

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης σε πρηνή με
«μαλακή» επιφανειακή στρώση**



**Topographic aggravation of elastic response spectrum at slopes with “soft”
surface layer**

**Επιμέλεια: Κολυβάς Διονύσιος
Επιβλέπων: Παπαδημητρίου Αχιλλέας, Επίκ.Καθηγητής**

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 12845/1
Ημερ. Εισ.: 04-09-2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ
2014
ΚΟΛ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αχιλλέα Παπαδημητρίου για την ουσιαστική και πολύτιμη βοήθειά του στην αποπεράτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τις γνώσεις που μου μετέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένεια μου για την οικονομική και ηθική στήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο.....	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής.....	1
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	4
2.1 Γενικά	4
2.2 Τοπογραφία πρανούς.....	4
2.3 Επίδραση στρωματογραφίας εδάφους.....	15
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	23
3.1 Περιγραφή μεθοδολογίας.....	23
3.2 Βαθμονόμηση μεθοδολογίας	26
3.3 Σεισμικές διεγέρσεις.....	35
3.4 Απόσβεση συστήματος	37
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΜΕ «ΜΑΛΑΚΗ» ΣΤΡΩΣΗ.....	38
4.1 Γενικά	38
4.2 Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης	39
4.3 Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης	45
4.4 Πρόταση και αξιολόγηση συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης	51
4.5 Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης.....	57
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΜΑΛΑΚΗΣ» ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	66
5.1 Γενικά.....	66
5.2 Απευθείας σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς	66
5.3 Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών	71
5.4 Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ομοιόμορφου – μη- ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών.....	77

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
6.1 Βασικά συμπεράσματα: Μονοκλινή πρανή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη..	81
6.2 Βασικά συμπεράσματα: Συγκριτικά με τα ομοιόμορφα πρανή και τα πρανή με μικρότερη «μαλακή» στρώση.....	81
6.3 Επισκόπηση υπαρχουσών κανονιστικών διατάξεων.....	82
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	84

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες για την επίδραση της τοπογραφίας στη σεισμική κίνηση. Ως επί το πλείστον, οι εργασίες αυτές στοχεύουν στη μελέτη ιστορικών περιστατικών, ή χρησιμοποιούν απλουστεύσεις (π.χ. ομοιόμορφο έδαφος, αρμονική διέγερση) για την αριθμητική/αναλυτική διερεύνηση του φαινομένου. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, όταν πίσω από τη στέψη του μονοκλινούς πρανούς υπάρχει «μαλακή» επιφανειακή στρώση. Η εργασία αυτή θεωρείται συμπληρωματική προηγούμενης εργασίας στο Π.Θ. (Κοντογιάννη 2013), η οποία είχε στοχεύσει κυρίως στη διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφων πρανών.

Στην παρούσα εργασία μελετάται αριθμητικά η τοπογραφική επιδείνωση όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, αλλά ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και της (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης, με τη χρήση 2D ιξωδο-ελαστικών αναλύσεων με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών FLAC. Το πρανές που εξετάστηκε έχει κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, ταχύτητα διατμητικών κυμάτων στο βράχο $V_b=500\text{m/s}$ και μια «μαλακή» επιφανειακή στρώση με πάχος $h=22.5\text{m}$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=180\text{m/s}$ (ιδιοπερίοδος στήλης $T_s=4h/V_s=0.5\text{sec}$). Οι αναλύσεις έγιναν με απόσβεση τύπου Rayleigh, με ελάχιστη τιμή $\xi=5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης. Οι διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν επιβλήθηκαν ως χρονοϊστορίες διατμητικής τάσης, που σε συνδυασμό με αποσβεστήρες στη βάση αντιστοιχούν σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Ως διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές των σεισμών του Αιγίου (1995) και της Κοζάνης (1995) με έναν και τέσσερις σημαντικούς κύκλους φόρτισης, αντίστοιχα, αλλά κατάλληλα προσαρμοσμένες κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e (εξετάστηκαν τιμές $T_e = 0.222, 0.50$ και 0.80sec , δηλαδή μικρότερη, ίση και μεγαλύτερη από την ιδιοπερίοδο της «μαλακής» στρώσης).

Η έμφαση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων, δόθηκε στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (απόσβεση 5%) καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Για το σκοπό αυτό ορίζονται:

- (α) η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης (**φασματικός λόγος AS_{ah}**) που υπολογίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{ah} για την οριζόντια επιτάχυνση κάθε σημείου της επιφάνειας του πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελεύθερου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για την περιοχή πίσω από τη στέψη $S_{ah,c}$ και μπροστά από τον πόδα $S_{ah,t}$), και
- (β) η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης (**φασματικό λόγο AS_{av}**) που υπολογίζεται ως ο λόγος του

ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{av} για την (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, όπως ανωτέρω).

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής, σε συνδυασμό με προϋπάρχοντα αποτελέσματα για ομοιόμορφα πρανή και πρανή με «μαλακή» επιφανειακή στρώση πάχους $h=10m$ και $V_s=180m/s$ (Κοντογιάννη 2013), προκύπτει ότι:

- Η ύπαρξη της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης δεν αλλάζει ποιοτικά την τοπογραφική επιδείνωση του πρανούς, συγκριτικά με το τι θα προέκυπτε αν ήταν ομοιόμορφο. Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση (διαδοχικές θέσεις ενίσχυσης και απομείωσης της επιτάχυνσης), η οποία είναι εντονότερη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση.
- Ανεξάρτητα από την ύπαρξη «μαλακής» επιφανειακής στρώσης, η φασματική τοπογραφική επιδείνωση διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για μικρές περιόδους κατασκευής και έως τη δεσπόμενη περίοδο διέγερσης T_e , ενώ για μεγαλύτερες περιόδους η φασματική τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται και πρακτικώς μηδενίζεται για πολύ μεγάλες περιόδους (π.χ. μεγαλύτερες του 1sec).
- Ποσοτικά, η ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη αφήνει πρακτικώς ανεπηρέαστη την τοπογραφική επιδείνωση μπροστά από τον πόδα. Αντιθέτως, πίσω από την στέψη, όσο μεγαλώνει το πάχος της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης, οι τοπογραφικές επιδείνωσεις ενισχύονται συγκριτικά με το ομοιόμορφο πρανές. Οι ενισχύσεις αυτές (συγκριτικά με το ομοιόμορφο πρανές) είναι πολύ σημαντικότερες στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση (μπορεί να υπερβούν και το 200%), απ' ό,τι στην οριζόντια επιτάχυνση (που μπορούν να υπερβούν το 20%).
- Σε κάθε περίπτωση, η «μαλακή» στρώση οδηγεί σε ενίσχυση των τοπογραφικών επιδεινώσεων όταν $T_s/T_e \geq 1.0$, δηλαδή σε υψίσυχνες διεγέρσεις, η οποία αυξάνει όσο αυξάνει ο λόγος περιόδων T_s/T_e .
- Ο ενιαίος συντελεστής 20% ενίσχυσης της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης που προτείνει ο EC-8 ως επίδραση της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης είναι ρεαλιστικού μεγέθους, μα κρίνεται ως υπερ-απλουστευτικός (π.χ. δεν λαμβάνει υπόψη το πάχος της στρώσης, τη συχνότητα της διέγερσης). Αντίθετα, ο EC-8 δεν προτείνει τοπογραφική επιδείνωση της κατακόρυφης επιτάχυνσης, γεγονός που θεωρείται έντονα προβληματικό ειδικά για πρανή με «μαλακή» επιφανειακή στρώση.
- Η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) για την τοπογραφική επιδείνωση σχεδιασμού ομοιόμορφων πρανών κρίνεται οριακά επαρκής και για «μαλακή» επιφανειακή στρώση πάχους $h=10m$, αλλά υποεκτιμά σαφώς τις ενισχύσεις για $h=22.5m$. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης το φαινόμενο της τοπογραφικής επιδείνωσης σε πρανή με «μαλακή» επιφανειακή στρώση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση της επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης για την οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση στη γειτονιά μονοκλινών πρανών με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη του πρανούς, συγκριτικά με ό,τι προκύπτει υπό 1D συνθήκες ταλάντωσης σε κάθε θέση. Η τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής απόκρισης εκτιμάται αριθμητικά με τη χρήση ιξωδοελαστικών αναλύσεων 2D πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η τοπογραφική επιδείνωση όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, αλλά και ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα. Επιπλέον, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις αναλύσεις της Κοντογιάννη (2013) για ομοιόμορφα βραχώδη πρανή, αλλά και για πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη μικρότερου ύψους ($h=10\text{m}$). Τελικός στόχος αυτής της παραμετρικής διερεύνησης είναι να επιβεβαιωθεί η ισχύς των σχέσεων εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού της Κοντογιάννη (2013), οι οποίες βασίζονται στις πολυπαραμετρικές σχέσεις που έχουν προταθεί από τους Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006).

1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής

Η εργασία αυτή αποτελείται από 7 κεφάλαια, με 1^ο το παρόν που αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας και παρουσιάζει το αντικείμενο επεξεργασίας και τη διάρθρωσή της, και 7^ο τη βιβλιογραφία της εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της παρουσίας ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς στη σεισμική κίνηση με βάση τη βιβλιογραφία. Γίνεται παρουσίαση των βασικών παραδοχών που υιοθετούνται ευρέως για την εν λόγω τοπογραφική ανωμαλία (γεωμετρική συμμετρία, ομογενής ελαστικός ημίχωρος, απλές γεωμετρικές κλπ) και ταυτόχρονα επισημαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προσομοιώματος που επηρεάζουν την απόκριση στην ευρύτερη ζώνη επιρροής του πρανούς. Ακολουθεί διερεύνηση της επίδρασης των κύριων παραγόντων του προβλήματος (κλίση πρανούς κλπ) στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, ξεχωριστά για κάθε κλίση πρανούς. Στη συνέχεια γίνεται ειδικότερη αναφορά στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για την οριζόντια και την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, γεγονός που αποτελεί το

ειδικότερο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού μελετάται με βάση και πάλι τη βιβλιογραφία, η επίδραση ύπαρξης μαλακής στρώσης στη σεισμική κίνηση, όπου παρατίθεται και η ήδη υπάρχουσα πρόταση των Assimakí et al. για μη-ομοιόμορφα εδαφικά πρηνή, αλλά και η πρόταση της Κοντογιάννη Α. (2013).

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το υπολογιστικό πρόγραμμα (FLAC) που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των παραμετρικών αναλύσεων στην παρούσα εργασία. Δίνονται στοιχεία για τις βασικές μαθηματικές αρχές στις οποίες στηρίζεται (μεθοδολογία Lagrange κλπ). Γίνεται αναφορά στις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος (στατική και δυναμική ανάλυση κλπ) και στη γλώσσα προγραμματισμού fish και περιγράφεται ένας τυπικός υπολογιστικός κύκλος κατά την πραγματοποίηση δυναμικής ανάλυσης. Ακόμη, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι κάποιες αδυναμίες του κώδικα αυτού. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γίνεται ειδική αναφορά στην εφαρμογή της εν λόγω μεθοδολογίας για την περίπτωση μονοκλινούς πρηνούς και τη γενικότερη διαδικασία ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα των παραμετρικών 2D ιξωδοελαστικών αναλύσεων για την επίδραση ενός μονοκλινούς πρηνούς με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη στο ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος ενός πρηνούς ($i=30^\circ$) για διάφορες τιμές δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης T_e (0.222/0.5/0.8 sec) λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές μορφές σεισμικών διεγέρσεων με κοινή T_e κάθε φορά. Επίσης, διερευνάται η τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση, για κάθε συνδυασμό πρηνούς-διέγερσης που εξετάζονται. Ύστερα από τη λεπτομερή παράθεση των αποτελεσμάτων, στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών δίνοντας έμφαση στο μέγεθος και στο εύρος της ενίσχυσης, αλλά και στον τρόπο που μεταβάλλεται χωρικά και τις θέσεις που παρατηρείται η μέγιστη ενίσχυση η μέγιστη ενίσχυση για συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων. Δίνοντας έμφαση στην περιοχή πίσω από τη στέψη του πρηνούς, παρουσιάζονται οι προσεγγιστικές σχέσεις εκτίμησης της ενίσχυσης του ελαστικού φάσματος που έχουν προταθεί παλαιότερα από την Κοντογιάννη Α. (Topographic aggravation of elastic response spectrum in the vicinity of step-like slopes, 2013). Επιπλέον γίνεται έλεγχος ακριβείας των βιβλιογραφικών προτάσεων των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) και Assimakí et al. οι οποίες συγκρίνονται με τις προτεινόμενες.

Στο 5^ο κεφάλαιο εξετάζεται η επίδραση της επιφανειακής «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη του μονοκλινούς πρηνούς συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας για την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής, αλλά και φασματικής επιτάχυνσης (οριζόντιας και κατακόρυφης) με τα αποτελέσματα για ομοιόμορφο βραχώδες πρηνές και

πρανές με μικρότερη επιφανειακή «μαλακή» στρώση (Κοντογιάννη 2013) και με τις προτεινόμενες σχέσεις εκτίμησης από τη βιβλιογραφία.

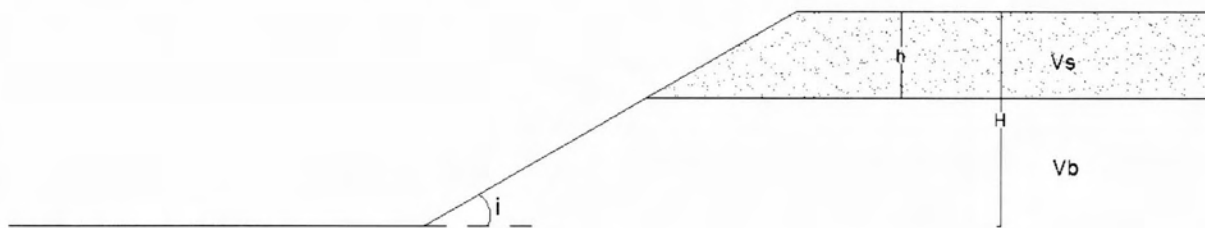
Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα βάση της συσσωρευμένης πληροφορίας που παρέχουν τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων. Αναλύονται οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας και οριοθετούνται οι στόχοι πιθανών μελλοντικών προσπαθειών στο ίδιο αντικείμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η παρούσα εργασία μελετά τον ήδη γνωστό καταλυτικό ρόλο που παίζει η ύπαρξη ενός πρανούς (slope) στην ενίσχυση της σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους.

Με τον όρο **πρανές** εννοείται κάθε κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους κλίσης i , που δημιουργεί μια διαφορά ύψους H μεταξύ δύο οριζοντίων επιπέδων του ίδιου εδάφους. Συγκεκριμένα, η παρούσα περίπτωση που εξετάζεται πρόκειται για μονοκλινές πρανές ύψους H με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους h πίσω από τη στέψη του (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1. Σκαρίφημα μονοκλινούς πρανούς με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη

2.2 Τοπογραφία πρανούς

Συνοψίζοντας αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία (π.χ Ashford & Sitar 1997, Ashford et al 1997, Bouckonalias & Paradimitriou 2005) για την τοπογραφική επιδείνωση λόγω μονοκλινούς πρανούς προκύπτει ότι για τις πλείστες των περιπτώσεων η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας συνιστώσας της επιτάχυνσης (a_x) στην κορυφή ως προς αυτή στο ελεύθερο πεδίο ($a_{x,ff}$), δεν ξεπερνάει την τιμή 2 (για κύματα SH), για μήκος κύματος της τάξης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της τοπογραφικής ανωμαλίας. Η τιμή αυτή είναι ανηγμένη ως προς την απόκριση του εδάφους στο ελεύθερο πεδίο «πίσω» από την κορυφή για κατακόρυφα προσπίπτον κύμα. Στα σημεία μεταξύ κορυφής και πόδα δεν έχουμε συγκεκριμένη συμπεριφορά, καθώς σε άλλα σημεία παρατηρείται απομείωση και σε άλλα ενίσχυση. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά για πρόσπτωση κυμάτων SV. Όμως για τα κύματα αυτά αναμένονται μεγαλύτερες τιμές ενίσχυσης. Τέλος όσον αφορά στην εμφάνιση της κατακόρυφης συνιστώσας a_y τα μεγέθη είναι σαφώς μικρότερα, αν και υπό ορισμένες προϋποθέσεις λαμβάνονται και αρκετά μεγάλες τιμές ($a_y/a_{x,ff} < 1.6$ για κατακόρυφο προσπίπτον

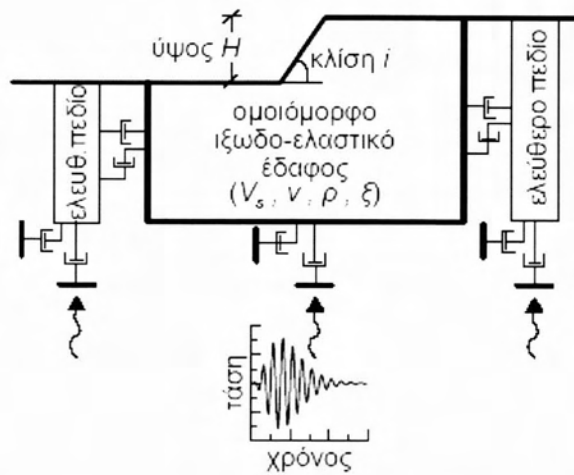
κύμα SV). Η τιμή του απολύτως μεγίστου εμφανίζεται στην στενή περιοχή της στέψης και για μεγάλες τιμές της αδιάστατης συχνότητας.

Οι μόνες μελέτες παραμετρικής φύσης παρουσιάζονται από τους Ashford and Sitar (1997) και Ashford et al (1997), οι οποίοι δίνουν ποσοτικά στοιχεία για την επίδραση της κλίσης i και του ύψους του πρανούς H , του είδους (P, SH και SV) και του μήκους κύματος λ , όπως επίσης και της γωνίας πρόσπτωσης β . Συμπληρωματικές και κυρίως επεκτατικές μελέτες (Bouckonas & Paradimitriou 2005) διερευνούν την επίδραση και άλλων παραμέτρων, όπως η υστερητική απόσβεση του εδάφους ξ και ο αριθμός σημαντικών κύκλων της διέγερσης N . Επιπλέον, εκτιμούν την τοπογραφική επιδείνωση καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους και προτείνουν προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού της επίδρασης της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς στη σεισμική κίνηση. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται περιληπτικά οι εν λόγω σχέσεις, αλλά κυρίως επεκτείνονται σε μορφή διαγραμμάτων σχεδιασμού που θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη βάση κανονιστικών διατάξεων.

Οι προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckonas & Paradimitriou (2005) προέκυψαν από εκτεταμένες παραμετρικές αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca 1993). Το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδοελαστικό, ομοιόμορφο με $VS = 500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu = 1/3$ και πυκνότητα $\rho = 2\text{Mg/m}^3$. Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει ένα παράδειγμα 2D γεωμετρίας πρανούς με τις συνοριακές συνθήκες των αναλύσεων. Συγκεκριμένα, οι αναλύσεις έγιναν με:

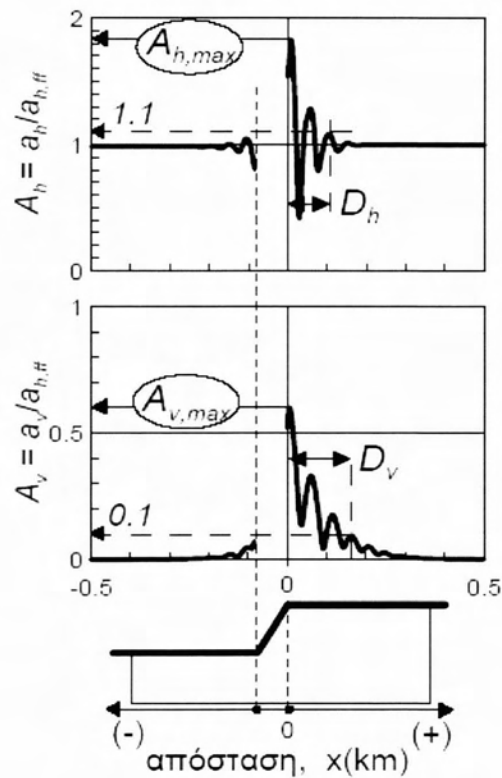
- 28000 έως 120000 τετραγωνικά στοιχεία, με μέγιστο ύψος $1/10 - 1/20$ του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ της διέγερσης,
- εύρος και ύψος του καννάβου ίσα με $20H$ και $5H$, αντίστοιχα, όπου H το ύψος του πρανούς,
- αποσβεστήρες στη βάση και σύνορα ελευθέρου πεδίου στα πλευρικά όρια του καννάβου, και
- επιβολή της σεισμικής διέγερσης μορφής αρμονικής ή παλμού Chang στη βάση του καννάβου ως χρονιοιστορία διατμητικής τάσης που αντιστοιχεί σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV.

Σημειώνεται ότι η επιβολή της διέγερσης ως χρονιοιστορίας τάσης και όχι επιτάχυνσης, (όπως συνήθως γίνεται στην πράξη) διασφαλίζει τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων.



Σχήμα 2.2. Τυπική 2Δ γεωμετρία αναλύσεων, συνοριακές συνθήκες και διέγερση βάσης (Μπουκοβάλας κ.α 2006)

Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει τυπικά αποτελέσματα από τις αριθμητικές αναλύσεις για την περίπτωση πρηνούς με κλίση $i = 30^\circ$, κανονικοποιημένο ύψος πρηνούς $H/\lambda = 2.0$, απόσβεση $\xi = 5\%$ και έξι σημαντικούς κύκλους διέγερσης ($N = 6$).



Σχήμα 2.3. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης από αριθμητική ανάλυση για μονοκλινές πρηνές με κλίση $i=30^\circ$, $H/\lambda=2.0$, $\xi=5\%$ και $N=6$ σημαντικούς κύκλους (Μπουκοβάλας κ.α 2006)

Το σχήμα αυτό παρουσιάζει τη μεταβολή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης $A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{h,ff}$ με την απόσταση από τη στέψη x , όπου a_h και a_v είναι η μέγιστη οριζόντια και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφάνειας. Η παράμετρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του ελευθέρου πεδίου, και χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση όχι μόνο της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης a_h , αλλά και της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας a_v , καθώς $a_{v,ff} = 0$ για ένα κατακόρυφα προσπίπτον κύμα SV. Επιπλέον, από το Σχήμα 2.3 προκύπτουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις:

(α) Αναμένεται εν γένει ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Οι επιδράσεις αυτές απομειώνονται με την απόσταση από το πρανές, έως ότου η απόκριση γίνει ίση με αυτή στο ελεύθερο πεδίο.

(β) Ακόμη και μια αμιγώς οριζόντια διέγερση, προκαλεί σημαντική παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στη γειτονία του πρανούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης.

(γ) Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας κίνησης παρουσιάζει έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση πίσω από τη στέψη, που μπορεί να χαρακτηρίζεται και από μεταβολή μεταξύ ενίσχυσης ($A_h > 1.0$) και απομείωσης ($A_h < 1.0$) σε μικρές οριζόντιες αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος λ των κυμάτων SV. Αντίστοιχα έντονη διαφοροποίηση εμφανίζεται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση.

Η παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στη γειτονία του πρανούς αποδίδεται στις ανακλάσεις των προσπιπτόντων κυμάτων SV στην επιφάνεια του πρανούς και στη δημιουργία κυμάτων P και SV, καθώς και κυμάτων Rayleigh, τα οποία όλα έχουν σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα. Η έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση αποδίδεται στο ότι τα ανωτέρω δευτερογενή κύματα καταφθάνουν με χρονική υστέρηση και διαφορά φάσης στα διάφορα σημεία της επιφάνειας, και η επαλληλία τους με τα προσπίπτοντα πρωτογενή κύματα SV δημιουργούν διαδοχικά σημεία με απομείωση και ενίσχυση αντίστοιχα.

Τα ανωτέρω υποδεικνύουν ότι η έμμεση διακρίβωση της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης μέσω ανάστροφων αναλύσεων βλαβών σε κτίρια είναι ιδιαίτερα αδρή, και ότι η πειραματική μέτρηση αυτής θα πρέπει να γίνεται μέσω πυκνών δικτύων επιταχυνσιογράφων. Συνολικά, οι Bouckovalas & Papadimitriou (2005) εκτέλεσαν 90 παραμετρικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του εδάφους με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης των κάτωθι παραμέτρων:

- της κλίσης του πρανούς $i(^{\circ})$ ή $I=i/90^{\circ}$, με $i = 10^{\circ} - 90^{\circ}$
- του κανονικοποιημένου ύψους του πρανούς H/λ , με $H/\lambda = 0.05 - 2.0$,

- του αριθμού σημαντικών κύκλων διέγερσης N , με $N = 1 - 12$, και
- της υστερητικής απόσβεσης του εδάφους ξ , με $\xi = 0 - 20\%$

Για την ευχερέστερη χρήση των ανωτέρω αποτελεσμάτων, η έρευνα επικεντρώθηκε σε παραμέτρους σημαντικές για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, δηλαδή (βλ. Σχήμα 2.3)

- τις μέγιστες τοπογραφικές επιδεινώσεις πίσω από τη στέψη του πρανούς, στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση $A_{h,max}$ και $A_{v,max}$, και
- τις αποστάσεις D_h και D_v πίσω από τη στέψη στις οποίες η σεισμική κίνηση δεν επηρεάζεται πρακτικώς από την ύπαρξη του πρανούς (όπου δηλαδή $A_h \leq 1.10$ και $A_v \leq 0.10$, αντίστοιχα).

Οι τέσσερις (4) αυτές παράμετροι σχεδιασμού συνδέθηκαν στατιστικά με τα τέσσερα (4) χαρακτηριστικά ενός πρανούς υπό σεισμική διέγερση, δηλαδή τις παραμέτρους I , H/λ , ξ και N , σύμφωνα με τις σχέσεις (Βασδέκης & Σοφιανού 2002, Bouckovalas & Papadimitriou 2005):

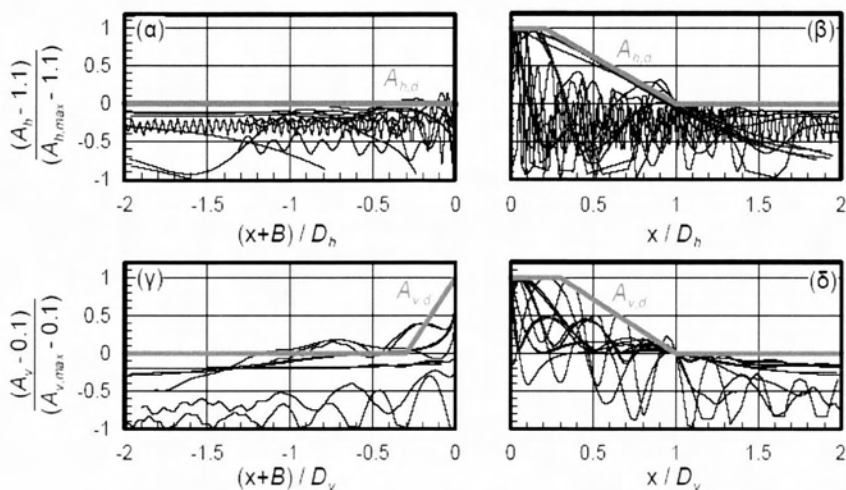
$$A_{h,max} = 1 + \frac{0.225(H/\lambda)^{0.4} \left(\frac{I^2 + 2I^5}{I^3 + 0.02} \right)}{1 + 0.9\xi} \quad (2.1)$$

$$A_{v,max} = \frac{0.75(H/\lambda)^{0.8} (I^{0.5} + 1.5I^5)}{1 + 0.15\xi^{0.5}} \quad (2.2)$$

$$D_h/H = \frac{\left[\frac{(H/\lambda)}{0.2 + (H/\lambda)^2} \right] \left(\frac{I^{1.5} + 3.3I^8}{I^4 + 0.07} \right)}{0.71 + 3.33\xi} N^{0.43} \quad (2.3)$$

$$D_v/H = \frac{\left[\frac{0.233(H/\lambda)}{0.2 + (H/\lambda)^2} \right] \left(\frac{I^{1.5} + 3.3I^8}{I^4 + 0.07} \right)}{\xi^{0.78}} \quad (2.4)$$

Η αύξηση των σεισμικών δράσεων στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση κατά $A_{h,max}$ και $A_{v,max}$ για όλη την απόσταση D_h και D_v πίσω από τη στέψη κρίνεται υπερβολικά συντηρητική, και μη συμβατή με τις αναλύσεις. Συνεπώς, τα αποτελέσματα μεταβολής των A_h και A_v με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς και για τις 90 αναλύσεις κανονικοποιήθηκαν ως προς τις εκάστοτε τιμές $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h και D_v . Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.3.



Σχήμα 2.4. Περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$ των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς ($B = H/tan\alpha$) (Μπουκοβάλας κ.α. 2006)

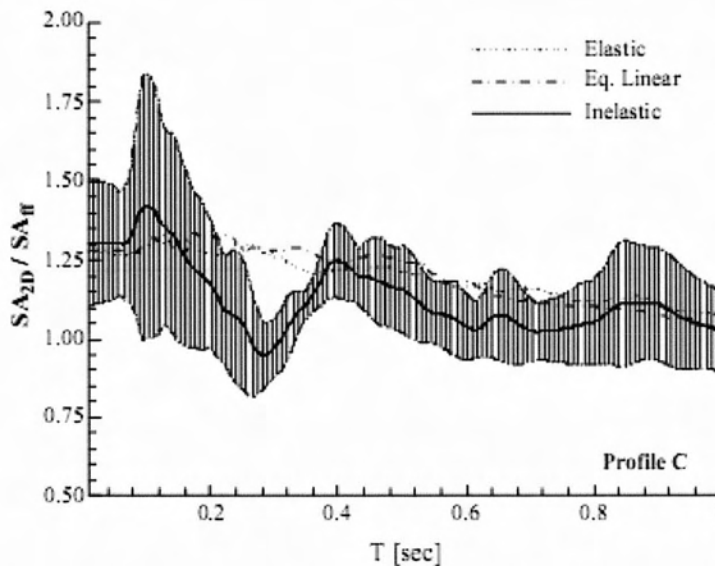
Από τα παραπάνω αποτελέσματα ορίστηκαν οι **περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$** με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς, οι οποίες δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$A_{h,d} = \begin{cases} 1.0 \div 1.1 & , \quad x \leq -B \\ 1.1 + \frac{A_{h,max} - 1.1}{B}(x+B) & , \quad -B \leq x \leq 0 \\ A_{h,max} & , \quad 0 \leq x \leq 0.2D_h \\ A_{h,max} - \frac{A_{h,max} - 1.1}{0.8D_h}(x - 0.2D_h) & , \quad 0.2D_h \leq x \leq D_h \\ 1.0 \div 1.1 & , \quad D_h \leq x \end{cases}$$

$$A_{v,d} = \begin{cases} 0.0 \div 0.1 & , \quad x \leq -(B + 0.3D_v) \\ 0.1 + \frac{A_{v,max} - 0.1}{0.3D_v}(x + B + 0.3D_v) & , \quad -(B + 0.3D_v) \leq x \leq -B \\ A_{v,max} & , \quad -B \leq x \leq 0.3D_v \\ A_{v,max} - \frac{A_{v,max} - 0.1}{0.7D_h}(x - 0.3D_v) & , \quad 0.3D_v \leq x \leq D_v \\ 0.0 \div 0.1 & , \quad D_v \leq x \end{cases}$$

Η ανωτέρω εργασία προσέγγισε το πρόβλημα της τοπογραφικής επιδείνωσης πρηνών στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους μέσω παραμετρικών ιξωδοελαστικών αναλύσεων που είχαν σεισμική διέγερση είτε αρμονική ή μονο-χρωματική αυξομειούμενης έντασης (παλμός Chang). Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας εντοπίζεται στη διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, αλλά ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα, γεγονός στο οποίο δεν έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη βιβλιογραφία, αν εξαιρέσουμε την εργασία της Κοντογιάννη (Topographic aggravation of elastic response spectrum in the vicinity of step-like slopes, 2013) που θα περιγράψουμε παρακάτω. Έτσι παρόλες τις διεθνείς ερευνητικές προσπάθειες, οι ισχύοντες αντισεισμικοί κώδικες παγκόσμια δεν έχουν ακόμη ενσωματώσει σχετικές διατάξεις. Εξαιρέση αποτελεί ο EC8, του οποίου όμως οι σχετικές διατάξεις, καίτοι εύλογες σε πρώτη ανάγνωση, μπορούν να θεωρηθούν (Paradimitriou 2011): α) υπερ-απλουστευτικές (π.χ. ενιαίος συντελεστής ενίσχυσης του οριζόντιου ελαστικού φάσματος), και β) ασαφείς (π.χ. τι σημαίνει πρακτικώς «γειτονία» του πρηνούς). Δηλαδή ο EC-8 θεωρεί ότι η τοπογραφική επιδείνωση είναι ενιαία για όλο το ελαστικό φάσμα, και ίση με εκείνη που προδιαγράφεται για τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους (αύξηση κατά 20% ανάλογα και με το ύψος και την κλίση του πρηνούς). Πιο συγκεκριμένα, για πρηνή με χαλαρό επιφανειακό στρώμα πίσω από τη στέψη τους ο EC-8 θεωρεί ότι ο προηγούμενος συντελεστής που χρησιμοποιείται για τα ομοιόμορφα πρηνή πρέπει να αυξάνεται κατά τουλάχιστον 20%. Η τοπογραφική επίδραση στο ελαστικό φάσμα απόκρισης δε μπορεί να προσεγγισθεί με χρήση αναλυτικών μεθόδων παρά μόνον πειραματικά (μέσω καταγραφών) ή αριθμητικά. Στην πρώτη περίπτωση, η χωρική μεταβλητότητα της τοπογραφικής επιδείνωσης (βλέπε Bouckovalas & Paradimitriou 2005) δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Στη δεύτερη περίπτωση, η εξαγωγή συμπερασμάτων γίνεται μέσω επεξεργασίας αναλύσεων ιστορικών περιστατικών, μια συνοπτική παρουσίαση των οποίων γίνεται παρακάτω:

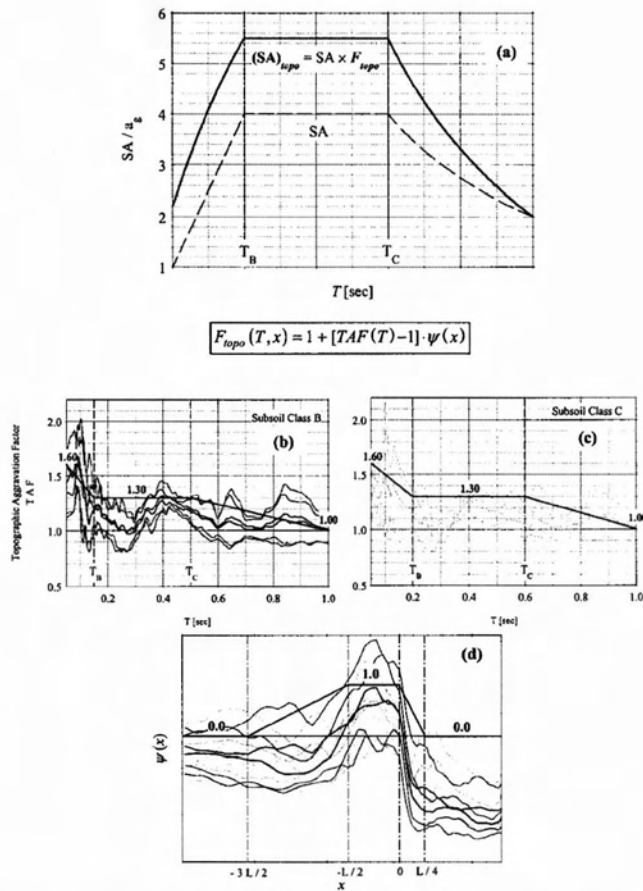
(α) Στη μελέτη των Assimaki et al (2005) για το σεισμό της Αθήνας (1999), η έμφαση δίνεται σε ένα πρανές κλίσης $i = 30^\circ$ με $H = 40\text{m}$, για το οποίο υιοθετήθηκαν διαφορετικά εδαφικά προφίλ που αντιστοιχούν σε διαφορετικά δεσπόζοντα μήκη κύματος λ . Έγιναν αναλύσεις διαφορετικών τύπων (ελαστικές, ισοδύναμα-γραμμικές, μη γραμμικές), και εκτιμώντας την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος για τη θέση μέγιστης τοπογραφικής ενίσχυσης (σε απόσταση $x=20\text{m}$ πίσω από τη στέψη του πρανού), προκύπτει η μορφή του Σχήματος 2.5.:



Σχήμα 2.5. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης στη θέση μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης της επιτάχυνσης του εδάφους ($x = 20\text{m}$ πίσω από τη στέψη του πρανού), (Assimaki et al 2005)

Από το Σχήμα 2.5 προκύπτει ότι η τοπογραφία δείχνει να ενισχύει τις μικρές περιόδους περισσότερο από τις μεγάλες, και συνεπώς η θεώρηση ομοιόμορφης επίδρασης βασισμένης στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης (όπως προτείνει ο EC-8) είναι μάλλον συντηρητική.

