Πενθεσίλεια*), στην Ενότητα 5.5.6.

(β) Έλεγχος της Βάσης *HelGeoRDaS_uTH* μέσω της πλήρωσής της με αξιολογικά μεγάλο και περιεκτικό περιεχόμενο πρωτογενών εδαφικών δεδομένων (Ενοτ. 7.1).

(γ) Έλεγχος της διαλειτουργικότητας του όλου ΓΣΠ, από τη λήψη δεδομένων από τη *HelGeoRDaS_uTH* μέχρι την καταχώρηση των αποτελεσμάτων του *GeoSeism* στη Βάση *Καλλιπάτειρα* (Ενοτ. 7.1 και Ενοτ. 7.2).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

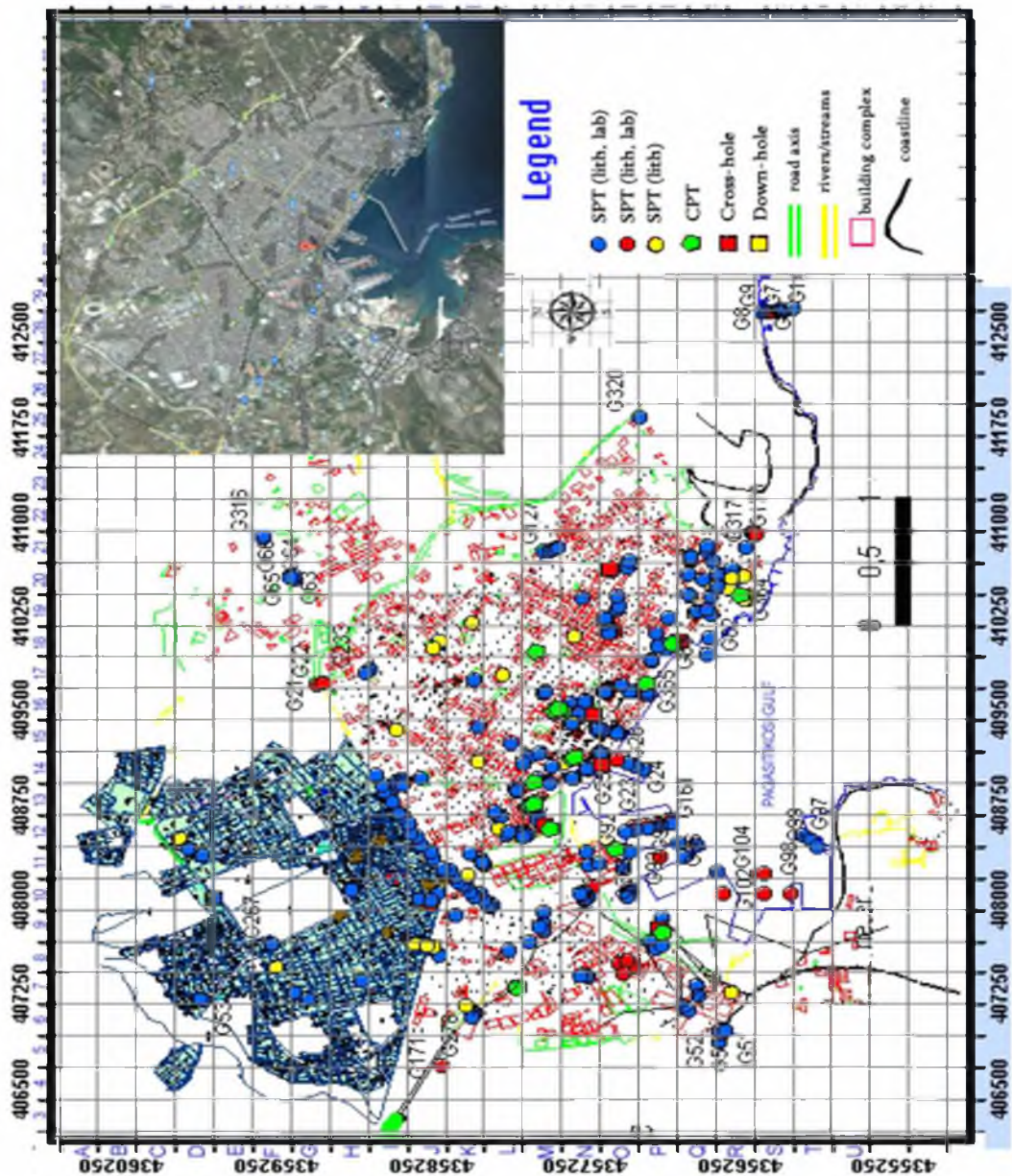
7.1 Πλήρωση περιεχομένου πολυθεματικών εδαφικών δεδομένων στη Βάση HelGeoRDaS_uTH

Στο πλαίσιο της διδακτορικής έρευνας, υλοποιήθηκε και η ογκώδης εργασία της πλήρωσης με περιεχόμενο της σχεσιακής βάσης δεδομένων HelGeoRDaS_uTH. Το περιεχόμενο περιλαμβάνει κυρίως πολυθεματικά εδαφικά δεδομένα για τις εδαφικές στρώσεις σε 342 Θέσεις Έρευνας. Οι έννοιες «Θέση Έρευνας», και «πολυθεματικά (εδαφικά) δεδομένα», εξηγούνται στην Ενότητα 4.1.3. Οι Θέσεις Έρευνας καλύπτουν σημαντικά την πόλη του Βόλου, περιλαμβάνοντας το Πολεοδομικό Συγκρότημα (Π.Σ.) Βόλου και Νέας Ιωνίας. Οι εδαφικές συνθήκες είναι οι τυπικές μιας ελληνικής πόλης χτισμένης σε θαλάσσιο κόλπο (Παγασητικός κόλπος). Είναι η πρώτη φορά στην πόλη του Βόλου που συνδέθηκαν σε μια ενιαία και ψηφιακή βάση όλα τα κατακερματισμένα πρωτογενή εδαφικά δεδομένα από διάφορες πηγές, δημόσιες υπηρεσίες, τοπικά ιδιωτικά γραφεία και τη μικροζωνική μελέτη που είχε παλαιότερα (το 2000) υλοποιηθεί (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).

Χαρτογραφήθηκε η χωρική κατανομή όλων των πολυθεματικών αυτών εδαφικών δεδομένων που περιέχει η Βάση για το εξεταζόμενο Π.Σ. Η χαρτογράφηση υλοποιήθηκε σε συνεργασία της Βάσης με ειδικό περιβάλλον χαρτογράφησης ArcGIS. Το Σχήμα 7.1 απεικονίζει τη χωρική κατανομή των Θέσεων Έρευνας της Βάσης. Κάθε έγχρωμη κουκίδα του χάρτη δηλώνει ότι το σημείο αυτό αποτελεί Θέση Έρευνας, δηλαδή μια κατακόρυφη εδαφική στήλη για την οποία υπάρχουν αποθηκευμένα δεδομένα. Τα δεδομένα προέρχονται από κάποια κατά βάθος επιτόπου δοκιμή, δηλαδή μπορεί αν είναι είτε μια πραγματική γεώτρηση (borehole - στην οποία έγινε επιτόπου δοκιμή SPT) είτε άλλη ερευνητική τομή (στην οποία έγινε επιτόπου δοκιμή CPT είτε επιτόπου γεωφυσική δοκιμή τύπου CH ή DH). Στο υπόμνημα αναγράφεται συνοπτικά η βασική Πληροφορία που έχει καταχωρηθεί σε κάθε τέτοια Θέση Έρευνας. Δηλαδή, αναγράφεται το αν περιλαμβάνει δεδομένα από δοκιμές SPT με Λιθολογικά και Εργαστηριακά δεδομένα, είτε από SPT με Λιθολογικά αλλά χωρίς Εργαστηριακά δεδομένα, είτε δεδομένα από δοκιμές CPT, είτε δεδομένα από δοκιμές Crosshole ή Downhole.

Διευκρινίζεται ότι ο χάρτης χαρακτηρίζεται ως «πολυθεματικός». Η βάση δεδομένων HelGeoRDaS_uTH χαρακτηρίζεται επίσης ως «πολυθεματική» αλλά για διαφορετικό λόγο. Ο χαρακτηρισμός της βάσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι περιέχει «πολυθεματικά δεδομένα», δηλαδή γεωτεχνικά, τεχνικο-γεωλογικά, υδρολογικά, τοπογραφικά, γεωφυσικά, κ.ά. (Ενοτ. 4.1.3). Απεναντίας, ο χαρακτηρισμός του χάρτη δηλώνει ότι συντίθεται από αλληλοκαλυπτόμενα θεματικά επίπεδα (themes). Τα θεματικά επίπεδα είναι ο τρόπος απεικόνισης δεδομένων τον οποίο αναπτύσσουν τα σύγχρονα λογισμικά χαρτογράφησης – και τον οποίο μπορούν να προσαρμόζουν στις δομές των διαλειτουργικών ΓΣΠ (Ενοτ. 2.3.1). Κάθε επίπεδο που συνθέτει τον χάρτη είναι ένας μονοθεματικός χάρτης, διανυσματικής είτε ψηφιδωτής μορφής, όπως δείχνουν και τα χαρτογραφικά παραδείγματα στη συνέχεια. Για παράδειγμα, ο πολυθεματικός χάρτης του Σχήματος 7.1 απεικονίζει το εξεταζόμενο ΠΣ, περιλαμβάνοντας τα εξής θεματικά επίπεδα: (1) το διανυσματικό επίπεδο των σημειακών

Θέσεων Έρευνας, (2) το διανυσματικό επίπεδο των πολυγώνων των οικοδομικών τετραγώνων και οριογραμμών (ακτογραμμή, ρέματα), (3) το διανυσματικό επίπεδο των γραμμών των κεντρικών οδικών αξόνων, (4) το κανναβικό επίπεδο των γεωγραφικών συντεταγμένων σε ισομεγέθεις κυψέλες πλάτους 250 m και σε συνολική έκταση 6 km x 6 km, για τον έλεγχο της πυκνότητας των Θέσεων Έρευνας. Οι γεωγραφικά προσδιορισμένες οντότητες στα διανυσματικού τύπου αρχεία αποτυπώνονται με ανάλογες γεωμετρικές μορφές (γεωμετρικά σχήματα).



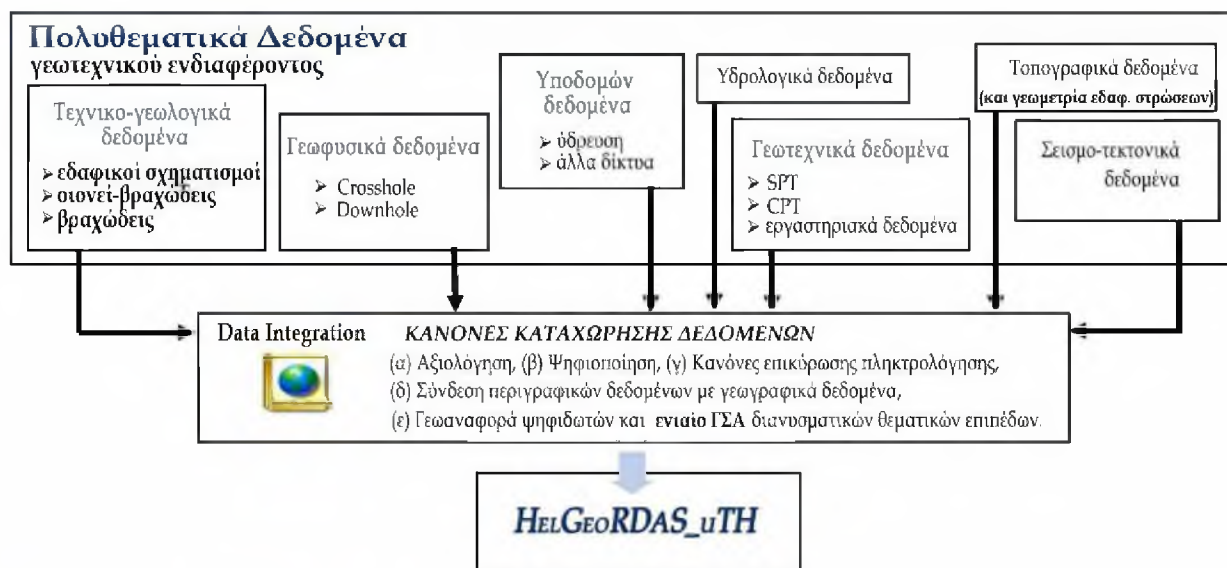
Σχήμα 7.1 Χωρική κατανομή των Θέσεων Έρευνας της Βάσης, πάνω σε χάρτη πολυθεματικών επιπέδων. Συνοδεύει υπόμνημα με το είδος των Θέσεων Έρευνας (κάτω δεξιά), και δορυφορική άποψη της πόλης (πάνω δεξιά).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.1.1 Η Βάση HelGeoRDaS_uTH ως Τράπεζα πρωτογενούς πληροφορίας

Η παρούσα έκδοση της Βάσης HelGeoRDaS_uTH, όπως προαναφέρθηκε, περιλαμβάνει χωρικά εδαφικά δεδομένα για 342 διακριτές Θέσεις Έρευνας. Πρόκειται για αξιόλογα εκτεταμένο περιεχόμενο το οποίο συλλέχθηκε από ξεχωριστές βάσεις ή και μελέτες. Η δημιουργία της εξασφαλίζει τη δυνατότητα να παρέχει άμεσα χρησιμοποιήσιμη ψηφιακή πληροφορία σε κάθε ενδιαφερόμενο αλλά και να εμπλουτίζεται συνεχώς με νέο περιεχόμενο. Θα μπορεί να αποτελεί για το Πανεπιστήμιο μια τράπεζα γεωχωρικής πρωτογενούς πληροφορίας. Κάθε Θέση συνοδεύουν χωρικά δεδομένα, δηλαδή γεωγραφική και περιγραφική πληροφορία αναφορικά με τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και τη γεωμετρία του εδάφους σε κατά βάθος εδαφικές τομές.

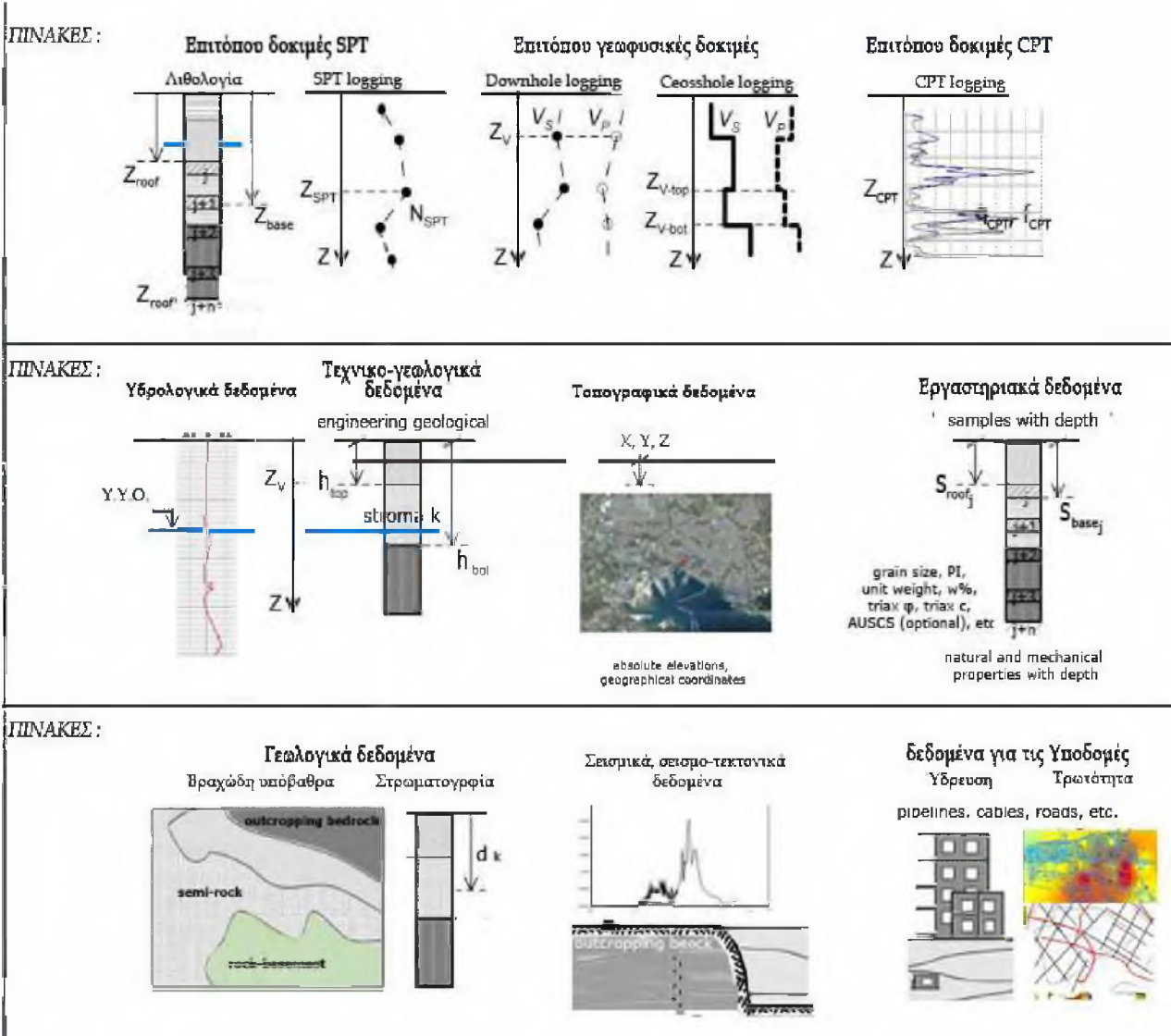
Παρατίθεται εποπτικά μια συνοπτική περιγραφή του πολυθεματικού χωρικού περιεχομένου της βάσης (Σχ. 7.1.1.1, Σχ. 7.1.1.2). Όπως εξηγήθηκε κατά την περιγραφή της Βάσης (Ενοτ. 4.1.3), η βάση περιλαμβάνει κατά κόρον εδαφικά δεδομένα σχετικά με τα αποτελέσματα από επιτόπου γεωτεχνικές δοκιμές, ερευνητικές γεωτρήσεις, εργαστηριακές δοκιμές, γεωφυσικές διασκοπήσεις, υδρογεωτρήσεις και ορύγματα, καθώς και γεωλογικές περιγραφές, υψόμετρα και στοιχεία της τοπογραφίας της επιφάνειας του εδάφους και των εδαφικών σχηματισμών μέχρι τα βραχώδη υπόβαθρα. Είναι επίσης προετοιμασμένη να περιλάβει και τεχνικά δεδομένα σχετικά με την ποιότητα και τη γεωμετρία των υπόγειων δικτύων και καταγραφές ισχυρών σεισμών στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 7.1.1.1 Πολυθεματικά εδαφικά δεδομένα γεωτεχνικού ενδιαφέροντος και κανόνες καταχώρησης τους στη βάση HelGeoRDaS_uTH.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

HelGeoRDAS_uTH: ΠΟΛΥΘΕΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



Σχήμα 7.1.1.2 Τα πολυθεματικά δεδομένα καθεμιάς Θέσης Έρευνας (X, Y) παρέχουν περιεκτική κατά βάθος (Z) εικόνα για τις εδαφικές συνθήκες. Αποθηκεύονται αρχικά στη Βάση HelGeoRDAS_uTH από όπου τα χρησιμοποιεί στη συνέχεια το GeoSeism-Kαλλιπάτειρα και κάθε ανάλογο ΓΣΠ.

Συγκεντρωτικά, στους επόμενους πίνακες παρατίθενται οι περιοχές στις οποίες αναφέρονται τα πρωτογενή δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της Βάσης για την πόλη του Βόλου (Πιν. 7.1.1.1), το είδος της γεωέρευνας από την οποία συλλέχθηκαν (Πιν. 7.1.1.2), το βάθος και ο σκοπός για τον οποίο διενεργήθηκαν οι γεωέρευνες αυτές (από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα της Βάσης) τα προηγούμενα χρόνια (Πιν. 7.1.1.3). Ο χρόνος των παραπάνω γεωερευνών άρχεται από τα έτη 1962 (προβλήτα τοιμώντων), 1965 (Αντλιοστάσιο Βόλου),

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

1966 (Κολυμβητήριο Βόλου), μέχρι τις νεότερες γεωτεχνικές έρευνες που εκπονήθηκαν το 2010 (κοίτη χειμάρρου Ξηριά).

Πίνακας 7.1.1.1 Περιοχές στις οποίες αναφέρονται τα πρωτογενή δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της HelGeoRDaS_uTH στην πόλη του Βόλου.

Πολεοδομικό Συγκρότημα	Θέσεις Έρευνας
1 Βόλου	309
2 Νέας Ιωνίας	24
3 Ευρύτερη περιοχή (Πευκάκια, Αϊβαλιώτικα, λόφος Γορίτσας, κ.λπ.)	9
Σύνολο	342

Πίνακας 7.1.1.2 Το είδος των γεωερευνών από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της HelGeoRDaS_uTH.

Είδος	Πλήθος	Θέσεις Έρευνας
Πρότυπες δοκιμές διείδυσης SPT		308
Πλήρεις γεωτρήσεις, συνοδεύονται από επιτόπου και από εργαστηριακά δεδομένα	248	
Γεωτρήσεις, συνοδεύονται από λιθολογικές περιγραφές χωρίς δεδομένα επιτόπου δοκιμών	27	
Γεωτρήσεις συνοδεύονται από λιθολογικά και SPT δεδομένα χωρίς εργαστηριακές μετρήσεις	33	
Στατικές πενετρομετρήσεις CPT	26	26
Επιτόπου δοκιμές Crosshole	6	6
Επιτόπου δοκιμές Downhole	2	2
Υδρογεωτρήσεις	(απορρίφθηκαν όλες)	0
Πιεζόμετρα και εκθέσεις υδρολογικών δεδομένων	254	

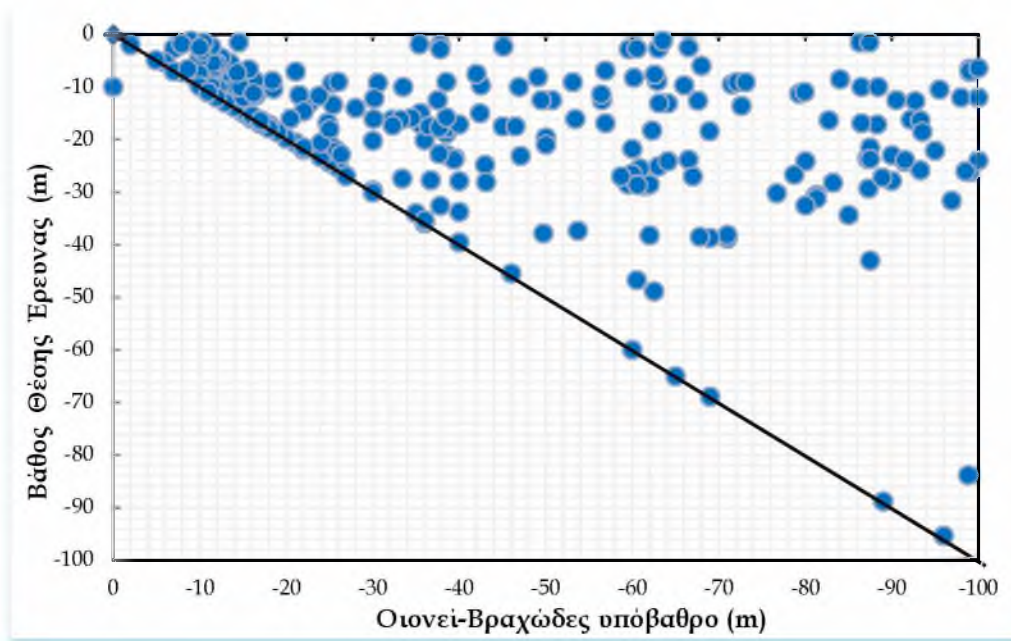
Πίνακας 7.1.1.3 Το βάθος και ο σκοπός για τον οποίο διενεργήθηκαν οι γεωέρευνες από όπου συλλέχθηκαν τα δεδομένα κάθε Θέσης Έρευνας της HelGeoRDaS_uTH.

Περιοχή (Θέσεις Έρευνας)	Σκοπός γεωέρευνας	Βάθος (Μέγιστο βάθος)
1 Παραλία (28 SPT + 6 CPT + 2 CH)	Η ανάπτυξη και η επέκταση του λιμανιού της πόλης	≥ 40 m (130 m, διδυμη CH)
2 Χειμάρροι (59 SPT)	Η θεμελίωση οδικών και σιδηροδρομικών γεφυρών	10 - 15 m (35 m)
	41 κατά μήκος του χειμάρρου Κραυσίδωνα 13 κατά μήκος του χειμάρρου Άναυρου 5 κατά μήκος του χειμάρρου Ξηριά	
3 Υπόλοιπες περιοχές (212 SPT + 20 CPT + + 2 DH + 4 CH)	Η έκδοση αδειών δόμησης και η ανέγερση κτιριακών έργων,	20 - 35 m(SPT, CPT) (50 m) 40 - 50 m (DH, CH)

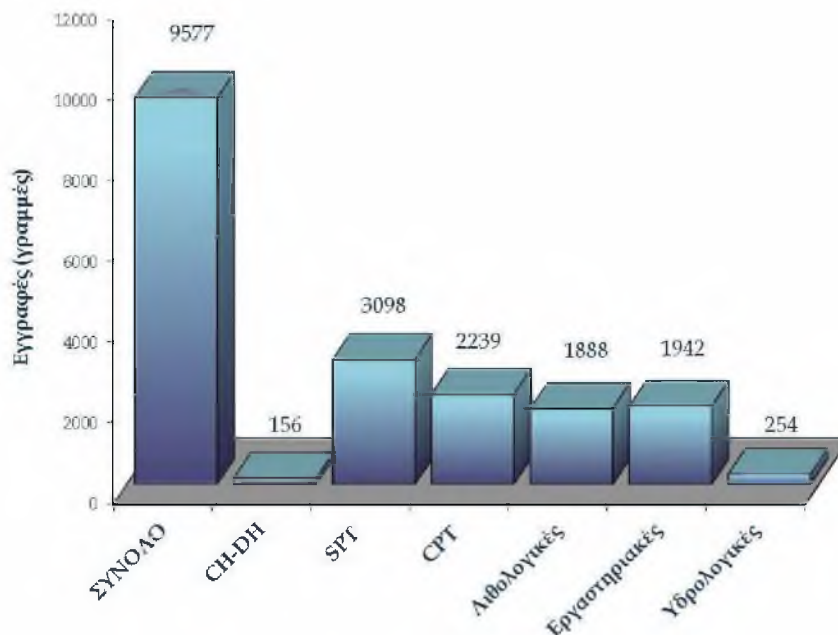
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

4	Ευρύτερη περιοχή (9 SPT)	δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης Η Μικροζωνική Μελέτη της πόλης	> 50 m
---	-----------------------------	---	--------

Στατιστικά στοιχεία για όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.1.1.3, 7.1.1.4, 7.1.1.5, 7.1.1.6.

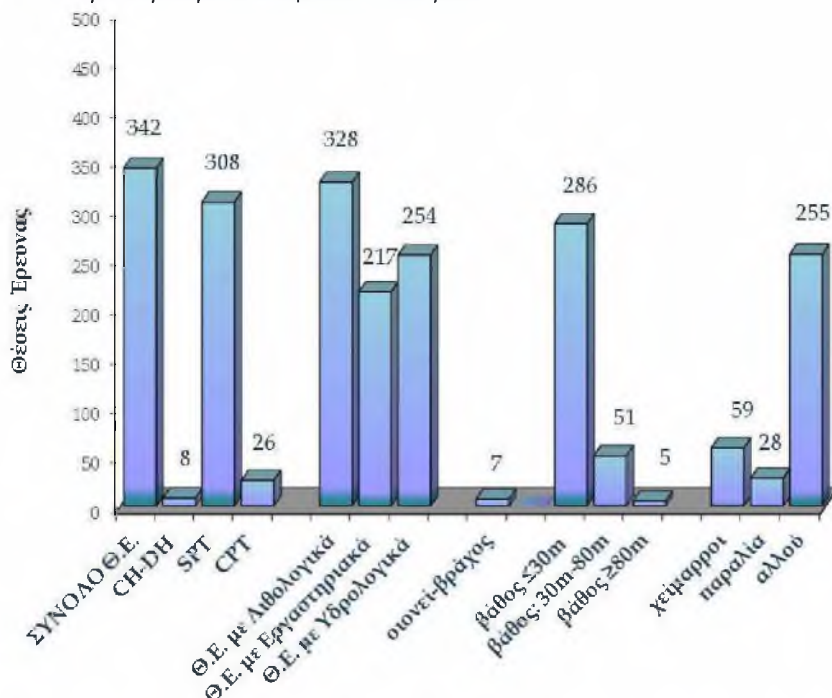


Σχήμα 7.1.1.3 Βάθη γεωερευνητών σε σχέση με τη θέση του οιονει-βραχώδους υποβάθρου.

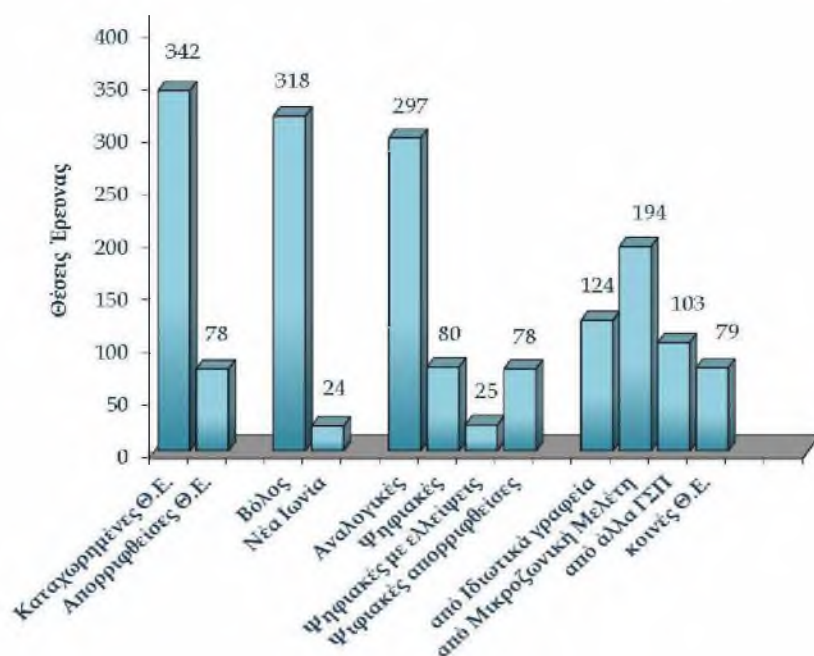


Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 7.1.1.4 Σύνολο εγγραφών της HelGeoRDaS_uTH ανά είδος έρευνας από όπου προέρχονται τα πρωτογενή πολυθεματικά δεδομένα.



Σχήμα 7.1.1.5 Ποιοτικά στοιχεία των Θέσεων Έρευνας (εδαφικών στηλών), ανάλογα της πληρότητας των Δεδομένων, καθώς και ανάλογα του βάθους και της περιοχής όπου έγινε η μέτρηση καθεμιάς.



Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 7.1.1.6 Ποιοτικά στοιχεία των Δεδομένων ανά Θέση Έρευνας, ανάλογα του ΠΣ όπου αναφέρονται, της αναλογικής είτε ψηφιακής μορφής με την οποία χορηγήθηκαν και τις πηγές από όπου συλλέχθηκαν.

7.1.2 Η δημιουργία της HelGeoRDaS_uTH: πηγές δεδομένων, ψηφιοποίηση, αξιολόγηση των καταχωρούμενων πολυθεματικών δεδομένων

Οι εργασίες που έγιναν για τη σύνδεση των δεδομένων σε μορφή πληροφορίας μέσα στη σχεσιακή βάση HelGeoRDaS_uTH, συνοψίζονται στα εξής βήματα:

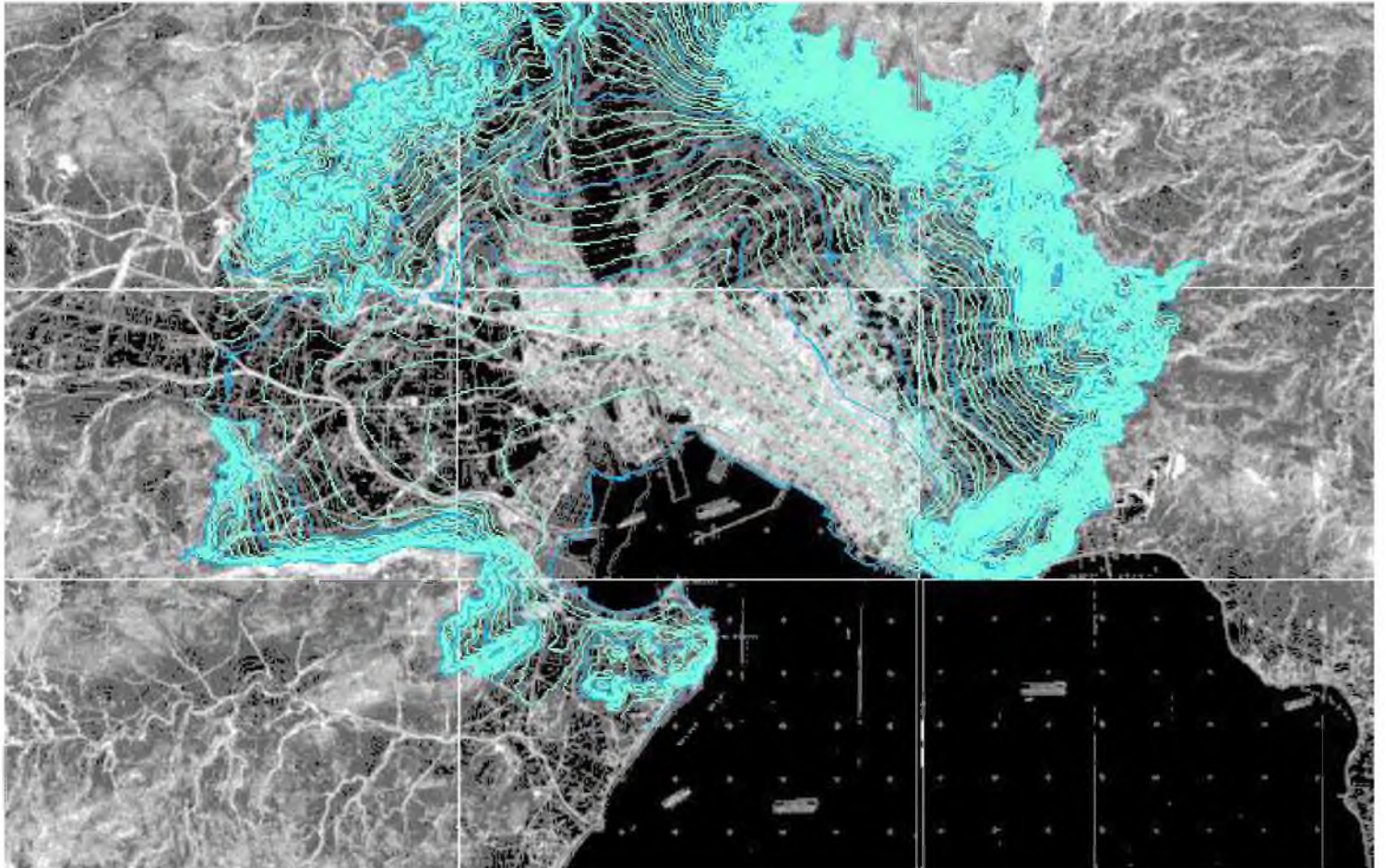
- (α) Συλλογή μελετών από διάφορες πηγές (Πιν. 7.1.2).
- (β) Ψηφιοποίηση των αναλογικών χαρτών, εικόνων, αεροφωτογραφιών. Εκ των αποτελεσμάτων της επίσης επίπονης αυτής εργασίας είναι και ο διανυσματικός χάρτης ισοϋψών της επιφάνειας του εδάφους (Digital Elevation Model) της πόλης σε ψηφιακή μορφή (Σχ. 7.1.2). Προέκυψε κατόπιν ψηφιοποίησης ομάδα αναλογικών τοπογραφικών χαρτών της ευρύτερης περιοχής μελέτης (10 km x 10 km).
- (γ) Προσδιορισμός των Θέσεων Έρευνας με γεωγραφικές συντεταγμένες σε ένα ενιαίο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς (Ενοτ. 7.1.2.3).
- (δ) Αξιολόγηση (έλεγχος δεν είναι δυνατός) της ποιότητας των συλλεχθέντων (χορηγηθέντων) δεδομένων (Ενοτ. 7.1.2.1).
- (ε) Καταχώρηση όλων των δεδομένων με πληκτρολόγηση. Ειδικά των δεδομένων που χορηγήθηκαν σε αναλογική μορφή (λ.χ. αναλογικά φύλλα μελετών ή γεωτρήσεων). Η εργασία αυτή είναι ιδιαίτερα ογκώδης (Ενοτ. 7.1.2.2).
- (στ) Κωδικοποίηση (ορισμός μοναδικών κωδικών για κάθε στρώση και για κάθε θέση δοκιμής) και σχεσιακή σύνδεση των δεδομένων μεταξύ τους (σύνδεση των θέσεων δοκιμής που αναφέρονται σε κοινές μεταξύ τους στρώσεις).

Ακολουθεί αναφορά στα συστηματικά προβλήματα που διαπιστώνονται από τη συλλογή μέχρι και την καταχώρηση των δεδομένων σε μια σχεσιακή βάση (Ενοτ. 7.1.2.1), καθώς και τη σύνδεση των (περιγραφικών) δεδομένων με γεωλογική πληροφορία (Ενοτ. 7.1.2.2) και με γεωγραφική πληροφορία (Ενοτ. 7.1.2.3).

Πίνακας 7.1.2 Οι πηγές των (μη απορριφθέντων) δεδομένων της Βάσης.

Πηγή	Πλήθος Θέσεων Έρευνας (μορφή δεδομένων)	Παρατηρήσεις - προβλήματα	Κοινές Θέσεις Έρευνας
HelGeoRDaS, Ε.Μ.Π.	26+79 = 105 (ψηφιοποιημένα)	A) Τοπικό (άγνωστο) σύστημα συντεταγμένων B) Ελλείψεις Πινάκων Λιθολογίας και Εργαστηριακών δεδομένων για περίπου 60 από τις Θέσεις αυτές	79 κοινές (αλληλο- κάλυψη ελλείψεων)
Μικροζωνική Μελέτη Βόλου	115+79 = 194 (αναλογικά)	A) Αναλογικά φύλλα γεωτρήσεων B) Ελλείψεις συντεταγμένων και γεωγραφικού προσδιορισμού για όλες τις Θέσεις	
Ιδιωτικά γραφεία γεωτεχνικών ερευνών	11 (αναλογικά)	A) Αναλογική μορφή φύλλων γεωτρήσεων B) Ελλείψεις συντεταγμένων Γ) Μικρά βάθη	
Νικολάου Χατζηνικολάου, έδρα Βόλος	122 (αναλογικά)	A) Αναλογικά φύλλα μελετών B) Απορρίφθηκαν πλέον των 148 γεωερευνών κυρίως λόγω μικρού βάθους	
ΚΕΔΕ	Οι 130 από τις επιτόπου και τις εργαστηριακές δοκιμές στις γεωτρήσεις αυτές είχε υλοποιηθεί από το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ).		
Δήμος Βόλου	Ψηφιακός χάρτης Σχεδίου Πόλεως (Οικοδομικών Τετραγώνων, Οδών, Κοινόχρηστων Χώρων, κ.λπ.)		
ΔΕΥΑΜΒ Θεσσαλίας	Στοιχεία αγωγών ύδρευσης		

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(α)

Σχήμα 7.1.2

(α) Διανυσματικός χάρτης ισοψών (κίτρινες και μπλε γραμμές) της επιφάνειας του εδάφους.

(β) Απόσπασμα αναλογικού χάρτη σε σύστημα HATT (πηγή ΓΥΣ) που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιοποίηση και παραγωγή του διανυσματικού χάρτη.



(β)

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.1.2.1 Κριτήρια αξιολόγησης, συστηματικά προβλήματα, τρόποι αντιμετώπισης

Πριν καταχωρηθούν οριστικά τα δεδομένα στη Βάση, προηγήθηκε έλεγχος της καταλληλότητας των συλλεχθέντων μελετών και πληροφοριών (Σχ. 7.1.1.6). Γνώμονας ήταν η αξιοπιστία και η ακρίβεια ως προς τα γενικά κριτήρια αλλά και όσο το δυνατόν ως προς τα επιμέρους στοιχεία των δεδομένων. Προτιμήθηκε τελικά να διαγραφούν αρκετές από τις περίπου 420 αρχικά καταχωρηθείσες Θέσεις και, ως εκ τούτου, να περιοριστεί η τελική έκδοση μόνον σε 342 διακριτές Θέσεις Έρευνας για το Π.Σ. Βόλου - Ν. Ιωνίας.

Τα γενικά κριτήρια της αξιολόγησης είναι, το αν χορηγήθηκαν :

1. η ακριβής γεωγραφική θέση (X, Y) της Θέσης Έρευνας (με προσέγγιση 1.00 m),
2. τα ακριβή βάθη στα οποία έγιναν επιτόπου δοκιμές και δειγματοληψίες,
3. οι πραγματικές μετρήσεις μιας Θέσης Έρευνας (απορρίπτονται όσες προσδιορίστηκαν κατ' εκτίμηση με βάση παρόμοιες γειτονικές έρευνες),
4. οι βαθύτερες γεωτρήσεις (επιδίωξη πάντοτε είναι να βρεθούν γεωτρήσεις που να φτάνουν ως το σεισμικό υπόβαθρο).

Η αναζήτηση, συλλογή και μελέτη τόσο μεγάλου όγκου μελετών και φύλλων γεωτρήσεων ήταν σίγουρα μια χρονοβόρα εργασία. Επιδιώχθηκε να συλλεχθεί ό,τι διαθέσιμο υπήρχε στην πόλη αυτή, κι όχι απλά ένα πιλοτικό δείγμα. Το εγχείρημα δεν δικαιώθηκε σε σημαντικό βαθμό, επειδή οι περισσότερες από τις μισές από τις μελέτες που συλλέγονταν δεν πληρούσαν τα παραπάνω κριτήρια και δεν ήταν κατάλληλες για τους σκοπούς της Βάσης. Όλες οι εργασίες, από τη συλλογή μέχρι την πληκτρολόγηση, τη σχεσιακή σύνδεση και την πλήρη καταχώρηση του περιεχομένου, υλοποιήθηκαν από την ίδια υποψήφια διδάκτορα χωρίς άλλη βοήθεια και τεχνική ή οικονομική υποστήριξη. Το εγχείρημα αποδείχθηκε ασύμφορο στο πλαίσιο διδακτορικής διατριβής, επειδή ήταν δυσανάλογα χρονοβόρο σε σχέση με το όφελος που, όπως προαναφέρθηκε, αποκομιζόταν. Παρά ταύτα, είναι χρήσιμο που συγκεντρώθηκαν για πρώτη φορά και συνδέθηκαν σχεσιακά σε ψηφιακή μορφή όλες οι αξιολογες γεωτεχνικές μελέτες που έγιναν στην περιοχή από διαφορετικά πρόσωπα τα προηγούμενα χρόνια. Σε κάθε περίπτωση, οι εμπειρίες της διατριβής είναι ενδεικτικές ενός γενικότερου προβλήματος έλλειψης δεδομένων σχετικών με τις εδαφικές συνθήκες (Ενοτ. 2.1.3). Τα πιο χαρακτηριστικά προβλήματα που συστηματικά συναντήθηκαν, είναι:

- ⊗ Η πλειονότητα των δεδομένων χορηγήθηκε σε αναλογική μορφή μελετών. Στην καλύτερη των περιπτώσεων περιλάμβαναν και αναλογικά φύλλα γεωτρήσεων. Απαιτήθηκε επομένως επίπονη διαδικασία μελέτης και πληκτρολόγησης ή και ψηφιοποίησης, για την εξαγωγή δεδομένων στη μορφή που τα αποθηκεύει μια ψηφιακή Βάση. Τα δεδομένα πρέπει να έχουν τη ζητούμενη από τη Βάση μορφή τιμών, περιγραφικών συμπερασμάτων και ψηφιακών χαρακτήρων.
- ⊗ Οι περισσότερες από τις δοθείσες συντεταγμένες έπρεπε να μετασχηματιστούν από διάφορες τοπικές συντεταγμένες σε ενιαίο γεωγραφικό σύστημα (επιλέγηκε τελικά το

προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87) προς χρήσιν του ΓΣΠ. Συχνά, οι συντεταγμένες απουσίαζαν εντελώς από το χορηγηθέν κατά τη συλλογή υλικό. Έπρεπε τότε να αναζητηθούν πληροφορητές.

- ☉ Όλες οι Υδρογεωτρήσεις και τα πηγάδια νερού που χορηγήθηκαν από υπηρεσίες υπόγειων υδάτων απορρίφθηκαν, κυρίως διότι οι ακριβείς θέσεις τους ήταν συστηματικά άγνωστες.
- ☉ Τα βασικά δεδομένα εξάγονται από μελέτες γεωτεχνικών ερευνών (με δειγματοληπτικές ή μη γεωτρήσεις) που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χρονικές περιόδους, από διαφορετικούς φορείς (δημόσιους οργανισμούς και ιδιώτες) και είχαν διαφορετικούς στόχους. Οι στόχοι καθορίζουν το βάθος των γεωτρήσεων, το οποίο συνολικά είναι πολύ χαμηλό σε σχέση με το βραχώδες υπόβαθρο (Σχ. 7.1.1.4).
- ☉ Συχνά τα δεδομένα που εξάγονται από τις ανωτέρω μελέτες περιορίζονται στη γεωτεχνική αναγνώριση και σε δοκιμές SPT. Απουσιάζει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών. Όσα Φύλλα βρέθηκαν κατόπιν αναζήτησης σε ξένες πηγές, απαιτούσαν ακόμη πιο χρονοβόρα πληκτρολόγηση επειδή έχρηζαν επανελέγχου, ακύρωσης κωδικών και ορισμού νέων, κ.ο.κ.
- ☉ Δεδομένα για όλο το Πολεοδομικό Συγκρότημα δεν βρέθηκαν. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι διαθέσιμες στην περιοχή γεωτρήσεις είχαν πραγματοποιηθεί κατά την κατασκευή κάποιας μεγάλης οικοδομής ή γέφυρας. Η χωρική κατανομή των διαθέσιμων γεωτρήσεων εμφανίζει μεγαλύτερη πυκνότητα: (α) στην ευρύτερη παραλιακή ζώνη, όπου τα πάχη των εδαφικών σχηματισμών φτάνουν ως και 130 m, και (β) κατά μήκος του μεγαλύτερου χειμάρρου, του Κραυσίδωνα, όπου έγιναν γεωτεχνικές έρευνες προκειμένου να κατασκευαστούν γέφυρες και αντιπλημμυρικά τεχνικά έργα.
- ☉ Έλλειψη επίσης συναντήθηκε σε ιστορικές καταγραφές ισχυρών σεισμών. Όσες καταγραφές δονήσεων βρέθηκαν δεν συνοδεύονταν από συγχρονισμένες καταγραφές σε έξαρση βραχώδους υποβάθρου και, επομένως, δεν ήταν κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν για τις αναλύσεις εδαφικής απόκρισης και μελέτης των εδαφικών συνθηκών.
- ☉ Παρότι συγκεντρώθηκαν περισσότερες θέσεις έρευνας σε σχέση με τις προηγούμενες μελέτες που έγιναν στο ίδιο Π.Σ., ακόμη και σε σχέση με τη Μικροζωνική Μελέτη (2000), δεν βρέθηκαν περισσότερες γεωτεχνικές έρευνες που να διέτρησαν το υπόβαθρο. Το γεγονός αυτό δεν αποζημίωσε την ογκώδη και χρονοβόρα εργασία της συλλογής και καταχώρησης δεδομένων στη Βάση.
- ☉ Οι υπόλοιπες εμπειρίες της έρευνας αφορούν παρατηρήσεις κατά περίπτωση για το συλλεχθέν υλικό από κάθε Θέση Έρευνας.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις πρακτικές λύσεις που δόθηκαν προκειμένου να ξεπεραστούν αρκετά από τα παραπάνω προβλήματα.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σε πρώτο βήμα, το συλλεχθέν υλικό αξιολογήθηκε με βάση τα προαναφερόμενα γενικά κριτήρια αξιολόγησης. Ιδιαίτερα χρήσιμες ήταν οι κοινές Θέσεις που χορηγήθηκαν από διαφορετικές πηγές και αλληλοκάλυπταν αρκετές ελλείψεις.

Σε επόμενο βήμα, από το υλικό εξήχθη το απόλυτο υψόμετρο κάθε Θέσης. Η εργασία αυτή ξεκινά με ψηφιοποίηση του αναλογικού τοπογραφικού χάρτη των ισοϋψών και καταλήγει με τη μέτρηση της συντεταγμένης Z με τη βοήθεια κλιμακόμετρου. Διευκολύνει σημαντικά το χαρτογραφικό περιβάλλον του ArcGIS το οποίο εμφανίζει αλληλοεπικαλυπτόμενα θεματικά επίπεδα και ειδικά εργαλεία αποστασιομέτρων (Σχ. 7.1).

Η γεωαναφορά των χαρτογραφικών υποβάθρων, επίσης βοηθείται από την οπτική προβολή του θεματικού επιπέδου που απεικονίζει τις Θέσεις Έρευνας στο χαρτογραφικό περιβάλλον του ArcGIS.

Οι οριζόντιες συντεταγμένες κατά κόρον απουσιάζουν από τα χορηγούμενα φύλλα είτε δίνονται σε άγνωστα τοπικά συστήματα. Στον προσδιορισμό τους βοήθησαν σημαντικά οι πληροφορητές. Για παράδειγμα, ο προσδιορισμός των πραγματικών επί εδάφους θέσεων των φύλλων που χορηγήθηκαν από την ΜΜ χωρίς συντεταγμένες (Πιν. 7.1.2) υποδείχθηκε από ντόπιο πολιτικό μηχανικό ο οποίος παλαιότερα είχε διατελέσει μέλος της ερευνητικής ομάδας που εκπόνησε τη ΜΜ της πόλης. Παρομοίως, η έρευνα μπόρεσε να αναγνωρίσει ποιο είναι το τοπικό σύστημα συντεταγμένων με τη χρήση αλγόριθμου από ιδιώτη ερευνητή (Syggros, 2002). Μπόρεσε έτσι στη συνέχεια και να μετασχηματίσει όλες τις Θέσεις που χορηγήθηκαν από τη HelGeoRDaS από το σύστημα αυτό σε ένα πιο ευρείας χρήσης (ΕΓΣΑ'87).

Έμφαση δίδεται πάντοτε στις «δίδυμες» των Θέσεων Έρευνας Crosshole. Πρόκειται για τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί ταυτόχρονα σε απόσταση (συνήθως) μέχρι 4 μέτρων στη δοκιμή Crosshole. Τα εργαστηριακά και λιθολογικά δεδομένα τους είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για δυο κυρίως λόγους: Κατά πρώτον, επειδή βοηθούν στη γεωτεχνική κατηγοριοποίηση των εδαφικών στρώσεων. Συγκεκριμένα, η Θέση-γεώτρηση δίνει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες κάθε στρώσης ενώ η Θέση-Crosshole δίνει την αντιστοιχία τους προς ένα μετρήσιμο δυναμικό χαρακτηρισμό, το οποίο είναι η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων (Vs). Κατά δεύτερον, επειδή είναι κατά κόρον βαθιές, συχνά ως το σεισμικό υπόβαθρο, στοιχείο που δεν είναι σύνηθες στις κανονικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.

Κατά την ηλεκτρολόγηση συμβαίνουν συστηματικά σφάλματα. Η ρύθμιση κανόνων επικύρωσης κατά την καταχώρηση δεδομένων στη Βάση, είναι μια τακτική που παρά την αρχική καθυστέρηση αποζημιώνει στη συνέχεια αποσοβώντας αβεβαιότητες.

Τα ειδικότερα προβλήματα (λ.χ., τυπογραφικά λάθη, απουσίες φύλλων γεωτρήσεων, άγνωστες συντεταγμένες), αντιμετωπίστηκαν κατά περίπτωση.

Η μακρόχρονη αναζήτηση πληροφοριών, που έλαβε χώρα στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, σταμάτησε μόνον όταν κρίθηκε ότι: α) δεν υπήρχε σημαντικός όγκος εισροής περισσότερων πληροφοριών από μεταγενέστερες έρευνες, β) είχαν συμπεριληφθεί στην νέα Βάση όλες οι διαθέσιμες έρευνες που έγιναν παλαιότερα και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους προκειμένου να θεμελιωθούν τα σημαντικότερα έργα της πόλης, γ) εξασφαλίστηκε σχεδόν πλήρης κάλυψη των παλαιότερων στοιχείων που είχε συγκεντρώσει η ΜΜ και, επιπροσθέτως, ένα αξιολογικό πλήθος μεταγενέστερων στοιχείων. Για παράδειγμα, η ΜΜ που υλοποιήθηκε το έτος 2000 είχε βασισθεί μόνον στις μισές σχεδόν Θέσεις Έρευνας, και «κάλυψε το Πολεοδομικό Συγκρότημα του Βόλου μελετώντας επιλεγμένες θέσεις, με τρόπο που να καλύπτεται ικανοποιητικά όλη η έκτασή του σε ό,τι αφορά τη δειγματοληψία (αδιατάρακτα δείγματα) σε όλους τους εδαφικούς σχηματισμούς, όπως επίσης και για την εκτέλεση των δοκιμών Crosshole και Downhole σε όλους τους σχηματισμούς που συναντώνται στην περιοχή» (Πιτιλάκης και συν., 2000).

Με βάση τα παραπάνω, κρίθηκε ότι η παρούσα βάση συμπεριέλαβε όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες στο Π.Σ. Βόλου - Ν. Ιωνίας κι εξασφάλισε την πυκνότερη δυνατή χωρική πληροφορία που υπήρχε μέχρι και το 2010 (Ενοτ. 8.2). Τα πρωτογενή αυτά δεδομένα έχουν σχεσιακά αποθηκευθεί στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*.

