

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ»**

**“TOPOGRAPHY EFFECTS ON THE PEAK SEISMIC
ACCELERATION AT THE GROUND SURFACE”**

Επιβλέπων Καθηγητής: Αχιλλέας Παπαδημητρίου

Φοιτήτρια: Τιμοθέου Θεοπίστη

ΒΟΛΟΣ 2008



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

Αριθ. Εισ.: 6973/1
Ημερ. Εισ.: 19-03-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2008
ΤΙΜ



στους γονείς μου Βαγγέλη και Χρυστάλλα
και την αδελφή μου Αλεξία,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	- 3 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 4 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή	- 6 -
1.1. Αντικείμενο	- 6 -
1.2. Ιστορική αναδρομή	- 6 -
1.3. Διάρθρωση της διπλωματικής.....	- 7 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Βιβλιογραφική Έρευνα	- 9 -
2.1. Γενικά	- 9 -
2.2. Τοπογραφία Πρανούς.....	- 12 -
2.3. Τοπογραφία Φαραγγιού	- 18 -
2.4. Τοπογραφία Λόφου	- 19 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων	- 24 -
3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας.....	- 24 -
3.2. Βαθμονόμηση Μεθοδολογίας	- 27 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Επίδραση Τοπογραφίας μορφής φαραγγιού στη σεισμική κίνηση	- 40 -
4.1. Γενικά	- 40 -
4.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	- 42 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Επίδραση Τοπογραφίας μορφής λόφου στη σεισμική κίνηση	- 53 -
5.1. Γενικά	- 53 -
5.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	- 55 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: Στατιστική επεξεργασία αριθμητικών αποτελεσμάτων τοπογραφικής επιδείνωσης	- 63 -
6.1. Γενικά	- 63 -
6.2. Τοπογραφία μορφής φαραγγιού	- 65 -
6.3. Τοπογραφία μορφής λόφου.....	- 84 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	- 103 -
7.1. Γενικά	- 103 -
7.2. Σεισμική απόκριση φαραγγιών	- 103 -
7.3. Σεισμική απόκριση λόφων	- 104 -
7.4. Περιορισμοί – Μελλοντική Έρευνα.....	- 106 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: Βιβλιογραφία	- 108 -

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσοι υποστήριξαν πρακτικά και ηθικά την προσπάθειά μου.

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Παπαδημητρίου Αχιλλέα, για την άριστη καθοδήγησή του, τις πολύτιμες υποδείξεις του και την καταπληκτική συνεργασία που είχαμε, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Η συνεχής υποστήριξή του, η διαρκής διαθεσιμότητά του και ο επιστημονικός του ζήλος, ενίσχυσαν τις προσπάθειές μου για την περάτωση αυτής της έρευνας.

Επίσης ευχαριστώ τους φίλους μου, που ενίσχυσαν την προσπάθειά μου αυτή, με την υποστήριξή που μου προσέφεραν, και τη συμπαράσταση που μου έδωσαν.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου. Τους γονείς μου, για την ηθική και υλική υποστήριξη, την αστείρευτη συμπαράσταση και τη δυνατότητα που μου έδωσαν, ώστε να αφοσιωθώ απερίσπαστα στην περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και την αδερφή μου για τις πολύτιμες υποδείξεις της, τη σημαντική βοήθειά της και την ψυχολογική υποστήριξη που μου έδειξε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιβλιογραφία βρίθει δημοσιεύσεων σχετικά με το σημαντικό ρόλο της τοπογραφίας του εδάφους στην ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Παρόλα αυτά, συστηματική και παραμετρική διερεύνηση της σχετικής επίδρασης βρέθηκε να έχει πραγματοποιηθεί μόνο για την περίπτωση μονοκλινούς πρανούς. Έτσι, στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται παραμετρική αριθμητική διερεύνηση της επίδρασης τοπογραφιών μορφής συμμετρικού φαραγγιού και συμμετρικού λόφου στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Σε κάθε περίπτωση, η εν λόγω επίδραση συγκρίνεται με την τοπογραφική επιδείνωση του αντίστοιχου μονοκλινούς πρανούς, δηλαδή του πρανούς με ίδιο ύψος H , κλίση πρανών i και απόσβεση εδάφους ξ που υποβάλλεται στην ίδια σεισμική διέγερση με δεσπόζον μήκος κύματος λ .

Πιο συγκεκριμένα, με χρήση του προγράμματος FLAC πραγματοποιήθηκαν ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις, για γραμμικό ομοιόμορφο έδαφος (απόσβεσης $\xi = 5\%$), που διαμορφώνει στην επιφάνεια τη ζητούμενη τοπογραφική ανωμαλία. Οι σεισμικές διεγέρσεις θεωρήθηκαν αρμονικής μορφής (10 κύκλων) και αντιστοιχούσαν σε κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV. Η επεξεργασία επικεντρώθηκε στην ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης και στην εμφάνιση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης μόνο στην επιφάνεια του εδάφους, πάντα σε σύγκριση με την απόκριση του οριζοντίου ομοιόμορφου εδάφους (πραγματικό ελεύθερο πεδίο).

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές κλίσεις i , για διαφορετικά αδιάστατα ύψη πρανών H/λ , και για διαφορετικά πλάτη B του πόδα φαραγγιού ή της στέψης του λόφου. Συγκεκριμένα, τα ανωτέρω μεγέθη στις παραμετρικές αναλύσεις έλαβαν τις παρακάτω τιμές:

- $i = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$
- $H/\lambda = 0.10, 0.20, 0.28, 0.45, 1.0$
- $B = 0.1H, H, 5H, 20H, \infty$ (μονοκλινές πρανές), όπου $H = 50\text{m}$.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 45 αναλύσεις για τοπογραφία μορφής φαραγγιού και 30 για μορφή λόφου. Οι αναλύσεις δείχνουν ότι στα φαράγγια σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μονοκλινή πρανή έχουμε αυξημένη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση στη στέψη, ενώ η επίδραση στην οριζόντια συνιστώσα είναι συγκρίσιμη. Για την περίπτωση λόφων προκύπτει ότι παίζει σπουδαίο ρόλο το αδιάστατο πλάτος B/H , όπου για μικρού εύρους λόφους ενισχύεται σημαντικά η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην κορυφή του λόφου, πάντα σε σύγκριση με εκείνη πίσω από τη στέψη του αντίστοιχου μονοκλινούς πρανούς.

Δεδομένης της σημαντικής χωρικής διαφοροποίησης της σεισμικής απόκρισης, για τη στατιστική επεξεργασία η έμφαση δόθηκε στις μέγιστες τιμές ενισχύσεων A και στις αποστάσεις μέχρι το

ελεύθερο πεδίο D, που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, σε θέσεις όπου η απόκριση έχει συστηματικά διαφορά μικρότερη του 10% από εκείνη του οριζοντίου ομοιόμορφου εδάφους. Οι τιμές των εν λόγω μεγεθών A και D συγκρίθηκαν με τις τιμές των ίδιων μεγεθών για το εκάστοτε αντίστοιχο μονοκλινές πρανές, ώστε να προκύψει η επίδραση του αδιάστατου πλάτους B/H του φαραγγιού ή του λόφου στις τιμές τους. Η διαδικασία αυτή οδήγησε στον καταρτισμό προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης με σχετικό λάθος $\pm 30\%$. Επιπλέον, αυτή η διαδικασία δίνει τη δυνατότητα συνδυασμού των νέων σχέσεων με ήδη δημοσιευμένες προσεγγιστικές σχέσεις για τις τιμές των A και D για μεγάλο εύρος περιπτώσεων μονοκλινών πρανών, συνθέτοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Η βιβλιογραφία βρίθει δημοσιεύσεων σχετικά με το σημαντικό ρόλο της τοπογραφίας του εδάφους στην ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Παρόλα αυτά, συστηματική και παραμετρική διερεύνηση της σχετικής επίδρασης βρέθηκε να έχει πραγματοποιηθεί μόνο για την περίπτωση μονοκλινούς πρανούς. Έτσι, στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται παραμετρική αριθμητική διερεύνηση της επίδρασης τοπογραφιών μορφής συμμετρικού φαργγιού και συμμετρικού λόφου στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Σε κάθε περίπτωση, η εν λόγω επίδραση συγκρίνεται με την τοπογραφική επιδείνωση του αντίστοιχου μονοκλινούς πρανούς, δηλαδή του πρανούς με ίδιο ύψος H , κλίση πρανών i και απόσβεση εδάφους ξ που υποβάλλεται στην ίδια σεισμική διέγερση με δεσπόζον μήκος κύματος λ . Πέραν της συστηματικής διερεύνησης των ανωτέρω φαινομένων, απώτερος στόχος της παρούσας εργασίας είναι και η διατύπωση προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, για όλες τις συνήθεις μορφές τοπογραφίας.

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Από τη δεκαετία του '70 πειραματικές παρατηρήσεις (Griffiths & Bollinger 1979, Bard & Tucker 1985) υπεδείκνυαν την επιρροή που ασκεί ο τοπογραφικός παράγοντας στη σεισμική κίνηση. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν θεωρητικές μελέτες για τη εξεύρεση αριθμητικής λύσης στο πρόβλημα με αποτέλεσμα να εφαρμοσθούν όλες πρακτικά οι γνωστές αριθμητικές μέθοδοι (μέθοδοι εφαρμογής της θεωρίας των πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών, του «διακεκριμένου κυματικού αριθμού» κλπ), για τη διερεύνηση του φαινομένου διάδοσης δισδιάστατων κυμάτων εντός ομογενούς ελαστικού ημίχωρου με απλής μορφής τοπογραφική ανωμαλία στην επιφάνεια (Bouchon 1973, Wong & Jennings 1975, Sills 1978, Wong 1982, Sánchez Sesma 1983, Ohtsuki & Harumi 1983).

Οι περισσότερες εκ των δημοσιευμένων μελετών, μελετούν την τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης, αλλά δεν προχωρούν και σε διατύπωση απλών κριτηρίων σχεδιασμού. Μία εκ των εξαιρέσεων αποτελεί η εργασία των Μπουκοβάλα και Παπαδημητρίου 2006, που αφορά στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης λόγω μονοκλινούς πρανούς.

Η παρούσα εργασία βασίζεται και επεκτείνει την εν λόγω μελέτη για τοπογραφίες μορφής φαραγγιού και λόφου.

1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η εργασία αυτή αποτελείται από 7 κεφάλαια, με πρώτο το παρόν εισαγωγικό που παρουσιάζει το αντικείμενο και μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της παρουσίας πρανούς, λόφου και φαραγγιού στη σεισμική κίνηση με βάση τη βιβλιογραφία. Γίνεται παρουσίαση των βασικών παραδοχών που υιοθετούνται ευρέως για τις τρεις τοπογραφικές ανωμαλίες (γεωμετρική συμμετρία, ομογενής ελαστικός ημίχωρος, απλές γεωμετρίες κλπ) και ταυτόχρονα επισημαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Ακολουθεί διερεύνηση της επίδρασης των κύριων παραγόντων του προβλήματος (κλίση πρανούς κλπ) στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, ξεχωριστά για κάθε είδος τοπογραφικής ανωμαλίας.

Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση παραμετρικών αναλύσεων στην παρούσα εργασία (FLAC), περιγράφεται αναλυτικά στο Τρίτο κεφάλαιο. 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 εν λόγω κώδικα. Για την επιβεβαίωση της εγκυρότητας της υπολογιστικής μεθόδου σε προβλήματα επίδρασης τοπογραφικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση γίνεται επαλήθευση με τα αποτελέσματα διαπιστευμένης μεθοδολογίας από τη βιβλιογραφία. Διερευνώνται διάφοροι τύποι προσπιπτόντων κυμάτων για διάφορες τιμές συχνότητας, διαφορετικής κλίμακας γεωμετρίας, ποικίλων διαστάσεων κάρναβοι με διάφορα μεγέθη στοιχείων (elements), υπό ημιτονική φόρτιση. Σε όλες τις δοκιμαστικές αναλύσεις δόθηκε έμφαση στην τήρηση των προτεινόμενων από το εγχειρίδιο του προγράμματος αναλογιών και διαστάσεων.

Στο Τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της παρουσίας τοπογραφίας μορφής φαραγγιού στην επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι απλοποιητικές παραδοχές και παρατίθενται τα αποτελέσματα για διάφορες γεωμετρίες, εδαφικές συνθήκες, σεισμικές διεγέρσεις, πάντοτε σε σύγκριση με την απόκριση για το αντίστοιχο μονοκλινές πρανές.

Κατ' αντιστοιχία, στο Πέμπτο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση που ασκεί η λοφώδης μορφολογία του εδάφους στη σεισμική κίνηση και ειδικά στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Η μορφή της παρουσίασης και η λογική της σύγκρισης με το αντίστοιχο μονοκλινές πρηνές δανείζονται από το κεφάλαιο 4.

Στο Έκτο κεφάλαιο γίνεται η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στο 4^ο και 5^ο κεφάλαιο. Η έμφαση δίνεται στη μέγιστη ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης και στην απόσταση μέχρι το ελεύθερο πεδίο των διαφορών τοπογραφικών γεωμετριών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές για το μονοκλινές πρηνές.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση της επιρροής των ποικίλων τοπογραφικών μορφών στη σεισμική κίνηση, πάντα σε σχέση με αυτή των αντίστοιχων μονοκλινών πρηνών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Βιβλιογραφική Έρευνα

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

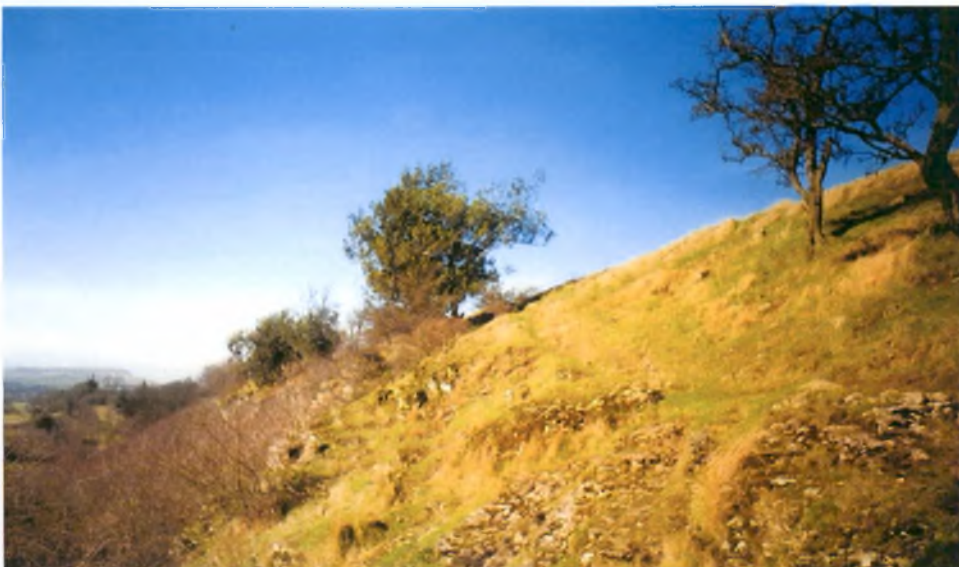
Η παρούσα εργασία βασίζεται στον ήδη γνωστό καταλυτικό ρόλο που παίζει η ύπαρξη ενός πρανούς (slope) στην ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους και την επεκτείνει με περαιτέρω έρευνα για λόφο (hill) και φαράγγι (canyon).

Με τον όρο **πρανές** εννοείται κάθε κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους, θετικής ή αρνητικής κλίσης i .



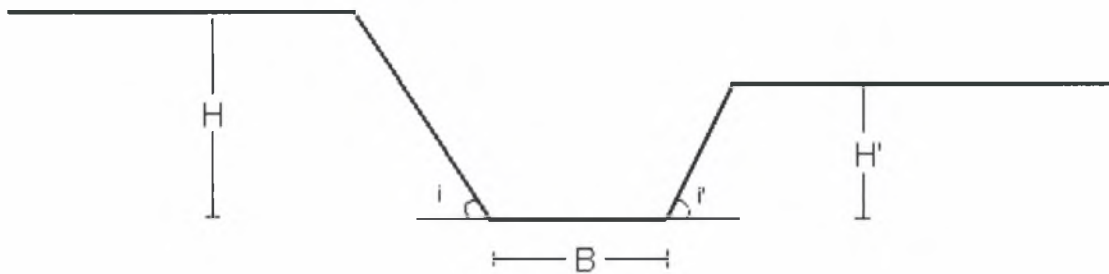
Όπου: H το ύψος του πρανούς.

Φωτογραφία 1: Φυσικό πρανές



Πηγή: <http://www.google.com+slopeimages>

Με τον όρο **φαράγγι** εννοείται οποιοδήποτε πλάτους κοιλάδα μεταξύ δύο πρανών - ίδιας ή διαφορετικής κλίσης, ίδιου ή διαφορετικού ύψους – συχνά διασχιζόμενη από ποτάμι. Ο μεγαλύτερος αριθμός των φαραγγιών έχει δημιουργηθεί από μακροχρόνια μετατόπιση ή και διάβρωση του υψηλότερου επιπέδου του εδάφους. Τα πρανή παραμένουν αναλλοίωτα λόγω των ανθεκτικών σε διάβρωση τοιχωμάτων. Η τυπική μορφή ενός φαραγγιού είναι η εξής:



Όπου: B είναι το πλάτος της κοιλάδας
H, H' τα ύψη των αντίστοιχων πλευρών
i, i' οι κλίσεις των αντίστοιχων πλευρών

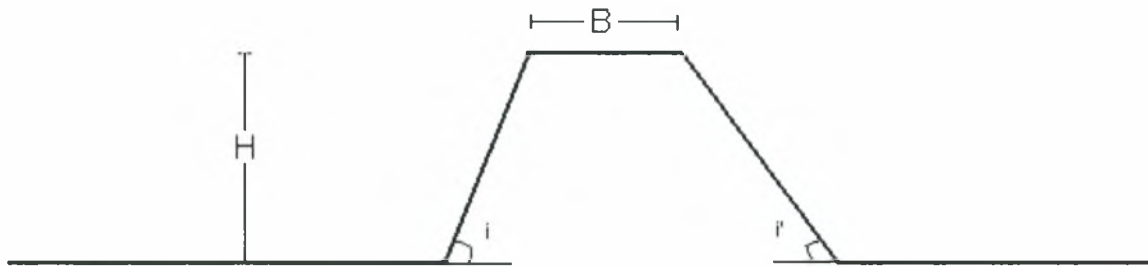
Οι κλίσεις των πρανών δεν είναι απαραίτητα ίδιες μεταξύ τους, όπως επίσης και το ύψος τους στις δύο πλευρές τους.