Διερευνώντας περαιτέρω το θέμα, οι ίδιοι συγγραφείς προτείνουν έναν συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται αδρά από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της κατηγορίας εδάφους κατά τον EC-8. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 2.6 (Assimaki et al 2005):



Σχήμα 2.6.

(a) Προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού του συντελεστή επιδείνωσης F_{topo} .

(b) Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του $TAF(T_{str})$, συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος, για το σύνολο των προσομοιώσεων για προφίλ κατηγορίας B (σιτφό έδαφος: EC-8).

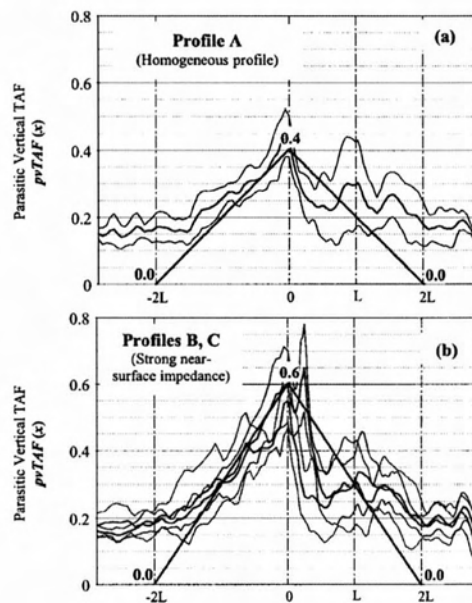
(c) Το ίδιο δ/μα με το (b), για προφίλ κατηγορίας C (μέσο έδαφος: EC-8).

(d) Χωρική διακύμανση της μέγιστης κανονικοποιημένης οριζόντιας επιτάχυνσης.

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.6 των Assimaki et al (2005), η τοπογραφία μονοκλινούς πρανούς ενισχύει κατά 60% τη μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση, κατά 30% την περιοχή σημαντικών περιόδων για την εκάστοτε κατηγορία εδάφους και δεν ενισχύει καθόλου περιόδους μεγαλύτερες ή ίσες του 1.0. Οι ίδιοι συγγραφείς, στο συνέδριο της ERTC-12 (Αθήνα 2006), αναθεώρησαν προς τα κάτω τις προαναφερθείσες τιμές ενίσχυσης των 60% και 30% σε 40% και 20%, αντίστοιχα, δίνοντας μια μάλλον πιο ρεαλιστική εικόνα των αναμενόμενων ενισχύσεων, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία (π.χ. οι Bouckovalas & Papadimitriou

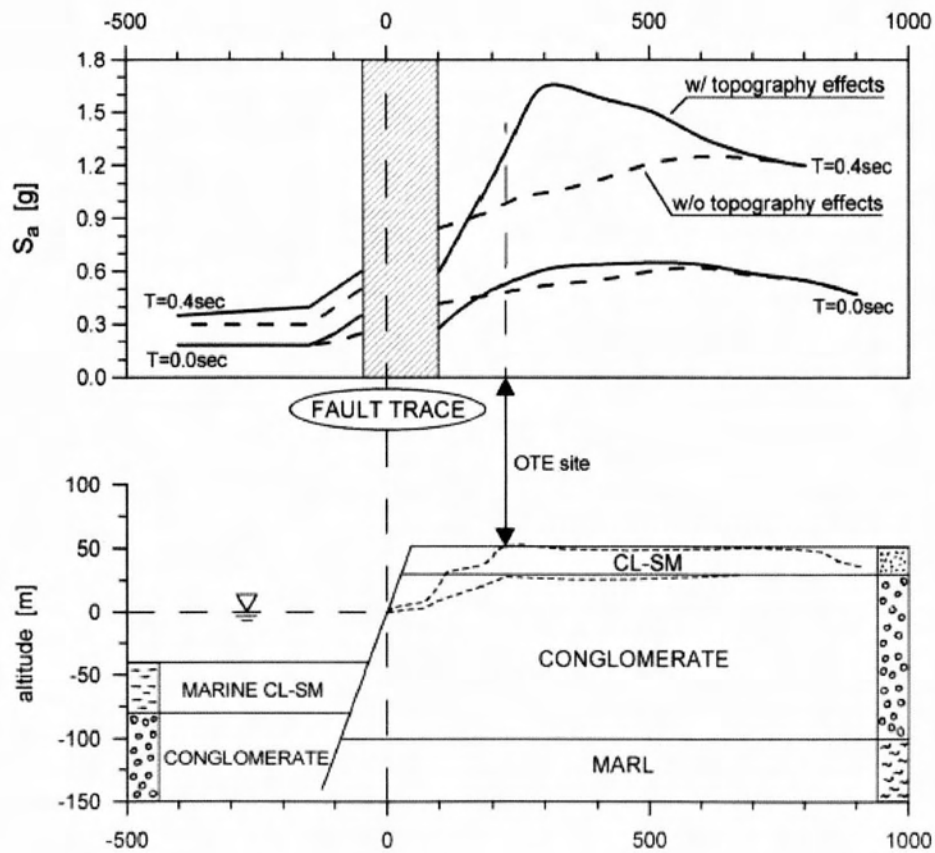
2005 δίνουν ως σύνηθες εύρος ενίσχυσης της μέγιστης οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης το 20% έως 50%, που συμφωνεί περισσότερο με το ανωτέρω προταθέν 40%).

Όσον αφορά τον συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης TAF για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, υπολογίστηκε ως εξής από τους Assimaki et al. (2005) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7. ως συνάρτηση της απόστασης από τον λόφο:

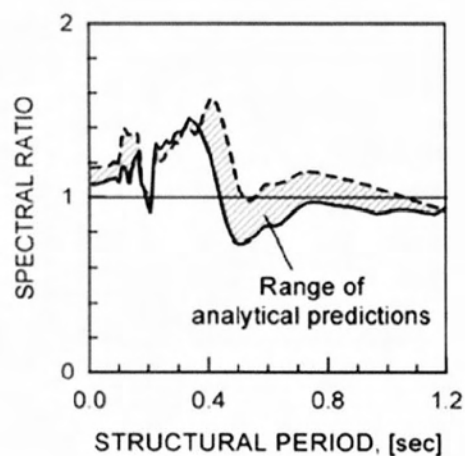


Σχήμα 2.7. (α) Χωρική διακύμανση της μέγιστης κανονικοποιημένης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης, για το σύνολο των προσομοιώσεων για προφίλ κατηγορίας A (βράχος: EC8) . Στον οριζόντιο άξονα $L=H/\tan(i^\circ)$.
 (β) Το ίδιο δ/μα με το (α), για προφίλ κατηγορίας B,C (στιφρό και μέσο έδαφος: EC-8).

(β) Στη μελέτη των Bouckovalas et al (1999) για το σεισμό του Αιγίου (1995) πραγματοποιούνται 2Δ και 1Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του πρηνούς στη στέψη του οποίου βρίσκεται χτισμένη η πόλη του Αιγίου. Εκ των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερη σημασία έχει το Σχήμα 2.8 που υποδεικνύει τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την οριζόντια απόσταση από το ίχνος του ρήγματος που δημιουργεί το πρηνές του Αιγίου για δύο χαρακτηριστικές περιόδους $T_{str}=0$ sec (μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και $T_{str}=0.4$ sec (μέση ιδιοπερίοδος κτιρίων Αιγίου, μια τιμή λίγο μικρότερη από τη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης).



Σχήμα 2.8. Επίδραση εδάφους και τοπογραφίας σε τυπική τομή Β-Ν στις τιμές φασματικών επιταχύνσεων για 2 περιόδους: $T_{str}=0s$ (Μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και $T_{str}=0.4s$ (μέση περίοδος κτιρίων Αιγίου και περίοδος λίγο μικρότερης της δεσπόζουσας) (Bouckovalas et al 1999).



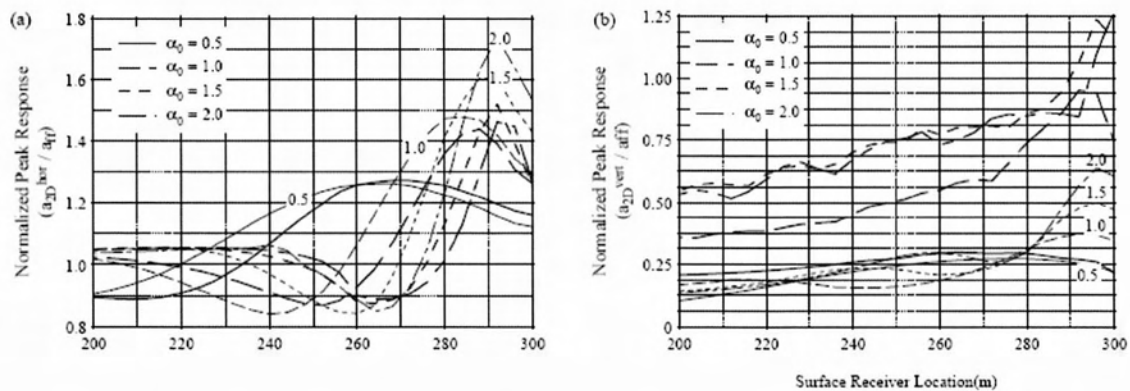
Σχήμα 2.8. Επίδραση τοπογραφίας στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, στη θέση καταγραφής (OTE site) πίσω από το πρανές του Αιγίου (Bouckovalas et al 1999).

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2.7, η τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται με την απόσταση από το ίχνος του ρήγματος, ανεξαρτήτως περιόδου, ενώ γίνεται σαφές ότι η τοπογραφική επιδείνωση σε κάθε σημείο δεν είναι ίδια για όλες τις περιόδους (π.χ. στο Σχήμα 2.7 είναι διαφορετική η τοπογραφική επιδείνωση για $T_{str}=0.4s$ στην περιοχή πίσω από τη θέση του ΟΤΕ: θέση καταγραφής, σε σχέση με εκείνη για $T_{str}=0s$). Αυτό γίνεται σαφέστερο στο Σχήμα 2.8, όπου παρουσιάζεται το εύρος της τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης σύμφωνα με τις αναλύσεις για την περιοχή της καταγραφής (ΟΤΕ site στο Σχήμα 2.8). Πιο συγκεκριμένα, η τοπογραφική επιδείνωση είναι εντονότερη στις μικρές περιόδους και μέχρι τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης ($T_{str} < T_e = 0.4-0.5sec$).

2.3 Επίδραση στρωματογραφίας εδάφους

Ήδη έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για την επίδραση της στρωματογραφίας του εδάφους στην μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, οι οποίες στόχευσαν σε ιστορικά περιστατικά όπου υπήρχε στρωματογραφία πίσω από τη στέψη. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τις εργασίες των Assimaki et al (2005) και των Κάλλου et al (2002) για τον σεισμό της Αθήνας το 1999. Ακόμη η Κοντογιάννη Α. (2013) στην εργασία της (Topographic aggravation of elastic response spectrum in the vicinity of step-like slopes, 2013) έχει διερευνήσει σε ένα μικρό βαθμό την επίδραση επιφανειακής «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη ενός μονοκλινούς πρανού.

Στη μελέτη των Assimaki et al. (2005), επιφανειακή μαλακή στρώση πάχους $h_1/h=0.25$ και μεταβλητής ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_{s1} , βρίσκεται πάνω από ομογενή ημιχώρο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για $V_{s1}/V_s=0.5$ όπου V_s η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του ομογενούς ημιχώρου. Αν και η διερεύνηση έγινε σε ένα τυπικό εδαφικό προφίλ στις Αδάμες, τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν και για άλλα εδάφη με ιζηματογενείς αποθέσεις. Στο Σχήμα 2.9. (Assimaki et al. 2005) φαίνεται η επίδραση μιας μαλακής επιφανειακής εδαφικής στρώσης, στην κανονικοποιημένη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση σε σύγκριση με την σεισμική εδαφική κίνηση του ομογενούς ημιχώρου.



Σχήμα 2.9. (α) Κανονικοποιημένη μέγιστη επιφανειακή οριζόντια επιτάχυνση πίσω από τη στέψη, για μαλακή επιφανειακή στρώση με $V_{s1}/V_s=0.5$, συναρτήση της αδιάστατης συχνότητας α_0 .

(β) Κανονικοποιημένη μέγιστη επιφανειακή παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση πίσω από τη στέψη, για μαλακή επιφανειακή στρώση με $V_{s1}/V_s=0.5$, συναρτήση της αδιάστατης συχνότητας α_0 .

Από το σύνολο των παραμετρικών αναλύσεων των Assimaki et al (2005) προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα (που είναι συμβατά και με το Σχήμα 2.9):

-Η ενέργεια του προσπίπτοντος κύματος παγιδεύεται εντός της μαλακής στρώσης πραγματοποιώντας έτσι πολλαπλές ανακλάσεις οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα κύματα που προέρχονται από την κατώτερη γωνία του λόφου και διαδίδονται προς τα πάνω. Τα κύματα στην επιφάνεια του εδάφους περιλαμβάνουν κύματα τύπου Rayleigh που δημιουργούνται στη στέψη και έχουν την ταχύτητα των κυμάτων Rayleigh της επιφανειακής στρώσης V_{R1} , καθώς και τις ανακλάσεις των κυμάτων που κατευθύνονται κατά μήκος της επιφανειακής στρώσης.

-Για τυχαία κύματα υψηλής συχνότητας, η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση του στρωματοποιημένου εδάφους είναι μικρότερη από αυτή του ομογενούς. Ωστόσο, η απόλυτη ενίσχυση της σεισμικής κίνησης είναι αξιοσημείωτη στην περίπτωση ύπαρξης μαλακής εδαφικής στρώσης, γεγονός που δείχνει τον καθοριστικό ρόλο της στρωματογραφίας εδάφους του ελεύθερου πεδίου στον μηχανισμό ενίσχυσης πίσω από τη στέψη.

- Η (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης ενισχύεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει κυρίως για διεγέρσεις με μήκος κύματος αρκετά μικρό σε σχέση με το πάχος της επιφανειακής στρώσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν να εμφανιστεί κατακόρυφη επιτάχυνση κατά 25% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη στο ελεύθερο πεδίο.

Στην εργασία της η Κοντογιάννη Α. (2013) για να μελετήσει την επίδραση της στρωματογραφίας του εδάφους έκανε, πέρα από τις αναλύσεις για ομοιόμορφα πρανή, και επιπλέον 2D ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις για βραχώδεις πρανές κλίσεως $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, και ταχύτητας διατμητικών κυμάτων $V_b=500m/s$, όμως με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, με τα εξής χαρακτηριστικά: πάχος $h=10m$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=180m/s$. Δηλαδή υπάρχει «μαλακή» στρώση η οποία σε μονοδιάστατη θεώρηση έχει $T_s=4h/V_s=0.222sec$ και δημιουργεί έναν λόγο εμπέδησης $a=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)=180/500=0.36$ με τον υποκείμενο ελαστικό βράχο. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για πρανές κλίσης i και ύψους H , κάθε μια από τις οποίες επαναλήφθηκε για διεγέρσεις τουλάχιστον 3 διαφορετικών τιμών δεσπόζουσας περιόδου T_e και δεσπόζοντος μήκους κύματος λ (δεδομένου ότι σε όλες τις αναλύσεις, $i=30^\circ$ και $H=50m$). Καθώς το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ μπορεί να προέρχεται από εντελώς διαφορετικές μορφές διέγερσης, κάθε πρανές κλίσης i και ύψους H υποβλήθηκε σε δύο (2) διαφορετικές διεγέρσεις (που έχουν αμφότερες το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ), ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της ακριβούς μορφής της χρονοϊστορίας, ή πιο απλά του αριθμού σημαντικών κύκλων διέγερσης.

Πιο συγκεκριμένα οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις αφορούν πρανή με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $i=30^\circ$, $H=50m$, $h=10m$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.222sec$ ($T_s/T_e = 0.222/0.222 = 1.0$, δηλαδή συντονισμό υπό μονοδιάστατες συνθήκες της επιφανειακής στρώσης).
- $i=30^\circ$, $H=50m$, $h=10m$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.50sec$ ($T_s/T_e = 0.222/0.5 = 0.444$, δηλαδή σχετικώς χαμηλόσυχνη διέγερση για την επιφανειακή στρώση που υπάρχει).
- $i=30^\circ$, $H=50m$, $h=10m$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.10sec$ ($T_s/T_e = 0.222/0.1 = 2.222$, δηλαδή σχετικώς υψηλόσυχνη διέγερση για την επιφανειακή στρώση που υπάρχει).

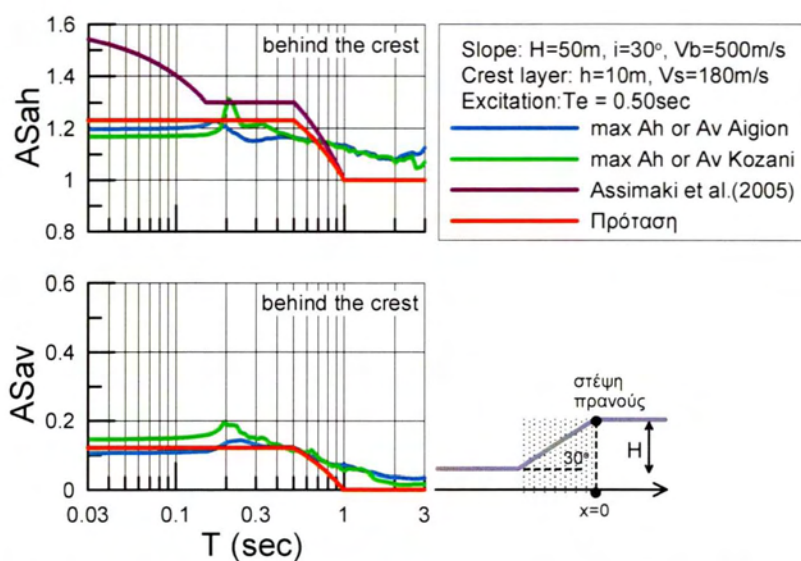
Οι σεισμικές διεγέρσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν είναι:

- Σεισμός Αιγίου (1995), με έναν σημαντικό κύκλο φόρτισης ($N=1$), κατάλληλα προσαρμοσμένη κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e .
- Σεισμός Κοζάνης (1995), με τέσσερις σημαντικούς κύκλους φόρτισης ($N=4$), κατάλληλα προσαρμοσμένη κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e .

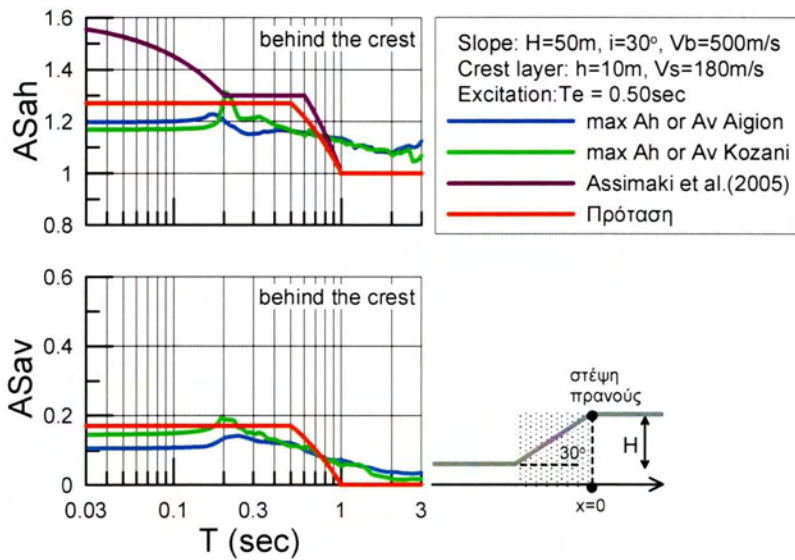
Στοχεύοντας σε μια συντηρητική προσέγγιση του φαινομένου, θεωρεί τη θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0sec$ ότι αποτελεί το πιο

σημαντικό σημείο αναφοράς. Συνεπώς, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε αυτή τη θέση (διαφορετική ανά συνδυασμό πρανούς – διέγερσης, και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα) αποτελεί μια εύλογα συντηρητική εκτίμηση του πως επηρεάζει το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους ένα πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη.

Για την εκτίμηση αυτή παραθέτει την πρόταση των Assimaki et al. (2005) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, για κατηγορία εδάφους B (ομοιόμορφο πρανές) και κατηγορία εδάφους C (μη-ομοιόμορφο πρανές) καθώς και τη δική της πρόταση η οποία βασίζεται στις πολυπαραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005) για ομοιόμορφο και αντίστοιχα μη-ομοιόμορφο πρανές, όπως αυτά φαίνονται ενδεικτικά στα σχήματα 2.10 και 2.11 για $T_e=0.50\text{sec}$.



Σχήμα 2.10 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.

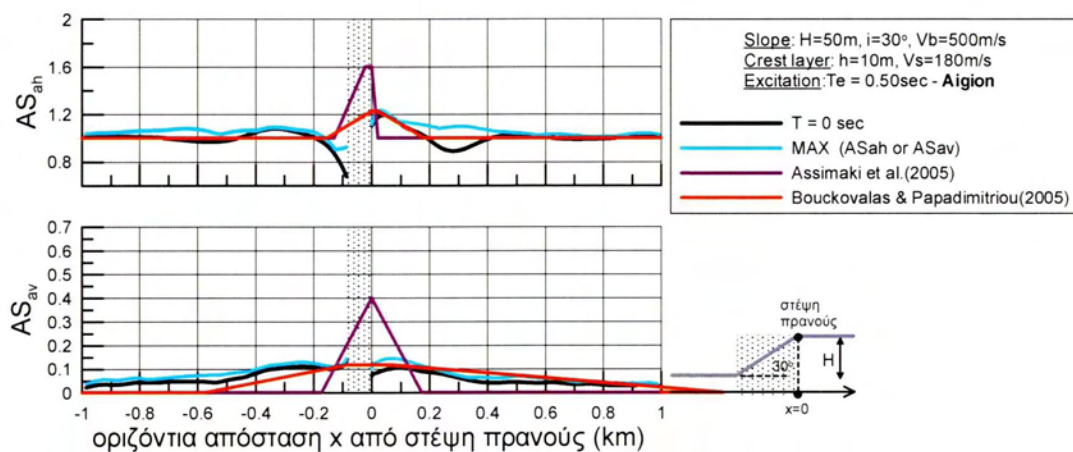


Σχήμα 2.11 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.

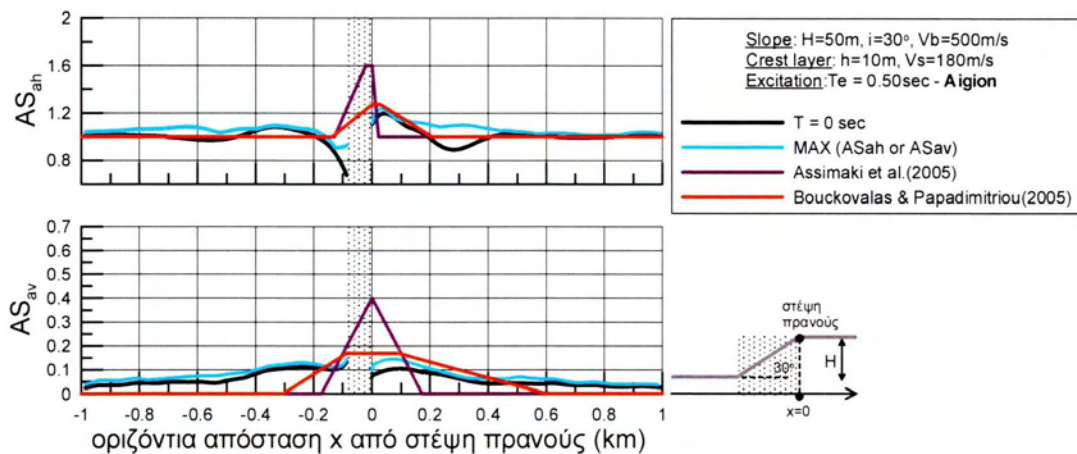
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν έχουν ως εξής:

- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005), για την τοπογραφική ενίσχυση στην οριζόντια διεύθυνση, είναι ποιοτικώς ορθή για ομοιόμορφα πρανή, μα μάλλον υπερεκτιμά τις ενισχύσεις σε μικρές περιόδους κατασκευής ($T < T_B$ του φάσματος σχεδιασμού του EC8). Επομένως, ίσως δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση ύπαρξης «μαλακής» στρώσης, καθώς το φάσμα επιταχύνσεων στην περιοχή πίσω από τη στέψη εμφανίζεται αυξημένο. Με την προσαρμογή της σχέσης ώστε να δίνει αποτελέσματα για μη-ομοιόμορφα πρανή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11, δεν αλλάζει κάτι ουσιαστικό αφού η τιμή της οριζόντιας συνιστώσας AS_{ah} παραμένει σταθερή και μόνο η καμπύλη περιβάλλουσας μετατοπίζεται ελαφρώς προς μεγαλύτερες περιόδους.
- Η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) είναι της ίδιας λογικής με εκείνης των Assimaki et al.(2005), την οποία όμως επεκτείνει και στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, και της προσδίδει αυξημένη ποσοτική ακρίβεια με χρήση πολυ-παραμετρικών σχέσεων από τη βιβλιογραφία (μη σταθερή τιμή A_{hmax} , A_{vmax} , συμφώνως με τα αριθμητικά αποτελέσματα). Για τον λόγο αυτό, δίνει επαρκή αποτελέσματα για πρανή με «μαλακή» στρώση αν $T_e \geq T_s$, αλλά σε περίπτωση υψίσυχνων διεγέρσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφυλακτικότητα (πιθανώς υποεκτίμηση ενισχύσεων στην περιοχή της T_e).

Όσον αφορά τη χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης έκανε και πάλι 2 θεωρήσεις (ομοιόμορφο και μη πρανές) και σύγκρινε τη μέγιστη τοπογραφική φασματική επιδείνωση στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς με «μαλακή» στρώση, με τις χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) που προκύπτουν από τις σχέσεις σχεδιασμού και φαίνονται στα σχήματα 2.12-2.13 ενδεικτικά για το σεισμό του Αιγίου (1995) και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$.



Σχήμα 2.12 Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 2.13 Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίση i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s30}=314\text{m/s}$)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν έχουν ως εξής:

- Σε ό,τι αφορά στις μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης κατά μήκος του πρανούς με «μαλακή» στρώση, οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) φαίνεται να τις προβλέπουν ικανοποιητικά, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν σαφώς.
- Αντίστοιχα, οι μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης κατά μήκος του πρανούς με «μαλακή» στρώση, οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) φαίνεται να τις υποεκτιμούν ελαφρώς, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν ελαφρώς.
- Σε ό,τι αφορά στη χωρική διαφοροποίηση, αυτή δεν επηρεάζεται από το δεσπόζον μήκος κύματος στις σχέσεις των Assimaki et al. (2005), σε αντίθεση με την αυξητική επίδραση αυτού στην επηρεαζόμενη περιοχή που προβλέπουν οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006). Πρακτικώς, οι σχέσεις των Assimaki et al. (2005) προβλέπουν σαφώς «στενή» επίδραση, αντίστοιχη εκείνης για υψίσυχη διέγερση των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).
- Σε ό,τι αφορά στη χωρική διαφοροποίηση, τα αποτελέσματα δείχνουν να συμφωνούν με τις προβλέψεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), ειδικώς για την ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης. Για την ενίσχυση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης, οι εν λόγω σχέσεις οδηγούν σε ελαφρές υποεκτιμήσεις της τοπογραφικής επιδείνωσης σε μεγάλες αποστάσεις από το πρανός, αλλά θα ήταν υπερβολικά συντηρητικό να σχεδιάζει κανείς με τη

μέγιστη φασματική επιτάχυνση ανεξαρτήτως T για την οποία προκύπτει αυτή.

- Η θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς με βάση τις σχέσεις Bouckonas & Paradimitriou (2005, 2006) οδηγεί σε υπερεκτίμηση της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης σε πρανή με «μαλακή» στρώση. Αντιθέτως, η θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς με χρήση των ίδιων σχέσεων οδηγεί σε ρεαλιστική εκτίμηση της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης σε πρανή με «μαλακή» στρώση. Η αντίστοιχη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης υποεκτιμάται ακόμη και με τη θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας

Πέραν της συγκριτικής αξιολόγησης των πορισμάτων σχετικών δημοσιεύσεων για τη μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας στη σεισμική διέγερση, για την περάτωση αυτής της εργασίας, πραγματοποιήθηκε μία σειρά αριθμητικών αναλύσεων. Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το FLAC το οποίο εφαρμόζεται για την επίλυση δισδιάστατων προβλημάτων με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Είναι ένα λογισμικό που εξειδικεύεται στην προσομοίωση της συμπεριφοράς εδάφους και βράχου, δηλαδή προβλημάτων που άπτονται της γεωτεχνικής (σεισμικής και μη) μηχανικής.

- Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της πλήρους διαφορικής εξίσωσης κίνησης και η διαδικασία επίλυσης εξελίσσεται με υπολογιστικά βήματα.
- Το υλικό προσομοιώνεται με ζώνες (ή στοιχεία) που μορφώνουν έναν κάνναβο, ο οποίος έχει καθοριστεί από το χρήστη για να ταιριάζει με τη γεωμετρία του προβλήματος.
- Ο κάνναβος έχει την ικανότητα να κινείται και να παραμορφώνεται «ακολουθώντας» το εδαφικό υλικό, κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας Lagrange («του κινούμενου παρατηρητή»), αν χρειάζεται από τη φύση του προβλήματος.
- Μέσω της εξίσωσης κίνησης υπολογίζονται σε κάθε βήμα αρχικά οι ταχύτητες των κόμβων του δικτύου (ή, αλλιώς, η προσαύξηση των μετατοπίσεων ανά βήμα) από τις τάσεις και δυνάμεις του προηγούμενου βήματος.
- Από αυτές προκύπτουν ο ρυθμοί των παραμορφώσεων σε κάθε κόμβο και από αυτούς οι νέες τάσεις στις ζώνες του δικτύου βάσει της καταστατικής σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων που καθορίζεται από το χρήστη.
- Από τις τάσεις στις ζώνες (στις οποίες περιλαμβάνονται και οι τάσεις του προηγούμενου βήματος) προκύπτουν οι ισοδύναμες δυνάμεις στους κόμβους του δικτύου, που οφείλονται στην εντατική κατάσταση του μέσου.
- Η επαλληλία αυτών με τη δύναμη λόγω αποσβέσεως αλλά και τις εξωτερικές δυνάμεις δίνει τη μη ισορροπούσα δύναμη ΣF σε κάθε κόμβο. Η δύναμη αυτή θα πρέπει σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση κίνησης να είναι ίση με την αδρανειακή δύναμη.
- Έτσι διαιρώντας με την ισοδύναμη μάζα m κάθε κόμβου και πολλαπλασιάζοντας το πηλίκο επί κάποιο μικρό χρονικό βήμα Δt, προκύπτει η προσαύξηση της ταχύτητας κάθε κόμβου σύμφωνα με τη σχέση:

$$u_{(t+\Delta t/2)} = u_{(t-\Delta t/2)} + (\Sigma F/m) * \Delta t$$

Έχοντας υπολογίσει τη νέα ταχύτητα του κόμβου η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για το επόμενο υπολογιστικό βήμα.