Μια ακόμη πρακτική που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ξεπεραστούν προβλήματα, είναι και η χρήση της *Πυθίας* (Ενοτ. 5.2) - δηλαδή, του αλγόριθμου που δομήθηκε στο λογισμικό *GeoSeism*. Η συμβολή της γίνεται κατανοητή μέσα από την πρακτική εφαρμογή που ακολουθεί (Ενοτ. 7.2). Οι επεξεργασίες της δημιούργησαν «δευτερογενή δεδομένα», δηλαδή τιμές οι οποίες κάλυψαν όσο το δυνατόν τις ελλείψεις που υπήρχαν στα πρωτογενή δεδομένα. Τα συνολικά δεδομένα, πρωτογενή και δευτερογενή, αποθηκεύονται μόνον στη Βάση *Καλλιπάτειρα*. Με τον τρόπο αυτό, το ΓΣΠ διατηρεί άθικτα τα πρωτογενή δεδομένα στη *HelGeoRDaS_uTH*, επιτρέποντας μόνον απλές διορθώσεις, όπως και σε κάθε όμοια εξωτερική Βάση συνδεθεί για συνεργασία.

Τέλος, για τη χωρική κατανομή των δυναμικών παραμέτρων της εδαφικής κίνησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της παρεμβολής και παρέκτασης (*interpolation - extrapolation*), με την οποία είναι εφοδιασμένα τα ειδικά λογισμικά χαρτογράφησης. Το *ArcGIS* συγκεκριμένα, διαθέτει μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών για τη δημιουργία και χωρική ανάλυση επιφανειών με τη μέθοδο αυτή (Ενοτ. 2.3.1, Σχ. 2.3.1.5). Η μέθοδος συμβάλλει στο να απεικονίζεται, δηλαδή να παράγεται χωρίς περιγραφικά δεδομένα, πυκνότερη πληροφορία στις κυψέλες του καννάβου με τον οποίο μελετάται ένα πολεοδομικό συγκρότημα (Σχ. 7.1).

7.1.2.2 Διασύνδεση των περιγραφικών χωρικών δεδομένων μεταξύ τους

Η **τεχνική διασύνδεση** (αποθήκη, κώδικας προγραμματισμού, διεπαφή, λειτουργίες) των περιεχόμενων στη Βάση χωρικών (γεωγραφικών και περιγραφικών) δεδομένων μεταξύ τους, **εξασφαλίστηκε από την κατασκευή** του διαλειτουργικού ΓΣΠ. Δηλαδή, επιλέγηκαν δομικές μονάδες των οποίων η τεχνολογία προσφέρει τις ανάλογες δυνατότητες ώστε να διασυνδέονται μέσω του κώδικα του *GeoSeism* και μεταξύ τους (Ενοτ. 1.3).

Η **σχεσιακή σύνδεση** ωστόσο, υλοποιήθηκε κατά την καταχώρηση δεδομένων, όταν κάθε εγγραφή ενός Πίνακα διασυνδέθηκε υποχρεωτικά με μια ή περισσότερες ενός άλλου Πίνακα. Το ίδιο θα γίνεται στο εξής όποτε καταχωρούνται νέες εγγραφές στη Βάση.

Ο σχεσιακός σύνδεσμος κάθε εγγραφής δεν είναι μόνον το Πεδίο με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, στοιχείο το οποίο θα χαρακτήριζε ένα οποιοδήποτε «ΓΣΠ». Η σχεσιακή σύνδεση υλοποιείται και με το Πεδίο των **γεωτεχνικών κωδικών**, στοιχείο το οποίο εξειδικεύει το παρόν σύστημα επιπλέον και σε «**ΓΣΠ εξειδικευμένο στις εδαφικές συνθήκες**» (Ενοτ. 4.3.2). Ο γεωτεχνικός κωδικός στην απλούστερη μορφή είναι ένας σχεσιακός κωδικός των εγγραφών μεταξύ διαφορετικών Πινάκων που έχει ρυθμιστεί σε ρόλο σχεσιακού κλειδιού αλλά και ρόλο ταυτότητας ταυτόχρονα.

Όπως δείχνει και το *Σχήμα 7.1.2.2.1*, οι **γεωτεχνικοί κωδικοί εγγράφηκαν** στο Πεδίο «Stroma_Id». Είναι μοναδικοί για κάθε εδαφική στρώση, ώστε να δηλώνουν την ταυτότητα μιας εδαφικής στρώσης αναφορικά με τη γεωτεχνική κατηγορία στην οποία ταξινομήθηκε. Έτσι, σε μια πραγματική περιοχή μελέτης, η κλήση της ταυτότητας μιας εδαφικής στρώσης έχει ως αποτέλεσμα να ανακτάται η πληροφορία της αντίστοιχης εδαφικής στρώσης από όλους τους Πίνακες στους οποίους αποτελεί κοινό Πεδίο, και δηλαδή να ανακτώνται όλα τα κατά βάθος σημεία δειγματοληψίας με τα οποία σχεσιακά συνδέεται (συνδεσμολογία «ένα-προς-πολλά»). Για παράδειγμα, μια στρώση συνδέεται με όλα τα βάθη της επιτόπου δοκιμής (SPT, CPT, CH/DH) και με όλα τα αδιατάρακτα εργαστηριακά δείγματα που αντιστοιχούν στο πάχος της. Οι γεωτεχνικοί κωδικοί αποτελούν **κοινό Πεδίο** των Πινάκων και Πεδίο-κλειδί του Πίνακα των Λιθολογικών και των (τεχνικο-)Γεωλογικών δεδομένων (σημ. τα γεωλογικά δεδομένα που βρέθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι τεχνικογεωλογικές περιγραφές). **Οι κωδικοί κωδικοποιούν την (πολυθεματική) χωρική πληροφορία και ταυτόχρονα επιτρέπουν λειτουργίες Σύνδεσης και Συσχέτισης (Join - Relate) μεταξύ των Πινάκων** μέσα στην ίδια είτε ακόμη και σε διαφορετικές Βάσεις των ΓΣΠ.

Στη συνέχεια, **κατά τη λειτουργία του ΓΣΠ**, η συσχετισμένη σύνδεση (δηλαδή, η ανάκτηση με Σύνδεση και Συσχέτιση) δεδομένων από διαφορετικούς Πίνακες της Βάσης γίνεται με τους ακόλουθους κατά περίπτωση τρόπους.

(α) Μέσα στο σχεσιακό περιβάλλον της εφαρμογής Access, δηλαδή στο περιβάλλον τόσο της HelGeoRDaS_uTH όσο και της Καλλιπάτειρας, το οποίο περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα να συνταχθούν Φίλτρα και Ερωτήματα (Ενοτ. 4.3.4).

A1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	O	R	S	T	UD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	
BOREHOLE ID	Stroma_ID	COORDX	COORDY	ELEVATION	Geology	FAREA	Γεωλογική	Geology c	Clay	Sand	Sandgravel	Skill	Άργιλος	Άμμος	Αμμοκίτλη	Σκιρτ	λίγος	Είσε	Άλιτο	Roof depth	Esse depth	Start_Dep	End_Dep	Numbero	
1	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	3.5	3.95	2	
2	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	5	5.45	1	
3	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	6.5	6.95	1	
4	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	8	8.45	1	
5	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	9.5	9.95	1	
6	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	11.3	11.75	1	
7	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	12.8	13.25	1	
8	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	14.2	14.65	2	
9	G1	19177	4079246	4357041	1.5	Volos	λίγος με οσ	Silt	with shells								11	11		2.5	16.1	16.7	17.15	4	
10	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										16.1	25.3	18.6	19.05	9	
11	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										16.1	25.3	19.8	20.25	12	
12	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										16.1	25.3	22	22.45	16	
13	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										16.1	25.3	23.5	23.95	14	
14	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										16.1	25.3	25.3	25.5	>50	
15	G1	19178	4079246	4357041	1.5	Volos	Άργιλος	Clay		1										21.2	29.75	22.8	23.1	>50	
16	G10	19206	4124937	4355859	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel		1	3	1			3				21.2	29.75	25	25.45	36		
17	G10	19206	4124937	4355859	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel		1	3	1			3				21.2	29.75	27	27.45	37		
18	G10	19206	4124937	4355859	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel		1	3	1			3				21.2	29.75	29.75	30.2	58		
19	G10	19206	4124937	4355859	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel		1	3	1			3				11	11	1.5	13.6	4.1	4.55	1
20	G100	19620	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.5	13.6	6.6	7.05	1	
21	G100	19620	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.5	13.6	10.1	10.55	1	
22	G100	19620	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.5	13.6	12.3	12.75	1	
23	G100	19620	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.5	13.6	14.1	14.55	2	
24	G100	19621	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with few clay and silt	3					3	11	11		13.6	20.85	16.1	16.55	6		
25	G100	19621	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with few clay and silt	3					3	11	11		13.6	20.85	18.2	18.65	12		
26	G100	19621	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with few clay and silt	3					3	11	11		13.6	20.85	20.4	20.85	9		
27	G100	19621	4079801	4355757	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with few clay and silt	3					3	11	11		13.6	20.85	21.9	22.35	11		
28	G101	19623	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.1	16.15	6.5	6.95	1	
29	G101	19623	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.1	16.15	11.9	12.35	1	
30	G101	19623	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Clay-silt	with	1							11	11		1.1	16.15	13.6	14.05	7	
31	G101	19624	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with clay	2					2		11	11		16.15	20.25	15.9	16.25	4	
32	G101	19624	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with clay	2					2		11	11		16.15	20.25	17.6	18.05	6	
33	G101	19624	4078748	4355930	0	Volos	Αμμοκίτλη	Sandgravel	with clay	2					2		11	11		16.15	20.25	19.8	20.25	3	

Σχήμα 7.1.2.2.1 Ενδεικτικό τμήμα Πίνακα της HelGeoRDaS_uTH όπου διακρίνονται γεωγραφικές συντεταγμένες, γεωτεχνικοί κωδικοί και βάθη των γεωτεχνικών ερευνών (ο Πίνακας της μορφής αυτής προκύπτει ως απάντηση στο Ερώτημα «SPT»).

Όπως προαναφέρθηκε στη περιγραφή της Βάσης (Ενοτ. 4.3.4), τα Φίλτρα είναι απλά προκατασκευασμένα ερωτήματα στο περιβάλλον της Access (Σχ. 7.1.2.2.2), ενώ τα (καθαυτού) Ερωτήματα αναπτύσσονται με κώδικα είτε με προκατασκευασμένα αντικείμενα και σύνθετα κριτήρια.

Για παράδειγμα, το πινακοποιημένο αποτέλεσμα (Σχ. 7.1.2.2.1) από το αντίστοιχο Ερώτημα «SPT» (Ενοτ. 4.3.5, Σχ. 4.3.5.1) της τράπεζας γεωτεχνικών δεδομένων HelGeoRDaS_uTH. Συσχετίζει ταυτόχρονα τα δεδομένα τριών Πινάκων (INVESTIGATED_LOCATIONS, INSITU_SPT_TESTS, LITHOLOGY_DATA). Διακρίνονται οι γεωτεχνικοί κωδικοί (Πεδίο Stroma_Id) κάθε εδαφικής στρώσης, οι γεωγραφικές συντεταγμένες (Πεδία COORDX, COORDY, ELEVATION) και τα βάθη λήψης μετρήσεων. Τα βάθη δειγματοληψιών συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν τα Πεδία Roof depth και Base depth που αντιστοιχούν στην οροφή και τη βάση (πυθμένα) κάθε εδαφικής στρώσης, και τα Πεδία Start_depth και Base_depth που αντιστοιχούν στην αρχή και στο πέρας κάθε επιτόπου δοκιμής είτε δειγματοληψίας.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Με την χρήση των Φίλτρων ή των Ερωτημάτων, μπορούν φυσικά να εντοπιστούν ειδικότερες πληροφορίες σε συγκεκριμένα Οικοδομικά Τετράγωνα ή ονοματοθεσίες οδών κ.λπ., καθώς και λεπτομέρειες για την προέλευση κάθε πληροφορίας (έτος, γεωτεχνικό έργο, γεωτεχνικό γραφείο που εκτέλεσε το έργο ή την γεώτρηση, Βάση Δεδομένων στην οποία αποθηκεύθηκε, ύπαρξη υδρομετρικών στοιχείων, εγκατάσταση και λειτουργία πιεζομέτρων κ.λπ.).

Οι Μακροεντολές επιτυγχάνουν να διαχειρίζονται αυτόματα τα Ερωτήματα (Σχ. 7.1.2.2.2). Δηλαδή, τα καλούν, τα τρέχουν, τα αποθηκεύουν αυτόματα σε αρχεία, ειδοποιούν τον χρήστη, κ.λπ.

Υπάρχει και ο τύπος Ερωτημάτων τα οποία είναι δυνατόν να συνταχθούν και να κατευθύνονται έξωθεν της Βάσης (περιγράφονται στο αμέσως επόμενο εδάφιο).

(β) Ένας άλλος τύπος Ερωτημάτων για τη σύνδεση των τεχνικογεωλογικών δεδομένων με τα υπόλοιπα δεδομένα, υλοποιείται με ερωτήματα σε σύνταξη SQL (Structured Query Language) τα οποία συντάχθηκαν μέσα στον κώδικα του ΓΣΠ *GeoSeism*. Με τον τρόπο αυτό, όλη η διαχείριση της Βάσης *Καλλιπάτειρας* γίνεται έξωθεν αυτής, αυτόματα από τον κώδικα του λογισμικού. Είναι εύκολο να αλλάξει ο τρόπος και να μεταφερθεί η διαχείριση εντός της Βάσης, αρκεί να αντιγραφεί ο κώδικας και να προσαρμοστεί στη λειτουργική μονάδα της Βάσης. Προτιμήθηκε ο πρώτος τρόπος επειδή εξασφαλίζει αφενός αυτονομία στη Βάση, σε περίπτωση που αυτή λάβει ρόλο υπερ-Βάσης μεταξύ περισσότερων συστημάτων, αφετέρου την υποχρέωση των λογισμικών (όπως είναι το *GeoSeism*) να μπορούν να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των άλλων ΓΣΠ. (Ως εκ τούτου, δεν υπήρχε και λόγος προς το παρόν να εισαχθούν στη Βάση *Καλλιπάτειρα* Ερωτήματα όμοια με αυτά που συντάχθηκαν λ.χ. στη *HelGeoRDaS_uTH*).

Ενδεικτικά πλεονεκτήματα του προγραμματισμού με SQL που επιβεβαιώνονται και στον προγραμματισμό του *GeoSeism*, είναι:

- ⊗ Συντάσσει κριτήρια που επιτυγχάνουν πολλαπλές επιλογές και συσχετίσεις των Δεδομένων **μεταξύ διαφορετικών Πινάκων**.
- ⊗ Κατευθύνει **εκτελεστικές Λειτουργίες** αντίστοιχες των Μακροεντολών που διαθέτει το περιβάλλον μιας Access (Σχ. 7.1.2.2.3).
- ⊗ Κατευθύνει τη διαχείριση συστημάτων που βρίσκονται **έξω από το σύστημα** του SQL (Σχ. 7.1.2.2.4), επομένως **αυτοματοποιεί** τη διαλειτουργικότητα των ΓΣΠ.
- ⊗ Κατευθύνει **τα διασυνδεδεμένα Δεδομένα** (όχι μόνον τα αρχεία τους) ώστε να χρησιμοποιούνται **αυτόματα και πολλαπλώς κατά τη ροή** των διαδικασιών μιας μεθοδολογίας. Αυτό εννοεί η καταδήλωση ότι «το λογισμικό *GeoSeism* έχει αναπτυχθεί (ως προς τη μεθοδολογία) με **δομή κατάλληλη να διαχειρίζεται αυτόματα Βάσεις δεδομένων**».

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

PASS4	% of sand pi	% of sand pi	% silt and cl	ClayFactor	w%	LL	PL	PI	φ Triax UU	φ Triax CU	c Triax UU KI	AUSCS	c Triax CU
38.00	33.00	23.00				25.30		18.00 7.3				SC	
56.00	54.00	46.00	33.00			30.90		19.00 11				SC	
55.00	52.00	44.00	28.00			26.00		18.00 8				SC	
80.00	70.00	49.00	33.00			23.00		17.00 6				SM-SC	
96.00	48.00	38.00	27.00			27.00		19.00 8				SC	
74.00	66.00	54.00	36.00	13.4		26.00		15.00 11				SC	
62.00	55.00	42.00	28.00			20.00		16.00 4				SM-SC	
48.00	45.00	38.00	27.00			24.00		17.00 7				SC	
39.00	34.00	27.00	18.00			25.00		17.00 8				SC	
95.00	93.00	80.00	57.00			25.00		16.00 9				SC	
96.00	63.00	50.00	32.00			25.00		18.00 7				SC	
100.00	99.00	87.00	51.00	18.4									
50.00	82.00	65.00	41.00			26.00		19.00 7				SC	
88.00	80.00	59.00	41.00			24.50		16.00 8.5				SC	
89.00	83.00	64.00	45.00			26.00		16.00 10				SC	
89.00	83.00	70.00	52.00			29.00		17.00 12				SC	
95.00	85.00	74.00	56.00	17.2		27.00		17.00 10				SC	
98.00	88.00	68.00	48.00	15.6		27.50		18.00 9.5				SC	
88.00	74.00	55.00	52.00	17.2		23.40		18.00 5.4				ME-CL	
47.00	40.00	27.00	18.00			25.50		18.00 7.5				SC	
99.00	97.00	89.00	70.00			27.70		19.00 8.7				CL	
100.00	98.00	87.00	65.00			29.20		21.00 8.2				CL	
55.00	55.00	38.00	26.00			23.60		17.00 6.6				SM-SC	
87.00	82.00	68.00	46.00			26.00		17.00 9				SC	
88.00	83.00	71.00	50.00			27.00		17.00 10				CL	
98.00	87.00	71.00	50.00	13.1		25.00		17.00 8				CL	

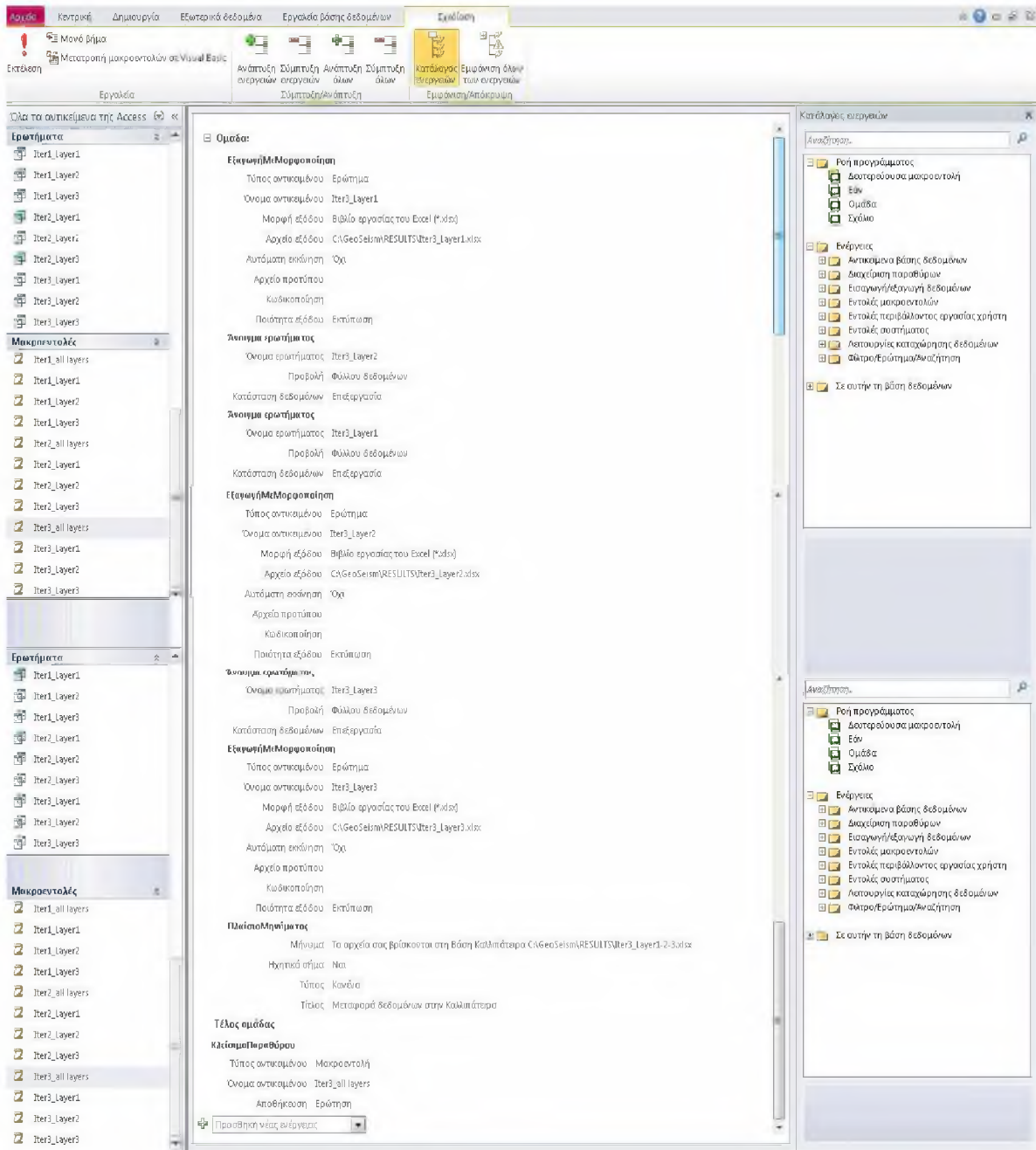
(α)

Roof dept	Base dept	Γεωλογική περιγραφή	Geological description	Clay	Sand	Sandgravel	Schist	Χρώμα του στρώμ.	Colour of the stratum
15.80	17.85	Αμμοειδής άργιλο-λίγες με λίγα	Sandy clay-silt with some gravels	1				Καστανό	Brown
17.85	19.70	Ιλυώδες αμμοχάλικο	Silty sandgravel			3		Λευκό έως γκριζωπό	White to greyish
19.70	34.25	Ιλυώδες αμμοχάλικο με αρακι	Silty sandgravel with large cobbles			3			
0.00	2.00	Αργιλώδης άμμος με χαλίκια	Clayey sand with gravels and builder's rubbish					Καστανό	Brown
2.00	6.00	Ιλυώδες αμμοχάλικο	Silty sandgravel			3		Καστανό έως λευκό	Brown to whitish to grey to
6.00	9.00	Αμμο-λίγες με διάσπαρτα χαλ	Sand-silt with gravels	2				Ανοιχτό καστανό	Light brown
9.00	11.75	Ιλυώδες αμμοχάλικο	Silty sandgravel			3		Καστανό	Brown
11.75	13.80	Ιλυώδες αμμοχάλικο	Silty sandgravel			3		Λευκό έως γκριζωπό	White to greyish
13.80	23.45	Αμμοχάλικο με άργιλο-ιλυώδ	Sandgravel with clay-silty material	1		3		Καστανό	Brown
23.45	34.90	Αμμοχάλικο με ιλυώδες λεπτά	Sandgravel with some small particles material			3		Ανοιχτό γκρι	Light grey
0.00	2.00	Υλικό επικαταμάσεων	Backfill materials						
2.00	4.00	Αργιλώδη αμμοχάλικο	Clayey sandgravel			3		Ανοιχτό καστανό	Light brown
4.00	8.12	Αμμοειδής άργιλος με χαλίκια	Sandy clay with gravels and pieces of limestone in attrition	1				Ανοιχτό καστανό	Light brown
8.12	12.25	Αργιλώδη αμμοχάλικο έως α	Clayey sandgravel and sandy clay with gravels and pieces	1		3		Καστανό	Brown
12.25	13.85	Χαλίκια χωρίς λεπτόκοκο υλ	Gravels without fine aggregate						
13.85	17.30	Χαλίκια αμμοχάλικο και λατί	Gravels sandgravel and pebbles			3			
17.30	22.50	Αργιλικός σχιστόλιθος Στο 19	Clayey schist. In 19-13,45m rock in attrition.				4	Καστανό έως κοκκιν	Brown to reddish
22.50	26.30	Αβυσσολίθος πάρα πολύ απ	Limestone in attrition in 23,90-24,50 24,90-2					Γκρι	Grey
0.00	6.80	Αργιλώδη, σπανιότερα ιλυώδ	Clayey, silty, rarely, sandgravel and sandy clay					Ανοιχτό καστανό	Light brown
6.80	7.00	Κατακεραματισμένος αβυσσ	Limestone with sampling in the form of coa						
7.00	9.00	Πολύ αμμοειδής άργιλος	Sandy clay					Καστανό	Brown
9.00	12.80	Λατίτες, Κροκάλες, τοιακά	Cobbles, sandgravel locally and limestone			3			
12.80	14.30	Αμμοειδής άργιλος με πολλά γ	Sandy clay with many gravels, calcareous...and pieces of	1					
14.30	19.00	Χρησιμοποιημένος αβυσσολίθ	Limestone					Γκρι	Grey
0.00	7.30	Αμμοειδής άργιλος με σποραδ	Sandy clay with gravels rarely	1				Ανοιχτό καστανό	Light brown
7.30	9.95	Αργιλώδη αμμοχάλικα	Clayey sandgravel			3		Ανοιχτό καστανό	Light brown
9.95	17.95	Εναλλασσές χαλίκων και στρώ	Layers of gravels and intercalations of clayey sandgravel			3			
17.95	24.05	Αργιλώδη αμμοχάλικο με στρ	Clayey sandgravel with very sandy clay intercalation at 19	1		3		Καστανό έως κοκκιν	Brown to reddish
24.05	24.80	Αβυσσολίθες, λατίτες με αρα	Calcareous pebbles with clayey-sandy material	1	2			Υπόλευκο	Whitish
0.00	2.10	Αμμοειδής άργιλος με πολλά γ	Sandy clay with many gravels and sandgravels			1		Καστανό έως γκριζω	Brownish to greyish
2.10	6.30	Αβυσσολίθος	Limestone					Λευκό	White
0.00	0.50	Κροκάλες και σπυλάδες-λίμ	Cobbles with clayey-silty sand			7		Καστανό	Brown

(β)

Σχήμα 7.1.2.2.2 Τμήματα δυο Πινάκων της HelGeoRDaS_uTH στα οποία έχουν ανοίξει πτυσόμενα παράθυρα με τα κριτήρια του εργαλείου «Φίλτρα» που διαθέτει το περιβάλλον της Access. (α) Πίνακας Εργαστηριακών δοκιμών (Laboratory tests), (β) Πίνακας Τεχνικο-γεωλογικών δεδομένων (Lithology data).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



(a)

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.


```

Set MyRec5 = MyDb.OpenRecordset("select * from Amplitude_FOURIER order by Count ")
MQry = "select * from Amplified_RESPONSE_of_soil_layers WHERE WhoData = 1 AND Iteration =" & Dokims
MQry = MQry & " AND LayerDepth=" & MyRec1.Fields("LayerDepth")
MQry = MQry & " AND Borehole_number=" & i
MQry = MQry & " AND [Frequency (Hz)]=" & freq
MQry = MQry & " AND [Layer_number]=" & j
Set MyRec = MyDb.OpenRecordset (MQry)

MQry = MQry & " WHERE WhoData = 1 AND BOREHOLE_ID=" & boreholeindex(i) & " AND aa=" & Recaa(i) & "
MQry = MQry & " order by LayerDepth, RecNum"
MQry1 = "SELECT * FROM Equivalent_Linear WHERE WhoData = 1 AND
        BOREHOLE_ID=" & boreholeindex(i) & " order by UpperDepth, LowerDepth,
        LayerDepth, RecNum"
Set MyRec1 = MyDb.OpenRecordset(MQry1)

MQry2 = ""
MQry2 = "select * from Equivalent_Linear_Iterations WHERE Iteration =" & Dokims
MQry2 = "select * from DynamicAmplification_Equivalent_Linear WHERE Iteration =" & Dokims
MQry2 = MQry2 & " AND Borehole_number=" & i
MQry2 = MQry2 & " AND Layer_number=" & j
MQry2 = MQry2 & " AND {[Frequency (Hz)]=" & freq & "}"
MQry2 = MQry2 & " order by [Frequency (Hz)], Count"
Set MyRec2 = MyDb.OpenRecordset(MQry2)

```

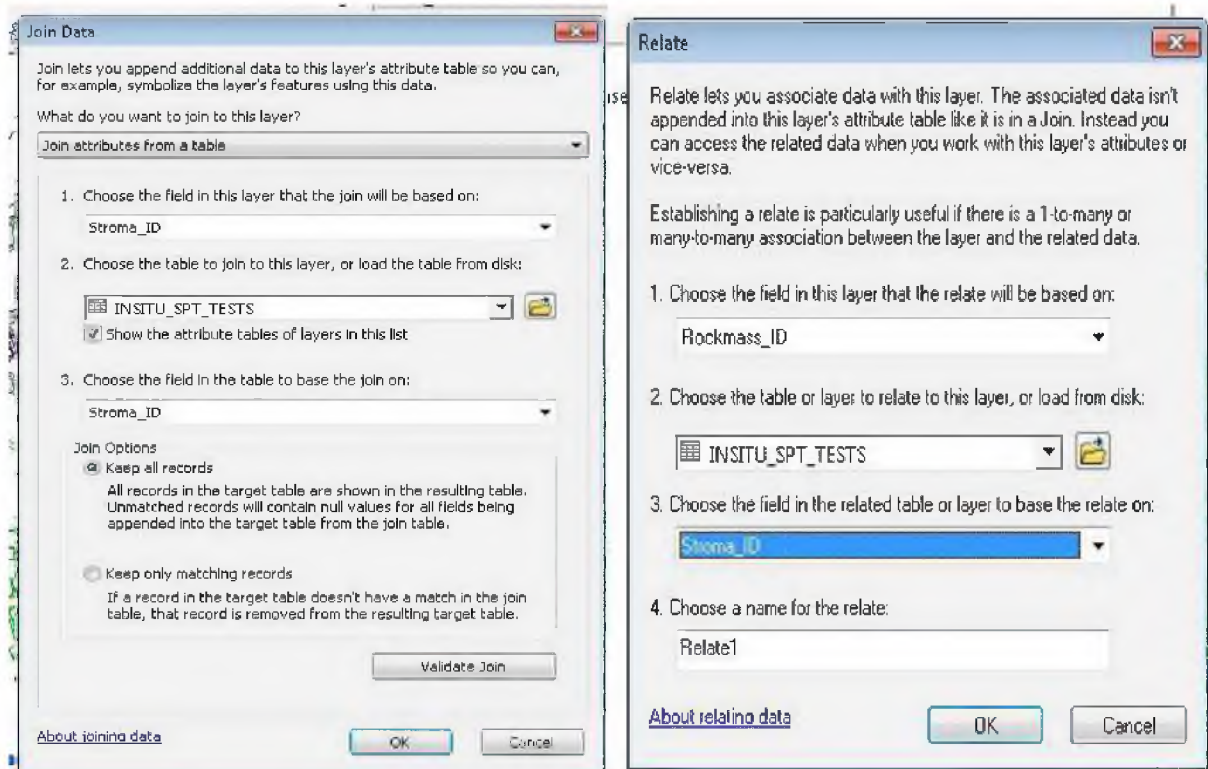
Σχήμα 7.1.2.2.4 Ο προγραμματισμός του GeoSeism γίνεται με SQL ώστε να επιτρέπει τη διαχείριση εξωτερικών μονάδων και συστημάτων, όπως είναι η Βάση Καλλιπάτειρα και HelGeoRDaS_uTH, αντίστοιχα.

(γ) Μέσα στο χαρτογραφικό περιβάλλον της εφαρμογής ArcGIS, η Σύνδεση και Συσχέτιση των περιγραφικών δεδομένων είναι δυνατόν να γίνεται με ανάλογους με πριν τρόπους. Η εισαγόμενη (λ.χ. γεωλογική) πληροφορία αποθηκεύεται στους ειδικούς Πίνακες Περιγραφικών Δεδομένων (ΠΠΔ - Attribute tables) και συνοδεύει έκτοτε αδιαχώρητα τη γεωγραφική πληροφορία του χωρικού χάρτη.

Στο παρόν σύστημα συγκεκριμένα, σε πρώτο βήμα εισάγονται τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων Ερωτημάτων με βάση τις συντεταγμένες και αποθηκεύονται με πινακοποιημένη μορφή στους ειδικούς ΠΠΔ. Ισχύουν τα ίδια για τους γεωτεχνικούς και τους σχεσιακούς κωδικούς που προαναφέρθηκαν. Για παράδειγμα, κάθε εργαστηριακό δείγμα (specimen) συνδέεται με τον κωδικό όνομα που το ταυτοποιεί σε σχέση με το λιθολογικό στρώμα στο οποίο ανήκει, κ.λπ. (Σχ. 7.1.2.2.5).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τελικά σε μορφή χάρτη με διάφορα θέματα. Οι πινακοποιημένες αυτές απαντήσεις των Ερωτημάτων είναι δυνατόν να απεικονίζονται με μορφή διανυσματικών (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) δεδομένων πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα αποτελούμενα από προβολές αλληλοκαλυπτόμενων θεματικών επιπέδων. Πέραν του σχεδιασμού ψηφιακών χαρτών είναι δυνατός κι ο σχεδιασμός ψηφιακών διαγραμμάτων. Ενδεικτικοί τέτοιοι χάρτες για το ΠΣ Βόλου-Ν.Ιωνίας παρατίθενται στη συνέχεια (Ενοτ. 7.2)., αφού συνδεθούν και με τη γεωγραφική πληροφορία κάθε Θέση Έρευνας χωριστά (Ενοτ. 7.1.2.3).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.1.2.2.5 Σύνδεση και Συσχέτιση δεδομένων μέσα στον Πίνακα Ιδιοτήτων που ενσωματώνεται στα λογισμικά χαρτογράφησης (εδώ ArcGIS).

7.1.2.3 Σύνδεση των χωρικών δεδομένων με τη γεωγραφική πληροφορία

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες έχουν μείζονα ρόλο σε μια βάση ΓΣΠ όπως είναι η *HelGeoRDaS_uTH*. Τα Πεδία που περιέχουν τις απόλυτες συντεταγμένες κάθε Θέσης Έρευνας έχουν ρόλο κλειδιών, προκειμένου να συμμετέχουν στη σχεσιακή διασύνδεση όλων των πολυθεματικών δεδομένων μεταξύ τους (Ενοτ. 4.3.2). Η σύνδεση επομένως των περιγραφικών δεδομένων με τη γεωγραφική πληροφορία των ΓΣΠ, περιλαμβάνει τον ορισμό των γεωγραφικών δεδομένων για κάθε Θέση Έρευνας σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς. Η σχετική εργασία της παρούσης έρευνας υλοποιήθηκε στο στάδιο της καταχώρησης δεδομένων. Βοηθήθηκε σημαντικά από το ειδικό χαρτογραφικό περιβάλλον του προγράμματος *ArcGIS*, στο οποίο έγινε προβολή, οπτικός προσδιορισμός και μετασχηματισμοί συντεταγμένων. Σε κάθε Θέση Έρευνας τελικά ορίστηκαν:

- (α) Γεωγραφικές συντεταγμένες -X, -Y, οι οποίες μετρήθηκαν και αποδόθηκαν ενιαία στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87.
- (β) Σχετικά υψόμετρα -Z, τα οποία αποδόθηκαν θεωρώντας μηδενική αφετηρία το επίπεδο της θάλασσας (Παγασητικός κόλπος). Υπολογίστηκαν με κλίμακα κατόπιν

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ψηφιοποίησης του τοπογραφικού (και γεωμορφολογικού) χάρτη της περιοχής της μελέτης.

Αναγκαία εργασία για τον σκοπό αυτό είναι, η γεωαναφορά και ο μετασχηματισμός των υπαρχόντων τιμών συντεταγμένων της Βάσης σε ένα κοινό σύστημα. Τα πιο γνωστά προβολικά συστήματα για την Ελλάδα είναι: ΕΓΣΑ87, HATT, UTM, κ.ά. Επιλέγηκε το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 επειδή είναι εκτενέστερα χρησιμοποιούμενο στον ελληνικό χώρο (Σχ. 7.1.2.3.1).

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των εργασιών που έγιναν για τη σύνδεση γεωγραφικών και περιγραφικών δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθεί χωρική πληροφορία.

Σε πρώτο βήμα, δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο για το εξεταζόμενο Π.Σ. Βόλου – Νέας Ιωνίας (Ενοτ. 7.2 και Πιν. 7.2.7). Περιέχει τις δορυφορικές ψηφιδωτές εικόνες που προσφέρει το περιβάλλον του προγράμματος *ArcGIS* και η διαδικτυακή χαρτογραφία. Στο υπόβαθρο αυτό ενσωματώθηκαν οι ψηφιακοί χάρτες του Σχεδίου Πόλης που χορηγήθηκαν από τις αρμόδιες Υπηρεσίες του Δήμου Βόλου και του (τότε) Δήμου Νέας Ιωνίας. Οι χάρτες έπρεπε να ενωθούν μεταξύ τους. Προηγήθηκε η εργασία του μετασχηματισμού τους στο κοινό σύστημα, επειδή χορηγήθηκαν σε διαφορετικά συστήματα (στο **ευρωπαϊκό σύστημα UTM** ή ED 50 και στο ελληνικό **Προβολικό Γ.Σ.Α ΕΓΣΑ'87**). Περιλάμβαναν ομάδα θεματικών επιπέδων με τοπογραφική και γεωμορφολογική πληροφορία για την επιφάνεια του εδάφους. Από αυτήν εκμαιεύθηκαν τα σχετικά δεδομένα που καταχωρήθηκαν στην *HelGeoRDaS_uTH*. Δηλαδή, εκμαιεύθηκαν οι αριθμητικές τιμές των γεωγραφικών συντεταγμένων (-X, -Y), οι ονοματοθεσίες, τα οικοδομικά τετράγωνα (Ο.Τ.), οι ακτογραμμή, οι θέσεις των χειμάρρων, και όμοια.

Στη συνέχεια, στο χαρτογραφικό υπόβαθρο ενσωματώθηκαν και οι χάρτες των ισοϋψών που χορηγήθηκαν από την Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού), αφού προηγουμένως σκαναρίστηκαν από την αναλογική σε ψηφιακή μορφή. Οι χάρτες αναφέρονταν στο **προβολικό σύστημα Hatt**. Έγινε η γεωαναφορά αυτών στο ΕΓΣΑ'87 προκειμένου να ψηφιοποιηθούν. Η εργασία της ψηφιοποίησης ήταν χειρωνακτική (και σχετικά χρονοβόρα) αλλά εύκολη με τα ειδικά για τον σκοπό αυτό εργαλεία του προγράμματος χαρτογράφησης. Δημιουργήθηκε τελικά και ο διανυσματικός χάρτης με το ψηφιακό μοντέλο της επιφάνειας του εδάφους (Σχ.7.1.2).

Σε επόμενο βήμα, μέσα στο ίδιο παραπάνω χαρτογραφικό υπόβαθρο έγινε εισαγωγή και γεωαναφορά όλων των περιγραφικών δεδομένων για τις (342) Θέσεις Έρευνας της βάσης *HelGeoRDaS_uTH* με τη βοήθεια των συντεταγμένων (γεωγραφικά δεδομένα -X, -Y) τους. Γεωαναφορά είναι η εργασία προσδιορισμού συντεταγμένων και αναφοράς της θέσης ενός

σημείου που αναφέρεται στο ελλειψοειδές. Προηγήθηκε η εργασία του προσδιορισμού και του μετασχηματισμού συντεταγμένων. Οι Συντεταγμένες προσδιορίζουν μονοσήμαντα τη θέση ενός σημείου στο υπόβαθρο. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες είναι οι γραμμικές συντεταγμένες σε ένα από τα ορθοκανονικά συστήματα αξόνων, ενώ οι γεωδαιτικές συντεταγμένες είναι οι δύο γωνίες (λ , φ) που ορίζουν την θέση ενός σημείου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς αναφοράς.

Για τον γεωγραφικό προσδιορισμό των Θέσεων Έρευνας που δεν διέθεταν γεωγραφικές συντεταγμένες χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Θεσιθεσίας μέσω δορυφόρων GPS, ενώ βοήθησαν σημαντικά και οι ντόπιοι πληροφορητές. Έγινε τελικά σχεδιαστική προβολή των σημείων που αντιστοιχούν σε κάθε Θέση Έρευνας πάνω στο υπόβαθρο χαρτών του Π.Σ. Βόλου - Ν. Ιωνίας.

Το περιβάλλον ArcGIS, διαθέτει ειδικά εργαλεία για τον μετασχηματισμό συντεταγμένων σε διάφορα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς (Γ.Σ.Α.), μεταξύ των οποίων αυτά που χρησιμοποιούν εγγενώς οι δέκτες δορυφορικών σημάτων GPS και το καλούμενο ως πρότυπο NMEA (λ.χ. ΕΓΣΑ, WGS84, κ.ο.κ.). Στους μετασχηματισμούς λήφθηκε υπόψη ότι, η αλλαγή προβολικού συστήματος περιέχει εγγενή προβλήματα που σχετίζονται με την πιθανή αλλαγή σχημάτων, μηκών, γωνιών και εμβαδών. Για παράδειγμα, παρότι στο αρχικό προβολικό σύστημα τα άκρα ενός ευθύγραμμου τμήματος και το μέσον του ορίζουν ευθεία, στο μετασχηματισμένο ίσως ορίζουν τόξο. Επίσης, κάθε αλλαγή κλίμακας μεταβάλλει τις ενδείξεις στα μήκη των πλευρών και στα εμβαδά. Οι αλλαγές ίσως είναι αριθμητικώς αμελητέες σε μετασχηματισμό μικρών εκτάσεων. Για να μετατραπούν οι συντεταγμένες που αναφέρονται σε ένα προβολικό σύστημα σε ένα άλλο, υπολογίζεται:

- ⊗ η αλλαγή του datum,
- ⊗ η αλλαγή του δικτύου,
- ⊗ η αλλαγή της προβολής.

Η μαθηματική σχέση, που συνδέει δύο Γ.Σ.Α. είναι δυνατόν να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας προσεγγιστικές σχέσεις (Εξ. 7.1.2.3.1). Οι παράμετροι των σχέσεων αυτών απορροφούν όλες τις διαφορές των συστημάτων. Η ακρίβεια των σχέσεων εκτιμάται μετά τον μετασχηματισμό, από τα υπόλοιπα των συντεταγμένων μεταξύ των σημείων. Για τον Ελληνικό χώρο χρησιμοποιούνται σχέσεις με τιμές γωνιών σε δευτερόλεπτα τόξου, οι οποίες έχουν τη μορφή (Βέης, 1994):

$$\begin{aligned}\varphi_{2..} &= \varphi_{1..} + \alpha_{0..} + \alpha_{1..} * (\varphi_{1^{\circ}-38^{\circ}}) + \alpha_{2..} * (\lambda_{1^{\circ}-24^{\circ}}), \\ \lambda_{2..} &= \lambda_{1..} + \beta_{0..} + \beta_{1..} * (\varphi_{1^{\circ}-38^{\circ}}) + \beta_{2..} * (\lambda_{1^{\circ}-24^{\circ}}),\end{aligned}\quad (7.1.2.3.1)$$

Οι σχέσεις αυτές δύνανται να χρησιμοποιηθούν και σε αντίστροφη φορά, με αλλαγή των προσήμων των παραμέτρων, διότι οι διαφορές μεταξύ αρχικών και τελικών γεωδαιτικών συντεταγμένων είναι πολύ μικρές. Η ακρίβεια που πετυχαίνουν είναι 2 - 4 m μεταξύ των Παλαιού Ελληνικού Γ.Σ.Α. και ΕΓΣΑ, 2 - 3 m μεταξύ των ED50 και ΕΓΣΑ και 1 m μεταξύ των WGS84 και ΕΓΣΑ.

Μετασχηματισμό συντεταγμένων χρειάστηκαν όλα τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από τη Βάση του συστήματος *HelGeoRDaS*, επειδή αναφέρονταν στο τοπικό προβολικό σύστημα των «τριών μοιρών 3^ο» (ΥΠΕΧΩΔΕ). Για τον μετασχηματισμό των συντεταγμένων χρησιμοποιήθηκε (Σχ. 7.1.2.3.1) το λογισμικό *Coords GR* (Συγγρός, έκδοση 1.6.0, 2002). Εκτός από τους μετασχηματισμούς στα παραπάνω Γ.Σ.Α., ο αλγόριθμος αυτός μετασχηματίζει τις συντεταγμένες και μεταξύ των παλαιότερων Ελληνικών προτύπων και του Ε.Γ.Σ.Α. και αντιστρόφως.

Παράμετροι Προσεγγιστικών σχέσεων απευθείας μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων							
από Γ.Σ.Α.	σε Γ.Σ.Α.	α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2
Παλαιό (Bessel)	ΕΓΣΑ	-5.86"	-0.33"	-0.05"	0.28"	0.09"	-0.45"
ED50	ΕΓΣΑ	-13.17"	0.09"	0.07"	-8.15"	-0.11"	-0.03"
WGS84	ΕΓΣΑ	-9.34"	0.02"	0.05"	-6.10"	-0.08"	-0.11"

Σχήμα 7.1.2.3.1 Παράμετροι Προσεγγιστικών σχέσεων απευθείας μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων (Συγγρός, 2002).

Σχήμα 7.1.2.3.2 Εργασία μετασχηματισμού συντεταγμένων από το Προβολικό σύστημα της «Κεντρικής Ζώνης 3^ο (ΥΠΕΧΩΔΕ) ΤΜ3» στο Προβολικό σύστημα του ΕΓΣΑ'87, με τον αλγόριθμο *Coords GR* (ΣΥΓΓΡΟΣ, 1998-2002), στο πλαίσιο πλήρωσης με περιεχόμενο της βάσης *HelGeoRDaS_uTH*.

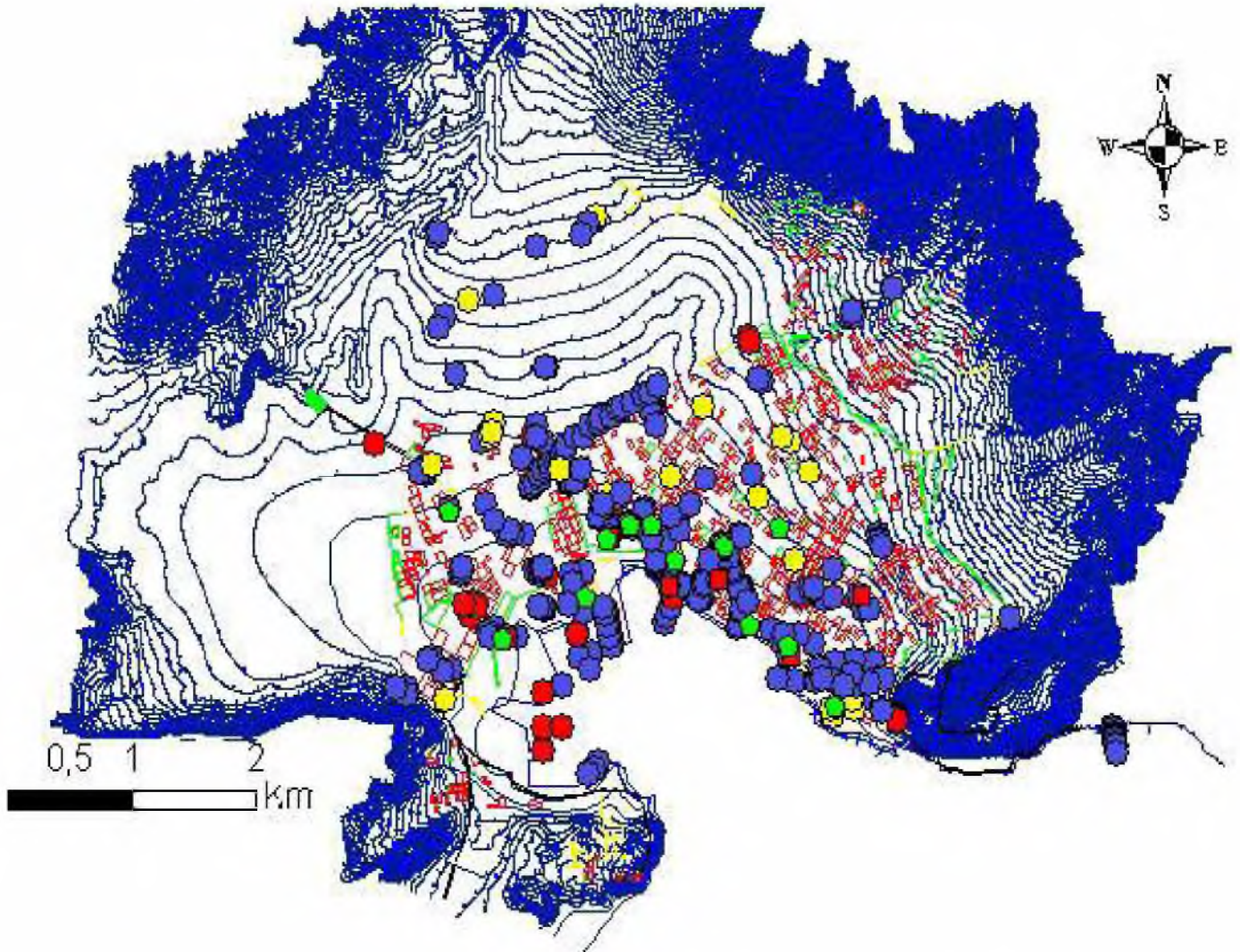
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Από την εμπειρία της εργασίας των μετασχηματισμών, αναφέρονται ως παράδειγμα τα βήματα με τα οποία εκτελέσθηκε ο προσεγγιστικός μετασχηματισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων των 105 Θέσεων Έρευνας από το τοπικό σύστημα στο σύστημα ΕΓΣΑ'87 (Σχ. 7.1.2.3.2) :

- 1ο βήμα - Επιλογή Συστήματος Προέλευσης Δεδομένων.
Επιλογή μεταξύ των Προβολικών συστημάτων: του Hatt [1α], ή της Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής ή των Γεωδαιτικών συντεταγμένων (λ/φ).
- 2ο βήμα - Επιλογή Προβολικού Συστήματος Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής.
Περιλαμβάνει: το σύστημα ΕΓΣΑ'87, τις τρεις Ζώνες (Ανατολική, Δυτική, Κεντρική) τριών μοιρών 3° (ΥΠΕΧΩΔΕ) TM3, τις Ζώνες 4 και 5 του συστήματος Γ.Υ.Σ. (ED50), τις ζώνες 4 και 5 του Παγκόσμιου συστήματος '84 (WGS84).
- 3ο βήμα - Εισαγωγή των συντεταγμένων.
Πληκτρολογούνται οι -X, -Y συντεταγμένες όλων των σημείων στο σύστημα προέλευσης της Κεντρικής Ζώνης 3° (ΥΠΕΧΩΔΕ).
- 4ο βήμα - Σύστημα αποτελεσμάτων και επιλογή συντεταγμένων.
Δηλώνεται το σύστημα ΕΓΣΑ'87. Εφόσον τα δεδομένα είναι αποδεκτά, λαμβάνονται οι -X, -Y συντεταγμένες (όροι E, N, αντίστοιχα, που εννοούν East, North). Επιλέγεται εκείνο το ζεύγος που αντιστοιχεί σε μικρές κλίσεις του εδάφους και αναμένεται να έχει μικρότερη απόκλιση για τη γεωμορφολογία του πολεοδομικού συγκροτήματος της περιοχής μελέτης.

Ακολουθούνται οι γενικές αρχές σχετικά με τα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς (Γ.Σ.Α.), το έντυπο που έχει εκδώσει η Γ.Υ.Σ. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) με τους αντίστοιχους Συντελεστές Μετατροπής, καθώς και τα πρότυπα Γ.Σ.Α. που χρησιμοποιήθηκαν για τους μετασχηματισμούς της παρούσας έρευνας.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα καταχωρήθηκαν στη Βάση *HelGeoRDaS_uTH*. Από το χαρτογραφικό υπόβαθρο που δημιουργήθηκε παρατίθεται ενδεικτικά ο ψηφιακός χάρτης Σχ. 7.1.2 και ο χάρτης του Σχήματος 7.1.2.3.3 όπου πάνω στη γεωμορφολογία του ΠΣ (και της ευρύτερης περιοχής) Βόλου - Ν. Ιωνίας απεικονίζονται γεωγραφικά οι διακριτές Θέσεις Έρευνας που περιλήφθηκαν τελικά στη Βάση.