Φωτογραφία 2: Φυσικό φαράγγι (φαράγγι Αράδαινας)



Πηγή: <http://www.google.com+canyonimages>

Με τον όρο **λόφος** εννοείται κάποιος όγκος γης που εκτείνεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας έως και 200 μέτρα. Η τυπική μορφή ενός λόφου είναι η εξής:



Όπου: B είναι το πλάτος της κορυφής του λόφου

H, το ύψος του λόφου

i, i' είναι οι κλίσεις του λόφου στις δύο πλευρές του

Όπως και στο φαράγγι δεν είναι απαραίτητη η ομοιομορφία των πλευρών του λόφου.

Φωτογραφία3: Φυσικός λόφος (λόφος Γκορτσούλι)



Πηγή: <http://www.google.com+hillimages>

2.2. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ

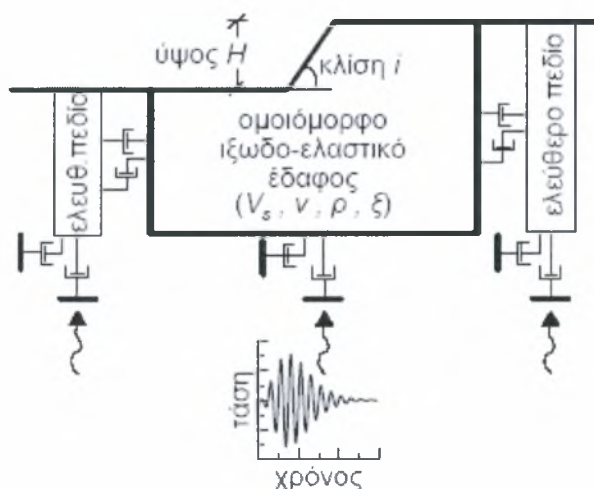
Συνοψίζοντας αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία (π.χ Ashford & Sitar 1997, Ashford et al 1998, Bouckonas & Paradimitriou 2005) για την τοπογραφική επιδείνωση λόγω μονοκλινούς πρानούσ προκύπτει ότι για τις πλείστες των περιπτώσεων η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας συνιστώσας της επιτάχυνσης (a_x) στην 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 πρानούσ 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 πρानούσ στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. 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 προέκυψαν από εκτεταμένες παραμετρικές αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca 1993). Το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδοελαστικό, ομοιόμορφο με $V_S = 500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu = 1/3$ και πυκνότητα $\rho = 2\text{Mg/m}^3$. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα 2Δ γεωμετρίας πρानούσ με τις συνοριακές συνθήκες των αναλύσεων. Συγκεκριμένα, οι αναλύσεις έγιναν με:

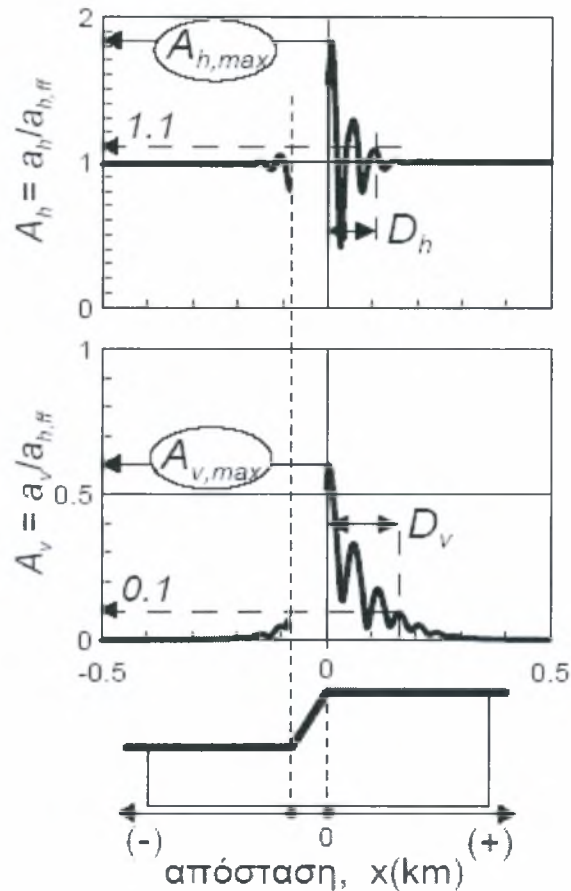
- 28000 έως 120000 τετραγωνικά στοιχεία, με μέγιστο ύψος $1/10 - 1/20$ του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ της διέγερσης,
- εύρος και ύψος του καννάβου ίσα με $20H$ και $5H$, αντίστοιχα, όπου H το ύψος του πρानούς,
- αποσβεστήρες στη βάση και σύνορα ελεύθερο πεδίου στα πλευρικά όρια του καννάβου, και
- επιβολή της σεισμικής διέγερσης μορφής αρμονικής ή παλμού Chang (βλέπε Σχήμα1) στη βάση του καννάβου ως χρονοϊστορία διατμητικής τάσης που αντιστοιχεί σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV.

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



Σχήμα 2.1: Τυπική 2Δ γεωμετρία αναλύσεων, συνοριακές συνθήκες και διέγερση βάσης (Μπουκοβάλας κ.α. 2006)

Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει τυπικά αποτελέσματα από τις αριθμητικές αναλύσεις για την περίπτωση πρανούς με κλίση $i = 30^\circ$, κανονικοποιημένο ύψος πρανούς $H/\lambda = 2.0$, απόσβεση $\xi = 5\%$ και έξι σημαντικούς κύκλους διέγερσης ($N = 6$).



Σχήμα 2.2: 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 επιφανείας. Η παράμετρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του ελεύθερου 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 2.2 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 πρηνούς. Οι επιδράσεις αυτές απομειώνονται με την απόσταση από το πρηνές, 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 πρηνούς, 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 εκτελέστηκαν 90 παραμετρικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του εδάφους με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης των κάτωθι παραμέτρων:

- της κλίσης του πρανούς $i(i^\circ)$ 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 2.2)

- 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 (Bouckovalas & Papadimitriou 2005):

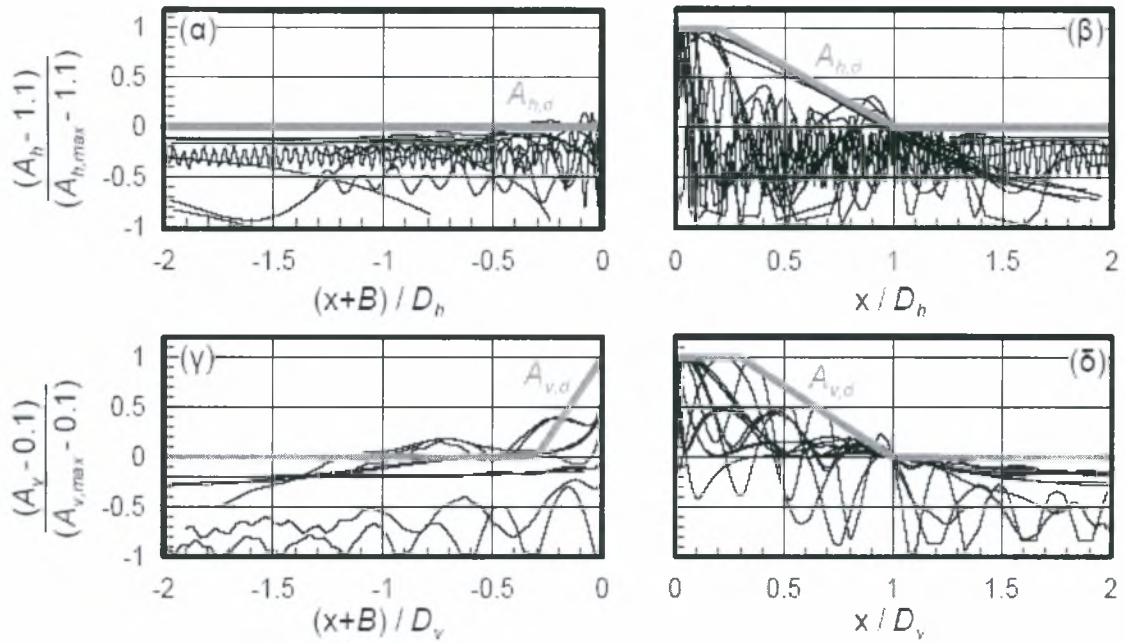
$$A_{h,max} = 1 + \frac{0.225(H/\lambda)^{0.4} \left(\frac{l^2 + 2l^8}{l^3 + 0.02} \right)}{1 + 0.9\xi} \quad (2.1)$$

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

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

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

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 2.3. 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 πρανού ($B = H/\tan i$) (Bouckovalas & Paradimitriou 2006)

Από τα παραπάνω αποτελέσματα ορίσθηκαν οι **περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$** με την απόσταση x από το πρανές, οι οποίες δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

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

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

2.3. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ

Οι αναλύσεις για τοπογραφία μορφής φαράγγιού ξεκινούν στη βιβλιογραφία από τις πρωτοποριακές εργασίες των Trifunac (1971, 1973) και Wong and Trifunac (1974), οι οποίοι ασχολήθηκαν κυρίως με την επίδραση P, και SV κυμάτων σε ημικυκλικά και ημιελλειπτικά φαράγγια. Μεταγενέστερες εργασίες περιλαμβάνουν την παραμετρική μελέτη ημι-ελλειπτικών φαραγγιών για κύματα P, SV και Rayleigh του Wong (1982) και την αντίστοιχη μελέτη ημικυκλικών φαραγγιών για κύματα SH των Chuhan & Chongbin (1988), η οποία έκανε για πρώτη φορά αναφορά σε τριγωνικά φαράγγια υπό διέγερση κυμάτων SH. Σε ό,τι αφορά τη μελέτη τριγωνικών αλλά και τραπεζοειδών φαραγγιών για κύματα P και SV σημαντική θεωρείται η μελέτη των Zhao & Valliappan (1993). Από τις αναλύσεις αυτές, προκύπτουν τα εξής γενικά συμπεράσματα σε σχέση με την τοπογραφική επιδείνωση φαραγγιών:

- α) Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας συνιστώσας έχει σημαντική γεωγραφική διαφοροποίηση που κυμαίνεται μεταξύ σημείων ενίσχυσης και σημείων απομείωσης της σεισμικής κίνησης σε σχέση με εκείνου του ελευθέρου πεδίου.
- β) Μη κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα οδηγούν σε σημαντικές ενισχύσεις της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης που φθάνουν έως 2.0 (για $\theta=60^\circ$) και έως 3.0 (για $\theta=90^\circ$) πίσω από τη στέψη του πρανούς προς το οποίο πρωτίστως προσπίπτουν, μια ενίσχυση που συνοδεύεται από απομείωση της κίνησης στο αντιδιαμετρικό πρανές.
- γ) Για κατακορύφως προσπίπτοντα SH κύματα και ημικυκλικό φαράγγι, οι συνήθεις τιμές ενίσχυσης της οριζόντιας συνιστώσας δεν υπερβαίνουν το 1.25 πίσω από τη στέψη και το 1.1 στον πόδα
- δ) Για κατακορύφως προσπίπτοντα SH κύματα και τριγωνικό φαράγγι, οι ενισχύσεις της οριζόντιας επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη είναι συνάρτηση τόσο του αδιάστατου ύψους H/λ , όσο και της γωνίας κλίσης i των πρανών, και κατά μέγιστο φθάνουν το 1.35 πίσω από τη στέψη και το 1.05 στον πόδα (κλίσεις $i=18, 34, 63^\circ$, $H/\lambda=0.125, 0.375$). Για αντίστοιχα SV κύματα, οι μέγιστες ενισχύσεις είναι μεγαλύτερες πίσω από τη στέψη (έως 1.8 για $H/\lambda=0.25$ και $i=63^\circ$), αλλά αρκετά μικρότερες στον πόδα (δεν υπερβαίνουν το 0.8).
- ε) Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τραπεζοειδή φαράγγια στη βιβλιογραφία δεν είναι εύκολο να γενικευτούν, καθώς μεταβάλλεται ταυτόχρονα τόσο το πλάτος του φαραγγιού στον πόδα B, όσο και οι κλίσεις i των πρανών. Αυτό που είναι σαφές είναι ότι το τριγωνικό φαράγγι δε δίνει αναγκαστικά τις μέγιστες ενισχύσεις (π.χ. 2.15 πίσω από τη στέψη ενός ορθογωνικού φαραγγιού ($i=90^\circ$) για $B/H = 3$ και $H/\lambda=0.25$), και ότι μεγάλες κλίσεις πρανών μπορούν να δώσουν και μεγάλες παρασιτικές κατακόρυφες συνιστώσες.

Ενδεικτικά, στο Σχήμα 2.4 δίνονται τα αποτελέσματα της τοπογραφικής ενίσχυσης στην οριζόντια A_u και κατακόρυφη συνιστώσα A_v με την απόσταση από τον πόδα τριγωνικών φαραγγίων τριών διαφορετικών κλίσεων πρανών $i=18, 34, 63^\circ$ και για δύο διαφορετικά αδιάστατα ύψη $H/\lambda=0.125$ και 0.375 .

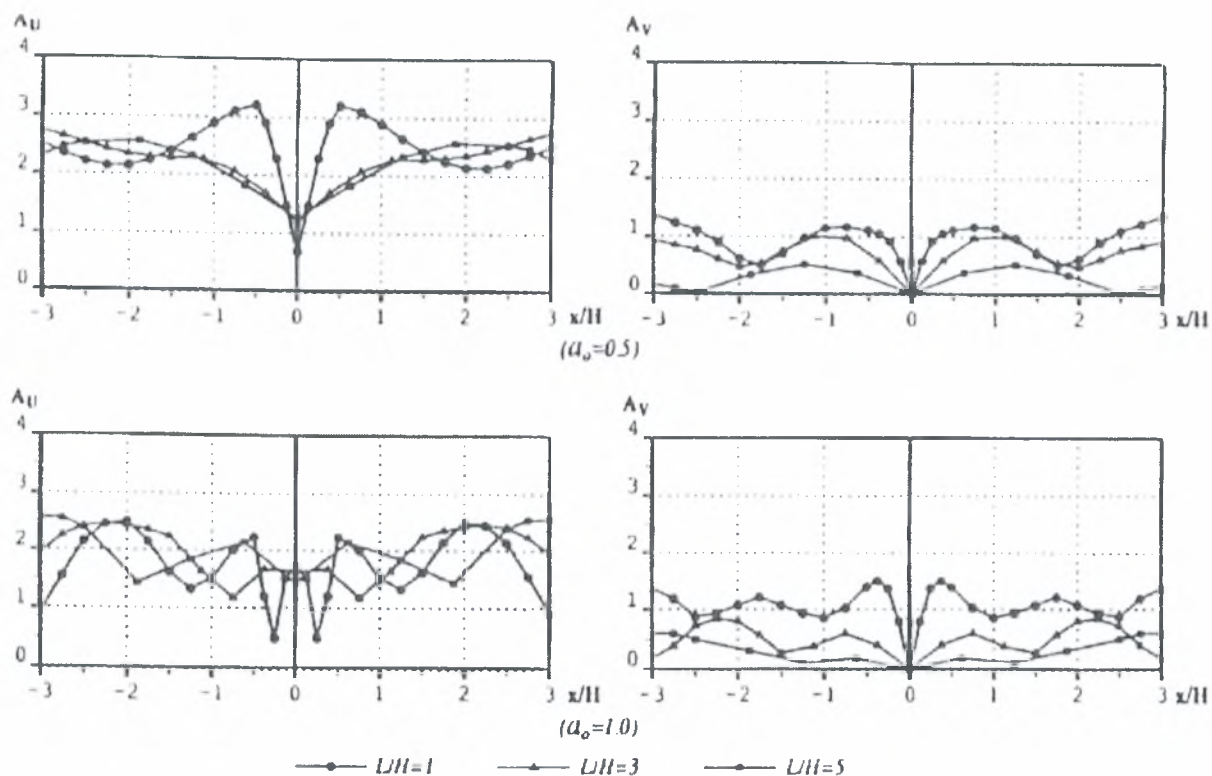


Figure 6. Distributions of displacement amplitudes along V-shaped canyons due to SV wave incidence ($\theta = 0^\circ$)

Σχήμα 2.4: Τοπογραφική ενίσχυση στην οριζόντια A_u και κατακόρυφη συνιστώσα A_v με την απόσταση από τον πόδα τριγωνικών φαραγγίων τριών διαφορετικών κλίσεων πρανών $i=18, 34, 63^\circ$ και για δύο διαφορετικά αδιάστατα ύψη $H/\lambda=0.125$ και 0.375 (Zhao & Valliappan 1993)

2.4. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΛΟΦΟΥ

Σε αντιστοιχία με την τοπογραφία των φαραγγίων, δεδομένου ότι στη φύση, εν γένει, δεν απαντώνται συμμετρικά σχήματα, το εν λόγω πρόβλημα έχει επίσης σύνθετο και συγκεκριμένα τρισδιάστατο χαρακτήρα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον τυχηματικό χαρακτήρα του σεισμικού φαινομένου, καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την προσπάθεια εξαγωγής απτών συμπερασμάτων.