Στην περίπτωση που το πρόβλημα επιλύεται δυναμικά, η μάζα και η σταθερά αποσβέσεως είναι αυτές που αντιστοιχούν στις πραγματικές παραμέτρους, ενώ τα χρονικά βήματα υπολογισμού Δt αντιστοιχούν σε πραγματικά χρονικά διαστήματα. Αν η επίλυση επιλεγεί να γίνει στατικά, τότε μάζα, σταθερά αποσβέσεως και το βήμα υπολογισμού καθορίζονται από το ίδιο το πρόγραμμα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταχύτερη σύγκλιση.

Για καλύτερα αποτελέσματα η επίλυση διαχωρίζει την κάθε τετραπλευρική ζώνη του καννάβου σε τέσσερις τριγωνικές υποζώνες. Σε δυναμικά προβλήματα το χρονικό βήμα υπολογισμού υπολογίζεται από το πρόγραμμα έτσι ώστε να είναι μικρότερο από το κρίσιμο για το οποίο ισχύει:

$$\Delta t_{\text{crit}} = \min[A / V_p d_{\text{max}}]$$

Όπου: **A** το εμβαδόν της τριγωνικής υποζώνης κάθε ζώνης του δικτύου

d_{max} η μεγαλύτερη διαγώνιός της, και

V_p η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων όπως αυτή υπολογίζεται από τις δεδομένες ελαστικές σταθερές του προβλήματος.

Το \min αναφέρεται στον ελάχιστο λόγο $A/(V_p d_{\text{max}})$ που απαντάται σε όλο το δίκτυο πεπερασμένων διαφορών.

Ο περιορισμός αυτός για το χρονικό βήμα υπολογισμού οφείλεται, κατ' ουσία, στην απαίτηση όπως η "πληροφορία" για τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και δράσεων να μη διαδίδεται μέσα στον κάνναβο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων, παραβιάζοντας τον πραγματικό μηχανισμό που συναντάται στη φύση.

Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος επιλέγονται με γνώμονα

- την κατά το δυνατό καλύτερη προσομοίωση του προβλήματος που απαντάται στη φύση, και
- την υπολογιστική ταχύτητα που απαιτείται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Με βάση τα παραπάνω δεν υπάρχει ανάγκη για πολύ μεγάλους καννάβους προσομοίωσης για να επιτυγχάνεται ο στόχος μη επηρεασμού της περιοχής ενδιαφέροντος από τις συνοριακές συνθήκες. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται ένας λογικής τάξης μεγέθους κάνναβος στο κάτω όριο του οποίου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που θα ελάμβανε χώρα εάν επρόκειτο για ημιχώρο. Επίσης, στα πλευρικά όρια του καννάβου εφαρμόζονται συνθήκες ελεύθερου πεδίου

οι οποίες εξασφαλίζονται με ειδικές διατάξεις που πρακτικώς "επιβάλλουν" συνθήκη ελεύθερου πεδίου στο όριο. Ακόμη επισημαίνεται ότι η κίνηση επιβάλλεται στο κάτω όριο του καννάβου ως χρονοϊστορία τάσης και όχι μετατόπισης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης οπότε θα δημιουργούνταν τεχνητές ανακλάσεις στο εν λόγω όριο.

Πλεονεκτήματα του προγράμματος FLAC:

- Το FLAC αντιμετωπίζει την ανελαστικότητα στη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων με διάφορα ελαστο-πλαστικά καταστατικά μοντέλα (π.χ. το μοντέλο Mohr-Coulomb, Drucker-Prager) και μάλιστα σχεδόν με τις ίδιες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ που προβλέπονται για το απλό ελαστικό μοντέλο. Αντίθετα, προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο.
- Δε γίνεται μόρφωση και αποθήκευση μητρώων ακαμψίας οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός στοιχείων κατά την προσομοίωση με μέτριες απαιτήσεις σε μνήμη, ενώ προβλήματα με μεγάλες μετατοπίσεις και παραμορφώσεις αντιμετωπίζονται επίσης χωρίς πρόσθετη υπολογιστική προσπάθεια.
- Διαθέτει μια ενσωματωμένη γλώσσα, τη Fish που μοιάζει με τη FORTRAN, αλλά που είναι προσαρμοσμένη στις δυνατότητες, απαιτήσεις και ανάγκες του FLAC. Η Fish δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εφοδιάζει τα αρχεία εισόδου του με υπορουτίνες και κώδικες που μπορούν να μετατρέπουν ή να συμπληρώνουν καταστατικά προσομοιώματα ή να εισάγουν στην υπολογιστική διαδικασία νέες μεταβλητές και παραμέτρους.

Παρά τα πλεονεκτήματα του FLAC που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχουν και ορισμένες αδυναμίες που ενδέχεται να αυξήσουν τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Συγκεκριμένα:

- Η χρήση συντελεστή αποσβέσεως ανάλογου της ακαμψίας, πολύπλοκα ελαστοπλαστικά καταστατικά προσομοιώματα και άλλες υπορουτίνες γραμμένες σε Fish, που παρεμβάλλονται σε κάθε υπολογιστικό κύκλο που εκτελεί το πρόγραμμα, είναι παράγοντες που αυξάνουν το συνολικό χρόνο επίλυσης.
- Κυρίως όμως χρειάζεται σημαντική υπολογιστική προσπάθεια διότι τα υπολογιστικά βήματα που απαιτούνται πρέπει να είναι μικρά και κατά συνέπεια πολλά σε αριθμό, αφού προκειμένου να μειωθεί η επίδραση της αδράνειας στο ελάχιστο, οι επιβαλλόμενες ταχύτητες στο σύνορο πρέπει να είναι μικρές. Αυτό ισχύει και για τη στατική επίλυση καθώς, λόγω του χαρακτήρα του κώδικα, η επίδραση της αδράνειας υπεισέρχεται και σ' αυτή την ανάλυση.

3.2. Βαθμονόμηση Μεθοδολογίας

Για να αξιολογηθεί και να βαθμονομηθεί η χρήση του FLAC για προβλήματα σεισμικής απόκρισης, τα αποτελέσματα θα πρέπει να συγκριθούν με αντίστοιχα από μια καλά προσδιορισμένη και διεθνώς αναγνωρισμένη μέθοδο (π.χ. αναλυτικές ή αριθμητικές λύσεις). Η επίδραση τοπογραφικής ανωμαλίας στην εδαφική απόκριση κατά την πρόσπτωση κυμάτων SV και P έχει μελετηθεί παλαιότερα κυρίως προσεγγιστικά με αριθμητικές μεθόδους και δευτερευόντως με αναλυτικές λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας των αναλυτικών λύσεων και κυρίως εξαιτίας της δυσκολίας στην εύρεση-προσδιορισμό τους.

Η πιο συχνά αναφερόμενη μεθοδολογία επίλυσης τέτοιων προβλημάτων είναι η μέθοδος που εφαρμόστηκε από τον Wong για τη μελέτη της απόκρισης σε ανωμαλία μορφής φαραγγιού λόγω κυμάτων P και SV. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα αποτελέσματα του Wong (1982) χρησιμοποιούνται ως πρότυπα με τα οποία συγκρίνονται τα αποτελέσματα νέων μεθόδων πολλών ερευνητών (π.χ Sesma et al 1985, Sesma & Campillo 1991). Αυτός είναι ο λόγος που η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του FLAC θα αξιολογηθεί με σύγκριση προς τα αντίστοιχα του Wong.

Η πρότυπη αυτή μεθοδολογία εφαρμόστηκε αρχικά σε στατικά προβλήματα θεμελιώσεων και μετέπειτα προσαρμόστηκε σε δυναμικά προβλήματα διάδοσης κυμάτων. Εφαρμόζεται μια «γενικευμένη αντίστροφη μέθοδος» (generalized inverse method) που διαφέρει ως προς τις άλλες αριθμητικές μεθόδους δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις συνοριακές συνθήκες. Επιλέγεται μια δοκιμαστική συνάρτηση με άγνωστες σταθερές η οποία επαληθεύει αρχικά την καταστατική εξίσωση (governing equation) του προβλήματος και στη συνέχεια τις συνοριακές συνθήκες με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μόρφωση της ανωμαλίας γίνεται θεωρώντας ένα επίπεδο σύνορο με μια τοπική ανωμαλία η οποία προσομοιώνεται με μια καμπύλη επιφάνεια. Οι δοκιμαστικές συναρτήσεις επιλέγονται ανάλογα με τη μορφή της ανωμαλίας, ώστε να ικανοποιούνται οι συνθήκες της ελεύθερης επιφάνειας του ημιχώρου και της απόσβεσης ακτινοβολίας στο άπειρο, καθώς και οι εξισώσεις επίπεδης παραμόρφωσης σε κάθε σημείο εκτός εκείνων στα οποία επιβάλλεται η διέγερση. Οι συνοριακές συνθήκες στην καμπύλη επιφάνεια προσδιορίζονται αλλάζοντας το πλάτος και τη φάση των δοκιμαστικών συναρτήσεων.

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο Wong (1982) εφάρμοσε τη μεθοδολογία του για ημικυκλικό φαράγγι χάριν απλότητας και παρουσίασε αποτελέσματα για πρόσπτωση κυμάτων P και SV. Στις αναλύσεις με το FLAC, η διέγερση επιβάλλεται στην κάτω επιφάνεια του καννάβου ως χρονιοιστορία τάσης και εξετάζεται η απόκριση των σημείων της ελεύθερης επιφάνειας. Η μέγιστη απόκριση των σημείων αυτών στην ευρύτερη ζώνη της ανωμαλίας απεικονίζεται συναρτήσει της απόστασης από τον άξονα συμμετρίας της ανωμαλίας σε διαγράμματα που αφορούν σε συγκεκριμένη τιμή της αδιάστατης συχνότητας:

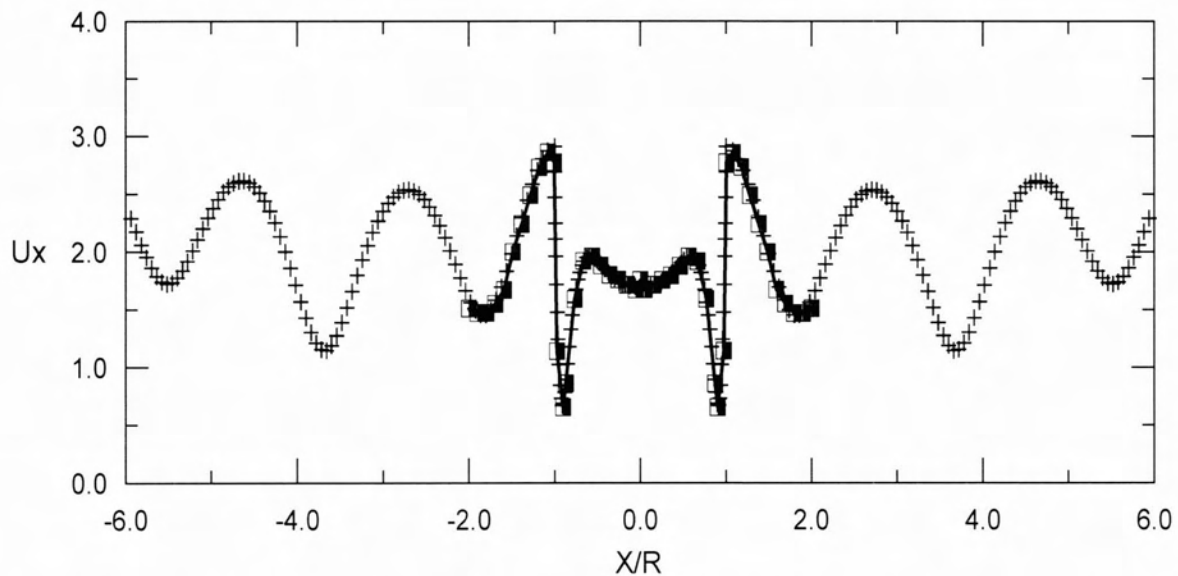
$$\eta = \frac{\omega \cdot R}{\pi \cdot V}$$

όπου: R η ακτίνα του ημικυκλίου,

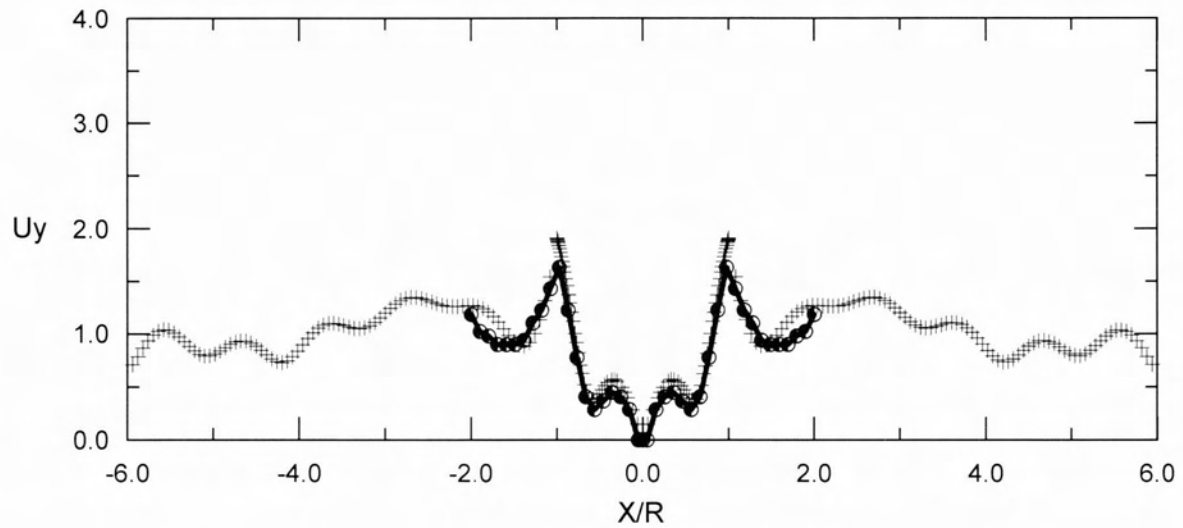
ω η κυκλική συχνότητα, και

V η κυματική ταχύτητα του προσπίπτοντος σεισμικού κύματος

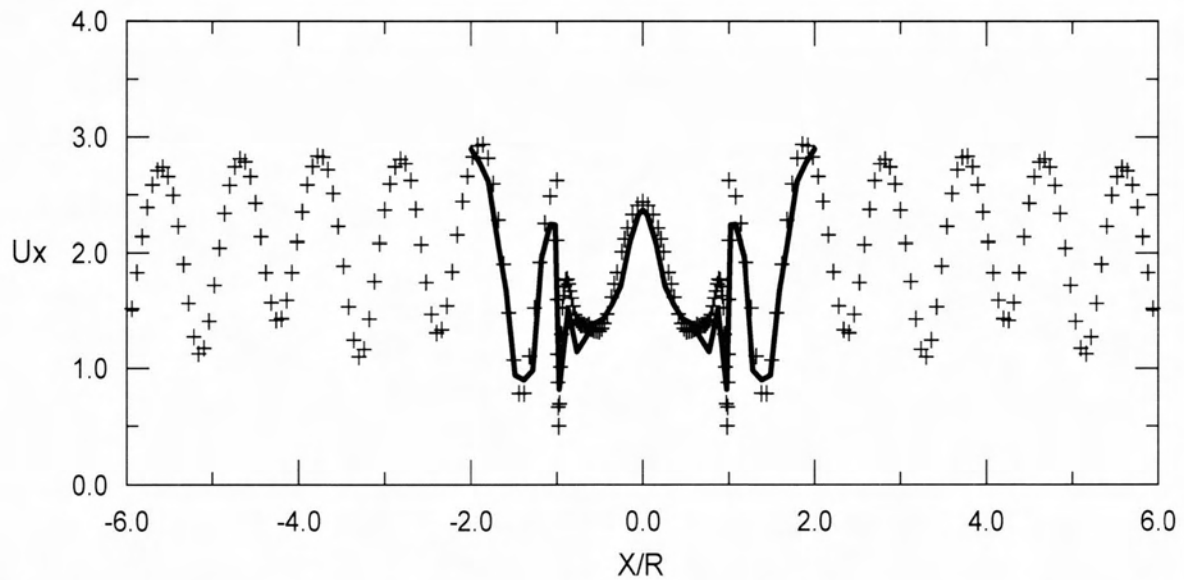
Το αρχικό πρόβλημα που ελέγχθηκε αναφέρεται στο εν λόγω προσομοίωμα με ακτίνα R=25m και για κατακόρυφη πρόσπτωση κύματος SV. Επιλέχθηκε κάνναβος διαστάσεων 300m x 150m που αποτελείται από 200 x 150 στοιχεία. Δοκιμάστηκαν οι τιμές αδιάστατης συχνότητας $\eta=1$ και $\eta=2$ (Σχήμα 3.1, 3.2).



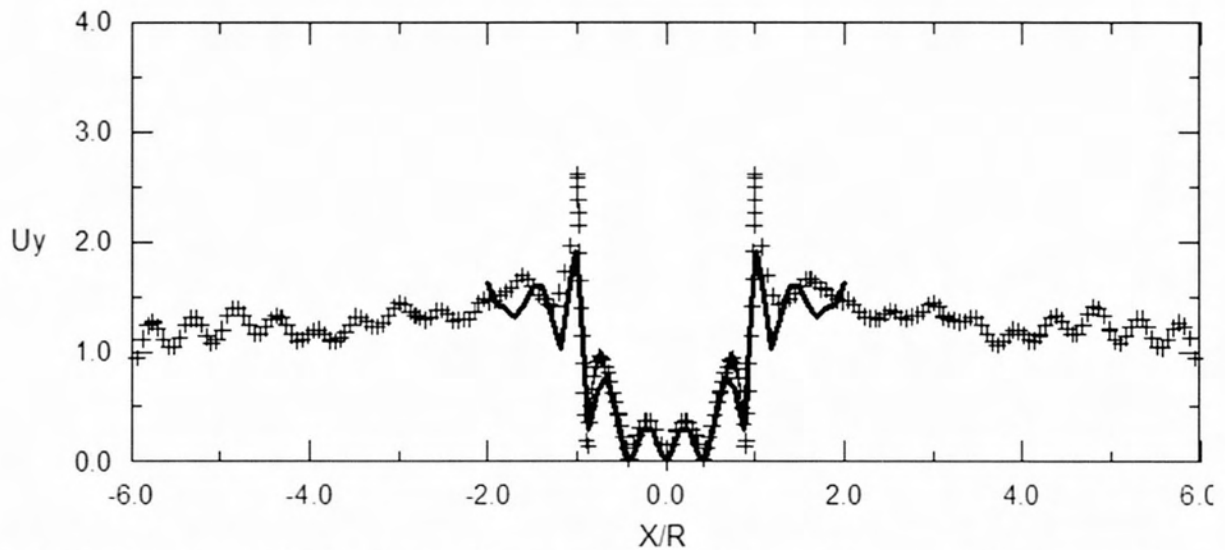
Σχήμα 3.1α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακόρυφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=1$ και ακτίνα φαραγγιού R=25m (+FLAC, x Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου 300m x 150m, στοιχεία 200 x 150.



Σχήμα 3.1β Τοπογραφική ενίσχυση κατακόρυφης κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=1$ και ακτίνα φαραγγιού $R=25m$ (+FLAC, \square Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .

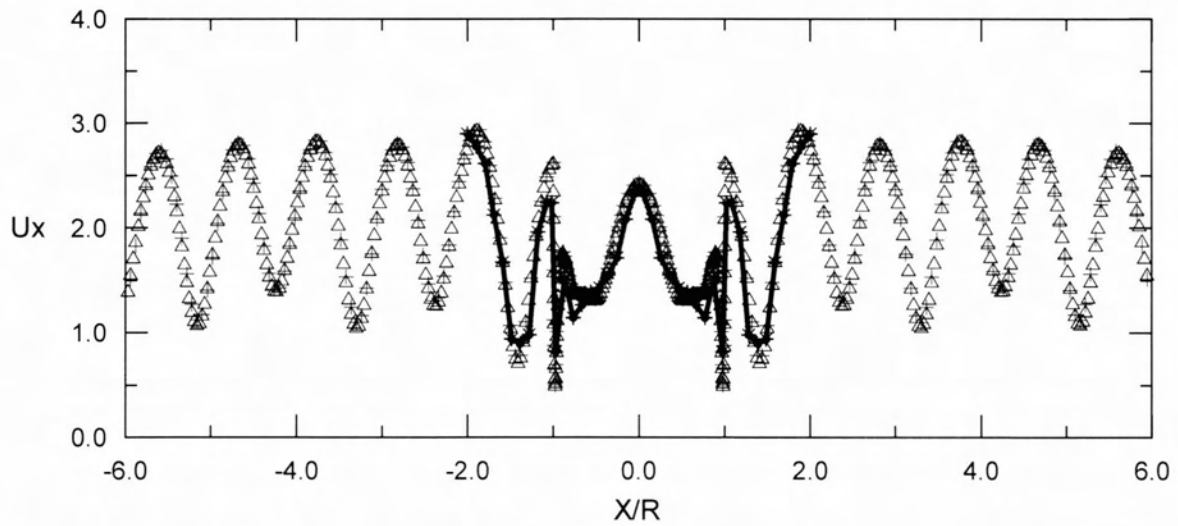


Σχήμα 3.2α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=2$ και ακτίνα φαραγγιού $R=25m$ (+FLAC, \square Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .

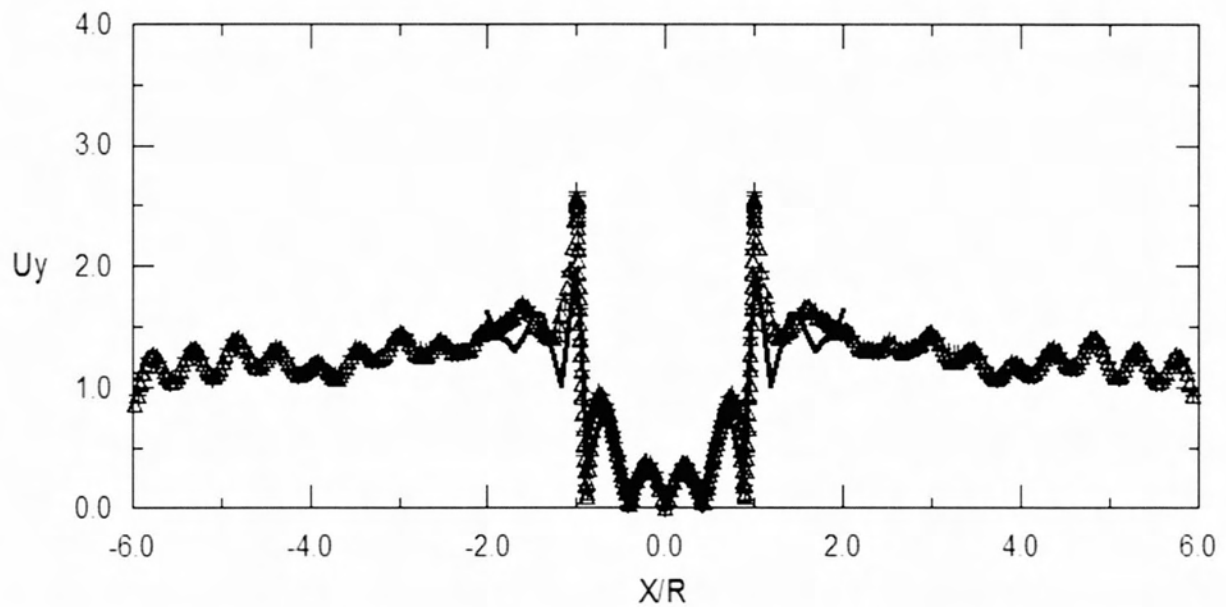


Σχήμα 3.2β Τοπογραφική ενίσχυση κατακόρυφης κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta = 2$ και ακτίνα φαραγγιού $R = 25\text{m}$ (+ FLAC, \square Wong(1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία 200×150 .

Στα σχήματα αυτά παρατηρείται πολύ ικανοποιητική σύγκριση με τα αντίστοιχα κατά Wong (1982). Ειδικότερα για $\eta=1$ οι τιμές της οριζόντιας συνιστώσας σχεδόν ταυτίζονται με τις θεωρητικές τιμές του Wong (1982), ενώ οι τιμές της κατακόρυφης διαφοροποιούνται πολύ ελαφρώς κυρίως ως προς το μέγιστο της απόκρισης στο «φρύδι» του φαραγγιού. Για $\eta=2$, η απόκριση της επιφάνειας είναι εντελώς διαφορετική από την απόκριση για $\eta=1$, αλλά και πάλι οι διαφοροποιήσεις μεταξύ θεωρητικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων που παρατηρούνται και για τις δύο συνιστώσες είναι, μικρές μεν, αλλά εντονότερες από τις αντίστοιχες για $\eta=1$ και εστιάζονται πάλι στο «φρύδι» του φαραγγιού αλλά και σε κοντινές αποστάσεις εκατέρωθεν της εξεταζόμενης τοπογραφικής ανωμαλίας. Η αλλαγή στην ακρίβεια της μαθηματικής προσομοίωσης για διαφορετικές αδιάστατες περιόδους (η) αποδόθηκε στο γεγονός ότι ο λόγος ύψους στοιχείου του καννάβου προς το μήκος κύματος (dh/λ) παίρνει τις τιμές $1/50$ και $1/25$ για $\eta=1$ και $\eta=2$, αντίστοιχα. Για να ελεγχθεί αυτή η εκτίμηση επιλέχθηκε κάρναβος με διπλάσιο αριθμό στοιχείων (400×300) που αντιστοιχεί σε τιμή του λόγου $dh/\lambda=1/50$ για $\eta=2$. Όπως διαφαίνεται από τα Σχήματα 3.3, τα νέα αυτά αποτελέσματα παρουσιάζουν πλήρη ταύτιση με εκείνα του αραιότερου καννάβου για $\eta=2$. Συνεπώς, η χρήση καννάβου πιο πυκνού από $dh/\lambda=1/25$ δε θεωρείται αναγκαία. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί και με όσα αναγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του FLAC, όπου μια τιμή $dh/\lambda=1/10$ θεωρείται επαρκής.



Σχήμα 3.3α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακόρυφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta = 2$ και ακτίνα φαραγγιού $R = 25\text{m}$ (FLAC(α), FLAC (β), \square Wong(1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία: (α) 200×150 και (β) 400×300 .



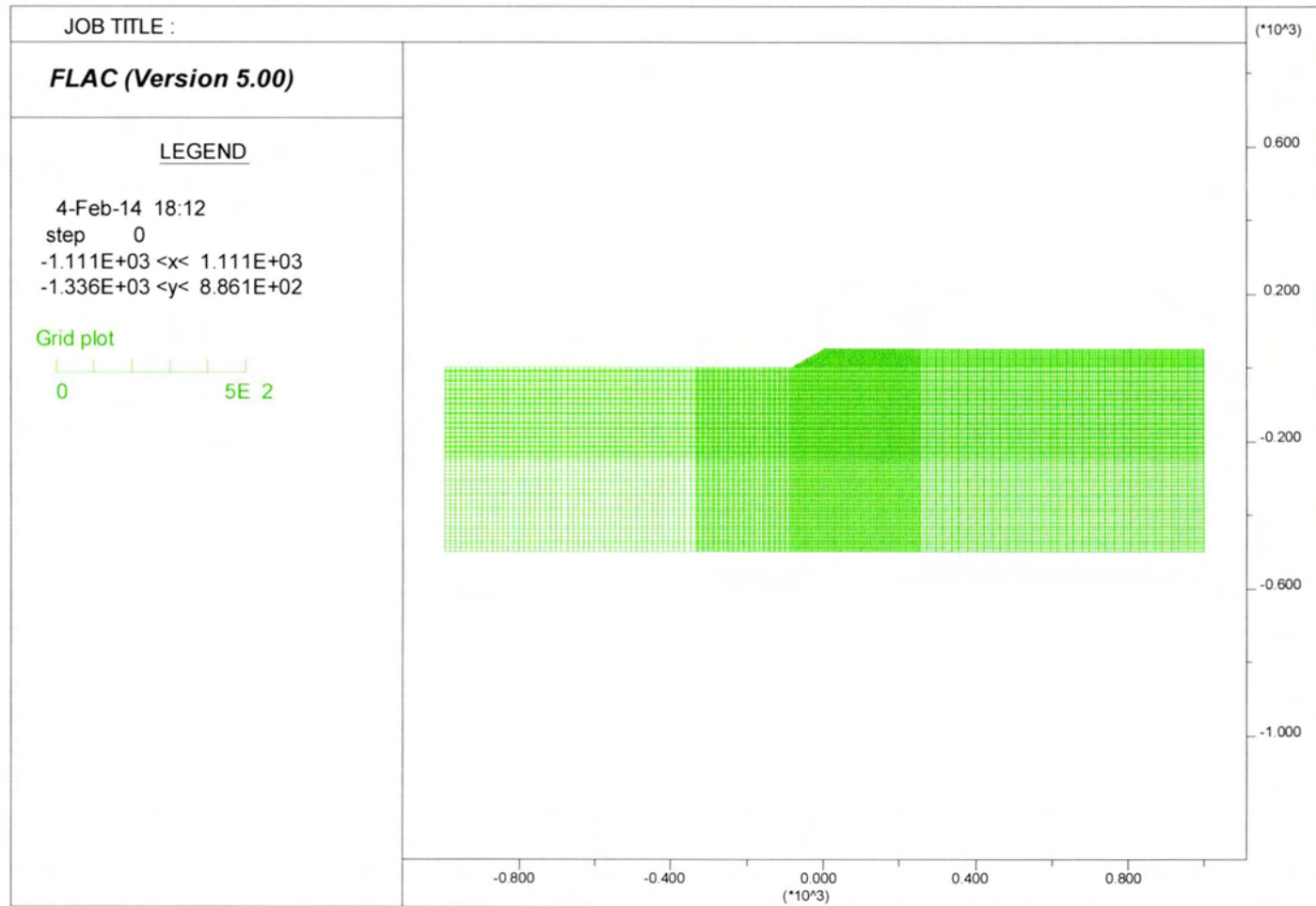
Σχήμα 3.3β Τοπογραφική ενίσχυση κατακόρυφης κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακόρυφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta = 2$ και ακτίνα φαραγγιού $R = 25\text{m}$ (FLAC(α), FLAC (β), \square Wong(1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία: (α) 200×150 και (β) 400×300 .

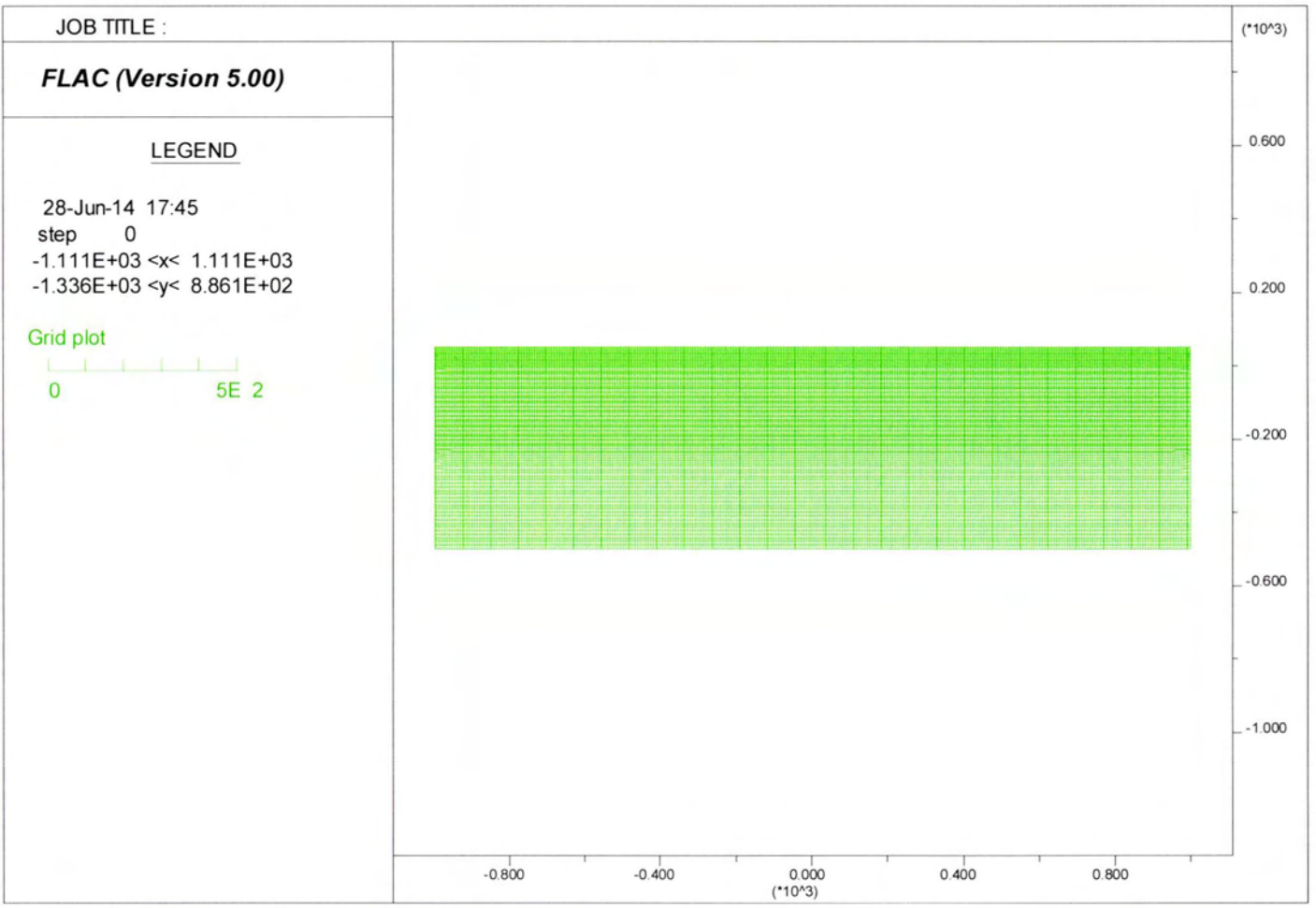
Πραγματοποιήθηκαν και άλλες αναλύσεις για διερεύνηση της αξιοπιστίας της χρήσης του FLAC, οι οποίες δεν παρουσιάζονται εδώ χάριν συντομίας. Συνοψίζοντας, η χρήση του FLAC μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης με μέγιστο πάχος ζωνών dh_{max} μεταξύ $\lambda/25$ και $\lambda/10$ και επαρκείς οριζόντιες αποστάσεις του καννάβου από την τοπογραφική ανωμαλία (π.χ. 6R ή 3λ από το κέντρο του ημικυκλικού φαραγγιού) και τέλος κατακόρυφη απόσταση της βάσης του καννάβου από την τοπογραφική ανωμαλία τουλάχιστον 2λ.