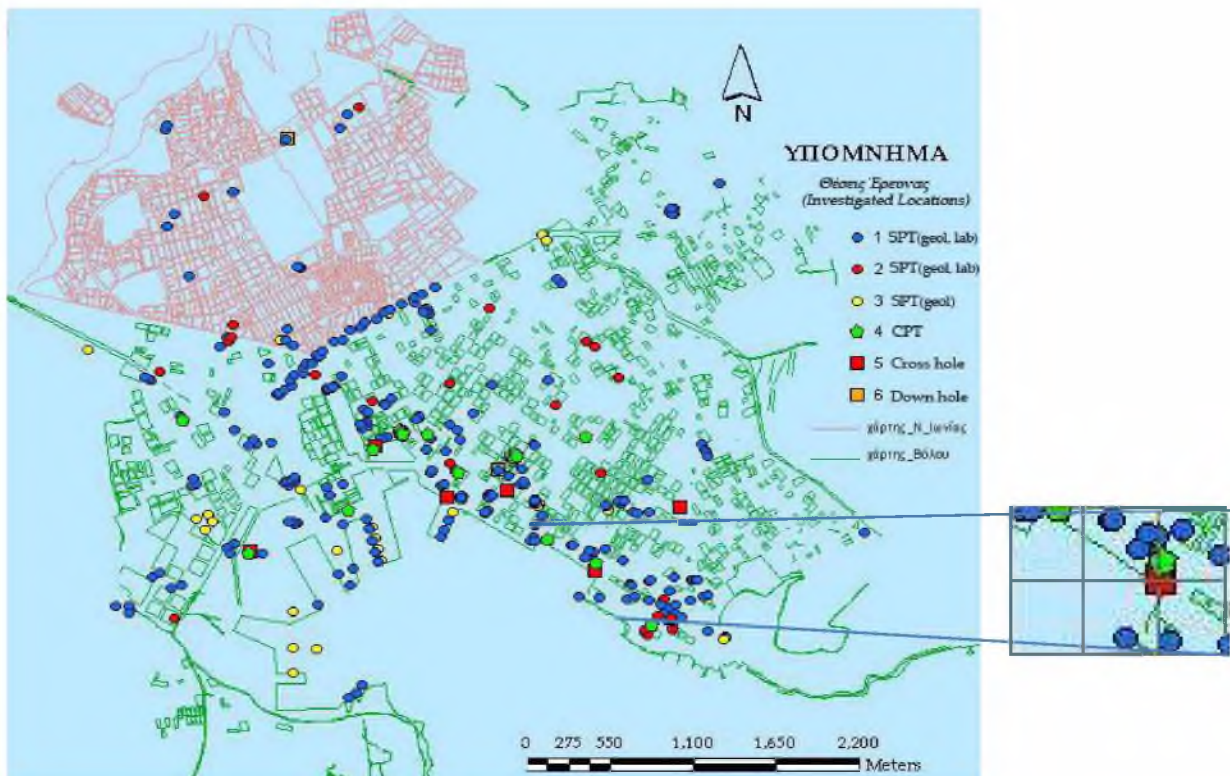


Σχήμα 7.1.2.3.3 Χαρτογραφική προβολή όλων των Θέσεων Έρευνας (διάκριση χρώματος κουκκίδων ανά είδος), όπως περιλήφθηκαν τελικά στη Βάση HelGeoRDaS_uTH.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

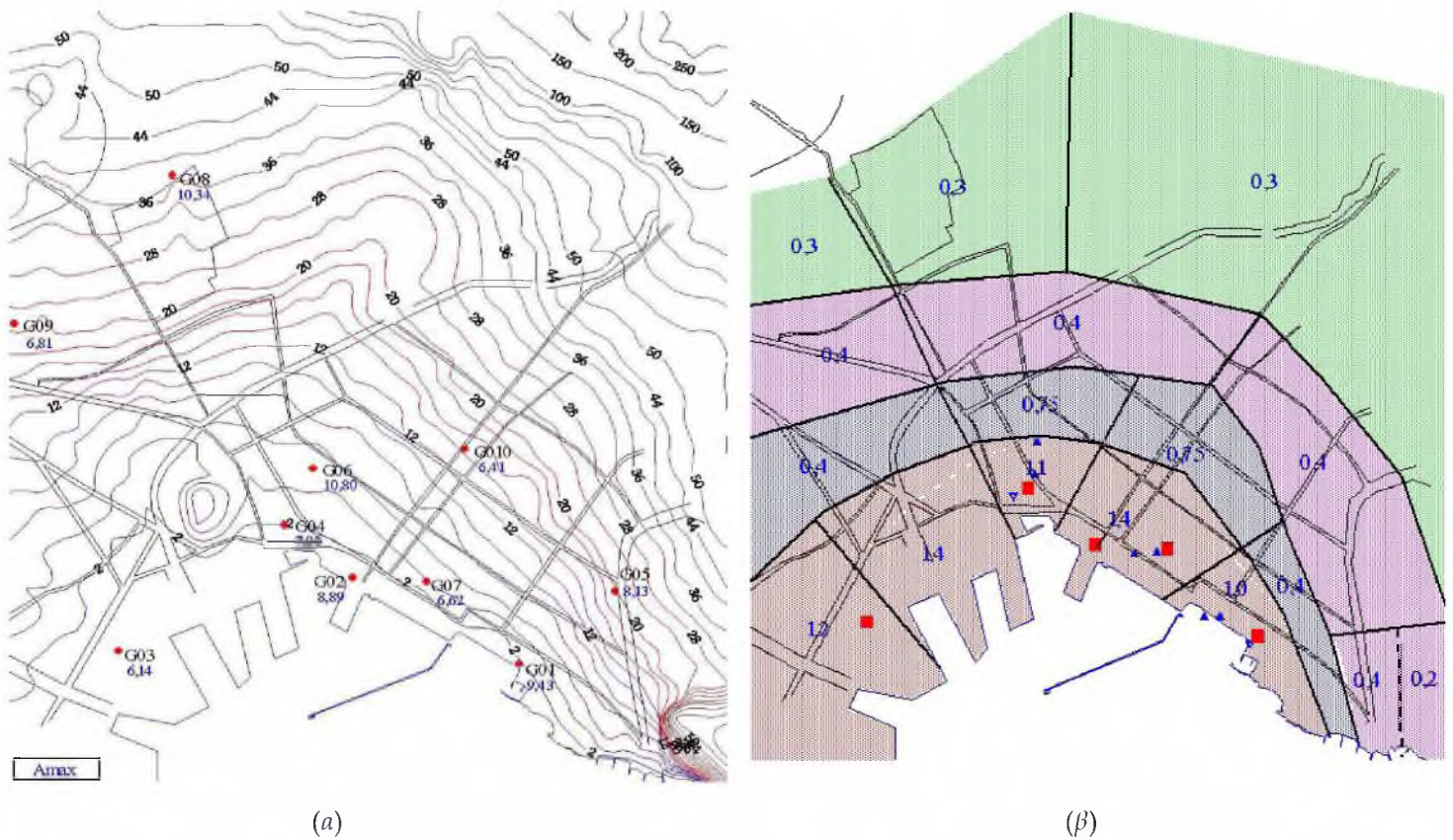
7.2 Πιλοτική εφαρμογή του προγράμματος

Η πιλοτική εφαρμογή του *GeoSeism* έγινε στην πόλη του Βόλου, στα πολεοδομικά συγκροτήματα του Δήμου Βόλου και του πρώην Δήμου Νέας Ιωνίας (Σχ. 7.1). Από την εφαρμογή παρουσιάζεται λεπτομερώς η δυσμενέστερη σεισμικά περιοχή της παραλίας. Η περιοχή εκτείνεται από το διοικητήριο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μέχρι τον ναό του Αγίου Κωνσταντίνου (Σχ. 7.2.1). Σύμφωνα με τη ΜΜ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), η οποία εξέτασε 9 αντιπροσωπευτικές σεισμικές χρονοϊστορίες, στο κομμάτι αυτό αναμένονται οι υψηλότερες ενισχύσεις σεισμικών κραδασμών της παραλιακής ζώνης (Σχ. 7.2.2.a).

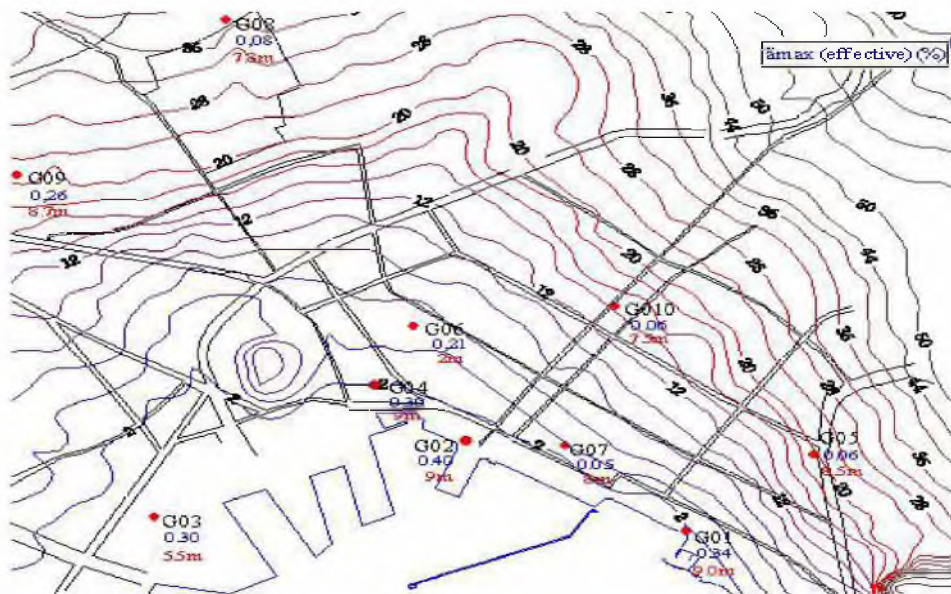


Σχήμα 7.2.1 Αριστερά: Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου (και Νέας Ιωνίας). Δεξιά: Πιλοτική εφαρμογή σε τμήμα της παραλιακής ζώνης του Βόλου (750 m x 500 m), με παρόμοιες εδαφικές συνθήκες (γεωμετρία και ιδιότητες εδαφικών στρώσεων, βάθος υποβάθρου, βάθος υπόγειας στάθμης ύδατος, επιφανειακή τοπογραφία).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.2.2 (α) Συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης (μέσες τιμές) Atax σε δέκα διακριτές Θέσεις Έρευνας του Βόλου. (β) Δεσπόζουσα περίοδος Το των εδαφικών σχηματισμών (μέση τιμή) στις περιοχές με παρόμοια γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα [Τεχνική Έκθεση ΜΜ, Πιτιλάκης και συν., 2000, θέσεις αναλύσεων του Σταδίου Ι].



Σχήμα 7.2.3 Μέσες τιμές των μέγιστων διατμητικών παραμορφώσεων του εδάφους στα επιφανειακά στρώματα (από 0.0 έως - 9 m) [Πιτιλάκης κ. συν., 2000].

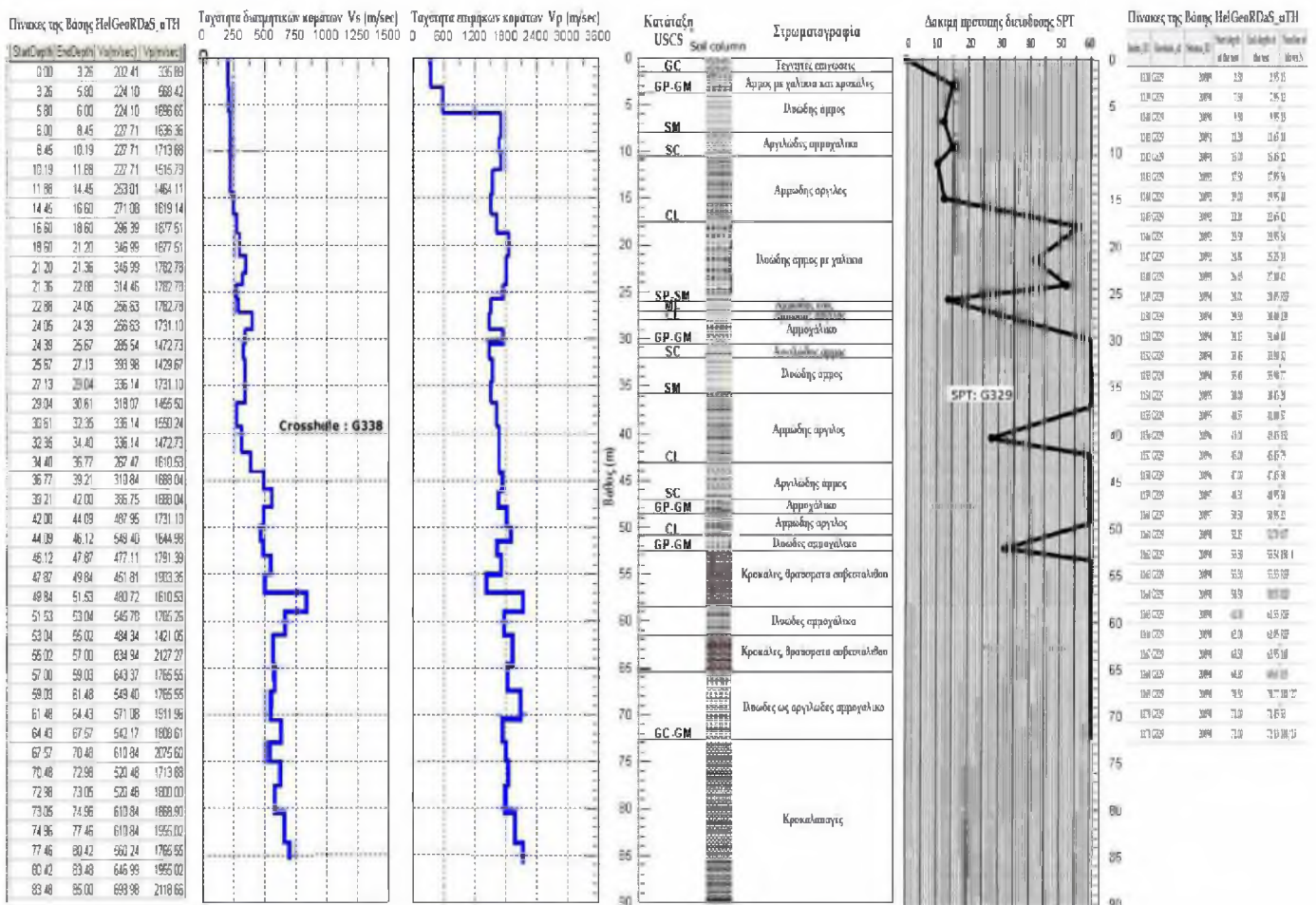
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2017.

Η εξεταζόμενη παραλιακή περιοχή εγγράφεται γεωγραφικά σε έξι τετράγωνα κυψέλες μεγέθους 250 m η καθεμιά. Οι διαθέσιμες στις κυψέλες αυτές Θέσεις Έρευνας (ορισμός Ενот. 4.1.3) της *HelGeoRDaS_uTH* περιλαμβάνουν 15 δοκιμές SPT, 2 δοκιμές CPT και 1 δοκιμές CH, δηλαδή κάλυψη με αναλογία 1 Θέσης ανά 20 στρέμματα. Η πιο αντιπροσωπευτική από αυτές είναι η θέση CH επειδή είναι λεπτομερής και επειδή φτάνει μέχρι το σεισμικό υπόβαθρο. Είναι σημαντικό επίσης το ότι συνοδεύεται και από μια «δίδυμη» SPT που διανοίχθηκε ταυτόχρονα, στοιχείο που βοηθά στην αναγνώριση των γεωτεχνικών ενотήτων της περιοχής (και δηλαδή στον ορισμό γεωτεχνικών κωδικών). Όπως διαπιστώνεται από τα γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα, οι εδαφικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν στη συγκεκριμένη Θέση είναι αρκετά αντιπροσωπευτικοί για την εξεταζόμενη περιοχή, κι έχουν όμοια σεισμική συμπεριφορά. Αυτό επιβεβαιώνεται και με βάση τους γεωτεχνικούς και τους γεωσεισμικούς χάρτες της MM (Σχ. 7.2.2.β).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.2.1 Σχεδιασμός εδαφικών τομών με εφαρμογή της Πυθίας

Ο Σημαιολογικός Διερμηνέας (ΣΔ) εκτελεί τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην Ενότητα 5.2.5. Τα κυριότερα διαθέσιμα δεδομένα για την εξεταζόμενη θέση παρατίθενται στο Σχήμα 7.2.1.1. Οι διαδικασίες που εκτελεί ο ΣΔ περιλαμβάνουν κυρίως: την υποδιαίρεση των εδαφικών στρώσεων σε επιπλέον υπο-στρώσεις, τη λεπτότερη υποδιαίρεση των πρώτων επιφανειακών στρώσεων, την προέκταση της εδαφικής στήλης μέχρι το οιονει-βραχώδες υπόβαθρο, την κατανομή των εργαστηριακών δεδομένων σε καθεμιά υποστρώση, την εκτίμηση ενός εδαφικού χαρακτηρισμού είτε την προσέγγιση ενός εναλλακτικού εδαφικού χαρακτηρισμού, και εν τέλει, την επιλογή των πιο κατάλληλων καμπυλών μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης και της υστερητικής απόσβεσης συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης.



Σχήμα 7.2.1.1 Πολυθεματικά δεδομένα καταχωρημένα στη Βάση HelGeoRDaS_uTH για την Θέση CH και τη «δίδυμη» της SPT. Από αριστερά: Ψηφιοποίηση των δεδομένων σε πίνακα, αναλογικό φύλλο CH (διάγραμμα Vs και Vr με το βάθος), εργαστηριακή κατάταξη εργαστηριακών δεδομένων, (τεχνικο)γεωλογική περιγραφή, φύλλο γεώτρησης SPT σε αναλογική μορφή, ψηφιοποίηση των δεδομένων σε Πίνακα της Βάσης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Το αποτέλεσμα των διαδικασιών είναι μια εδαφική τομή (νοητή, με μορφή όπως στο Σχ. 7.2.1.2) με λεπτές υποδιαίρεσεις εδαφικών στρώσεων και λεπτομερείς τεχνικο-γεωλογικές και γεωτεχνικές ιδιότητες τα κυριότερα τμήματα των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.1 και στον Πίνακα 7.2.2.

Είναι σημαντικό ότι αυτήν την εδαφική τομή το *GeoSeism* επιδιώκει να την κατασκευάζει λεπτομερή και συνθετική. Συνθετική, επειδή συσχετίζει δεδομένα από διαφορετικούς Πίνακες, δηλαδή από διαφορετικού τύπου δοκιμές και δειγματοληψίες. Λεπτομερή, επειδή περιλαμβάνει λεπτές υποδιαίρεσεις των εδαφικών στρώσεων (υπο-στρώσεις) και πολυθεματική εδαφική πληροφορία η οποία εκτείνεται μέχρι και το υποκείμενο οιονειβραχώδες υπόβαθρο. Επίσης, αντιπροσωπεύει μια υποζώνη, όπου οι Θέσεις Έρευνας έχουν όμοια στρωματογραφία και σεισμική συμπεριφορά. Σε αυτά τα δυο έγκειται και η διαφορά της «εδαφικής τομής» από τις καλούμενες ως «1Δ εδαφικές τομές» και από τις «μηκοτομές»¹.

Το όφελος που επιτυγχάνεται με αυτή τη μορφή εδαφικής τομής του *GeoSeism* είναι αφενός ότι μπορεί να εισάγεται απευθείας σε μεθοδολογίες της μονοδιάστατης σεισμικής εδαφικής απόκρισης (σε αντίθεση με τις μηκοτομές) κι αφετέρου ότι μπορεί να εισάγεται απευθείας σε τρισδιάστατη απεικονιστική ανάλυση (λ.χ., *ArcGIS: 3D analyst*).

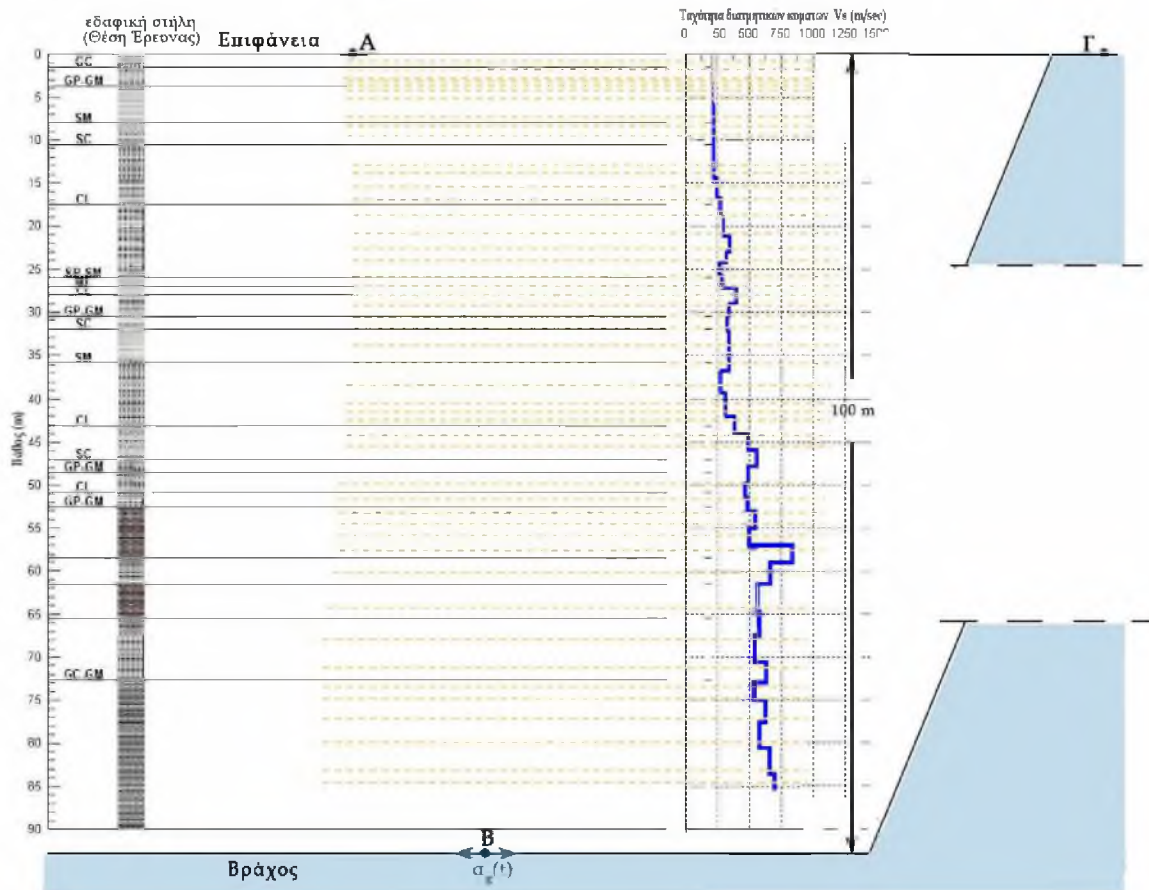
Η εργασία σχεδιασμού εδαφικών προφίλ είναι ιδιαίτερα μακρά αλλά σχετικά απλή για αλγόριθμους. Το πρόβλημα ανακύπτει όταν οι υποστρώσεις δεν έχουν επαρκή δεδομένα. Γι' αυτό, αντί της κεντρικής αριθμητικής μεθοδολογίας του *GeoSeism*, προτιμάται να τη διεξάγει ο Σημαιολογικός Διερμηνέας (ΣΔ) *Πυθία* για τους τρεις κύριους λόγους που αναφέρονται στη φιλοσοφία των διαλειτουργικών ΓΣΠ που προτείνει η παρούσα διδακτορική έρευνα (Ενοτ. 1.1). Η συμβολή του ΣΔ σε αυτό το εγχείρημα, είναι:

Συσχετίζει τα δεδομένα έξι Πινάκων, δηλαδή των CH/DH, των SPT ή CPT, των εργαστηριακών δοκιμών, της τεχνικο-γεωλογικής πληροφορίας και της υδρολογικής πληροφορίας. Εντοπίζει, με τον συσχετισμό αυτό, τις κατά βάθος μεταβολές των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Στα βάθη αυτά υποδιαίρει και από μια νοητή υποστρώση. Το προφίλ φυσικά συμπληρώνεται και με τη στάθμη του υπόγειου ύδατος, τις μέγιστες εποχιακές διακυμάνσεις και με τα απόλυτα υψόμετρα της τοπογραφίας.

Επειδή στην εξεταζόμενη Θέση η γεώτρηση δεν έφθασε έως το σεισμικό υπόβαθρο, το βάθος του υπόβαθρου (ή οιονειβράχου) εκτιμάται με βάση τα γεωλογικά δεδομένα και τη διεθνή πρακτική. Δηλαδή, με βάση την προοδευτική αύξηση της δυσκαμψίας του σχηματισμού με το βάθος, έως μία τιμή $V_s > 750$ m/s.

¹ Η «1Δ εδαφική τομή (ή προφίλ)» είναι η πιο απλή μορφή τομής, απεικονίζει μόνον τις V_s ή και μια στρωματογραφία χωρίς έμφαση σε υποστρώσεις. Χρησιμοποιείται στις μελέτες μονοδιάστατης σεισμικής εδαφικής απόκρισης. Η «μηκοτομή» επιχειρεί να περιγράψει τις αντιπροσωπευτικές εδαφικές συνθήκες αλλά κατά μήκος δυο και περισσότερων υποζωνών. Χρησιμοποιείται συνήθως στις μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, είναι ότι αντιπροσωπεύει μόνον μια υποζώνη.

Το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων είναι αρκετά μεγάλο. Η εδαφική τομή δείχνει επίσης και ποικιλομορφία των εδαφικών σχηματισμών, και την πιθανώς έντονη διαφοροποίηση της γεωμετρίας των εδαφικών στρώσεων (πάχη, κλίσεις, εμφανίσεις κ.α.). Ως εκ τούτου, το πλήθος των υποδιαιρέσεων του εδάφους με όμοια γεωτεχνικά και γεωφυσικά χαρακτηριστικά, κατάλληλος για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης, είναι εξήντα δύο (62) τουλάχιστον.



Σχήμα 7.2.1.2 Η εδαφική τομή στην εξεταζόμενη παραλιακή περιοχή.

Πίνακας 7.2.1 Πίνακας ιδιοτήτων της εδαφικής τομής (*).

Αριθμός στρώσης	Ταξινομήση USCS	Υλικό (**)	Πάχος Στρώσης (m)	Ελαστικό Μέτρο Διάτμησης G_{max} (MPa)	Συνολικό ειδικό βάρος (kN/m ³)	Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (m/sec)	Θέση Υπόγειου Υδάτινου Οριζοντα	Κατακόρυφη ενεργός τάση εδάφους (kPa)
1	GC	11	0.75	73.75	17.66	202.41	W	2.94
2	GC	11	0.75	73.75	17.66	202.41		8.83

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

3	SP-SM	5	0.50	73.75	17.66	202.41	13.73
4	GP-GM	3	1.26	73.75	17.66	202.41	20.64
5	SM	5	0.44	90.39	17.66	224.10	27.31
6	SM	3	0.80	90.39	17.66	224.10	32.18
7	SM	3	1.30	90.39	17.66	224.10	40.42
8		3	0.20	90.39	17.66	224.10	46.30
9	SM	3	1.20	93.33	17.66	227.71	51.80
10	SM	3	1.25	93.33	17.66	227.71	61.41
11	SC	11	0.85	103.70	19.62	227.71	70.48
12		11	0.89	103.70	19.62	227.71	79.02
13	GC	9	0.31	103.70	19.62	227.71	84.91
14	CL	9	1.38	103.70	19.62	227.71	93.20
15	CH	13	0.62	128.03	19.62	253.01	103.01
16	CL	11	1.95	128.03	19.62	253.01	115.61
17	CL	11	2.15	146.97	19.62	271.08	135.72
18		11	0.90	175.69	19.62	296.39	150.68
19	SM	3	1.10	175.69	19.62	296.39	160.49
20	SP-SM	3	2.60	240.80	19.62	346.99	178.64
21		3	0.16	240.80	19.62	346.99	192.18
22	SM	3	1.52	197.77	19.62	314.46	200.42
23	SP-SM	3	1.17	131.71	19.62	256.63	213.61
24	SM	3	0.34	131.71	19.62	256.63	221.02
25	GM	3	1.28	163.07	19.62	285.54	228.97
26		3	0.33	310.43	19.62	393.98	236.86
27	ML	3	1.13	332.27	21.00	393.98	244.80
28	CL	11	0.87	241.88	21.00	336.14	255.99
29		11	1.04	241.88	21.00	336.14	266.68
30	GP-GM	11	1.57	216.57	21.00	318.07	281.28
31	SC	9	1.74	241.88	21.00	336.14	299.80
32	SM	3	2.05	241.88	21.00	336.14	321.01
33	SM	3	1.45	153.14	21.00	267.47	340.59
34	CL	9	0.92	153.14	21.00	267.47	353.85
35	SC	9	2.44	206.84	21.00	310.84	372.65
36	CL	11	2.79	320.19	21.00	386.75	401.91
37	CL	11	1.10	509.69	21.00	487.95	423.68
38	SC	11	0.99	509.69	21.00	487.95	435.37
39	SC	9	2.03	646.14	21.00	549.40	452.27
40	SM	3	1.75	487.29	21.00	477.11	473.42
41	GP-GM	5	0.63	436.98	21.00	451.81	486.73

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

42		9	1.34	436.98	21.00	451.81	497.75
43	CL	9	0.96	518.25	22.00	480.72	511.10
44	GP-GM	5	0.73	518.25	22.00	480.72	521.40
45		5	1.51	668.03	22.00	545.78	535.06
46		5	1.98	526.08	22.00	484.34	556.33
47		7	1.98	1,563.38	22.00	834.94	580.46
48		7	2.03	928.28	22.00	643.37	604.90
49		7	2.45	676.90	22.00	549.40	632.21
50		7	2.95	731.40	22.00	571.08	665.12
51	GM	7	3.14	659.21	22.00	542.17	702.24
52		7	2.91	836.78	22.00	610.84	739.12
53	GC	7	2.10	607.53	22.00	520.48	769.65
54		7	0.40	607.53	22.00	520.48	784.89
55		7	0.07	607.53	22.00	520.48	787.75
56		7	1.91	836.78	22.00	610.84	799.82
57		7	2.50	836.78	22.00	610.84	826.70
58		7	2.96	703.89	22.00	560.24	859.98
59		7	3.06	938.74	22.00	646.99	896.67
60		7	1.52	1,080.05	22.00	693.98	924.59
61		7	11.50	1,080.05	22.00	693.98	1003.94
62		7	3.50	1,080.05	22.00	693.98	1095.37
Βράχος		4		∞	22.02	750.00	1116.70

(*) Οι οριζόντιες γραμμές στον Πίνακα 7.2.1 δείχνουν την οριοθέτηση των εδαφικών στρώσεων σύμφωνα με τις αρχικώς δοθείσες τεχνικο-γεωλογικές περιγραφές, πριν την επεξεργασία.

(**) Στον Πιν. 7.2.1 οι κωδικοί των υλικών παραπέμπουν σε μια από τις καμπύλες που έχουν ήδη αναπτυχθεί στο *GeoSeism* (Πιν. 5.1.5) - οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

7.2.2 Γεωτεχνική ερμηνεία των εδαφικών υλικών με χρήση του ΣΔ Πυθία

Ο Πίνακας 7.2.1 δίνει ένα πρακτικό παράδειγμα για το τι είδους δεδομένα είναι δυνατόν να υπεισέρχονται στον Σημσιολογικό Διεργητέα (ΣΔ) Πυθία. Κάνει επίσης κατανοητό ότι η γεωτεχνική ερμηνεία είναι χρήσιμη για να συμπληρώνει τα δεδομένα που λείπουν και, όπου η συμπλήρωσή τους δεν είναι δυνατή, να τα αναπληρώνει με εναλλακτικούς όρους. Οι εναλλακτικοί όροι μπορεί να είναι μια ή περισσότερες ισοδύναμες (συνθετικές) έννοιες, όπως αυτές του Πίνακα. Παρότι το συγκεκριμένο παράδειγμα δεν είναι ενδεικτικό των περιπτώσεων ανεπάρκειας δεδομένων, η αναγκαιότητα του ΣΔ γίνεται κατανοητή αν υποθεθεί ότι δεν υπάρχουν τα εργαστηριακά δεδομένα της SPT. Τότε, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο ΣΔ θα αποφασίσει με βάση τους Λιθολογικούς κωδικούς και θα καταλήξει

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

τελικώς στον ίδιο στόχο (Πιν. 7.2.2). Δηλαδή, καταλήγει στην επιλογή των ίδιων καμπυλών που θα διάλεγε και με βάση τον εργαστηριακό χαρακτηρισμό (USCS).

Πίνακας 7.2.2 Πίνακας επιλογής κατάλληλων καμπυλών απομείωσης ($G/G_{max} - \xi\% - \gamma\%$) για κάθε υποστρώση του εδαφικού σχηματισμού.

Βάθος (m)	(τεχνητο-) Γεωλογική περιγραφή	Λιθολογικοί Κωδικοί (τους έχει ορίσει η Βάση HelGeoRDαS_μTH)												PI	Εργαστηριακός χαρακτηρισμός USCS	Καμπύλες
		Clay	Sand	Sand gravel	Schist	Marl	Lime stone	Conglomerate	Backfill	Peridotite	Sand stone	Silt	Else			
0.75	Τεχνητές επιχώσεις (Μπάζα).								8					22	GC	11
1.50									8					22	GC	11
2.00	Χαλίκια, κροκάλες και θραύσματα ογκολιθών. Σε βάθος 2,20 ως 2,55		2										12		GP-GM	5
3.26	παρουσία στρώματος καθαρής άμμου.		2										12		SP-SM	3
3.70			2										12		SM	5
4.50			2	3									11		SM	3
5.80			2	3									11		SM	3
6.00	Καστανή ως καστανοκίτρινη ως καστανότεφρη		2	3									11			3
7.20	λυώδης άμμος που σε βάθος 10,00 ως 10,50 μ μεταπίπτει σε αργιλώδες αμμογάλικα.		2	3									11		SM	3
8.45			2	3									11		SM	3
9.30			2	3									11	22	SC	11
10.19			2	3									11			11
10.50			2	3									11	9	GC	9
11.88		1	2											9	CL	9
12.50	Καστανή ως καστανοκίτρινη αμμόδης άργιλος.	1	2											36	CH	13
14.45		1	2											22	CL	11
16.60		1	2											24	CL	11
17.50		1	2													11
18.60			2										11		SM	3
21.20			2										11		SP-SM	3
21.36			2										11			3
22.88	Καστανή ως καθαρή ως λίγο λυώδης άμμος με πολλά χαλίκια		2										11		SM	3
24.05	κατά θέσεις.		2										11		SP-SM	3
24.39			2										11		SM	3
25.67			2										11		GM	3
26.00			2										11			3
27.13	Εναλλαγές καστανής ως καστανοκίτρινης αμμόδους ιλύος και καστανής	1	2										11		ML	3
28.00		1	2										11	26	CL	11

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

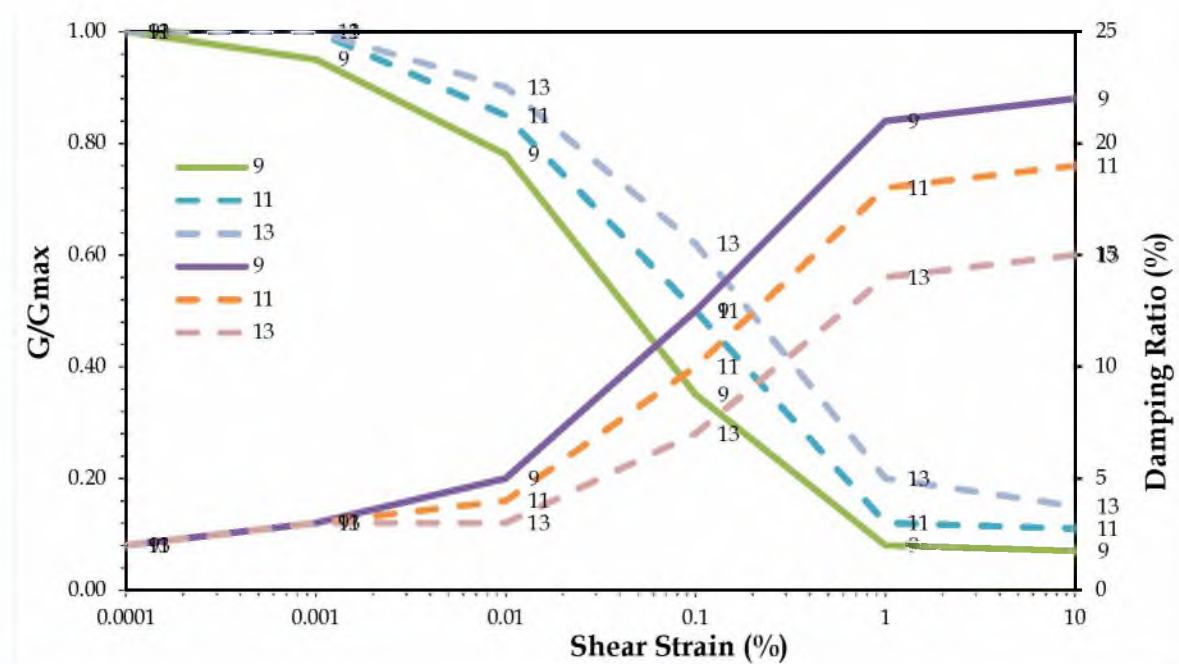
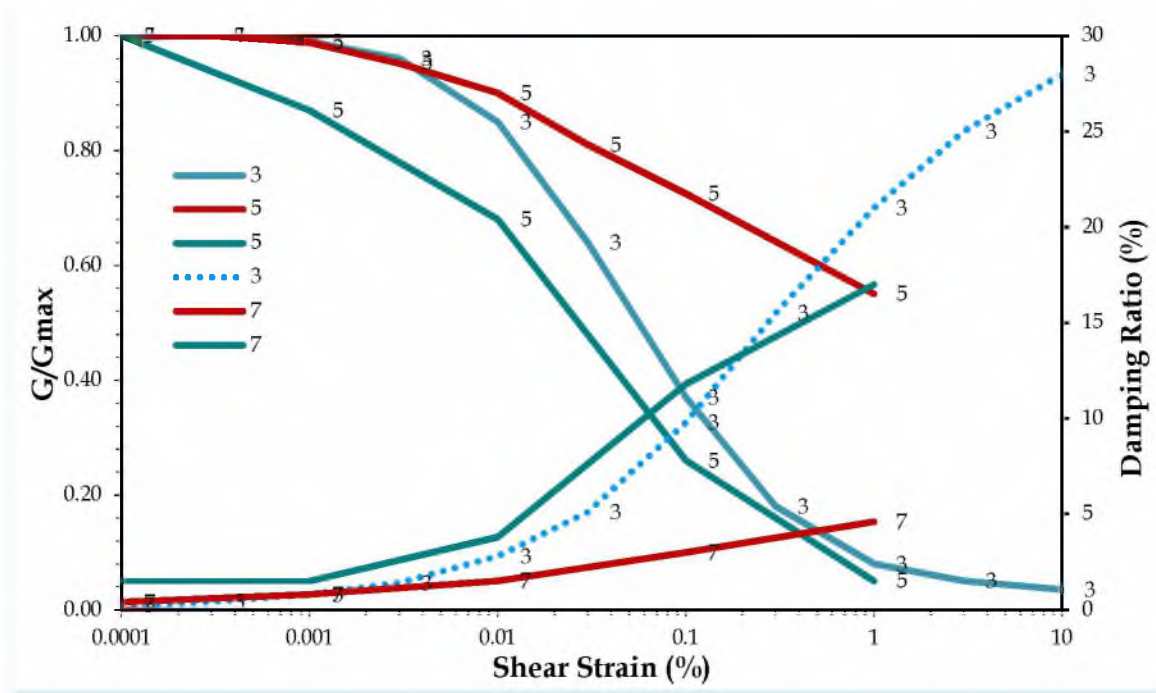
	αργίλου.							
29.04		1	2	3	11			11
30.61	Καστανή ως καστανοκίτρινη λυώδης ως	1	2	3	11	21	GP-GM	11
32.35	αργιλολυώδης άμμος με χαλίκια. Μεταπίπτει σε στρώσεις	1	2	3	11	8	SC	9
34.40	αμμοχάλικου κατά θέσεις.	1	2	3	11		SM	3
35.85		11	2	3	11		SM	3
36.77	Καστανοκίτρινη αμμώδης άργιλος με σποραδικά χαλίκια που σε βάθος 38,10 ως 38,60 μέτρων μεταπίπτει σε αργιλώδη άμμο.	1	2			9	CL	9
39.21		1	2			8	SC	9
42.00		1	2			24	CL	11
43.10		1	2			21	CL	11
44.09	Καστανή αργιλώδης και κατά θέσεις λυώδης άμμος με πολλά χαλίκια.	1	2		11	23	SC	11
46.12		1	2		11	8	SC	9
47.87		1	2		11		SM	3
48.50		1	2		11		GP-GM	5
49.84	Καστανή αμμώδης άργιλος με σποραδικά χαλίκια.	1	2			9		9
50.80		1	2			9	CL	9
51.53		1		3	6	11	GP-GM	5
53.04	Κροκάλες και θραύσματα λευκότεφρου, λίγο αποσαθρωμένου και κερματισμένου ασβεστόλιθου και πράσινου σχιστόλιθου σε εναλλαγές με στρώματα λυώδους ως αργιλώδους αμμοχάλικου.	1		3	6	11		5
55.02		1		3	6	11		5
57.00		1		3	6	11		7
59.03		1		3	6	11		7
61.48		1		3	6	11		7
64.43		1		3	6	11		7
67.57		1		3	6	11	GM	7
70.48		1		3	6	11		7
72.58		1		3	6	11	7	GC
72.98					5	7		10
73.05					5	7		10
74.96	Μέτρια συγκολλημένο ως χαλαρό σύμμικτο ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΕΣ, με ψαμμιτομαργαϊκή συγκολλητική ύλη.				5	7		10
77.46					5	7		10
80.42					5	7		10
83.48					5	7		10
85.00					5	7		10
96.50					5	7		10
100.00					5	7		10

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Για κάθε εδαφική υποστρώση το πρόγραμμα επιλέγει την πιο κατάλληλη καμπύλη - η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση της εδαφικής απόκρισης. Οι διαθέσιμες καμπύλες προέρχονται από πειραματικά αποτελέσματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Για τα μείγματα ειδικά δεν είναι εύκολη η επιλογή. Θα μπορούσαν να επιλέγονται αυτόματα με βάση το ποσοστό αργίλου - άμμου και το PI της αργίλου. Σημαντικό ρόλο πάντως στην επιλογή καμπύλης έχει ο εδαφικός χαρακτηρισμός και ο Δείκτης Πλαστικότητας.

Στο Σχήμα 7.2.2 οι καμπύλες αντιστοιχούν σε:

- 3: «αμμώδη» (G/Gmax - Seed and Idriss, 1970 , ξ% - Idriss, 1990)
- 5: «χαλικώδη» (Rollins et al., 1998, Dakoulas, 2012)
- 7: «βραχώδη» (Seed et al., 1985)
- 9: «αργιλώδη $PI \approx 8$ » (Vucetic and Dobry, 1991)
- 11: « αργιλώδη $PI \approx 22$ » (Vucetic and Dobry, 1991)
- 13: « αργιλώδη $PI \approx 36$ » (Vucetic and Dobry, 1991)



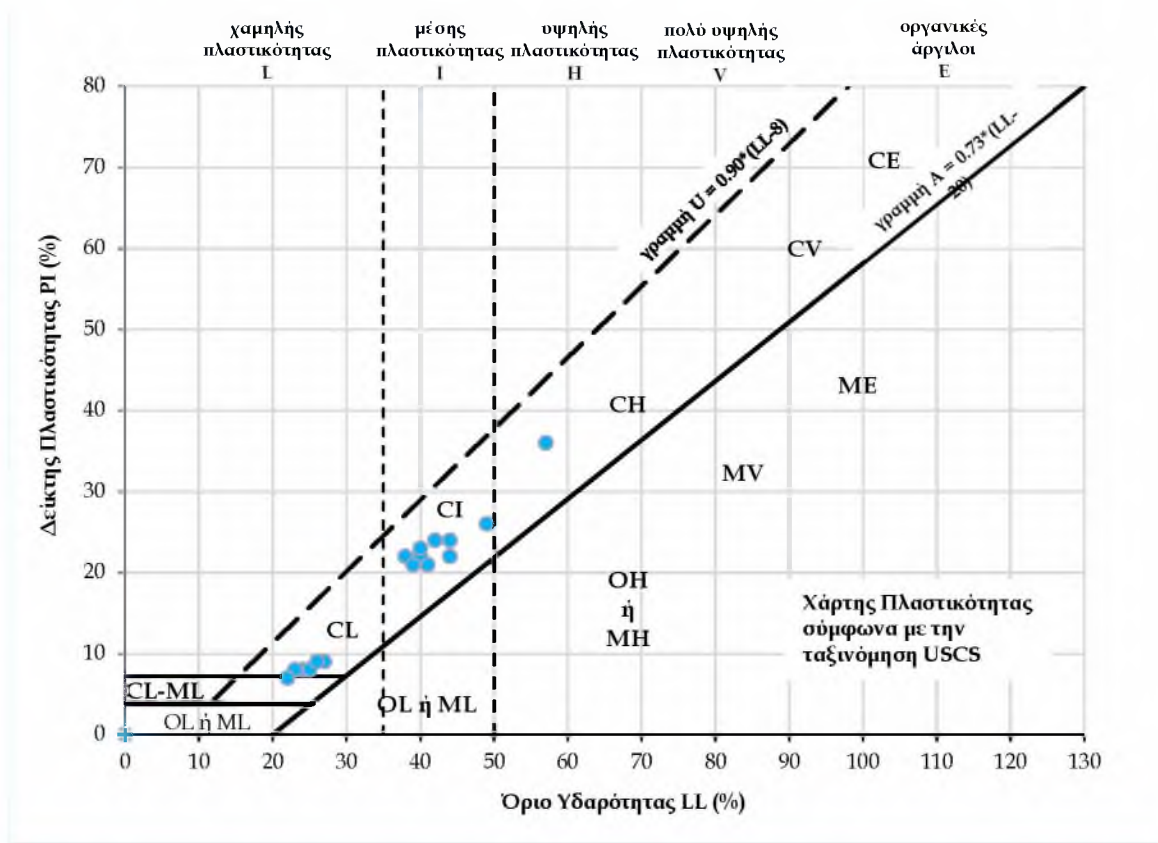
Σχήμα 7.2.2. Μεταβολή του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης, G/G_{max} και λόγου διατμητικής απόσβεσης, DT (%) με τη διατμητική παραμόρφωση, γ (%) για τους έξι (6) διαφορετικούς τύπους εδαφών της εδαφικής τομής (Πιν. 7.2.1).

7.2.3 Γεωτεχνική πληροφορία - Τεχνικογεωλογική περιγραφή

Όπως προαναφέρθηκε, οι εδαφικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην εξεταζόμενη εδαφική τομή εκτείνονται σε αρκετό βάθος και εμφανίζουν έντονη ποικιλομορφία. Για την απεικόνιση με χρήση ΓΣΠ, διακρίνονται τρεις γεωτεχνικές ενότητες (από τα βαθύτερα στρώματα προς τα επιφανειακά):

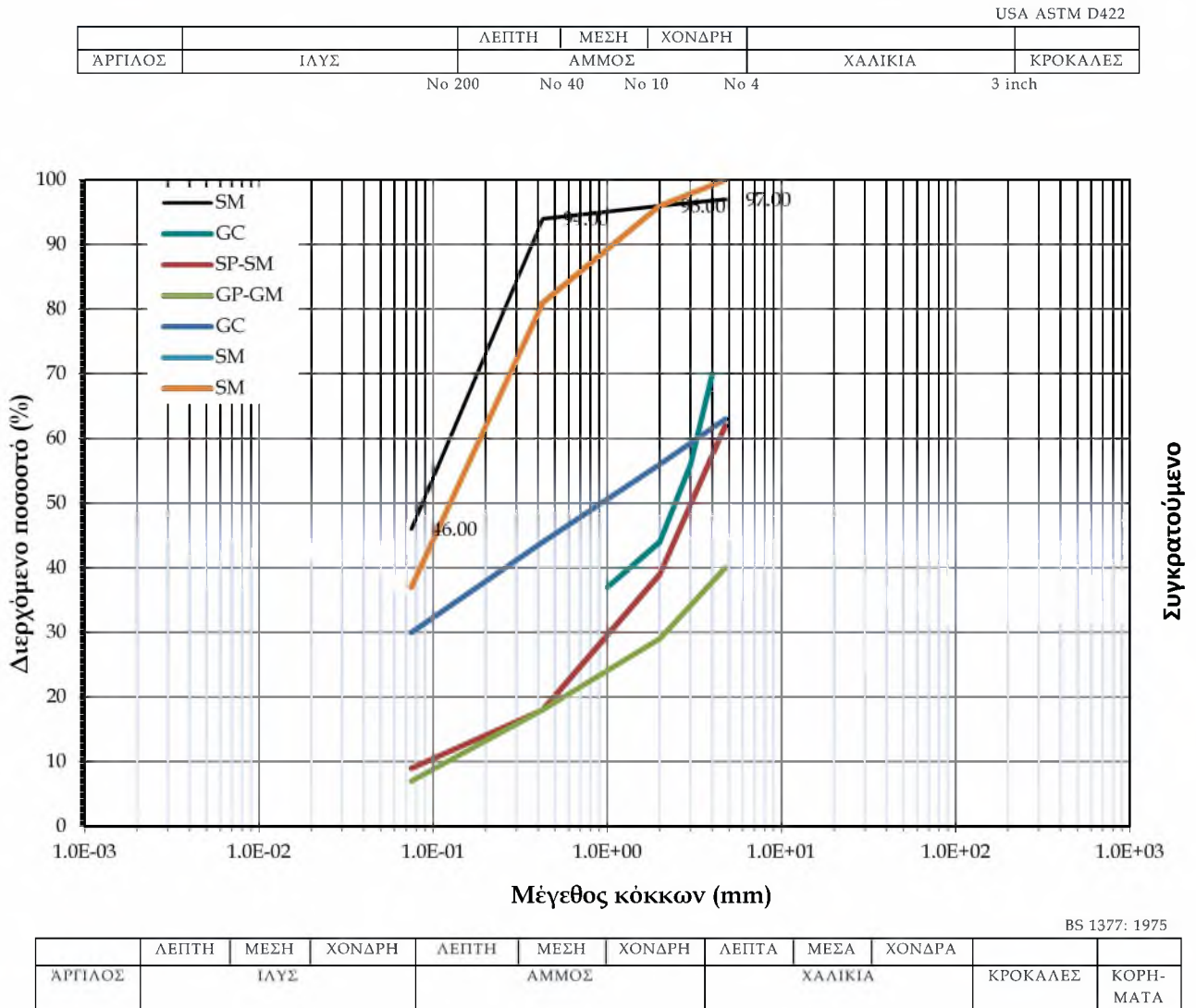
- ⊙ **Γεωτεχνική ενότητα I:** Αποτελεί το αποσαθρωμένο βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Εκτείνεται κάτω από τα επιφανειακά 50 m μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο. Περιλαμβάνει θραύσματα ασβεστόλιθου, λατύπες, ογκολίθους, κροκάλες και πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης ιλυο-αργιλώδη χαλίκια, καλά έως πτωχά διαβαθμισμένα (μέση τιμή N της δοκιμής διείσδυσης > 50) (από GW ως GP-GM, GP-GC και GP).
- ⊙ **Γεωτεχνική ενότητα II:** Αυτή και η επόμενη ενότητα είναι δύσκολο να απεικονισθούν ως εδαφικές οντότητες με χρήση των ΓΣΠ, επειδή είναι δύσκολο να διαχωρισθούν. Η συγκεκριμένη εκτείνεται κάτω από τα 20 m (μέση τιμή $N =$ από 30 ως 50). Περιλαμβάνει πυκνές αποθέσεις, από στρώσεις μέσης συνεκτικότητας έως στιφρής αργίλου χαμηλής πλαστικότητας (CL) και εναλλαγές από μέσης πυκνότητας αποθέσεις αργιλώδους άμμου (SC) και αμμώδους ιλύος (ML) με χαλίκια (GP-GM).
- ⊙ **Γεωτεχνική ενότητα III:** Εκτείνεται σε βάθος μέχρι 20 m. Περιλαμβάνει πιο χαλαρές ενστρώσεις αργιλώδους και ιλυώδους άμμου και αμμώδους αργίλου (μέση τιμή $N < 15$) μικρού πάχους και έκτασης. Οι αποθέσεις αυτές είναι πολύ πρόσφατες θαλάσσιες επιφανειακές αποθέσεις, άμμων και επιφανειακών συγκεντρώσεων θαλάσσιων ιλύων που βρίσκονται παραλιακά στις ακτές της πόλης και οφείλουν την ύπαρξή τους στην δράση των κυμάτων.
- ⊙ **Γεωτεχνική ενότητα IV:** Είναι ο υπερκείμενος ορίζοντας το πάχος του οποίου δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο, περίπου 3 - 5 m. Αποτελείται από επιφανειακές επιχώσεις από τεχνητές (ανθρωπογενείς) αποθέσεις που έχουν μικρό πάχος και τυχαία σύσταση λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών και, από κάτω, από χαλαρή άμμο με χαλίκια και κροκάλες κυρίως.

Ακολουθεί πιο παραστατική περιγραφή των υλικών με διαγράμματα.