Για να περιοριστεί η αλληλεμπλοκή πολλών παραγόντων και να γίνει δυνατή η διακριτοποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν το πρόβλημα, στη βιβλιογραφία υιοθετούνται συνήθως κάποιες βασικές παραδοχές:

α) Γεωμετρική συμμετρία.- Προσομοίωμα λόφου για το οποίο κατακόρυφες τομές με διευθύνσεις αυτές των δύο οριζοντίων κυρίων αξόνων απεικονίζουν επίπεδα σχήματα συμμετρικά ως προς κατακόρυφο άξονα (π.χ. ημιέλλειψη, ημικύκλιο κλπ). Με τη θεώρηση αυτή το πρόβλημα «εκφυλίζεται» σε δισδιάστατο. Στις περισσότερες από τις σχετικές μελέτες που υιοθετούν γεωμετρική συμμετρία, η τρίτη (εκτός επιπέδου) διάσταση θεωρείται ότι εκτείνεται μέχρι το άπειρο, δηλαδή ο λόφος θεωρείται απειρομήκης.

β) Ομοιογενής ιξωδο-ελαστικός ημίχωρος.- Η θεώρηση αυτή γίνεται κυρίως για την απλοποίηση των μαθηματικών σχέσεων και τη χρήση της ελαστικής θεωρίας μετάδοσης κυμάτων.

γ) Κατακόρυφη διάδοση κύματος.- Η κατακόρυφη διάδοση του προσπίπτοντος κυματισμού, σε συνδυασμό με γεωμετρική συμμετρία, οδηγεί σε απλοποίηση της εντατικής κατάστασης και της ανάλυσης, δεν απέχει δε ιδιαίτερα από την πραγματικότητα (τουλάχιστον σε μακρινούς σεισμούς). Ο λόγος είναι ότι σύμφωνα με το νόμο του Snell, η διεύθυνση διάδοσης του κυματικού πεδίου από το υπόβαθρο προς διαρκώς πιο εύκαμπτα υπερκείμενα στρώματα γίνεται όλο και πιο κατακόρυφη σε κάθε διεπιφάνεια στρωμάτων. Επιπλέον, η ύπαρξη εύκαμπτου εδαφικού στρώματος πλησίον της επιφάνειας, ούτως ή άλλως, πρακτικώς εξουδετερώνει την επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης β (Bard & Tucker 1985, Bouchon & Barker 1996).

Οι κύριες παράμετροι που φαίνεται να επηρεάζουν καθοριστικά την απόκριση στην περιοχή οποιασδήποτε τοπογραφικής ανωμαλίας μορφής λόφου είναι ο τύπος του κύματος (SV, SH, P κ.λ.π.), η διεύθυνση πρόσπτωσης του κυματισμού, η κλίση των πρανών του λόφου, η συχνότητα του προσπίπτοντος κύματος, και φυσικά τα χαρακτηριστικά της στρωματογραφίας.

Οι πιο πάνω παράγοντες είναι οι πλέον σημαντικοί στον καθορισμό της απόκρισης στην περιοχή του λόφου. Πέραν αυτών όμως, στη βιβλιογραφία αναφέρονται και κάποιες «δευτερεύουσες» επιδράσεις, όπως η παρουσία γειτονικών λόφων, ο πραγματικά τρισδιάστατος χαρακτήρας του προβλήματος (καθώς ο λόφος λειτουργεί ως κυματικό «δοχείο») κ.α.

Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται παρακάτω:

A) Συνθήκες αμελητέας τοπογραφικής επίδρασης.

Κύριες παράμετροι που καθορίζουν τα όρια επιρροής της τοπογραφικής ανωμαλίας στην επιφανειακή απόκριση του εδάφους κατά τη σεισμική διέγερση όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι: η γωνία κλίσης του πρανού i , το μήκος κύματος λ , τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της τοπογραφικής ανωμαλίας H και B (ύψος και πλάτος αντίστοιχα) και η απόσταση από τον πόδα του πρανού μέχρι το ελεύθερο πεδίο D_t . Η μελέτη βέβαια κάθε μιας από τις παραπάνω παραμέτρους χωριστά είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Τα διάφορα εξαγόμενα συμπεράσματα αφορούν στις περισσότερες δημοσιεύσεις μεμονωμένα παραδείγματα και γίνεται προσπάθεια εύρεσης της «περιβάλλουσας» των διαφόρων μεμονωμένων περιπτώσεων.

Επιρροή γωνίας κλίσης πρανού i

Η γεωμετρία της λοφώδους τοπογραφικής ανωμαλίας, προκαλεί σημαντική ενίσχυση ακόμη και για μικρές σχετικά γωνίες κλίσης. Από τις διάφορες βιβλιογραφικές αναφορές διαφαίνεται ότι ένα κάτω όριο για να θεωρηθεί αισθητή (της τάξης του 10% ενίσχυση ως προς το ελεύθερο πεδίο) η επίδραση της κλίσης του πρανού, είναι χονδρικά οι 10° . Οι παραπάνω τιμές επαληθεύονται και από αρκετές πραγματικές καταγραφές (ενδεικτικά Tarzana hill, Northridge 1994).

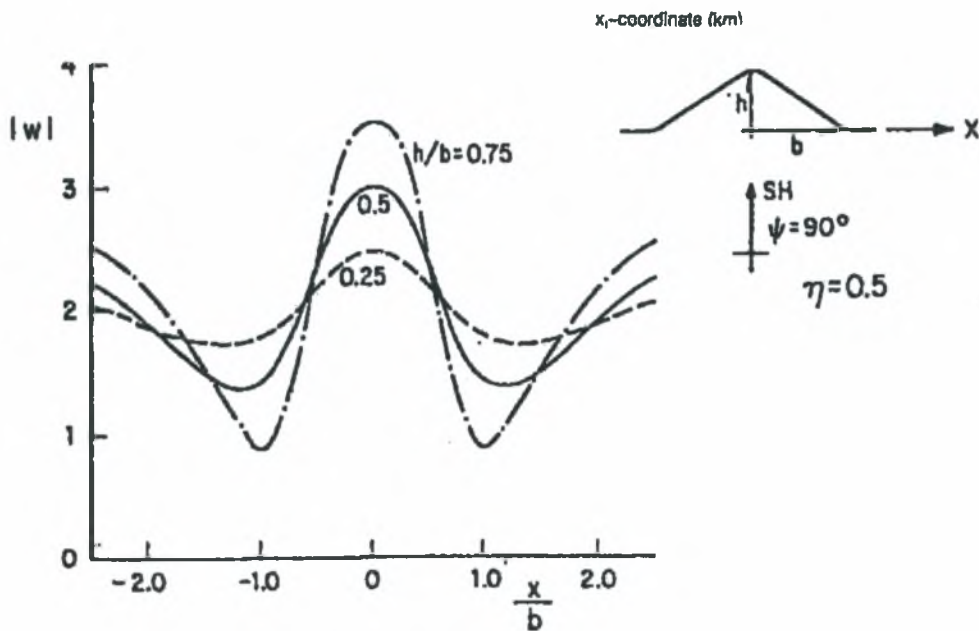
Επιρροή μήκους κύματος λ , ύψους H και ημιπλάτους B του λόφου

Καθορισμός της τιμής του μήκους κύματος λ πέραν της οποίας η επίδραση της τοπογραφίας θεωρείται αμελητέα, δεν μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του λοφώδους πρανού. Γενικότερο συμπέρασμα είναι ότι για μήκος κύματος της τάξης του ημιπλάτους B του λόφου, η απόκριση γίνεται μέγιστη (Durand 1999, Pedersen et al 1994, Bard 1992). Πρακτικότερα συμπεράσματα για την τιμή του λ μπορούν να προκύψουν έμμεσα, βάσει του εύρους των τιμών που χρησιμοποιούνται στο σύνολο των διαθέσιμων μελετών για τη διερεύνηση της εδαφικής ενίσχυσης: Χονδρικά ως κάτω όριο για την τιμή του λ θα μπορούσε να θεωρηθεί μια τιμή αρκετά μεγαλύτερη του $4H$ ($\lambda \gg 4H$). Εφόσον το H είναι εν γένει της τάξης του ημιπλάτους B παρόμοια σχέση μπορεί να διατυπωθεί και για το λ συναρτήσει του B (πάντως από τις διάφορες μεμονωμένες περιπτώσεις προκύπτει επιρροή ακόμα και για λ πλησίον του $8B$ (η τιμή αυτή αφορά ειδικά SH κυματισμό)).

Είναι προφανής με βάσει τα παραπάνω η αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραμέτρων λ , H και B . Άρα, για H και B προκύπτουν έμμεσα αντίστοιχες σχέσεις συσχέτισης: $H \ll 0.25\lambda$ και $B \ll 0.125\lambda$ (βάσει του $\lambda > 8B$, κατά τις παραπάνω διαπιστώσεις για την επιρροή του λ).

Ασφαλής απόσταση Dt από τον πόδα του πρανούς

Είναι λογικό όσο απομακρυνόμαστε από το λόφο να μειώνεται η επίδραση της τοπογραφίας. Αυτό παρατηρείται στην πράξη για κάποια απόσταση όμως από τον πόδα του λόφου. Συγκεκριμένα σε μία ζώνη πλησίον του λοφώδους πρανούς δεν είναι φθίνουσα η απόκριση συναρτήσει της απόστασης αλλά παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις. Το εύρος (Dt) αυτής της ζώνης (πέραν της οποίας θεωρείται ότι βρίσκεται το ελεύθερο πεδίο) εκτιμάται ότι αυξάνεται με την κλίση του πρανούς. Από μεμονωμένες περιπτώσεις προκύπτει ότι πρακτικά το ελεύθερο πεδίο απέχει κατ'ελάχιστο απόσταση $Dt=\lambda$ από τον πόδα του πρανούς για SH κύματα (Le Brun 1999). Σε διαφορετική έρευνα (Sanchez-Sesma 1982) προκύπτει η τιμή $Dt=1.5B$ (η μελέτη αφορούσε $B=\lambda/4$, Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5. Έυρος επιφανειακής απόκρισης για διαφορετικές γωνίες κλίσης πρανούς i ($\tan i = H/B$). Η τιμή της αδιάστατης συχνότητας είναι $n=0.5$. (Sesma et al 1982).

Πάντως άλλες δημοσιεύσεις δίνουν λιγότερο συντηρητικά αποτελέσματα (π.χ. για $Dt \approx 0.2B$ ενίσχυση 10% ως προς το ελεύθερο πεδίο). Τέλος όσον αφορά στα κύματα P έχουμε παρατηρήσεις μέχρι την τιμή $Dt=B$ όπου η ενίσχυση είναι ακόμα σημαντική.

B) Συνθήκες επίδρασης της τοπογραφίας και εύρη τιμών απόκρισης

	Σημείο Α (κορυφή λόφου)	Σημείο Β (πόδας λόφου)	Σημείο Γ (πλαγιά λόφου)
Εύρος w/w_{ff}	0.05÷3	0.1÷1.35	0.2÷2.3
Max w/w_{ff}	3	1.35	2.3
Συνθήκες «συντονισμού» ⁽¹⁾	$\eta \approx 1 \div 2$ ⁽²⁾	$\eta \approx 1.1 \div 1.2$ & $\eta \approx 2.0 \div 2.5$	$\eta \approx 2 \div 2.5$
Κύριοι παράγοντες	i, λ, Β	i, λ, Β	i, λ, Β
Δευτερογενείς παράγοντες	H ⁽³⁾ , μορφή λόφου (και β)	H ⁽³⁾ , μορφή λόφου (και β)	H ⁽³⁾ , μορφή λόφου (και β)
Παρατηρήσεις	Το κάτω όριο w/w_{ff} καθορίζεται από τη min τιμή για ημικυκλικό λόφο	Τα min, max όρια w/w_{ff} καθορίζονται από το εύρος τιμών για ημικυκλικό λόφο	Τα min, max όρια w/w_{ff} καθορίζονται από το εύρος τιμών για ημικυκλικό λόφο. ⁽³⁾ αρκετά χονδρική προσέγγιση
	⁽¹⁾ Για κάποια τιμή εντός του εύρους τιμών «η» που αναγράφεται εκτιμάται ότι εμφανίζεται η μέγιστη τιμή απόκρισης στο εξεταζόμενο σημείο. ⁽²⁾ Κατά Geli et al 1988, εκτιμάται ότι υπάρχει μία συχνότητα συντονισμού ειδικά για το πηλίκο απόκρισης κορυφής προς πόδα λόφου $\eta \approx 0.8$. ⁽³⁾ Προτιμάται η χρήση του Β στην προσομοίωση λοφώδους πρσανούς (Β & Η αλληλεξαρτώνται μέσω της γωνίας κλίσης)		

• w & w_{ff} είναι το πλάτος της μετατόπισης (ταχύτητας ή επιτάχυνσης) στην εξεταζόμενη θέση και στο ελεύθερο πεδίο, αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων

3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

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 διαγώνιος 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. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

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 πρότυπο με το οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα νέων μεθόδων (π.χ. Sesma et al 1985, Sesma & Campillo 1991, Chongbin & Valliappan 1993). 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 από τον Ohsaki (1973) 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:

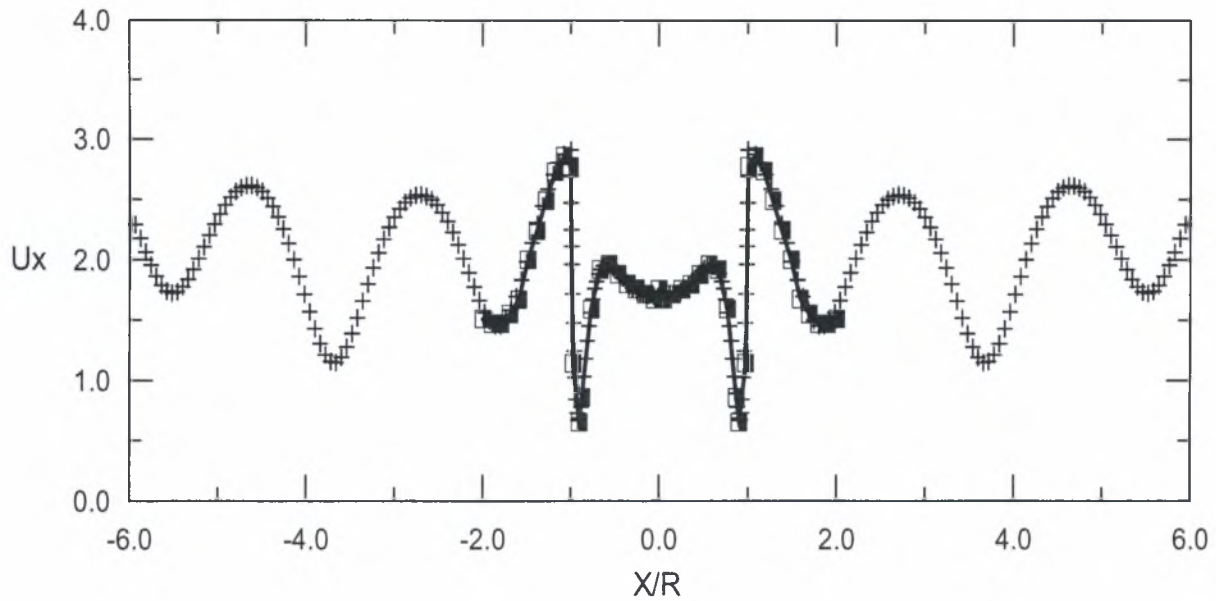
$$n = \frac{\alpha \cdot R}{\pi \cdot V}$$

όπου: R η ακτίνα του ημικυκλίου,

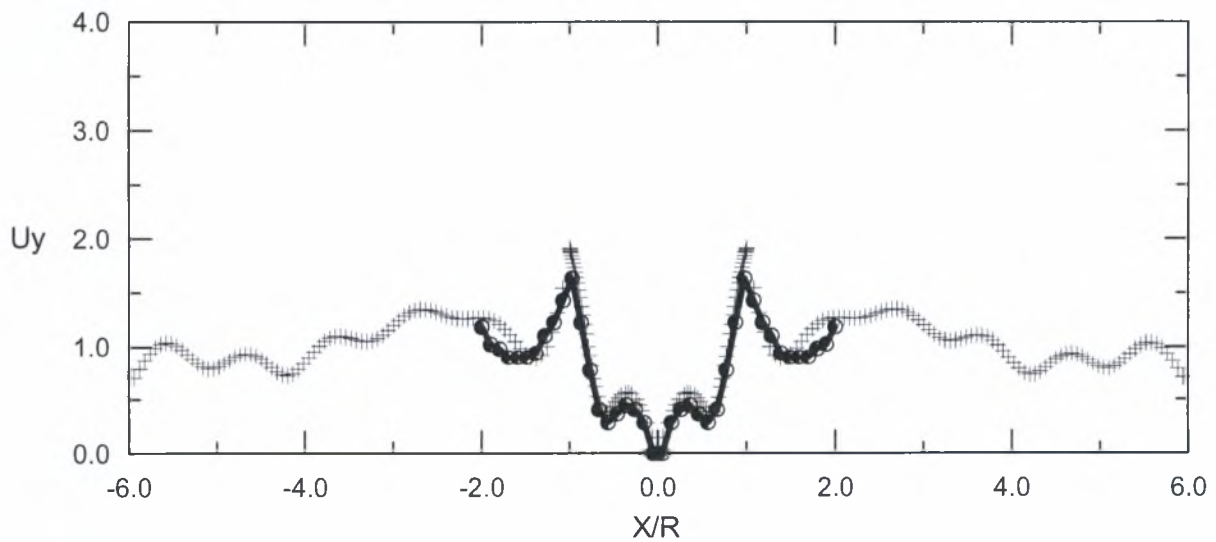
ω η κυκλική συχνότητα και

V η κυματική ταχύτητα του προσπίπτοντος σεισμικού κύματος.