Οι κάρναβοι που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής κατασκευάστηκαν υιοθετώντας τις αρχές που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Ενδεικτικά στο Σχήμα 3.4 δίνεται ένα παράδειγμα καννάβου για την ανάλυση σεισμικής απόκρισης μονοκλινούς ομοιόμορφου πρανούς ($H/\lambda = 0.20$, κλίσης $i = 30^\circ$). Για να εκτιμηθεί η τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης στην περίπτωση μονοκλινούς πρανούς, πέραν της ανάλυσης με κάρναβο σαν αυτό του σχήματος 3.4, έγιναν και δύο αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», μία για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μία για την περιοχή μπροστά από τον πόδα, οι οποίες υποβάλλονται στην ίδια σεισμική διέγερση στη βάση. Οι αντίστοιχοι κάρναβοι των αναλύσεων «ελευθέρου πεδίου» στέψης και πόδα δίνονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6. Επισημαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν πιο πυκνοί κάρναβοι για τις αναλύσεις μονοκλινούς πρανούς και «ελευθέρου πεδίου» πίσω από τη στέψη σε σύγκριση με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν σε παλαιότερες αναλύσεις για ομοιόμορφο πρανές (Κοντογιάννη 2013), καθώς η ταχύτητα μετάδοσης διατμητικών κυμάτων στη «μαλακή» στρώση ήταν αρκετά μικρότερη.

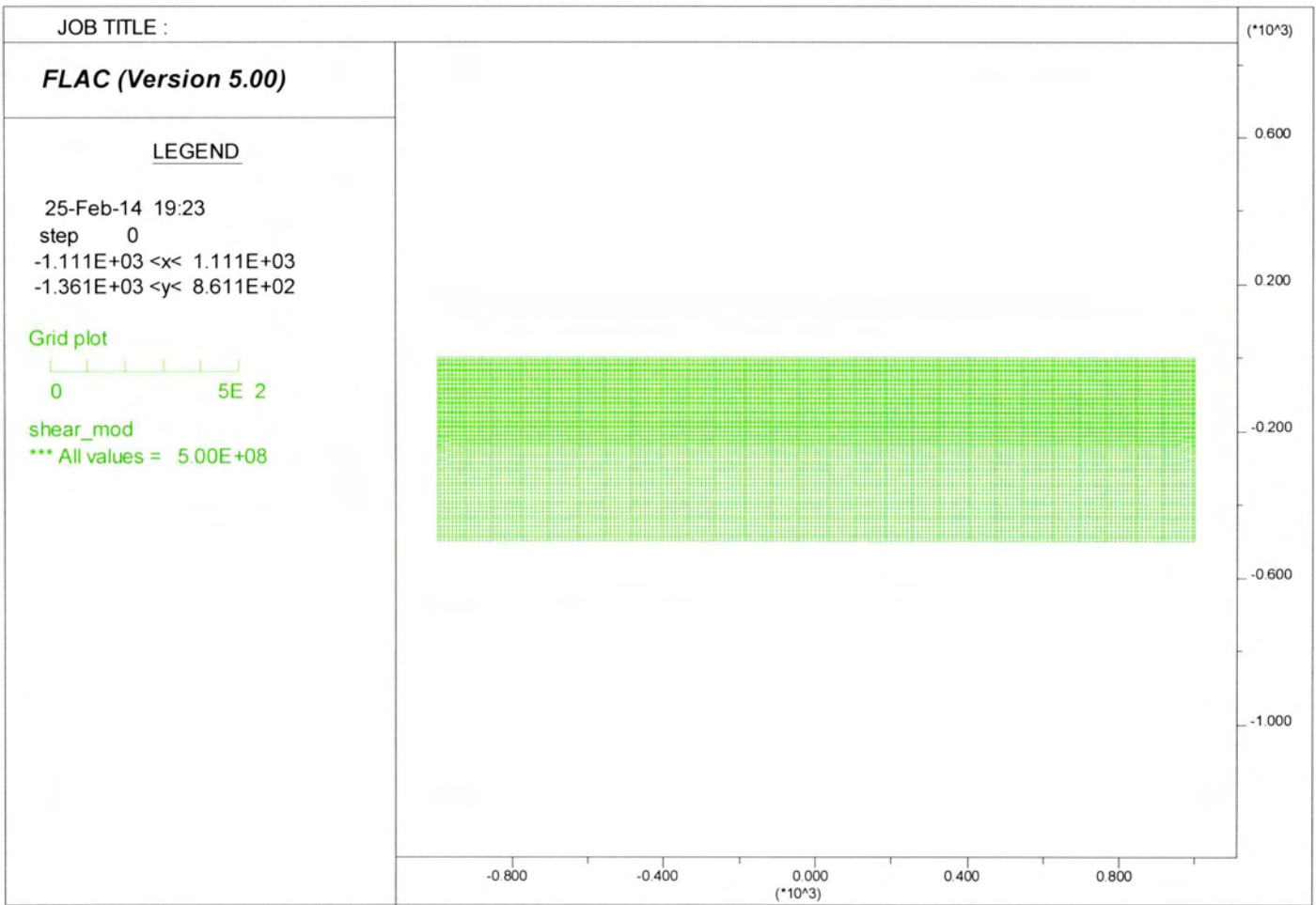
Ως αποτελέσματα εκ των αναλύσεων μονοκλινούς πρανούς εξήχθησαν οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης της οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης για κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους, ενώ από τις αναλύσεις ελευθέρου πεδίου εξήχθησαν οι τυπικές χρονοϊστορίες οριζόντιας επιτάχυνσης, μία για το ελεύθερο πεδίο πίσω από τη στέψη και μία για την περιοχή μπροστά από τον πόδα. Στη συνέχεια, μέσω εξωτερικού (προς το FLAC) λογισμικού, έγινε ο υπολογισμός των ελαστικών φασμάτων απόκρισης (για λόγο απόσβεσης κατασκευής 5%) της οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης για κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους, και τα εν λόγω φάσματα διαιρέθηκαν προς το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης στο εκάστοτε ελεύθερο πεδίο.

Σχήμα 3.4: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κώνναβος μονοκλινοῦς τρανοῦς





Σχήμα 3.5: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάναβος ελεύθερου πεδίου (πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρσανούς)



Σχήμα 3.6: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κώνναβος ελεύθερου πεδίου (μηροστά από τον πόδα μονοκλινούς πρσανούς)

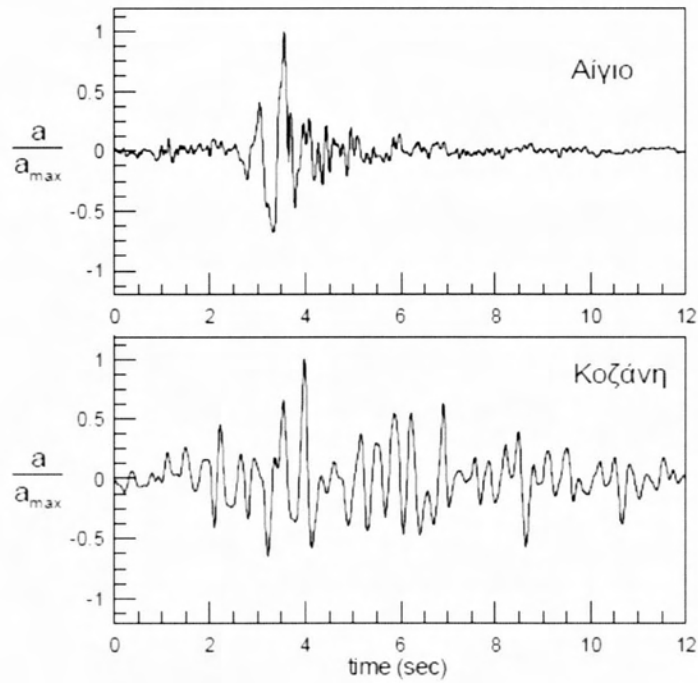
3.3 Σεισμικές διεγέρσεις

Για τη διερεύνηση της σημαντικότητας της χρονοϊστορίας διέγερσης (ή του αριθμού σημαντικών κύκλων), κάθε περίπτωση πρηνούς-διέγερσης διερευνήθηκε για 2 χρονοϊστορίες που προέκυψαν από επεξεργασία πραγματικών καταγραφών:

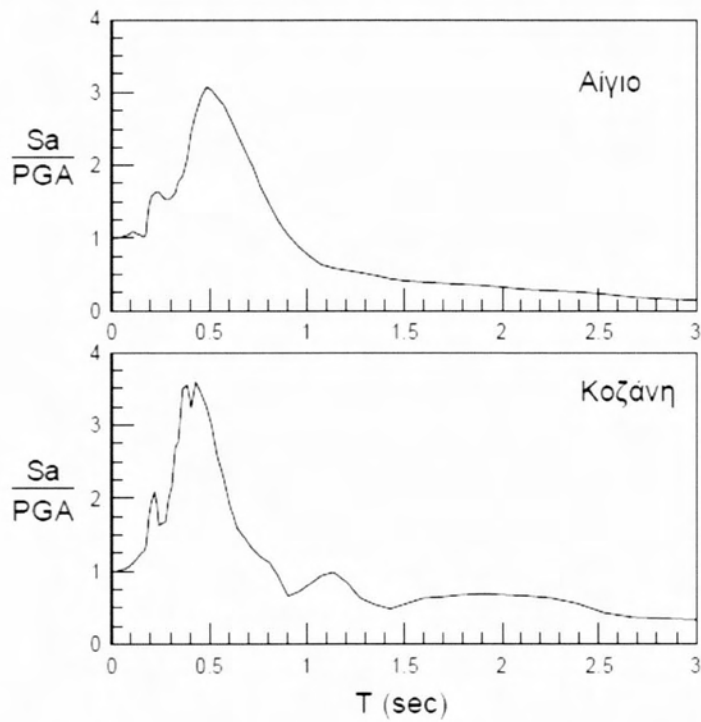
(α) του σεισμού του Αιγίου 1995 με $N=1$ σημαντικό κύκλο φόρτισης, και

(β) του σεισμού της Κοζάνης 1995 με $N=4$ σημαντικούς κύκλους φόρτισης

Κάθε μία από τις χρονοϊστορίες είναι διαβαθμισμένη στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda=V_s/f$, ή γενικότερα στην επιθυμητή τιμή δεσπόζουσας συχνότητας f ή περιόδου T_e , μεταβάλλοντας το χρονικό βήμα ολοκλήρωσής τους. Η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων ήταν χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων. Στο Σχήμα 3.7 δίνονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης για δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, ενώ στο Σχήμα 3.8 τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των σεισμών Αιγίου και Κοζάνης 1995 (για την ίδια τιμή δεσπόζουσας περιόδου).



Σχήμα 3.7: Κανονικοποιημένες χρονοϊστορίες επιτάχυνσης με βάση τις καταγραφές των σεισμών του Αιγίου 1995 και Κοζάνης 1995, προσαρμοσμένες σε δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$



Σχήμα 3.8: Κανονικοποιημένα ελαστικά φάσματα απόκρισης με βάση τις καταγραφές των σεισμών του Αιγίου 1995 και Κοζάνης 1995, προσαρμοσμένες σε δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$

3.4 Απόσβεση συστήματος

Οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται στην εργασία αυτή είναι ιξωδο-ελαστικές. Σε τέτοιου είδους αναλύσεις, η πραγματικώς υστερητική απόσβεση των γεωϋλικών προσομοιώνεται μέσω της απόσβεσης Rayleigh, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα.

Δεδομένου ότι η εξάρτηση της απόσβεσης ξ από τη συχνότητα ω δεν είναι μια ρεαλιστική θεώρηση για την υστερητική απόσβεση των γεωϋλικών, σχετικώς ρεαλιστικές προσομοιώσεις επιτυγχάνονται με βαθμονόμηση της απόσβεσης Rayleigh ώστε να δίνει τις επιθυμητές τιμές απόσβεσης ξ_{min} στις συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν (περιοχή τιμών της ω_{min}) και μεγαλύτερες τιμές απόσβεσης σε άλλες συχνότητες. Στο υπό μελέτη πρόβλημα, οι συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν είναι εκείνες μεταξύ της δεσπόζουσας κυκλικής συχνότητας της διέγερσης ω_e . Χάριν απλότητας, στην παρούσα εργασία η τιμή του $\omega_{min} = \omega_e$. Για την προσομοίωση της απόκρισης σχετικά μικρής σεισμικής έντασης επιλέχθηκε μια σχετικά μικρή τιμή $\xi_{min} = 5\%$, η οποία οδηγεί γενικώς σε σχετικά μεγάλες ενισχύσεις που δε φθίνουν γρήγορα με την απόσταση.

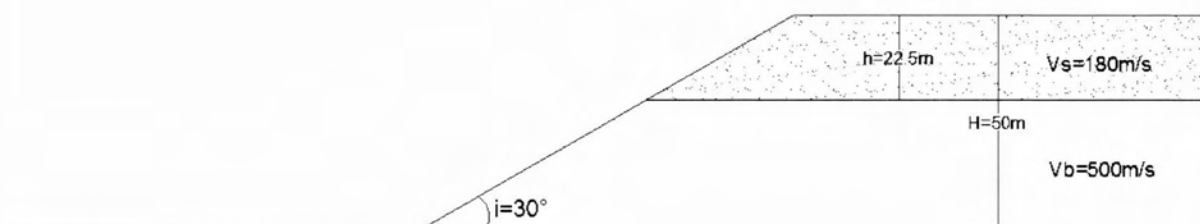
Να σημειωθεί ακόμη ότι αυτές οι παραδοχές έγιναν χάριν απλότητας, αλλά επίσης για να είναι απευθείας συγκρίσιμες οι αναλύσεις για πρηνές με «μαλακή» στρώση με εκείνες για ομοιόμορφο βράχο. Προφανώς οι εν λόγω παραδοχές δεν είναι απολύτως ορθές, μα πιο ρεαλιστική θεώρηση για το πρόβλημα του πρηνούς με «μαλακή» στρώση μπορεί να προκύψει μόνο με μη-γραμμικές αναλύσεις που εκφεύγουν του στόχου της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΜΕ «ΜΑΛΑΚΗ» ΣΤΡΩΣΗ

4.1. Γενικά

Στην παρούσα εργασία, το εκάστοτε πρανές, έχει κλίση (i), ύψος (H), επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη ύψους h και οιονεί άπειρο εύρος πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα (Βλ. Σχ. 4.1). Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είχαν σκοπό να διερευνήσουν την επίδραση της «μαλακής» στρώσης στη σεισμική κίνηση, καθώς και τη σύγκριση με τα αποτελέσματα για ομοιόμορφο πρανές και πρανές με στρώση μαλακού εδάφους ύψους $h=10\text{m}$, αλλά και τη σύγκριση αυτών με τις κανονιστικές διατάξεις του EC8 σχετικά με την προσαύξηση των ενισχύσεων λόγω επίδρασης της τοπογραφίας.

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται έμφαση στη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής ταλάντωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T .



Σχήμα 4.1. Σκαρίφημα μονοκλινούς πρανούς

Το πρανές που εξετάστηκε έχει κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, ταχύτητα διατμητικών κυμάτων βράχου $V_b=500\text{m/s}$ και στρώση εδάφους με τα εξής χαρακτηριστικά: πάχος $h=22.5\text{m}$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=180\text{m/s}$ η οποία σε μονοδιάστατη θεώρηση έχει $T_s=4h/V_s=0.5\text{sec}$ και δημιουργεί ένα λόγο εμπέδησης $a=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)=180/500=0.36$ με τον υποκείμενο ελαστικό βράχο.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για διεγέρσεις με τρεις (3) διαφορετικές τιμές δεσπόζουσας περιόδου T_e και δεσπόζοντος μήκους κύματος λ ($\lambda=V_s T_e$), οι οποίες επαναλήφθηκαν για δύο (2) διαφορετικές διεγέρσεις με το ίδιο δεσπόζων μήκος κύματος αλλά διαφορετικούς κύκλους φόρτισης, έτσι ώστε να διερευνηθεί και η επίδραση του αριθμού σημαντικών κύκλων φόρτισης (ή της ακριβούς μορφής της χρονοϊστορίας).

Πιο συγκεκριμένα οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις αφορούν πρηνή με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $i=30^\circ$, $H=50\text{m}$, $h=22.5\text{m}$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.222\text{sec}$ ($T_s/T_e=0.5/0.222=2.25225>1$, δηλαδή σχετικώς υψίσυχνη διέγερση για την επιφανειακά στρώση)
- $i=30^\circ$, $H=50\text{m}$, $h=22.5\text{m}$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.5\text{sec}$ ($T_s/T_e=0.5/0.5=1$, δηλαδή συντονισμό υπό μονοδιάστατες συνθήκες της επιφανειακής στρώσης)
- $i=30^\circ$, $H=50\text{m}$, $h=22.5\text{m}$ υπό σεισμική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου: $T_e=0.5\text{sec}$ ($T_s/T_e=0.5/0.8=0.625<1$, δηλαδή σχετικώς χαμηλόσυχνη διέγερση για την επιφανειακά στρώση)

Σε αυτές τις αναλύσεις εφαρμόστηκαν οι παρακάτω σεισμικές διεγέρσεις:

- Σεισμός Αιγίου (1995), με έναν σημαντικό κύκλο φόρτισης ($N=1$), κατάλληλα προσαρμοσμένη κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e .
- Σεισμός Κοζάνης (1995), με τέσσερις σημαντικούς κύκλους φόρτισης ($N=4$), κατάλληλα προσαρμοσμένη κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e .

Στο σύνολό τους οι παραπάνω αναλύσεις ανήλθαν σε πλήθος των έξι (6). Κάθε ανάλυση πρηνούς συνοδευόταν και από 2 αναλύσεις «ελεύθερου πεδίου» για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα τους πρηνούς. Το απόλυτο σύνολο των αναλύσεων που εκτελέστηκαν και παρουσιάζονται παρακάτω είναι δεκαοκτώ (18).

4.2. Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης

Αρχικά, διερευνάται η επίδραση της δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης T_e στη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, κατά μήκος όλης της επιφάνειας του πρηνούς.

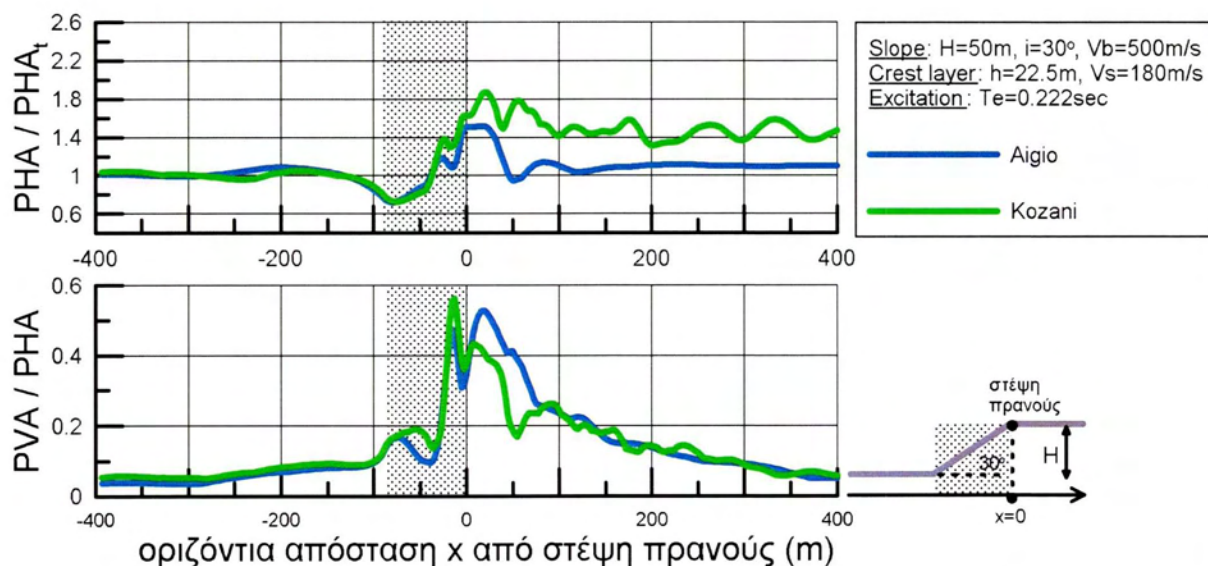
Στην παρούσα εργασία, για να απεικονιστούν έστω προσεγγιστικά κάποια αποτελέσματα των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης τα οποία να αντιστοιχούν στην κεκλιμένη επιφάνεια, κανονικοποιήθηκε η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση κατά μήκος ολόκληρης της επιφάνειας του πρηνούς ως προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που εμφανίζεται στο ελεύθερο πεδίο της περιοχής μπροστά από τον πόδα του (PHA/PHA,t). Επίσης, η μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη

επιτάχυνση κανονικοποιήθηκε ως προς την αντίστοιχη μέγιστη οριζόντια σε κάθε θέση της επιφάνειας του πρανούς (PVA/P_{PHA}), αφού δε μπορούσε να υιοθετηθεί η κανονικοποίηση της κατακόρυφης συνιστώσας καθώς PVA_t=0. Για να επιτευχθεί αυτό δόθηκε έμφαση σε μια περιορισμένη περιοχή (-400m έως 400m) όπου γίνεται και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, εστιάζοντας έτσι και στην κεκλιμένη περιοχή του πρανούς.

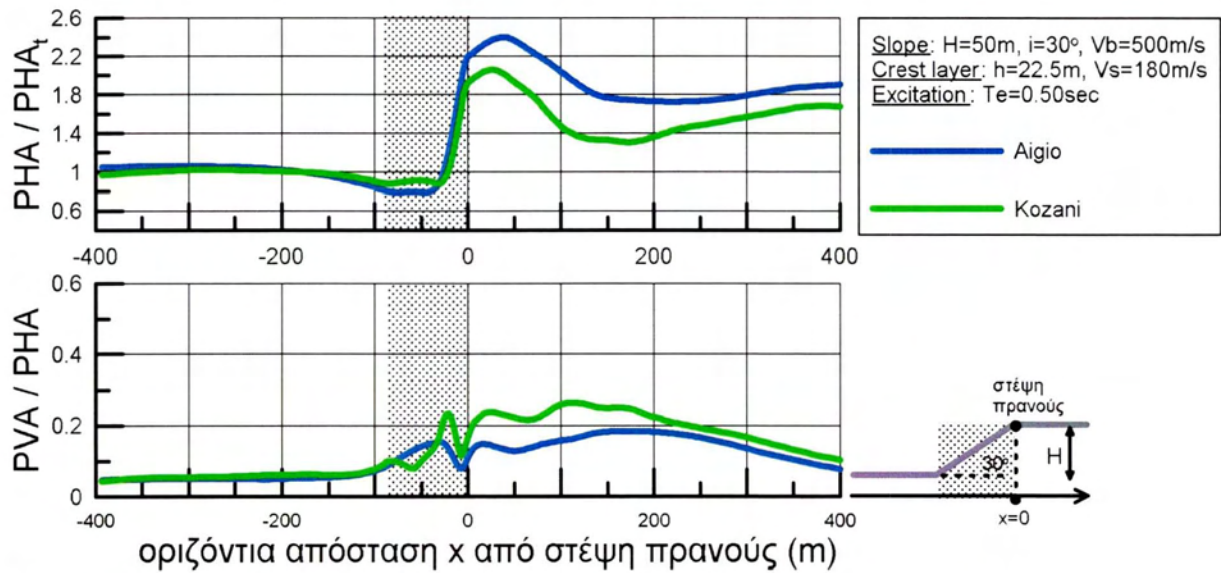
Στην πρώτη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.2 έως 4.4) φαίνεται η κανονικοποιημένη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση καθ' όλο το μήκος του πρανούς, για τους συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

- $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ P_{HA}/P_{HA,t} & PVA/P_{HA} (Σχήμα 4.2)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ P_{HA}/P_{HA,t} & PVA/P_{HA} (Σχήμα 4.3)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.80\text{sec}$ P_{HA}/P_{HA,t} & PVA/P_{HA} (Σχήμα 4.4)

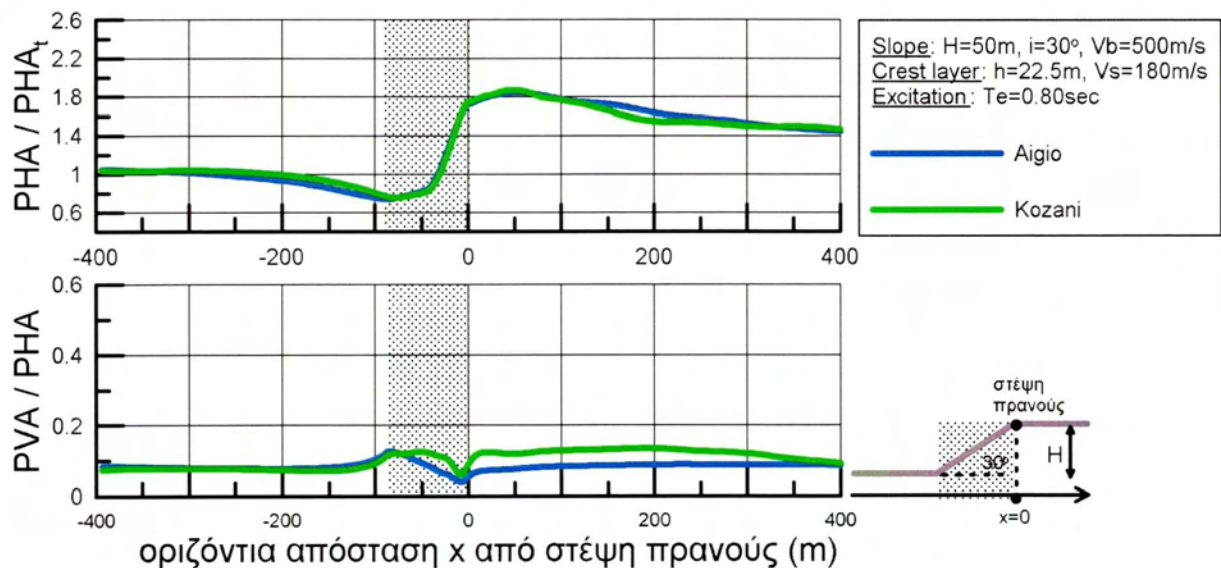
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



Σχήμα 4.2. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.3. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.4. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.8\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)

Από την πρώτη ομάδα σχημάτων 4.2 έως 4.4 προκύπτει ότι οι σημαντικές οριζόντιες επιταχύνσεις εμφανίζονται πλησίον της κεκλιμένης επιφάνειας, αλλά πίσω από τη στέψη του πρανούς, ενώ οι αντίστοιχες σημαντικές παρασιτικές επιταχύνσεις εμφανίζονται στην ίδια περιοχή αλλά πιθανώς και κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας. Προκύπτει ακόμα ότι για $T_e=0.5=4h/V_s=T_s$, εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές οριζόντιων επιταχύνσεων πίσω από τη στέψη, και αντίστοιχα οι ελάχιστες τιμές του λόγου PVA/PHA λόγω φυσικά της προσαύξησης του παρονομαστή. Για τιμές T_e μικρότερες ή μεγαλύτερες της T_s , οι οριζόντιες επιταχύνσεις είναι μικρότερες, αποτυπώνοντας συνθήκες συντονισμού υπό 1D ταλάντωσης στην περιοχή της «μαλακής» στρώσης.

Σημαντικό επίσης είναι να επισημανθεί ότι δεν πρέπει να γίνεται απευθείας χρήση των παραπάνω παρατηρήσεων για την περιοχή πίσω από τη στέψη του πρανούς, καθώς δεν γίνεται κανονικοποίηση των PHA και PVA ως προς τις εκεί επικρατούσες μονοδιάστατες (1D) συνθήκες ταλάντωσης.

Για να γίνει η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για την περιοχή με τη «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, παρουσιάζεται η παρακάτω ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.5 έως 4.7) στα οποία φαίνεται η επίδραση του μονοκλινούς πρανούς στους παράγοντες τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης A_h και A_v ($A_h=a_h/a_{h,ff}$ και $A_v=a_v/a_{v,ff}$) με την απόσταση x από τη στέψη, όπου $a_h=PHA$ και $a_v=PVA$ είναι η μέγιστη οριζόντια και η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφάνειας. Ο όρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του εκάστοτε ελεύθερου πεδίου (PHA_t & PHA_c) που χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση της μέγιστης οριζόντιας (a_h), αλλά και κατακόρυφης επιτάχυνσης (a_v), εφόσον $a_{v,ff}=0$ για ένα κατακόρυφο προσπίπτον κύμα SV.

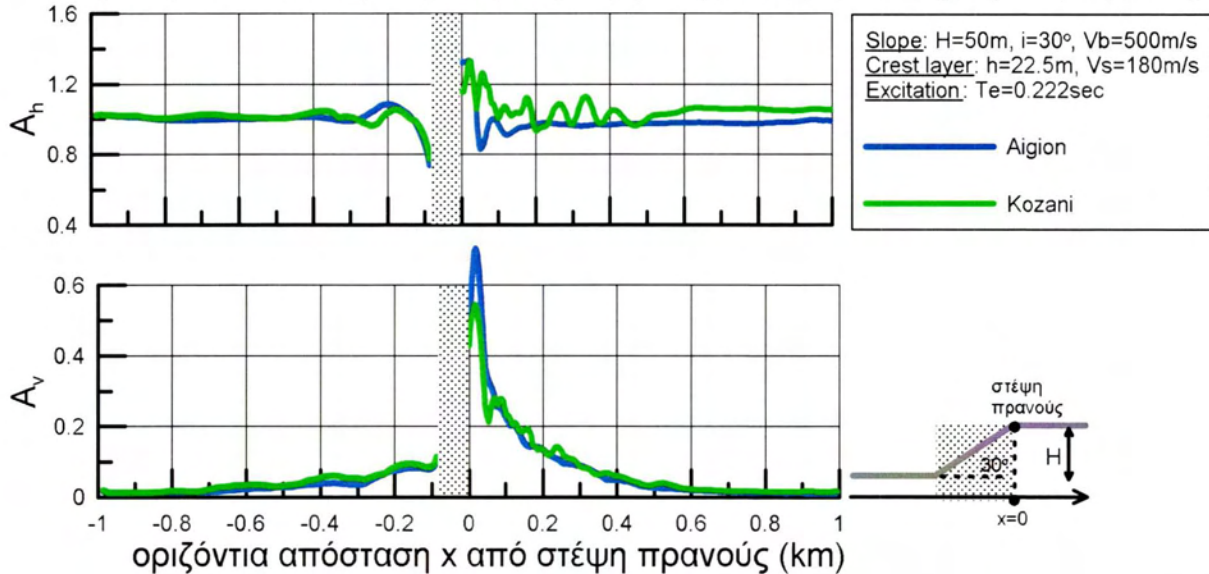
Στη δεύτερη ομάδα σχημάτων παρουσιάζονται αποτελέσματα για την περιοχή του πρανούς από -1km έως 1km και η κανονικοποίηση γίνεται ως προς τις εκάστοτε μονοδιάστατες (1D) συνθήκες ταλάντωσης. Λόγω της έλλειψης σημείου αναφοράς μονοδιάστατων (1D) συνθηκών κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας, αφού δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση ($a_{h,ff}$) ελεύθερου πεδίου από την 1D ανάλυση που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε αυτή την περιοχή, δημιουργείται δυσχέρεια ορισμού των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v σε αυτή την περιοχή. Έτσι, σε όλα τα παρακάτω σχήματα δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για την κεκλιμένη περιοχή.