Σχήμα 7.2.3.1 Κατάταξη των υλικών της εδαφικής τομής σύμφωνα με τα όρια Atterberg.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

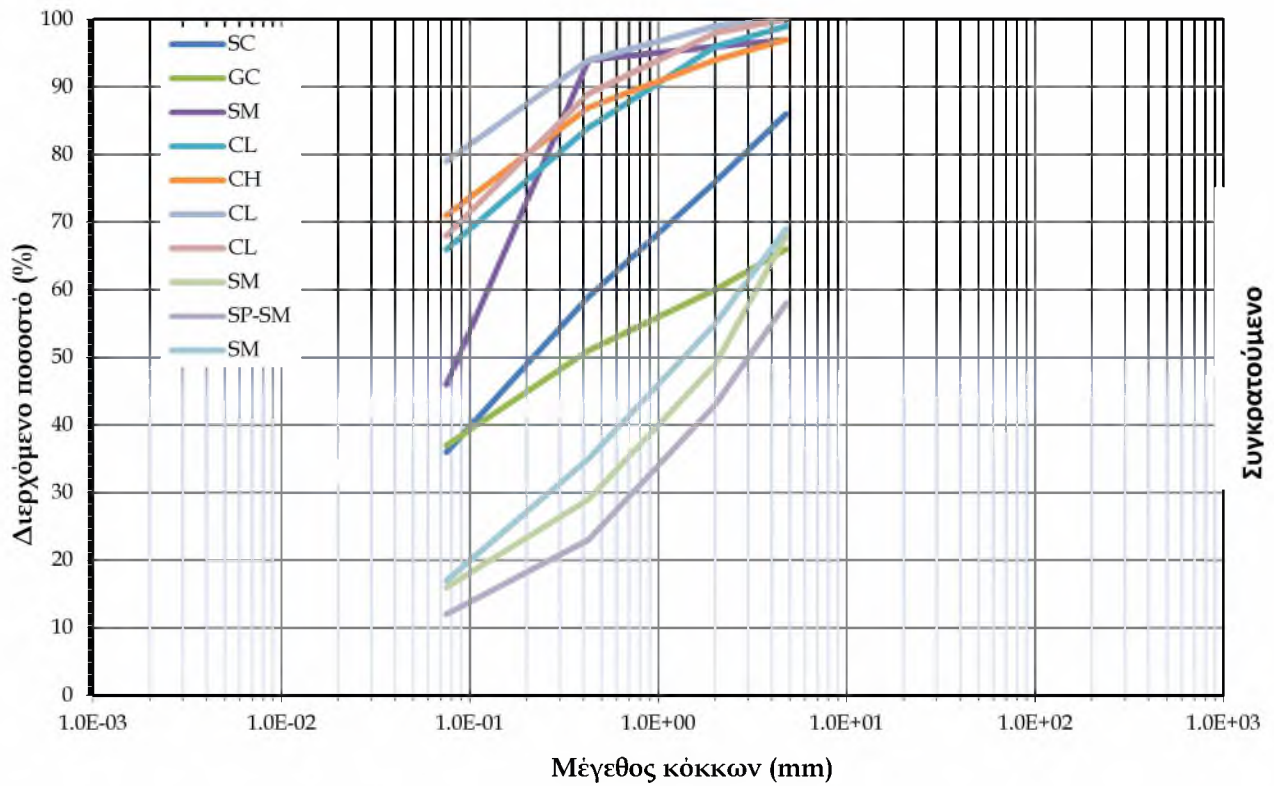


Σχήμα 7.2.3.2.α Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας IV της εδαφικής τομής.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

SA ASTM D422

		ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ		
ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ
		No 200	No 40	No 10	No 4	3 inch



BS 1377: 1975

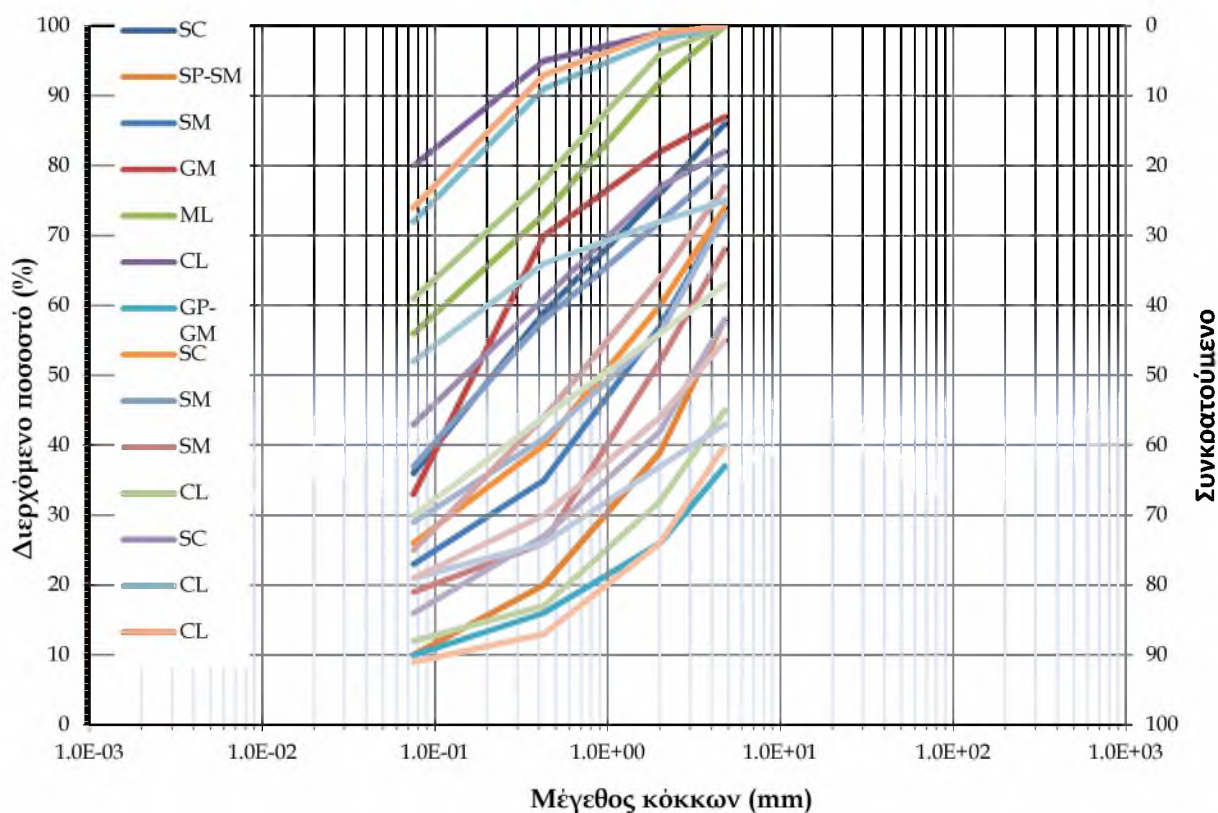
	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΑ	ΜΕΣΑ	ΧΟΝΔΡΑ		
ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ			ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ			ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΟΡΗ-ΜΑΤΑ

Σχήμα 7.2.3.2.β Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας III της εδαφικής τομής.

USA ASTM D422

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

		ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ		
ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ	ΚΡΟΚΑΛΕΣ
		No 200	No 40	No 10	No 4	3 inch

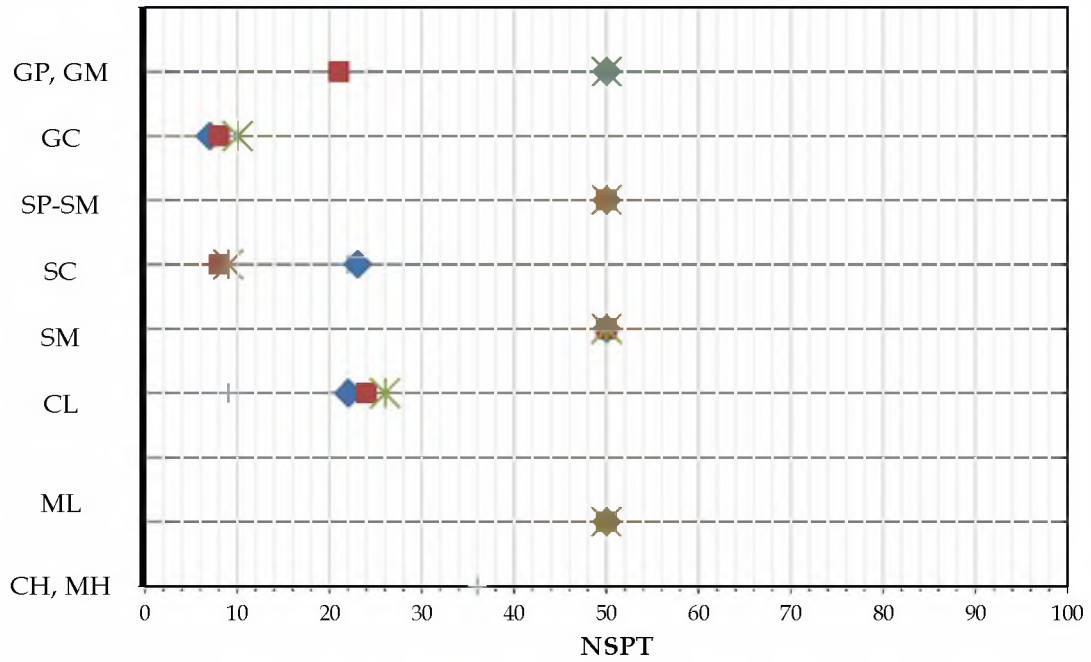


BS 1377: 1975

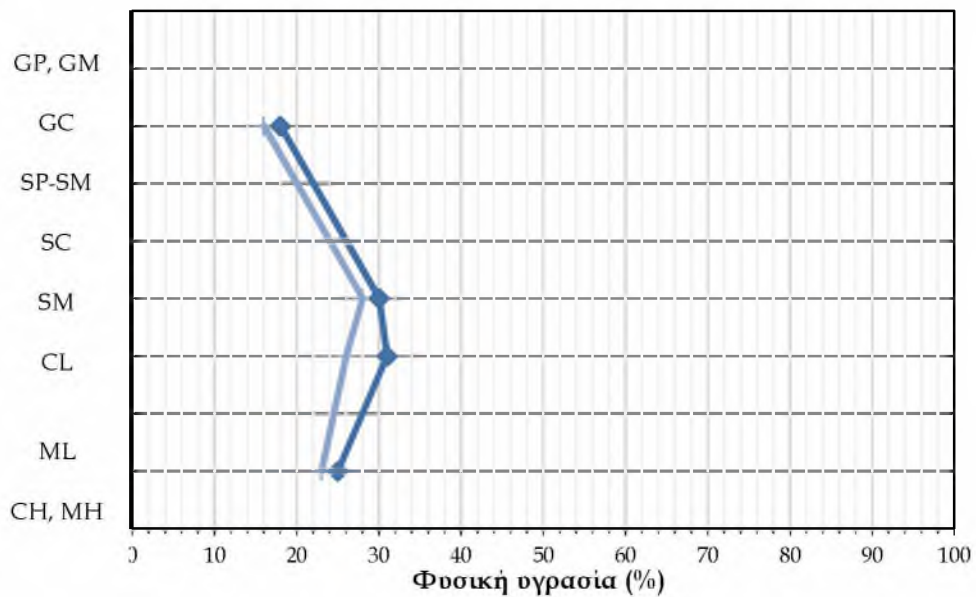
	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΗ	ΜΕΣΗ	ΧΟΝΔΡΗ	ΛΕΠΤΑ	ΜΕΣΑ	ΧΟΝΔΡΑ		
ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ			ΑΜΜΟΣ			ΧΑΛΙΚΙΑ			ΚΡΟΚΑΛΕΣ	ΚΟΡΗ-ΜΑΤΑ

Σχήμα 7.2.3.2.γ Κοκκομετρική ταξινόμηση των υλικών της γεωτεχνικής ενότητας II της εδαφικής τομής.

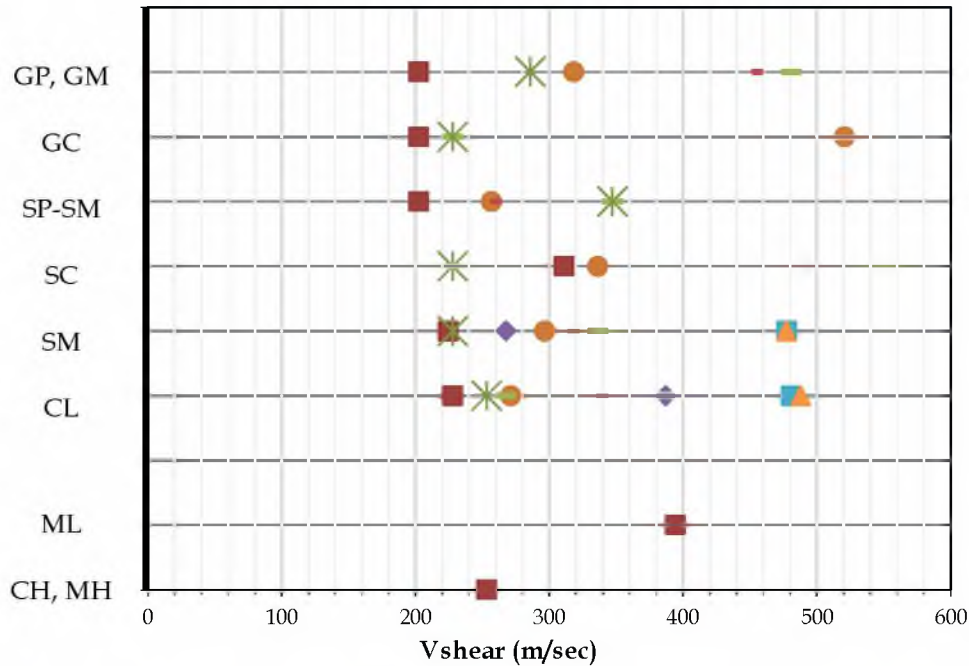
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.2.3.3 Αποτελέσματα της Δοκιμής διείσδυσης των υλικών της εδαφικής τομής.

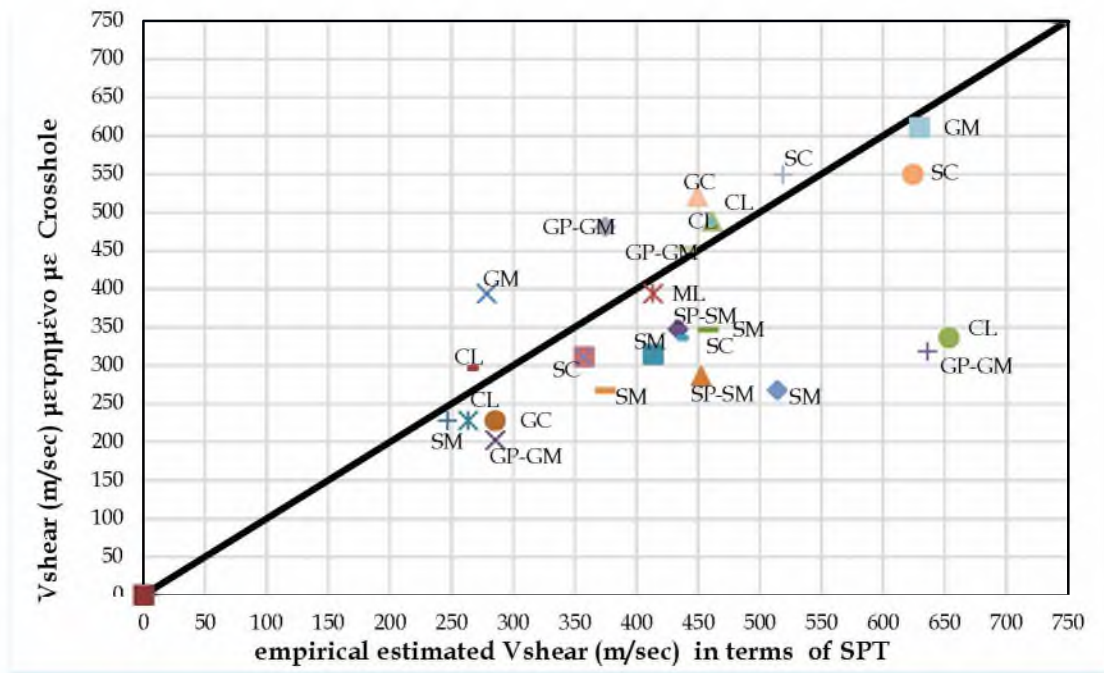


Σχήμα 7.2.3.4 Στατιστική επεξεργασία της φυσικής υγρασίας $W\%$ των υλικών της εδαφικής τομής.

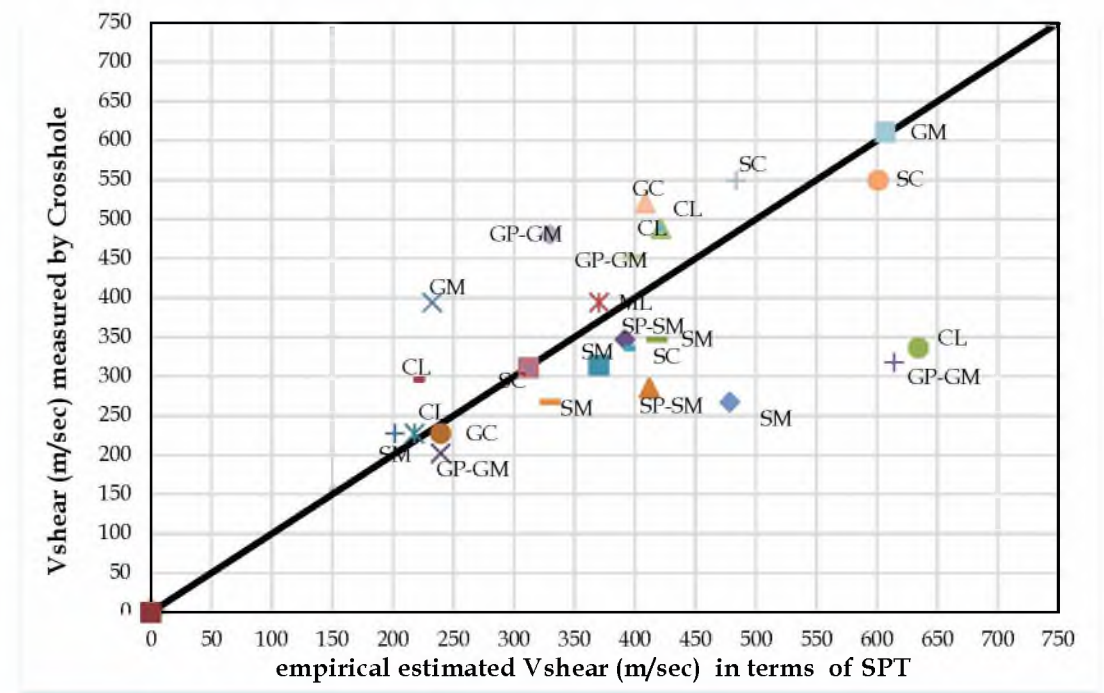


Σχήμα 7.2.3.5 Στατιστική επεξεργασία του αριθμού κτύπων N30 της πρότυπης δοκιμής διείδουσης των υλικών της εδαφικής τομής

Διάφορες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_{sh} (m/s) συναρτήσει του αριθμού κτύπων N30-SPT δοκιμάσθηκαν στην εξεταζόμενη εδαφική τομή. Παρατίθενται γραφικά εκείνες με την καλύτερη σύγκλιση (Σχ. 7.2.3.6 ως Σχ. 7.2.3.7) ή λόγω της ανομοιομορφίας των εδαφικών υλικών, οι γενικές σχέσεις είναι πιο κατάλληλες. Τα αποτελέσματα για όλα τα υλικά της εδαφικής τομής συγκλίνουν περισσότερο όπου NSPT < 50 στοιχείο που ισχύει συνήθως στις εδαφικές στρώσεις των επιφανειακών 30 m.



Σχήμα 7.2.3.6 Στατιστική επεξεργασία μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης ταχύτητας διατμητικών κομάτων V_s (m/sec) των υλικών της εξεταζόμενης εδαφικής τομής: Εμπειρική σχέση Αθανασόπουλος (1994) για όλους τους τύπους εδάφους.

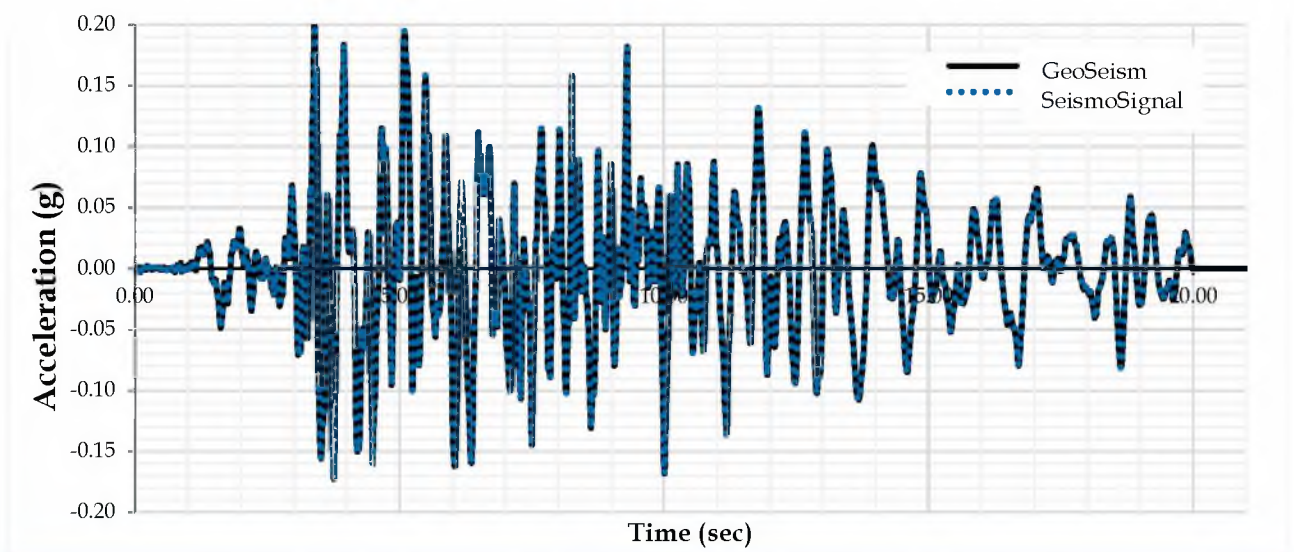


Σχήμα 7.2.3.7 Στατιστική επεξεργασία μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης ταχύτητας διατμητικών κομάτων V_s (m/sec) των υλικών της εξεταζόμενης εδαφικής τομής: Εμπειρική σχέση Καλτεζιώτης και Σαρπατάκης και Βασιλείου (1992) για όλους τους τύπους εδάφους.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.2.4 Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως εισαγόμενη διέγερση

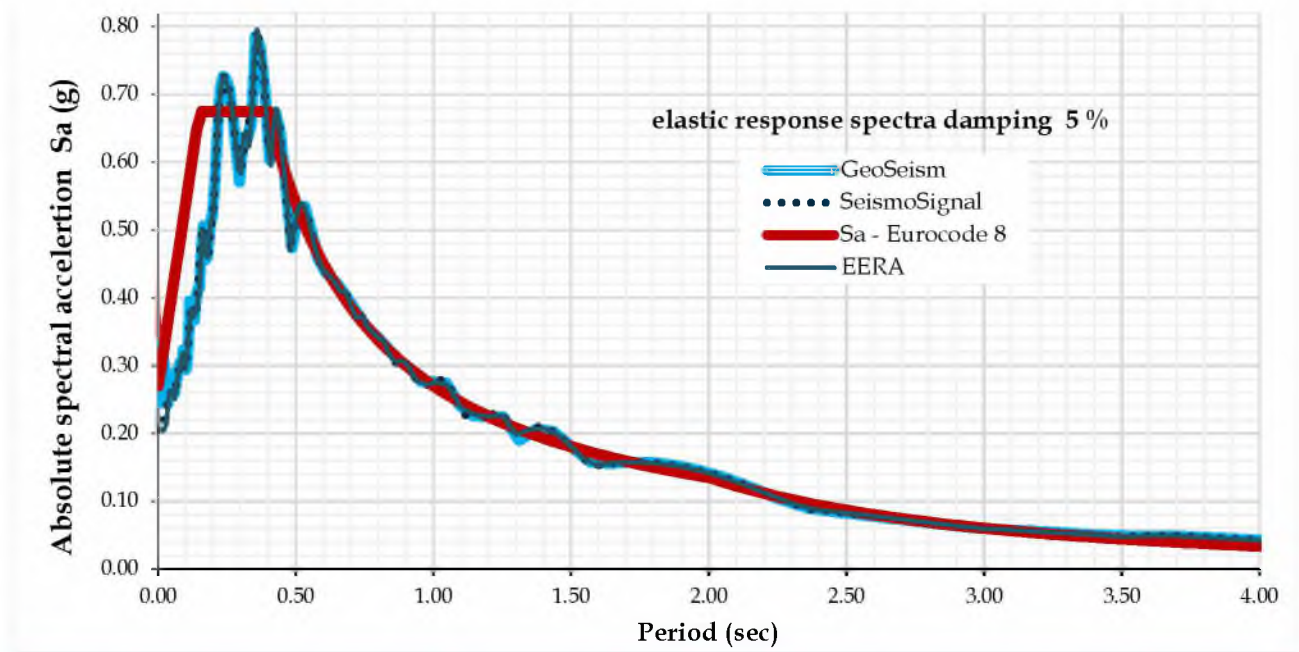
Η επιβαλλόμενη εξωτερική διέγερση είναι μια καταγραφή σεισμού της Λευκάδας (του 2003) εκφρασμένη σε όρους χρονοϊστορίας επιτάχυνσης (Σχ. 7.2.4.1). Το αρχικό επιταχυνσιογράφημα υποβλήθηκε σε διόρθωση γραμμής βάσης (baseline correction) με το πρόγραμμα *SeismoSignal*. Η διόρθωση αυτή του επιταχυνσιογραφήματος γίνεται διότι κατά κανόνα είναι άγνωστες οι τιμές της αρχικής ταχύτητας και μετατόπισης, και συνεπώς κατά την ολοκλήρωση της επιτάχυνσης με μηδενικές αρχικές συνθήκες είναι δυνατόν να προκύψει σημαντική στρέβλωση στις χρονοϊστορίες της ταχύτητας και μετατόπισης.



Σχήμα 7.2.4.1 Σεισμική επιτάχυνση χρησιμοποιούμενη ως διέγερση σε συνθήκες αναδύμενου βράχου, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoSignal*, σχεδιασμένο και με το *GeoSeism*.

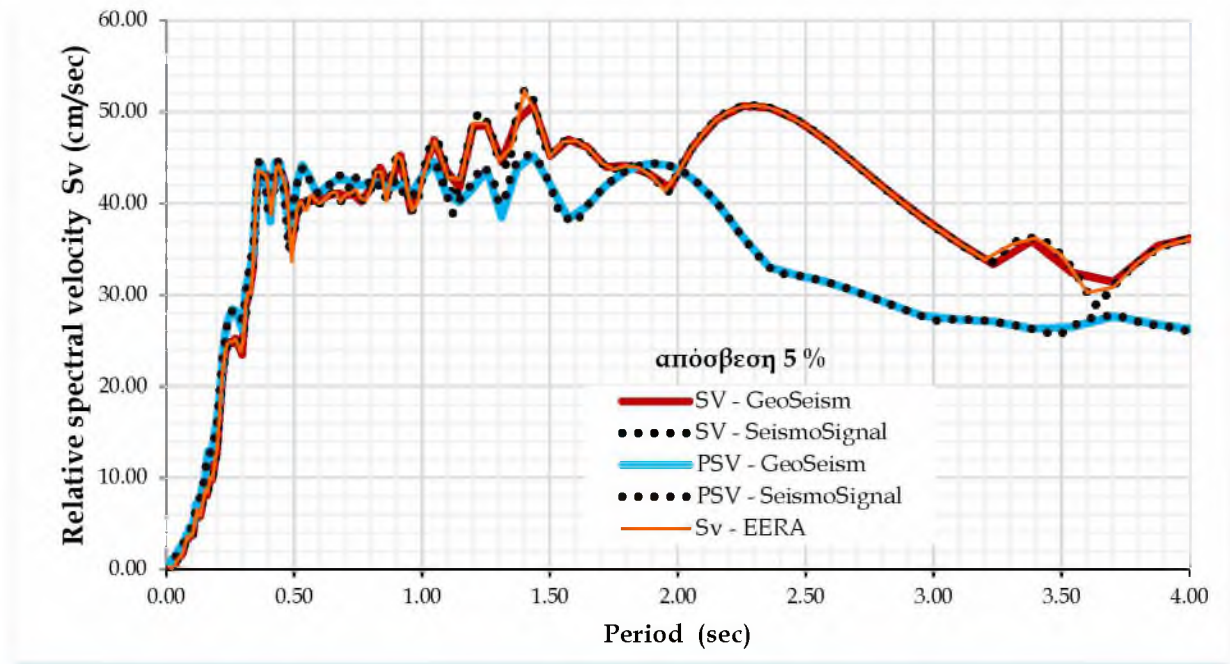
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Λήφθηκε επίσης υπόψη η εκτίμηση 0.27 g της MM (βλ. Ενот. 7.2.5) για τη μέγιστη αναμενόμενη επιτάχυνση σε επιφανειακό βράχο. Στην συνέχεια έγινε αναγωγή του επιταχυνσιογραφήματος ώστε το φάσμα απόκρισης να προσεγγίζει το φάσμα του Ευρωκώδικα 8 για βράχο με χρήση του προγράμματος *SeismoMatch*. Μετά τη διόρθωση αυτή, το φάσμα της πλησιάζει εκείνο του Ευρωκώδικα για βραχώδες έδαφος (Σχ. 7.2.4.2). Σημειώνεται ότι η δεύτερη διόρθωση μεταβάλλει σε κάποιο βαθμό την τιμή της μέγιστης επιτάχυνσης (0.27 g), όμως θεωρείται ότι η ίδια η διόρθωση είναι πολύ πιο σημαντική από την ακριβή τιμή της μέγιστης επιτάχυνσης.

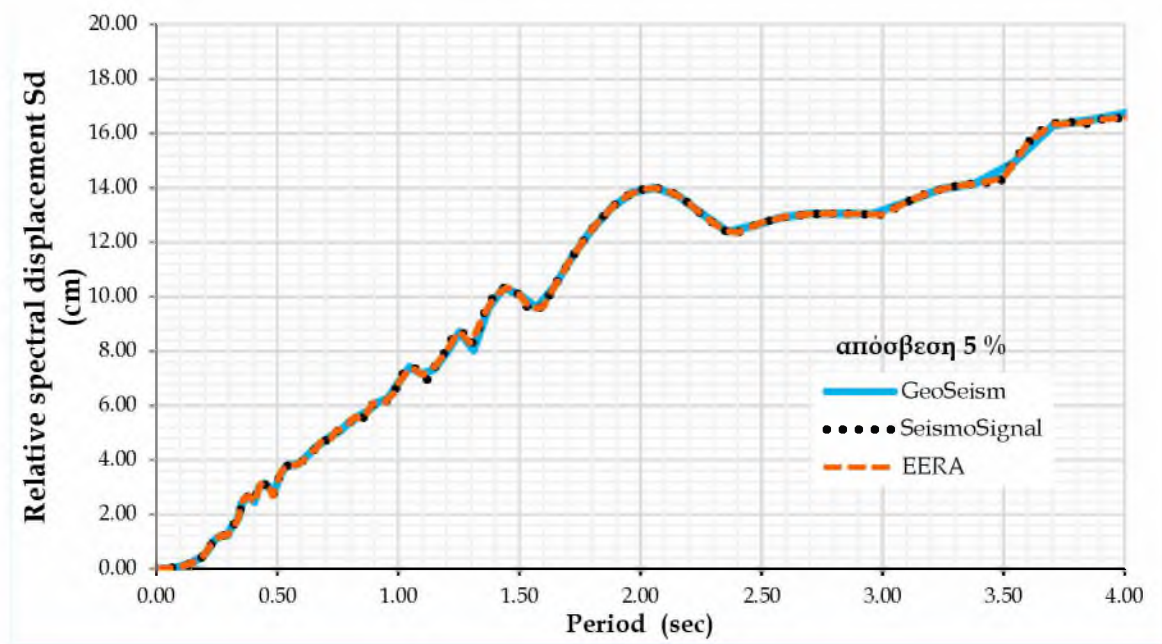


Σχήμα 7.2.4.2 Ελαστικό φάσμα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους επιταχύνσεων για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό *SeismoMatch*.

Παρατίθενται και τα υπόλοιπα σχετικά ελαστικά φάσματα (Σχ. 7.2.4.3, Σχ. 7.2.4.4) που αντιστοιχούν στην θέση Γ της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2).



Σχήμα 7.2.4.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους σχετικής ταχύτητας και ψευδοταχύτητας για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό SeismoSignal..



Σχήμα 7.2.4.4 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους σχετικής μετατόπισης για τον σεισμό της Λευκάδας, διορθωμένο κατά EC8, υπολογισμένο με το λογισμικό SeismoSignal.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.2.5 Σεισμική εδαφική Απόκριση

Ο Βόλος εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II (ΕΑΚ2003) με επιτάχυνση σχεδιασμού 0.24 g σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2003.

Για την εξεταζόμενη εδαφική τομή (Σχ. 7.2.1.2), η ανάλυση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης του *GeoSeism* (Άρτεμις) μετά την τρίτη επαναληπτική δοκιμή έδωσε τελικά αποτελέσματα τα οποία συνοπτικά παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.

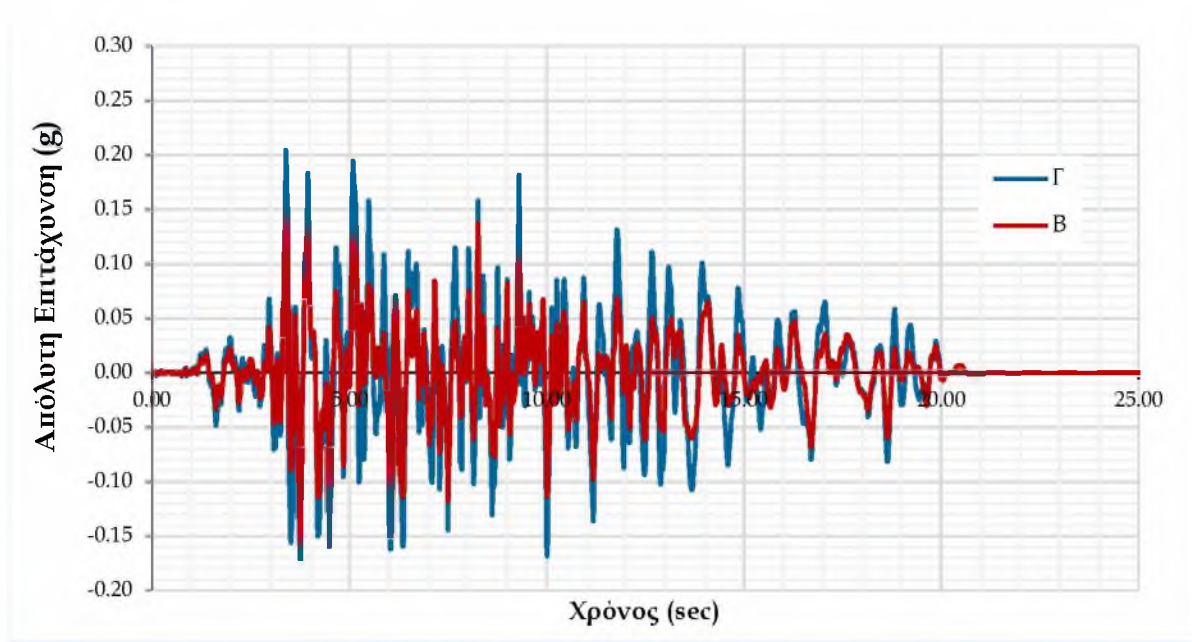
Σημειώνεται σχετικά ότι, το επίπεδο της ενεργού διατμητικής παραμόρφωσης αποφασίσθηκε με βάση τη σχέση (Εξ. 5.1.2.7). Η σχέση προτιμήθηκε να εφαρμοσθεί για Σεισμό Σχεδιασμού (τοπικού Μεγέθους) $ML = 6.9$, παρότι η ΜΜ προτείνει $ML = 6.5$ ¹. Η τιμή αυτή κρίνεται επισφαλής με γνώμονα το μέγιστο Μέγεθος σεισμού $M = 6.8$ που καταγράφηκε με επίκεντρο τον Νομό (έδωσε σεισμό στις 8 Μαρτίου 1957). Ως εκ τούτου, ο λόγος της ενεργού προς τη μέγιστη διατμητική παραμόρφωση με βάση τη σχέση αυτή είναι 0.59.

Λήφθηκε επίσης υπόψη η εκτίμηση 0.27 g της ΜΜ για τη μέγιστη αναμενόμενη επιτάχυνση σε επιφανειακό βράχο.

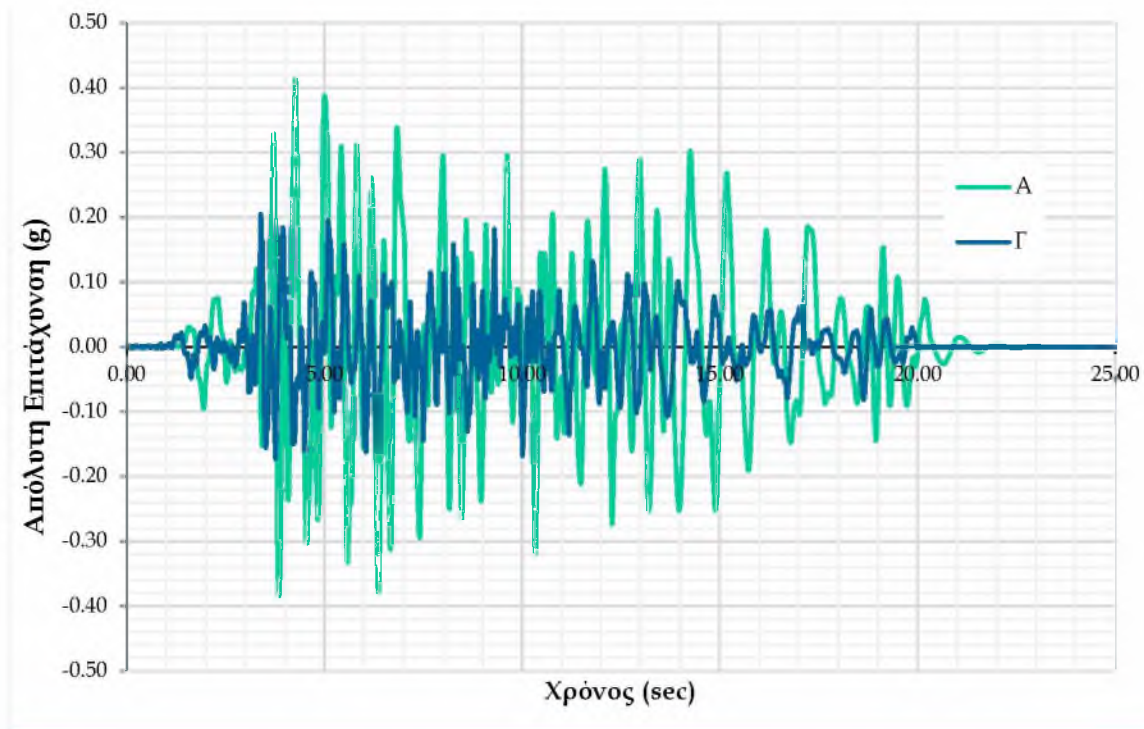
¹ Σύμφωνα με την ΜΜ (μικροζωνική μελέτη) για το ΠΣ Βόλου - Ν. Ιωνίας (Πιτιλάκης και συν., 2000):

«Για την εκτίμηση του σεισμού σχεδιασμού, η εκτίμηση ML προέκυψε για τρεις διαφορετικές μέσες περιόδους επαναφοράς $T_m = 100, 475$ και 1.000 χρόνια. Τα αντίστοιχα σεισμικά σενάρια καθορίστηκαν με βάση μια πιθανολογική ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας. Με βάση την υψηλή σεισμικότητα της περιοχής και τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας εκτιμήθηκε ότι ο σεισμός σχεδιασμού για το πολεοδομικό συγκρότημα Βόλου - Ν. Ιωνίας έχει μέγεθος 6.5 και μέγιστη αναμενόμενη επιτάχυνση σε επιφανειακό βράχο 0.27g.

Για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης, στις συνθήκες πεδίου, πραγματοποιήθηκε για κάθε σενάριο ανάλυση της εδαφικής απόκρισης λαμβάνοντας υπόψη τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και τις δυναμικές ιδιότητες των κύριων εδαφικών σχηματισμών. Για τις αναλύσεις αυτές έγινε χρήση διαφορετικών, ανοιγμένων στις τιμές σχεδιασμού, επιταχυνσιογραφημάτων (σε συνθήκες βράχου), επιλεγμένων με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης σεισμικής επικινδυνότητας και της τεκτονικής της περιοχής. Προτάθηκαν 9 χρονοϊστορίες επιτάχυνσης (7 καταγραφές και 2 συνθετικές), οι οποίες ήταν τα επιταχυνσιογραφήματα του σεισμού του Αλμυρού, του Αργοστολίου (2 συνιστώσες) και του Friuli (2 συνιστώσες). Προέρχονται από σεισμούς σε παρόμοια σειμοτεκτονικά περιβάλλοντα και με αντίστοιχα μεγέθη. Μετά την αποσυνέλιξή τους στη βάση του εδαφικού προσομοιώματος παρουσίαζαν μέγιστες επιταχύνσεις 0.14 - 0.17g ανάλογα με το συχνοτικό περιεχόμενο του σεισμού στην επιφάνεια».



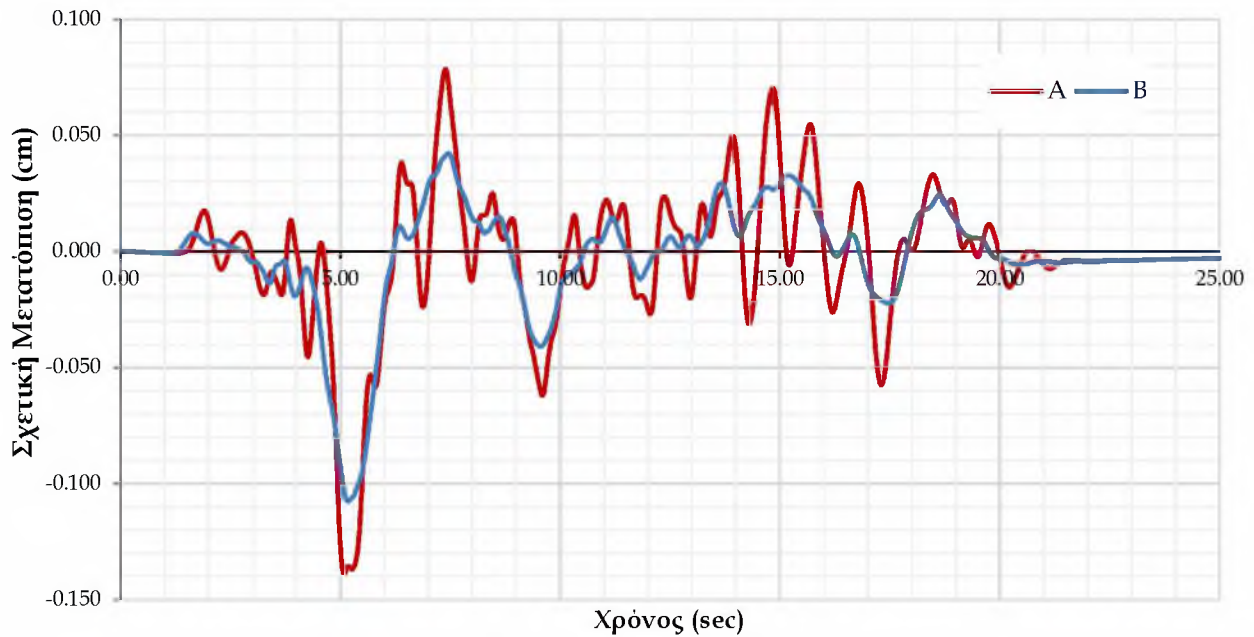
(α)



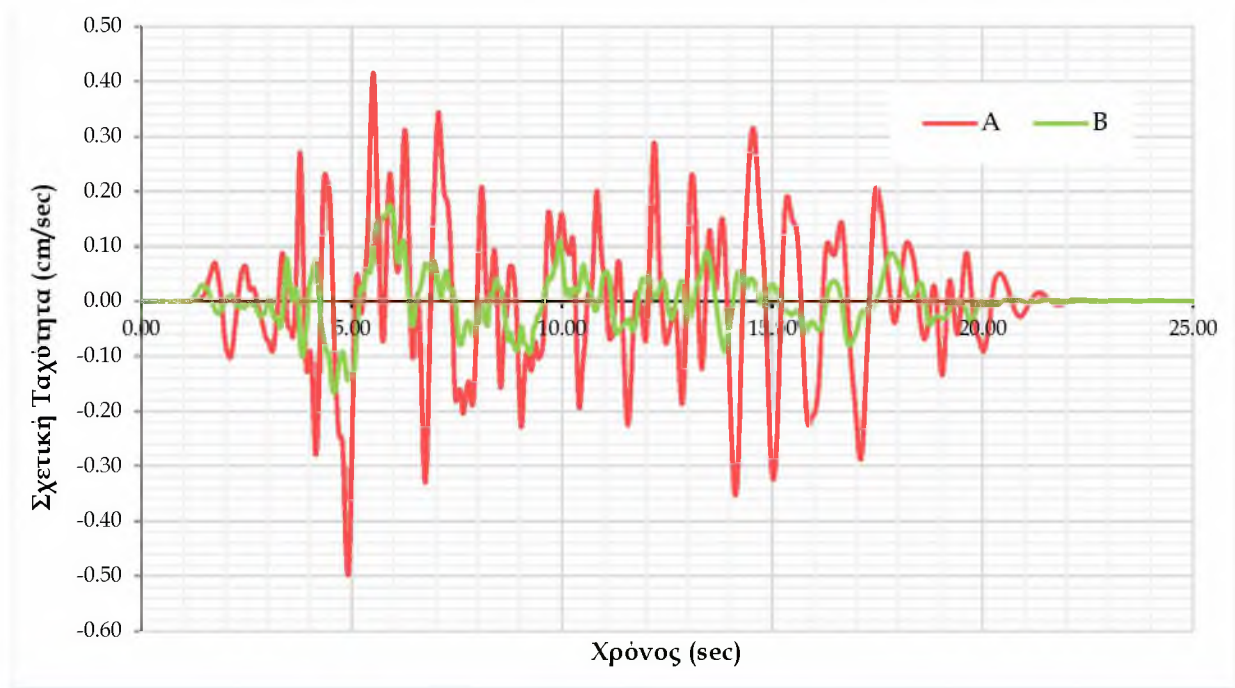
(β)

Σχήμα 7.2.5.1 Σεισμική απόλυτη επιτάχυνση σε τρία διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (Α) στην επιφάνεια του εδάφους, (Β) στη βάση, (Γ) σε θέση (θεωρητικό) αναδόμενου υποβάθρου.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.2.5.2 Σεισμική σχετική μετατόπιση σε διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (A) στην επιφάνεια του εδάφους, (B) στη βάση.



Σχήμα 7.2.5.3 Σεισμική σχετική ταχύτητα σε διαφορετικά σημεία της εξεταζόμενης εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2): (A) στην επιφάνεια του εδάφους, (B) στη βάση.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, η κορυφαία αναμενόμενη επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους (θέση Α) της εξεταζόμενης παραλιακής περιοχής είναι $PGA = 0.41 \text{ g}$ (0.413091 g), σε κάποια έξαρση επιφανειακού βράχου (θέση Γ) θα ήταν 0.27 g , ενώ στη βάση της εδαφικής τομής (θέση Β) είναι 0.16 g (-0.156081 g).

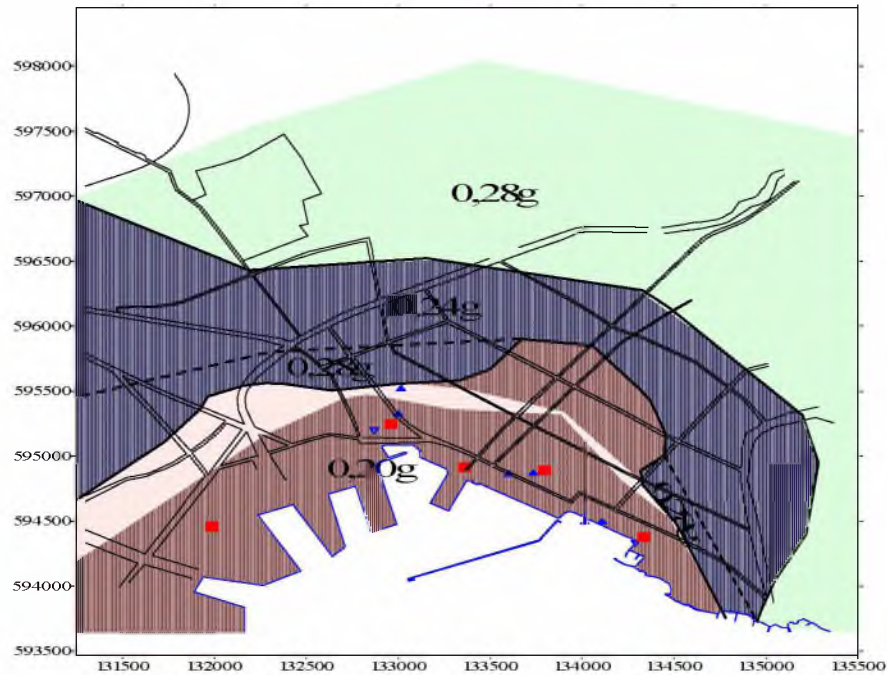
Οι αντίστοιχες κορυφαίες τιμές της ταχύτητας είναι $PGV = 0.50 \text{ cm/sec}$ ($-0.498812063 \text{ cm/sec}$), στη βάση της εδαφικής τομής (θέση Β) είναι 0.17 cm/sec (0.174682 cm/sec), ενώ οι κορυφαίες τιμές της μετατόπισης είναι $PGD = 0.14 \text{ cm}$ (-0.138826507 cm), στη βάση της εδαφικής τομής (θέση Β) είναι 0.11 cm ($0. -0.10767 \text{ cm}$). Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα αυτά, είναι:

	Σημείο επί της εδαφικής τομής του Σχ. 7.2.1.2		
	Α	Β	Γ
PGA	0.41 g	0.16 g	0.27 g
PGV	0.50 cm/sec	0.17 cm/sec	
PGD	0.14 cm	0.11 cm	

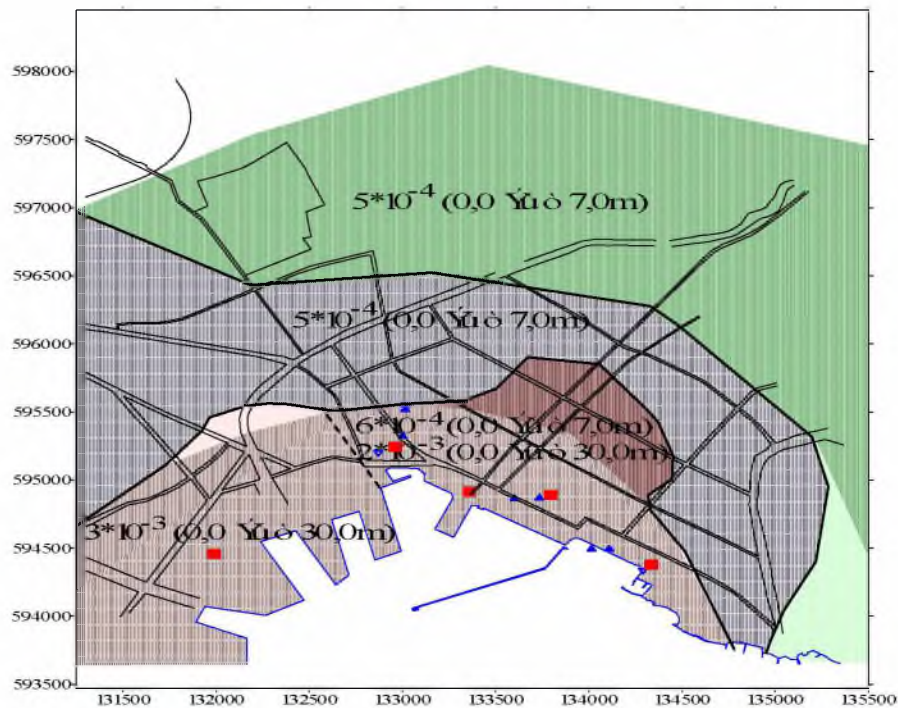
Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με εκείνα της MM (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), η αντίστοιχη Ζώνη I (Σχ. 7.2.5.4) είχε προτεινόμενη ενεργό (δρώσα) εδαφική επιτάχυνση 0.20 g . Σημειώνεται ότι η ενεργός επιτάχυνση προκύπτει από τα $2/3$ της μέγιστης τιμής. Στην περίπτωση αυτή $0.67 \times 0.41 \text{ g} = 0.27 \text{ g}$. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από 0.20 g , καθώς προκύπτει από μία πολύ ισχυρή δόνηση (σεισμός Λευκάδας 2003) λόγω του συχνοτικού της περιεχομένου. Αν ληφθεί η μέση ενεργός επιτάχυνση από μία ομάδα σεισμικών διεγέρσεων (π.χ. 10 διεγέρσεις), η τιμή αυτή θα είναι κοντά στην τιμή της Μικροζωνικής Μελέτης.

Τα αποτελέσματα της παρούσης συμφωνούν με την MM ως προς τη θέση Β (και Γ). Σύμφωνα με την MM, όλες οι αναλύσεις είχαν υλοποιηθεί με «σεισμό σχεδιασμού» ο οποίος είχε τιμή μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης $PGA = 0.27 \text{ g}$ σε συνθήκες επιφανειακής έξαρσης του βράχου (outcrop), η οποία αντιστοιχεί σε τιμές $PGA = 0.12 \text{ g}$ έως 0.17 g στο «οιονεί» σεισμικό βραχώδες υπόβαθρο (ανάλογα με το βάθος του).

Γενικά, η MM πρότεινε τρεις συνολικά ζώνες ίσης - ισοδύναμης σεισμικής συμπεριφοράς, τη Ζώνη I, τη Ζώνη II και τη Ζώνη III. Σύμφωνα με αυτές, οι εδαφικές επιταχύνσεις στη στάθμη 0.00 m της παραλιακής ζώνης είναι χαμηλότερες από ότι στις βορειότερες περιοχές. Επίσης, σύμφωνα με την MM, οι μέγιστες (κορυφαίες) τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης σε όλες τις αντιπροσωπευτικές εδαφικές τομές και για τα εννέα (9) σεισμικά σενάρια κυμαίνονται από 0.15 g έως και 0.52 g (τοπικά). Οι δε αντίστοιχες μέσες «δρώσες» τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης ανά ζώνη μεταβάλλονται από 0.18 g έως 0.28 g .