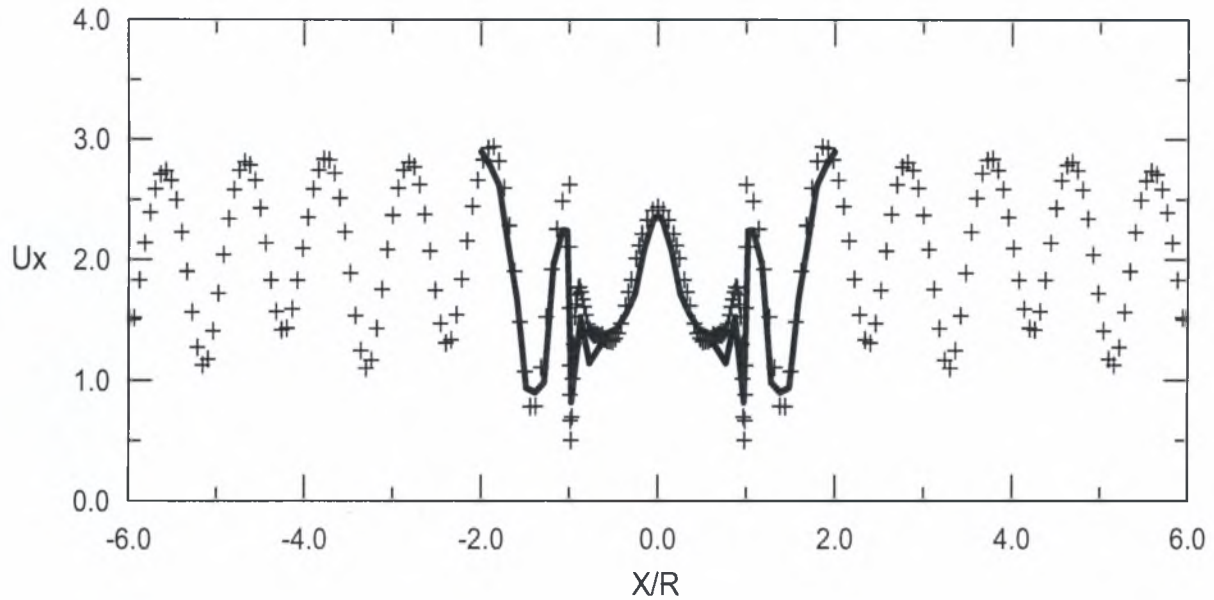
Το αρχικό πρόβλημα που ελέγχθηκε αναφέρεται στο εν λόγω προσομοίωμα με ακτίνα R=25m και για κατακόρυφη πρόσπτωση κύματος SV. Επιλέχθηκε κάρναβος διαστάσεων 300m x150m που αποτελείται από 200 x 150 στοιχεία. Δοκιμάστηκαν οι τιμές αδιάστατης συχνότητας $\eta=1$ και $\eta=2$ (Σχήμα 3.1, 3.2).



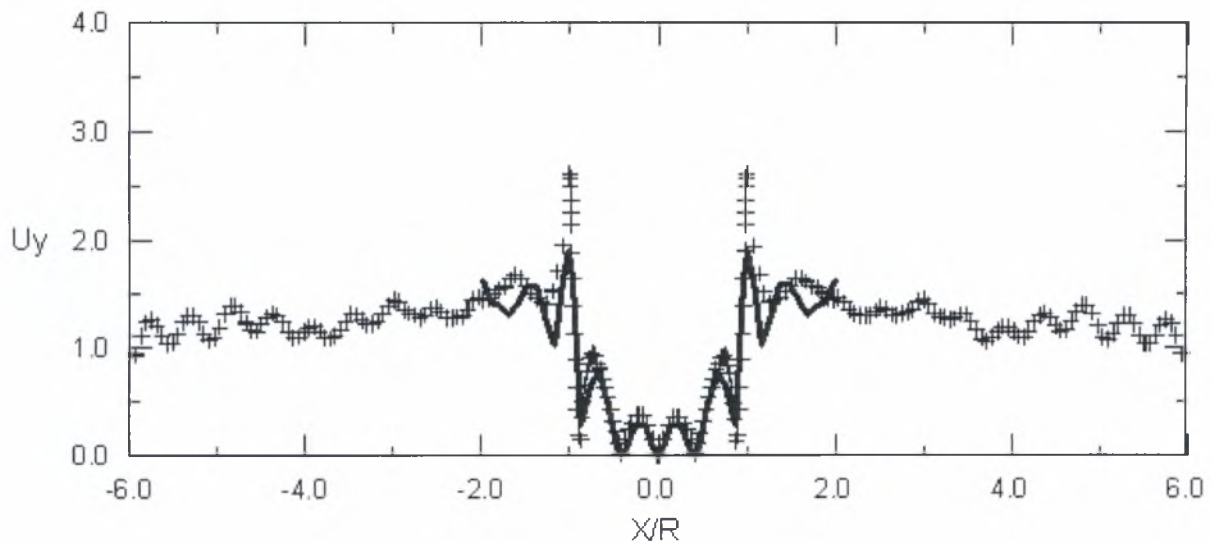
Σχήμα 3.1α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακόρυφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=1$ και ακτίνα φαραγγιού $R=25m$ (+FLAC, ■ Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .



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

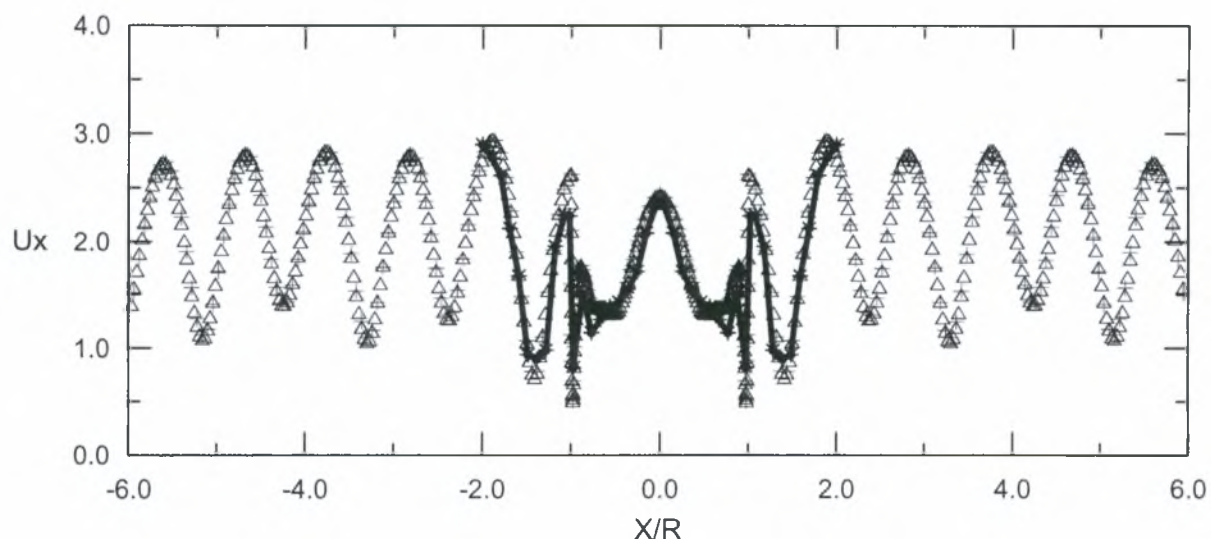


Σχήμα 3.2α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=2$ και ακτίνα φαραγγιού $R=25m$ (+ FLAC, — Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .

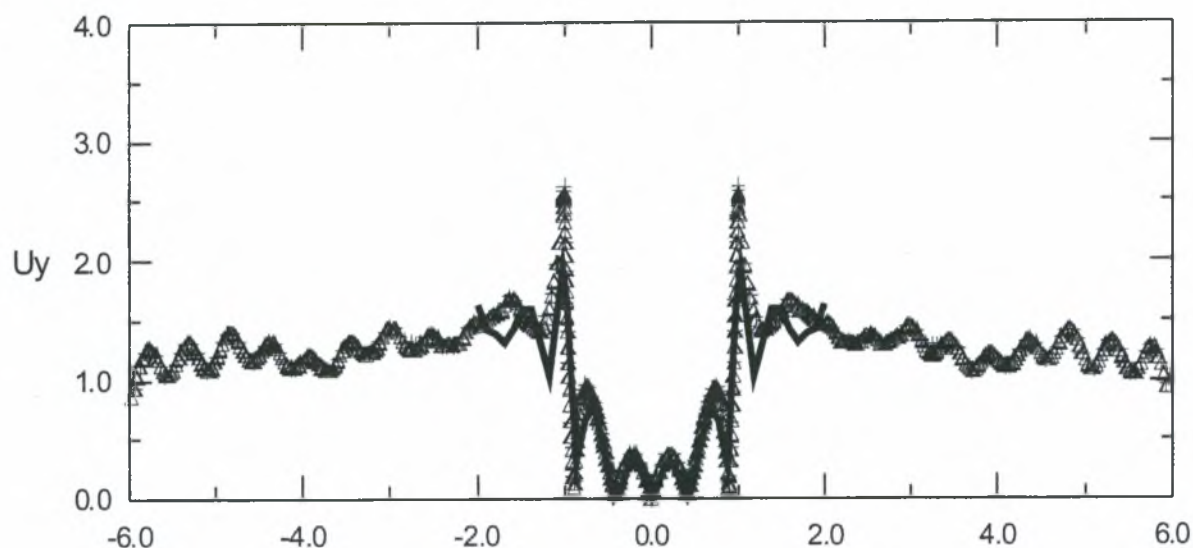


Σχήμα 3.2β Τοπογραφική ενίσχυση κατακόρυφης κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta = 2$ και ακτίνα φαραγγιού $R = 25m$ (+ FLAC, — Wong(1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .

Στα σχήματα αυτά παρατηρείται πολύ ικανοποιητική σύγκριση με τα αντίστοιχα κατά Wong. 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 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), Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία 200×150 (α) και 400×300 (β).



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), Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία 200×150 (α) και 400×300 (β).

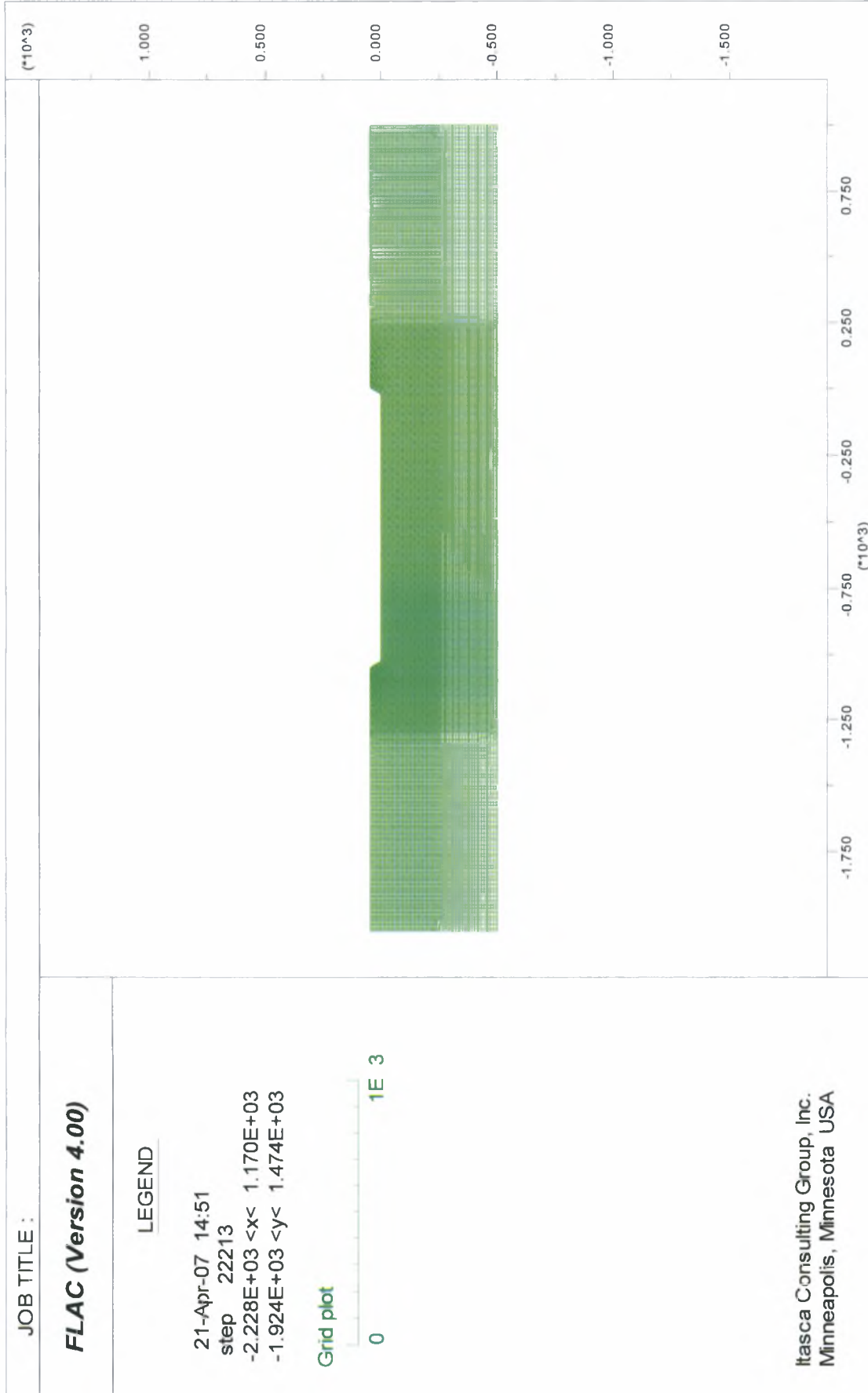
Πραγματοποιήθηκαν και άλλες αναλύσεις για διερεύνηση της αξιοπιστίας της χρήσης του FLAC. Συνοψίζοντας, η χρήση του FLAC μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για ελαστικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης με μέγιστο ύψος ζωνών dh_{\max} μεταξύ $\lambda/25$ και $\lambda/10$ επαρκείς οριζόντιες αποστάσεις 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 κάνναβοι που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας κατασκευάστηκαν υιοθετώντας τις αρχές που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Ενδεικτικά στο Σχήμα 3.4 δίνεται ένα παράδειγμα καννάβου για την ανάλυση σεισμικής απόκρισης φαραγγιού ($H/\lambda = 0.20$, κλίσης $i = 60^\circ$, εύρους βάσης $B = 20H$).

Για να μην υπάρχει λάθος στην εκτίμηση των ενισχύσεων, για κάθε περίπτωση φαραγγιού εκτελέστηκαν και δύο αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», μία για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μία για τη βάση του φαραγγιού. Έτσι, η εκτίμηση των ενισχύσεων είναι ακριβής, καθώς οι τιμές των παρονομαστών των λόγων που εκφράζουν την ενίσχυση δεν είναι επηρεασμένοι, πιθανώς, από τα σύνορα στις αναλύσεις του φαραγγιού. Πιο συγκεκριμένα, πέραν της ανάλυσης με κάνναβο σαν αυτό του Σχήματος 3.4, έγιναν και δύο αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», χρησιμοποιώντας τους καννάβους που δίνονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6, για την

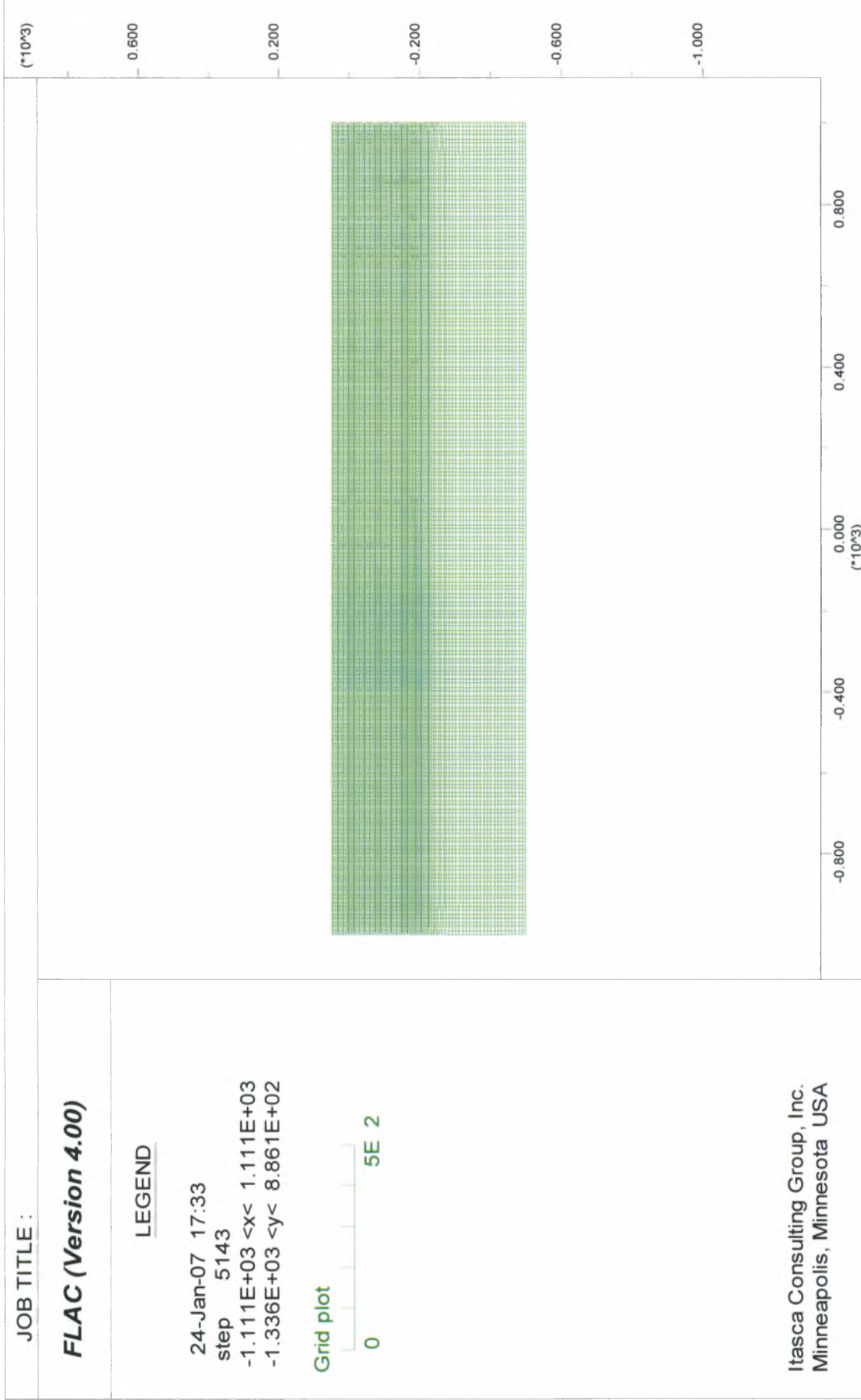
περιοχή πίσω από τη στέψη και για τη βάση του φαραγγιού, οι οποίοι κάρναβοι υποβάλλονται στην ίδια σεισμική διέγερση στη βάση, όπως και εκείνος του Σχήματος 3.4.