Συγκεκριμένα, στη δεύτερη αυτή ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.5 έως 4.7) παρουσιάζονται διαγράμματα τη χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης καθ' όλο το μήκος του πρανούς, για τους εξής συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

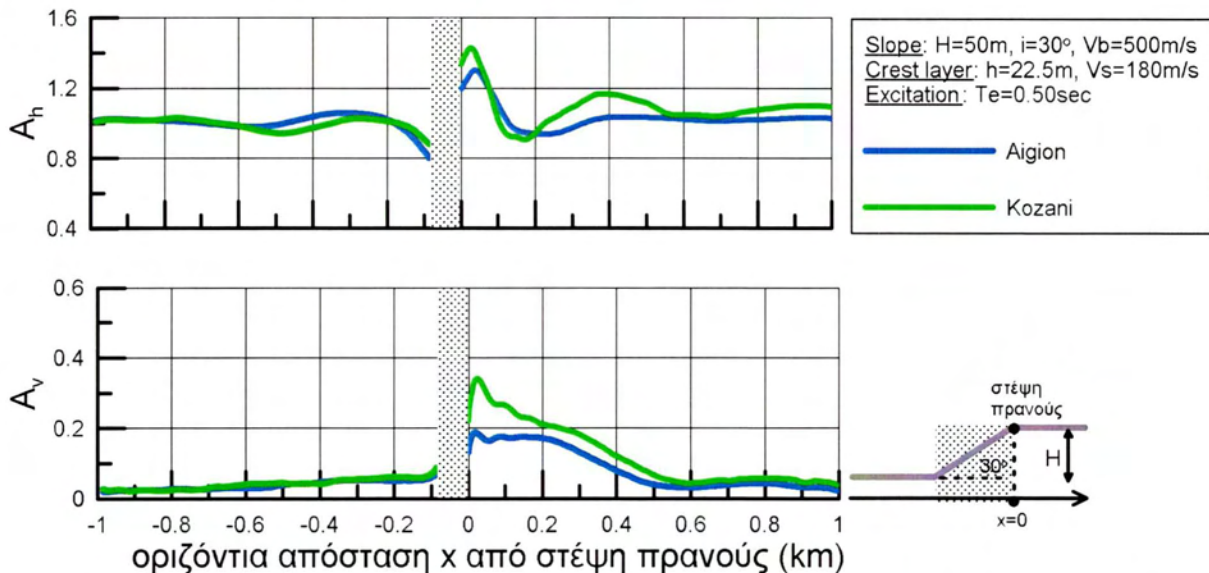
- $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 4.5)

- $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 4.6)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.80\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 4.7)

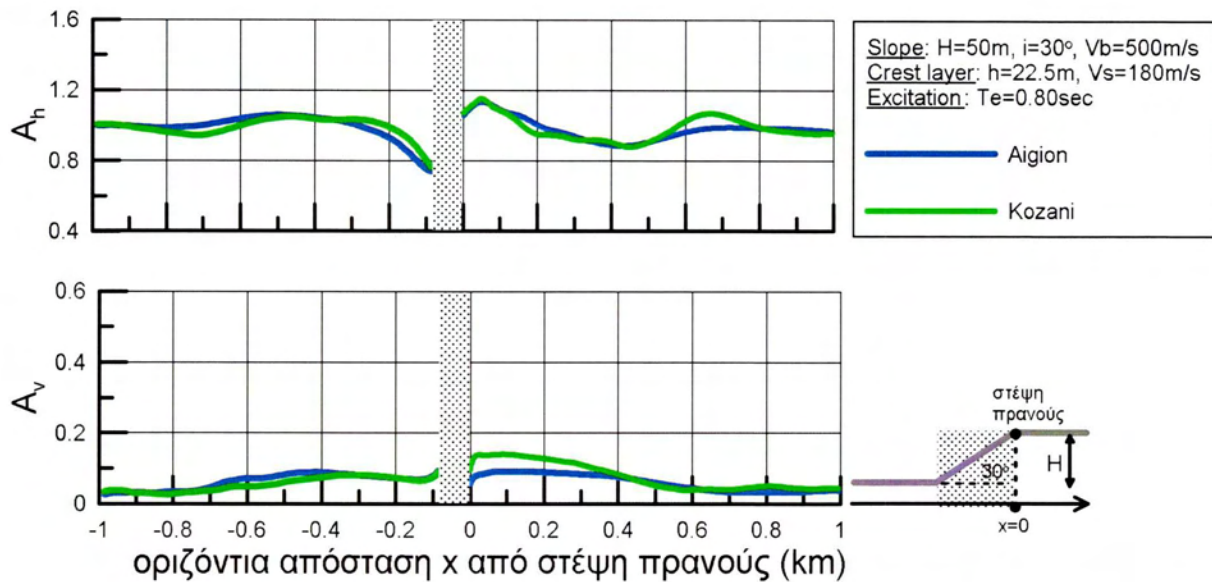
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



Σχήμα 4.5. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.6. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.7. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά πρανούς με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.8\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)

Στα σχήματα 4.5 έως 4.7 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Αναμένεται ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανού. Οι επιδράσεις αυτές ομαλοποιούνται με την απόσταση από το πρανές, μέχρις ότου η απόκριση γίνει ίση με αυτή στο ελεύθερο πεδίο ($A_h, A_v=1$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας κίνησης παρουσιάζει έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση πίσω από τη στέψη, που μπορεί να χαρακτηρίζεται από μεταβολή μεταξύ ενίσχυσης ($A_h > 1$) και απομείωσης ($A_h < 1$) σε μικρές οριζόντιες αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος λ . Αντίστοιχα έντονη διαφοροποίηση παρατηρείται και στην κατακόρυφη κίνηση. Το φαινόμενο είναι σχετικά πιο έντονο για τη διέγερση με πολλούς σημαντικούς κύκλους φόρτισης (Κοζάνη, $N=4$), αν και γενικότερα οι διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των δύο διεγέρσεων δεν είναι σημαντικές.
- Η ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης πίσω από τη στέψη είναι εντονότερη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση ($T_e=0.222\text{sec}$), πράγμα που ισχύει και για την (παρασιτική) κατακόρυφη κίνηση.

Να επισημάνουμε ακόμη ότι η (παρασιτική) κατακόρυφη κίνηση που παρατηρείται στη γειτονιά του πρηνούς οφείλεται στις ανακλάσεις των προσπιπτόντων κυμάτων SV στην κεκλιμένη επιφάνεια του πρηνούς και στη δημιουργία κυμάτων P και SV, καθώς και κυμάτων Rayleigh στην επιφάνεια, τα οποία έχουν όλα σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα. Η έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση αποδίδεται στο ότι τα παραπάνω δευτερογενή κύματα καταφθάνουν με χρονική υστέρηση και διαφορά φάσης στα διάφορα σημεία της επιφάνειας, και η επαλληλία τους με τα κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα δημιουργούν άλλοτε απομείωση και άλλοτε ενίσχυση.

4.3. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης

Η έμφαση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (για απόσβεση $\xi=5\%$) καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα:

- i. η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται με το φασματικό λόγο AS_{ah} , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{ah} για την οριζόντια ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρηνούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελεύθερου πεδίου $S_{ah,ff}$ ($S_{ah,c}$ & $S_{ah,t}$).
- ii. η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην κατακόρυφη διεύθυνση ορίζεται με το φασματικό λόγο AS_{av} , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{av} για την (παρασιτική) κατακόρυφη ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρηνούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελεύθερου πεδίου $S_{ah,ff}$ ($S_{ah,c}$ & $S_{ah,t}$), εφόσον ο όρος $S_{av,ff}$ δεν ορίζεται.

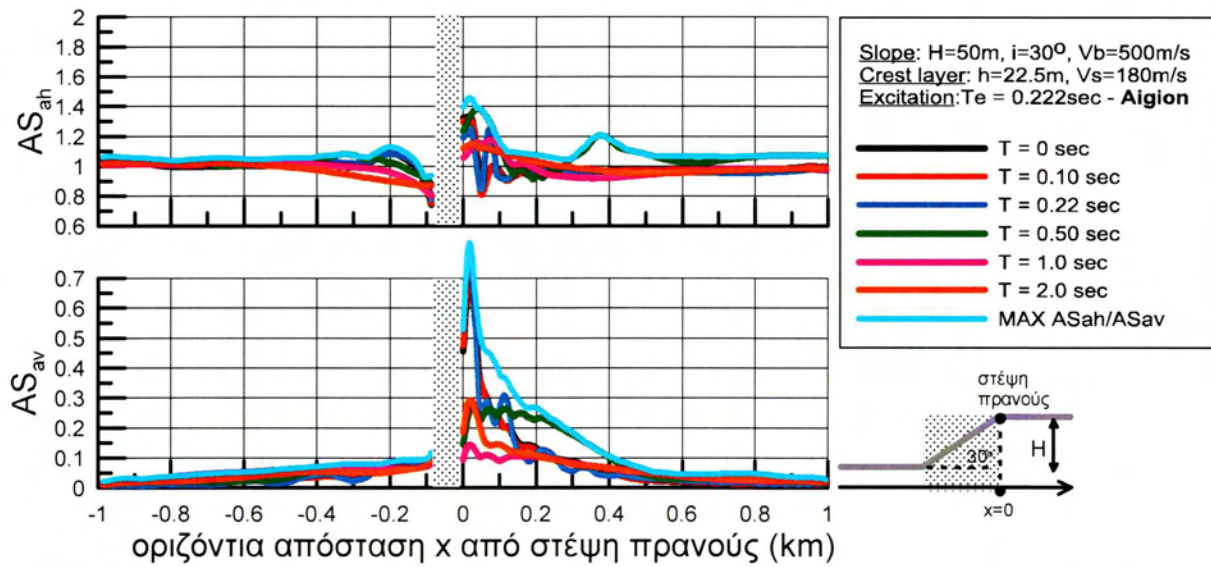
Οι ανωτέρω φασματικοί λόγοι AS_{ah} & AS_{av} είναι συναρτήσεις της θέσης του σημείου (x) και της περιόδου κατασκευής T, και αφορούν λόγο κρίσιμης απόσβεσης ίσο με 5%. Όπως στους λόγους A_h και A_v , έτσι και εδώ επειδή υπάρχει δυσχέρεια ορισμού των λόγων $AS_{ah}(T)$ και $AS_{av}(T)$ κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρηνούς (λόγω έλλειψης της αντίστοιχης 1Δ απόκρισης) δε θα παρουσιαστούν αποτελέσματα τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας. Επισημαίνεται ότι, $AS_{ah}>1$ απεικονίζει ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης, ενώ $AS_{ah}<1$ απομείωση αυτής. Τέλος, αναφέρεται ότι μηδενισμός της τοπογραφικής επιδείνωσης (με ακρίβεια μηχανικού) συνδέεται με τιμές $AS_{ah}\leq 1.1$ και $AS_{av}\leq 0.1$.

Όπως παρουσιάζεται και παραπάνω, στόχος των αναλύσεων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της δεσπόζουσας περιόδου T_e στους φασματικούς λόγους AS_{ah} & AS_{av} , κατά μήκος όλης της επιφάνειας του εδάφους. Λόγω του όγκου των αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων γενικής εφαρμογής.

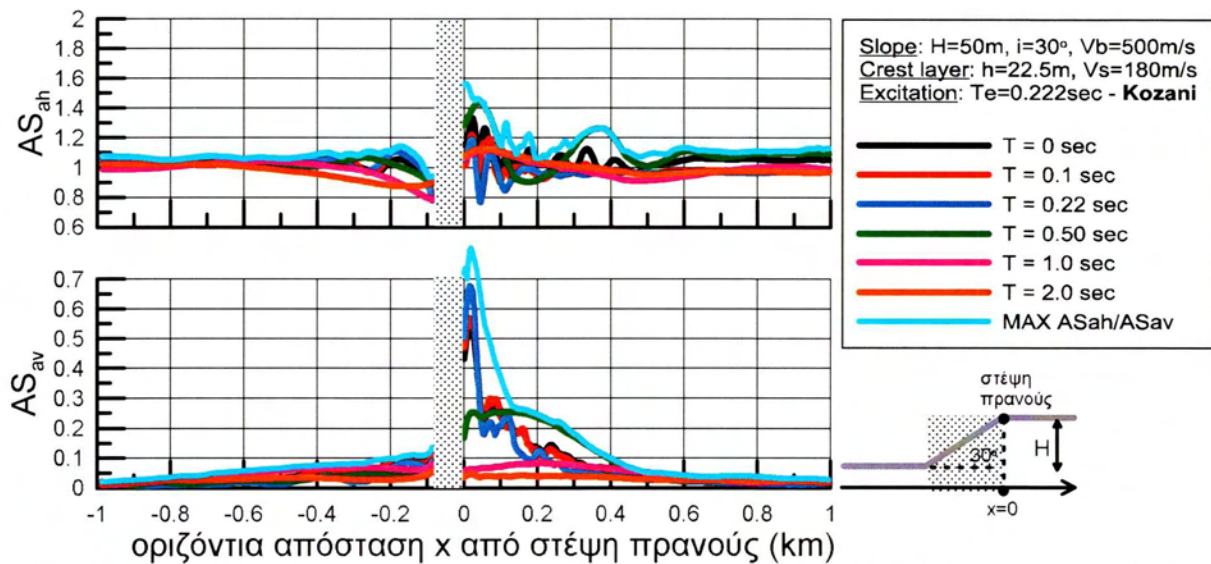
Συγκεκριμένα, στην παρακάτω ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.8 έως 4.13) παρουσιάζεται η επίδραση μονοκλινούς πρηνούς στους φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} κατά μήκος όλης της επιφάνειας τους εδάφους (εκτός της κεκλιμένης) και για τις επιλεγμένες περιόδους κατασκευής $T = 0, 0.1, 0.222, 0.5, 1.0$ & 2.0 sec. Επίσης στα παρακάτω σχήματα εμπεριέχεται και μια κυανή καμπύλη «περιβάλλουσας» που δείχνει τη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης ανά θέση τοπογραφικής επιδείνωσης ανεξαρτήτως περιόδου κατασκευής T για την οποία αυτή προκύπτει. Κάθε σχήμα απεικονίζει μια περίπτωση δεσπόζουσας περιόδου T_e και ένα φασματικό λόγο (AS_{ah} ή AS_{av}), ξεχωριστά για καθεμία από τις 2 διεγέρσεις ίδιου δεσπόζοντος μήκους κύματος λ που χρησιμοποιήθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 4.8 έως 4.13 παρουσιάζεται η μεταβολή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης AS_{ah} και AS_{av} με την απόσταση x από τη στέψη (χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης), για τους εξής συνδυασμούς πρηνούς-διέγερσης:

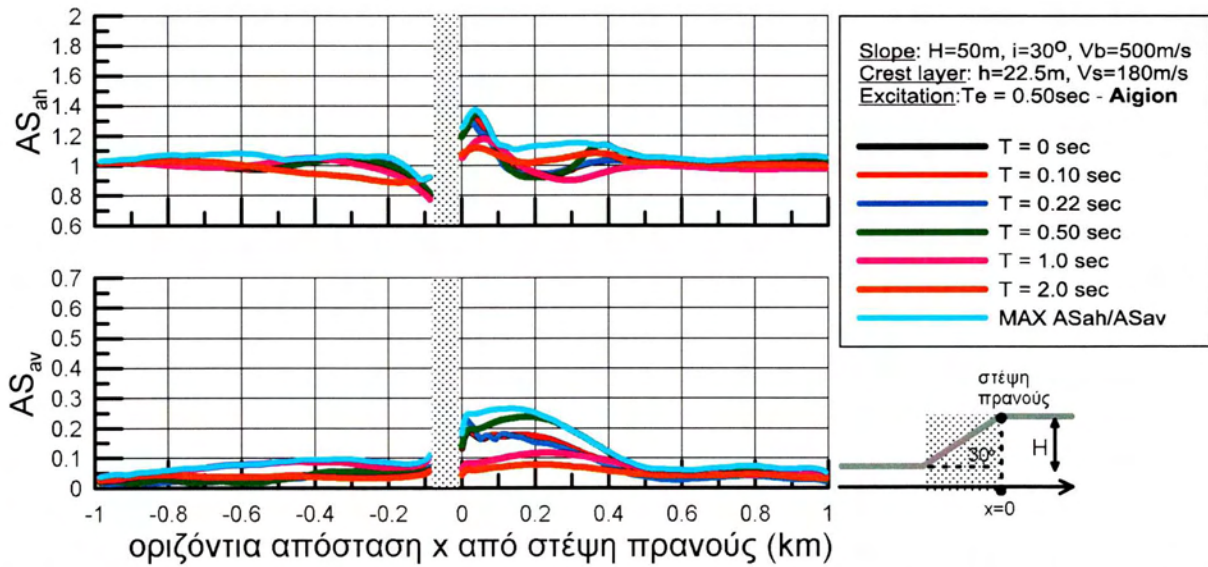
- $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ AS_{ah} & AS_{av} , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.8) και της Κοζάνης (Σχήμα 4.9)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ AS_{ah} & AS_{av} , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.10) και της Κοζάνης (Σχήμα 4.11)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.80\text{sec}$ AS_{ah} & AS_{av} , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.12) και της Κοζάνης (Σχήμα 4.13)



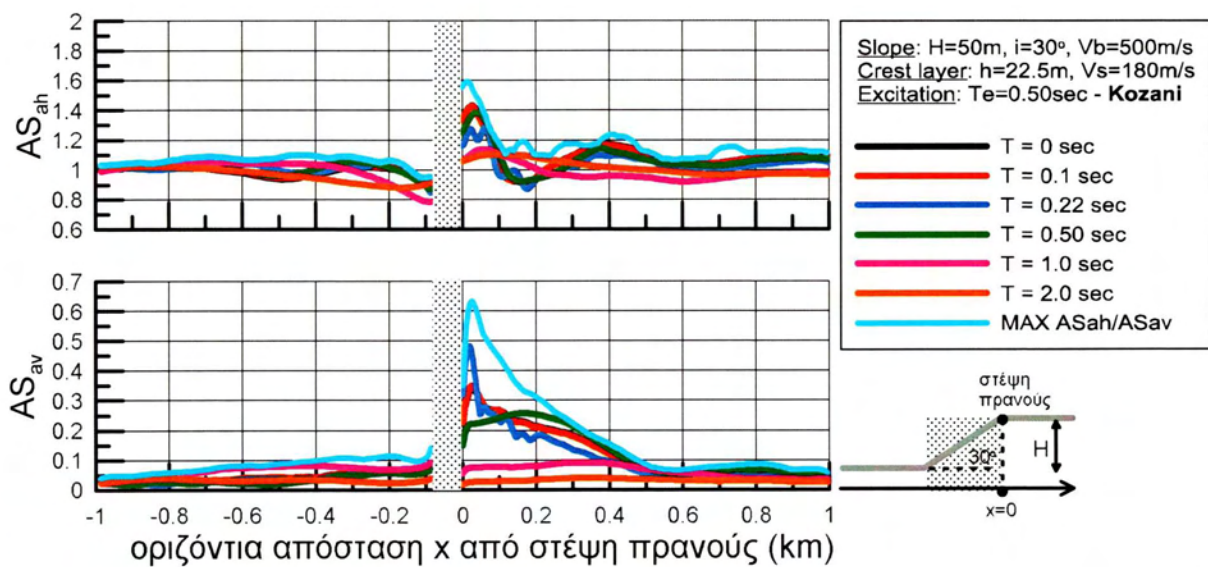
Σχήμα 4.8. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$



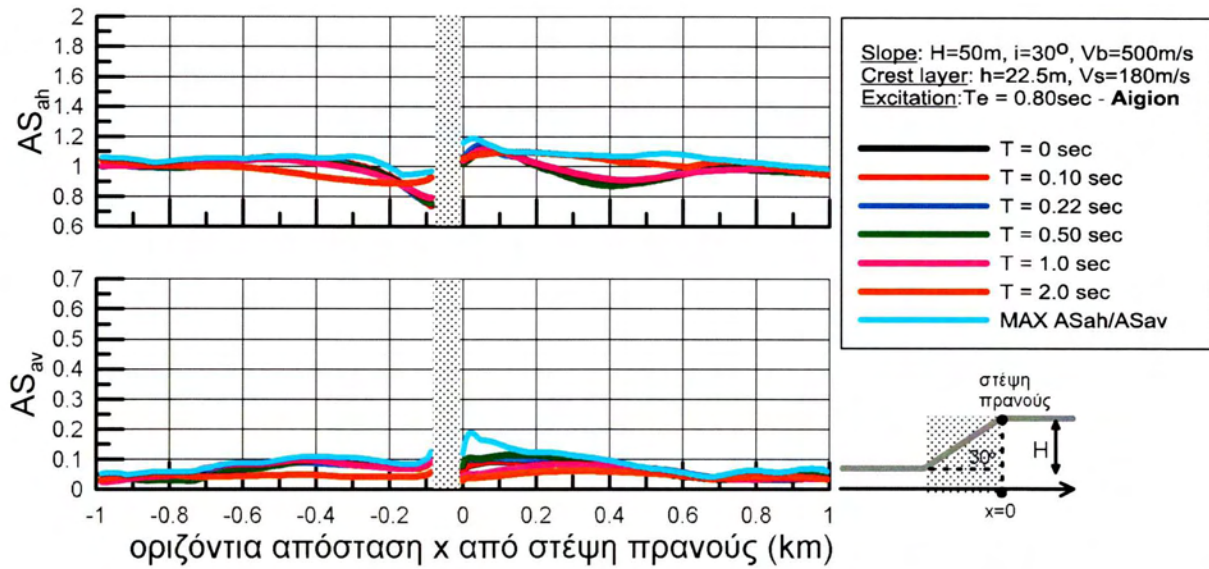
Σχήμα 4.9. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$



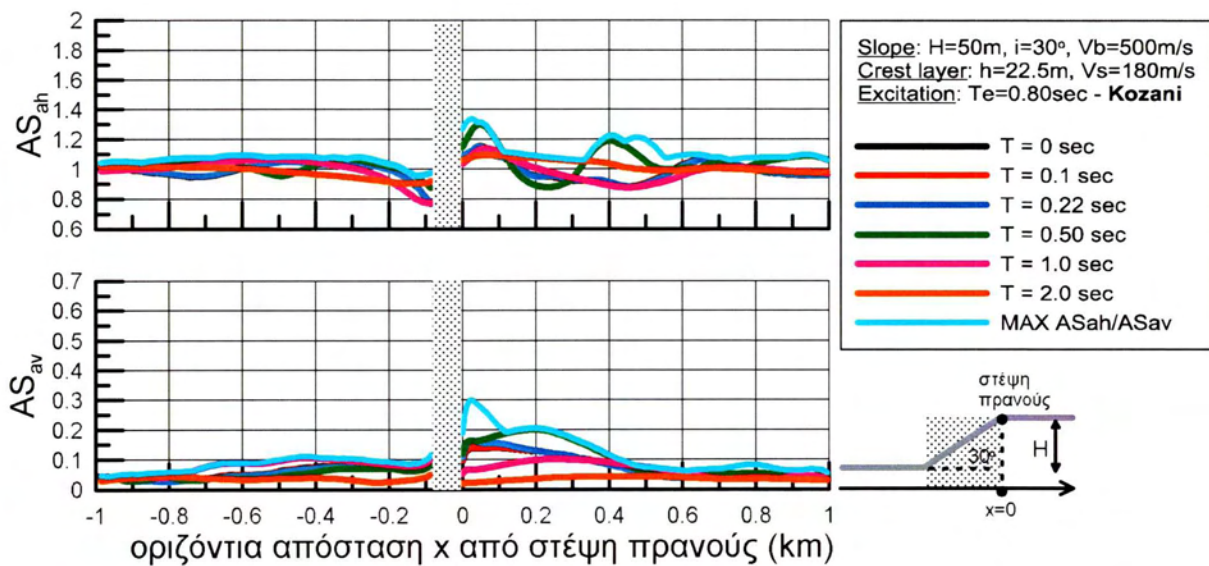
Σχήμα 4.10. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.11. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.12. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.13. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονιά πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους φόρτισης) και απόσβεση $\xi=5\%$

Αν θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι μια τυπική απεικόνιση του φαινομένου, προκύπτουν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Ανεξαρτήτως περιόδου κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης είναι ποιοτικά αντίστοιχη με εκείνη στην επιφάνεια του εδάφους για $T=0$ (βλ. σχ. 4.5-4.7), δηλαδή παρατηρείται ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανούς, καθώς και εμφάνιση σημαντικής κατακόρυφης κίνησης στη γειτονιά του πρανούς η οποία είναι εντονότερη για υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e=0.222\text{sec}$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής T . Συγκεκριμένα, σε κάθε περίπτωση φαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για μικρές περιόδους κατασκευής. Είναι φανερό ότι η τοπογραφική επιδείνωση είναι μη σημαντική για $T=1$ και $T=2\text{sec}$, και στις τρεις περιπτώσεις διέγερσης, ενώ είναι μη σημαντική και για $T=0.5\text{sec}$ στην περίπτωση της υψίσυχνης διέγερσης ($T_e=0.222\text{sec}$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση για $T=0\text{sec}$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) σχεδόν συμπίπτει ή υπολείπεται λίγο από την κυανή καμπύλη «περιβάλλουσας» ($\max A_{s_{ah}}/A_{s_{av}}$), πράγμα που ισχύει για όλες τις θέσεις κατά μήκος του πρανούς και για όλες τις περιπτώσεις διεγέρσεων.
- Για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($T_e=0.8\text{sec}$), η τοπογραφική φασματική επιδείνωση φαίνεται να μην είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα για τη διέγερση του Αιγίου που έχει 1 κύκλο φόρτισης. Αυτό είναι λογικό, αφού στη περίπτωση αυτή το ύψος H του πρανούς είναι πολύ μικρότερο από το μήκος κύματος της επιβαλλόμενης διέγερσης ($\lambda=144\text{m}$), συνεπώς η σεισμική ταλάντωση είναι πρακτικώς αντίστοιχη εκείνης υπό 1Δ συνθήκες.
- Η τοπογραφική επιδείνωση παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση, με τις μέγιστες ενισχύσεις να εμφανίζονται πίσω από τη στέψη, η οποία γίνεται πιο έντονη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση.
- Τέλος, να επισημανθεί ότι, στην περίπτωση της διέγερσης της Κοζάνης για $T_e=0.5\text{sec}$ (Σχήμα 4.11) παρατηρείται μια υπερβολική υπέρβαση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης $\max A_{s_{av}}$ (κυανή καμπύλη) σε σχέση με την μέγιστη σεισμική επιτάχυνση $T=0\text{sec}$ (μαύρη καμπύλη), η οποία εντοπίζεται για περιόδους κατασκευής $T=0.324-0.385\text{sec}$, αν μελετήσουμε την περιοχή $0-0.2\text{km}$, ενώ αν περιοριστούμε στην περιοχή $0-0.0775\text{km}$ εντοπίζεται για περιόδους κατασκευής $T=0.324-0.364\text{sec}$.

4.4. Πρόταση και αξιολόγηση συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης

Με βάση τις προηγούμενες παραγράφους και στοχεύοντας σε μια συντηρητική προσέγγιση του φαινομένου, η θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0\text{sec}$ αποτελεί το πιο σημαντικό σημείο αναφοράς. Οπότε, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε αυτή τη θέση (διαφορετική ανά συνδυασμό πρηνούς-διέγερσης και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα) αποτελεί μια καλή προσέγγιση του πως επηρεάζει ένα πρηνές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους.

Με αυτή τη λογική, η έμφαση δίνεται στην εκάστοτε θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0\text{sec}$, και για την οποία παρακάτω παρουσιάζεται η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια (AS_{ah}) και (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση. Συγκεκριμένα, στην πρώτη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.14 έως 4.16) συμπεριλαμβάνεται η πρόταση των Assimakí et al. (2005) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, για κατηγορία εδάφους B (κατά EC8), η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος αρκετά δύσμητο ($V_b=500\text{m/s}$) ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί ομοιόμορφο πρηνές ύψους $H=50\text{m}$, αγνοώντας δηλαδή αρχικά τη «μαλακή» στρώση. Η περιβάλλουσα Assimakí et al. (2005) προκύπτει από τις αναλυτικές σχέσεις για τον προτεινόμενο συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} του οριζόντιου ελαστικού φάσματος, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου κατασκευής T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται από τις περιόδους T_B και T_C της επιλεγείσας κατηγορίας εδάφους κατά τον EC8 ($T_B=0.15\text{sec}$, $T_C=0.5\text{sec}$). Αναλυτικότερα, για $T=0\text{sec}$ προτείνεται $AS_{ah}=1.6$ για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρηνούς-διέγερσης που εξετάζονται. Στη συνέχεια, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1.3 για $T_B=0.15\text{sec}$, όπου διατηρείται σταθερή μέχρι την περίοδο $T=T_C$. Τέλος, για $T_C \leq T \leq 1\text{sec}$ η τιμή του AS_{ah} μειώνεται ξανά γραμμικά και παραμένει σταθερά ίση με 1.0 για κάθε $T \geq 1\text{sec}$. Οι αναλυτικές σχέσεις και το προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού για το συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} αναφέρονται λεπτομερώς στο Κεφ.2.

Επιπλέον, παρατίθεται και η πρόταση της παρούσας εργασίας, η οποία βασίζεται στην πρόταση της Κοντογιάννη (2013) και εκτιμά την τιμή σχεδιασμού της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης για $T=0\text{sec}$ ($A_{h_{\max}}$, $A_{v_{\max}}$) από τις πολυπαραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) για ομοιόμορφο πρηνές. Σύμφωνα με αυτή την πρόταση, η τοπογραφική επιδείνωση είναι σταθερή για όλες τις περιόδους κατασκευής T που είναι μικρότερες ή ίσες από την εκάστοτε περίοδο διέγερσης T_e . Για μεγαλύτερες περιόδους κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι μια χαρακτηριστικά μεγάλη τιμή περιόδου κατασκευής T_0 , πέρα από την οποία και εξαλείφεται.

Συγκεκριμένα, για την οριζόντια διεύθυνση, η μέγιστη τοπογραφική φασματική επιδείνωση σχεδιασμού $AS_{ah,d}$ δίνεται από τη σχέση:

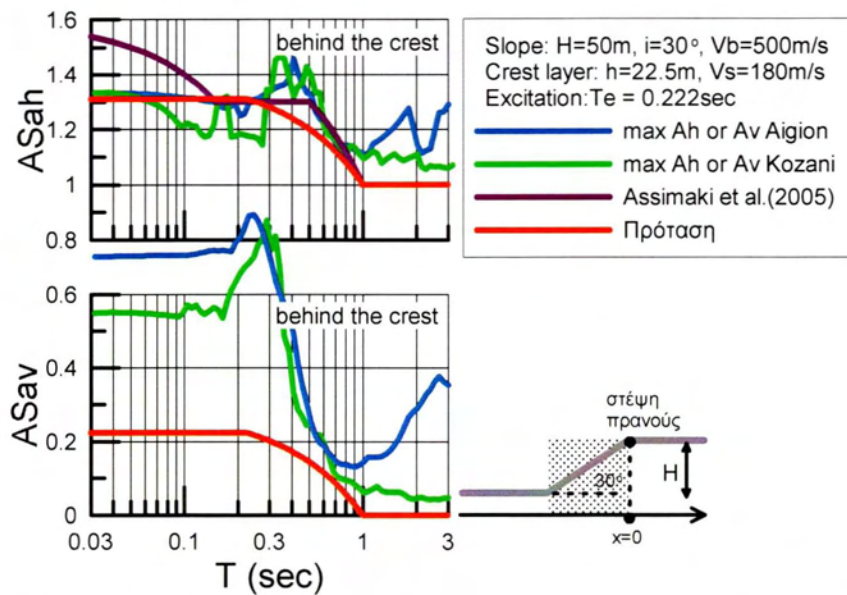
$$AS_{ah,d} = \begin{cases} Ah_{max}, & T \leq T_e \\ Ah_{max} - \frac{(Ah_{max} - 1)}{(T_0 - T_e)} (T - T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 1.0, & T_0 \leq T \end{cases}$$

,όπου T_0 είναι η χαρακτηριστικά μεγάλη τιμή της περιόδου κατασκευής για την οποία η τοπογραφική επιδείνωση είναι πρακτικώς αμελητέα, και η οποία παίρνει τιμές $T_0=2T_e \geq 1.0\text{sec}$. Αντίστοιχα, για την κατακόρυφη διεύθυνση, η μέγιστη τοπογραφική φασματική επιδείνωση $AS_{av,d}$ δίνεται από τη σχέση:

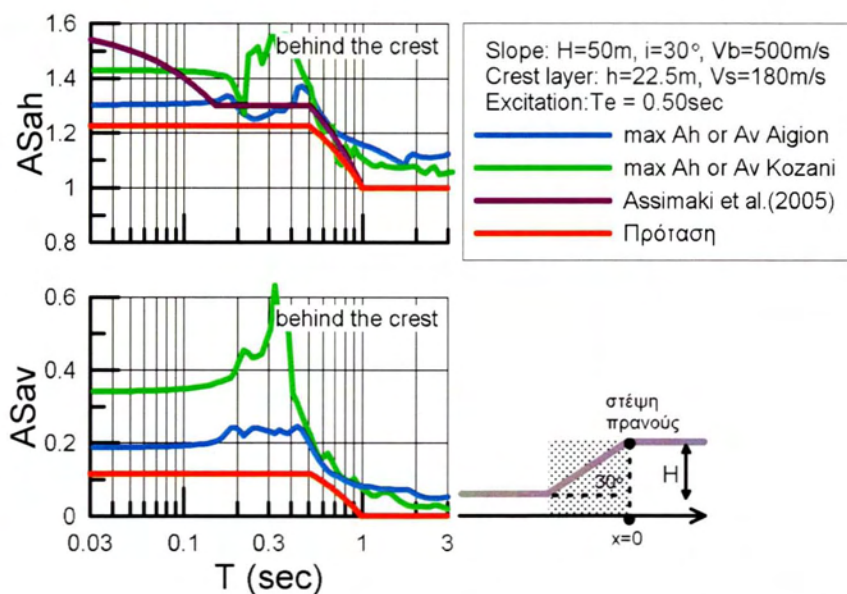
$$AS_{av,d} = \begin{cases} Av_{max}, & T \leq T_e \\ Av_{max} - \frac{Av_{max}}{(T_0 - T_e)} (T - T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 0.0, & T_0 \leq T \end{cases}$$

,όπου T_0 είναι η χαρακτηριστικά μεγάλη τιμή της περιόδου κατασκευής ίδια με αυτή που θεωρείται και στην οριζόντια διεύθυνση. Επισημαίνεται ότι, στις παρούσες αναλύσεις έχει χρησιμοποιηθεί $T_0=1.0\text{sec}$ ανεξαρτήτως δεσπόζουσας περιόδου T_e και αυτό γιατί θεωρείται ότι $T=1.0\text{sec}$ είναι μια ευνοϊκή τιμή πέρα από την οποία η φασματική επιδείνωση μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

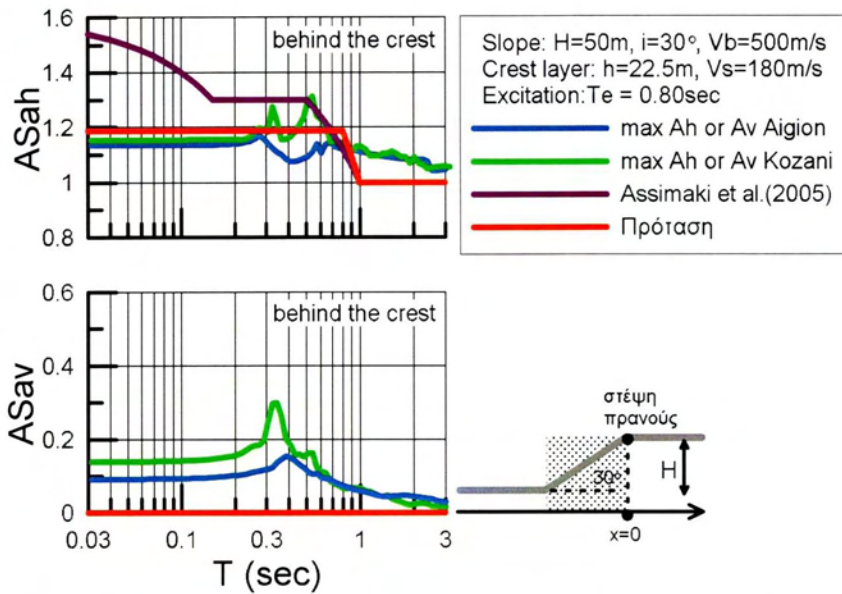
Αρχικά λοιπόν, εφαρμόζονται οι σχέσεις των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) θεωρώντας ομοιόμορφο πρανές (ύψους $H=50\text{m}$ και ταχύτητας διατμητικών κυμάτων $V_b=500\text{m/s}$), και συγκρίνοντας τις προβλέψεις τους με τα αποτελέσματα αναλύσεων με τη «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ και $V_s=180\text{m/s}$, όπως παρουσιάζονται στα σχήματα 4.14 έως 4.16.