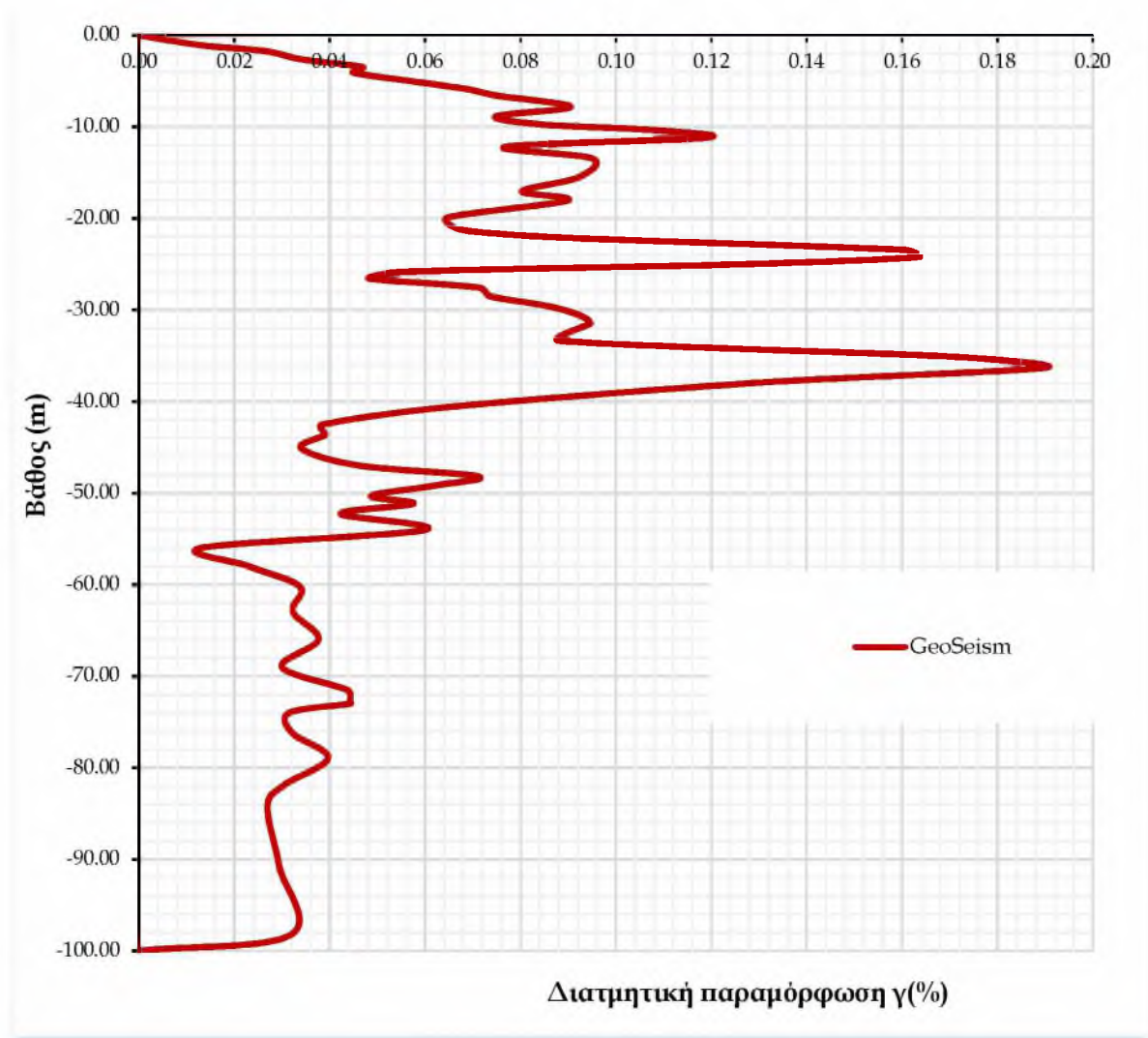


Σχήμα 7.2.5.4 Τελικός χωρισμός σε ζώνες με τις προτεινόμενες ενεργές (δράσεις) εδαφικές επιταχύνσεις, όπως προτάθηκε από την ΜΜ στο ίδιο ΠΣ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).



Σχήμα 7.2.5.5 Μέγιστες ενεργές διατμητικές παραμορφώσεις του εδάφους στα στρώματα -0.0 έως -7.0m και -7.0 έως -30.0m , όπως προτάθηκαν από την ΜΜ στο ίδιο ΠΣ (Πιτιλάκης κ.συν., 2000).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

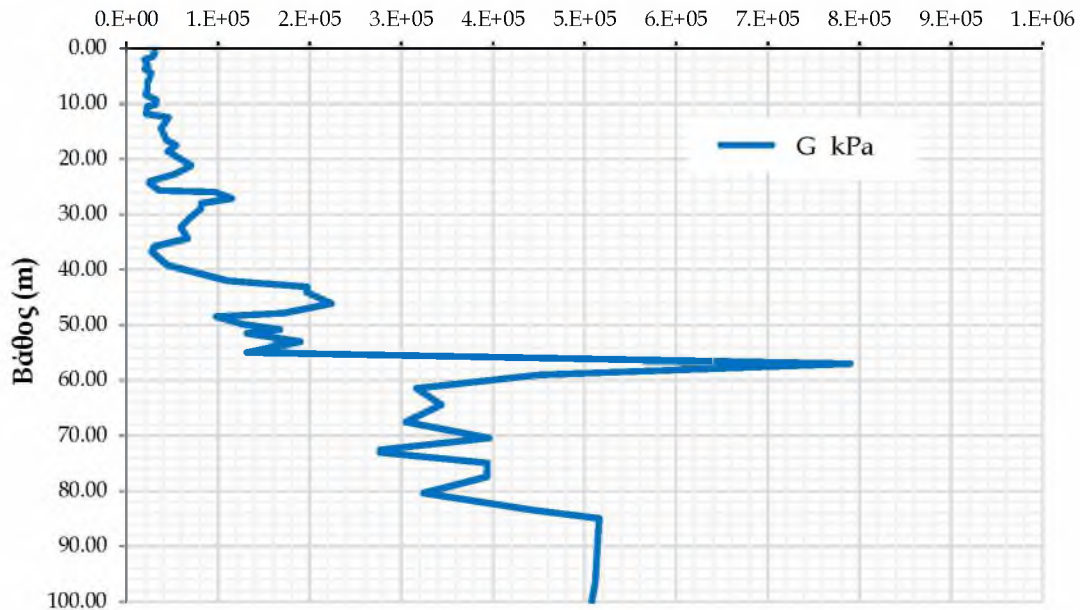


Σχήμα 7.2.5.6 Διατμητική παραμόρφωση καθ' ύψος της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2).

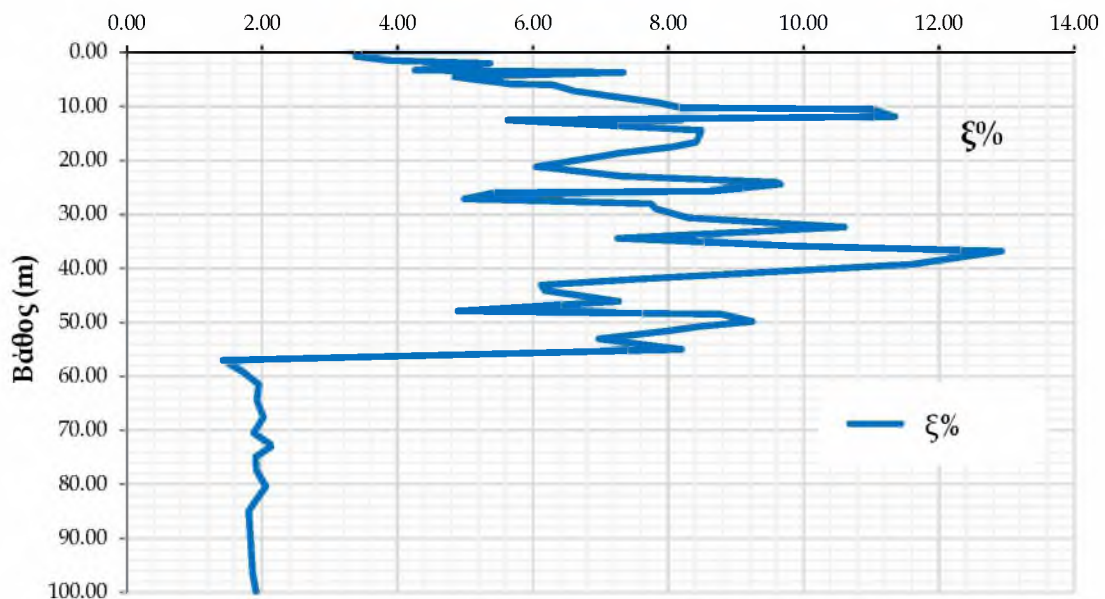
Η κατά βάθος μεταβολή της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης (Σχ. 7.2.5.6) δείχνει μια εικόνα αρκετά συνεπή με τη θεώρηση των τεσσάρων γεωτεχνικών ενότητων (Ενοτ. 7.2.4). Για το επίπεδο αυτό της διατμητικής παραμόρφωσης, οι δυναμικές ιδιότητες των στρώσεων της εδαφικής τομής είναι αρκετά διαφορετικές σε κάθε εδαφική στρώση (Σχ. 7.2.5.7).

Σε σχέση με τα αποτελέσματα της ΜΜ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), η αντίστοιχη Ζώνη Ι (Σχ. 7.2.5.5) είχε αναμενόμενες μέγιστες ενεργές διατμητικές παραμορφώσεις του εδάφους $6 \cdot 10^{-4}$ στα στρώματα από -0.0 έως -7.0 m και $2 \cdot 10^{-3}$ στα στρώματα από -7.0 έως -30.0 m. Οι τιμές αυτές είναι σχετικά κοντά στα αποτελέσματα της παρούσης ανάλυσης, τα οποία είναι αντίστοιχα $8 \cdot 10^{-4}$ και $1.7 \cdot 10^{-3}$.

Η παρούσα έρευνα εντοπίζει επιπλέον ότι υπάρχουν εδαφικά στρώματα στα βάθη μεταξύ -30.0 m και -40.0 m στα οποία οι διατμητικές παραμορφώσεις είναι σημαντικά έντονες, της τάξης του $1.9 \cdot 10^{-3}$ κατά μέγιστο.



(a)

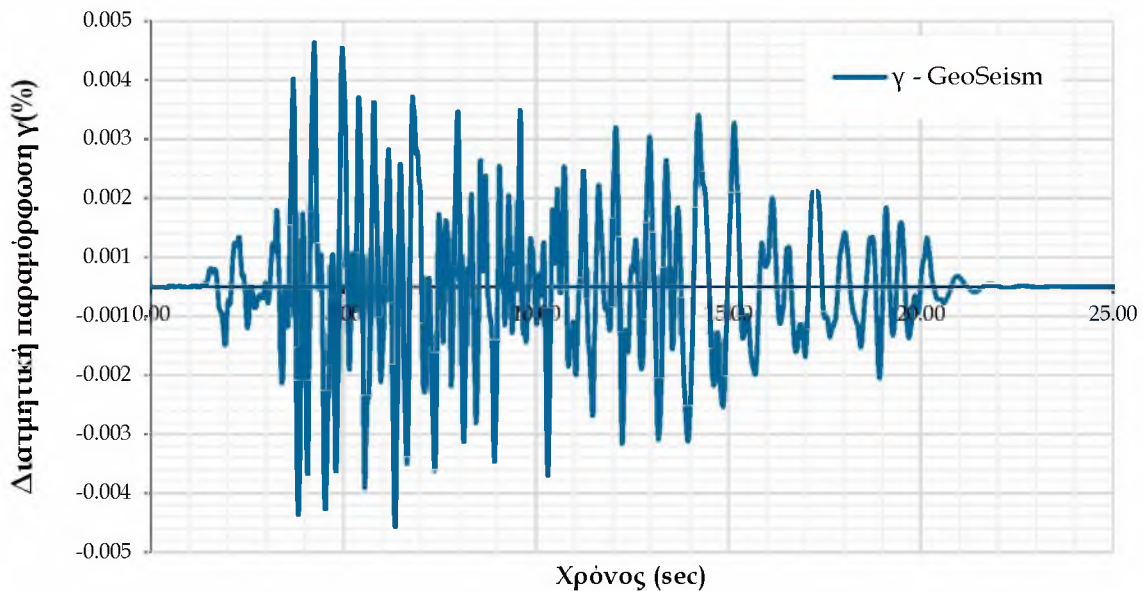


(β)

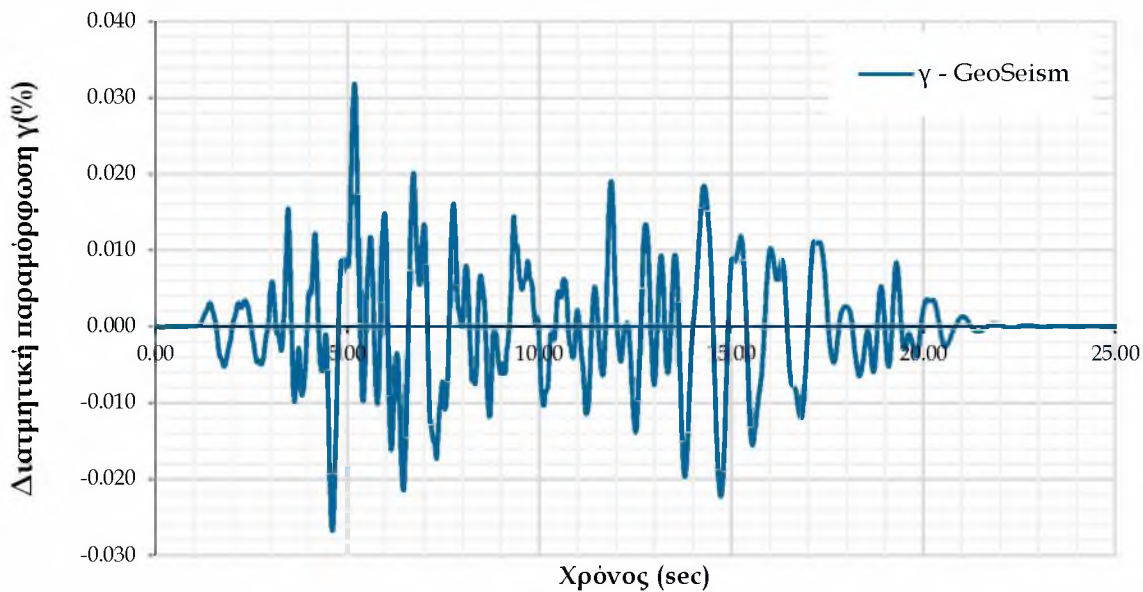
Σχήμα 7.2.5.7 (α) Μέτρα Διάτμησης G (kPa), και (β) υστερητικές αποσβέσεις ξ (%) για το εξεταζόμενο επίπεδο παραμόρφωσης καθ' ύψος της εδαφικής τομής.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ακολουθούν ενδεικτικά διαγράμματα τα οποία περιλαμβάνουν τη χρονοϊστορία διατμητικής παραμόρφωσης στο μέσον της πρώτης επιφανειακής στρώσης και στο μέσον της τελευταίας κατώτερης στρώσης (Σχ. 7.2.5.8), οι μιγαδικοί Λόγοι Ενίσχυσης μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της βάσης της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2) στην πρώτη δοκιμή (Σχ. 7.2.5.9), οι βρόγχοι υστερήσεως στο μέσον της πρώτη επιφανειακής στρώσης του εδάφους (Σχ. 7.2.5.10) και το Φάσμα Fourier της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 7.2.5.11).

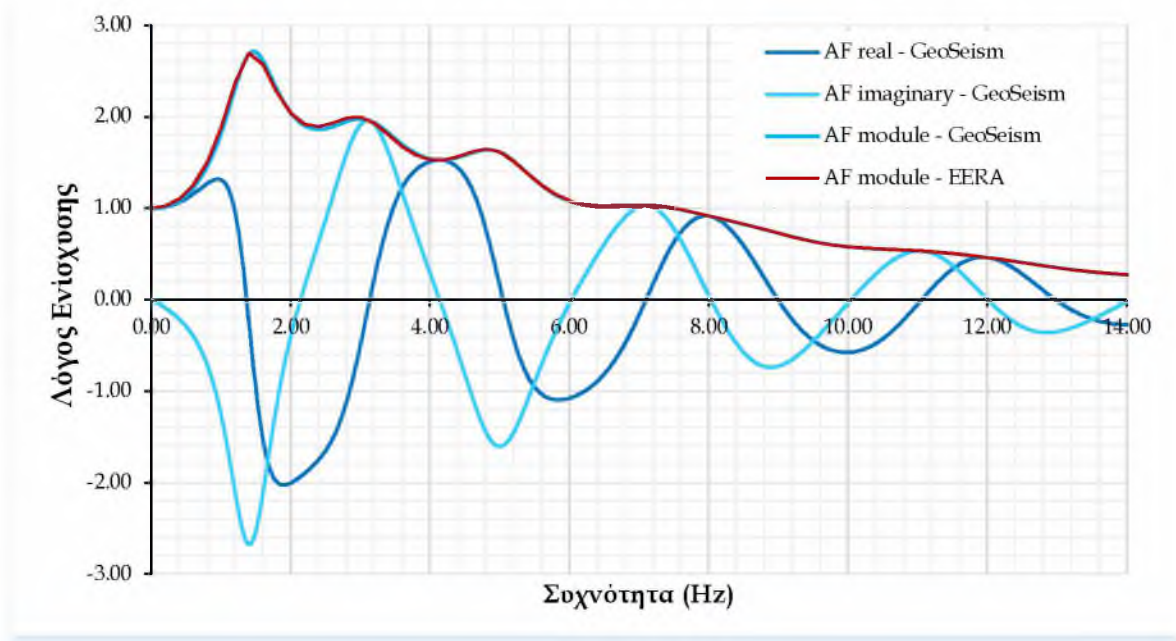


(a)

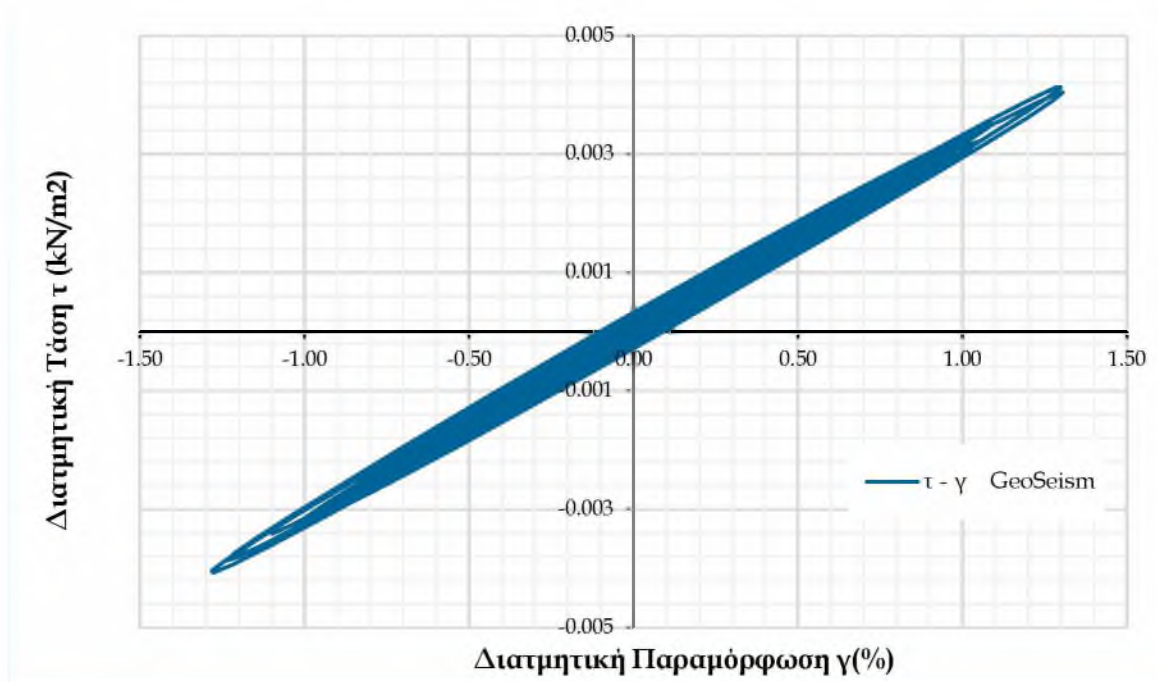


(β)

Σχήμα 7.2.5.8 Διατμητική παραμόρφωση στο μέσον: (α) της πρώτης επιφανειακής στρώσης, (β) της τελευταίας κατώτερης στρώσης.

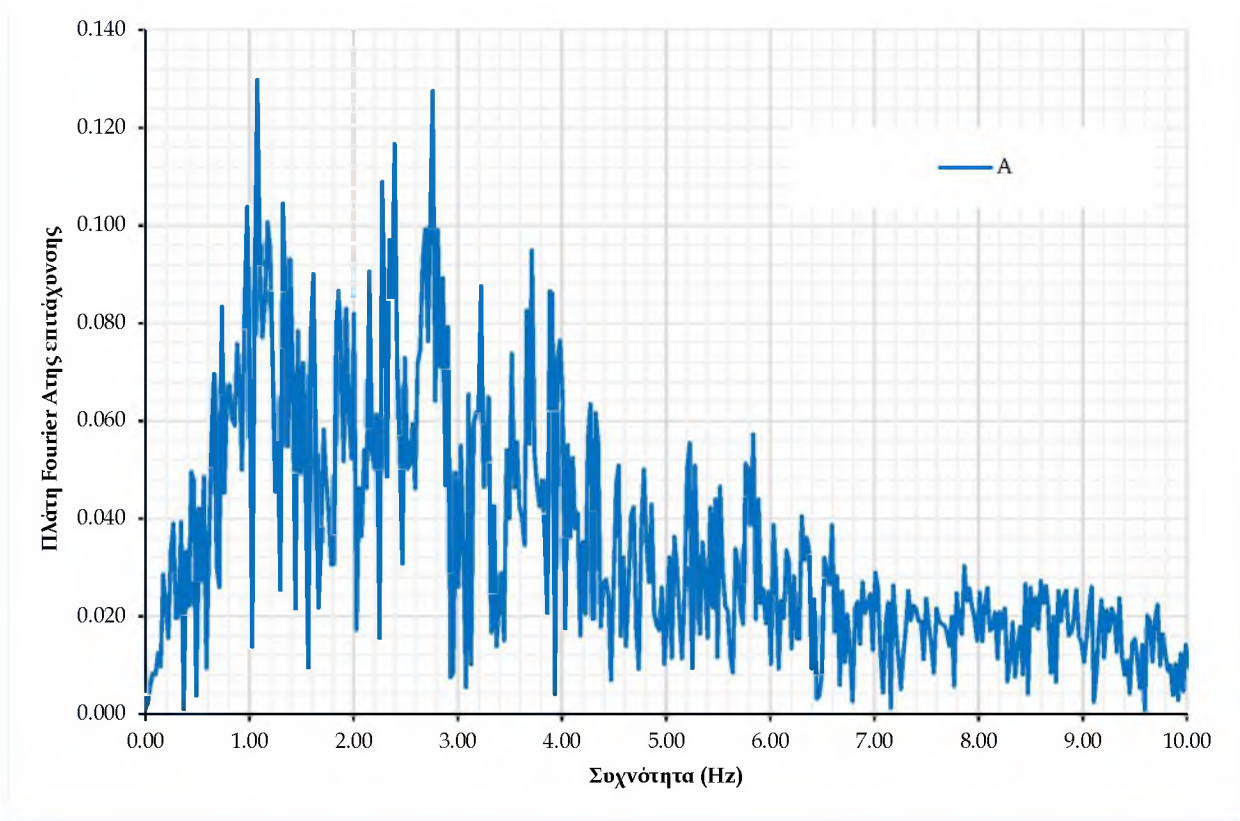


Σχήμα 7.2.5.9 Λόγοι Ενίσχυσης μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της βάσης της εδαφικής τομής (Σχ. 7.2.1.2) για σεισμική καταγραφή στο αναδύμενο υπόβαθρο κατά την πρώτη δοκιμή.



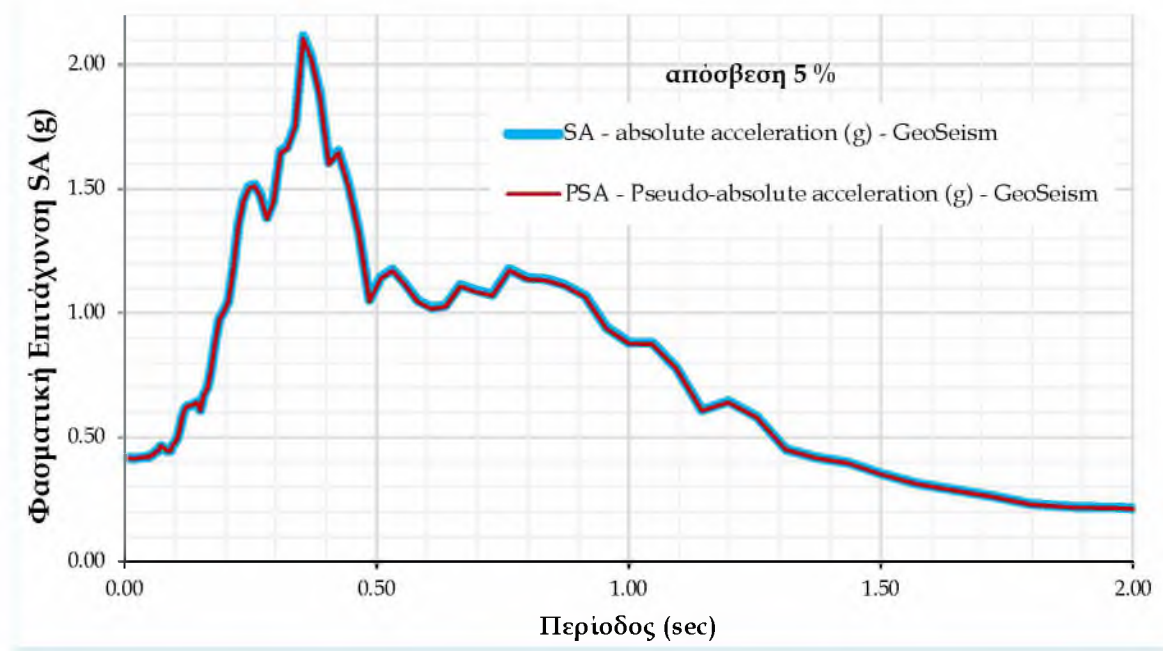
Σχήμα 7.2.5.10 Βρόγχοι υστερήσεως της διατμητικής παραμόρφωσης σε σχέση με τη διατμητική τάση στο μέσον της πρώτης επιφανειακής στρώσης του εδάφους (Σχ. 7.2.1.2., θέση Α).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

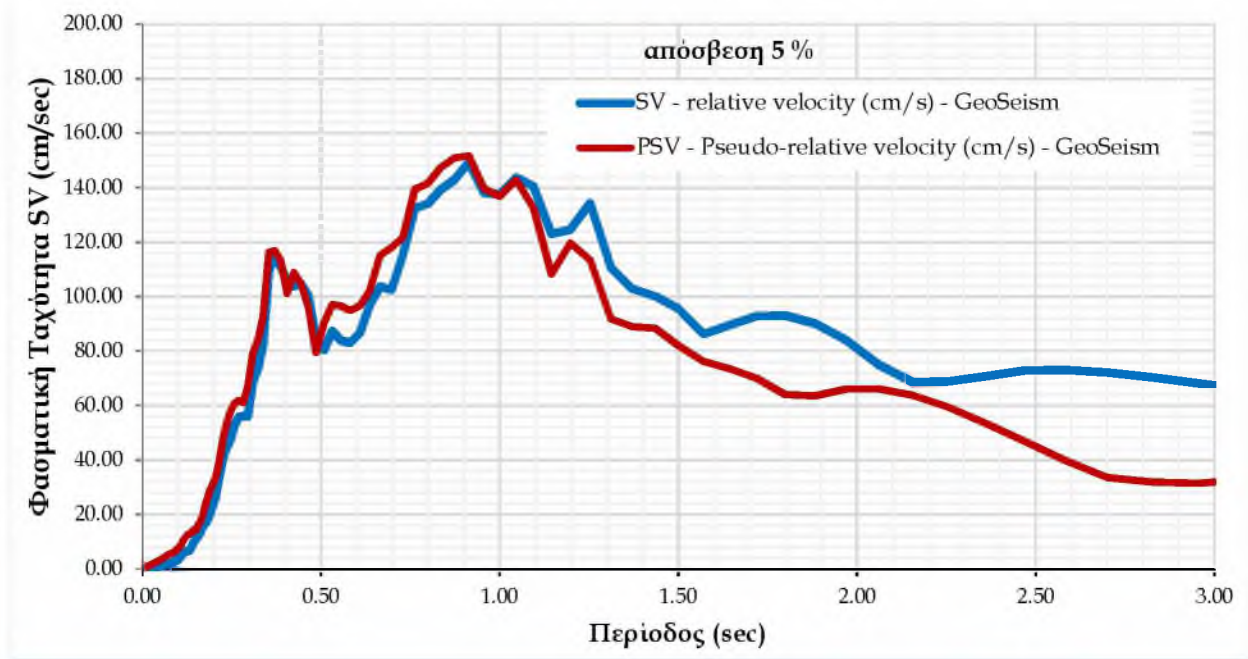


Σχήμα 7.2.5.11 Φάσμα Fourier της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 7.2.1.2., θέση A).

Τα Φάσματα Ελαστικής Απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους για απόσβεση κτιρίων 5% έχουν όπως στα ακόλουθα σχήματα (Σχ. 7.2.5.12, Σχ. 7.2.5.13).

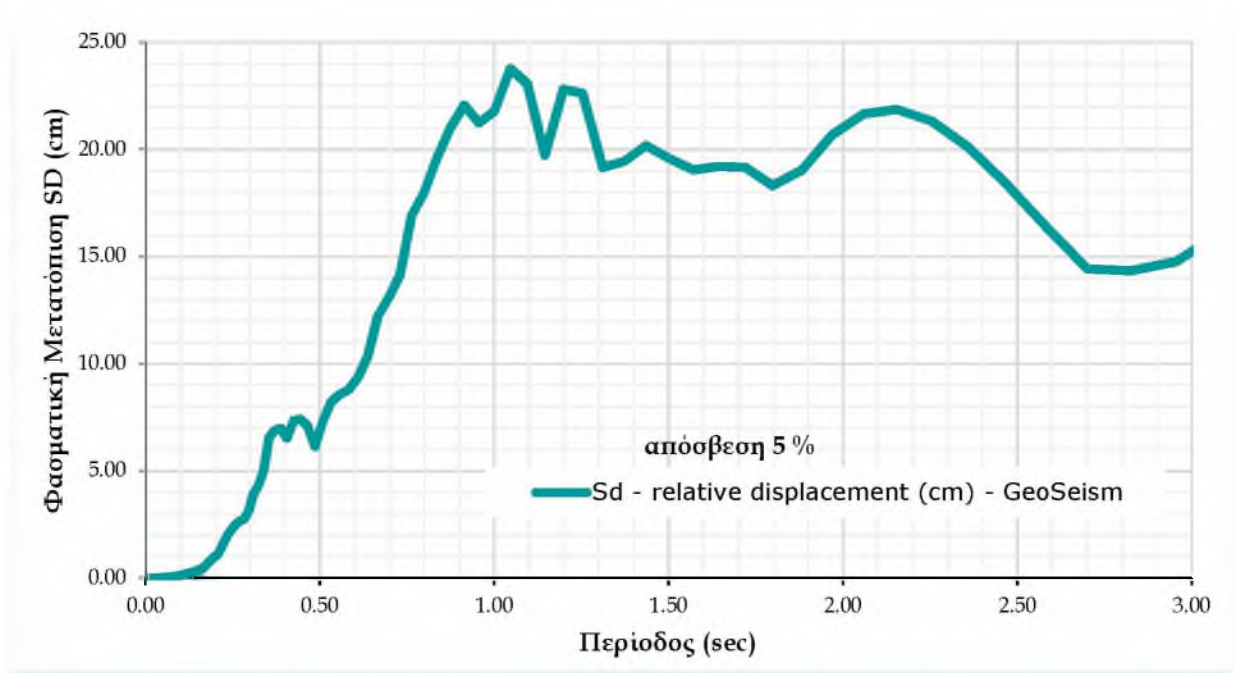


Σχήμα 7.2.5.12 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους απόλυτης φασματικής επιτάχυνσης και ψευδοεπιτάχυνσης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).



(a)

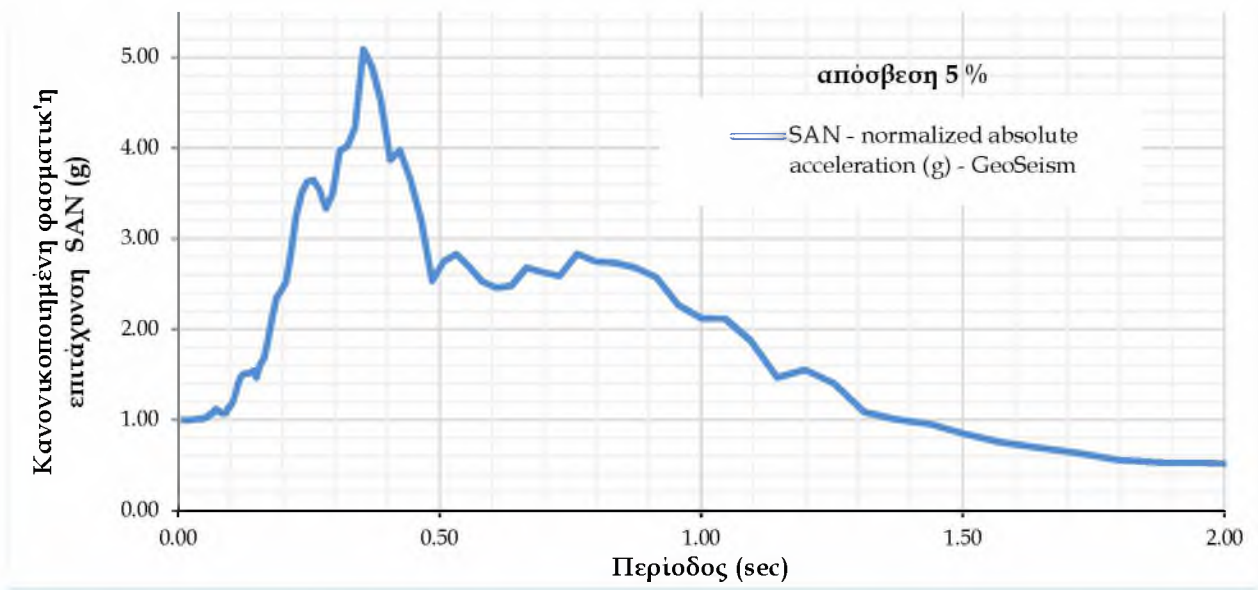
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



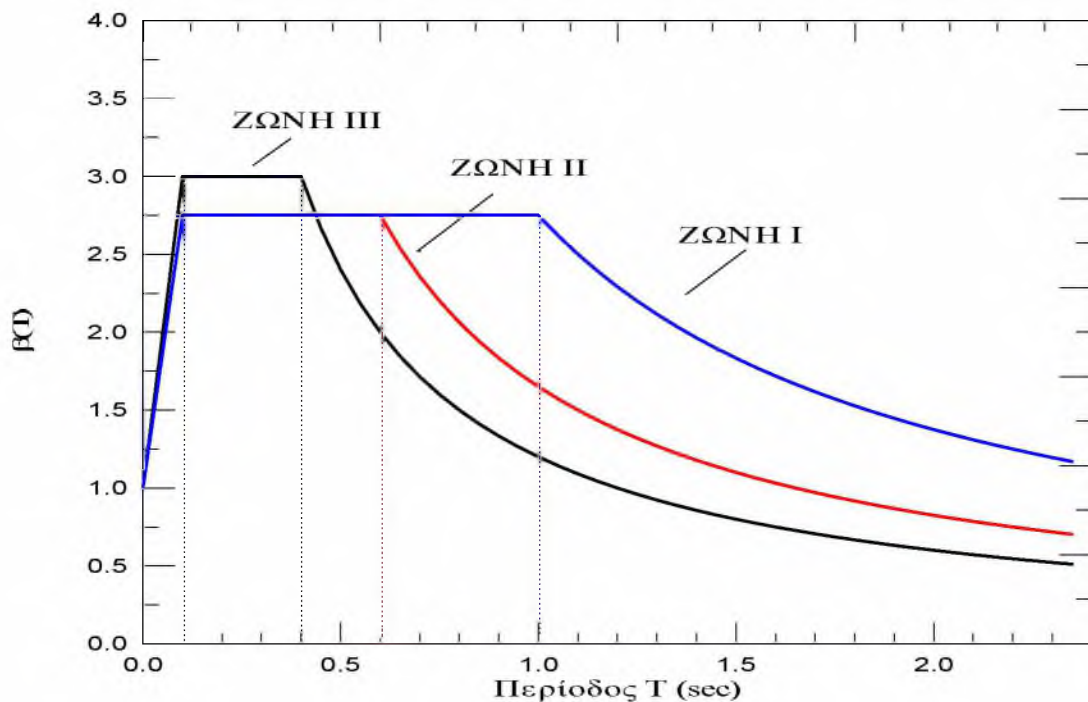
(β)

Σχήμα 7.2.5.13 Ελαστικά φάσματα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους (α) σχετικής ταχύτητας και ψευδοταχύτητας, και (β) σχετικής μετατόπισης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).

Για λόγους σύγκρισης, παρατίθεται το κανονικοποιημένο ελαστικό φάσμα της επιτάχυνσης (Σχ. 7.2.5.14) και τα κανονικοποιημένα Φάσματα Ελαστικής Απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους της ΜΜ (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), για την ίδια απόσβεση κτιρίων 5% (Σχ. 7.2.5.15).



Σχήμα 7.2.5.14 Κανονικοποιημένο ελαστικό φάσμα απόκρισης (απόσβεσης 5 %) σε όρους απόλυτης φασματικής επιτάχυνσης για τον σεισμό του Σχ. 7.2.4.1 (σεισμός Λευκάδας διορθωμένος κατά EC8), στην επιφάνεια του εδάφους (εδαφική τομή Σχ. 7.2.1.2).



Σχήμα 7.2.5.15 Φάσματα ελαστικής απόκρισης σχεδιασμού (κανονικοποιημένες μορφές ως προς την τιμή εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού της κάθε ζώνης (Πιτιλάκης κ. συν., 2000).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7.2.6 Έλεγχος Κινδύνου Ρευστοποίησης

Γίνεται έλεγχος ρευστοποίησης (σε κορεσμένες εδαφικές στρώσεις) εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο *GeoSeism* (Κεφ. 5.3).

Πρώτα, εκτιμώνται οι εδαφικές υποστρώσεις στις οποίες το έδαφος παρουσιάζει ευαισθησία για ρευστοποίηση σύμφωνα με τα κριτήρια προκαταρκτικού ελέγχου (Ενοτ. 5.3.3). Παρατίθενται (Πίνακας 7.2.6.1) οι δείκτες («liquef») τους οποίους χρησιμοποιεί το *GeoSeism* για να εκφράσει το αποτέλεσμα σε κάθε εδαφική υποστρώση. Όπου ο δείκτης «liquef» παίρνει τιμές: 0 όταν δεν υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης, 1 όταν υπάρχει κίνδυνος και επιβάλλεται ποσοτικός έλεγχος, 2 όταν υπάρχει υψηλός κίνδυνος, και 4 όταν δεν επαρκούν τα δεδομένα για τον προκαταρκτικό έλεγχο.

Πίνακας 7.2.6.1 Αποτελέσματα του Προκαταρκτικού ελέγχου (*GeoSeism*, κριτήρια Σχ. 5.3.3) για την εξεταζόμενη εδαφική τομή του Σχήματος 7.2.1.2.

Εδαφική υποστρώση	Πάχος (m)	liquef	Εδαφική υποστρώση	Πάχος (m)	liquef	Εδαφική υποστρώση	Πάχος (m)	liquef
1	0.75	0	22	1.52	0	43	0.96	0
2	0.75	0	23	1.17	0	44	0.73	0
3	0.50	1	24	0.34	0	45	1.51	0
4	1.26	0	25	1.28	0	46	1.98	0
5	0.44	1	26	0.33	0	47	1.98	0
6	0.80	1	27	1.13	0	48	2.03	0
7	1.30	1	28	0.87	0	49	2.45	0
8	0.20	1	29	1.04	0	50	2.95	0
9	1.20	1	30	1.57	0	51	3.14	0
10	1.25	1	31	1.74	0	52	2.91	0
11	0.85	0	32	2.05	0	53	2.10	0
12	0.89	1	33	1.45	0	54	0.40	0
13	0.31	0	34	0.92	0	55	0.07	0
14	1.38	0	35	2.44	0	56	1.91	0

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

15	0.62	0	36	2.79	0	57	2.50	0
16	1.95	0	37	1.10	0	58	2.96	0
17	2.15	0	38	0.99	0	59	3.06	0
18	0.90	1	39	2.03	0	60	1.52	0
19	1.10	0	40	1.75	0	61	13.02	0
20	2.60	0	41	0.63	0	62	3.50	0
21	0.16	0	42	1.34	0			

Πριν τον ποσοτικό έλεγχο, γίνονται διάφοροι απαραίτητοι υπολογισμοί. Μερικά από τα ενδιάμεσα αυτά αποτελέσματα είναι αυτά του Πίνακα 7.2.6.2. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι στο στάδιο αυτό βοήθησε και η μεθοδολογία Πυθία (Κεφ. 5.2) προκειμένου να προκύψουν αποτελέσματα ακόμη και για τα βάθη όπου δεν υπήρχαν επαρκή εδαφικά δεδομένα (π.χ., έλλειψη των PI, NSPT). Στη στάθμη του υπόγειου ύδατος δεν συνεκτιμήθηκε επιπλέον εποχιακή διακύμανση λόγω ότι οι μετρήσεις πιεζομέτρων λήφθηκαν σε βρόχινες περιόδους (από Οκτώβριο μέχρι και Απρίλιο). Για τον υπολογισμό του αριθμού των κτύπων NSPT1 και των εδαφικών χαρακτηρισμών (USCS) των υποστρώσεων, όπου έλειπαν, χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις και οι διαδικασίες που περιγράφηκαν στην μεθοδολογία (Ενοτ. 5.2.5).

Πίνακας 7.2.6.2 Ενδιάμεσα αποτελέσματα του ελέγχου ρευστοποίησης, στα οποία βοηθά και η μεθοδολογία του σηματολογικού διεργημέα (Κεφ. 5.2, Πυθία).

Εδαφική υποστρώση	Βάθος Πυθμένα (m)	Πάχος (m)	liquef	Κόσκινο No 4	Κόσκινο No 10	Κόσκινο No 40	Κόσκινο No 200	PI	AUSCS	Μετρήσεις δοκιμής NSPT	NSPT1
3	2.00	0.50	1	62	39	18	9		SP-SM		12.5
5	3.70	0.44	1	97	96	94	46		SM		12.5
6	4.50	0.80	1	97	96	94	46		SM		12.5
7	5.80	1.30	1	69	67	61	23		SM		12.5
8	6.00	0.20	1								12.5
9	7.20	1.20	1	100	96	81	37		SM		12.5
10	8.45	1.25	1	100	96	81	37		SM	12	13.5
12	10.19	0.89	1								12.5
18	17.50	0.90	1								12.5

Εδαφική υποστρώση	G _{max} (kPa)	ενεργός διατμ. παραμόρφωση γ (%)	μέγιστη διατμ. Τάση τ(kPa)	G/G _{max}	G(kPa)	ξ (%)	στάθμη ΥΥΟ	ολική κατακόρυφη τάση γαιών (kPa)	ενεργός κατακόρυφη τάση γαιών (kPa)
3	32775.73	0.01567	3.072	0.696	19602.497	5.36	0.2	40.00	22.00
5	40175.35	0.02765	5.494	0.629	19865.012	7.33	0.2	74.00	39.00
6	40175.35	0.02654	7.073	0.766	26654.634	4.84	0.2	90.00	47.00

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7	40175.35	0.03471	8.468	0.724	24399.105	5.67	0.2	116.00	60.00
8	40175.35	0.04062	9.335	0.699	22982.128	6.28	0.2	120.00	62.00
9	41481.78	0.04428	10.152	0.685	22926.987	6.62	0.2	144.00	74.00
10	41481.78	0.05339	11.311	0.656	21186.906	7.35	0.2	169.00	86.50
12	51852.23	0.04974	15.633	0.695	31430.626	8.18	0.2	203.80	103.90
18	87844.39	0.04738	25.537	0.695	53895.519	8.05	0.2	350.00	177.00

Ο Ποσοτικός έλεγχος ρευστοποίησης, στη συνέχεια, γίνεται με εφαρμογή της μεθοδολογίας των Youd and Idriss (2001), που αναπτύχθηκε στο *GeoSeism* (Ενοτ. 5.3.4). Οι αναπτυσσόμενες διατμητικές αντοχές CRR εκτιμώνται επί τη βάση μετρήσεων της Πρότυπης Δοκιμής Διείδυσης SPT (Standard Penetration Test), και στη συνέχεια ανάγονται από το μέγεθος σχεδιασμού της παρούσης εφαρμογής $M = 6.9$ στην τιμή σχεδιασμού του γραφήματος Σχ. 5.3.4.2 ($M = 7.5$). Οι επιβαλλόμενες διατμητικές τάσεις CSR εκτιμώνται με βάση τα αποτελέσματα των ενεργών διατμητικών παραμορφώσεων (γ %) και των μιγαδικών Μέτρων Διάτμησης (G) της αριθμητικής ανάλυσης (ισοδύναμα γραμμική ανάλυση, Ενοτ. 7.2.5), για το εξεταζόμενο επίπεδο σεισμικής έντασης (Ενοτ. 7.2.4). Τα πιο σημαντικά από τα πλήρη αποτελέσματα, παρατίθενται στον Πίνακα 7.2.6.3.

Πίνακας 7.2.6.3 Αποτελέσματα του Ποσοτικού ελέγχου ρευστοποίησης (*GeoSeism*, Ενοτ. 5.3.4) για την εξεταζόμενη εδαφική τομή του Σχήματος 7.2.1.2.

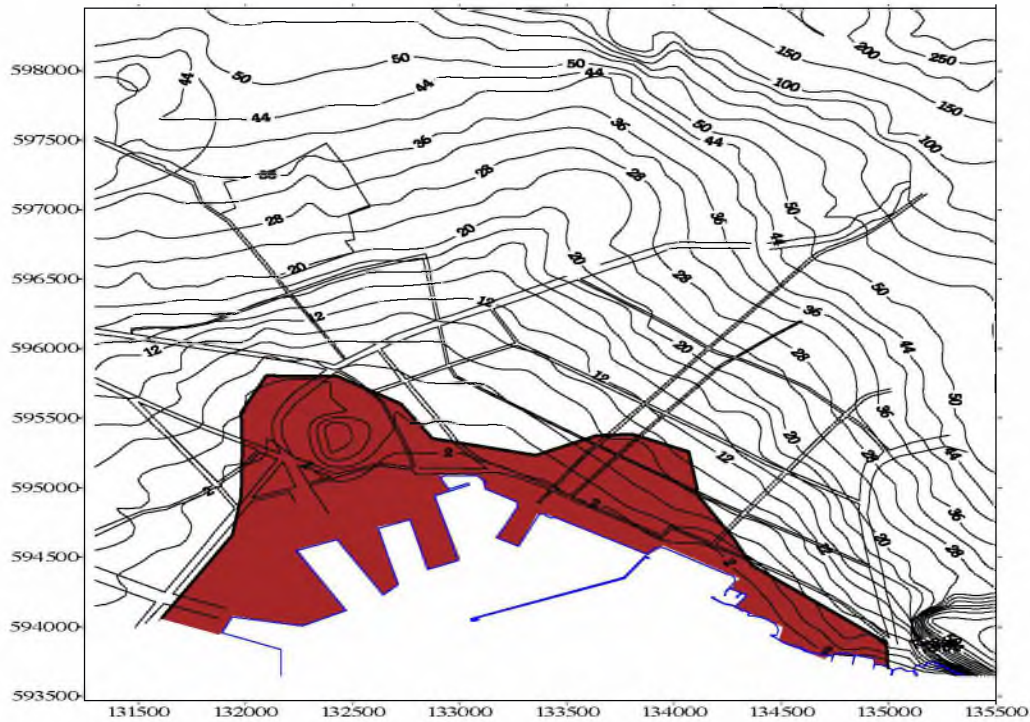
Εδαφική υποστρώση	CSR	N160cs	CNN	Msf	CRR	FSL
3	0.14	22	1.7	1.24	0.30	2.17
5	0.14	29	1.5	1.24	0.49	3.52
6	0.15	27	1.4	1.24	0.41	2.71
7	0.14	22	1.3	1.24	0.29	2.08
8	0.15	21	1.3	1.24	0.29	1.92
9	0.14	22	1.2	1.24	0.30	2.22
10	0.13	22	1.1	1.24	0.30	2.32
12	0.15	20	0.9	1.24	0.26	1.73
18	0.14	16	0.7	1.24	0.21	1.48

Στον πίνακα αποτελεσμάτων (Πιν. 7.2.6.3.), ο εκτιμώμενος Συντελεστής Ασφαλείας έναντι Ρευστοποίησης (FSL) δείχνει ότι το έδαφος δεν είναι τελικά ρευστοποιήσιμο. Θα ήταν χρήσιμη αν όχι απαραίτητη η λήψη μέτρων προστασίας σε κάποιες εδαφικές υποστρώσεις όπου ο συντελεστής πλησιάζει τη μονάδα ($FSL < 1$).

Τα παραπάνω αποτελέσματα της εξεταζόμενης εδαφικής τομής δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα της MM (Πιτιλάκης κ. συν., 2000), η οποία χαρακτηρίζει ως ζώνη υψηλού κινδύνου ρευστοποίησης όλη την παραλιακή περιοχή (Σχ. 7.2.6). Εντούτοις, βρίσκουν αναμενόμενη την πρόβλεψη της MM

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

δεδομένου ότι ο FSL είναι σχεδόν οριακός της μονάδας και η MM εξέτασε περισσότερα ήδη σεισμικών χρονοϊστοριών.



Σχήμα 7.2.6 Ζώνη υψηλού κινδύνου ρευστοποίησης (Πιτιλάκης κ. συν.. 2000).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

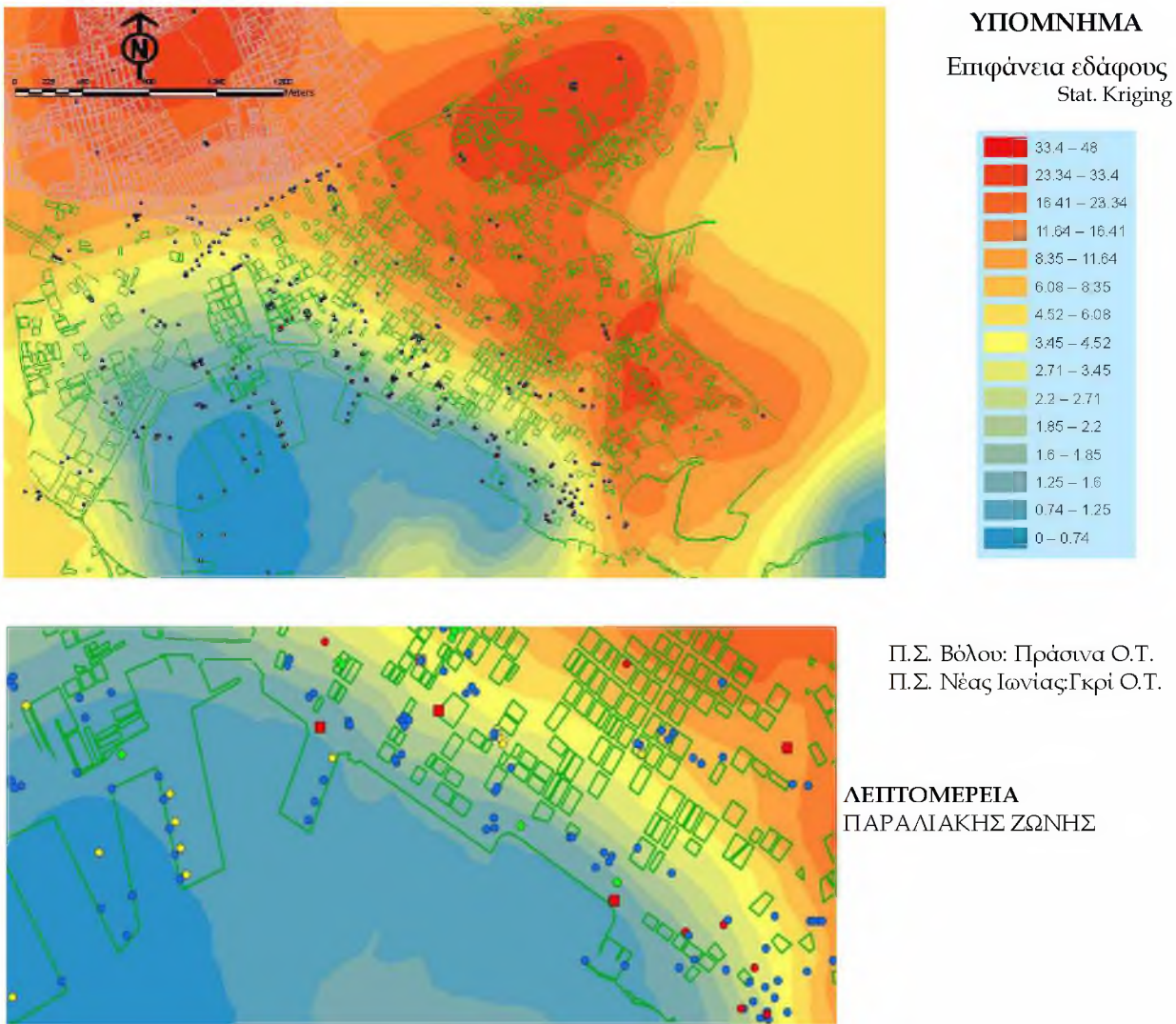
7.2.7 Χωρική ανάλυση με ΓΣΠ

Για τη χωρική κατανομή των δυναμικών παραμέτρων της εδαφικής κίνησης χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μαθηματικές μέθοδοι χωρικής ανάλυσης, με τις οποίες είναι εφοδιασμένο το ArcGIS και τα ειδικά λογισμικά χαρτογράφησης. Οι μέθοδοι περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (Ενοτ. 2.3.1. Σχ. 2.3.1.3). Τα χαρτογραφικά αποτελέσματα (Πιν. 7.2.7) απεικονίζουν τις παραμέτρους της εδαφικής κίνησης στην επιφάνεια αλλά και άλλα χαρακτηριστικά των εδαφικών συνθηκών με τρόπο ώστε να παράγεται πυκνότερη πληροφορία στις κυψέλες του καννάβου με τον οποίο μελετάται ένα πολεοδομικό συγκρότημα (Σχ. 7.1). Παρατίθενται μερικά ενδεικτικά τέτοια χαρτογραφικά αποτελέσματα (Σχ. 7.2.7.1, 7.2.7.2, 7.2.7.3, 7.2.7.5, 7.2.7.6) σχεδιασμένα με τη γεωστατιστική μέθοδο (Kriging - CoKriging), καθώς και ενδεικτική σύγκριση των ισοβαθών του οιονει-βραχώδους υποβάθρου με εκείνα της MM (Πιτιλάκης κ. συν., 2000) (Σχ. 7.2.7.4).