Η ίδια ακριβώς διαδικασία (3 αναλύσεων ανά εξεταζόμενη περίπτωση) εφαρμόσθηκε και στις αναλύσεις σεισμικής απόκρισης λόφων. Πιο συγκεκριμένα στο Σχήμα 3.7 δίνεται ο κάρναβος της ανάλυσης για λόφο ($H/\lambda = 60$, κλίσης $i = 45$ και εύρους στέψης $B = 20H$) και στα Σχήματα 3.8 και 3.9 οι αντίστοιχοι κάρναβοι για τις σχετιζόμενες αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου» στέψης και πόδα.

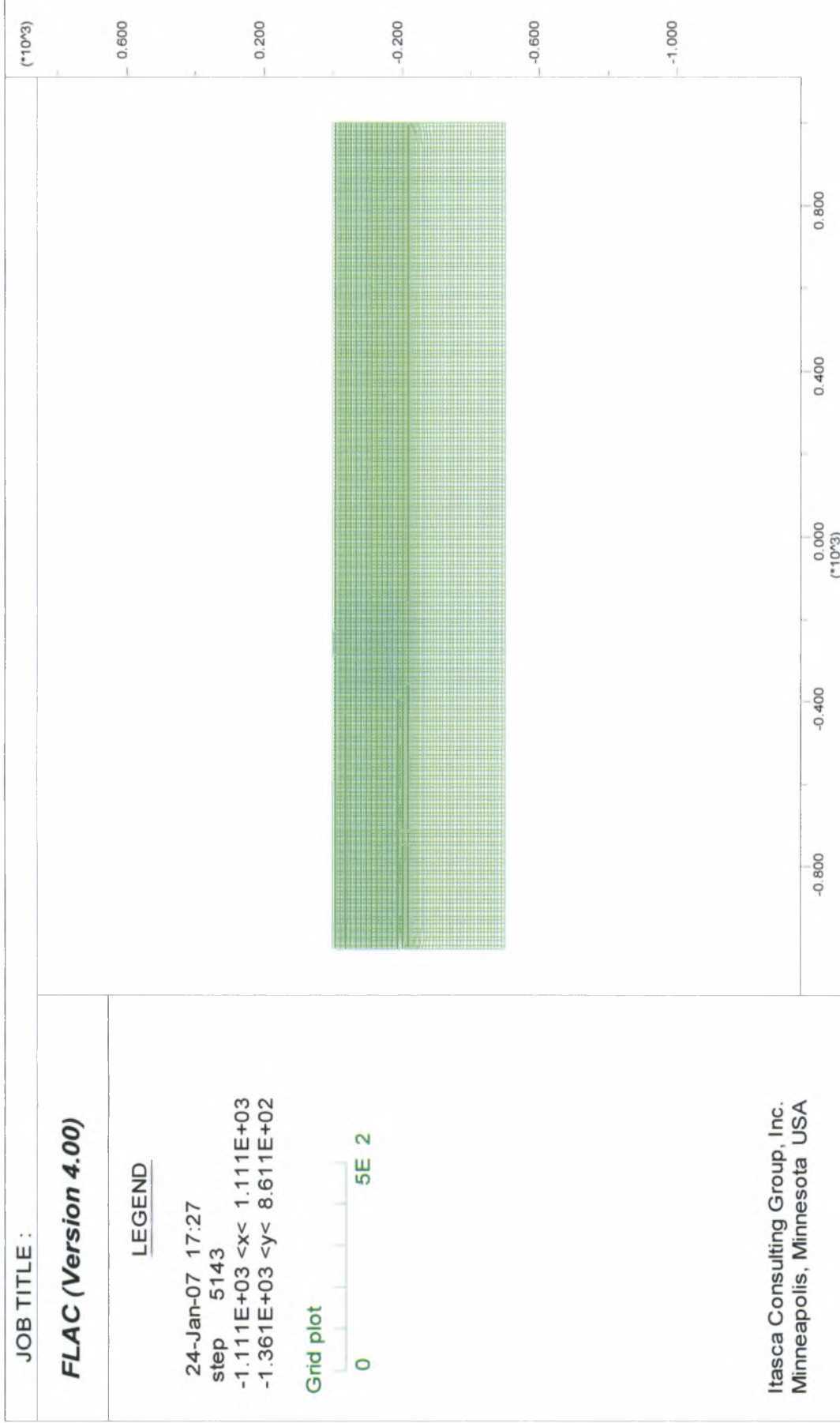


Σχήμα 3.4: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κώνναβος τοπολογίας μορφής φαραγγιού.

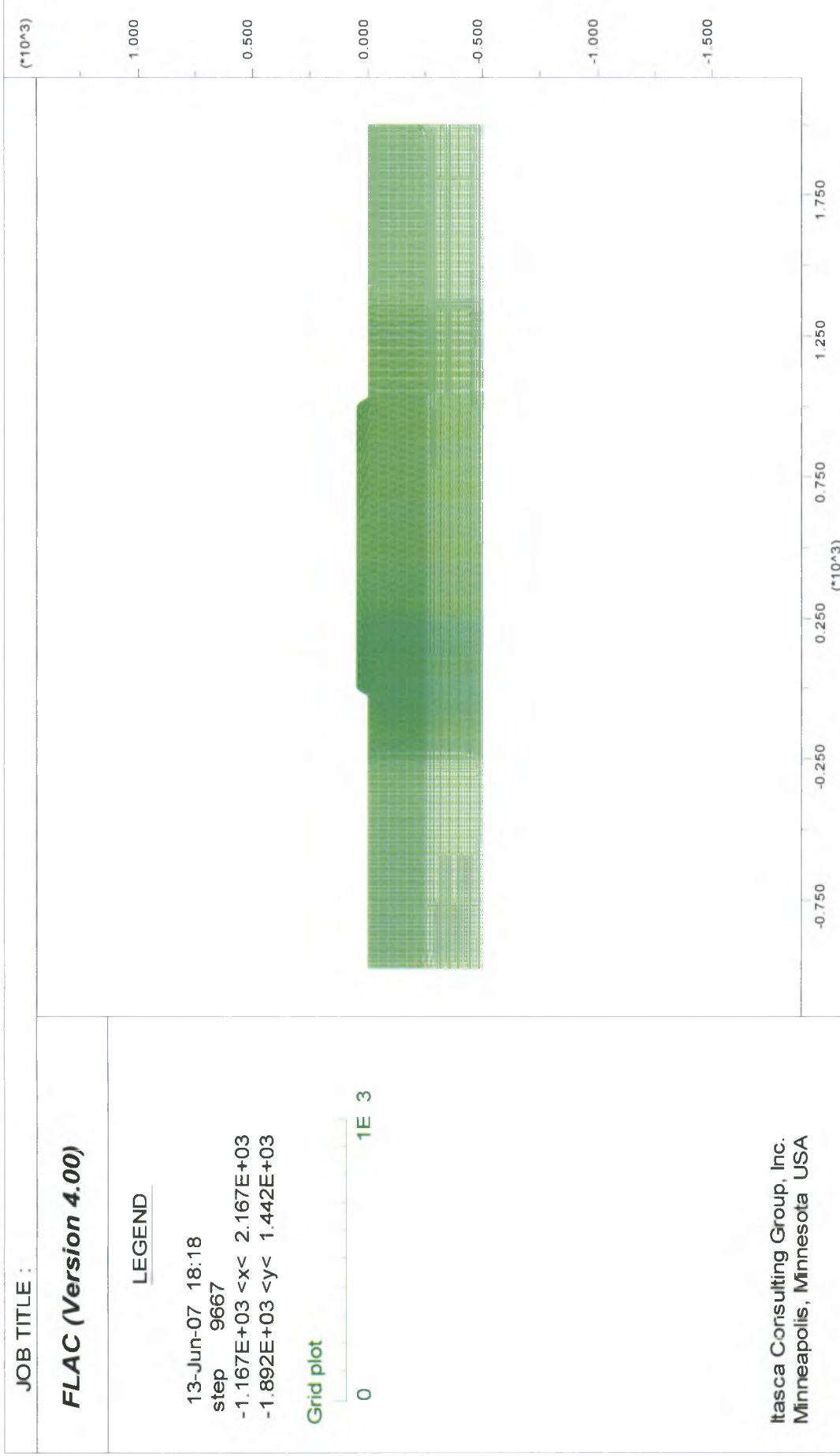




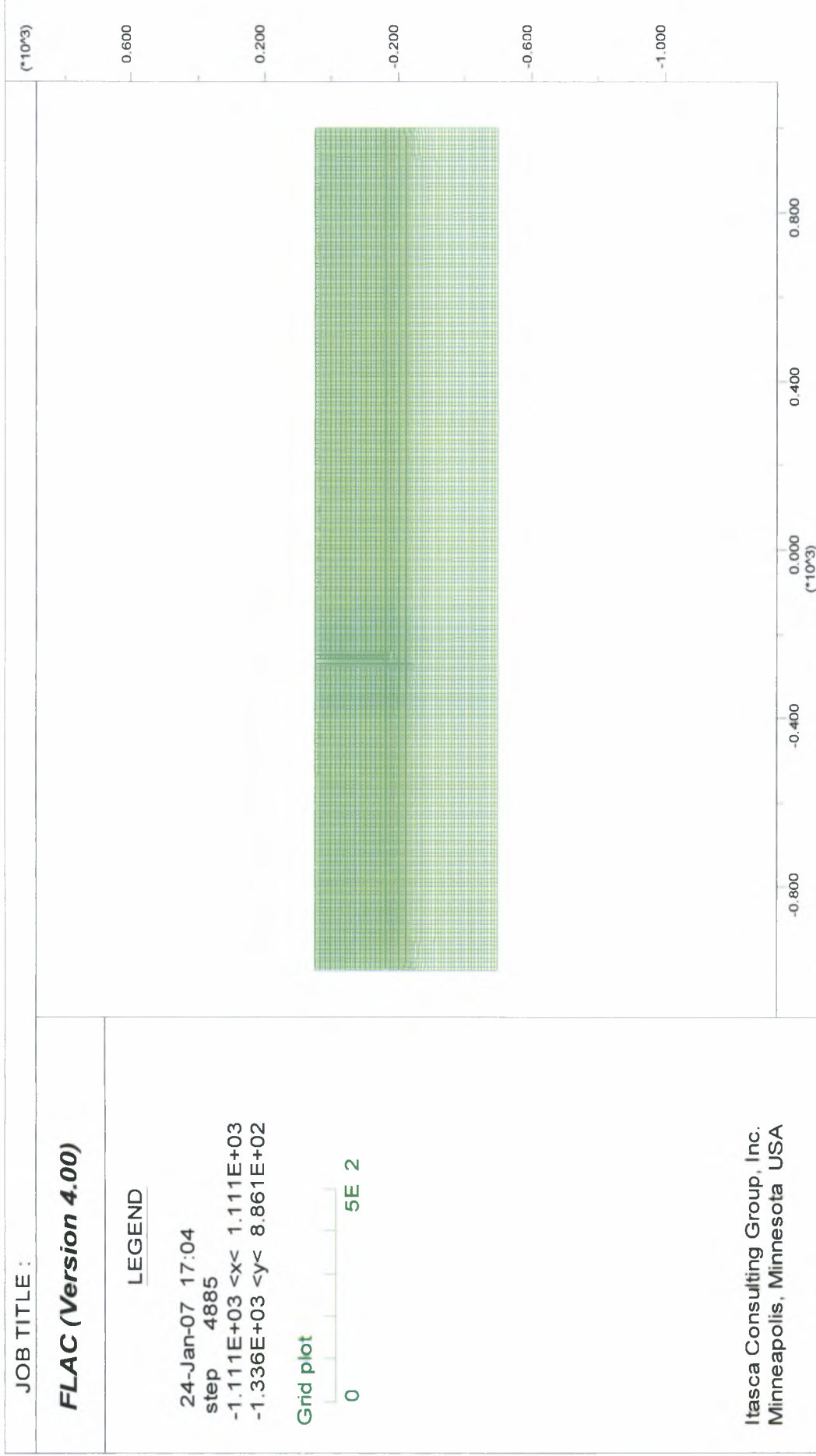
Σχήμα 3.5: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (πίσω από τη στέψη), τοπογραφίας μορφής φαραγγιού.



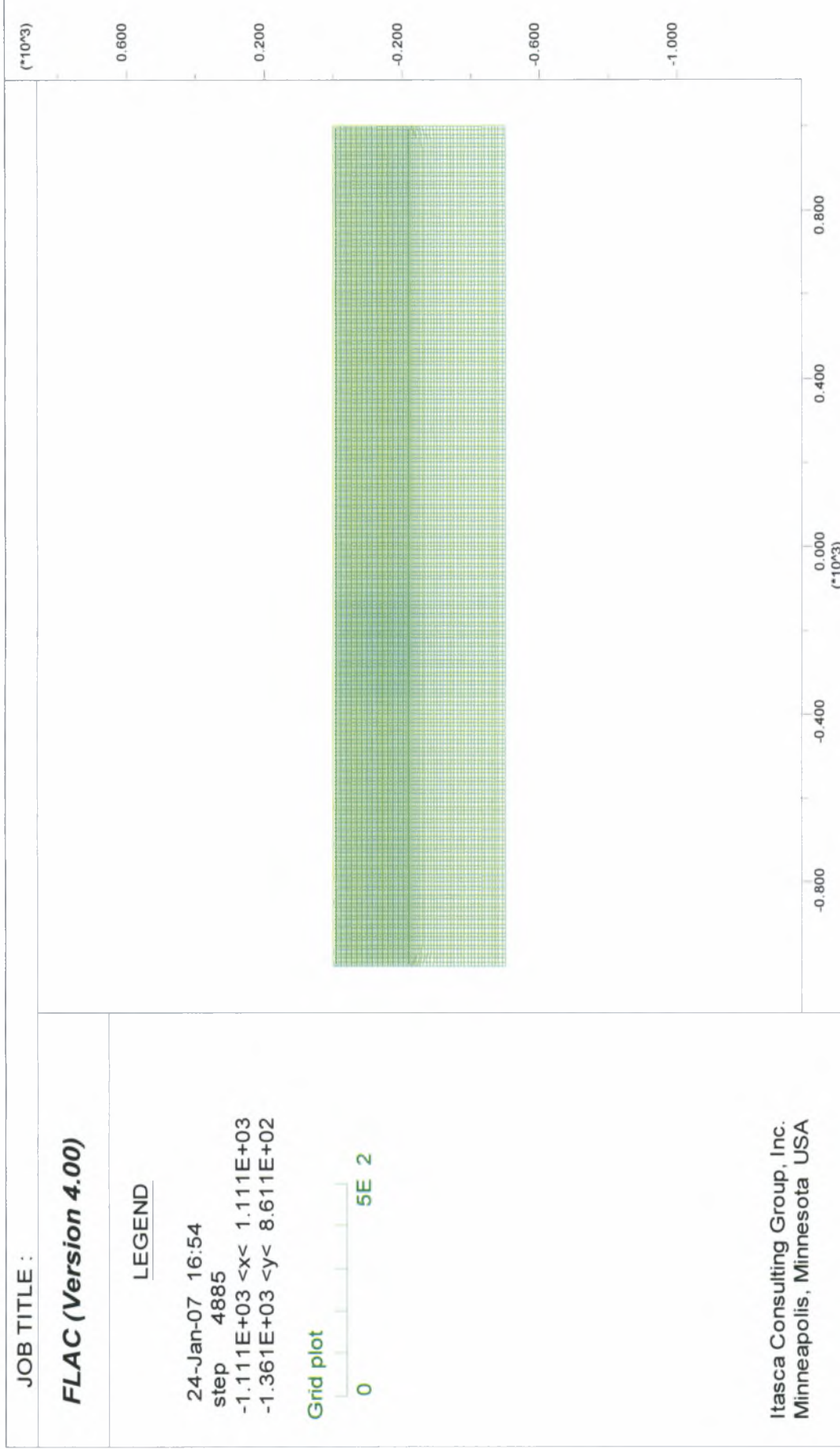
Σχήμα 3.6: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (μπροστά από τον πόδα), τοπογραφίας μορφής φαραγγιού.



Σχήμα 3.7: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος τοπογραφίας μορφής λόφου.



Σχήμα 3.8: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (πίσω από τη στέψη), τοπογραφίας μορφής λόφου.