Σχήμα 4.14. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 4.15. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.

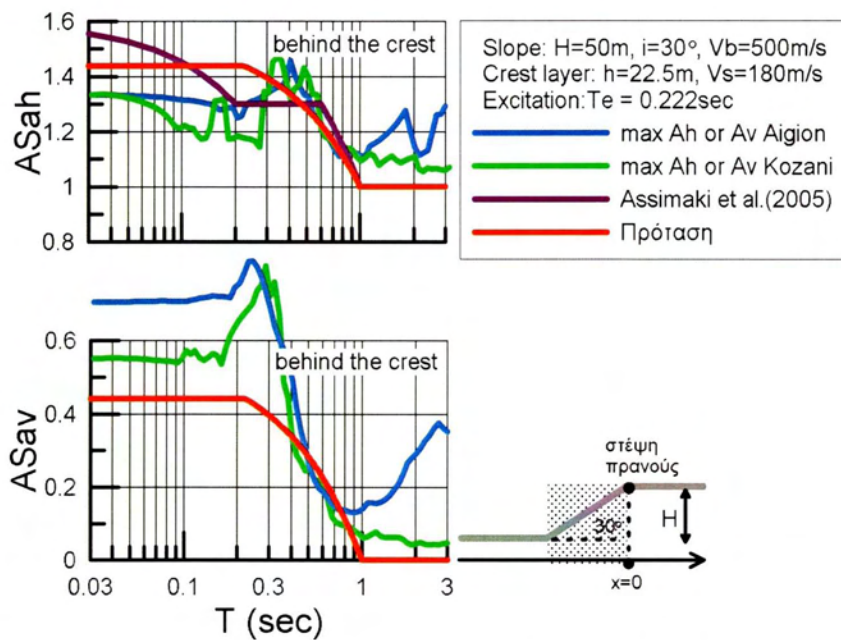


Σχήμα 4.16. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.

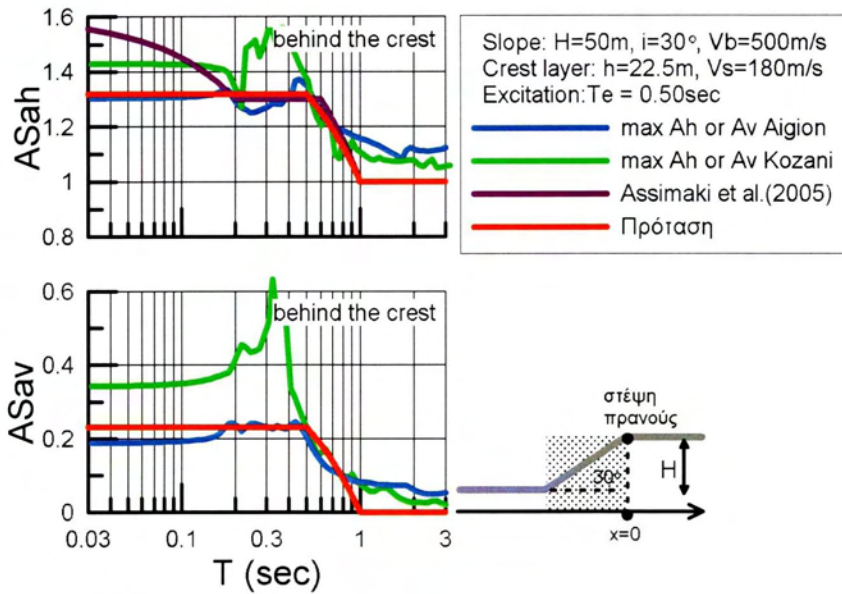
Στη συνέχεια, στη δεύτερη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.17 έως 4.19) εξετάζεται η ισχύς των προτάσεων των Assimaki et al. (2005) και της Κοντογιάννη (2013) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης προσαρμοσμένες κατάλληλα για πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$, όπως το αναλυθέν.

Αναλυτικά, όπως και στην προηγούμενη ομάδα σχημάτων η περιβάλλουσα Assimaki et al. (2005) προκύπτει από τις αναλυτικές σχέσεις για τον προτεινόμενο συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης $F_{\text{τοπο}}$ του οριζόντιου ελαστικού φάσματος, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου κατασκευής T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται από τις περιόδους T_B και T_C της επιλεγείσας κατηγορίας εδάφους κατά τον EC8 ($T_B=0.20\text{sec}$, $T_C=0.60\text{sec}$). Αναλυτικότερα, για $T=0\text{sec}$ προτείνεται $AS_{\text{ah}}=1.6$ για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς-διέγερσης που εξετάζονται. Στη συνέχεια, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1.3 για $T_B=0.20\text{sec}$, όπου διατηρείται σταθερή μέχρι την περίοδο $T=T_C$. Τέλος, για $T_C \leq T \leq 1\text{sec}$ η τιμή του AS_{ah} μειώνεται ξανά γραμμικά και παραμένει σταθερά ίση με 1.0 για κάθε $T \geq 1\text{sec}$. Συνεπώς, η μόνη διαφορά στην περιβάλλουσα των Assimaki et al. (2005) είναι η αλλαγή των τιμών T_B και T_C , με βάση την κατηγορία εδάφους, και συνεπώς η μετάθεση του plateau με $AS_{\text{ah}}=1.3$ σε μεγαλύτερες περιόδους λόγω της ύπαρξης της «μαλακής» στρώσης.

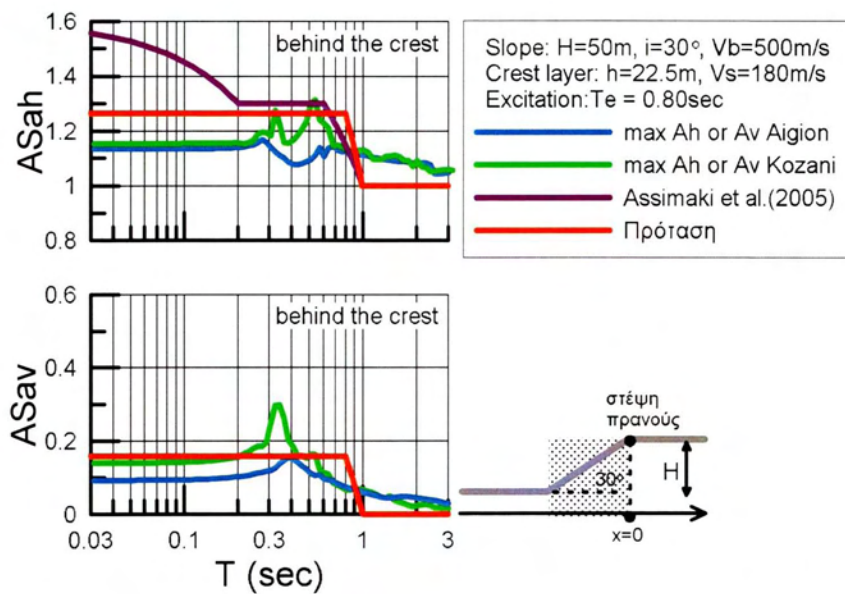
Αντίστοιχα, και η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) αναπροσαρμόζεται, καθώς οι τιμές των Ah_{max} και Av_{max} υπολογίζονται ξανά για δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda = \lambda_{30} = V_{s30} T_e$, δηλαδή μικρότερη τιμή του λ και συνεπώς αντίστοιχα μεγαλύτερη τιμή του αδιάστατου ύψους H/λ . Συνεπώς, και για την πρόταση της Κοντογιάννη η ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης προκαλεί τη μετάθεση των Ah_{max} και Av_{max} προς τις μεγαλύτερες τιμές.



Σχήμα 4.17. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5m$, $V_s=180m/s$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 4.18. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 4.19. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$, και «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$, και σύγκριση αυτών με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) και της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.

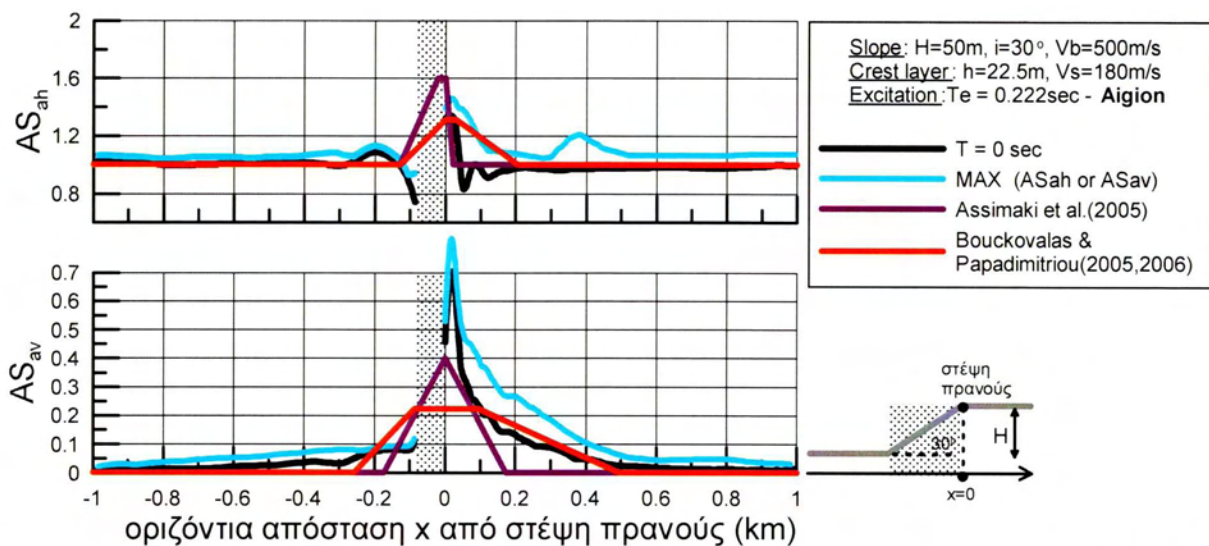
Συνεπώς, από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι:

- Η πρόταση των Assimakī et al. (2005), είναι ποιοτικώς ορθή για τη θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς, αλλά φαίνεται να υπερεκτιμά την ενίσχυση για μικρές περιόδους κατασκευής ($T < T_B$). Επομένως, ίσως δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση που προσαρμόζεται η σχέση στα δεδομένα της «μαλακής» στρώσης, χωρίς να αλλάζει κάτι ουσιαστικό παρά μόνο η καμπύλη περιβάλλουσας μετατοπίζεται ελαφρώς προς μεγαλύτερες περιόδους.
- Η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) είναι της ίδιας λογικής με εκείνης των Assimakī et al. (2005), την οποία όμως επεκτείνει και στην (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, και της προσδίδει αυξημένη ποσοτική ακρίβεια με τη χρήση πολυπαραμετρικών σχέσεων από τη βιβλιογραφία. Όσον αφορά την οριζόντια φασματική ενίσχυση (AS_{ah}), φαίνεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν προσαρμόζεται στις υπάρχουσες συνθήκες (θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς). Αυτό σημαίνει ότι η σχέση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με επιφυλακτικότητα στην οριζόντια διεύθυνση γιατί στην περίπτωση όπου $T_s/T_e=1$ φαίνεται να υποεκτιμά την ενίσχυση στην περιοχή της T_e .
- Για την (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση φαίνεται να υποεκτιμά την ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης (AS_{av}) ακόμη και στην περίπτωση θεώρησης μη-ομοιόμορφου πρανούς. Εξαίρεση αποτελεί η χαμηλόσυχη διέγερση ($T_s/T_e > 1$), όπου φαίνεται να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, χωρίς αυτό όμως να καθιστά τη σχέση επαρκή για γενική χρήση.
- Να επισημάνουμε ακόμα ότι, στο σχήμα 4.16 η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) στην κατακόρυφη ενίσχυση είναι ίση με το μηδέν για κάθε περίοδο κατασκευής. Αυτό συμβαίνει γιατί, γιατί από τις σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) προκύπτει $A_{v,max}=0.08 < 0.1$. Όπως είχε αναφερθεί και παραπάνω σύμφωνα με αυτή την πρόταση μηδενισμός της τοπογραφικής επίδρασης (με ακρίβεια μηχανικού) συνδέεται με τις τιμές $AS_{ah} \leq 1.1$ και $AS_{av} \leq 0.1$, πράγμα που σημαίνει ότι για τιμές μικρότερες από αυτές δεν αξίζει να οριστεί περιβάλλουσα.

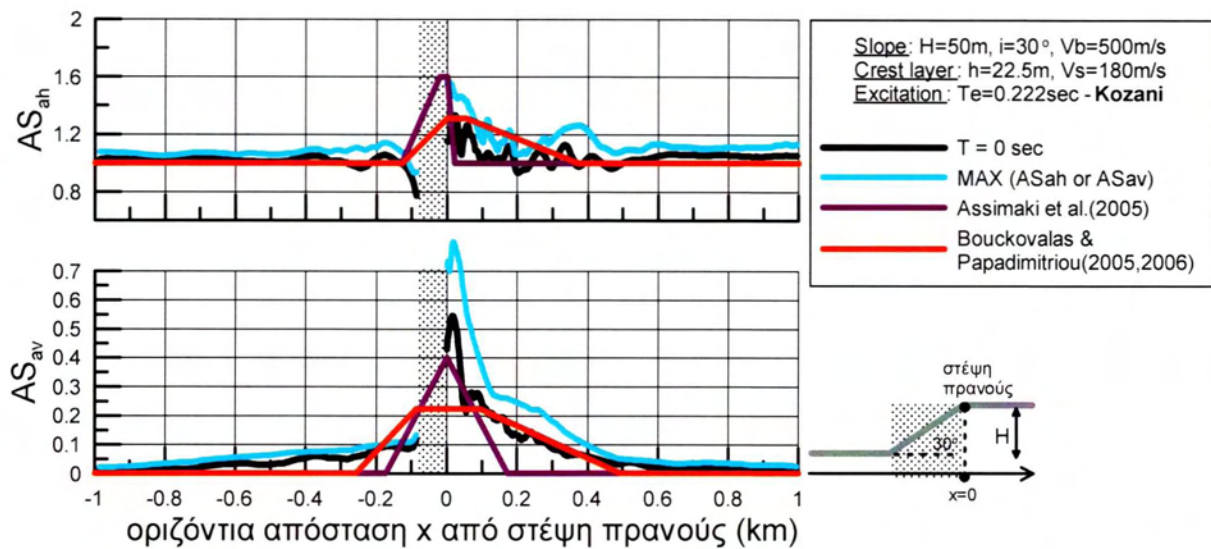
4.5 Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης

Όπως αναφέρθηκε με λεπτομέρεια στην βιβλιογραφική αναδρομή, στο άρθρο των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) γίνεται διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους (μπρος και πίσω από το πρανές) και προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού για τον ορισμό χωρικών περιβαλλουσών σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$ με την απόσταση x από το πρανές. Αντίστοιχες σχέσεις σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση έχουν προταθεί επίσης από τους Assimakī et al. (2005).

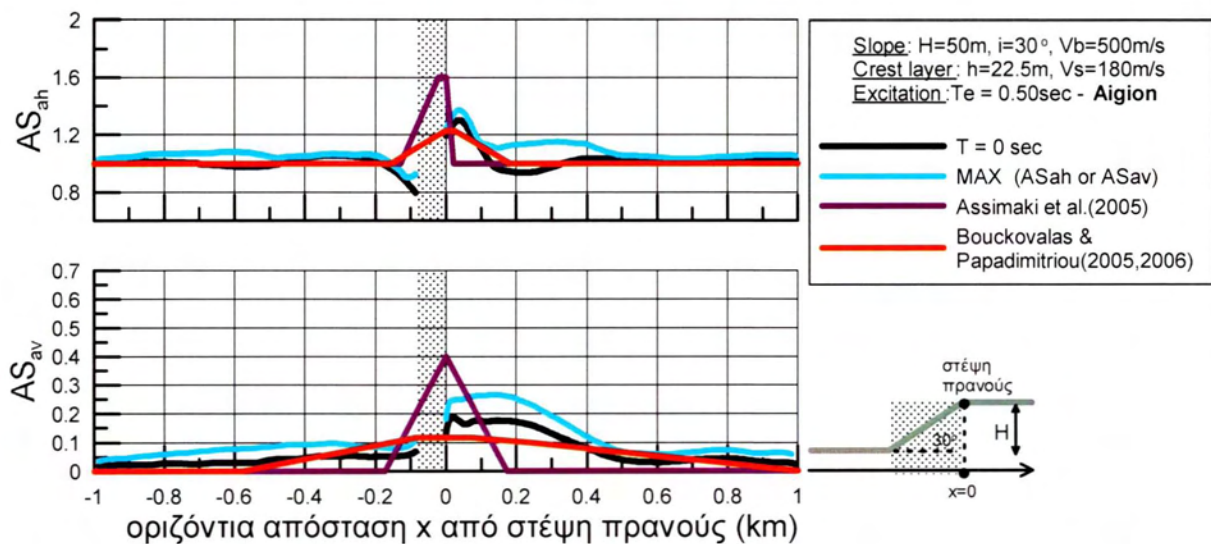
Στις παρακάτω ομάδες σχημάτων γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των αριθμητικών αναλύσεων ως προς τη χωρική διαφοροποίηση, με τις προαναφερθείσες χωρικές περιβάλλουσες των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) και Assimaki et al. (2005). Όπως και στην παράγραφο 4.4, έτσι και εδώ παρατίθενται δύο διαφορετικές θεωρήσεις για τις χωρικές περιβάλλουσες των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) και Assimaki et al. (2005): α) θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ύψους $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, αγνοώντας την «μαλακή» στρώση (Σχήματα 4.20-4.25), μια θεώρηση υπερ-απλουστευτική, και β) θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς, με ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων ίση με την ταχύτητα στα πρώτα 30m ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$, (Σχήματα 4.26-4.31), μια θεώρηση που θεωρείται συμβατή με τη λογική του EC-8.



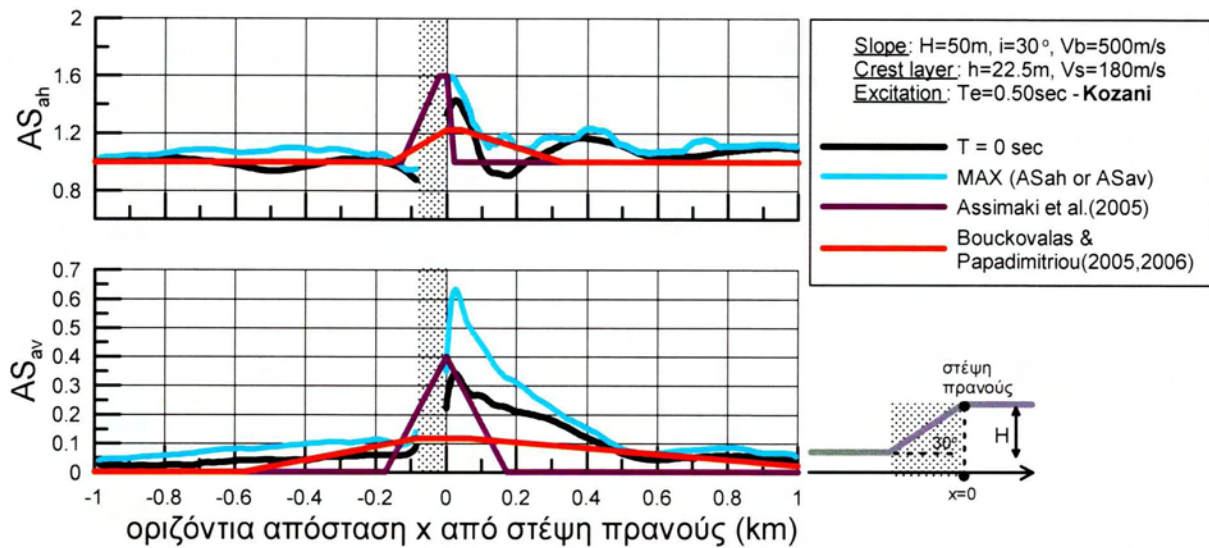
Σχήμα 4.20. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



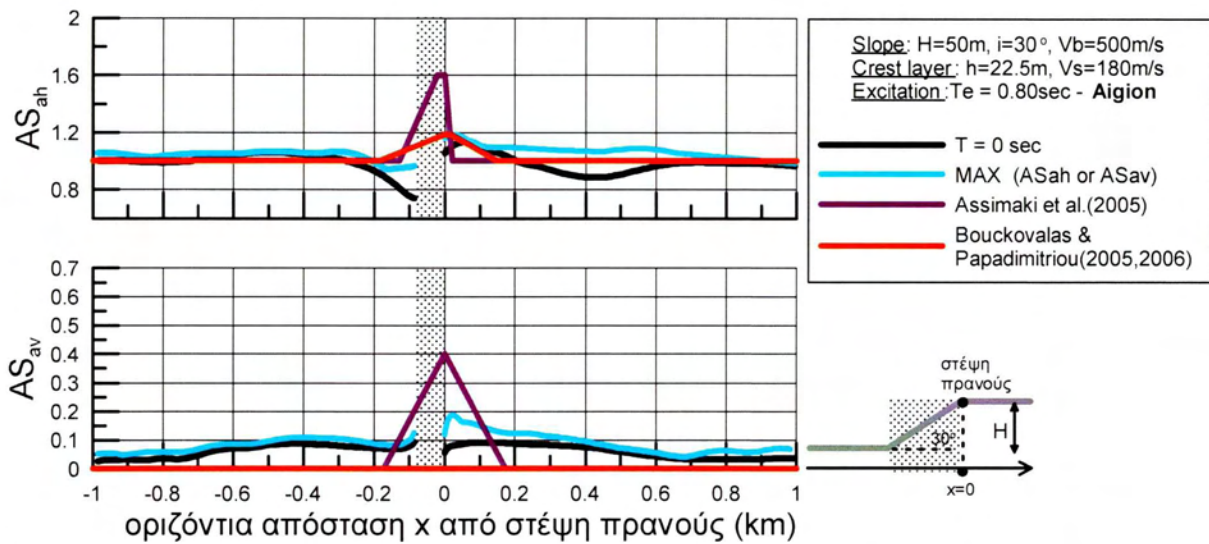
Σχήμα 4.21. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανού ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανού ($V=V_b=500\text{m/s}$)



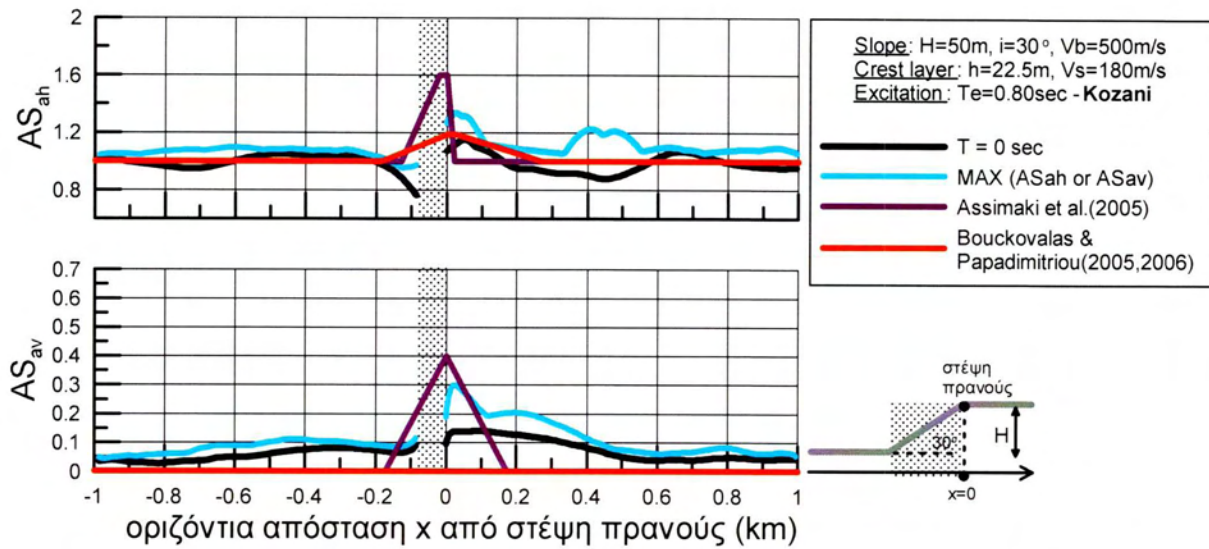
Σχήμα 4.22. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανού ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανού ($V=V_b=500\text{m/s}$)



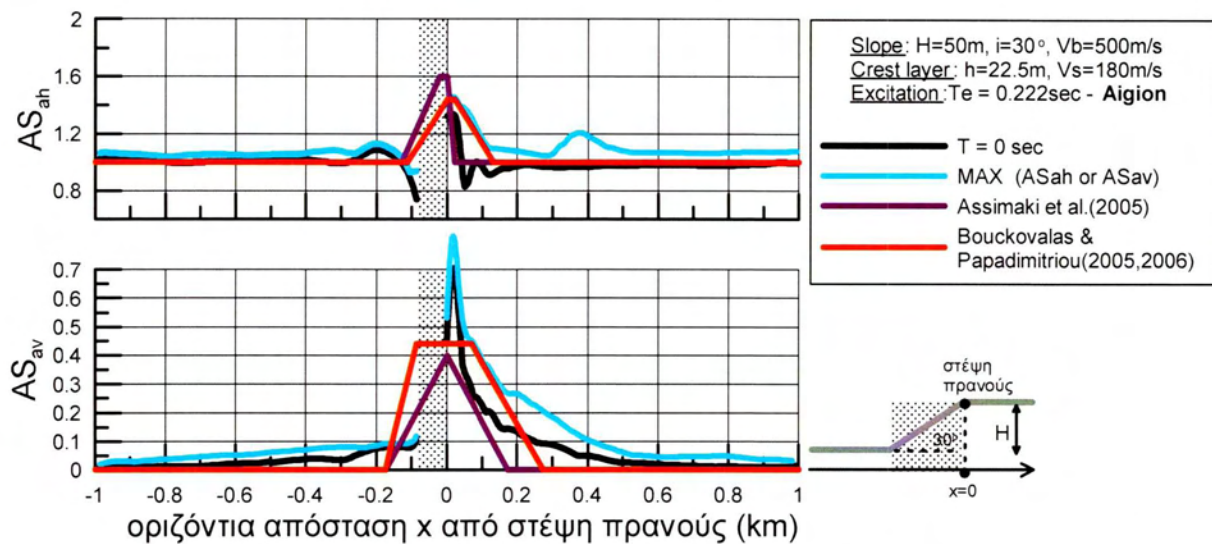
Σχήμα 4.23. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



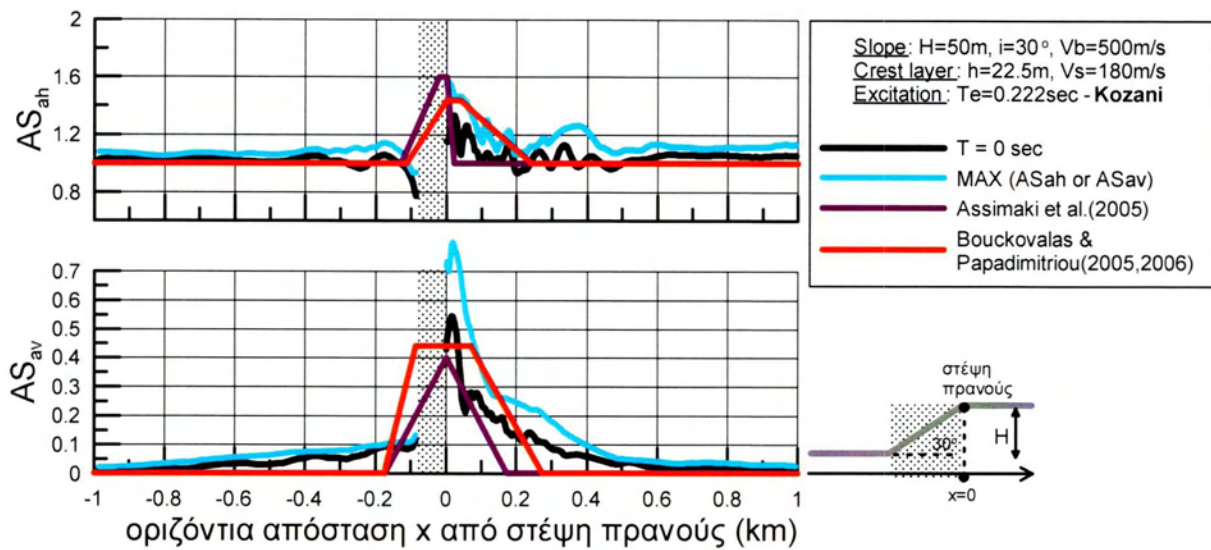
Σχήμα 4.24. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



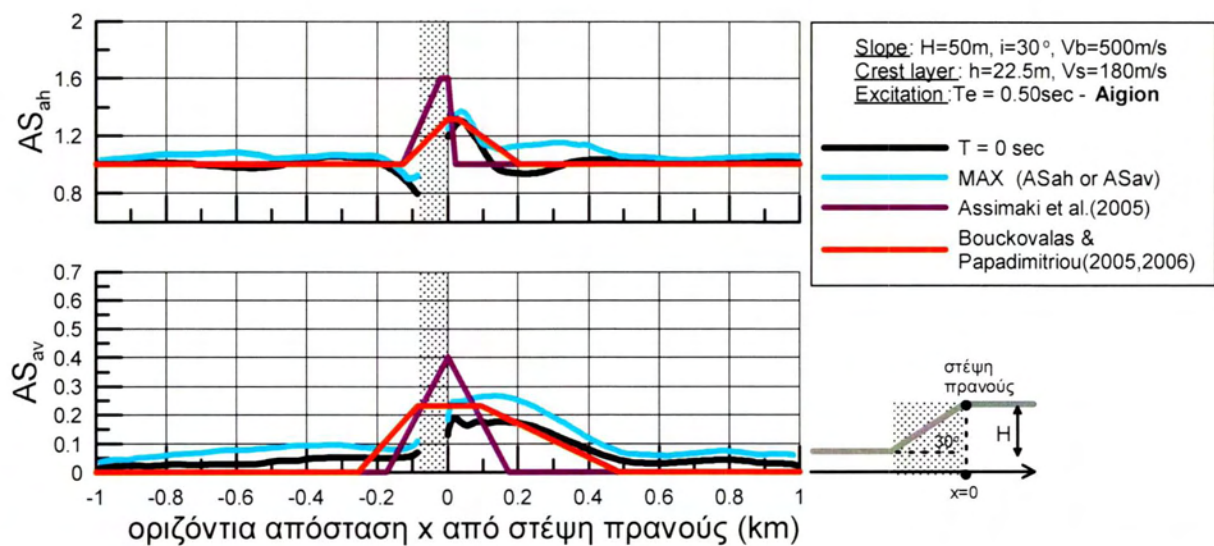
Σχήμα 4.25. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