Πίνακας 7.2.7 Σύνολα θεματικών επιπέδων σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες που χαρτογραφήθηκαν στην έρευνα.

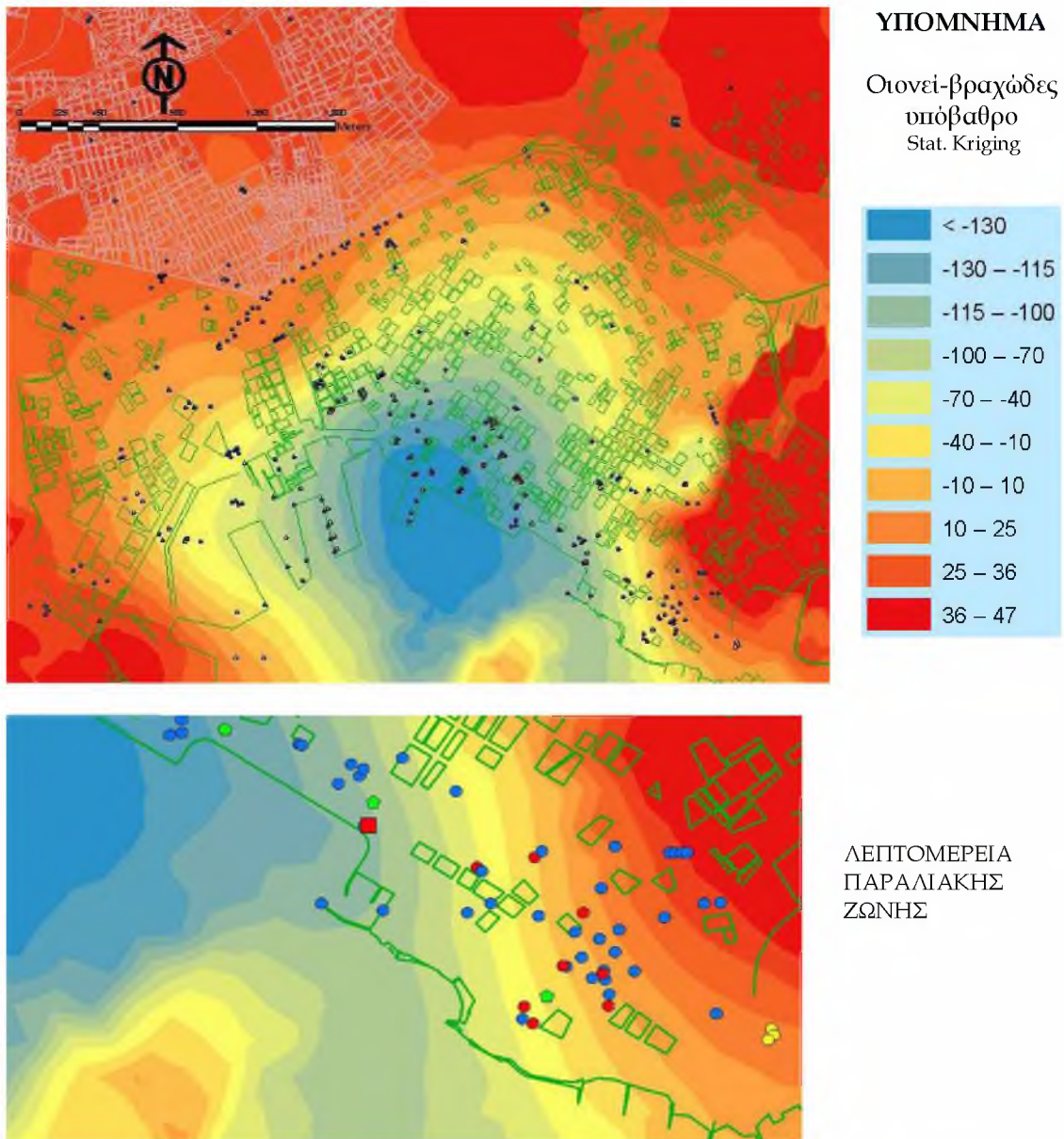
Θεματικό επίπεδο	Δεδομένα	Δομή απεικόνισης (οντότητα γεωμετρικού αντικειμένου)
Τοπογραφικός χάρτης	Αναλογικός χάρτης σκαναρισμένος	Κανονικοποιημένη (φατνία)
Τοπογραφία επιφάνειας εδάφους	Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM), χωρική απεικόνιση Ισοψών ανά 10 m	Διανυσματική (σημεία)
Πολεοδομικό Σχέδιο (Οικοδομικά Τετράγωνα)	Ψηφιακό πολυεπίπεδο αρχείο	Διανυσματική (πολύγωνα)
Επιφανειακή γεωλογία	Αναλογικός χάρτης σκαναρισμένος	Κανονικοποιημένη (φατνία)
Πάχος εδαφικής απόθεσης	Περιγραφική πληροφορία σε Πίνακα Ιδιοτήτων, χωρική απεικόνιση Ισοβαθών (m)	Διανυσματική (πολύγωνα)
Βραχώδες υπόβαθρο	Περιγραφική πληροφορία σε Πίνακα Ιδιοτήτων, χωρική απεικόνιση Ισοβαθών (m)	Διανυσματική (σημεία)
Θέσεις Έρευνας	Περιγραφική πληροφορία σε Πίνακα Ιδιοτήτων, χωρική απεικόνιση σημείων (X, Y).	Διανυσματική (σημεία)
Στάθμη Υπόγειου Ύδατος	Περιγραφική πληροφορία σε Πίνακα Ιδιοτήτων, χωρική απεικόνιση Ισοβαθών (m)	Διανυσματική (σημεία)
Μέσες τιμές Vs (ταχύτητας διατμητικών κυμάτων)	Τιμές Vs και σημείο (X, Y) εδαφικής στήλης	Διανυσματική (σημεία)

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

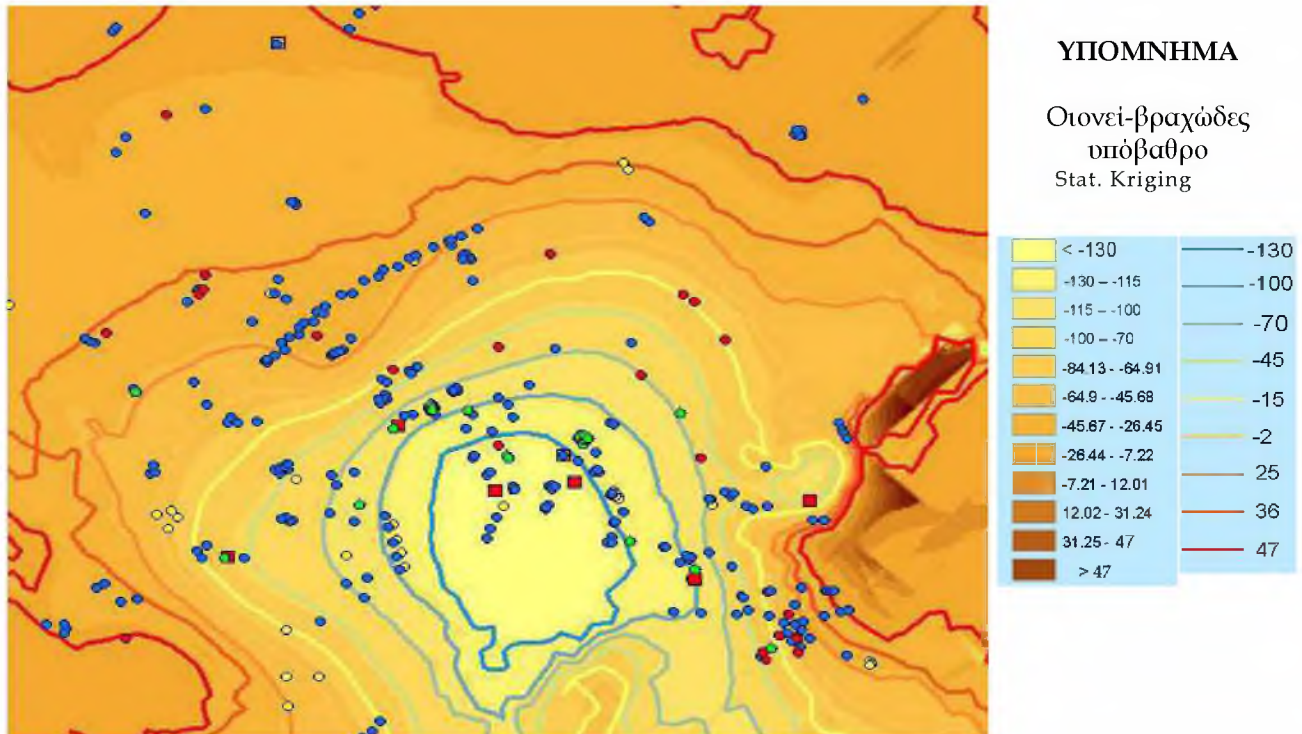


Σχήμα 7.2.7.1 Υψόμετρα επιφάνειας εδάφους στο Π.Σ. Βόλου – Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).

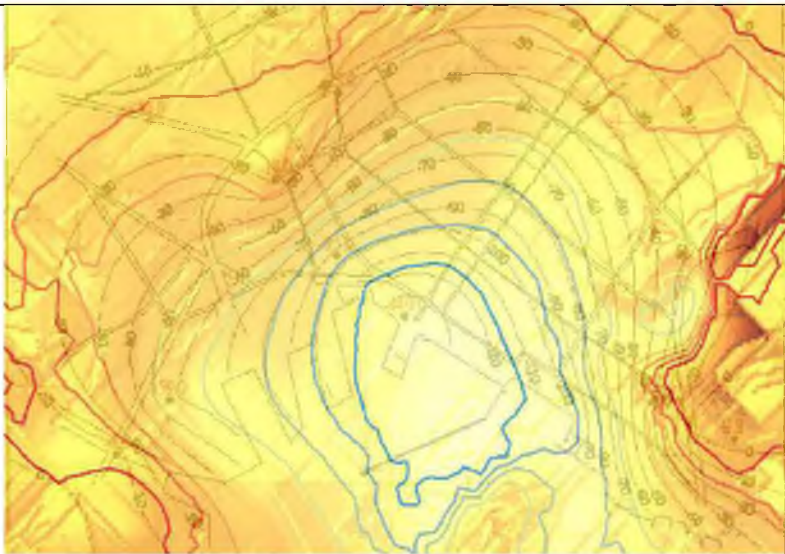
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.2.7.2 Υψόμετρα οιονεί-βραχώδους υποβάθρου στο Π.Σ. Βόλου – Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).

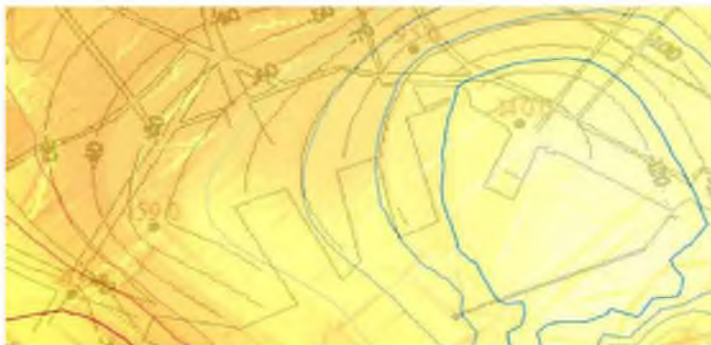


Σχήμα 7.2.7.3 Υψόμετρα οιονεί-βραχώδους υποβάθρου (χρωματικές διαβαθμίσεις του καφέ) με ταυτόχρονη σχεδίαση ισοβαθών (καμπύλες σε διαδοχικούς τόνους από μπλε έως βυσσινί) για την μελέτη των συγκριτικών λεπτομερειών (Σχ. 7.2.7.4).

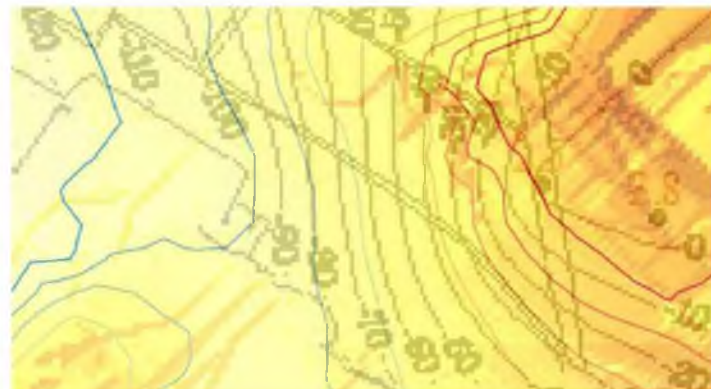


ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ
ΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ
ΖΩΝΗΣ

(α)



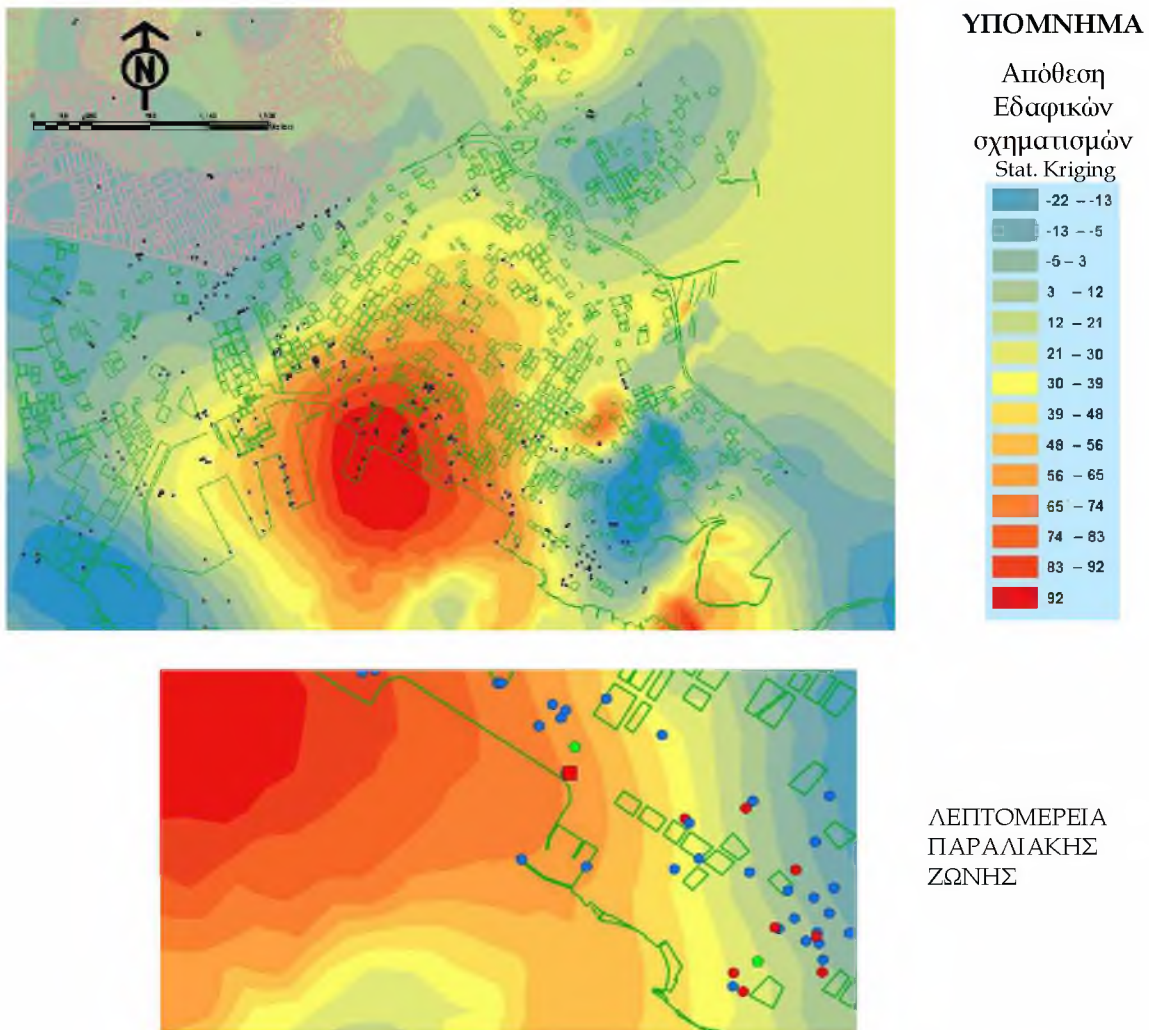
(β)



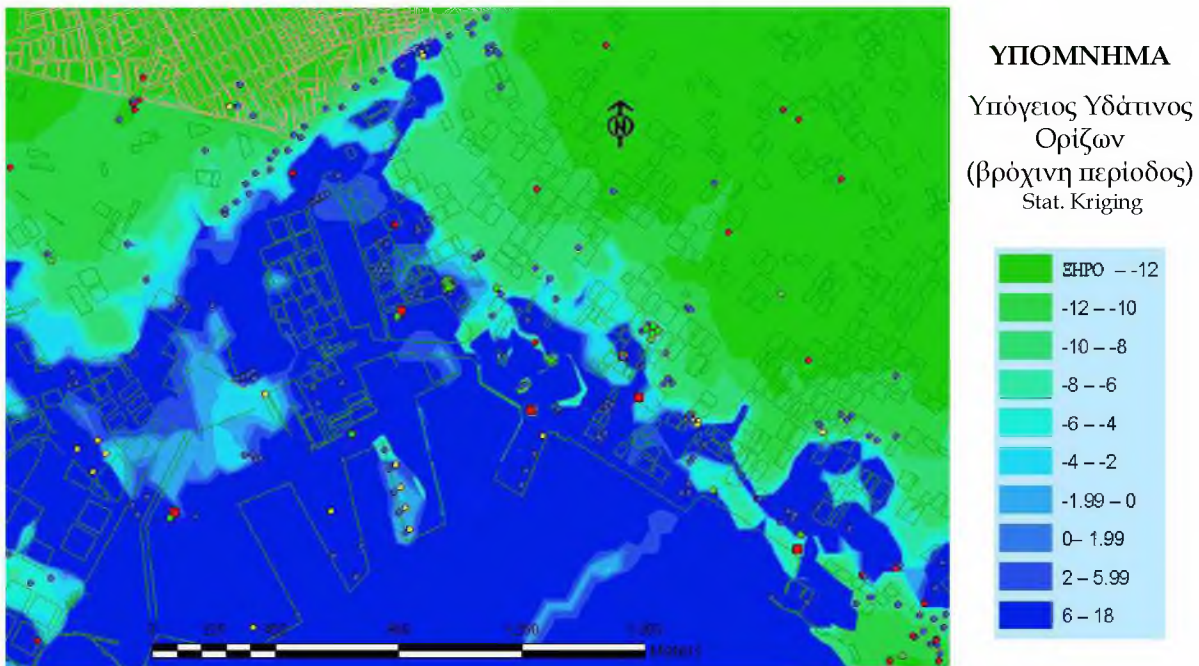
(γ)

Σχήμα 7.2.7.4 Συγκριτική απεικόνιση των ισοβαθών του οιονεί-βράχου της παρούσης έρευνας (έγχρωμες καμπύλες) με τα αντίστοιχα της ΜΜ (γκρίζες καμπύλες, χαμηλής ανάλυσης) σε διάφορες θέσεις του Π.Σ. Βόλου (Γεωστατιστική μέθοδος) (βλ. Υπομνήματα Σχ. 7.2.7.3).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 7.2.7.5 Πάχος εδαφικής απόθεσης στο Π.Σ. Βόλου - Ν.Ιωνίας (Γεωστατιστική μέθοδος).



Σχήμα 7.2.7.6 Προσέγγιση υψομέτρων του Υπόγειου Υδάτινου Ορίζοντα (Υ.Υ.Ο) σε βρόχνη περίοδο στο Π.Σ. Βόλου (Γεωστατιστική μέθοδος).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :

Σύνοψη – Συμβολή - Προτάσεις

8.1 Σύνοψη της ερευνητικής εργασίας

Το αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής ήταν η κατάρτιση μεθοδολογίας με την οποία εκτιμούνται λεπτομερώς και με πληρότητα οι παράμετροι που περιγράφουν τη δυναμική συμπεριφορά (απόκριση) του εδάφους υπό σεισμική φόρτιση σε μια διάσταση. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει μια σύνθεση επιμέρους μεθοδολογιών οι οποίες αναπτύχθηκαν στην ίδια Διατριβή. Βασίζονται σε μεθόδους και τεχνικές της βιβλιογραφίας οι οποίες εδώ και δεκαετίες βρίσκουν παγκοσμίως μεγάλη εφαρμογή στον επιστημονικό τομέα της Γεωτεχνικής και το πεδίο της Σεισμικής Μηχανικής. Οι μεθοδολογίες καταρτίστηκαν σε μορφή κώδικα και αναπτύχθηκαν σε ενιαίο λογισμικό με το ακρωνύμιο *GeoSeism* - όπου μπορούν να λειτουργούν και ανεξάρτητα. Με την αρθρωτή δομή των **αυτόματα συνεργαζόμενων αυτόνομων** αυτών δομικών μονάδων το *GeoSeism* ταυτόχρονα παρουσιάζεται ως πρότυπο **διαλειτουργικό ΓΣΠ**.

Πιο συγκεκριμένα, το φυσικό φαινόμενο στο οποίο κυρίως η μεθοδολογία εστιάζει είναι οι αναμενόμενες εδαφικές κινήσεις στο διάστημα από τα σεισμικά υπόβαθρα μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, για μονοδιάστατη διέγερση από διατμητικά κύματα χόρου τύπου SH (Ενοτ. 1.1, Σχ. 1.1).

Το βασικό προϊόν της Διατριβής είναι η ανάπτυξη της μεθοδολογίας του *GeoSeism*, που περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους πέντε μεθοδολογίες:

1. **Ισοδύναμα γραμμική ανάλυση:** Η κεντρική μεθοδολογία είναι η *Αρτεμις* (Ενοτ. 5.1). Επιτελεί ανάλυση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης με βάση τη μονοδιάστατη ισοδύναμα γραμμική μέθοδο όπως την υπέδειξαν οι δημιουργοί του *SHAKE (Schnabel et al., 1972)*. Εφαρμόζει έτσι το ιξωδοελαστικό μοντέλο προσαρμοσμένο στην υστερητικού τύπου εδαφική απόσβεση (Κεφ. 3). Τα εισαγόμενα εδαφικά δεδομένα περιλαμβάνουν το απλό (1D) εδαφικό προφίλ, δηλαδή: τα πάχη και τη σειρά εναπόθεσης των στρώσεων, μια ελαστική δυναμική ιδιότητα (ταχύτητα διατμητικών κυμάτων Vs) και τις σχέσεις που

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

περιγράφουν τη μη-γραμμική συμπεριφορά κάθε στρώσης (δηλαδή, τη μεταβολή του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης και της απόσβεσης συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης). Τα απαραίτητα εισαγόμενα σεισμικά δεδομένα περιλαμβάνουν τη φόρτιση σε όρους χρονοϊστορίας και το μέγεθος M του Σεισμού Σχεδιασμού της εξεταζόμενης περιοχής. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τα πλάτη, το συχνοτικό περιεχόμενο και τις πλήρεις χρονοϊστορίες των παραμέτρων της εδαφικής απόκρισης (δηλαδή, την επιτάχυνση, την ταχύτητα, τη μετακίνηση, τη διατμητική τάση, και τη διατμητική παραμόρφωση) σε κάθε βάθος. Η συμβολή της στην επιστήμη εξηγείται στη συνέχεια (Ενοτ. 8.2).

2. **Σημαιολογικός Διερμηνέας:** Η μεθοδολογία *Πυθία* (Ενοτ. 5.2), είναι μια πρωτότυπη μεθοδολογία της παρούσης διατριβής. Επιτελεί γεωτεχνική ερμηνεία, δηλαδή επεξεργάζεται και συμπληρώνει τα πρωτογενή εδαφικά δεδομένα ώστε να έχουν ολοκληρωμένο νόημα από άποψη Γεωτεχνικής Μηχανικής. Εφαρμόζει κανόνες και τεχνικές που θεωρούνται θεμελιώδεις για τον επιστημονικό αυτό τομέα και τους ισχύοντες κανονισμούς. Στα αποτελέσματά της υπάρχει πιο ακριβέστερη εικόνα για τις τοπικές εδαφικές συνθήκες από ότι στα πρωτογενή δεδομένα. Παράγει λεπτομερείς σε περιγραφικά (όχι μόνον γεωμετρικά) δεδομένα εδαφικές τομές (αντί για απλά 1Δ εδαφικά προφίλ).
3. **Έλεγχος του Κίνδυνου Ρευστοποίησης:** Η μεθοδολογία *Πολυνόη* (Ενοτ. 5.3), εξετάζει τον κίνδυνο έναντι του δευτερογενούς φαινομένου της ρευστοποίησης. Τα εισαγόμενα δεδομένα που χρησιμοποιεί είναι τα βασικά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά (πλαστικότητα, κοκκομετρία) των εδαφικών σχηματισμών, τα οποία δύναται να λαμβάνει και έτοιμα από τη λεπτομερή εδαφική τομή της *Πυθίας*. Απαραίτητο επίσης εισαγόμενο είναι και η τιμή του μέγιστου πλάτους της αναπτυσσόμενης στο έδαφος διατμητικής τάσης, το οποίο δύναται για λόγους ακριβείας να το λαμβάνει διαλειτουργικά από την *Άρτεμις* ή άλλη αριθμητική μέθοδο. Επιτελεί ποιοτικό έλεγχο με βάση εμπειρικά κριτήρια γνωστά στη Σεισμική Μηχανική. Επιτελεί επίσης ποσοτικό έλεγχο με βάση την εμπειρική μεθοδολογία των Youd and Idriss (2001) για τους τρεις τύπους, δηλαδή για δεδομένα από γεωφυσικές μετρήσεις Crosshole ή Downhole, και από γεωτεχνικές SPT και CPT.
4. **Φάσματα συχνοτήτων Fourier και αντίστροφοι Μετασχηματισμοί:** Η μεθοδολογία *Θεμιστόκλεια* (Ενοτ. 5.4), αναλύει το συχνοτικό περιεχόμενο οποιονδήποτε χρονοϊστοριών, είτε είναι εισαγόμενες φορτίσεις είτε εδαφικές αποκρίσεις. Επίσης, αντιστρέφει στο πεδίο του χρόνου οποιοδήποτε εισαγόμενο φάσμα - όχι απαραίτητα αυτό που υπολογίζεται από την ίδια χρονοϊστορία. Επιτρέπει δηλαδή την επεξεργασία των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων και την αυτόνομη λειτουργία της μεθοδολογίας. Αναπτύσσεται με βάση τον Ευθύ και τον Αντίστροφο Διακριτό Μετασχηματισμό **Fourier**.
5. **Φάσματα ελαστικής απόκρισης των κατασκευών:** Η μεθοδολογία *Πενθεσίλεια* (Ενοτ. 5.5), επιτελεί τις βασικές επεξεργασίες της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης και υπολογίζει τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των μονοβάθμιων κατασκευών. Χρησιμοποιεί ως εισαγόμενες τις εξαγόμενες χρονοϊστορίες της *Άρτεμις*, ή άλλης αριθμητικής μεθόδου, και την επιλογή μιας ενιαίας ιξώδους τιμής απόσβεσης του αντισεισμικού

κανονισμού. Αναπτύχθηκε με βάση την αριθμητική μέθοδο της εν χρόνω ολοκλήρωσης του αλγόριθμου των Nigam and Jennings (1968).

Το τεχνολογικό υλικό προϊόν της Διατριβής, είναι:

- (1). **Αυτοματοποιημένη μεθοδολογία για ΜΜΣΕ (πέντε λογισμικά):** Αναπτύχθηκε το λογισμικό *GeoSeism* για να επιτελεί αυτοματοποιημένα όλες τις προαναφερθείσες μεθοδολογίες. Κάθε μεθοδολογία αναπτύχθηκε ως υπο-πρόγραμμα – δηλαδή με δυνατότητα να λειτουργεί και αυτόνομα. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή εξ αρχής ο κώδικας των μεθοδολογιών γράφηκε έτσι ώστε να αλληλεπιδρούν μέσω μιας «υπερ-Βάσης» (εν προκειμένω της *Καλλιπάτειρας*) κι όχι απευθείας μεταξύ τους. Εξασφαλίστηκε επομένως η υπολογιστική δυνατότητα να προσαρμόζονται κι άλλα λογισμικά είτε να αφαιρείται κάποιο χωρίς να προκύπτει αδυναμία λειτουργίας στα υπόλοιπα. Ως εκ τούτου, οι επιμέρους μεθοδολογίες μπορούν να αποτελέσουν **πέντε αυτόνομα λογισμικά**. Ο κώδικας καθεμιάς διατηρεί τη διαλειτουργική δυνατότητα μεταξύ τους καθώς και με τα αντίστοιχα ΓΣΠ.
- (2). **Βάση Διαχείρισης πολυθεματικών εδαφικών Δεδομένων** (Κεφ. 4): Αναπτύχθηκε η *HelGeoRDaS_uTH*. Αποθηκεύει, διαχειρίζεται και διαχέει πρωτογενή πολυθεματικά δεδομένα σε επίπεδο πόλης. Εφαρμόζει προδιαγραφές συντακτικών προτύπων κοινές με τα διαλειτουργούντα ΓΣΠ (Ενοτ. 2.2.5). Είναι κατάλληλη να λειτουργήσει ως **Τράπεζα ψηφιακής πληροφορίας** σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες. Εξασφάλισε τη δυνατότητα, στην εσωτερική αρχιτεκτονική της, να επεκταθεί και σε δίκτυα ύδρευσης και συναφών υποδομών. Έχει επομένως ένα επίκαιρο ενδιαφέρον αφενός να γεμίσει με περισσότερα δεδομένα για την ίδια είτε και άλλες πόλεις αφετέρου να αναπαράγονται (στο πρότυπό της) μικρές περιφερειακές βάσεις οι οποίες θα διαχέουν την τοπική πληροφορία προς τα μεγάλα ΓΣΠ.
- (3). **Πολυθεματικά εδαφικά δεδομένα στο σύνολο τυπικής πόλης:** Η τρέχουσα έκδοση *HelGeoRDaS_uTH* πληρώθηκε ήδη με χωρικά δεδομένα για (342) διακριτές Θέσεις Έρευνας (εδαφικές στήλες: Ενοτ. 4.1.3) για το σύνολο της πόλης του Βόλου (τυπική ελληνική πόλη). Κάθε Θέση συνοδεύουν χωρικά δεδομένα, τα οποία αναφέρονται στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (εργαστηριακές δοκιμές, SPT, CPT, CH, DH) και τη γεωμετρία σε διάφορα βάθη των εδαφικών στρώσεων, καθώς και σε γεωλογικές περιγραφές, υδρολογικά και τοπογραφικά στοιχεία, κ.ά. Έχει συλλεχθεί και καταχωρηθεί η πυκνότερη διαθέσιμη χωρική πληροφορία που υπήρχε ως το 2010 από παλαιότερες γεωτεχνικές έρευνες (Ενοτ. 7.1). Σταμάτησε όταν δεν υπήρχε σημαντική ροή από την περαιτέρω αναζήτηση σε τοπικές βάσεις. Νέα δεδομένα θα μπορούν να προστίθενται στο εξής από τις γεωτεχνικές έρευνες που θα υλοποιούνται στο μέλλον, εφόσον αναληφθεί τέτοιο έργο.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Οι έλεγχοι όλων των παραπάνω προϊόντων της Διατριβής διαπίστευσαν την επιτυχή υλοποίησή τους. Συγκεκριμένα:

- ⊗ Η επιτυχής κατασκευή της Σχεσιακής Βάσης Πολυθεματικών Δεδομένων γεωτεχνικού ενδιαφέροντος *HelGeoRDaS_uTH* ελέγχθηκε εκ του αποτελέσματος –καθότι αποθηκεύθηκε και λειτουργεί επιτυχώς ένα αξιόλογα μεγάλο και περιεκτικό περιεχόμενο πρωτογενών δεδομένων σε επίπεδο πόλης (Ενοτ. 7.1).
- ⊗ Η επιτυχής κατάρτιση κάθε υπο-προγράμματος του *GeoSeism* μπορεί να ελεγχθεί από τις εφαρμογές που έγιναν και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και με αντίστοιχα αποτελέσματα γνωστών λογισμικών (*Άρτεμις*: Κεφ. 6, *Πυθία*: Ενοτ. 7.2.1, Ενοτ. 7.2.2, *Πολυνόη*: Ενοτ. 7.2.6, *Θεμιστόκλεια*: Ενοτ. 5.4.5, *Πενθεσίλεια*: Ενοτ. 5.5.6).
- ⊗ Η επιτυχής διαλειτουργικότητα του όλου ΓΣΠ, από τη λήψη δεδομένων από τη *HelGeoRDaS_uTH* μέχρι την καταχώρηση των αποτελεσμάτων του *GeoSeism* στη Βάση *Καλλιπάτειρα*, ελέγχθηκε μέσα από την πιλοτική εφαρμογή της συνολικής μεθοδολογίας σε ένα τμήμα της παραλιακής ζώνης της πόλης του Βόλου, που αποτελεί μια τυπική ελληνική πόλη (Ενοτ. 7.2).

Από άποψη θεωρητικού υποβάθρου, επιβεβαιώνονται τα πλεονεκτήματα του *GeoSeism*, ότι είναι μεθοδολογία:

- ⊗ **Αξιόπιστη**, στα όρια των παραδοχών της μονοδιάστατης ισοδύναμα γραμμικής μεθόδου (Ενοτ. 1.4, Ενοτ. 3.2.1, 3.3.3), επειδή προσεγγίζει τη μη γραμμική υστερητική συμπεριφορά των εδαφών για επιβαλλόμενες διατμητικές παραμορφώσεις πλάτους έως 0.2 % - πρακτικά μέχρι και τους ισχυρούς σεισμούς. Χρησιμοποιεί την ακριβή μαθηματική λύση της κυματικής διάδοσης για τη γενική περίπτωση των πολυστρωματικών σχηματισμών που υπέρκεινται σε εύκαμπτο οιονει-σεισμικό υπόβαθρο. Παρότι εξετάζει μόνον μονοδιάστατο σεισμικό φορτίο (κατακόρυφα διατμητικά κύματα τύπου SH), την αξιοπιστία της μεθοδολογίας διαπιστεύει ο συνεχής εδώ και δεκαετίες μεγάλος αριθμός εφαρμογών της ίδιας μεθόδου παγκοσμίως. Μπορεί επομένως να χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες περιπτώσεις εδαφικών συνθηκών χωρίς να συντρέχει λόγος για πολυδιάστατες αναλύσεις που απαιτούν συνήθως μεγαλύτερη υπολογιστική υποδομή και δαπάνες.
Η **ευελιξία** της μεθοδολογίας, στο να ανταλλάσσει αποτελέσματα μέσω αρθρωτής δομής και κάποιας «υπερ-Βάσης» (εν προκειμένω της *Καλλιπάτειρας*), επιτρέπει τη διαλειτουργία ή και επέκταση της παρούσης μεθοδολογίας με κάποια μεθοδολογία που είναι καταλληλότερη σε ενδεχόμενες θέσεις με προφίλ λεκάνης όπου απαιτείται ανάλυση πολυδιάστατου κυματικού πεδίου. Από τη μεριά της, η χρησιμότητα της παρούσας μεθοδολογίας προς την πολυδιάστατη θα είναι ότι, τη διευκολύνει επειδή χορηγεί ολοκληρωμένη εδαφική πληροφορία στην αρχή και συμπληρωματικές διαδικασίες στο τέλος.
- ⊗ **Λεπτομερής**, επειδή υπολογίζει όλες τις παραμέτρους της εδαφικής κίνησης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και των συχνοτήτων. Δηλαδή, στα αποτελέσματα αποθηκεύονται

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

όλες οι εδαφικές ιδιότητες, τα βαθμωτά μεγέθη της ανάλυσης, οι προαναφερθείσες παράμετροι εδαφικής απόκρισης και τα ενδιάμεσα στάδια των υπολογισμών.

- ⊙ **Τεχνολογία ΓΣΠ:** Η ανάπτυξη όλων των μονάδων του *GeoSeism* πάνω σε τεχνολογία ΓΣΠ, εξασφαλίζει εγγενώς τα πλεονεκτήματα και τις τεχνολογικές αναβαθμίσεις της υψηλής και συνεχώς εξελισσόμενης αυτής τεχνολογίας. Λόγω και της ευελιξίας της διαλειτουργικής δομής του, τόσο το συνολικό λογισμικό όσο και τα επιμέρους εξασφαλίζουν προοπτικές επεκτάσεων και χρήσης σε αρκετούς ανεξάρτητους σκοπούς.
- ⊙ **Ακριβής,** επειδή συντρέχουν τα εξής: Πρώτον, επιτυγχάνει όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική γνώση των τοπικών εδαφικών συνθηκών (Ενοτ. 8.3), επωφελομένη από τα συνεχή πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ΓΣΠ. Δεύτερον, συνδυάζει το θεμελιώδες πλεονέκτημα να τροφοδοτεί όλες τις επιμέρους μεθοδολογίες με δεδομένα τα οποία εξάγει από μια ακριβή αριθμητική μέθοδο (η έχουσα κεντρικό ρόλο ισοδύναμα γραμμική ανάλυση, αντί λ.χ. από μια απλουστευτική).
- ⊙ **Περιεκτική,** επειδή τα αποτελέσματα δίνουν εικόνα όχι μόνον της εδαφικής ταλάντωσης (κεντρική μεθοδολογία) αλλά και της σεισμικής επιβάρυνσης στις κατασκευές (φάσματα απόκρισης) και του δευτερογενούς κινδύνου εδαφικής αστοχίας (ρευστοποίηση) καθώς και της γνώσης των δεδομένων (ανάλυση: εδαφικών δεδομένων, σεισμικών κυμάτων στα πεδία χρόνου και συχνοτήτων).
- ⊙ **Κατάλληλη για Μικροζωνικές Μελέτες Σεισμικής Επικινδυνότητας,** επειδή με όλα τα παραπάνω θεμελίωσε τις δυνατότητες να βελτιώνεται και να αποτελεί αυτοματοποιημένη και αξιόπιστη μεθοδολογία στην υπηρεσία των ΜΜΣΕ που στόχο έχουν την εκτίμηση των αποτελεσμάτων του σεισμού στα έργα και στις κατασκευές του μηχανικού.

Επεκτάσεις που προβλέπονται να γίνουν άμεσα, είναι:

- ⊙ Επιδιώκεται να επεκταθεί η μεθοδολογία της *Πυθίας* και της *Πολυπόης*. Η πρώτη να επιτελεί περισσότερες επεξεργασίες και η δεύτερη να επιτελεί και χωρική κατανομή του δυναμικού ρευστοποίησης.
- ⊙ Επιδιώκεται το λογισμικό να αλλάξει γλώσσα προγραμματισμού. Ο κώδικας *GeoSeism* ξεκίνησε πριν πολλά χρόνια να καταρτίζεται σε γλώσσα Visual Basic και στο περιβάλλον VB6. Στο μεταξύ, αυξήθηκε σημαντικά σε μήκος τόσο ώστε απαιτεί σημαντική μνήμη και αυξημένη υπολογιστική ικανότητα. Για τον λόγο αυτόν, ξεκίνησε ήδη σταδιακά να μεταφράζεται σε C και ο στόχος είναι να ξαναγραφεί σε άλλον μεταγλωττιστή (compiler) και σε περιβάλλον προγραμματισμού (IDE) που θα βοηθά να τρέχουν πιο γρήγορα και φιλικά προς τον χρήστη οι διαδικασίες.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

8.2 Αναμενόμενη χρησιμότητα και συμβολή στην επιστήμη

Όπως προαναφέρθηκε, το συνολικό προϊόν της Διδακτορικής Διατριβής είναι η μεθοδολογία που καταρτίστηκε και που αναπτύχθηκε στο λογισμικό *GeoSeism* με όλες τις επιμέρους μεθοδολογίες και τις δυο Βάσεις που μαζί αναπτύχθηκαν, περιλαμβανομένης της βάσης πολυθεματικών δεδομένων γεωτεχνικού ενδιαφέροντος *HelGeoRDaS_uTH* με το περιεχόμενό της. Η **χρησιμότητα** και οι προοπτικές καθενός εξ αυτών είναι αυτονόητες, λ.χ., το περιεχόμενο της Βάσης θα ωφελήσει την τοπική κοινωνία αλλά και τον ευρύτερο επιστημονικό κόσμο. Το συνολικό προϊόν είναι κατάλληλο για την υλοποίηση Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας, λόγω κυρίως του περιεκτικού χαρακτήρα της μεθοδολογίας (εξηγείται στην Ενот. 8.1), και γενικά για την εκτίμηση της σεισμικής εδαφικής απόκρισης και της σεισμικής επιβάρυνσης σε κτίρια και σε υπόγειες υποδομές (δίκτυα ύδρευσης, φυσικού αερίου, κ.λπ.). Επίσης, το *GeoSeism* είναι χρήσιμο για ανταλλαγή των αποτελεσμάτων του μέσω των ΓΣΠ – ειδικά εφόσον στο άμεσο μέλλον αυτά αξιοποιηθούν διεθνώς προς την κατεύθυνση της διανίχνευσης των εδαφικών συνθηκών και της διάχυσης χωρικής πληροφορίας (Ενот. 2.1.1).

Προκειμένου να εξεταστεί η συμβολή στην επιστήμη, μιας Διατριβής που υλοποιείται σε Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, η έμφαση δίνεται στο θεωρητικό υπόβαθρο της κεντρικής της μεθοδολογίας. Η **μέθοδος της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης** του *GeoSeism* (Αρτεμής: Κεφ. 3, Ενот. 5.1), όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μια σύγχρονη αναπαραγωγή της μεθόδου του *SHAKE* (Schnabel et al., 1972) και των λογισμικών που την ανέπτυξαν, λ.χ. των ευρείας εφαρμογής *SHAKE91* (Idriss and Sun, 1992), *EERA* (Bardet et al, 2000) και όσων λογισμικών εφάρμοσαν διεθνώς την ίδια μέθοδο (Παράρτημα I). Συγκριτικά με εκείνα είναι ένα σύγχρονο και εξελιγμένο λογισμικό. Δηλαδή, χρησιμοποιεί σχεσιακές βάσεις δεδομένων, διαχειρίζεται αυτόματα μεγάλο αριθμό δεδομένων, έχει περιεκτικότερη μεθοδολογία, κ.ά. Προπάντων, δίνει τη δυνατότητα να διεισδύσει η ισοδύναμη γραμμική μέθοδος στον χώρο των σύγχρονων διαλειτουργικών ΓΣΠ και των επίκαιρων τεχνολογικών προδιαγραφών (Ενот. 8.3). Τα πλεονεκτήματα του *GeoSeism* σε σχέση με τα καθιερωμένα *EERA* και *SHAKE*, μπορούν να θεωρηθούν τα εξής:

1. Είναι μια μοντέρνα εφαρμογή της ίδιας μεθόδου. Αναπτύσσεται δηλαδή σε νεότερη τεχνολογία με τις υπολογιστικές δυνατότητες και τα ισχυρά εργαλεία των ΓΣΠ.
2. Είναι καταλληλότερο για ΜΜΣΕ σε πολεοδομικά συγκροτήματα, για τους λόγους που εξηγήθηκαν (Ενот. 8.1). Οι υπολογισμοί καλύπτουν τα αποτελέσματα ενός ισχυρού σεισμού, στα έργα και τις κατασκευές του μηχανικού.
3. Επιτρέπει απεριόριστο αριθμό εδαφικών στρώσεων και εδαφικών δεδομένων και επιπλέον μπορεί να εξετάζει περισσότερα από ένα εδαφικά προφίλ με αυτόματη επίλυση από τον κώδικα (κάτι το οποίο λ.χ. στο *EERA* δεν γίνεται αυτομάτως).
4. Διαθέτει αρκετές ακόμη μικρότερες δυνατότητες που διευκολύνουν και αυτοματοποιούν. Για παράδειγμα: διαθέτει ευελιξία στην προσαρμογή νέων καμπυλών μετα-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

βολής «G/Gmax-ε%, ξ%-ε%» (χρησιμοποιεί ειδικούς Πίνακες για τον σκοπό αυτό), κάνει αυτόματη επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης με βάση τη γεωλογική περιγραφή και τα στοιχεία πλαστικότητας είτε με βάση μια εναλλακτική μεθοδολογία εδαφικού χαρακτηρισμού (Λιθολογικοί Συντελεστές: Ενот. 4.2.2.4), οι εδαφικές τομές καταρτίζονται αυτόματα (σε σχέση με το EERA), εξετάζονται περισσότερες από 50 στρώσεις στο εδαφικό προφίλ (το SHAKE90/91 περιορίζεται μέχρι και 50 στρώσεις, το EERA έχει έναν περιορισμό όταν οι στρώσεις είναι πολλές, κ.λπ.

Παρότι το τεχνολογικό προϊόν της Διατριβής δεν είναι ακόμη ιδανικά αυτοματοποιημένο, αποτελεί εντούτοις μια πρόταση στην νεώτερη τεχνολογία. Προτείνει μια απλή και σχετικά οικονομική εφαρμογή ικανή να συμβάλλει στις διεθνείς προσπάθειες για διαλειτουργικές τεχνολογίες επωφελομένη ταυτόχρονα και από τα ισχυρά εργαλεία της εξελισσόμενης τεχνολογίας των ΓΣΠ.

8.3 Συμβολή της διατριβής με καινοτόμα στοιχεία

Μερικά επίσης καινοτόμα στοιχεία της μεθοδολογίας (Ενот. 1.3, 1.5) έχουν επίκαιρο ενδιαφέρον για την επιστημονική έρευνα, παρότι δεν είναι προς το παρόν (και δεν ήταν απαραίτητο να είναι) ιδιαίτερα εξελιγμένα μέσα στο *GeoSeism*. Πρόκειται για τη γενική ιδέα του Σημαιολογικού Διερμηνέα και την πρώτη σχετική μεθοδολογία *Πυθία* (Ενот. 8.3.2), καθώς και για τις πρότυπες εφαρμογές: διαλειτουργικού ΓΣΠ, υπερ-Βάσης, και ενοποίησης δεδομένων και μεθοδολογιών (Ενот. 8.3.1).

8.3.1 Πρότυπο Διαλειτουργικό ΓΣΠ (*GeoSeism*)

Πρότυπο διαλειτουργικό ΓΣΠ: Από λειτουργικής άποψης, το *GeoSeism* χαρακτηρίζεται έτσι επειδή συνίσταται από αυτόματα συνεργαζόμενες αυτόνομες δομικές μονάδες οι οποίες επιπλέον αναπτύσσονται πάνω στην τεχνολογία των ΓΣΠ (Ενот. 1.5). Οι δομικές μονάδες περιλαμβάνουν τις προαναφερθείσες πέντε μεθοδολογίες σε μορφή υπο-προγραμμάτων (δηλαδή, λειτουργούν και αυτόνομα) και δυο Βάσεις διαχείρισης δεδομένων. Ειδικότερα:

Ενδεικτική διαφορά ενός διαλειτουργικού ΓΣΠ από ένα απλό λογισμικό, ή από μια βάση διαχείρισης δεδομένων ή ακόμη και από την έννοια της «συμβατότητας», είναι ότι είναι δυνατή η ανταλλαγή (και επεξεργασία) των δεδομένων, ή και των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων, κατά την πορεία των υπολογιστικών διαδικασιών.

Τα πλεονεκτήματα της διαλειτουργικότητας (Ενот. 2.2.4), προσδίδουν σε όλες αυτές τις μονάδες ευελιξία και στο συνολικό *GeoSeism* χαρακτήρα αυτοματισμού (Ενот. 1.2, Ενот. 1.3).

Η τεχνική διαλειτουργικότητα εξασφαλίζει τις προδιαγραφές και τις αναβαθμίσεις της μερίμνα των εταιρειών εμπορικού λογισμικού των εφαρμογών MS Access, Excel, VB6, ArcGIS ESRI, πάνω στις οποίες το *GeoSeism* αναπτύχθηκε. Η διαλειτουργική δομή συνοπτικά ρυθμίστηκε ως εξής: Αμφίδρομες λειτουργίες και αποθήκευση επεξεργασμένων δεδομένων επιτρέπονται μόνον στην κεντρική διαχειριστική υπερ-Βάση. Εξασφαλίζεται έτσι η ακεραιότητα των πρωτογενών δεδομένων της εξωτερικής βάσης αλλά και η ελεγχόμενη διαμοίραση της παραγόμενης πληροφορίας από το ίδιο το σύστημα. Επίσης, εξασφαλίζεται η συνεργασία με άλλα λογισμικά είτε με άλλα ΓΣΠ, η ενημερωμένη πληροφορία μέσα από την ανταλλαγή δεδομένων, η αυτόματη υλοποίηση των διαδικασιών και η πρόσβαση σε διάφορες αυτοματοποιήσεις όπως είναι λ.χ. η αυτόματη χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων, η συνεργασία ή και η παράλληλη (για τη μείωση χρόνου) λειτουργία του με άλλα προγράμματα, η ευελιξία καθενός συστήματος να επεκτείνεται, κ.ά.

Πρότυπο υπερ-Βάσης: Η μια εκ των Βάσεων, η *Καλλιπάτειρα* (Ενοτ. 5.02), έχει ρόλο κεντρικής διαχειρίστριας Βάσεων ΓΣΠ («υπερ-Βάση»). Παρουσιάζει ένα πρότυπο συνδέσμου ο οποίος χρησιμοποιεί γεωγραφικές και γεωτεχνικές αναφορές προκειμένου να ανταλλάσει τα δεδομένα πολλών διαφορετικών μονάδων (λογισμικά, ΓΣΠ). Ο ρόλος αυτός είναι γνωστός και συχνά πολύ περισσότερο εξελιγμένος στα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα. Εντούτοις, εφαρμόζεται (εδώ) για πρώτη φορά σε μεθοδολογία η οποία έχει στόχο την αυτοματοποιημένη εκπόνηση ΜΜΣΕ.

Πρότυπο ενοποίησης δεδομένων και μεθοδολογιών: Η ενοποίηση αυξάνει την παραγωγικότητα των δεδομένων και την απόδοση των επιμέρους μεθοδολογιών. Ειδικότερα:

Ενοποίηση δεδομένων συμβαίνει όταν τα δεδομένα από διαφορετικούς πίνακες ή και διαφορετικές βάσεις συνδυάζονται σε σύνολα και αφού συμπληρωθούν (όσο είναι εφικτό) αποδίδουν γεωτεχνικές πληροφορίες με ολοκληρωμένο νόημα. Η ενσωμάτωση ετερογενών δεδομένων επιδιώκεται με τη χρήση κοινών μοντέλων ερμηνείας. Όταν το πρόγραμμα συναντήσει μια κενή παράμετρο τότε δεν σταματά την εξέταση όλης της εδαφικής στρώσης προχωρώντας στην επόμενη στρώση αλλά αναπληρώνει την παράμετρο με διάφορους τρόπους (με αναζήτηση και ανταλλαγή από άλλες πηγές, ή με εκτίμηση εναλλακτικής παραμέτρου, ή με υποθέσεις).

Η ενοποίηση των μεθοδολογιών συμβαίνει καθώς οι ανεξάρτητες δομικές μονάδες ρυθμίστηκαν ώστε να μπορούν να αλληλοσυνεργάζονται ή και να διαλειτουργούν, να αναμειγνύουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων, είτε ένα τμήμα ανοικτού υλικού που περιέχουν με άλλο ανοικτό υλικό.

8.3.2 Σημαιολογικοί Διερμηνείς και Πυθία

Ενόψει της εξελισσόμενης τεχνολογίας των **διαλειτουργικών ΓΣΠ** και επειδή υπάρχει μια διεθνής τάση για υιοθέτηση τεχνολογιών στο θέμα της γνώσης των εδαφικών συνθηκών (Ενοτ. 2.1.4), ο αλγόριθμος *Πυθία* αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Εισάγει τη γενική ιδέα του **Σημαιολογικού Διερμηνέα** (Ενοτ. 5.2.3).

Σημαιολογικός Διερμηνέας (ΣΔ): Προτείνεται να αποτελέσει μια νέα κατηγορία αλγόριθμων που θα είναι χρήσιμοι προκειμένου να επεξεργάζονται τα περιγραφικά χωρικά δεδομένα, ώστε να προσδίδουν σε αυτά ολοκληρωμένο νόημα (Πληροφορία). Δηλαδή, να καλύπτουν τις ελλείψεις των πρωτογενών δεδομένων, ώστε να είναι εφικτή η απρόσκοπτη ροή των διαδικασιών που θα τα χρησιμοποιήσουν (λ.χ. της *Αρτεμης*, της *Πολυνόης*) καθώς και να εξοικονομείται χρόνος στις υπολογιστικές διαδικασίες.

Για τον σκοπό αυτό, ο ΣΔ παράγει νέα δεδομένα είτε μέσω υπολογισμών είτε μέσω διαλειτουργικής ανταλλαγής. Οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τις θεμελιώδεις γνώσεις ενός επιστημονικού πεδίου. Προς το παρόν, το πεδίο είναι η Γεωτεχνική Μηχανική. Κατά την ενσωμάτωση δεδομένων, ο ΣΔ διαμορφώνει νέα γεωτεχνική πληροφορία. Δεν κάνει δηλαδή απλώς ανάκτηση και συσχέτιση αλλά γεωτεχνική ερμηνεία και συμπλήρωση των ελλείψεων, όπου αυτές είναι δυνατόν να συμπληρωθούν. Για παράδειγμα, στο *GeoSeism* επικουρεί σε διάφορα βήματα τους υπολογισμούς της δυναμικής ανάλυσης (Ενότητα 5.1.2) καθώς και τον έλεγχο της ρευστοποίησης (Ενότητα 5.3.3).