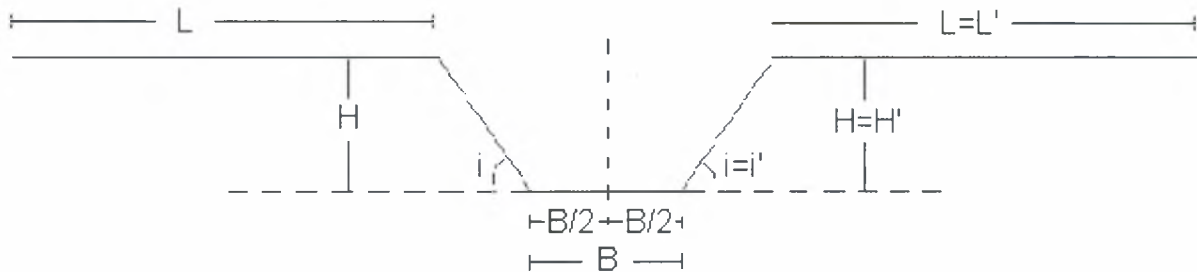
Σχήμα 3.9: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (μπροστά από τον πόδα), τοπογραφίας μορφής λόφου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Επίδραση Τοπογραφίας μορφής φαραγγιού στη σεισμική κίνηση

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπως περιγράφεται σε προηγούμενα κεφάλαια, ενώ έχει μελετηθεί παραμετρικά ο ρόλος που παίζει η ύπαρξη ενός μονοκλινούς πρηνούς στην ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους σε παλαιότερες έρευνες, δε συμβαίνει το ίδιο και για την περίπτωση φαραγγιού.

Στη διπλωματική αυτή, χάριν απλότητας, οι μορφές των φαραγγιών που μελετώνται, είναι απόλυτα συμμετρικές, θεωρώντας ως άξονα συμμετρίας το ακριβές κέντρο τους. Έτσι το εκάστοτε φαράγγι, θα μπορούσε να θεωρηθεί και σαν δύο ενωμένα πρηνή, αντίθετης φοράς, με ακριβώς ίδια κλίση (i), ύψος στέψης (H), μήκος στέψης (L) και μήκος βάσης ($B/2$) (Σχ.4.1). Παρ' όλη τη συμμετρία οι αναλύσεις έχουν γίνει για τα πλήρη φαράγγια, θεωρώντας τη βάση τους ίση με B και διερευνώντας παραμετρικά την επίδραση της απόστασής τους B , σε σχέση πάντα με το μονοκλινές πρηνές στο οποίο αντιστοιχούν.



Σχήμα 4.1: Σκαρίφημα φαραγγιού και ορισμός μεγεθών

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τρεις (3) διαφορετικές κλίσεις φαραγγιού i και διάφορες τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ . Για κάθε ζεύγος τιμών (i , H/λ) διερευνήθηκε παραμετρικά η επίδραση του πλάτους B του φαραγγιού, που κυμάνθηκε από $0.1H$ έως και $20H$

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

- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \end{array} \right.$
- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \end{array} \right.$

- $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,10$ για $B=\infty$
 - $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $B=0,1H$
 - $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,28$ για $B=H$
 - $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $B=5H$
 - $i=45^\circ$, $H/\lambda=1,00$ για $B=20H$
 - $i=45^\circ$, $H/\lambda=1,00$ για $B=\infty$
-
- $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $B=0,1H$
 - $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $B=H$
 - $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $B=5H$
 - $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $B=20H$
 - $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $B=\infty$

Επισημαίνεται ότι η ανάλυση $B=\infty$ αντιστοιχεί στην περίπτωση μονοκλινούς πρσανούς. Στο σύνολό τους οι ανωτέρω αναλύσεις ανήλθαν σε πλήθος των 45, και υπενθυμίζεται ότι κάθε τέτοια ανάλυση προϋποθέτει και τις δύο (2) αντίστοιχες αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», μία για τη στέψη και μια για τον πόδα του φαραγγιού, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Κεφαλαίου 3.

Η έμφαση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται:

α) η τοπογραφική επιδείνωση (ενίσχυση ή απομείωση) της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην οριζόντια διεύθυνση, που ποσοτικοποιείται με το συντελεστή A_h (συντελεστής οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης), δηλαδή το λόγο της μέγιστης σεισμικής οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε θέση προς τη μέγιστη σεισμική οριζόντια επιτάχυνση στο εκάστοτε «ελεύθερο πεδίο» (άλλη τιμή στην περιοχή πίσω από τη στέψη και άλλη τιμή στον πόδα του φαραγγιού)

β) η τοπογραφική επιδείνωση (εμφάνιση) της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση, που ποσοτικοποιείται με το συντελεστή A_v (συντελεστής κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης), δηλαδή το λόγο της μέγιστης σεισμικής παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης σε κάθε θέση προς τη μέγιστη σεισμική οριζόντια επιτάχυνση στο εκάστοτε «ελεύθερο πεδίο» (άλλη τιμή στην περιοχή πίσω από τη στέψη και άλλη τιμή στον πόδα του φαραγγιού)

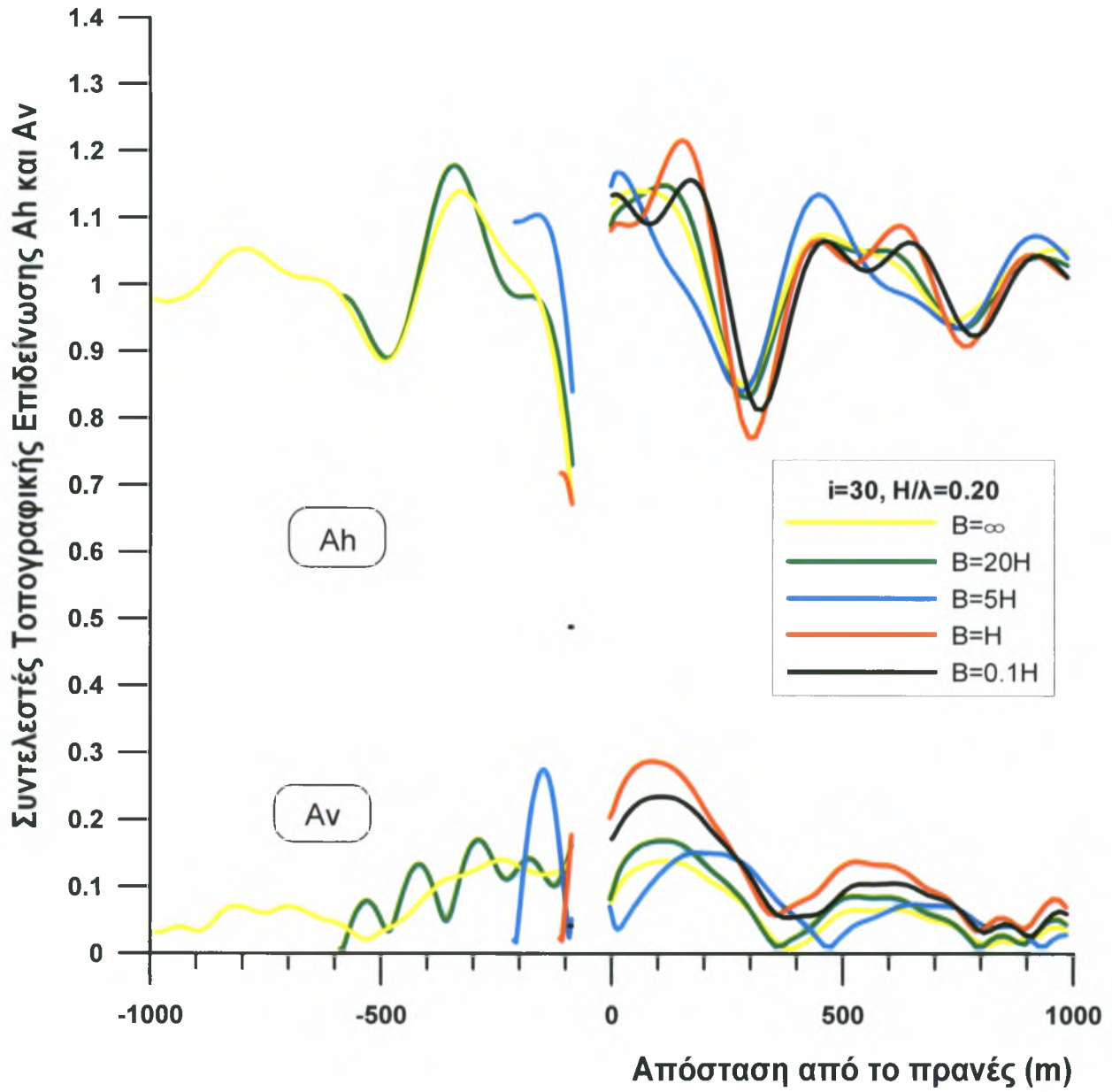
4.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως παρουσιάζεται ανωτέρω, ο στόχος των αναλύσεων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του πλάτους B ενός φαράγγιού (με συγκεκριμένες τιμές H/λ και i) στις τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v , κατά μήκος όλης της επιφάνειας του εδάφους.

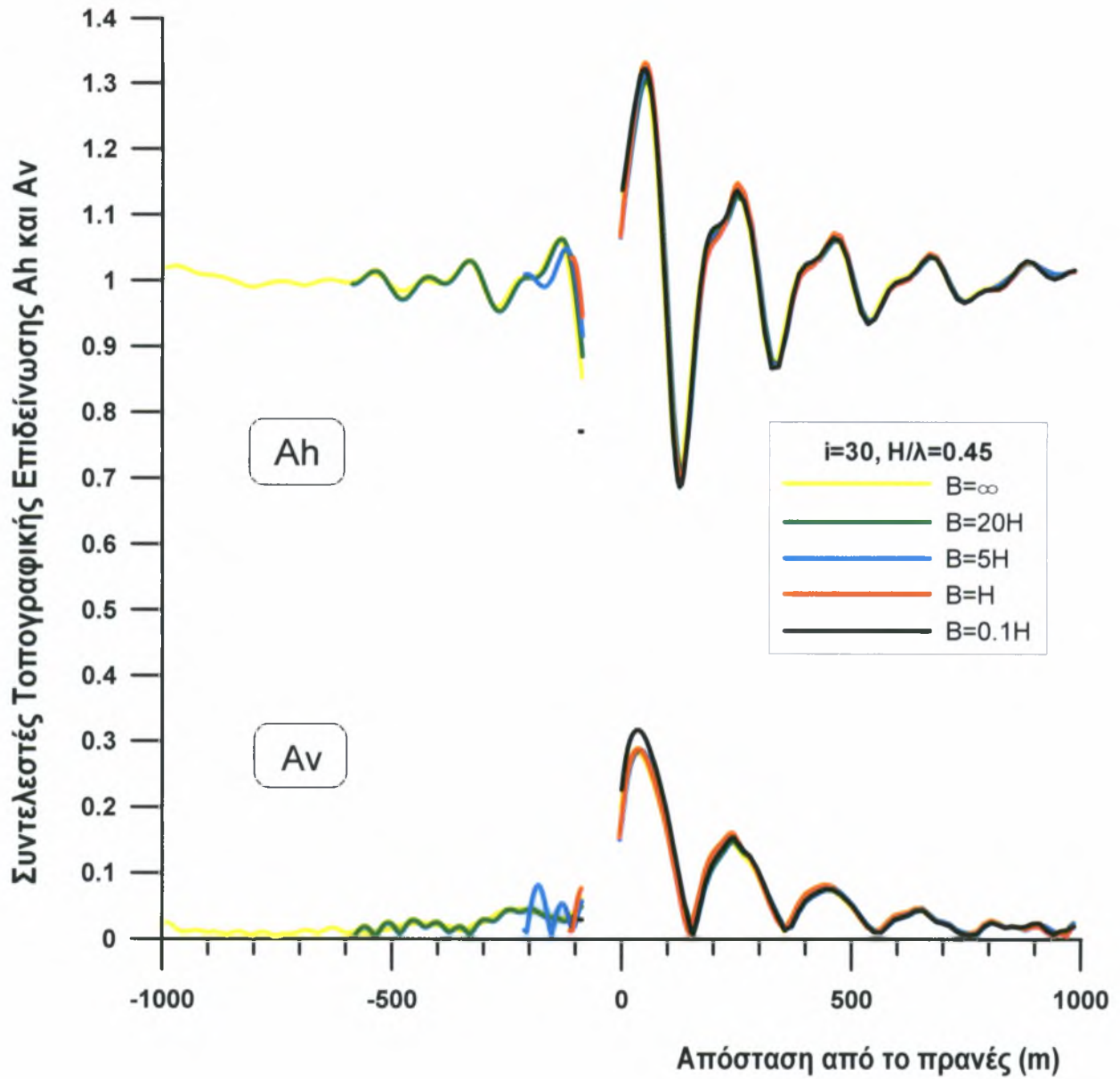
Συνεπώς κάθε σχήμα σύγκρισης απεικονίζει φαράγγια συγκεκριμένης κλίσης i και συγκεκριμένου H/λ , αλλά με όλες τις περιπτώσεις πλάτους βάσης B . Χάριν σύγκρισης συμπεριλαμβάνονται και οι τιμές των A_h και A_v για το αντίστοιχο μονοκλινές πρηνές (με ίδια κλίση i , ίδιο H/λ και $B=\infty$). Επισημαίνεται ότι στα σχήματα που ακολουθούν, δεν αποτυπώνονται τα αποτελέσματα για ολόκληρα τα φαράγγια, καθώς λόγω της απόλυτης συμμετρίας τους σχεδιάζεται μόνο το τμήμα που είναι αντίστοιχης φοράς με το μονοκλινές πρηνές, για να είναι ευχερέστερη η σύγκρισή τους, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα σε όρους A_h και A_v για τις δύο πλευρές ενός συμμετρικού φαράγγιού είναι ίδια στην ίδια απόσταση από τον άξονα.

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 4.1 έως 4.9 παρουσιάζεται η επίδραση του πλάτους B του φαράγγιού με τα εξής χαρακτηριστικά κλίσης i και αδιάστατου ύψους H/λ :

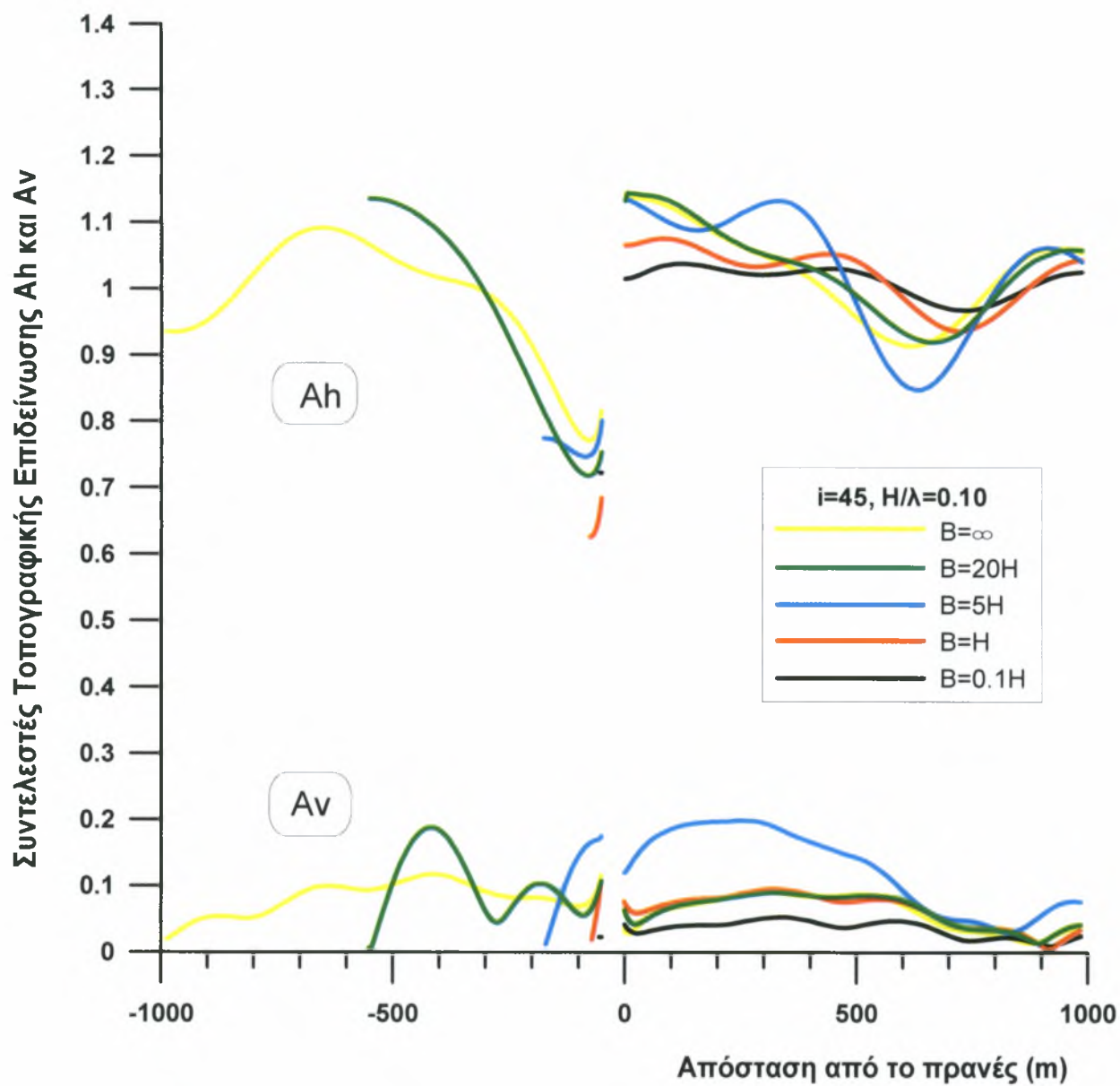
- i)** $i=30^\circ$ $H/\lambda=0,20$ (Σχήμα 4.1)
- ii)** $i=30^\circ$ $H/\lambda=0,45$ (Σχήμα 4.2)
- iii)** $i=45^\circ$ $H/\lambda=0,10$ (Σχήμα 4.3)
- iv)** $i=45^\circ$ $H/\lambda=0,20$ (Σχήμα 4.4)
- v)** $i=45^\circ$ $H/\lambda=0,28$ (Σχήμα 4.5)
- vi)** $i=45^\circ$ $H/\lambda=0,45$ (Σχήμα 4.6)
- vii)** $i=45^\circ$ $H/\lambda=1,00$ (Σχήμα 4.7)
- viii)** $i=60^\circ$ $H/\lambda=0,20$ (Σχήμα 4.8)
- ix)** $i=60^\circ$ $H/\lambda=0,45$ (Σχήμα 4.9)