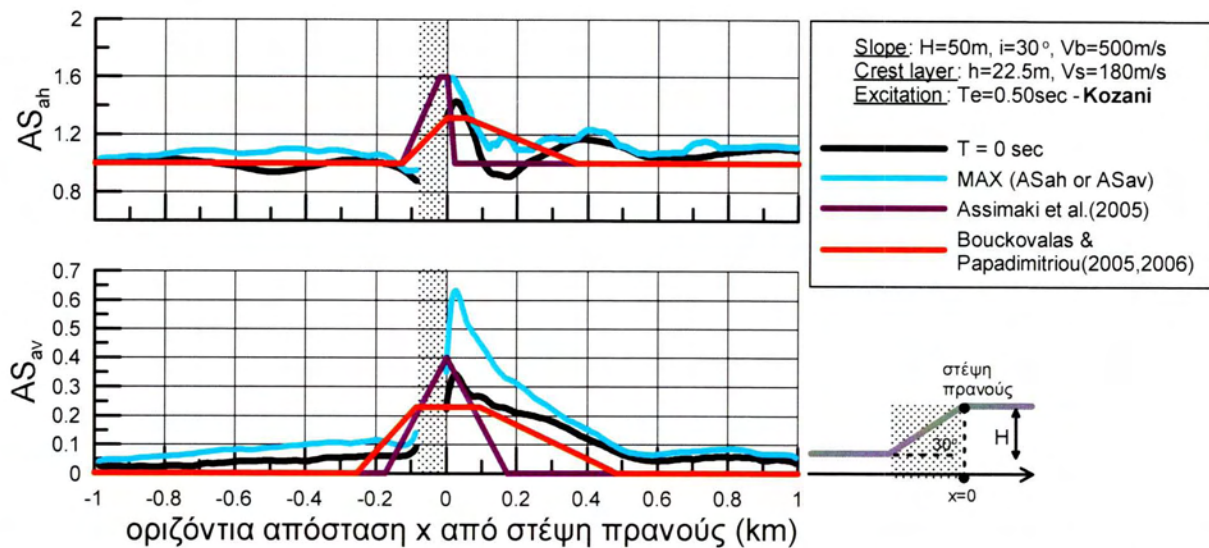
Σχήμα 4.26. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$)



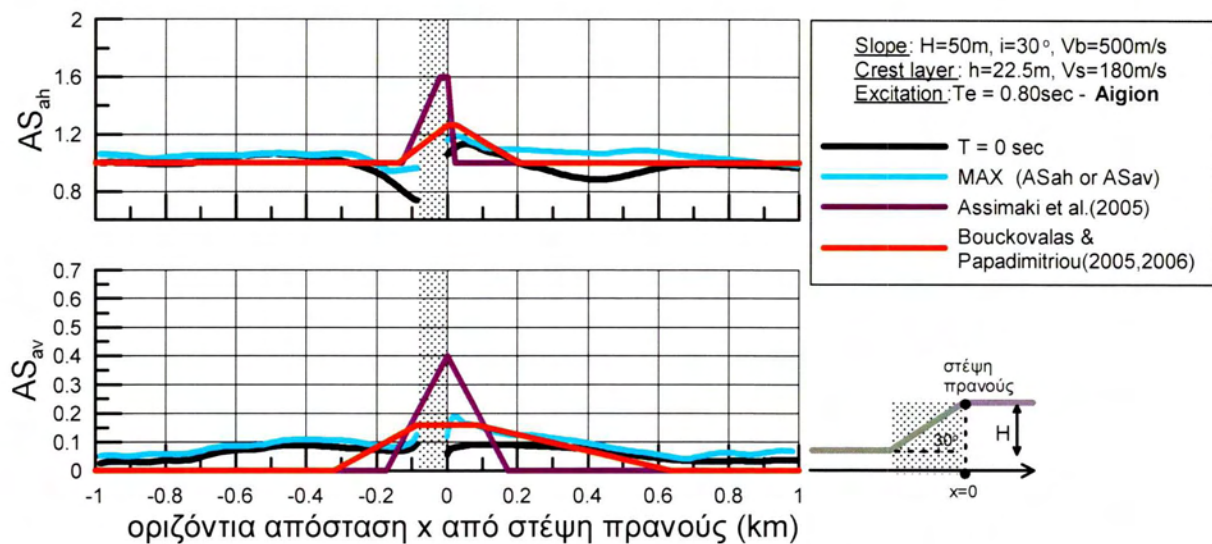
Σχήμα 4.27. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$)



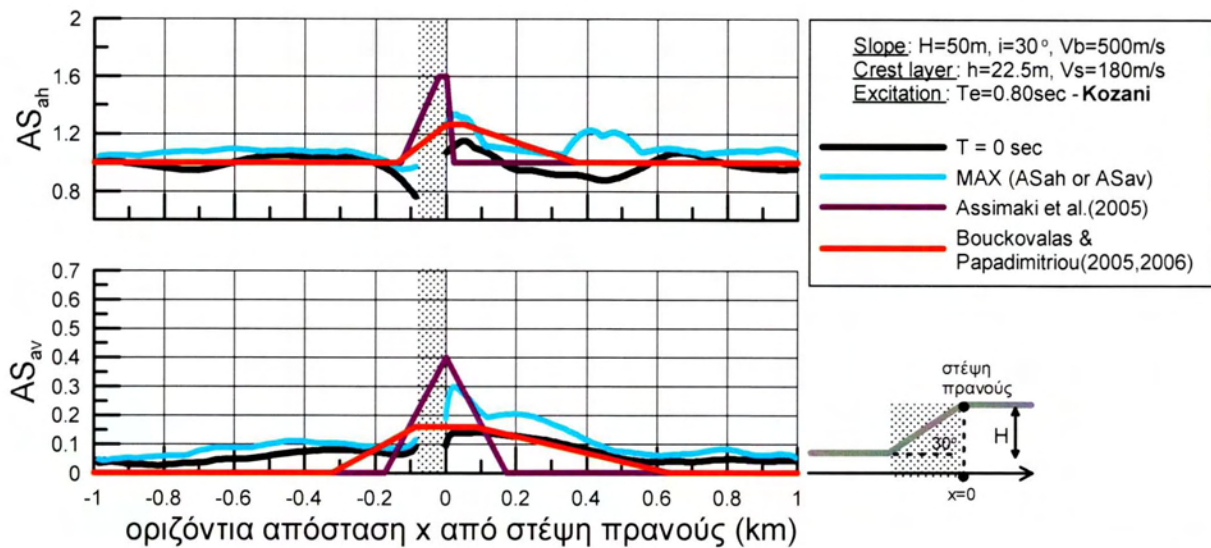
Σχήμα 4.28. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$)



Σχήμα 4.29. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$)



Σχήμα 4.30. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28\text{m/s}$)



Σχήμα 4.31. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($maxAS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($maxAS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0sec$) κατά μήκος του πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500m/s$) με «μαλακή» στρώση ($h=22.5m$, $V_s=180m/s$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8sec$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimakaki et al. (2005) και Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{s,30}=214.28m/s$)

Από τα σχήματα 4.20 έως 4.31 καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Όσον αφορά τις μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης (μαύρη καμπύλη) κατά μήκος του πρανούς με «μαλακή» στρώση, οι σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) φαίνεται να τις προβλέπουν ικανοποιητικά στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ για στην κατακόρυφη παρατηρείται ότι τις υποεκτιμούν σαφώς. Για την περιβάλλουσα των Assimakaki et al. (2005) παρατηρείται υπερκτίμηση της AS_{ah} και υποεκτίμηση της AS_{av} στην περίπτωση υψίσυχνης διέγερσης.
- Αντίστοιχα, για τις μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης (κυανή καμπύλη), οι σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) φαίνεται να τις υποεκτιμούν σαφώς και για τις δύο κατευθύνσεις, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimakaki et al. (2005) φαίνεται να προβλέπουν ικανοποιητικά την οριζόντια ενίσχυση αλλά να υποεκτιμούν την ενίσχυση στην κατακόρυφη διεύθυνση.
- Σε ότι αφορά τη χωρική διαφοροποίηση, αυτή δεν επηρεάζεται από το δεσπόζον μήκος κύματος στις σχέσεις των Assimakaki et al. (2005), σε αντίθεση με την αυξητική επίδραση αυτού στην επηρεαζόμενη περιοχή που προβλέπουν οι σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006). Γενικότερα, οι σχέσεις των Assimakaki et al. (2005) προβλέπουν σαφώς πιο «στενή» επίδραση σε σχέση με τους Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006).

- Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, μια πρώτη διαπίστωση για την ισχύ των σχέσεων των Assimaki et al. (2005) και των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) σε πρανές με «μαλακή» στρώση είναι ότι δεν επαρκούν πλήρως για να αποτυπώσουν το φαινόμενο. Η θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς με βάση τις σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) οδηγούν σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε σχέση με τη θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς, αλλά και πάλι δεν δίνουν τα ακριβή επιθυμητά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΜΑΛΑΚΗΣ» ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

5.1 Γενικά

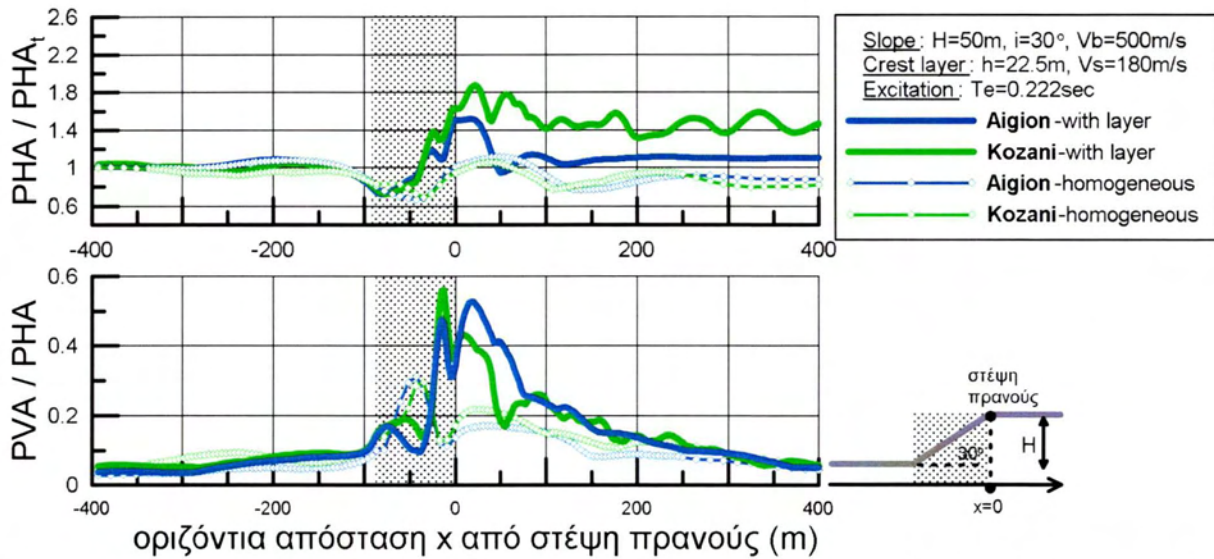
Για να είναι πλήρης η αξιολόγηση των υπάρχουσων προτάσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως (Assimaki et al. (2005), Bouckovalas & Papadimitriou (2005,2006)), αλλά και των κανονιστικών διατάξεων του EC-8 για τους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης κρίνεται απαραίτητο να γίνουν απευθείας συγκρίσεις μεταξύ των σχετικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις για ομοιόμορφα (βραχώδη) πρανή και πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5m$ πίσω από τη στέψη, καθώς και συγκρίσεις μεταξύ των σχετικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από αναλύσεις για ομοιόμορφα πρανή, πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=10m$ πίσω από τη στέψη (Κοντογιάννη (2013)) και πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5m$ πίσω από τη στέψη.

5.2 Απευθείας σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανού

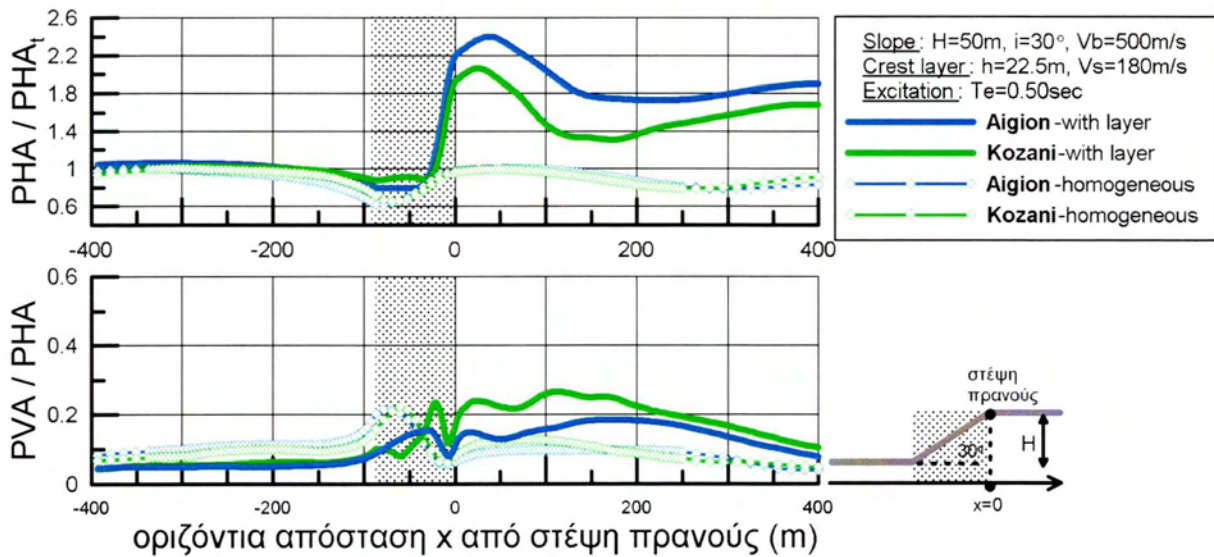
Σε πρώτη φάση, παρουσιάζεται η απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία ($h=22.5m$) με αυτά που είχαν προκύψει από παλαιότερες αναλύσεις (Κοντογιάννη (2013)) για ομοιόμορφο (βραχώδες) πρανές. Έτσι αρχικά, στην πρώτη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 5.1 έως 5.3) παρουσιάζεται η σύγκριση της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας ($P_{HA}/P_{HA,t}$) και (παρασιτικής) κατακόρυφης (P_{VA}/P_{HA}) επιτάχυνσης ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου πρανού σε μια περιορισμένη περιοχή ($-400m$ έως $400m$), εστιάζοντας έτσι και στην κεκλιμένη περιοχή του πρανού, για τους εξής συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

- i. $i=30^\circ$ $T_e=0.222sec$ $P_{HA}/P_{HA,t}$ & P_{VA}/P_{HA} (Σχήμα 5.1)
- ii. $i=30^\circ$ $T_e=0.50sec$ $P_{HA}/P_{HA,t}$ & P_{VA}/P_{HA} (Σχήμα 5.2)
- iii. $i=30^\circ$ $T_e=0.80sec$ $P_{HA}/P_{HA,t}$ & P_{VA}/P_{HA} (Σχήμα 5.3)

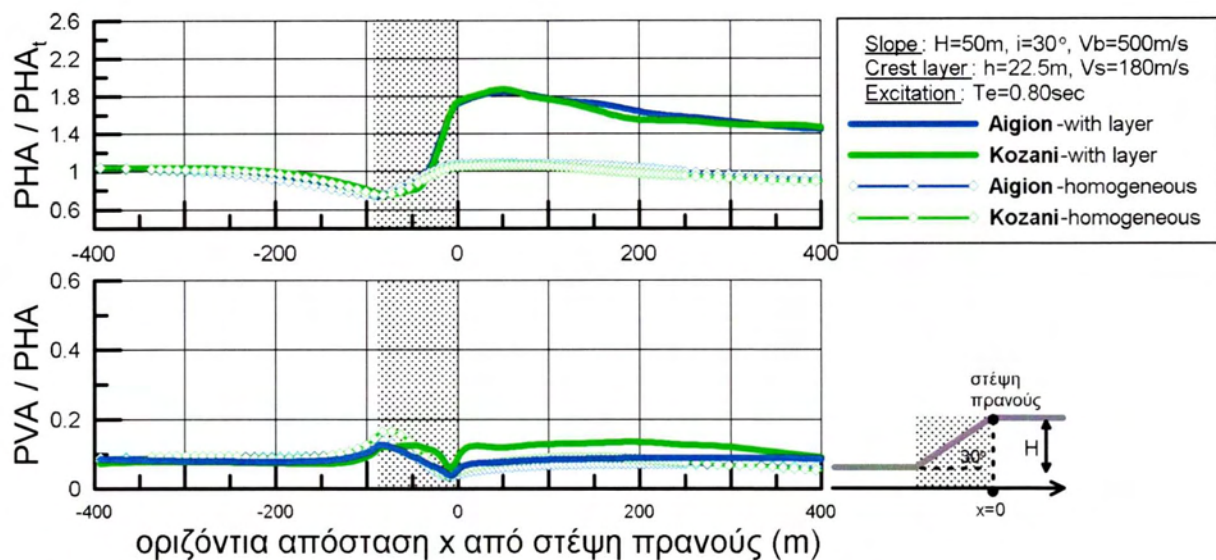
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με χρήση διαφορετικού χρώματος καμπυλών. Επισημαίνεται η χρήση συμβόλων (ρόμβοι) για τις αναλύσεις ομοιόμορφου πρανού και αντίστοιχου χρώματος συνεχών γραμμών για εκείνες με «μαλακή» στρώση.



Σχήμα 5.1. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.2. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.3. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.8\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)

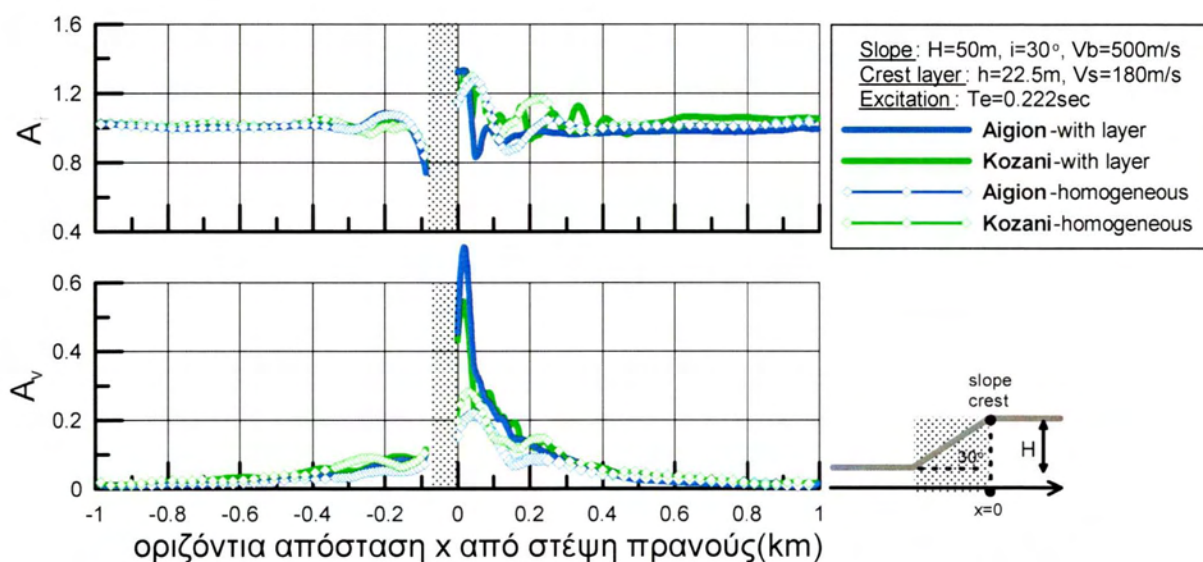
Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι:

- Η περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς μένει ανεπηρέαστη από την ύπαρξη ή μη της «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη.
- Αντίστοιχα και για την κεκλιμένη περιοχή, η ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης δείχνει να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την ενίσχυση της μέγιστης κατακόρυφης και την απομείωση της οριζόντιας επιτάχυνσης, πέρα από την περίπτωση της υψίσυχνης διεγέρσης ($T_e=0.222\text{sec}$) όπου οι ενισχύσεις δείχνουν να είναι πιο έντονες στην περιοχή αυτή.
- Σε όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις, η ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης οδηγεί σε σαφή ενίσχυση της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και σε μικρότερη ενίσχυση της κανονικοποιημένης μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην ίδια περιοχή.
- Οι ενισχύσεις στην οριζόντια διεύθυνση είναι πιο έντονες κατά το συντονισμό ($T_s=T_e=0.5\text{sec}$), και λιγότερο στις άλλες περιπτώσεις. Αντίστοιχα, στην κατακόρυφη διεύθυνση, η μέγιστη παρασιτική επιτάχυνση φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο κατά τις υψίσυχνης διεγέρσεις ($T_e=0.222\text{sec}$).

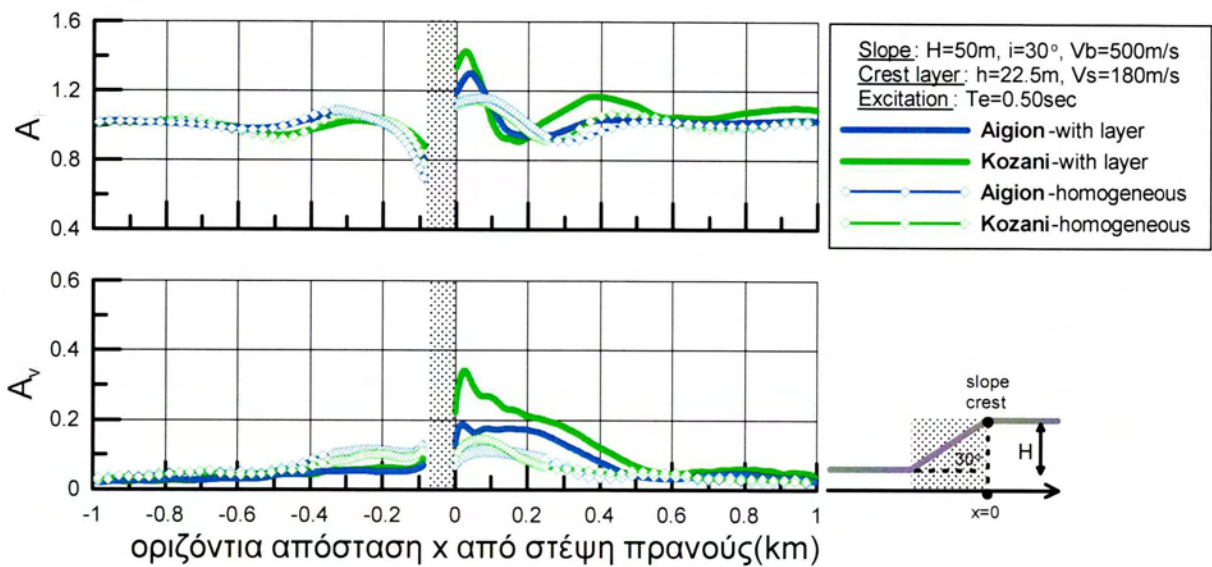
Στη συνέχεια, στα σχήματα 5.4 έως 5.6 παρουσιάζεται η σύγκριση της χωρικής μεταβολής των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στις δύο διευθύνσεις ($A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{h,ff}$), για τις περιπτώσεις ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου πρανούς, για την περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη (χωρίς την κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

- $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 5.4)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 5.5)
- $i=30^\circ$ $T_e=0.80\text{sec}$ A_h & A_v (Σχήμα 5.6)

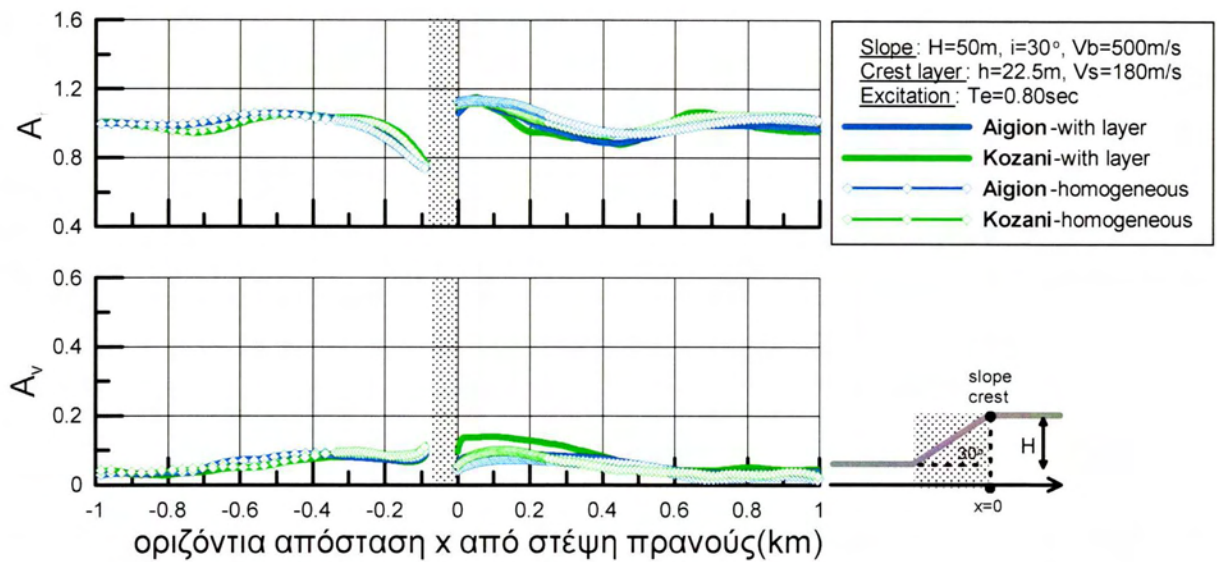
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με χρήση διαφορετικού χρώματος καμπυλών. Επισημαίνεται η χρήση συμβόλων (ρόμβοι) για τις αναλύσεις ομοιόμορφου πρανούς και αντίστοιχου χρώματος συνεχών γραμμών για εκείνες με «μαλακή» στρώση.



Σχήμα 5.4. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.5. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.6. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ πίσω από τη στέψη, $V_s=180\text{m/s}$) πρανούς, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.8\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κύκλους ($\xi=5\%$)

Από τη δεύτερη ομάδα σχημάτων (5.4-5.6) καταλήγουμε στο ότι οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v επηρεάζονται αυξητικά από την ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης παρά μόνο στην περιοχή κοντά στη στέψη του πρανούς και αυτό μάλιστα για το συντονισμό και τις υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e \leq 0.5 \text{sec}$). Να τονιστεί συγκεκριμένα πως η ενίσχυση πίσω από τη στέψη είναι σαφώς πιο έντονη για την κανονικοποιημένη μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση A_v , παρά για την οριζόντια A_h .

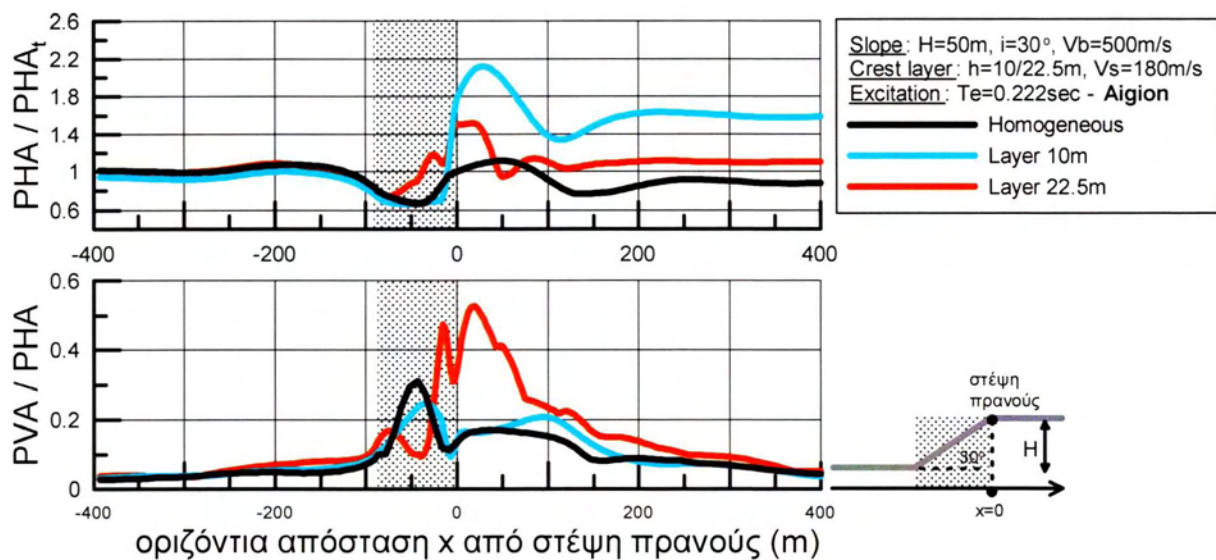
Από την απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με τα αποτελέσματα των αναλύσεων για ομοιόμορφο πρανές (Κοντογιάννη (2013)) παρατηρούνται ενισχύσεις στους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης ιδιαίτερα πίσω από τη στέψη του πρανούς, οι οποίες άλλοτε είναι σημαντικές και άλλοτε όχι τόσο.

5.3 Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών

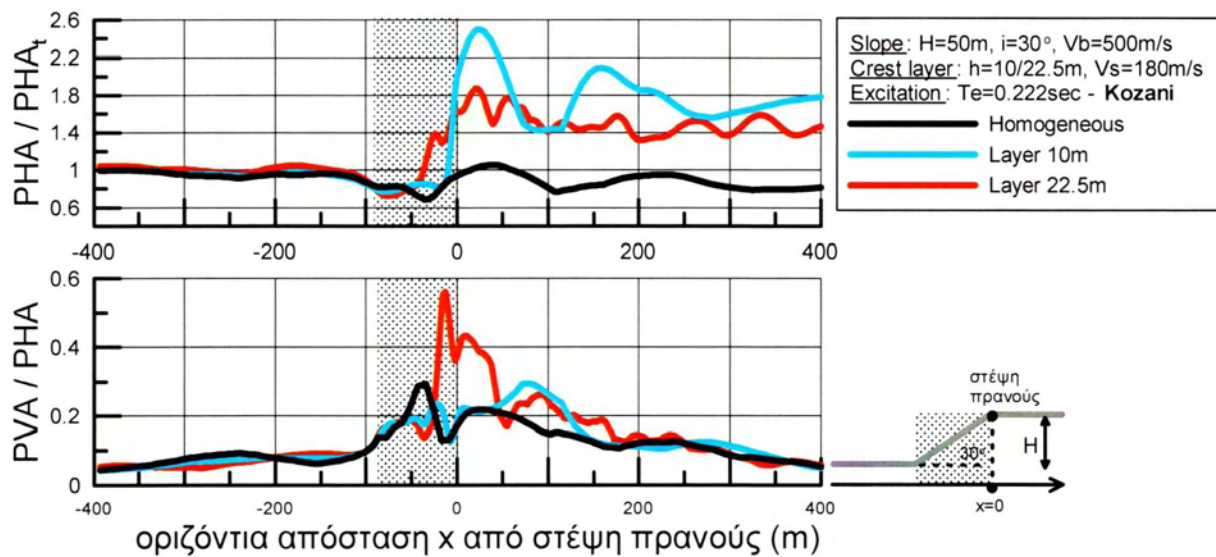
Λόγω των παραπάνω αποτελεσμάτων αλλά και για να υπάρχει μια σαφή εικόνα της κατάστασης κρίνεται απαραίτητο να γίνει και σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ (παρούσα εργασία) με τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις που έχουν γίνει για ομοιόμορφο (βραχώδες) πρανές και πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ (Κοντογιάννη (2013)), για τις κοινές δεσπόζουσες περιόδους T_e και των τριών κατηγοριών.