Υπο-πρόγραμμα Πυθία (εν εξελίξει λογισμικό): Η πρώτη μεθοδολογία ΣΔ που αναπτύχθηκε. Διαμορφώνει γεωτεχνικής αξίας Πληροφορία από τα «ασύνδετα» Δεδομένα των Βάσεων. Πιο συγκεκριμένα, παράγει πληροφορία (ή και νέα Δεδομένα) αναφορικά με τις εδαφικές ιδιότητες σε διάφορα βάθη, τη συμπεριφορά του εδάφους εξαιτίας της δόνησης και τα αποτελέσματα στις κατασκευές. Με τον τρόπο αυτό, τα ΓΣΠ επιτυγχάνουν ρεαλιστική προσομοίωση των εδαφικών συνθηκών, δηλαδή όχι απλά γεωγραφική αποτύπωση αλλά και «κατανόηση» του φυσικού κόσμου όσον αφορά τις εδαφικές συνθήκες και της επιρροής τους στις κατασκευές. Η δυνατότητα αυτή ενδιαφέρει ένα μεγάλο φάσμα συναφών μελετών της Μηχανικής σχετικών με την ασφάλεια από γεωκινδύνους αλλά και τη βελτίωση της αντισεισμικής ικανότητας των πάσης φύσεως τεχνικών κατασκευών. Ουσιαστικά αυξάνει την απόδοση των δεδομένων και διευκολύνει τις υπολογιστικές διαδικασίες.

Προοπτικές των Σημαιολογικών Διερμηνέων, είναι:

- ☉ Να επεκτείνονται με νέες διαδικασίες, προκειμένου να μπορούν να καλύψουν ακόμη περισσότερες περιπτώσεις όπου λόγω ανεπάρκειας δεδομένων αδυνατεί να υπολογιστεί μια νέα παράμετρος (λ.χ. διαδικασίες ασαφούς λογικής και εξόρυξης δεδομένων).
- ☉ Να γίνουν πρόσθετοι (add-in) στα λογισμικά που χρησιμοποιούν εδαφικά δεδομένα, είτε στα ΓΣΠ απεικόνισης της Γης. Είναι δυνατόν να προσφέρουν με διαδραστικό τρόπο

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

εδαφικές τομές στους δυναμικούς χάρτες οι οποίες να περιέχουν ρεαλιστική προσομοίωση των εδαφικών συνθηκών (Ενοτ. 5.2.4).

- ⊙ Να επεκτείνονται προκειμένου να δίνουν τον «βαθμό αντικειμενικότητας» μιας θεματικής εδαφικής Πληροφορίας. Δηλαδή, να δίνουν ποσοτικούς δείκτες ή ένα σύνολο μεταδεδομένων τα οποία να γνωστοποιούν ποιες προσεγγίσεις έγιναν όταν αυτή αναβαθμίστηκε σε διαδοχικά επίπεδα (DIKW).

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να γίνονται οι παραπάνω επεξεργασίες μέσα από τον κώδικα ενός ΓΣΠ. Επειδή είναι το πλέον κατάλληλο μέσο για την κατανόηση της γεωγραφίας που είναι μέρος του καθημερινού κόσμου, αφού κάθε απόφαση περιορίζεται, επηρεάζεται ή επιβάλλεται από κάποιο γεωγραφικό στοιχείο. Εφόσον αξιοποιηθούν διεθνώς προς την κατεύθυνση της διανίχνευσης των εδαφικών συνθηκών και της διάχυσης χωρικής πληροφορίας, οι Σηματολογικοί Διερμηνείς θα συμβάλλουν στη μοντελοποίηση των φυσικών και ανθρώπινων φαινομένων, τόσο σε ερευνητικό όσο και πρακτικό επίπεδο.

8.3.3 Άλλα ερευνητικά συμπεράσματα, προτάσεις, προοπτικές

(1) Η πρόταση της Διατριβής (Ενοτ. 1.3, Ενοτ. 2.1.1) είναι τα ΓΣΠ να δώσουν έμφαση και σε πληροφορία σχετικά με τις εδαφικές συνθήκες, από την άποψη της γεωμετρίας και των μηχανικών ιδιοτήτων του επιφανειακού εδάφους (μέχρι τα οιονεί-υπόβαθρα). Υπενθυμίζει ότι χρόνιο πρόβλημα των Πολιτικών Μηχανικών και ειδικά των γεωτεχνικών (Ενοτ. 2.1.3) είναι η ανεπάρκεια ή και η μη διάχυση δεδομένων για τις εδαφικές συνθήκες (Ενοτ. 2.1.2). Το χρόνιο αυτό πρόβλημα μπορεί λ.χ. να λυθεί αφενός με διανίχνευση του επιφανειακού εδάφους μέσω των ΓΣΠ απεικόνισης της Γης αφετέρου με διάχυση διαθέσιμων δεδομένων μέσω των ΓΣΠ. Και οι δυο τρόποι προϋποθέτουν θεσμικές πρωτοβουλίες, τεχνικά μέσα και κατάλληλα σημασιολογικά μοντέλα –όπως ο Σηματολογικός Διερμηνέας τον οποίο προτείνει η παρούσα Διατριβή.

(2) Το στοιχείο που χαρακτηρίζει το *GeoSeism* ως «ΓΣΠ που εξειδικεύεται στις εδαφικές συνθήκες» (Ενοτ. 4.3.2.2), είναι οι Γεωτεχνικοί Κωδικοί (αλφαριθμητικού τύπου) με τους οποίους δίνει ταυτότητα σε κάθε εδαφική στρώση. Αυτό σημαίνει ότι και οι σχεσιακές συνδεσμολογίες του *GeoSeism* δεν υλοποιούνται μόνον με τον ορισμό μιας γεωγραφικής αναφοράς αλλά και τον ορισμό μιας γεωτεχνικής αναφοράς (Ενοτ. 5.2.5). Οι ΓΚ έχουν ιδιαίτερο ρόλο στην παραπάνω μεθοδολογία του Σηματολογικού Διερμηνέα (λ.χ. κριτήριο των ερωτημάτων SQL, κριτήριο ταξινόμησης), στην οργάνωση των δεδομένων εντός της γεωγραφικής βάσης (*HelGeoRDaS_uTH*) και στην ψηφιακή απεικόνιση των εδαφικών συνθηκών. Κάθε Κωδικός αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη εδαφική στρώση και λειτουργεί ως σχεσιακό κλειδί με το οποίο ανακτώνται τα δεδομένα που αναφέρονται στην ίδια στρώση. Το μοντέλο αυτό εξασφαλίζει τη δυνατότητα ανάκτησης χωρικών δεδομένων τόσο

στο εσωτερικό του συστήματος όσο και διασυστημικά - κατά τις αμφίδρομες λήψεις αποτελεσμάτων μεταξύ των υπο-προγραμμάτων.

Ο ρόλος των ΓΚ είναι απαραίτητος μέσα στα διαλειτουργικά ΓΣΠ που εξειδικεύονται στις εδαφικές συνθήκες. Δίνουν γεωτεχνική σημασία σε κάθε εδαφική στρώση και ταυτόχρονα διασυνδέουν τα γεωτεχνικά με τα γεωλογικά, τα γεωφυσικά, τα εργαστηριακά και τα υδρολογικά δεδομένα, μεταξύ τους. Καθιστούν έτσι δυνατόν τα ΓΣΠ να αλληλοενημερώνονται αυτομάτως σχετικά με τα νεότερα διαθέσιμα δεδομένα των εδαφικών στρώσεων, να διευκολύνεται η σάρωση (διανίχνευση) της επιφανειακής τοπογραφίας, να ορίζονται τοπολογικές σχέσεις και τοπολογική ταυτότητα, αυτόματη γεωκωδικοποίηση και ευκολότερη γεωτεχνική χαρτογράφηση των εδαφικών σχηματισμών σε επίπεδο Μικροζωνικής Μελέτης.

(3) Η παρούσα διδακτορική έρευνα εισάγει για πρώτη φορά τη συζήτηση του ΔΙΚΩ («Δεδομένα» - «Πληροφορία» - «Γνώση» - «Κατανόηση» - «Κρίση») στον ερευνητικό χώρο των ΓΣΠ και στις εφαρμογές της γεωτεχνικής μηχανικής. Περιγράφει τον τρόπο που είναι δυνατόν να γίνεται πρακτικά εργάσιμη στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού, κατά τον σχεδιασμό της διαχεόμενης Πληροφορίας. Εφαρμόζει μάλιστα και πρακτικά τη γενική ιδέα του ΣΔ σε υπολογιστική μεθοδολογία, αναπτύσσοντας την *Πυθία*. Κατόπιν πρακτικών εφαρμογών σε ελληνική πόλη, εισηγείται τα πορίσματά της ως ορισμούς σχετικά με την

5.2.2).

(4) Τέλος, η διατριβή διατυπώνει μια δική της περιγραφή για το τι περιλαμβάνει σήμερα η τεχνολογία των «διαλειτουργικών ΓΣΠ», λαμβάνοντας υπόψη τους πολλαπλούς ορισμούς και ονομασίες που έχουν μέχρι τώρα δοθεί για τα ΓΣΠ (Ενοτ. 2.2.1) και τις σύγχρονες εξελίξεις των συστημάτων αυτών (Ενοτ. 2.1.1).

Με όλα τα παραπάνω, η παρούσα Διατριβή συμβάλει έμπρακτα στην επίκαιρη προσπάθεια να αξιοποιηθούν τα ΓΣΠ προς την κατεύθυνση της συστηματικότερης γνώσης των εδαφικών συνθηκών και μάλιστα αμφίδρομα, μεταξύ των πηγών πληροφορίας κι ενός επιστημονικού κοινού που συνεχώς αυξάνεται.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 :

Αναφορές Βιβλιογραφίας

Αναφορές

- ASTM** (D422-63). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of soils*. American Society for Testing and Materials, Annual Book of Standards, Section 4, Vol. 04.08, 1992, pp.94-100.
- ASTM** (D2487-98). *Unified Soil Classification System for classification and identification of soils for general engineering purpose*. American Society for Testing and Materials, 1985, adopted by ASTM D-2487-98 and IS: 1498-1970.
- ASTM** (D4015-87). *Standard Test Methods for Modulus and Damping of soils by the resonant-column method*. American Society for Testing and Materials, Annual Book of Standard.s. Section 4.(0.4.0.8):582-601.
- ASTM** (1988). *Standard Guide for using the Rock Mass Rating (RMR) System (Geomechanics Classification) in Engineering Practices*. American Society for Testing and Materials, Book of Standards D5878-08, v.04.09, Philadelphia, PA.
- ASTM** (2008). *Standard test methods for downhole seismic testing*. Annual book of ASTM standard, D7400, vol. 04.09.
- Ackoff** Russell. (1989). *From Data to Wisdom*. Journal of Applied Systems Analysis. 16: 3-9.
- Adampira** et al. (2015). *Comparison of equivalent linear and nonlinear methods in seismic analysis of liquefiable site response due to near-fault incident waves: a case study*. Arab J Geosci (2015) 8:3103-3118.
- Almeida** J. S., et al. (2006). *Data integration gets 'Sloppy'*. Nat. Biotechnol. 24 (9): 1070-1.
- Amidon** D. M. (1997). *Innovation Strategy for the Knowledge Economy: The Ken Awakening*. Butterworth-Heinemann, Newton, MA, USA.
- Anbazhagan** P. et al. (2010). *Multi-criteria seismic hazard evaluation for Bangalore city*. India, Journal of Asian Earth Sciences, 2010, available online.
- Anderson** J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Andrews** D. C. A., and Martin G. R. (2000). *Criteria for liquefaction of silty soils*. Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Andrus** D. Ronald, and Stokoe H. Kenneth, II. (1997). *Liquefaction resistance based on shear wave velocity*. National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER). Workshop. Proceedings, 89-128.
- Andrus** R. D., and Stokoe K. H., II. (2000). *Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, Issue 11, ASCE, 126(11), 1015-1025.
- Ansal** A., Laue J., Buchheister J., Erdik M., Springman S., Studer J., Koksall D. (2004). *Site characterization and site amplification for a seismic microzonation study in Turkey*. 11th Int. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Earthquake Geotechnical Engineering, San Francisco (2004).
- Antoniou** A. (2003). *HelGeoRDaS: a relational geotechnical database management system and the interplay with geographical information system (in Greek)*. PhD Thesis, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, National Technical University Athens, 276 pp.
- Aronoff** S. (1989). *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Athanasopoulos** A. George. (1999). *Geotechnical Earthquake Engineering*. University of Patras Editions, (in Greek), 197 p.
- Athanasopoulos** G. A. (1994). *An empirical correlation V_{so} - N_{spt} and an evaluation of its reliability*. Proc. of the Second International Conference on Earthquake Resistant Construction and Design, Berlin, 1994, Edited by S.A. Savidis, A.A. Balkema, pp. 219-226.
- AutoCAD** LDDT της Autodesk. See: <http://www.autodesk.com/products/autocad-1t/overview>
- Bardet** J. P., Ichii K., and Lin C. H. (2000). *EERA: A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*. University of Southern California. Department of Civil Engineering. August 2000.
- Bardet** J. P., Tobita T. (2001). *NERA: A Computer Program for Non Linear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits*. University of Southern California.
- Barton** N. (1987). *Influence of deformation on the behaviour of structures in jointed rocks*. Proc. 1st Sino British Geological Conference, Taipei, Taiwan. 90.
- Barton**, N. 1987. *Rock mass classification and tunnel reinforcement selection using the Q system*. Proc. ASTM Symp. on Rock Classification Systems for Engineering Purposes, Cincinnati, Ohio.
- Barton** N. and Bandis S. (1982). *Effects of block size on the shear behaviour of jointed rock*. Keynote Lecture, 23rd US Symposium on Rock Mechanics, Berkeley, California.
https://www.rocscience.com/documents/hoek/corner/05_Shear_strength_of_discontinuities.pdf
http://www.nickbarton.com/publications_all.asp
- Bellinger** Gene, Castro Durval, Mills Anthony. (2004). *Data, Information, Knowledge, and Wisdom*. Retrieved 7 January 2009.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Berners-Lee** Tim, James Hendler, Ora Lassila. (2001). *The Semantic Web*. Scientific American Magazine.
Berners-Lee, T. Semantic Web Road map:
<http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html> (last modified Oct. 14, 1998)
Berners-Lee, T. What the Semantic Web can represent:
<http://www.w3.org/DesignIssues/RDFnot.html> (last modified Sept. 17, 1998)
- Berry J. K.** (1987). *Fundamental operations in computer-assistant map analysis*. International Journal of Geographical Information Systems I: 119-36.
- Berry J. K.** (1995). *Beyond Mapping: Concepts, Algorithms and Issues in GIS*. GIS World Books, Fort Collins, USA.
- Bieniawski Z. T.** (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience. pp. 40-47. ISBN 0-471-60172-1.
- Biggs J. M.** (1965). *Introduction to structural dynamics*. New York, McGraw - Hill.
- Bishr Y.** (1997). *Semantic Aspects of Interoperable GIS*. Ph.D. Thesis, ITC Publication Series, Enschede, The Netherlands, ISBN 90-6164-1411.
- Bishr Y.** (1998). *Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability*. International Journal of Geographical Information Science, 12(4), pp. 335-352.
- Boatwright J., Fletcher J. B., and Fumal T. E.** (1991). *A general inversion scheme for source, site, and propagation characteristics using multiply recorded sets of moderate-sized earthquakes*. Bull. Seismol. Soc. Am., 81, 1754-1782.
- Boiko Bob.** (2005). *Content Management Bible (2nd ed.)*. Indianapolis: Wiley. p. 57.
- Borcherdt R. D. and Glassmeyer G.** (1990). *Local Geology and its Influence on Strong Ground Motion Generated by the Lorna Prieta Earthquake of October 17, 1989*. Proceedings, Putting the Pieces Together, Bay Area preparedness Project, October, San Francisco.
- Burroughs P. P. and McDonnel R. A.** (1998). *Principles of GIS*. Oxford University Press, pp. 299.
- Burrough P.A.** (1986). *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.
- Cardoso and Sheth** (2006). *Semantic Web Services, Processes and Applications*. Springer.
- Castro G.** (1995). *Empirical methods in liquefaction evaluation*. Primer Ciclo d Conferencias Internacionales, Leonardo Zeevaert, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City.
- Chisholm James, Warman Greg.** (2007). *Experiential Learning in Change Management*. In Silberman, Melvin L. The Handbook of Experiential Learning. Jossey Bass. pp. 321-40.
- Chopra K. Anil** (1995). *Dynamics of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering, Appendix A: Frequency-Domain Method of Response Analysis*. Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Clarke K. C.** (1986). Advances in geographic information systems. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 10, nos. 3/4, pp. 175-186.
- Dakoulas Panos** (2012). *Non linear seismic response of tall concrete-face rockfill dams in narrow canyons*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 34 (2012) 11-24.
- Davis M.** (2004). *The Business Value of Semantic Technologies*. TopQuadrant Inc.
- Davenport T. H.** and **Prusak L.** (2000). *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business School Press, Boston, MA, USA.
- Deere D. U., Hendron A. J., Patton Jr., F. D.** and **Cording E. J.** (1967). *Design of Surface and Near Surface Construction in Rock*. In *Failure and Breakage of Rock*. C. Fairhurst ed. Society of Mining Engineers of AIME, New York, pp. 237-302.
- DeMers M. N.** (1997). *Fundamentals of Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & sons Inc.
- Devine H. A.** and **Field R. C.** (1986). The gist of GIS. Journal of Forestry August, 17 - 22.
- Dewey John, Bentley Arthur.** (1949, 1976). *Knowing and the Known*. Boston: Beacon Press.
- Dickenson S. E., Seed R. B., Lysmer J., Mok C. M.** (1991). *Response of Soft Soils During the 1989 Loma Prieta Earthquake and Implications for Seismic Design Criteria*. Proceedings of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, November 20-23, 1991, Auckland, New Zealand.
- Dixon N. M.** (2000). *Common Knowledge: How Companies Thrive by Sharing What They Know*. Harvard Business School Press, Boston, MA, USA.
- EERI** (1994). *Northridge earthquake*. Preliminary Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- EERI** (1995). *The Hyogo-Ken Nanbu earthquake*. Preliminary Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- EC8** (1998). *Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*.
Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance (abbreviated EN 1998 or, informally, EC 8). approved by the European Committee for Standardization (CEN) on 23 April 2004.
Ευρωκώδικας (EC8)
https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocode_8:_Design_of_structures_for_earthquake_resistance
http://lee.civil.ntua.gr/pdf/mathimata/antiseismikes_kataskeves/simeioseis/EC8-2014.pdf
https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocode_8:_Design_of_structures_for_earthquake_resistance
http://lee.civil.ntua.gr/pdf/mathimata/antiseismikes_kataskeves/simeioseis/EC8-2014.pdf
- ESRI.** (2003). *Spatial Data Standards and GIS Interoperability*. Redlands, Canada. Retrieved from <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/spatial-data-standards.pdf>
- ESRI.** (1993). *Understanding GIS: the ARC/INFO Method: PC Version*.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- ESRI.** (1996a). *Εγχειρίδιο Χρήσης MapObjects: Building Applications with MapObjects*. USA: ESRI Inc.
- ESRI.** (1996b). *Εγχειρίδιο Αναφοράς Προγραμματιστή MapObjects*. USA: ESRI Inc.
- Finn Liam W.D.** (1994). *Effect of foundation soils on seismic damage potential*. Earthquake Engineering, 10th World Conference 1994, Balkema, Rotterdam.
- Gamble Paul, Blackwell John.** (2002). *Knowledge Management: A State of the Art Guide*. London: Kogan Page. p. 43.
- Ganapathy G. P.** (2011). *First level seismic microzonation map of Chennai city - a GIS approach*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 549-559.
- Garvin A. P.** (1996). *The Art of Being Well Informed - What You Need To Know To Gain The Winning Edge In Business*. Avery Publishing Group, New York, NY, USA.
- Giles D. P.** (1993). *Geostatistical interpolation techniques for geotechnical data modeling and ground condition risk and reliability assessment*. In B.O. Skipp (Ed.), Risk and Reliability in Ground Engineering, pp. 202-214, Thomas Telford, London.
- Goovaerts P.** (2000). *Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall*. Journal of Hydrology 228 (2000) 113-129.
- Goodchild M. F.** (1985). *Geographical information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma*. The Operational Geographer, Vol. 8, pp. 34-8.
- Goodchild M. F. Egenhofer M. J. and Fegeas R.** (1997). *Interoperating GISs*. Report of a Specialist Meeting Held under the Auspices of the Varenus Project. Santa Barbara, California.
- Gibson William** (1982). *Cyberspace (cybernetics + space)*. (book)
Cyberspace at The Jargon File; «cyberspace». The Online Etymology Dictionary.
- Hardin B. O. and Drnevich V. P.** (1972b). *Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves*. Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. 98(7): 667-692.
- Hegazy Y. A., and Mayne P. W.** (1995). *Statistical correlations between VS and cone penetration data for different soil types*. Proc., International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT '95, Linköping, Sweden, 2, Swedish Geotechnical Society, 173-178.
- Henry Nicholas.** (1974). *Knowledge Management: A New Concern for Public Administration*. Public Administration Review. 34 (3): 189.
- Hoek E., Wood D., Shah S.** (1992). *A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses*. In: Hudson JA (ed) Proceedings of the rock mechanic symposium. International Society of Rock Mechanics Eurock' 92, British Geotechnical Society, London, pp 209-214.
- Horibe F.** (1999). *Managing Knowledge Workers - New Skills and Attitudes to Unlock the Intellectual Capital in Your Organization*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Hough S. E., Borchardt R. D., Friberg P. A., Busby R., Field E., and Jacob K. H.** (1990). *The role of sediment-induced amplification in the collapse of the Nimitz freeway during the October 17, 1989 Loma Prieta earthquake*. Nature 344, 853-855.
- Hsu C. and Vucetic M.** (2004). *Volumetric threshold shear strain for cyclic settlement*. ASCE Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130 (1): 58-70.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Hsu C.** and Vucetic M. (2006). *Threshold shear strain for cyclic pore-water pressure in cohesive soils*. ASCE Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132 (10): 1325-1335.
- Huxhold William.** (1991). *An Introduction to Urban Geographic Information Systems (Spatial Information Systems)*. New York: Oxford University Press, 1991.
- Huxhold W. E.** and Levinsohn A. G. (1995). *Managing Geographic Information System Projects*. New York: Oxford University Press, 1995.
- IBC2000** : International Building Code. ICC IBC (2000). Name of Standards Organization: International Code Consortium.
<https://archive.org/details/gov.law.icc.ibc.2000>
- Idriss I. M.** and Sun J. I. (1992). *User's Manual for SHAKE91*. Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of California, Davis, California 1992.
- Idriss I. M.** (1991). *Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites*. 1991 - Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering & Soil Dynamics University of California, Davis, CA.
- Idriss I. M.** et al. (1991). *Examination of Methods of Analysis for Evaluating Response of Soil Deposits during Earthquakes*. Report Prepared for the Structures Division, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Department of Civil Engineering, University of California, Davis, (in press)
- Idriss I. M.** (1990). *Influence of Local Site Conditions on Earthquake Ground Motions*. Proceedings of the 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 1990, pp. 55-57.
- Idriss I. M.** and Seed H. B. (1968). *Seismic Response of Horizontal Soil Layers*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, No. 4, pp.1003-1031.
- Imai T.** and Tonouchi K. (1982). *Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus*. Proc., 2nd European Symp. on Penetration Testing, Amsterdam, pp. 57-72.
- Ishihara Kenji.** (1996). *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Oxford Science Publications. Department of civil engineering, Science University of Tokyo, Japan.
- ISRM** (1981): Διεθνούς Ένωσης Βραχομηχανικής (ISRM, 1981): <https://www.isrm.net/>
- Itasca** (2011). *FLAC*. Proceedings of the 2nd International FLAC/DEM Symposium. 14-16 February 2011 in Melbourne, Australia.
 See: <http://www.itascacg.com/training-events/symposium/flacdem-symposium-2011>
- Jeffrey Star** and John Estes. (1990). *Geographic Information Systems: An Introduction*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1990.
- Jimenez M.J.** et al. (2000). *Mapping soil effects in Barcelona, Spain, through an integrated GIS environment*. Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 2000, 19, 289-301.
- Kalay Y.** (2004). *Architecture's New Media – Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*. USA: The MIT Press.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Kanai K.** (1951). *Relation between the nature of surface layer and the amplitude of the earthquake motion.* Bulletin of Earthquake research Institute Tokyo university 30:31-37.
- Kashyap V., Sheth A.** (2000). *Information brokering across heterogeneous digital data: a metadata-based approach.* Computer sciences. Advances in database systems. (book)
- Kayen R. E., Mitchell J. K., Seed R. B., Lodge A., Nishio S., and Coutinho R.** (1992). *Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data.* Proc., 4th Japan-U.S. Workshop on Earthquake-Resistant Des. of Lifeline Fac. and Countermeasures for Soil Liquefaction, Vol. 1, 177–204.
- Kelley J.** (2002). *Knowledge Nirvana: Achieving The Competitive Advantage Through Enterprise Content Management and Optimizing Team Collaboration.* Xulon Press, Fairfax, VA, USA.
- Kernighan W. Brian and Ritchie Dennis.** (1988). *The C Programming Language* (2nd Edition). Prentice Hall. (book).
- Kienzle A. et al.** (2006). *A GIS based study of earthquake hazard as a tool for the microzonation of Bucharest.* Engineering Geology, 87, 13-32.
- Kılıç H., et al.** (2006). *Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: A case study.* Engineering Geology, Volume 86, Issue 4, p 238–255.
- Kitanidis P. K.** (1997). *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology.* Cambridge University Press.
- Kitanidis P.** (1988). *The concept of predictive probability and a simple test for Geostatistical model validation.* 190 p. IAHS publication.
- Koshkariov A. V., Tikunov V. S., Trofimov A. M.** (1989). *The current state and the main trends in the development of geographical information systems in the USSR.* International Journal of Geographical Information Systems I: 3(3)257-72.
- Kotelnikov A. Vladimir.** (1933). *On the transmission capacity of the 'ether' and of cables in electrical communications.* Proceedings of the first All-Union Conference on the technological reconstruction of the communications sector and the development of low-current engineering. Moscow, 1933.
- Kramer S. L.** (1996). *Geotechnical earthquake engineering.* In: Prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics. Prentice-Hall New Jersey.
- Kwak Dong-Yeop, Jeong Chang-Gyun, Park Duhee, and Park Sisam.** (2008). *Comparison of frequency dependent equivalent linear analysis methods.* 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Lasley S. J., Green R. A. and Rodriguez-Marek A.** (2014). *(ShakeVT2). Comparison of equivalent-linear site response analysis software.* Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering July 21-25, 2014 10NCEE Anchorage, Alaska.
- Laurini R., Yétongnon K., Benslimane D.** (2009). *GIS interoperability, from problems to solutions.* Advanced Geographic Information Systems - Vol. II - GIS Interoperability, from Problems to Solutions (Encyclopedia of Life Support Systems - EOLSS). <http://www.eolss.net/sample-chapters/c01/e6-72-05.pdf>
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Lefebvre** G.S., Leboeuf D., and Demers B. (1989). *Stability threshold for cyclic loading of saturated clay*. Canadian Geotechnical Journal 26 (1): 122-131.
- Lermo** J. F., Rodriguez M., Singh S. K. (1988). *The Mexico earthquake of September 19, 1985: Natural period of sites in the valley of Mexico from microtremors and from strong motion data: Earthquake Spectra*. v.4, p.805-814.
- Liao** S., and Whitman R. V. (1986a). *Overburden correction factors for SPT in sand*. Geotech. Engineering, ASCE, 112(3), 373-377.
- Liew** Anthony. (June 2007). *Understanding Data, Information, Knowledge And Their Inter-Relationships*. Journal of Knowledge Management Practice. 8 (2).
- Longley** Paul, Goodchild Michael, Maguire David, Rhind David. (2001). *Geographic Information Systems and Science*. (book)
- Maguire** D. J. (1991). *An overview and definition of GIS, in Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Edited by D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind, 9-20, John Wiley and Sons, New York, 1991..
<http://www.wiley.com/legacy/wileychi/gis/volumes.html>
- Martinez-Cob** et al. (1996). Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. Theoretical and Applied Climatology January 2016, Volume 123, Issue 1, pp 335-348.
- Mayne** P. W., and Rix G. J. (1995). *Correlations between cone tip resistance and shear wave velocity in natural clay*. Soils and Foundations, v. 35, no. 2, p. 107 - 110.
- McCarron** W. O., Lawrence, J.C., Werner, R.J., Germaine, J.T. and Cauble D.F. (1995). Cyclic direct simple shear testing of a Beaufort Sea clay. Canadian Geotechnical Journal, 32: 584-600.
- McHarg** Ian. (1969). *Design with Nature*. New York: Garden City, Natural History Press.
- Meirovitch** Leonard. (1967). *Analytical Methods in Vibrations*. Prentice Hall PTR, pages 576, Edition: 1.
- Merriam-Webster**. (2016). Collegiate Dictionary New Edition (c). Springfield, MA, USA, 10th ed.
- Mohanty** K. William and M. Yanger Walling. (2008). *First Order Seismic Microzonation of Haldia, Bengal Basin (India) Using a GIS Platform*. Pure and Applied Geophysics, 165, 1325-1350.
- Mohanty** K. William et al. (2007). *First Order Seismic Microzonation of Delhi India Using Geographic Information System (GIS)*. Natural Hazards, 40: 245-260.
- MS Access** (2010) Microsoft Office Access, database management system from Microsoft. See <https://products.office.com/el-gr/access>
<https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=10910>
- Newell** R. G. and Sancha T. L. (1990). *The difference between CAD and GIS*. Computer-Aided Design v.22, p. 131-135.
- Nigam** C. Navin, and Jennings C. Paul. (1969). *Calculation of response spectra from strong-motion earthquake records*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 59, No. 2, pp. 909-922.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Nyquist** Harry. (1928). *Certain topics in telegraph transmission theory*. Trans. AIEE, Vol. 47, pp. 363-390.
<http://electronicdesign.com/digital-ics/harry-nyquist-founding-father-digital-communications>
- Olsen** R. S. (1997). *Cyclic liquefaction based on the cone penetration test*. Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Nat. Ctr. for Earthquake Engrg. Res., State Univ. of New York at Buffalo, 225-276.
- Pardo-Igúzquiza** E., Dowd P. A. (1998). *The Second-Order Stationary Universal Kriging Model Revisited*. Mathematical Geology, May 1998, Volume 30, Issue 4, pp 347-378.
- Pal** Indrajai et al. (2008). *Earthquake hazard zonation of Sikkim Himalaya using a GIS platform*. Nat Hazards, 2008, 45, 333-377.
- Parker** H. D. (1988). *The unique qualities of a geographic information system: a commentary*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (11): 1547 - 1549.
- Prucher** Jeff. (2007). *Brave New Words: The Oxford Dictionary of Science Fiction*. Oxford University Press, σελ. 31.
- Perry** Greg. (1999). *Εγχειρίδιο της Visual Basic 6*. Sams Publishing, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 828pp.
<http://vufind.lib.uom.gr/Record/23667>
- Piaget** Jean. See: <http://www.piaget.org/>
- Rauch** (1998): referred to Youd and Idriss, 2001, as personal communication.
- Robertson** P. K., and Wride, C. E. (1998). *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test*. Can. Geotech. J., Ottawa, 35(3), 442-459.
- Robertson** P. K. (1990). *Soil classification using CPT*. Can. Geotech. J., Ottawa, 27(1), 151-158.
- Robertson** P. K., Woeller, D. J., and Finn, W. D. (1992). *Seismic cone penetration test for evaluating liquefaction potential under cyclic loading*. Can. Geotech. J., Ottawa, 29, 686-695.
- Rodríguez** J. A. Díaz and López-Molina J.A. (2008). *Strain thresholds in soil dynamics*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- Roesset** J. M. and Whitman R. V. (1969). *Effect of local soil conditions upon earthquake damage*. Department of Civil Engineering, Inter-American Program.
- Rollins** K., Evans M., Diehl N. B., Daily W. D. (1998). *Shear modulus and damping relations for gravel*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 1998;124(5):396-405.
- Rowley** Jennifer. (2007). *The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy*. Journal of Information and Communication Science. 33 (2): 163-180.
- Rowley** Jennifer, Hartley Richard. (2006). *Organizing Knowledge: An Introduction to Managing Access to Information*. Ashgate Publishing, Ltd. pp. 5-6.
- Sydanmaanlakka** P. (2002). *An Intelligent Organization - Integrating Performance, Competence and Knowledge Management*. Capstone Publishing, Knoxville, TN, USA.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Terzaghi** Karl. (1967). *From theory to practice in soil mechanics:: Selections from the writings of Karl Terzaghi, with bibliography and contributions on his life and achievements*. John Wiley and Sons.
- Tsiambaos** G., Sabatakakis N. (2011). *Empirical estimation of shear wave velocity from in situ tests on soil formation in Greece*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 70(2):291 – 297.
- Tiwana** A. (2001). *The Essential Guide to Knowledge Management – E - Business and CRM Applications*. Prentice – Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Saaty** T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note_AHP.pdf
- Schnabel** P. B., Lysmer J., and Seed H. B. (1972). *SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*. Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 102p.
- S3DB**. Simple Sloppy Semantic Database. See: <https://sites.google.com/a/s3db.org/s3db/>
- Schneider** Philip (2014). *NURB Curves: A Guide for the Uninitiated*. MACTECH. Retrieved 26 September 2014.
https://en.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline
 NURBS: <http://www.rhino3d.com/nurbs/>
- Seed, H. B. and Idriss, I. M.** (1970). *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis*. Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48p.
- Seed and Sun** (1989): σχετικά με EERA (J. P. Bardet, K. Ichii, and C. H. Lin, 2000)
- Seed H. B., Tokimatsu K., Harder L. F., and Chung R. M.** (1985). *The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations*. *J. Geotech. Engrg.*, ASCE, 111(12), 1425-1445.
- Seed H. B., Wong R. T., Idriss I. M., Tokimatsu K.** (1986). *Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils*. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE. 112(11): 1016-1032.
- SeismoMatch and SeismoSignal**, are products of the *SeismoSoft* enterprise (2002).
 See: <http://www.seismosoft.com/seismosignal>
 See “Παράρτημα Ι”
- Selvage, Wolfson, Zurek, and Kahan.** (2006). *Achieve semantic interoperability in a SOA: Patterns and best practices*.
- Shannon** C. E. (1949). *Communication in the presence of noise*. *Procs. IRE*, vol. 37, pp. 10-21
- Sheth, Ramakrishnan, and Thomas** (2005). *Semantics for the Semantic Web: The Implicit, the Formal and the Powerful*. *International Journal on Semantic Web & Information Systems*. 1(1), 1-18.
- Shiomi Tadahiko, Chan Andrew, Nukui Yasushi, Hijikata Katsuichiro, and Koyama Keisuke.** (2000). *(CELA): Comparison of equivalent linear analysis and nonlinear analysis for a liquefaction problem*. Comparison of Existing Software. 12 World Conference of Earthquake Engineering.
- Shiuly Amit, Kumar Vinay, Narayan Jay.** (2014). *Computation of ground motion amplification in Kolkata megacity (India) using finite-difference method for seismic microzonation*. Springer, *Acta Geophysica*, June 2014, Vol. 62, Issue 3, pp 425-450.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- Simple Sloppy Semantic Database (S3DB):** ανοικτού κώδικα ΓΣΠ που προτάθηκε από το 2006. Βασίζεται στα μοντέλα του Σημασιολογικού ιστού (Semantic Web) για τη διαχείριση ετερογενών δεδομένων.
https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_Sloppy_Semantic_Database
- Singh S. K., Lermo J. F., Dominguez T., Ordaz M., Espinoza J. M., Mema F., Quass R. (1988).** *The Mexico earthquake of September 19, 1985: The study of amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to hill zone site: Earthquake Spectra.* v.4, p.653-673.
- Skempton A. K. (1986).** *Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging, and overconsolidation.* *Geotechnique*, London, 36(3), 425-447.
- Slob S., Hack R., Scarpas T., van Bemmelen B., Duque A. (2002).** *A Methodology for Seismic Microzonation Using GIS and Shake.* A Case Study from Armenia, Colombia, Engineering Geology for Developing Countries - Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and Environment Durban, South Africa, 16-20 September 2002, edited by: van Rooy, J. L. and Jermy, C. A., 2843-2852, 2002.
- Spyrakos C. C. (1995).** *Finite Element Modeling in Engineering Practice.* Algor Publishing Division, Pittsburgh, P.A.
- Sugito M., Goda H., Masuda T. (1994).** *Frequency dependent equi-linearized technique for seismic response analysis of multi-layered ground.* Doboku Gakkai Rombun-Hokokushu, Proc JSCE, Vol 493/III- 27 pp, 49-58.
- Sun Chang-Guk et al. (2008).** *Development and application of a GIS-based tool for earthquake induced hazard prediction.* 35: 436-449.
- Sun J. I., Golesorkhi R. and Seed H. B. (1988).** Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils. Report No. UCB/EERC-88/15, Dept. of Civil Eng., Univ. of California, Berkeley.
- Sykora D. W. (1987).** *Creation of a data base of seismic shear wave velocities for correlation analysis.* Geotech. Lab. Misc. Paper GL-87-26, U.S. Army Engr. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Tsai N. C. and Housner G. W. (1970).** *Calculation of surface motions of a layered half-space.* Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 60, No. 5, pp. 1625-1651. October 0 1970
- Tomlinson Roger. (2012).** *Origins of the Canada Geographic Information System.* October 2012.
- Tomlinson R. F. (1967).** An Introduction to the Geo-Information System of the Canada Land Inventory. Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada.
- Tomlinson R. F. (1968).** *A Geographic Information System for Regional Planning.* Department of Forestry and Rural Development, Government of Canada.
<https://www.gislounge.com/phrase-geographic-information-systems/>
<http://www.esri.com/news/arcnews/fall12articles/the-fiftieth-anniversary-of-gis.html>
- Von Krogh G., Ichijo K., and Nonaka I. (2000).** *Enabling Knowledge Creation: How to Unlock the Mystery of Tacit Knowledge and Release the Power of Innovation.* Oxford University Press, New York, NY, USA.
- Vucetic M. and Dobry R. (1991).** *Effect of soil plasticity on cyclic response.* Journal of Geotechnical Engineering (ASCE). Vol. 117, No. 1, pp. 89-117.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

-
- W3C.** (2011). *Semantic Web Activity*. World Wide Web Consortium (W3C). November 7, 2011. Retrieved November 26, 2011.
- WWW.** (1990). Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web) (Berners-Lee Tim, CERN, 1990):
<https://www.w3.org/People/Berners-Lee/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web
- Wallace P. Danny.** (2007). *Knowledge Management: Historical and Cross-Disciplinary Themes*. Libraries Unlimited. pp. 1-14.
- Wang, W. S.** (1979). *Some findings in soil liquefaction*. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing.
- Wang X., Gorlitsky R., Almeida J. S.** (2005). *From XML to RDF: how semantic web technologies will change the design of 'omic' standards*. *Nat. Biotechnol.* 23 (9): 1099-103. doi:10.1038/nbt1139. PMID 16151403.
- Whittaker J. M.** (1935). *Interpolatory Function Theory*. Cambridge University Press, Cambridge, 1935.
- Wikipedia:** <https://en.wikipedia.org/wiki/Interoperability>
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%AD%CF%82_%CE%A6%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B9%CE%AD#cite_note-9
https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform
<https://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing>
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>
Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_\(waves\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_(waves))
- Wolfram | Alpha** (Computational Knowledge Engine, 2009): <https://www.wolframalpha.com/>
- Worboys M., Deen S.** (1994). *Semantic Heterogeneity in Distributed Geographic Databases*. *ACM SIGMOD Record*, 20(4):30-34. [This paper presents some specific semantic spatial conflicts which can occur in distributed geographic databases.]
- Yoshida N., Kobayashi S., Suetomi I. and Miura K.** (2002). *Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22: 3, 205-222
- Youd T. L., Idriss I. M.** (2001). *Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127, 297-313.
- Youd T. L.** (1998). *Screening guide for rapid assessment of liquefaction hazard at highway bridge sites*. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering, technical report MCEER-98-0005, June.
- Zeleny Milan.** (2005). *Human Systems Management: Integrating Knowledge, Management and Systems*. World Scientific. pp. 15-16.
- Zins Chaim.** (2007). *Conceptual Approaches for Defining Data, Information, and Knowledge*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 58 (4): 479-493.
-

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

- Αθανασόπουλος Α. Γεώργιος.** (1999β). *Μαθήματα Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής*. Πάτρα, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- Βέης Γ.** (1994). *Τα συστήματα αναφοράς και η εφαρμογή του Ε.Γ.Σ.Α.'87*. Σημειώσεις από την διάλεξη στο επιστημονικό διήμερο του Τ.Ε.Ε. *Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτογραμμετρία, Τηλεπισκόπηση και Τεχνολογίες Αιχμής*.
- Δρόσος Β., Γερόλυμος Ν., Γκαζέτας Γ.** (2008). *Ανελαστική Σεισμική Απόκριση Εδάφους: Επαλήθευση Νέου Καταστατικού Προσομοιώματος*. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, 5-7 Νοεμβρίου, Άρθρο 1849.
- Κάβουρας Μ., Δάρρα Α., Κονταξάκη Σ., Τομάη Ε.** (2015). *Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας Αρχές και Τεχνολογίες*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα. ΣΕΑΒ.
- Καλαβρουζιώτης Νικόλαος** (2013). *Καινοτόμος Τεχνική Χωρικής Διαίρεσης Χαρτών Πόλεων και Αναπαράσταση Χωρικών Δεδομένων σε αυτούς*. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κουτσόπουλος Κωστής.** (2005). *Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών & ανάλυση χώρου*. Αθήνα : Παπασωτηρίου 2005.
- Λαμπαθάκη Φεναρέτη** (2012). *Σημειολογική Διαλειτουργικότητα στην Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση μέσω Πρότυπων Δομών Πληροφορίας*. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ.
- Ντακούλας Παναγιώτης.** (2012). *Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ντακούλας Παναγιώτης.** (2004). *Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Πιτιλάκης Κυριαζής.** (2010). *Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική*. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
- Πιτιλάκης Κυριαζής κ. συν.** (2000). *Τεχνική έκθεση: Μικροζωνική Μελέτη του ΠΣ Βόλου – Ν. Ιωνίας*. Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ.
- Συγγρός Ιωάννης.** (2002). *Μετασχηματισμοί συυτεταγμένων των γεωγραφικών δεδομένων στον ελληνικό χώρο*. Coords GR, version 1.60,
<http://www.mygarminsatnav.net/t1647-topic>
http://users.auth.gr/kvek/coords_gr.zip
http://www.4x4ekdromes.gr/yuri_gps/syggros.htm

Οι εισηγητές δημιουργοί των λογισμικών σχετικά με τη μονοδιάστατη αριθμητική ανάλυση: Στο Παράρτημα Ι.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Μαθηματικοί, Φυσικοί

Μια σύντομη βιογραφία υπάρχει στις σελίδες που παρατίθενται.

Argyris Hadji John. (Ιωάννης Αργύρης, 1913 - 2004 a.C.). Greek pioneer of computer applications in science and engineering. Professor at the University of Stuttgart. The creator of the World's first computer engineering design software (1944).
<http://www.thewif.org.uk/version2/nlett/class/main27.html>

Ευκλείδης ο Αλεξανδρινός. (~ 350 - 270 π.Χ.). Έλληνας μαθηματικός. *Τα στοιχεία*. Θεμελιωτής της Γεωμετρίας επί τη βάσει της οποίας θεμελιώνονται τα σημερινά λογισμικά χαρτογράφησης και CAD (σχεδιαστικές απεικονίσεις μέσω υπολογιστών).

Euclid of Alexandria. (350 b.C.). *The Elements*. Greek mathematician Euclid of Alexandria. Expounded many of the postulates and axioms that are the foundations of the Euclidian geometry upon which today's CAD software systems are built.
<http://www.cadazz.com/cad-software-history.htm>

Euler Leonhard. (1707 - 1783 a.C.). Swiss mathematician, physicist and engineer, associated with a large number of topics: The development of infinitesimal calculus, the important Euler's number in calculus, ($e \approx 2.71828\dots$), de Moivre's formula is a direct consequence of Euler's formula, etc.
https://en.wikipedia.org/wiki/Leonhard_Euler

Duhamel Constant Jean-Marie. (1797 - 1872 a.C.). French mathematician and physicist. Best known for contributing the Duhamel's principle, a method of obtaining solutions to inhomogeneous linear evolution equations.
https://web.archive.org/web/20070517171933/http://tosio.math.toronto.edu:80/wiki/index.php/Duhamel%27s_formula

Fourier Joseph Jean-Baptiste. (1768 - 1830 a.C.). French mathematician and physicist. Best known for initiating the investigation of Fourier series and their applications to problems of heat transfer and vibrations. The Fourier transform and Fourier's Law are also named in his honour.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform

Rayleigh - Ritz method (after Walther Ritz and Lord Rayleigh) is a widely used method used to approximate eigenvalues and eigenvectors.
https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Ritz_method

Θαλής ο Μιλήσιος. (~ 624 - 546 π.Χ.). Έλληνας μαθηματικός. Θεμελιωτής της μαθηματικής απόδειξης.

Thales of Miletus. (624 - 546 b.C.). Thales and the Deductive Method (deductive reasoning). Pre-Socratic Greek philosopher, mathematician and astronomer from Miletus in Asia Minor. He was one of the Seven Sages of Greece.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ancient_Greek_philosophy

Θεμιστόκλεια ή Θεόκλεια ή Αριστόκλεια (6 αι. π.Χ.). Ελληνίδα Δελφική μαθηματικός. Γνώριζε και δίδασκε τις αρχές της γεωμετρίας, των μαθηματικών και της ηθικής (αξίες). Διδάσκαλος του Πυθαγόρα.

Themistoclea or Theoklea or Aristoklea (6 b.C.). Delphic Greek mathematician. She knew and taught the principles of geometry, mathematics and morality. Pythagoras' teacher.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Themistoclea>

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Ι

Οι γνωστότεροι κώδικες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της 1D ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης

DEEPSOIL (Hashash and Park 2001)

DEEPSOIL is a 1D site response analysis program with graphical user-interface that can perform both: 1D Nonlinear analysis- 1D Equivalent linear analysis. By Prof Youssef Hashash.

Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2016). *DEEPSOIL 6.1, User Manual*. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign

<http://deepsoil.cee.illinois.edu/Publications.html>

EERA (J. P. Bardet, K. Ichii, and C. H. Lin, 2000)

EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis) is a modern implementation of the equivalent-linear concept of earthquake site response analysis, previously implemented in the original and later versions of SHAKE.

Bardet JP, Ichii K, Lin CH. (2000). *EERA: A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits*. Dept. of Civil Engineering, Univ. of Southern California 2000.

SHAKE (Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB, 1972)

Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB. *SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*. College of Engineering, University of California, Berkeley, California, 1972. Report No. EERC 72-12.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

SHAKE91 (Idriss and Sun 1992)

SHAKE91 is a program for the equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soil deposits. MODIFIED ON THE ORIGINAL SHAKE PROGRAM PUBLISHED IN DECEMBER 1992 BY SCHNABEL, LYSMER & SEED.

Idriss IM, Sun JI. (1992). User's Manual for SHAKE91. Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of California, Davis, California 1992.

[http://wmwiki.com/mcored/research/fyp/idriss&sun_1992%20\(Shake%20User%20Manual\).pdf](http://wmwiki.com/mcored/research/fyp/idriss&sun_1992%20(Shake%20User%20Manual).pdf)

SHAKEDIT

ShakEdit is a Windows based pre and post-processor for SHAKE91. Create/edit input file for SHAKE91, and process output files to graphically show the results.

UFSHAKE

UFSHAKE (User Friendly SHAKE) is an extended version of the SHAKE program including implementation of the Newmark method.

SHAKE2000 (Ordóñez, 2003)

An equivalent linear, 1D analysis is used as implemented in the computer program SHAKE2000. It is a software package that integrates ShakEdit and SHAKE.

Ordóñez, GA. SHAKE2000: A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems, User's Manual. July 2011 Revision.

PROSHAKE

ProShake is a program for one-dimensional, equivalent linear ground response analysis. Features: built-in modulus reduction and damping models. A powerful, user-friendly program for one-dimensional, equivalent linear ground response analysis. ProShake is currently being used by more than 200 of the world's top consulting firms and research institutions

ProShake: Ground Response Analysis Program, User's Manual. Version 1.1. EduPro Civil Systems, Inc. Redmond, Washington.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

SHAKE21

SHAKE21 is a one-dimensional site-response analysis program based on the equivalent linear method. Version 1.0 was developed for the Windows 95/98/NT environments to make a site-response analysis simplified.

SHAKEVT, SHAKEVT2 (Lasley et al, 2014)

Lasley S. J., Green R. A. and Rodriguez-Marek A. (2014). (*ShakeVT2*). *Comparison of equivalent-linear site response analysis software*. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering July 21-25, 2014 10NCEE Anchorage, Alaska.

Strata (Kottke AR, Rathje EM., 2008)

The computer program Strata performs equivalent-linear site response analysis in the frequency domain using time domain input motions or random vibration theory (RVT) methods, and allows for randomization of the site properties. The following document explains the technical details of the program, and provides a user's guide.

Kottke AR, Rathje EM. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California.

http://peer.berkeley.edu/publications/peer_reports/reports_2008/web_PEER810_KOTTKE_Rathje.pdf

Rathje EM, Kottke A. Strata. <https://nees.org/resources/strata> 2013

WESHAKE (Sykora, Wahl, and Wallace 1992).

WESHAKE estimates the site-specific dynamic response of a layered soil deposit for ground-level conditions.

Yule DE, Wahl RE, Wallace DC. (2013). WESHAKE6 Manual. <http://www.itkilstu.edu/faculty/dcwalla/manual6.htm>. Accessed November 13, 2013.

Sykora, D. W., Wahl, R. E., and Wallace, D. C. 1992. "WESHAKE: COE Personal Computer Version of SHAKE," Instructional Report GL IR-92-4, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 221 pgs.

FLAC (Itasca 2011)

Γενικός κώδικας πεπερασμένων διαφορών για γραμμική ή μη γραμμική ανάλυση στο πεδίο του χρόνου.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

<http://www.itascacg.com/sites/itascacg.com/files/pdf/software/ICG13-BRO-FLAC-500-108.pdf>

<http://geotechpedia.com/Software/Tag/1415/FLAC>

<http://www.itascacg.com/software/products/flac/flac-software-licenses>

Quad 4 MITC elements or Quad 8 elements

<https://www.oasys-software.com/faq/content/10/149/en/quad-4-mitc-elements-or-quad-8-elements.html>

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : II

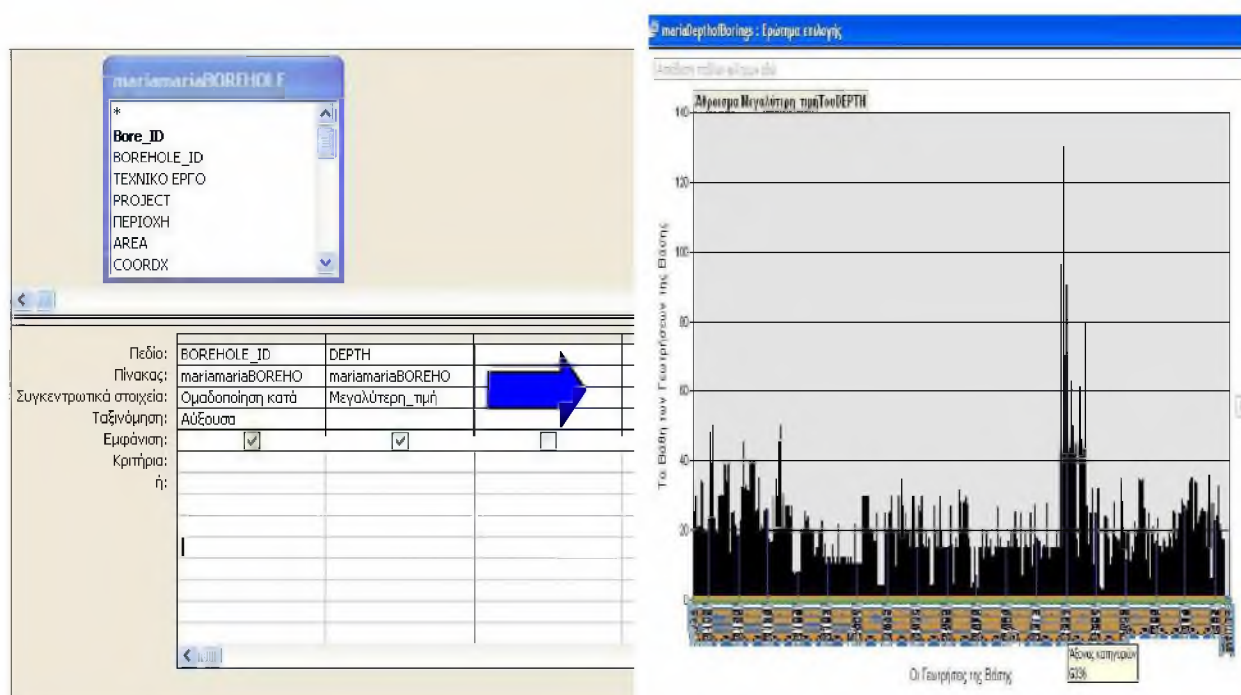
Άλλα Ερωτήματα επιλογών και συσχετίσεων

Ερώτημα INVESTIGATED_LOCATION_ID

Ο χρήστης πρέπει να ορίσει την περιοχή που τον ενδιαφέρει. Το ερώτημα αναζητά δεδομένα για τις γεωτρήσεις (εν γένει Θέσεις Έρευνας) που έγιναν στην περιοχή.

Ερώτημα Depth of Borings

Ο χρήστης πρέπει να ορίσει την περιοχή που τον ενδιαφέρει. Το ερώτημα ομαδοποιεί κατά αύξουσα σειρά τις Θέσεις Έρευνας και καταγράφει στον ίδιο Πίνακα τα βάθη καθεμιάς (Σχ. 4.3.6.1).



Σχήμα 4.3.6.1 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Depth of Borings.