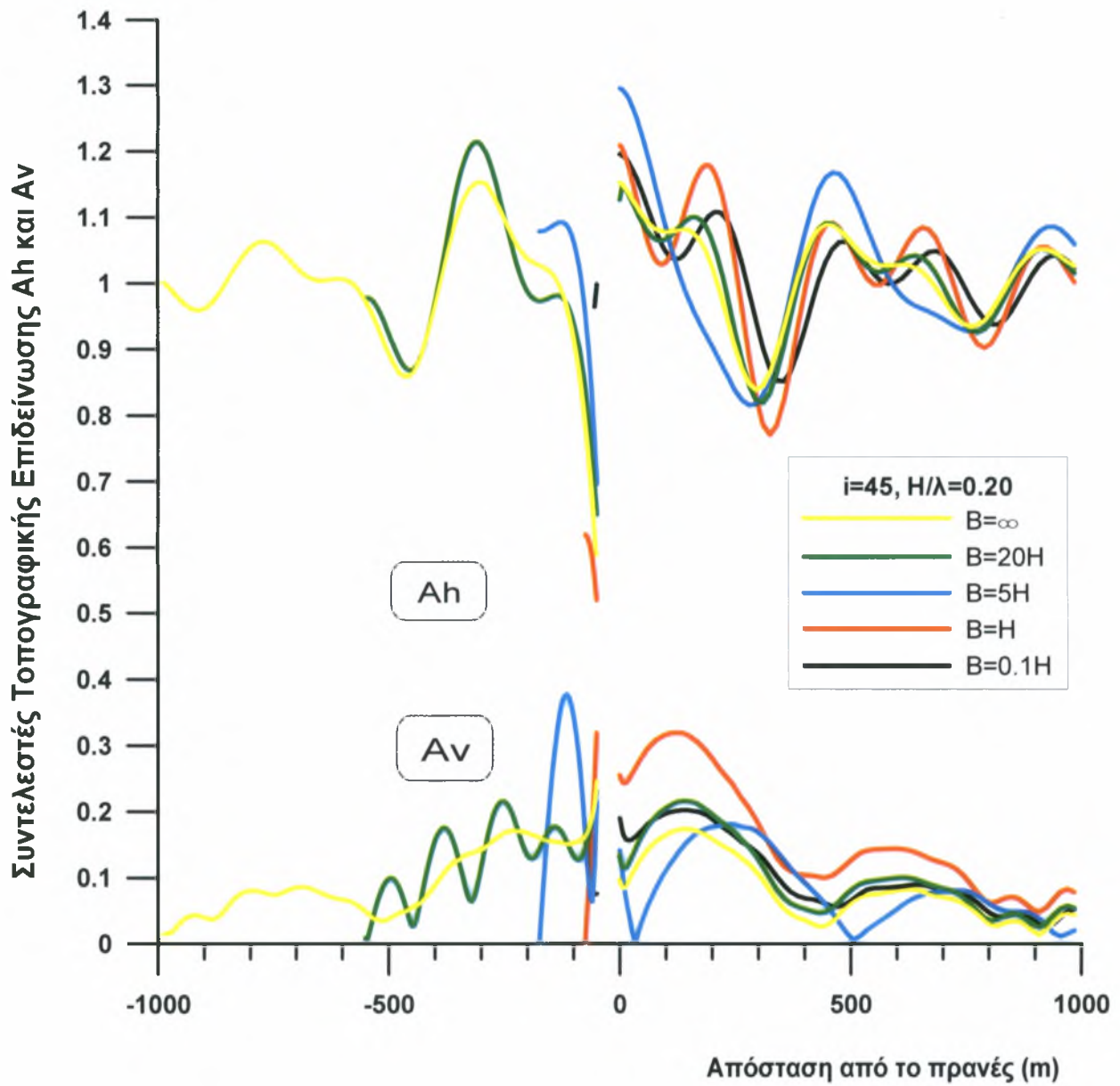
Σχήμα 4.1: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=30^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.2$



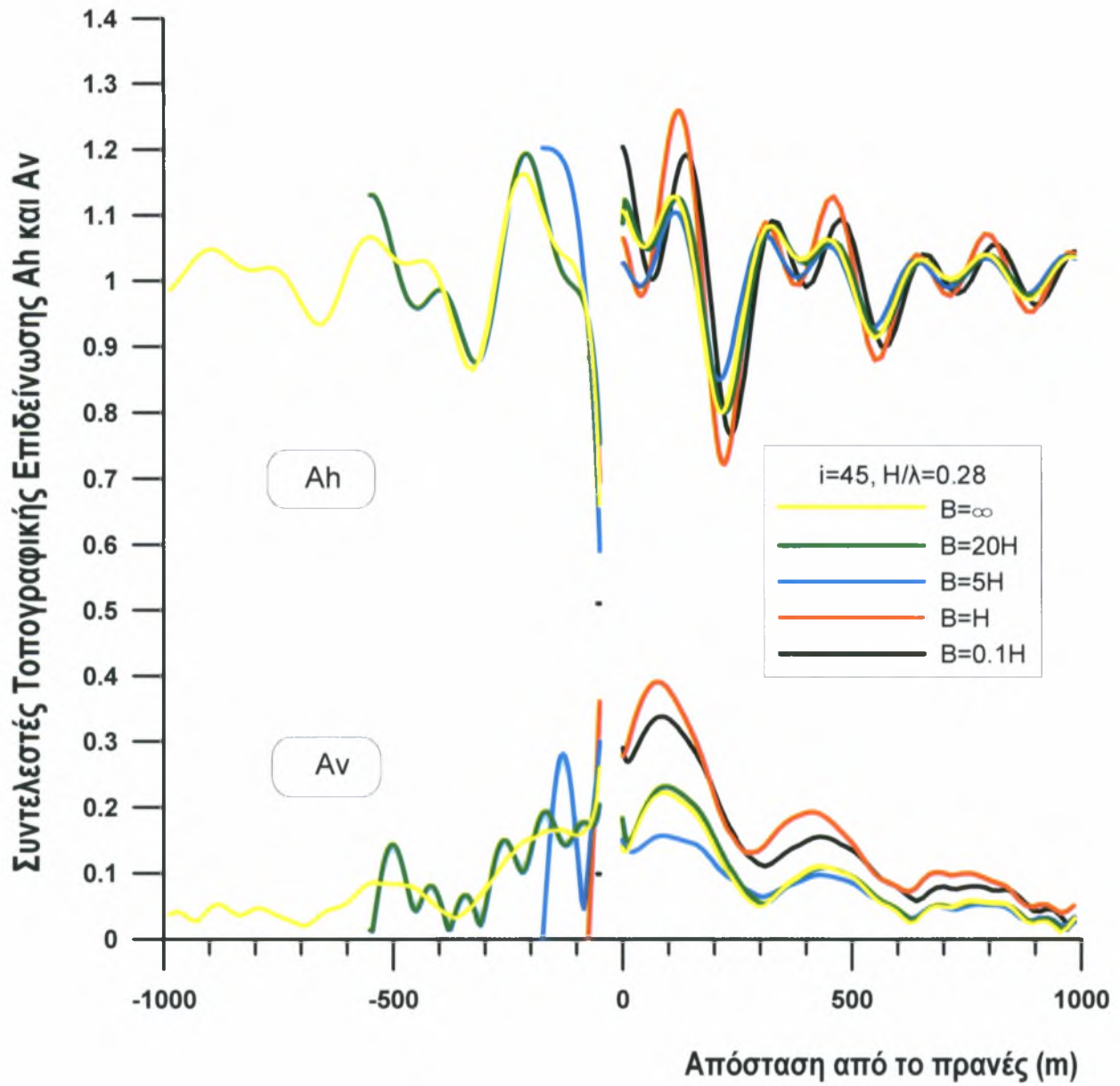
Σχήμα 4.2: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=30^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$



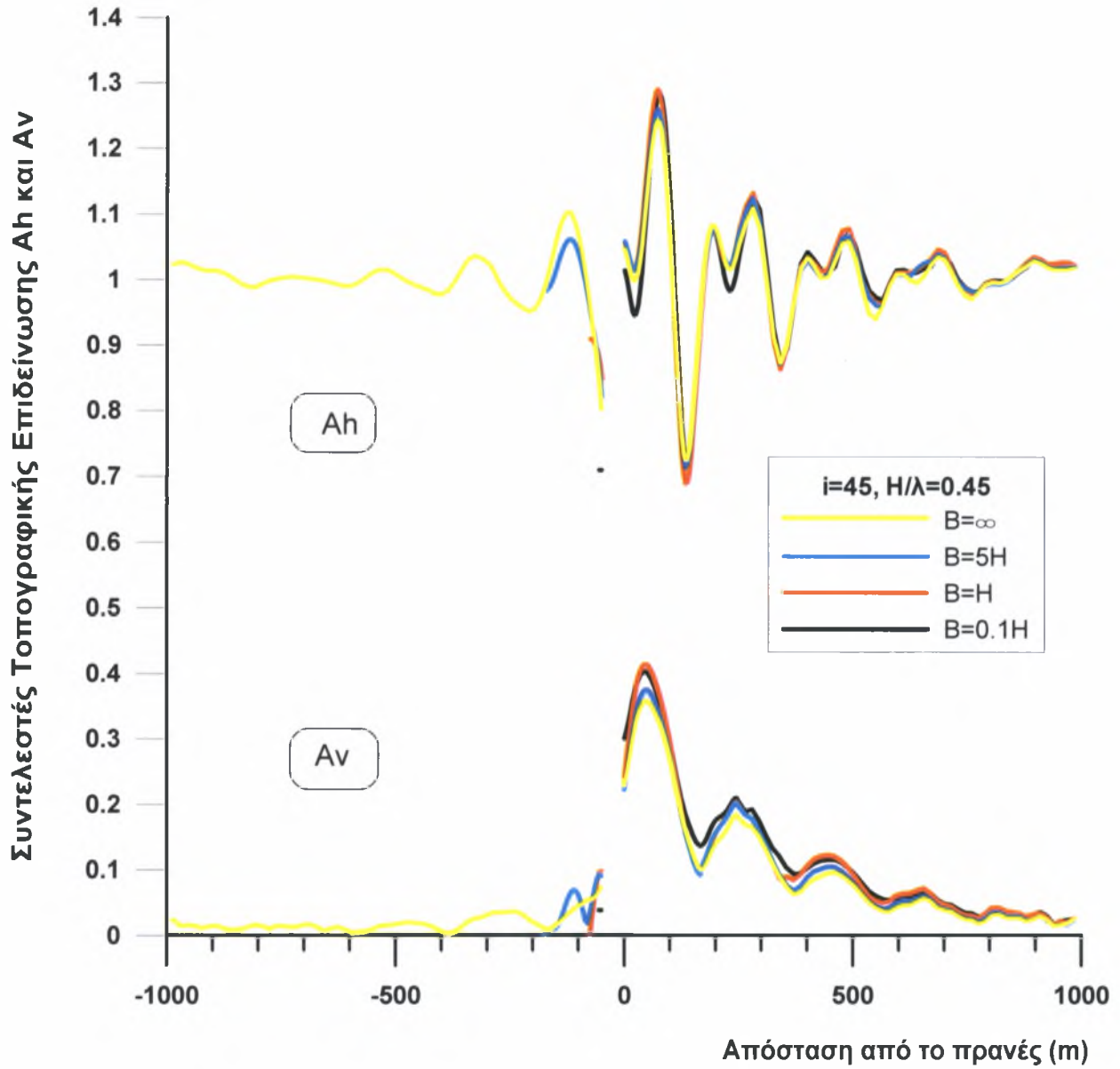
Σχήμα 4.3: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=45^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.10$



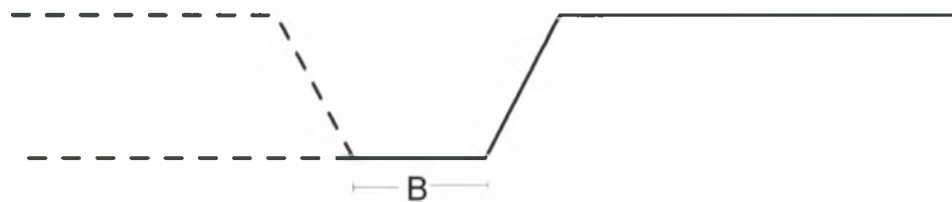
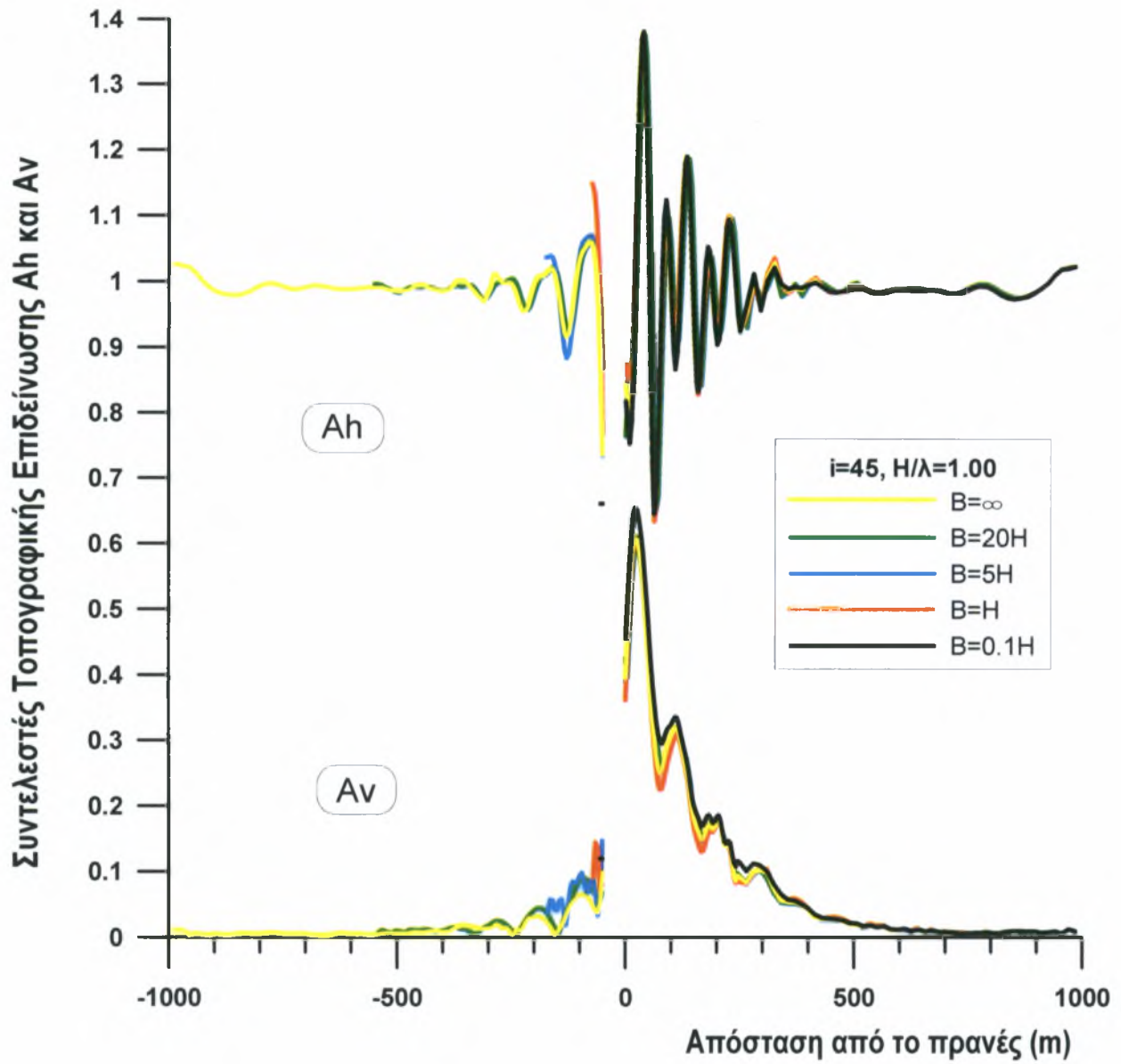
Σχήμα 4.4: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=45^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.20$