Αρχικά, στα παρακάτω σχήματα 5.7 έως 5.10 παρουσιάζεται η σύγκριση της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας ($PHA/PHA,t$) και (παρασιτικής) κατακόρυφης (PVA/PHA) επιτάχυνσης ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων πρανών ($h=10\text{m}$ & $h=22.5\text{m}$) σε μια περιορισμένη περιοχή (-400m έως 400m), εστιάζοντας έτσι και στην κεκλιμένη περιοχή του πρανούς, για τους εξής συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

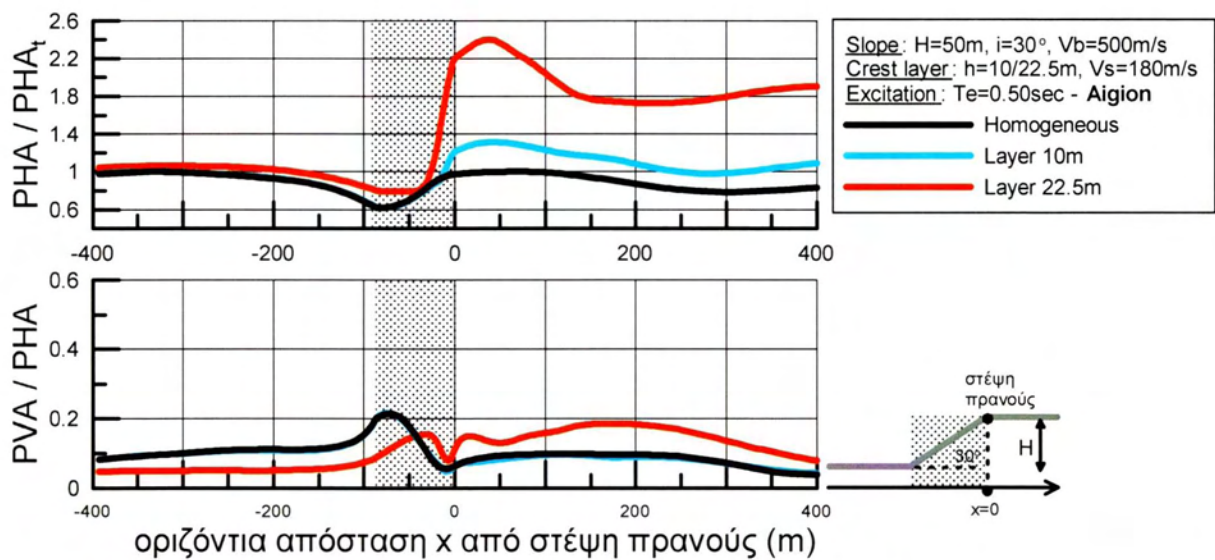
- i. $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ $PHA/PHA,t$ & PVA/PHA , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.7) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.8)
- ii. $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ $PHA/PHA,t$ & PVA/PHA , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.9) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.10)



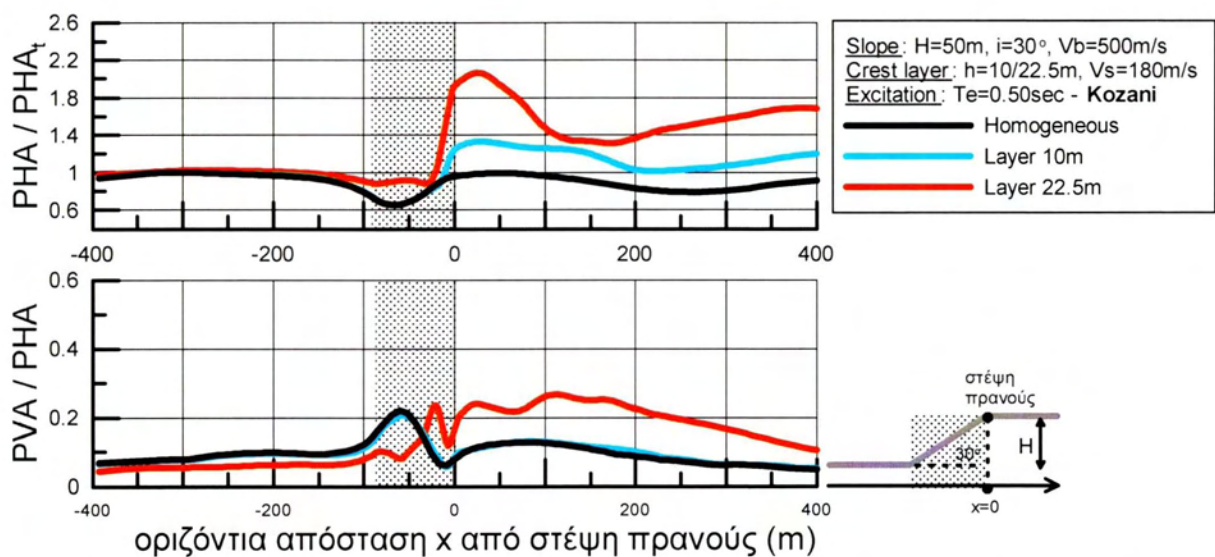
Σχήμα 5.7. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.8. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.9. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο ($\xi=5\%$)



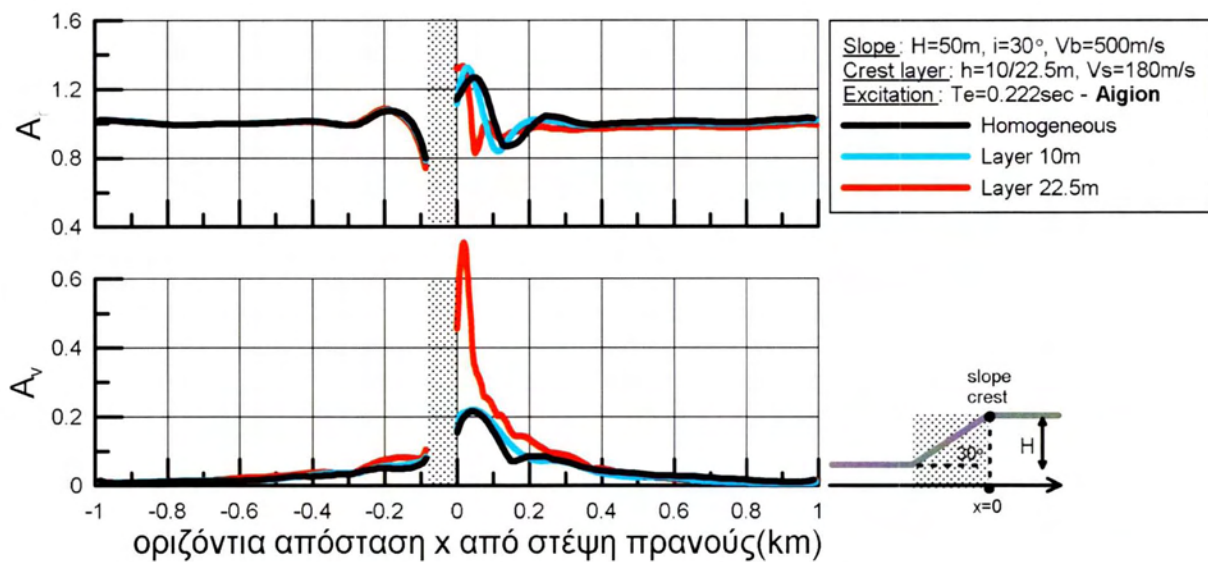
Σχήμα 5.10. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -400m έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)

Από την παραπάνω ομάδα σχημάτων (5.7-5.10) καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

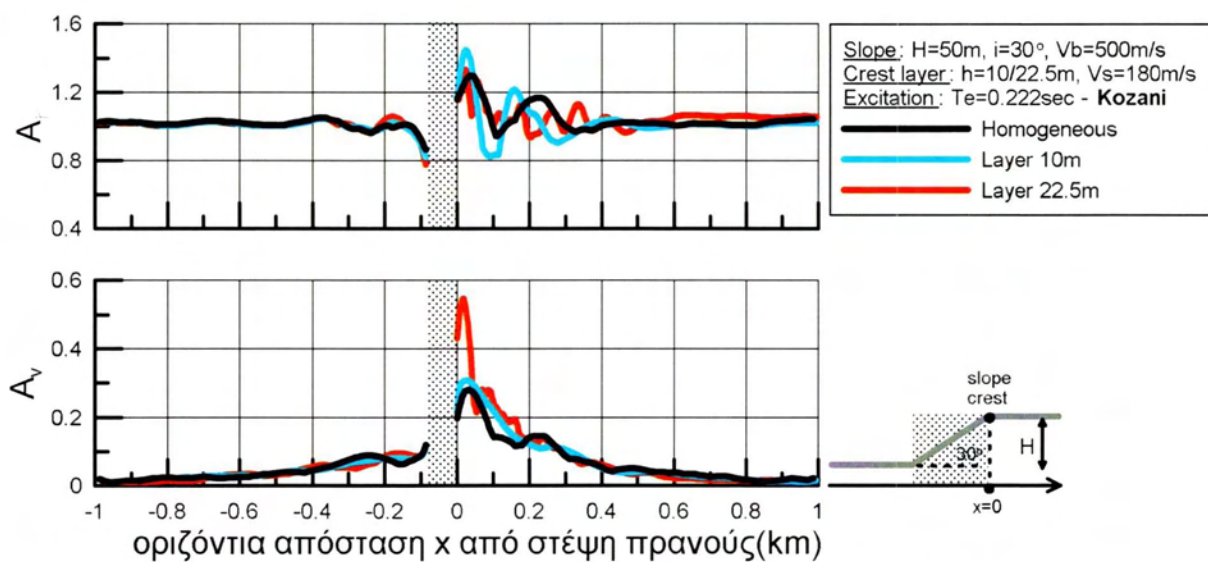
- Η περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς μένει ανεπηρέαστη από την ύπαρξη ή μη της «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη, είτε αυτή είναι μεγάλη είτε είναι μικρή.
- Για την περιοχή ενδιαφέροντος (πίσω από τη στέψη) όπως αναφέρθηκε και στα συμπεράσματα της παραγράφου 5.2, οι ενισχύσεις στην οριζόντια διεύθυνση είναι πιο έντονες κατά το συντονισμό με την ιδιοπερίοδο της «μαλακής» στρώσης και λιγότερο στις άλλες περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, για τη «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ κατά το συντονισμό ($T_s=T_e=0.222\text{sec}$), παρατηρούμε ότι η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης είναι τόσο μεγάλη που ξεπερνά την ενίσχυση της «μαλακής» στρώσης πάχους $h=22.5\text{m}$ ουσιαστικά (Σχ. 5.7-5.8). Το αντίστοιχο ισχύει και κατά το συντονισμό για τη «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$ ($T_s=T_e=0.5\text{sec}$) (Σχ. 5.9-5.10).
- Αντίθετα, για την ενίσχυση της μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης φαίνεται ότι επηρεάζεται εντονότερα κατά τις υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e=0.222\text{sec}$, για την «μαλακή» στρώση πάχους $h=22.5\text{m}$) παρά κατά το συντονισμό.

Στη συνέχεια, στα σχήματα 5.11 έως 5.14 παρουσιάζεται η σύγκριση της χωρικής μεταβολής των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στις δύο διευθύνσεις ($A_h=a_h/a_{h,ff}$ και $A_v=a_v/a_{h,ff}$), για τις περιπτώσεις ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων πρανών ($h=10\text{m}$ & $h=22.5\text{m}$), για την περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη (χωρίς την κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδυασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

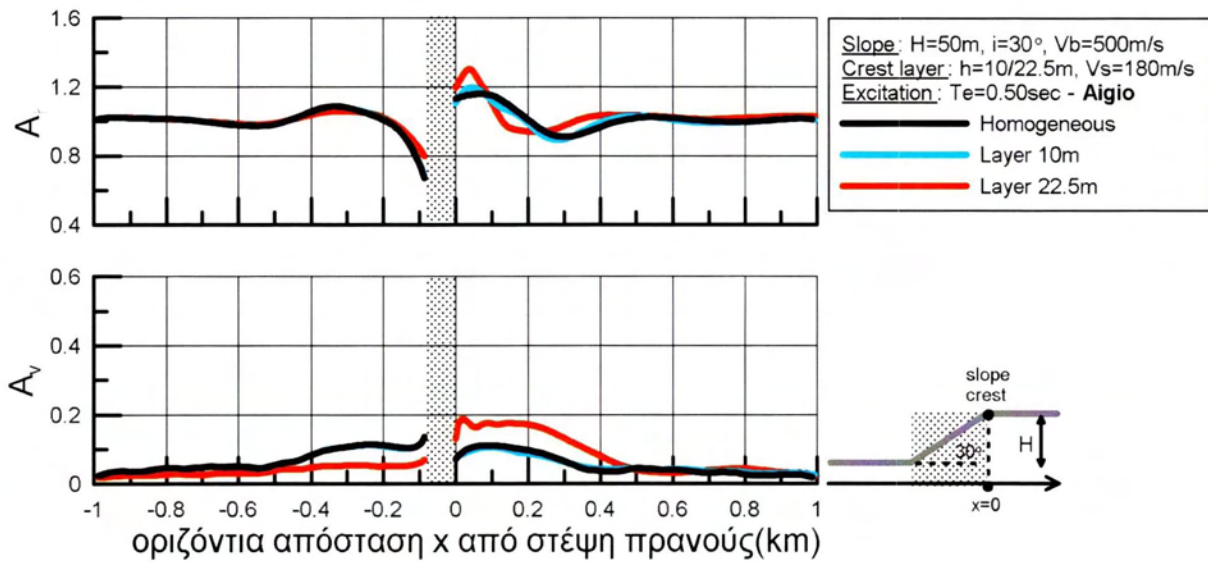
- i. $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ A_h & A_v , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.11) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.12)
- ii. $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ A_h & A_v , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.13) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.14)



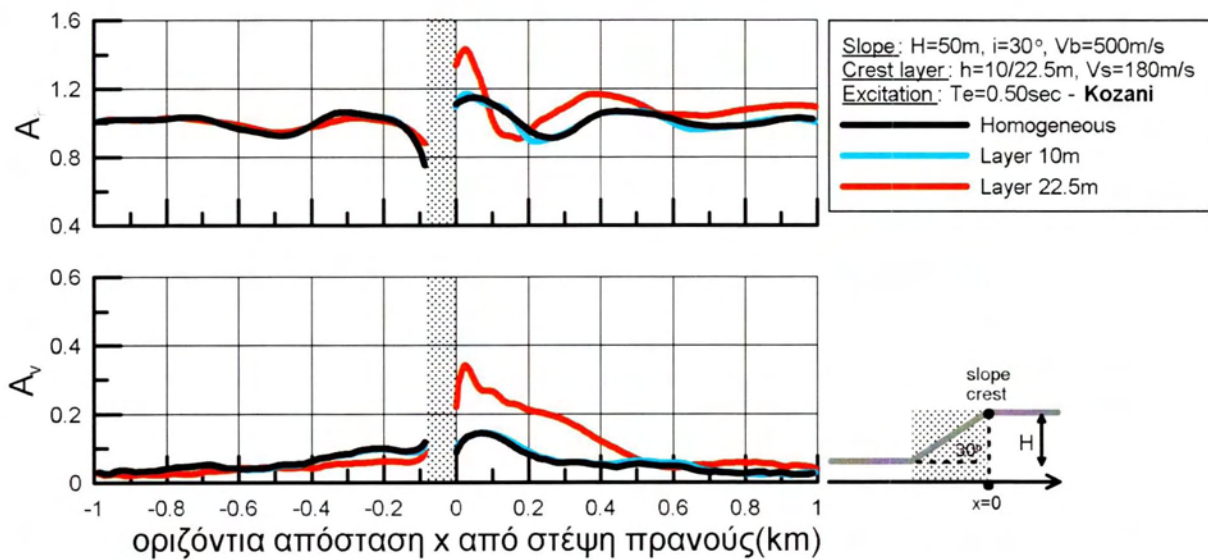
Σχήμα 5.11. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.12. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.13. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο ($\xi=5\%$)



Σχήμα 5.14. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονιά ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφων (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $h=22.5\text{m}$ αντίστοιχα πίσω από τη στέψη) πρανών, στην περιοχή από -1km έως 1km από τη στέψη του, για μονοκλινή πρανή με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)

Από τη δεύτερη ομάδα σχημάτων (5.11-5.14) καταλήγουμε στο ότι οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v επηρεάζονται αυξητικά από την ύπαρξη της «μαλακής» στρώσης παρά μόνο στην περιοχή κοντά στη στέψη του πρανούς και αυτό μάλιστα για το συντονισμό και τις υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e \leq 0.5 \text{sec}$, για $h=22.5 \text{m}$ και $T_e \leq 0.222 \text{sec}$ για $h=10 \text{m}$). Να τονιστεί συγκεκριμένα πως η ενίσχυση πίσω από τη στέψη είναι σαφώς πιο έντονη για την κανονικοποιημένη μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση A_v , παρά για την οριζόντια A_h .

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω σχήματα 5.7 έως 5.14 καταλήγουμε στο πόρισμα πως δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το πάχος h της «μαλακής» στρώσης ως μέγεθος, αλλά η ιδιοπερίοδος αυτής T_s , η οποία βέβαια εξαρτάται από το πάχος αυτής αλλά όχι μόνο από αυτό ($T_s = 4h/V_s$). Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει ο λόγος T_s / T_e , ο οποίος όπως έχουμε προαναφέρει κρίνει τη διέγερση ως χαμηλόσυχη ($T_s / T_e < 1$), υψίσυχη ($T_s / T_e > 1$) ή συντονισμό ($T_s / T_e = 1$). Αναλυτικότερα, η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης επηρεάζεται περισσότερο κατά το συντονισμό, ενώ η ενίσχυση της μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης επηρεάζεται περισσότερο κατά τις υψίσυχνες διεγέρσεις.

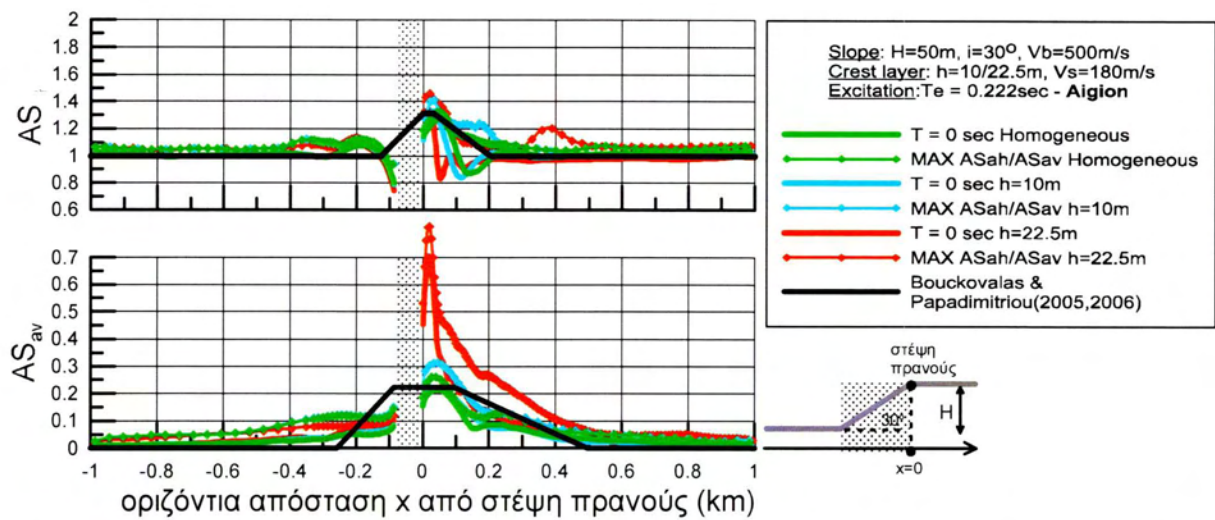
5.4 Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών

Για να ολοκληρωθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων μένει να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα όλων των προαναφερθέντων αναλύσεων (για ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο πρανές) ως προς τη χωρική διαφοροποίηση σε σύγκριση με τη χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) για ομοιόμορφο βραχώδες πρανές, όπως αυτή ορίστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

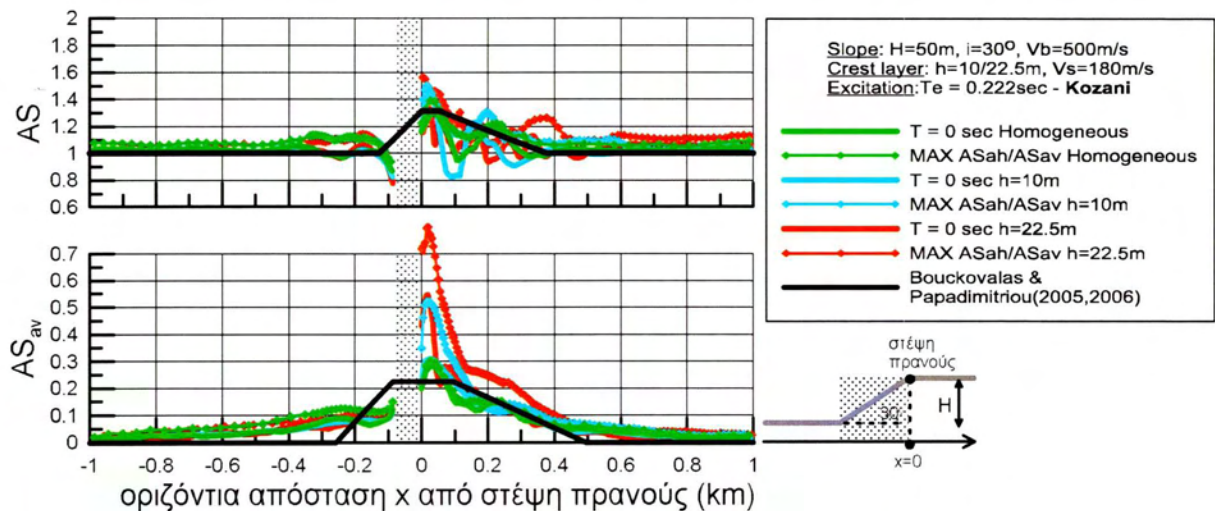
Έτσι, στα παρακάτω σχήματα 5.15 έως 5.18 παρουσιάζεται η σύγκριση της μέγιστης φασματικής επιδείνωσης ($\max AS_{ah} / \max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης ($T=0 \text{sec}$) για όλες τις περιπτώσεις πρανούς (ομοιόμορφο, μη-ομοιόμορφο ($h=10 \text{m}$) και μη-ομοιόμορφο ($h=22.5 \text{m}$)) με τη χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Paradimitriou (2005,2006) για ομοιόμορφο βραχώδες πρανές ύψους $H=50 \text{m}$ και $V_b=500 \text{m/s}$.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι εξής συνδυασμοί κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

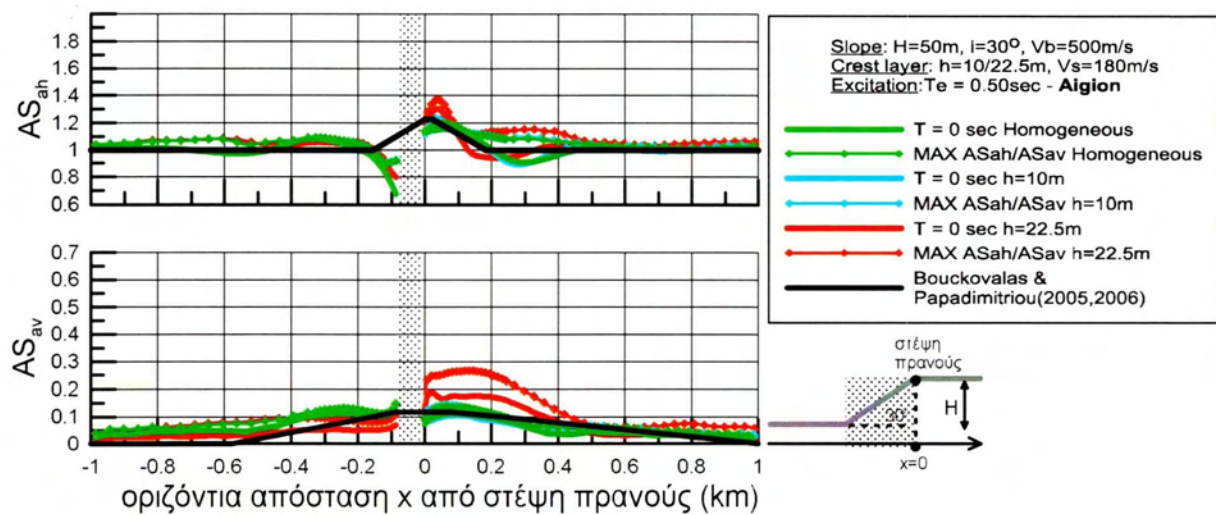
- i. $i=30^\circ$ $T_e=0.222 \text{sec}$ AS_{ah} & AS_{av} vs. x , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.15) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.16)
- ii. $i=30^\circ$ $T_e=0.50 \text{sec}$ AS_{ah} & AS_{av} vs. x , υπό τη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 5.17) και της Κοζάνης (Σχήμα 5.18)



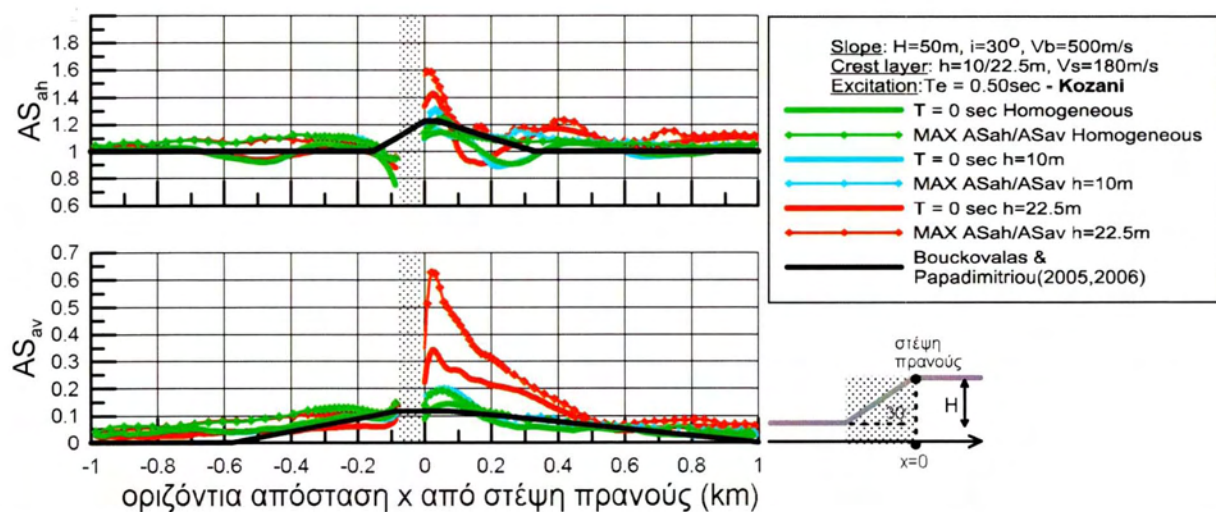
Σχήμα 5.15. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος ομοιόμορφου πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) και πρανών με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}/h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.16. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος ομοιόμορφου πρανούς ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) και πρανών με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}/h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.17. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος ομοιόμορφου πρανού ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) και πρανών με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}/h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανού ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.18. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος ομοιόμορφου πρανού ($i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$) και πρανών με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}/h=22.5\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, με χωρική περιβάλλουσα των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανού ($V=V_b=500\text{m/s}$)

Από τα σχήματα 5.15-5.18 συμπεραίνεται ότι:

- Για οποιαδήποτε κατηγορία πρανούς (ομοιόμορφο, μη-ομοιόμορφο ($h=10m$) και μη-ομοιόμορφο ($h=22.5m$)), μπροστά από τον πόδα τους πρανούς οι ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης αλλά και οι ενισχύσεις της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης φαίνεται να ταυτίζονται ή να έχουν ασήμαντες διαφορές για οποιαδήποτε δεσπόζουσα περίοδο T_e .
- Αντίθετα, στην περιοχή ενδιαφέροντος (γειτονιά πίσω από τη στέψη του πρανούς), παρατηρείται πως με την αύξηση του πάχους της «μαλακής» στρώσης αρχίζουν να εμφανίζονται διαφορές στις ενισχύσεις (και στις δύο διευθύνσεις) τόσο της μέγιστης σεισμικής, όσο και της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης με έντονη διαφοροποίηση όταν πρόκειται για $h=22.5m$. Να τονιστεί πως αρκετά μακριά από τη στέψη του πρανούς οι διαφορές αυτές ελαχιστοποιούνται.
- Σε ό,τι αφορά την ισχύ των σχέσεων των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) για τη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, φαίνεται να την εκτιμούν ρεαλιστικά στο ομοιόμορφο πρανές αλλά και στην περίπτωση πρανούς με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10m$, ενώ όσο το πάχος της «μαλακής» στρώσης αυξάνει από κει και πέρα ($h=22.5m$) οι παραπάνω σχέσεις φαίνεται να υποεκτιμούν τις ενισχύσεις ιδιαίτερα στην (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}).
- Όσον αφορά τη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης, φαίνεται να υποεκτιμάται από τις σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) για οποιαδήποτε περίπτωση πρανούς (ομοιόμορφο και μη), αν και θα ήταν υπερβολικά συντηρητικό να σχεδιάζει κανείς με τη μέγιστη φασματική επιτάχυνση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Βασικά συμπεράσματα: Μονοκλινή πρηνή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία για την τοπογραφική επιδείνωση των μέγιστων σεισμικών επιταχύνσεων και ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στη γειτονία μονοκλινών πρηνών με επιφανειακή «μαλακή» στρώση εδάφους πίσω από τη στέψη έχουν ως εξής:

- Η ύπαρξη της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης δεν αλλάζει ποιοτικά την τοπογραφική επιδείνωση του πρηνούς, συγκριτικά με το τι θα προέκυπτε αν ήταν ομοιόμορφο. Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση (διαδοχικές θέσεις ενίσχυσης και απομείωσης της επιτάχυνσης) πίσω από τη στέψη, η οποία είναι εντονότερη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση.
- Η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης δεν είναι ενιαία, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής. Συγκεκριμένα, σε κάθε περίπτωση φαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για μικρές περιόδους κατασκευής, έως τη δεσπόμενη περίοδο διέγερσης T_e , ενώ για μεγαλύτερες περιόδους η φασματική τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται και πρακτικώς μηδενίζεται για πολύ μεγάλες περιόδους (π.χ. μεγαλύτερες του 1sec). Το πόσο σημαντική είναι η τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής εξαρτάται κυρίως από τη δεσπόμενη περίοδο διέγερσης, ενώ δεν εξαρτάται ουσιαδώς από τον αριθμό κύκλων της διέγερσης. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν και τους δύο φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} .

6.2 Βασικά συμπεράσματα: Συγκριτικά με τα ομοιόμορφα πρηνή και τα πρηνή με μικρότερη «μαλακή» στρώση

Μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων της παρούσας εργασίας με τα αποτελέσματα από προηγούμενες αναλύσεις για ομοιόμορφα πρηνή και πρηνή με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10m$ προκύπτουν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα για την επίδραση της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης πίσω από τη στέψη του πρηνούς:

- Η περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς μένει ανεπηρέαστη από την ύπαρξη ή μη της «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη, είτε αυτή είναι μεγάλη είτε είναι μικρή. Αντιθέτως, πίσω από την στέψη, όσο μεγαλώνει το πάχος της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης, οι τοπογραφικές επιδεινώσεις ενισχύονται συγκριτικά με το ομοιόμορφο πρανές. Οι ενισχύσεις αυτές (συγκριτικά με το ομοιόμορφο πρανές) είναι πολύ σημαντικότερες στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση (μπορεί να υπερβούν και το 200% για $h=22.5m$ τη στιγμή που οι αντίστοιχες ενισχύσεις για $h=10m$ μπορεί να φτάσουν το 90%), απ' ό,τι στην οριζόντια επιτάχυνση (που μπορούν να υπερβούν το 20% για $h=22.5m$ τη στιγμή που οι αντίστοιχες ενισχύσεις για $h=10m$ μπορεί να φτάσουν το 10%).
- Σε κάθε περίπτωση, η «μαλακή» στρώση οδηγεί σε ενίσχυση των τοπογραφικών επιδεινώσεων όταν $T_s/T_e \geq 1.0$, δηλαδή σε υψίσυχνες διεγέρσεις, η οποία αυξάνει όσο αυξάνει ο λόγος περιόδων T_s/T_e .

6.3 Επισκόπηση υπαρχουσών κανονιστικών διατάξεων

Τέλος, εστιάζοντας σε κριτική των υπαρχουσών κανονιστικών διατάξεων του EC8 σχετικά με την τοπογραφική επιδείνωση πλησίον μονοκλινών πρανών με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη προκύπτουν τα κάτωθι:

- Ο ενιαίος συντελεστής 20% ενίσχυσης της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης που προτείνει ο EC-8 ως επίδραση της «μαλακής» επιφανειακής στρώσης είναι ρεαλιστικού μεγέθους, μα κρίνεται ως υπερ-απλουστευτικός (π.χ. δεν λαμβάνει υπόψη το πάχος της στρώσης, τη συχνότητα της διέγερσης). Αντίθετα, ο EC-8 δεν προτείνει τοπογραφική επιδείνωση της κατακόρυφης επιτάχυνσης, γεγονός που θεωρείται έντονα προβληματικό ειδικά για πρανή με «μαλακή» επιφανειακή στρώση.
- Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη σαφούς καθορισμού του εύρους της λεγόμενης γειτονίας του πρανούς, καθώς η τοπογραφική επιδείνωση φθίνει με την απόσταση από το πρανές.

Επιπλέον, στην παρούσα εργασία παρατίθεται και η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) που αφορά προσεγγιστικές σχέσεις εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού και για τις δύο συνιστώσες κίνησης. Οι σχέσεις αυτές είναι απλές, και η εφαρμογή τους συνιστά χρήση ήδη υπαρχουσών πολυπαραμετρικών σχέσεων των Bouckovalas and Papadimitriou (2005,2006) για τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Μετά από απλή εφαρμογή στο πρανές που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, αλλά και μετά από ταυτόχρονη παράθεση όλων των περιπτώσεων που έχουν εξετασθεί μέχρι τώρα καταλήγουμε στο εξής γενικό συμπέρασμα:

- ✦ Οι σχέσεις αυτές εξασφαλίζουν λογικές προβλέψεις και η χρήση τους είναι επαρκής για ομοιόμορφα πρανή.
- ✦ Κρίνονται οριακά επαρκής για πρανή με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, καθώς σε υψίσυχνες διεγέρσεις φαίνεται να υποεκτιμούν ελάχιστα τις μέγιστες ενισχύσεις.
- ✦ Όσον αφορά πρανή με μεγαλύτερη «μαλακή» στρώση, όπως της παρούσας εργασίας ($h=22.5\text{m}$) οι σχέσεις αυτές φαίνεται να υποεκτιμούν σαφώς το φαινόμενο, εκτός από μεμονωμένες περιπτώσεις χαμηλόσυχνης διέγερσης που ίσως να έχουν λογικές προβλέψεις, χωρίς αυτό να τις κρίνει ασφαλής προς χρήση.

Επομένως, δεν προτείνεται η χρήση των συγκεκριμένων σχέσεων εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού για πρανή με «μαλακή» επιφανειακή στρώση πίσω από τη στέψη μεγαλύτερη από αυτή των 10m και κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου και ο καθορισμός επαρκών σχέσεων εκτίμησης της κατάστασης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία ενός ενιαίου κώδικα διατάξεων για πιθανή μελλοντική έκδοση του EC8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ashford S., Sitar N., Lysmer J., Deng N. (1997), "Topographic effects on the seismic response of steep slopes". Bulletin of the Seismological Society of America, 87(3): 701–709.
- [2] Assimaki D., Kausel E., Gazetas G. "Wave propagation and soil-structure interaction on a cliff crest during the 1999 Athens Earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 513-527, 2005
- [3] Assimaki D., Kausel E., Gazetas G. Soil-Dependent Topographic Effects: A Case Study from the 1999 Athens Earthquake, Volume 21, No. 4, pages 929–966, November 2005
- [4] George D. Bouckovalas, Achilleas G. Papadimitriou "Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25 (7-10): pp. 547-558, 2005
- [5] Μπουκοβάλας Γ. Δ., Παπαδημητρίου Α. Γ., Βασδέκης Σ., Βουβαχάκης Θ., Δρανδάκης Ε., Σοφιανού Ι. (2006), " Προσεγγιστικές Σχέσεις Επίδρασης Τοπογραφίας στη Σεισμική Εδαφική Κίνηση", Πρακτικά, 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Μάιος, Τόμος 2 σελ. 343-350
- [6] Κοντογιάννη Α., "Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στη γειτονία μονοκλινών πρανών", Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Φεβρουάριος 2013

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000121266