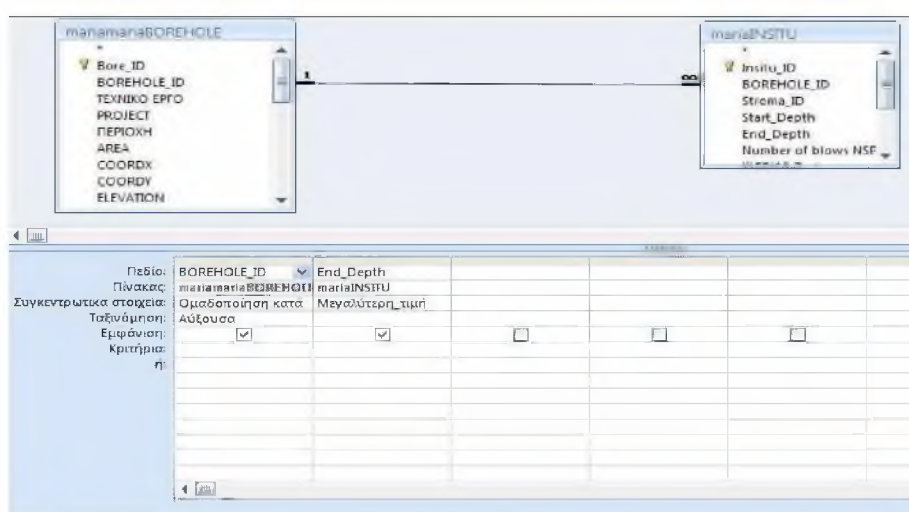
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ερωτήματα COLOR και COLOR1

Το ερώτημα COLOR αναφέρεται στην αλφαβητική ταξινόμηση των χρωμάτων - στην Αγγλική γλώσσα - που έχουν καταγραφεί στο πεδίο COLOUR στον πίνακα COLOUR, ενώ το ερώτημα COLOR1 αφορά την αλφαβητική ταξινόμηση των χρωμάτων - στην Ελληνική γλώσσα - που έχουν καταγραφεί στο πεδίο COLOR του πίνακα COLOUR. Τα δύο ερωτήματα είναι βοηθητικά και απαραίτητα για να δουλέψουν σωστά τα σύνθετα πλαίσια-Πεδία COLOR και COLOUR στη φόρμα εισαγωγής του Πίνακα LITHOLOGY.

Ερώτημα Number of SPT

Ο χρήστης πρέπει να ορίσει την περιοχή που τον ενδιαφέρει. Το ερώτημα ομαδοποιεί κατά αύξουσα σειρά τις Θέσεις Έρευνας, όπου βρέθηκαν στοιχεία δοκιμών SPT, και καταγράφει την τιμή του αριθμού των κτύπων μέχρι το βάθος που σταμάτησε η δοκιμή (Σχ. 4.3.6.2).



Σχήμα 4.3.6.2 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος Number of SPT.

Ερώτημα INSITU_TESTS vs PERMEABILITY

Το ερώτημα αφορά την πλήρη ανάκτηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου δοκιμών περατότητας (δοκιμή Lefranc, Maag, Lugeon) που πιθανώς να έχουν εκτελεσθεί σε ερευνητική θέση σε μια περιοχή - η οποία πάλι καθορίζεται από τον χρήστη.

Ερώτημα INSITU_TESTS vs SPT

Το ερώτημα αναφέρεται στην πλήρη ανάκτηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου δοκιμών SPT που τυχόν έχουν εκτελεσθεί σε μια περιοχή που καθορίζεται από τον χρήστη (Σχ. 4.3.6.3).

Ερώτημα LITHOLOGY vs GEOLOGY

Ο χρήστης, καθορίζοντας την περιοχή που τον ενδιαφέρει, μπορεί να εντοπίσει τις στρώσεις στις οποίες η λιθολογία εμφανίζει σημαντικό ποσοστό ιλύος, είτε αργίλου, είτε άμμου, κ.λπ. (Σχ. 4.3.6.4).

Πεδίο:	BOREHOLE_ID	Start_Depth	End_Depth	Number of blows NE	ΟΔΟΙ
Πίνακας:	INSITU_SPT_TESTS	INSITU_SPT_TESTS	INSITU_SPT_TESTS	INSITU_SPT_TESTS	BOREHOLE
Ταξινόμηση:				Αύξουσα	
Εμφάνιση:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Κριτήρια:					Like "**Κρασιδίωνα**"
ή:					

Σχήμα 4.3.6.3 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος INSITU_SPT vs SPT.

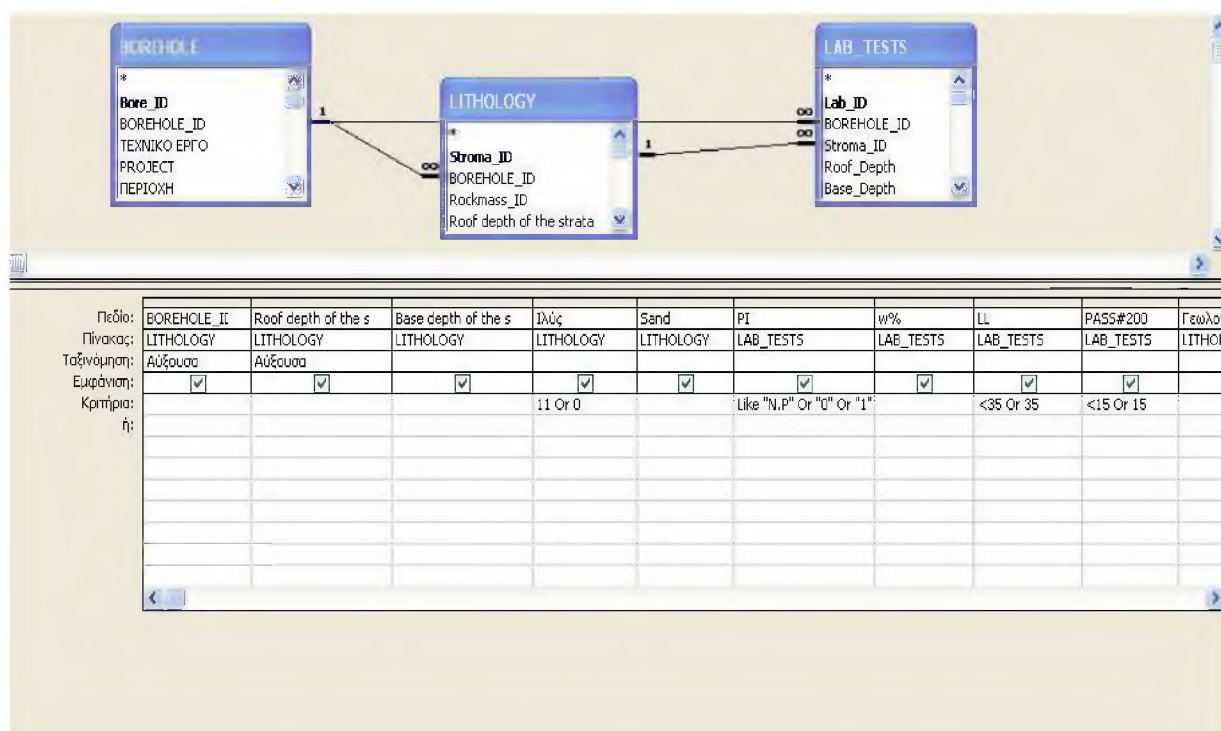
Πεδίο:	BOREHOLE_ID	Roof depth of the s	Base depth of the s	Ιλύς	AREA	ΟΔΟΙ	ΟΤ
Πίνακας:	LITHOLOGY	LITHOLOGY	LITHOLOGY	LITHOLOGY	BOREHOLE	BOREHOLE	BOREHOLE
Ταξινόμηση:	Αύξουσα	Αύξουσα					
Εμφάνιση:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Κριτήρια:				11			
ή:							

Σχήμα 4.3.6.4 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος LITHOLOGY vs GEOLOGY.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ερώτημα *LITHOL vs GEOL and LAB*

Στο ερώτημα αυτό ο χρήστης καθορίζοντας την περιοχή που τον ενδιαφέρει, μπορεί να εντοπίσει (Σχ. 4.3.6.5), τις στρώσεις στις οποίες η λιθολογία εμφανίζει σημαντικό ποσοστό ιλύος και, ταυτόχρονα, ισχύουν κριτήρια από εργαστηριακά αποτελέσματα τα οποία ενδιαφέρουν το *GeoSeism*. Συγκεκριμένα, αναζητούνται οι στρώσεις που περιέχουν ιλύ και δεν έχουν πλαστικότητα (N.P.) ή έχουν μικρή πλαστικότητα ($PI \leq 10$), με δεδομένο επίπεδο της φυσικής υγρασίας, έχουν χαμηλό όριο υδαρότητας $LL \leq 35\%$, και χαμηλό ποσοστό λεπτόκοκκων $\leq 15\%$. Επειδή συνήθως δεν διατίθενται αποτελέσματα από μετρήσεις αργιλικού κλάσματος (δηλαδή υλικού με διάμετρο κόκκων < 0.002 mm), και η πρωτογενής εκτίμηση το επιτρέπει, γι' αυτό αναζητείται το διερχόμενο ποσοστό από το κόσκινο Νο200 (0.0075mm) το οποίο θεωρείται εγγύτερο στα ζητούμενα.



Σχήμα 4.3.6.5 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος *LITHOL vs GEOL and LAB*.

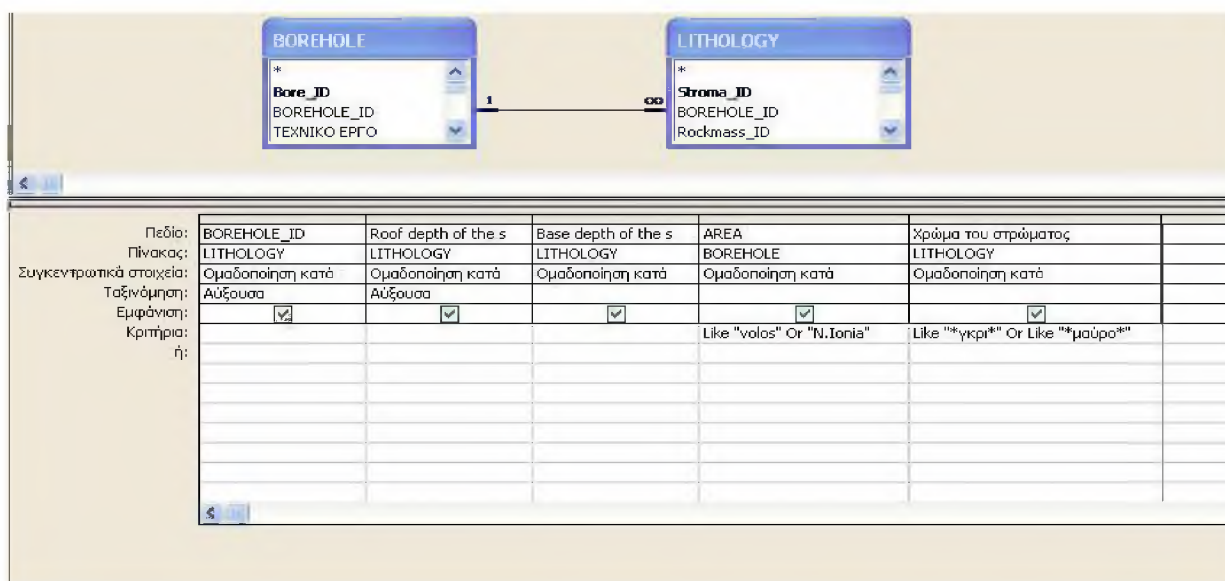
Ερώτημα *LITHOLOGY vs COLOUR*

Με τη χρήση του ερωτήματος αυτού (Σχ. 4.3.6.6) μπορεί ο χρήστης να ορίσει μια περιοχή, καθώς επίσης και το χρώμα του σχηματισμού που ενδιαφέρει και να ανακτήσει το ελάχιστο και το μέγιστο βάθος σε κάθε ερευνητική θέση της περιοχής που ο σχηματισμός αντιστοιχεί στο ορισθέν χρώμα.

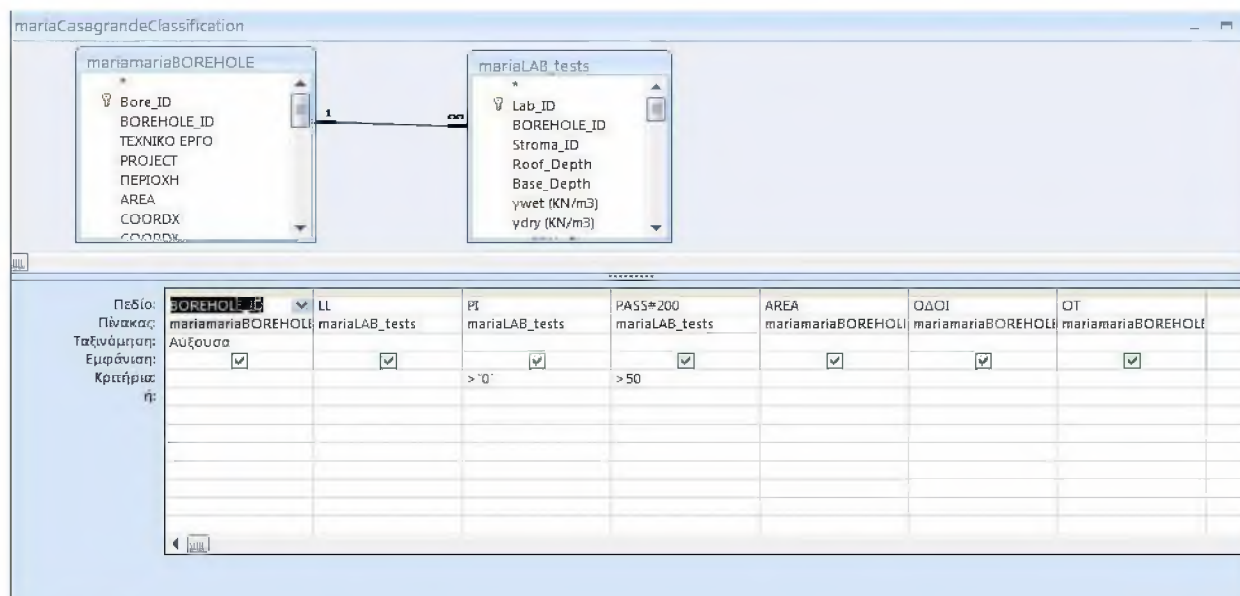
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Ερώτημα Casagrande Classification

Στο ερώτημα αυτό (Σχ. 4.3.6.7) ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει σε ποιά περιοχή, και ποιές γεωτρήσεις συνάντησαν κατά βάθος κάποιο στρώμα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά στις εργαστηριακές μετρήσεις των δειγμάτων του. Για τις ανάγκες της έρευνας εντοπίστηκαν κι έγινε συγκεντρωτικός πίνακας με τις στρώσεις που είχαν χαρακτήρα λεπτόκοκκης σύστασης και υπήρχαν διαθέσιμα γι' αυτές αποτελέσματα για το όριο υδαρότητα (LL) και τον δείκτη πλαστικότητας (PI). Με το ερώτημα αυτό σχεδιάσθηκε το αντίστοιχο γράφημα που αφορά «Κατάταξη εδαφικών δειγμάτων» (Κεφ. 7, Σχ. 7.2.3.2).



Σχήμα 4.3.6.6 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος LITHOLOGY vs COLOUR.

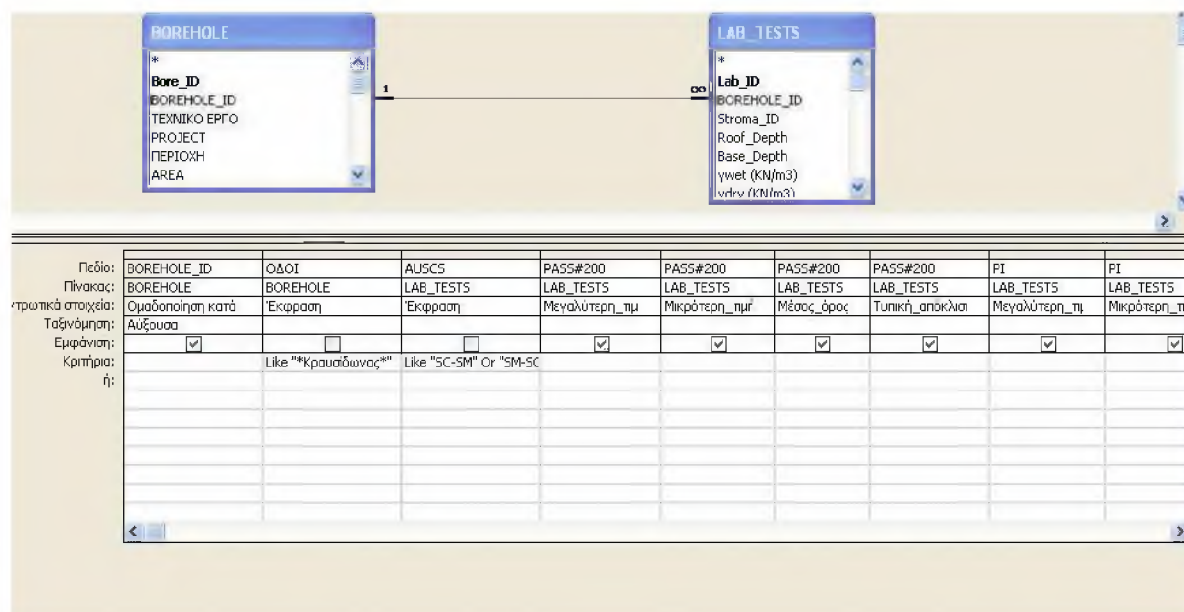


Σχήμα 4.3.6.7 Αποψη του δομημένου Ερωτήματος Casagrande Classification.

Ερώτημα *statistic* KRAYSIDONAS

Στο ερώτημα αυτό (Σχ. 4.3.6.8), ο χρήστης καθορίζοντας την περιοχή που τον ενδιαφέρει, μπορεί να πάρει πληροφορία για όλες τις γεωτρήσεις που έγιναν στην κοίτη είτε σε συμβολές οδών με τον χειμάρρο Κραυσίδωνα. Οποσδήποτε, μπορεί να εφαρμοσθεί για αναζήτηση πληροφοριών στις κοίτες των χειμάρρων Ξηριά και Άναυρου όπως και για κάποιες χαρακτηριστικές τοποθεσίες στην παραλία, στην προβλήτα, στην μαρίνα, στη θέση Πευκάκια, στα εθνικά στάδια, στα νοσοκομεία και σε άλλες χαρακτηριστικές περιοχές.

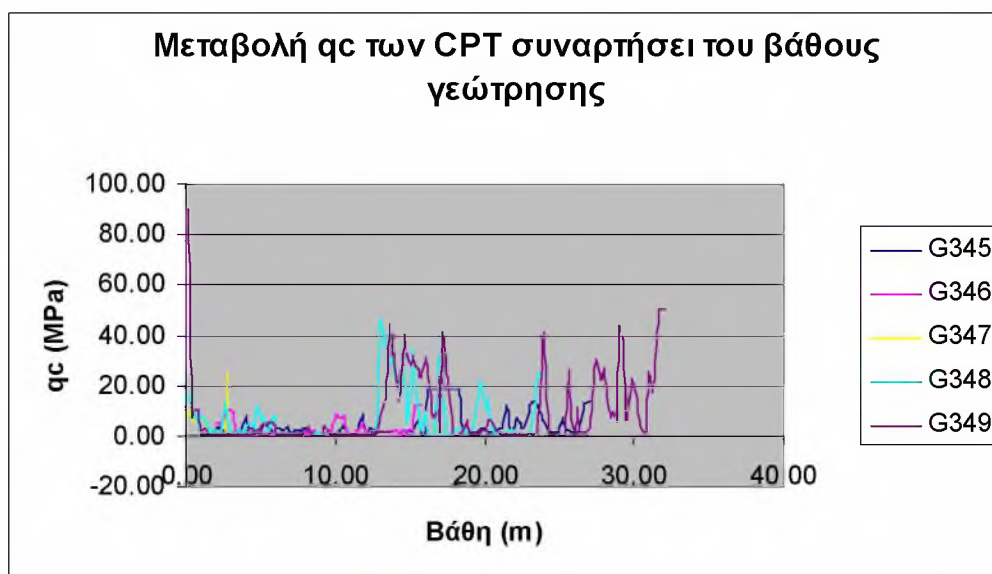
Το ερώτημα αποκτά περισσότερο ενδιαφέρον όταν εξειδικεύει τις αναζητήσεις ψάχνοντας τις θέσεις και στρώσεις που περιέχουν κάποιο υλικό με συγκεκριμένα εργαστηριακά και λιθολογικά χαρακτηριστικά. Στο Σχήμα δίνεται χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου χρησιμοποιήθηκε το Ερώτημα για την μελέτη εφαρμογής της διατριβής. Με βάση πολλαπλές υποβολές παρόμοιων τέτοιων ερωτημάτων συμπληρώθηκε και Στατιστικός Πίνακας, όπου καταγράφονται οι μέγιστες τιμές, οι ελάχιστες, οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις, κάποιων φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.3.6.8 Άποψη του δομημένου Ερωτήματος statistic KRAYSIDONAS.

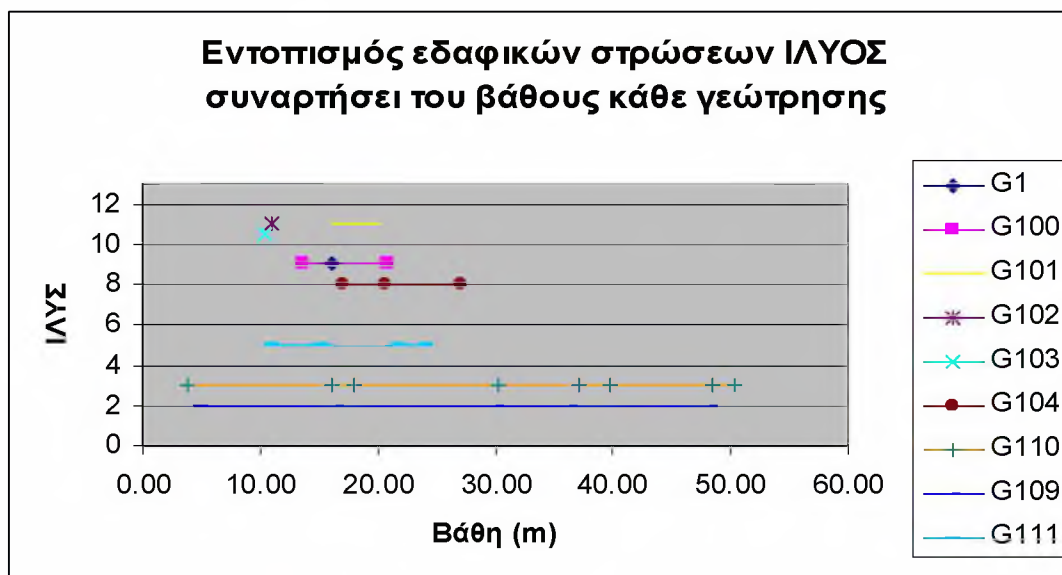
Ερώτημα WATER_TABLE vs DEPTH

Στο ερώτημα αυτό (Σχ. 4.3.6.9), ο χρήστης καθορίζοντας την περιοχή που τον ενδιαφέρει, μπορεί να πάρει πληροφορία για τη στάθμη που είχε ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας την τελευταία μέρα εκτέλεσης της ερευνητικής θέσης, καθώς και να δει αν η ερευνητική θέση έχει πιεζόμετρο - οπότε θα εμφανισθούν και οι τυχόν μεταγενέστερες μετρήσεις.



Σχήμα 4.3.6.9 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή με το βάθος των q_c , σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε θέση. (Ερώτημα ομοσχέτισης πληροφοριών)

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.



Σχήμα 4.3.6.10 Γράφημα που αποδίδει τις θέσεις δοκιμών σε κάθε ερευνητική θέση, όπου εντοπίστηκαν εδαφικές στρώσεις (λ.χ.) Ιλύος.

Ερώτημα WATER vs DEPTH

Στο ερώτημα αυτό (Σχ. 4.3.6.10), ο χρήστης καθορίζει μια περιοχή όπου ανακτώνται με αύξουσα σειρά οι γεωτρήσεις όπου είχαν εγκατασταθεί πιεζόμετρα (Κεφ. 7, Σχήμα 7.2.7.6).

Ερώτημα 2_geo_LITHOL_vs_depth

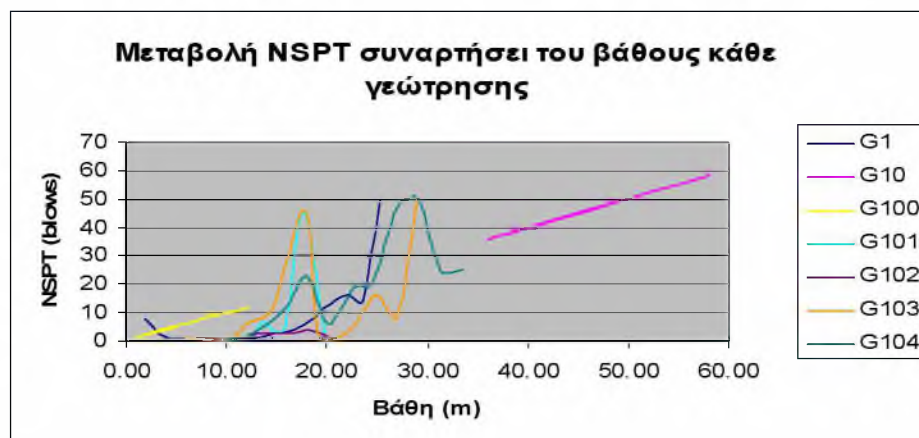
Το αποτέλεσμα στο ερώτημα αυτό βοηθά στον σχεδιασμό των εδαφικών τομών (Κεφ. 7.2). Γνωρίζοντας τις οριζόντιες αποστάσεις των σημείων, παρέχεται μια εικόνα για τη γεωμετρία κάθε εδαφικής στρώσης (βάθος, πάχος, καμπύλη του προφίλ της).

Ερώτημα 2_geo_NSPT_vs_depth

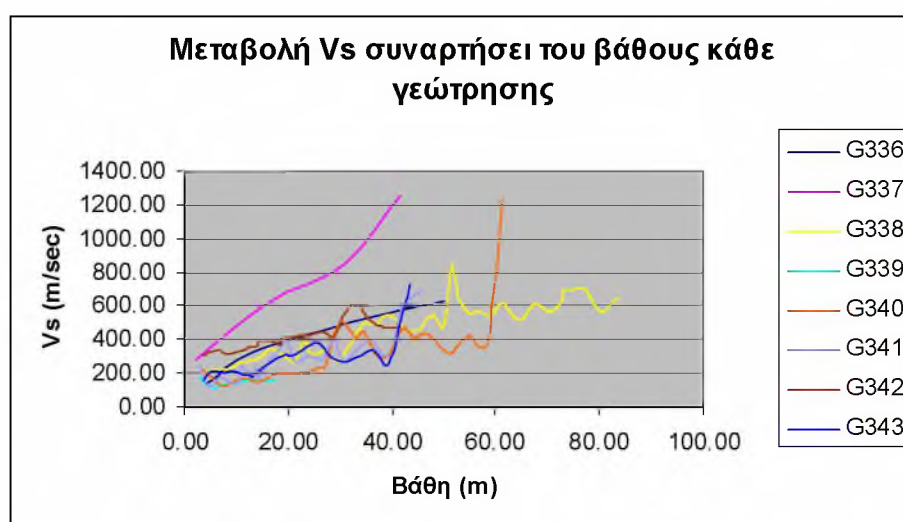
Το αποτέλεσμα στο ερώτημα αυτό σχεδιάζονται σε γράφημα (Σχ. 7.2.1.1 - δεξιά).

Ερώτημα 2_geo_VS_vs_depth

Το αποτέλεσμα στο ερώτημα αυτό σχεδιάζονται σε γράφημα (Σχ. 7.2.1.1.3 - αριστερά).



Σχήμα 4.3.6.11 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή των NSPT με το βάθος, σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε ερευνητική θέση.



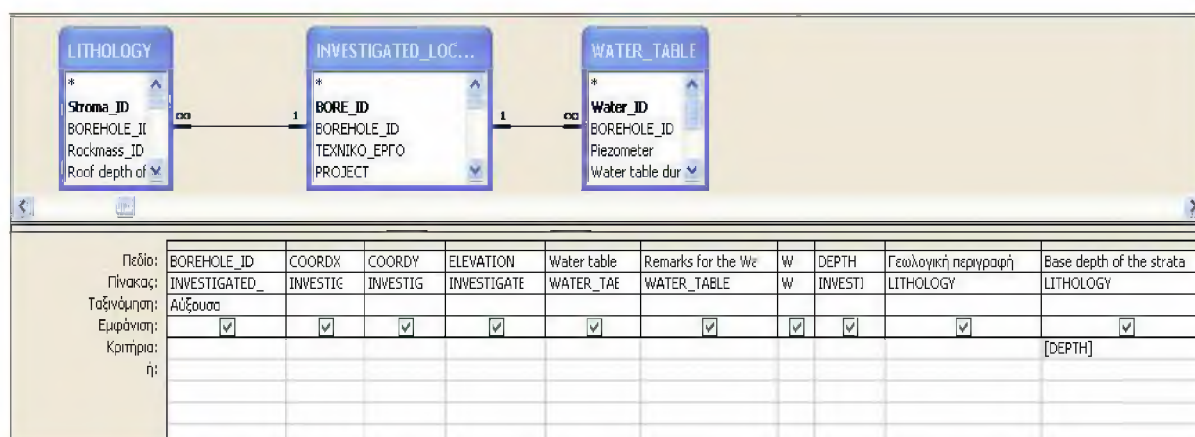
Σχήμα 4.3.6.12 Γράφημα που αποδίδει τη μεταβολή με το βάθος των Vs, σε ιδιαίτερη τεθλασμένη για κάθε ερευνητική θέση.

Ερώτημα *Local Site_levels* και Ερώτημα *Local Site_nowater_levels*

Στο πρώτο Ερώτημα, ανακτώνται (Σχ. 4.3.6.13) τα γεωγραφικά στοιχεία κάθε θέσης έρευνας, τα υψόμετρα της επιφάνειας του εδάφους τους, το βάθος και τη γεωλογική περιγραφή του βραχώδους υποβάθρου τους (εάν το έχουν συναντήσει), και το βάθος στο οποίο συναντήθηκε η ΣΥΥΟ. Συσχετίζει τρεις πίνακες: τον *Investigated_Locations*, τον *LITHOLOGY*, και τον *Water_Table*. Στο δεύτερο Ερώτημα, δεν γίνεται συσχέτιση με τον πίνακα *Water_Table*, για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει καταχωρημένη υδρολογική πληροφορία, προκειμένου να μην αποβαίνει άγονο το πρώτο Ερώτημα.

Οι Πίνακες που δημιουργούνται από τα Ερωτήματα αυτά, είναι έτοιμοι να εισαχθούν μέσα στο GIS, όπου και θα αποτελέσουν ένα θεματικό επίπεδο με τα απόλυτα υψόμετρα για κάθε

χαρακτηριστική επιφάνεια. Χαρακτηριστική επιφάνεια εννοείται: το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους, η επιφάνεια ΥΥΟ, η επιφάνεια βραχώδους υποβάθρου. Με τον τρόπο αυτό, σχεδιάζονται οι ισοϋψείς ή και οι τρισδιάστατες μορφές κάθε χαρακτηριστικής επιφάνειας.



Σχήμα 4.3.6.13 Ερώτημα που ανακτά τα υψόμετρα για όλες τις θέσεις έρευνας, προκειμένου να σχεδιαστούν στη συνέχεια (σε GIS) οι ισοϋψείς ή και οι τρισδιάστατες μορφές κάθε χαρακτηριστικής επιφάνειας (δηλ. το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους, η επιφάνεια ΥΥΟ, η επιφάνεια βραχώδους υποβάθρου).

Ερωτήματα Zone_A1, Zone_A2,

Συντάσσονται πολλαπλά Ερωτήματα, που όλα ακολουθούν το ίδιο πρότυπο σύνταξης. Το καθένα ανακτά πληροφορίες για μια ομάδα θέσεων έρευνας μέσα σε μια από τις νοητές Ζώνες (A1, A2,....., E1) στις οποίες υποδιαιρέθηκε η περιοχή της μελέτης - με βάση γεωμορφολογικά κυρίως κριτήρια. Οι ανακτώμενες πληροφορίες συνίστανται σε : μεταβολή του δείκτη των κτύπων NSPT με το βάθος, μεταβολή της λιθολογίας καθώς και των μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών κάθε στρώσης με το βάθος. Από τα αποτελέσματα των Ερωτημάτων αυτών σχεδιάζονται γραφήματα για τη μελέτη των τοπικών συνθηκών σε κάθε Ζώνη της περιοχής μελέτης.

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : III

Καμπύλες που αναπτύχθηκαν στην τρέχουσα έκδοση του GeoSeism.

Πίνακας 5.1.5 Μέσες, κατώτερες και ανώτερες τιμές μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης G^* και της κρίσιμης απόσβεσης ξ , συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης για γνωστούς τύπους εδάφους.

	Τύπος εδάφους	Διατμητική Παραμόρφωση (%)	G/Gmax	ξ (%)	Ερευνητές
1	clayey	0.0001	1	0.24	Μέτρο Διάτμησης για αργιλώδη (Seed and Sun, 1989)
1	clayey	0.0003	1	0.42	
1	clayey	0.001	1	0.8	Απόσβεση για αργιλώδη (Idriss, 1990)
1	clayey	0.003	0.981	1.4	
1	clayey	0.01	0.941	2.8	Τις ίδιες καμπύλες χρησιμοποιεί και το SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992)
1	clayey	0.03	0.847	5.1	
1	clayey	0.1	0.656	9.8	
1	clayey	0.3	0.438	15.5	
1	clayey	1	0.238	21	
1	clayey	3	0.144	25	
1	clayey	10	0.11	28	
3	sandy	0.0001	1	0.24	Μέτρο Διάτμησης για αμμώδη (Seed and Idriss, 1970)
3	sandy	0.0003	1	0.42	
3	sandy	0.001	0.99	0.8	Απόσβεση για αμμώδη (Idriss, 1990) - (σχετικά: SHAKE91, LRng από SI, 1970)
3	sandy	0.003	0.96	1.4	
3	sandy	0.01	0.85	2.8	Τις ίδιες καμπύλες χρησιμοποιεί και το SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992)
3	sandy	0.03	0.64	5.1	
3	sandy	0.1	0.37	9.8	
3	sandy	0.3	0.18	15.5	
3	sandy	1	0.08	21	
3	sandy	3	0.05	25	
3	sandy	10	0.035	28	
5	gravelly	0.0001	1	1.5	Μέτρο Διάτμησης και Απόσβεση για χαλικώδη (Rollins et al., 1998) - (σχετικά: Dakoulas Panos, 2012)
5	gravelly	0.001	0.87	1.5	
5	gravelly	0.01	0.68	3.8	
5	gravelly	0.1	0.26	11.8	
5	gravelly	1	0.05	17	
5	gravelly				

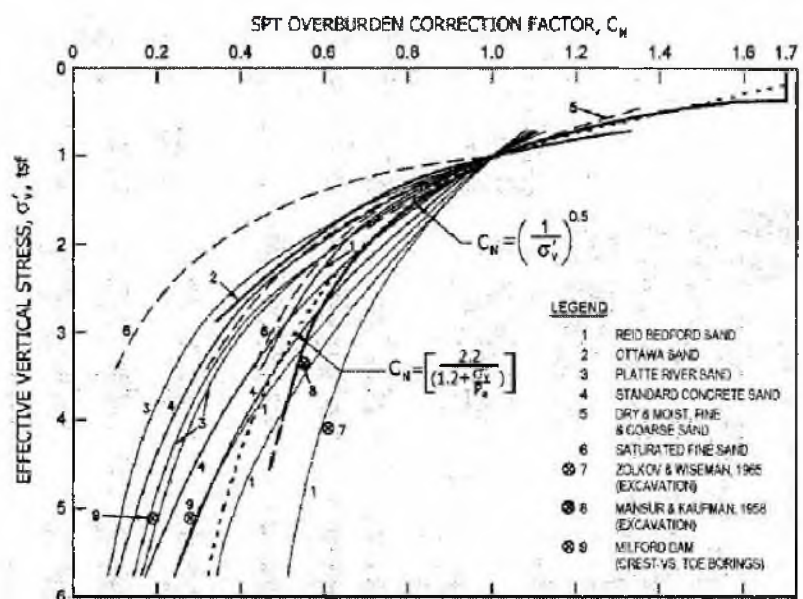
Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

7	rocky	0.0001	1	0.4	Μέτρο Διάτμησης και Απόσβεση για βραχώδη (Seed et al., 1985)
7	rocky	0.0003	1	-	
7	rocky	0.001	0.988	0.8	
7	rocky	0.003	0.952	-	
7	rocky	0.01	0.9	1.5	
7	rocky	0.03	0.81	-	
7	rocky	0.1	0.725	3	
7	rocky	1	0.55	4.6	
9	clayey PI \approx 8	0.0001	1		Μέτρο Διάτμησης και Απόσβεση για αργιλώδη (Vucetic and Dobry, 1991)
9	clayey PI \approx 8	0.001	0.95		
9	clayey PI \approx 8	0.01	0.78		
9	clayey PI \approx 8	0.1	0.35		
9	clayey PI \approx 8	1	0.08		
9	clayey PI \approx 8	10	0.07		
9	clayey PI \approx 8	0.0001		2	
9	clayey PI \approx 8	0.001		3	
9	clayey PI \approx 8	0.01		5	
9	clayey PI \approx 8	0.1		12.5	
9	clayey PI \approx 8	1		21	
9	clayey PI \approx 8	10		22	
11	clayey PI \approx 22	0.0001	1		
11	clayey PI \approx 22	0.001	1		
11	clayey PI \approx 22	0.01	0.85		
11	clayey PI \approx 22	0.1	0.5		
11	clayey PI \approx 22	1	0.12		
11	clayey PI \approx 22	10	0.11		
11	clayey PI \approx 22	0.0001		2	
11	clayey PI \approx 22	0.001		3	
11	clayey PI \approx 22	0.01		4	
11	clayey PI \approx 22	0.1		10	
11	clayey PI \approx 22	1		18	
11	clayey PI \approx 22	10		19	
13	clayey PI \approx 36	0.0001	1		
13	clayey PI \approx 36	0.001	1		
13	clayey PI \approx 36	0.01	0.9		
13	clayey PI \approx 36	0.1	0.62		
13	clayey PI \approx 36	1	0.2		
13	clayey PI \approx 36	10	0.15		
13	clayey PI \approx 36	0.0001		2	
13	clayey PI \approx 36	0.001		3	
13	clayey PI \approx 36	0.01		3	
13	clayey PI \approx 36	0.1		7	
13	clayey PI \approx 36	1		14	
13	clayey PI \approx 36	10		15	

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : IV

Γραφήματα που χρησιμοποιούνται στον Ποσοτικό έλεγχο ρευστοποίησης

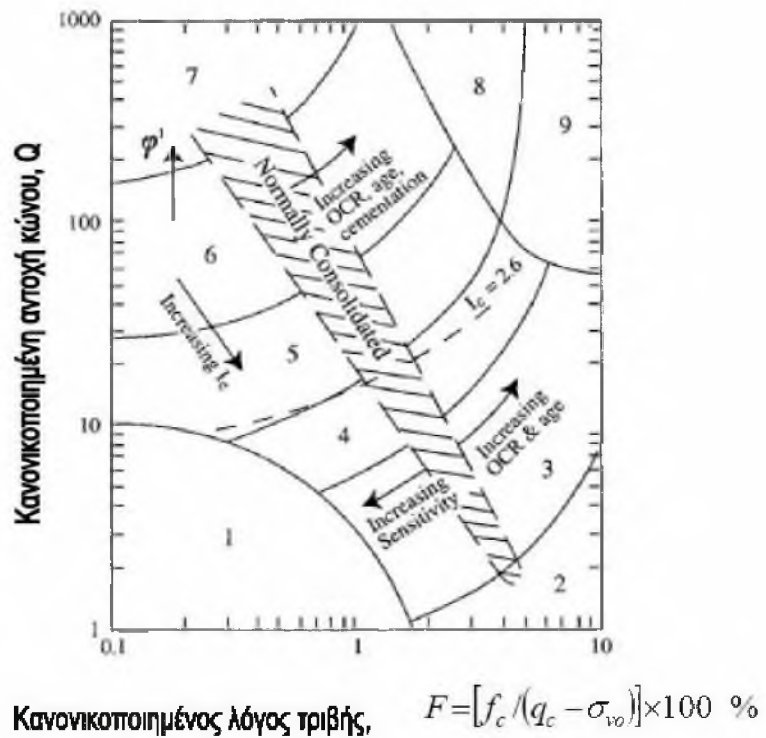


Σχήμα 5.3.1
Καμπύλες C_N για
διάφορες άμμους,
βασισμένες σε επιτόπου
και εργαστηριακά
δεδομένα καθώς και
τις δυο σχέσεις που
περιγράφονται εντός του
γραφήματος
(διαμορφώθηκε από τον
Castro, 1995).

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Factor (1)	Equipment variable (2)	Term (3)	Correction (4)
Overburden pressure	—	C_N	$(P_a/\sigma'_{vo})^{0.5}$
Overburden pressure	—	C_N	$C_N \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5–1.0
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7–1.2
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hammer	C_E	0.8–1.3
Borehole diameter	65–115 mm	C_B	1.0
Borehole diameter	150 mm	C_B	1.05
Borehole diameter	200 mm	C_B	1.15
Rod length	<3 m	C_R	0.75
Rod length	3–4 m	C_R	0.8
Rod length	4–6 m	C_R	0.85
Rod length	6–10 m	C_R	0.95
Rod length	10–30 m	C_R	1.0
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0
Sampling method	Sampler without liners	C_S	1.1–1.3

Σχήμα 5.3.2
Συντελεστής διόρθωσης ενέργειας κρούσης (διαμορφώθηκε από τον Skempton 1986, μνημονεύθηκε από Robertson and Wride, 1998).

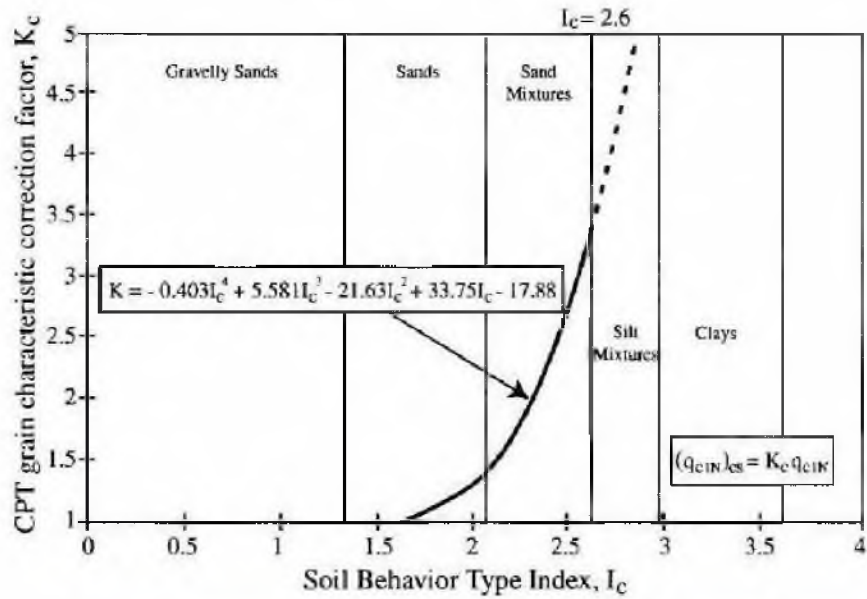


Σχήμα 5.3.3
Έμμεση εκτίμηση τύπου εδάφους σύμφωνα με τις μετρήσεις της δοκιμής CPT (Robertson, 1990).

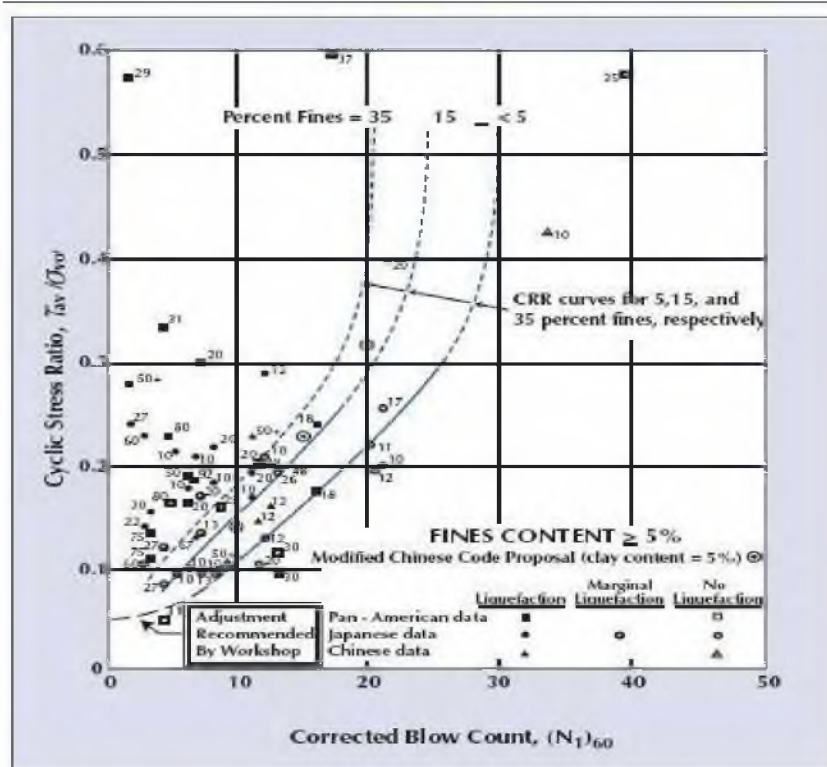
- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Sensitive, fine grained | 6. Sands - clean sand to silty sand |
| 2. Organic soils - peats | 7. Gravelly sand to dense sand |
| 3. Clays - silty clay to clay | 8. Very stiff sand to clayey sand* |
| 4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay | 9. Very stiff, fine grained* |
| 5. Sand mixtures - silty sand to sandy silt | |
- *Heavily overconsolidated or cemented

Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε Ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 5.3.4
Συντελεστής K_c
διόρθωσης
κοκκομετρικών
χαρακτηριστικών (*grain
characteristic correction
Factor*) για καθαρή άμμο
ισοδύναμη με την
αντίσταση CPT
(επαναπαρήχθη από
Robertson and Wride,
1998).

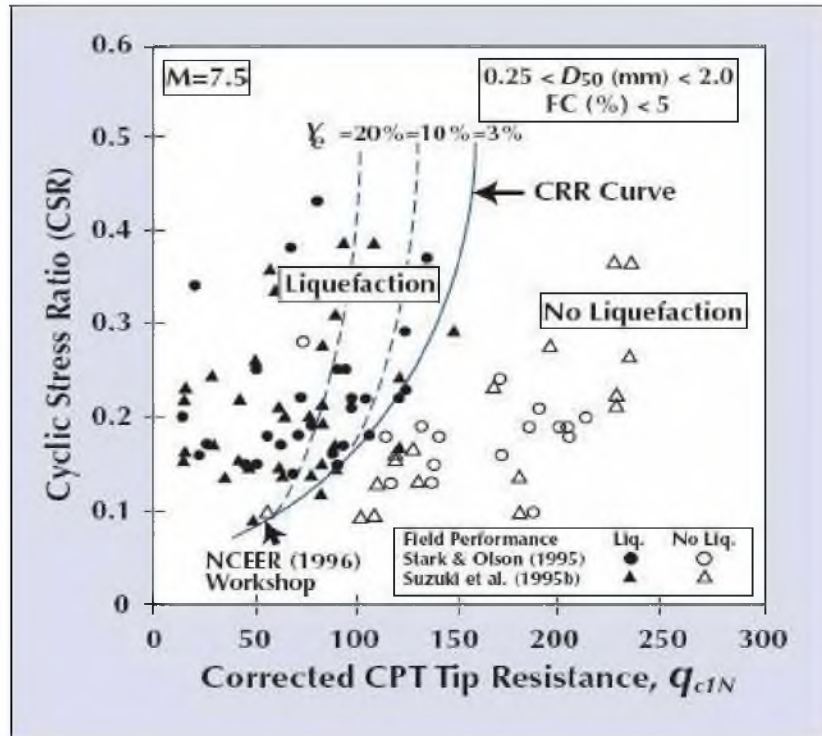


Σχήμα 5.3.5
Διάγραμμα εμπειρικού
προσδιορισμού των CSR
ή CRR με βάση τα
δεδομένα SPT (καμπύλη
της καθαρής άμμου), για
Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$
και δεδομένα από
περιπτώσεις
ρευστοποίησης που
διαμορφώθηκαν από
τους (modified from)
Seed et al (1985).

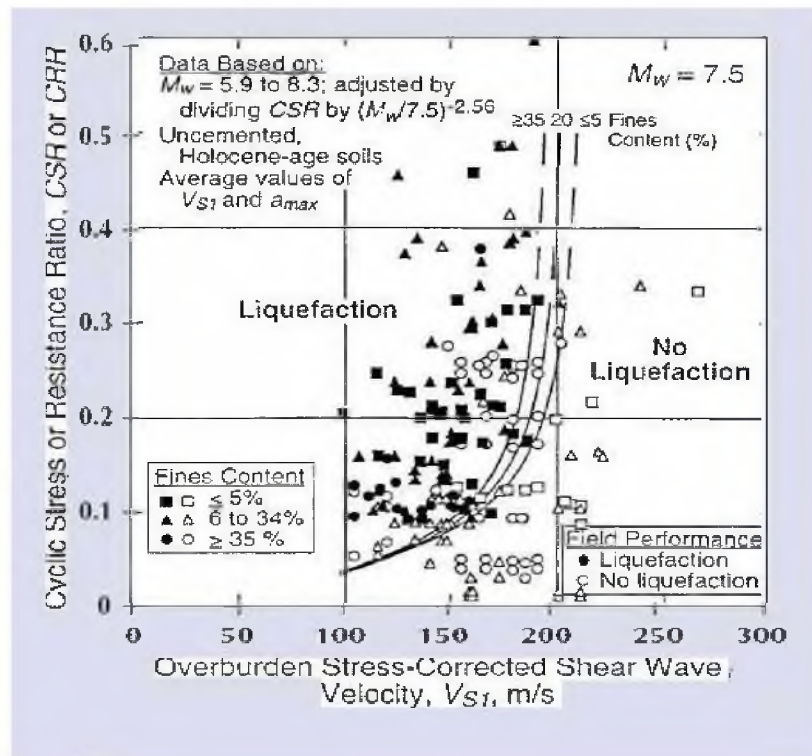


Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

Σχήμα 5.3.6
 Διάγραμμα εμπειρικού προσδιορισμού των CSR ή CRR με βάση τα δεδομένα CPT, για Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$ και δεδομένα από περιπτώσεις ρευστοποίησης (επαναπαρουσιάστηκε από τους Robertson and Wride, 1998).



Σχήμα 5.3.7
 Διάγραμμα εμπειρικού προσδιορισμού των CSR ή CRR με βάση τα δεδομένα V_s (από δοκιμές CH-DH), για Μέγεθος σεισμού $M = 7.5$ και δεδομένα από περιπτώσεις ρευστοποίησης (επαναπαρουσιάστηκε από τους Andrus and Stokoe, 2000).



Μαρία Απ. Παπαδοπούλου, «Μεθοδολογία αυτοματοποιημένης εκπόνησης Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Ελκινδυνότητας με διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εφαρμογή σε ελληνική πόλη», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 2017.

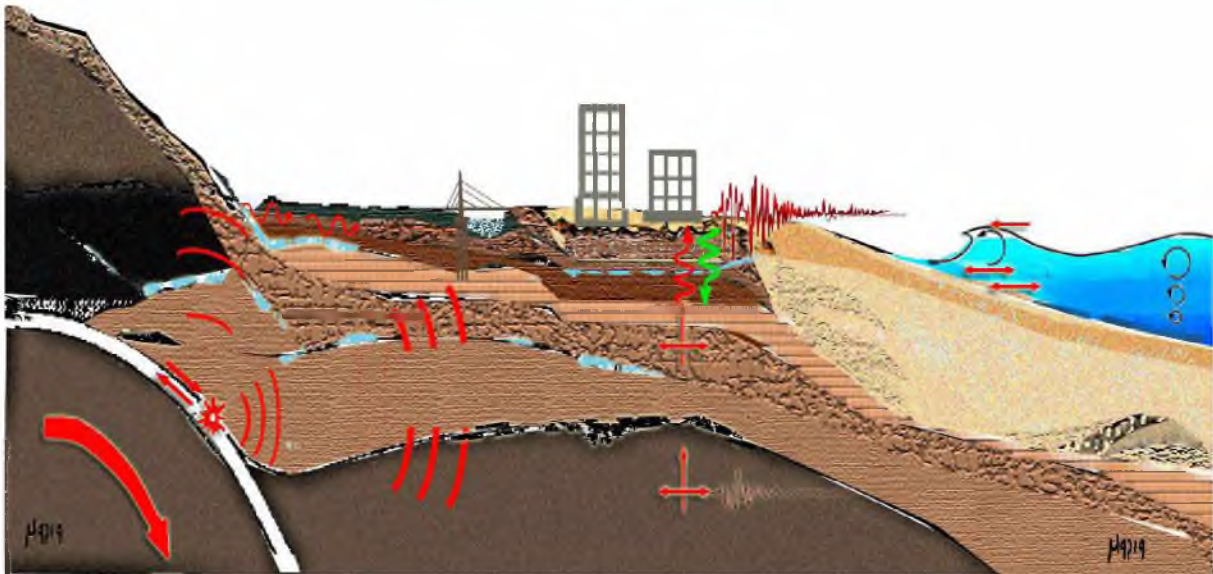


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μεθοδολογία Αυτοματοποιημένης Εκπόνησης
Μικροζωνικών Μελετών Σεισμικής Επικινδυνότητας
με Διαλειτουργικά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.
Εφαρμογή σε Ελληνική Πόλη**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ



Εκπόνηση: **Μαρία Απ. Παπαδοπούλου**
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων: **Παναγιώτης Ντακούλας**
Καθηγητής

Μάιος 2017

ΕΛΛΑΔΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