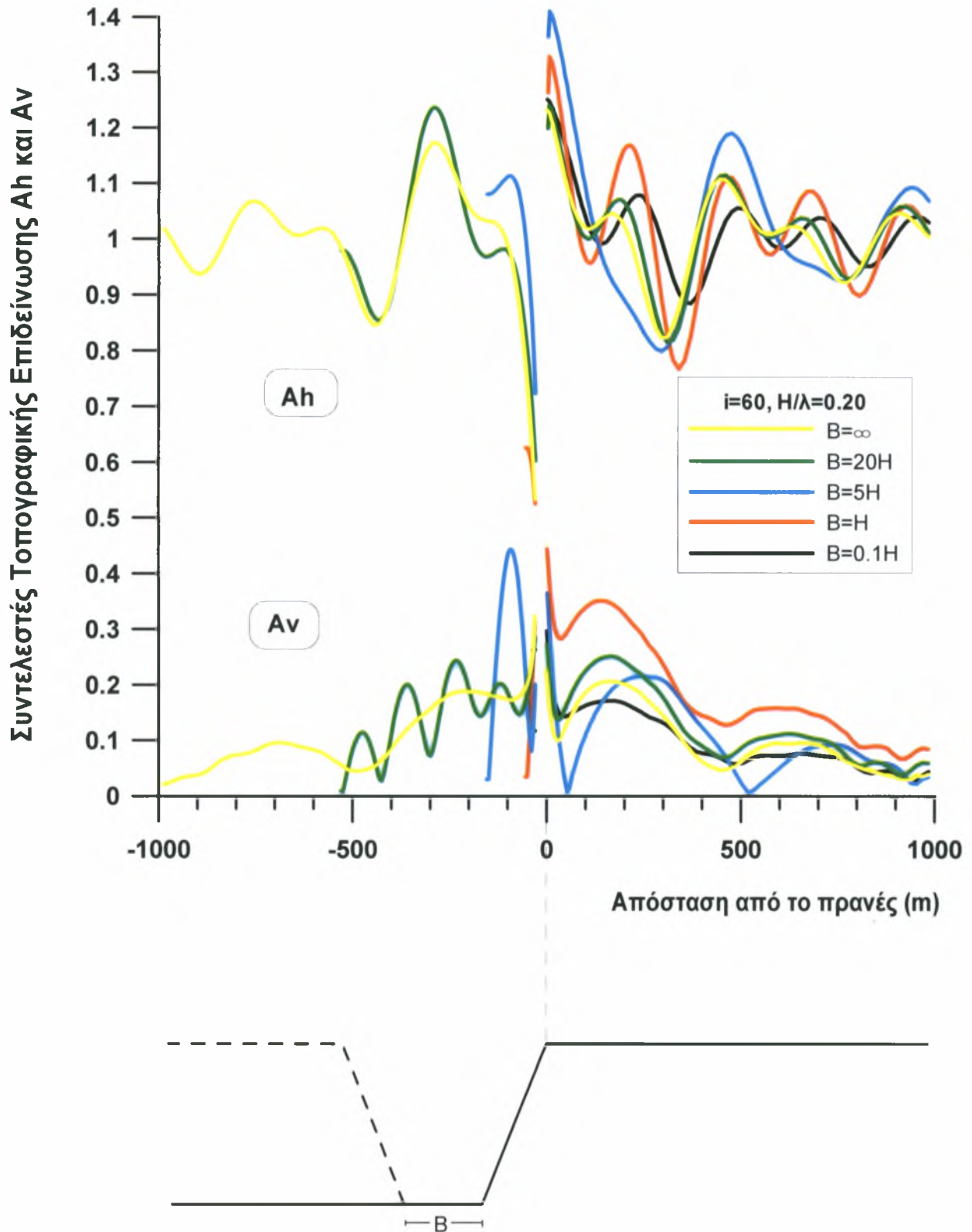
Σχήμα 4.5: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=45^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.28$



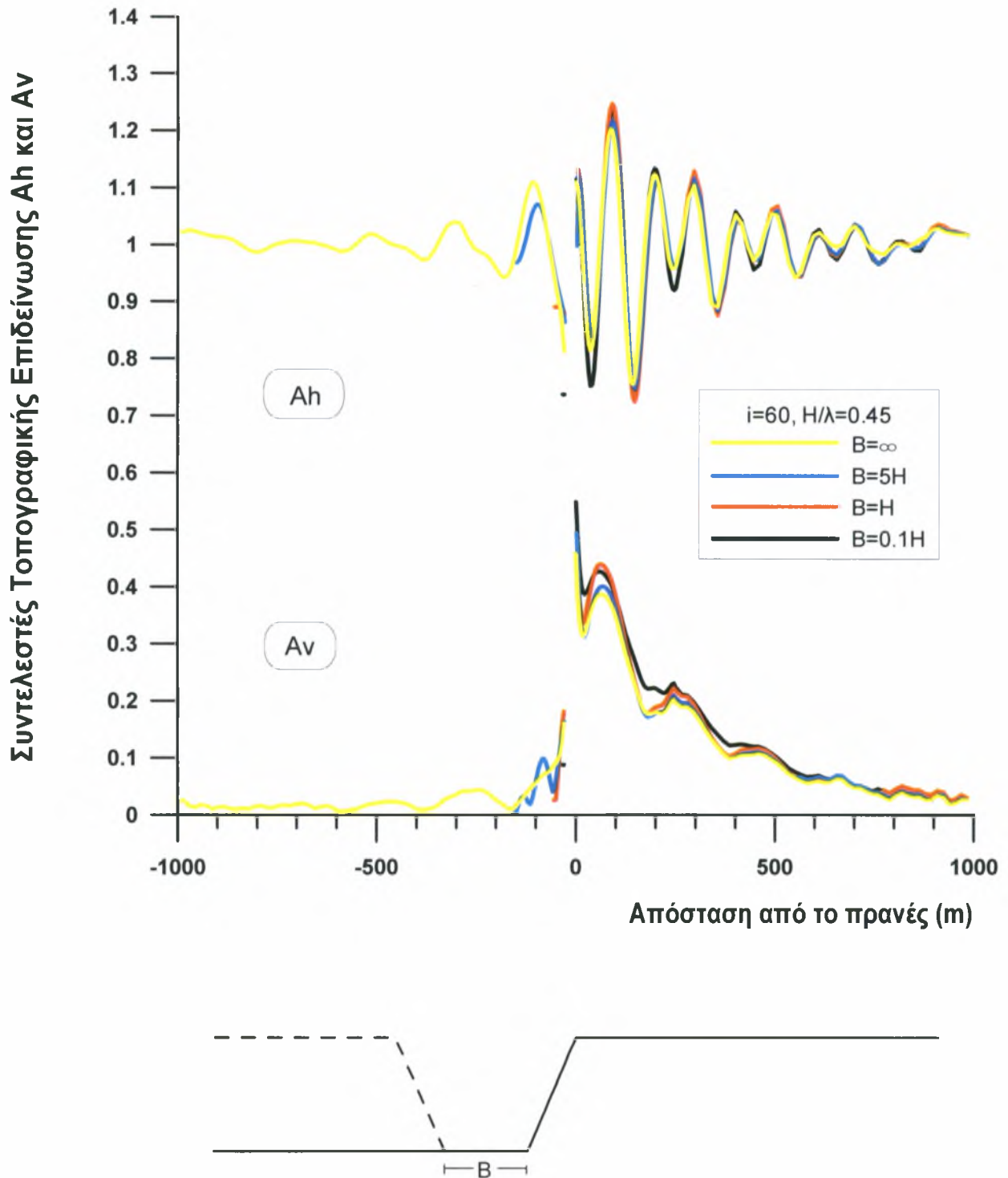
Σχήμα 4.6: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρανών $i=45^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$



Σχήμα 4.7: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρηνών $i=45^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=1.00$



Σχήμα 4.8: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρηνών $i=60^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.20$



Σχήμα 4.9: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για φαράγγια πλάτους B , κλίσης πρηνών $i=60^\circ$ αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$

Γίνεται φανερό ότι η κάθε περίπτωση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, που δε γενικεύονται εύκολα. Παρόλα αυτά, προσεκτική παρατήρηση των συγκρίσεων μπορεί να οδηγήσει στα κάτωθι ποιοτικά έστω συμπεράσματα:

- πίσω από τη στέψη, οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v έχουν μικρότερη διασπορά απ' ό τι στον πόδα για τις διάφορες περιπτώσεις B
- οι συντελεστές κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης A_v , παρουσιάζουν ελάχιστες τιμές (minimum) ακριβώς στη μέση των φαράγγιων,
- οι συντελεστές οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης A_h , παρουσιάζουν έντονα χαμηλές τιμές ακριβώς στον πόδα των φαράγγιων (όπως και στην περίπτωση πρηνούς),
- οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v των μονοκλινών πρηνών (οι αποτυπωμένες με κίτρινο χρώμα γραμμές), θα μπορούσαν να θεωρηθούν αδρά σαν μέσος όρος των συντελεστών επιδείνωσης A_h και A_v των φαράγγιων.
- ειδικώς για $H/\lambda \leq 0.28$ (χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια), παρατηρείται ότι η τιμή του B διαφοροποιεί έντονα τις τιμές των συντελεστών επιδείνωσης A_h και A_v . Σε κάθε περίπτωση οι τιμές των A_h και A_v είναι σχετικά συγκρίσιμες κοντά στη στέψη και κοντά στον πόδα των φαράγγιων.
- ειδικώς για $H/\lambda \geq 0.45$ (υψίσυχνες διεγέρσεις ή υψηλά φαράγγια), παρατηρείται ότι το πλάτος B δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές των A_h και A_v , ειδικά πίσω από τη στέψη των φαράγγιων. Σε κάθε περίπτωση οι συντελεστές A_h και A_v λαμβάνουν μικρές τιμές στον πόδα των φαράγγιων, σε σχέση πάντα με τις τιμές τους πίσω από τη στέψη.

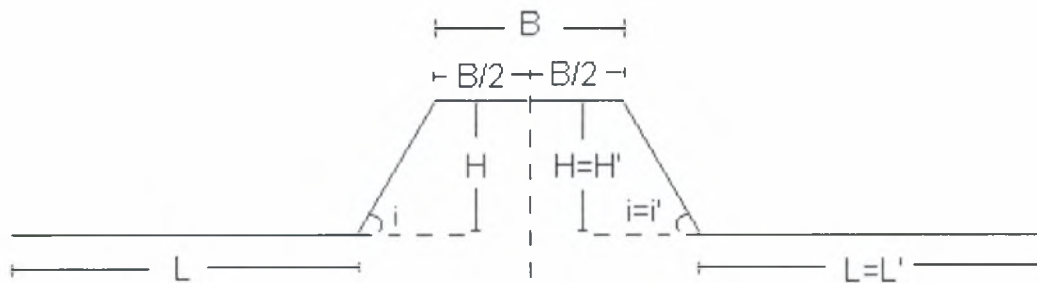
Συνεπώς δε μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά συμπεράσματα γενικής εφαρμογής με βάση τα ανωτέρω σχήματα, πέραν ίσως της διαφοροποίησης μεταξύ χαμηλόσυχνων και υψίσυχνων διεγέρσεων. Το όριο μεταξύ των μεν και των δε θα μπορούσε να ορισθεί αυθαίρετα σε κάποια ενδιάμεση τιμή του H/λ , π.χ. $H/\lambda=0.35$. Έτσι, στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μια στατιστική επεξεργασία των ανωτέρω αποτελεσμάτων, ώστε να εξαχθούν κάποιες ποσοτικές εκφράσεις επίδρασης του πλάτους B στην τοπογραφική επιδείνωση φαράγγιων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Επίδραση Τοπογραφίας μορφής λόφου στη σεισμική κίνηση

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ενώ έχει μελετηθεί παραμετρικά ο ρόλος που παίζει η ύπαρξη ενός μονοκλινούς πρσανούς στην ενίσχυση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους με παλαιότερες έρευνες, δε συμβαίνει το ίδιο και για την περίπτωση λόφου.

Στην παρούσα εργασία, κατ' αντιστοιχία με την περίπτωση της τοπογραφίας φαραγγιού, οι μορφές που μελετώνται, είναι συμμετρικές, θεωρώντας ως άξονα συμμετρίας το ακριβές κέντρο του λόφου. Έτσι ο εκάστοτε λόφος θα μπορούσε να θεωρηθεί και σαν δύο ενωμένα πρανή, αντίθετης φοράς, με ακριβώς ίδια κλίση (i), ύψος στέψης (H), μήκος στέψης ($B/2$) και μήκος βάσης (L) (Σχ. 5.1). Παρ' όλη τη συμμετρία, έχουν γίνει αναλύσεις για τους πλήρεις λόφους, θεωρώντας το μήκος στέψης τους ίσο με B , σε σχέση πάντα με το μονοκλινές πρανές στο οποίο αντιστοιχούν.



Σχήμα 5.1: Σκαρίφημα λόφου και ορισμός μεγεθών

Αντίστοιχα με την περίπτωση φαραγγιού, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τρεις (3) διαφορετικές κλίσεις πρανών λόφου i και για δύο (2) διαφορετικές τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ . Για κάθε ζεύγος τιμών (i , H/λ) διερευνήθηκε παραμετρικά η επίδραση του πλάτους B του λόφου, που κυμάνθηκε από $0.1H$ έως και $20H$.

Πιο συγκεκριμένα, οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις αφορούν λόφους με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$
- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$

- $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$
- $i=45^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$
- $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,20$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$
- $i=60^\circ$, $H/\lambda=0,45$ για $\left\{ \begin{array}{l} B=0,1H \\ B=H \\ B=5H \\ B=20H \\ B=\infty \end{array} \right.$

Επισημαίνεται ότι η ανάλυση $B=\infty$ αντιστοιχεί στην περίπτωση μονοκλινούς πρσανούς. Στο σύνολό τους οι ανωτέρω αναλύσεις ανήλθαν σε πλήθος 30, ενώ υπογραμμίζεται ότι κάθε μία από τις ανωτέρω αναλύσεις προϋποθέτει και τις εκάστοτε δύο αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», μία για την περιοχή της στέψης του λόφου και μία για την περιοχή του πόδα.

Αντίστοιχα με ό,τι συνέβη στις αναλύσεις των φαραγγιών (βλέπε Κεφάλαιο 4), η έμφαση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται και πάλι:

α) η τοπογραφική επιδείνωση (ενίσχυση ή απομείωση) της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην οριζόντια διεύθυνση, που ποσοτικοποιείται με το συντελεστή A_h (συντελεστής οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης), δηλαδή το λόγο της μέγιστης σεισμικής οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε θέση προς τη μέγιστη σεισμική οριζόντια επιτάχυνση στο εκάστοτε «ελεύθερο πεδίο» (άλλη τιμή στην περιοχή πίσω από τη στέψη και άλλη τιμή στον πόδα του λόφου)

β) η τοπογραφική επιδείνωση (εμφάνιση) της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση, που ποσοτικοποιείται με το συντελεστή A_v (συντελεστής κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης), δηλαδή το λόγο της μέγιστης σεισμικής παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης σε κάθε θέση προς τη μέγιστη σεισμική οριζόντια επιτάχυνση στο εκάστοτε «ελεύθερο πεδίο» (άλλη τιμή στην περιοχή πίσω από τη στέψη και άλλη τιμή στον πόδα του λόφου)

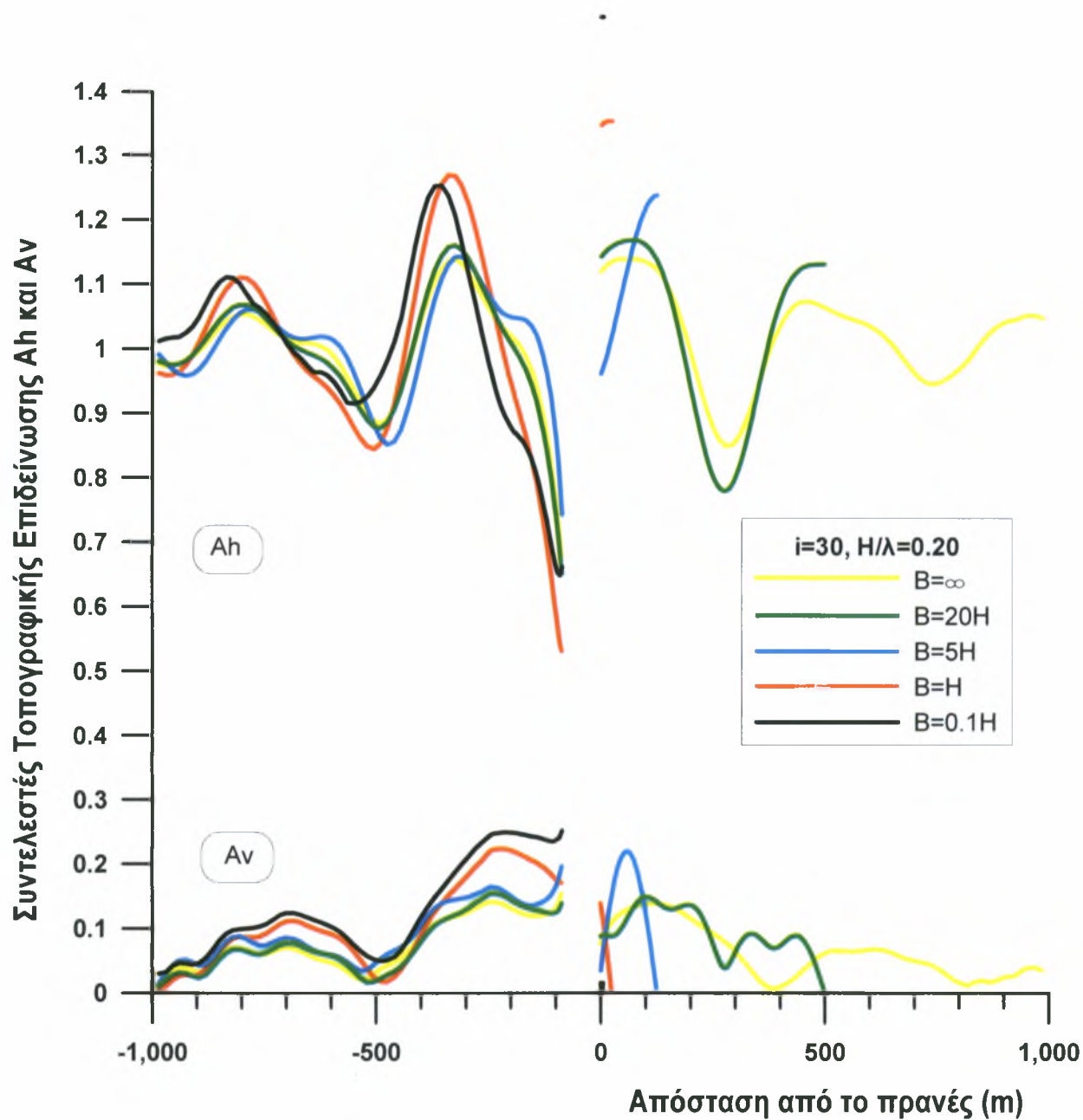
5.2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως παρουσιάζεται ανωτέρω, ο στόχος των αναλύσεων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του πλάτους B ενός λόφου (με συγκεκριμένες τιμές H/λ και i) στις τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v , κατά μήκος όλης της επιφάνειας του εδάφους.

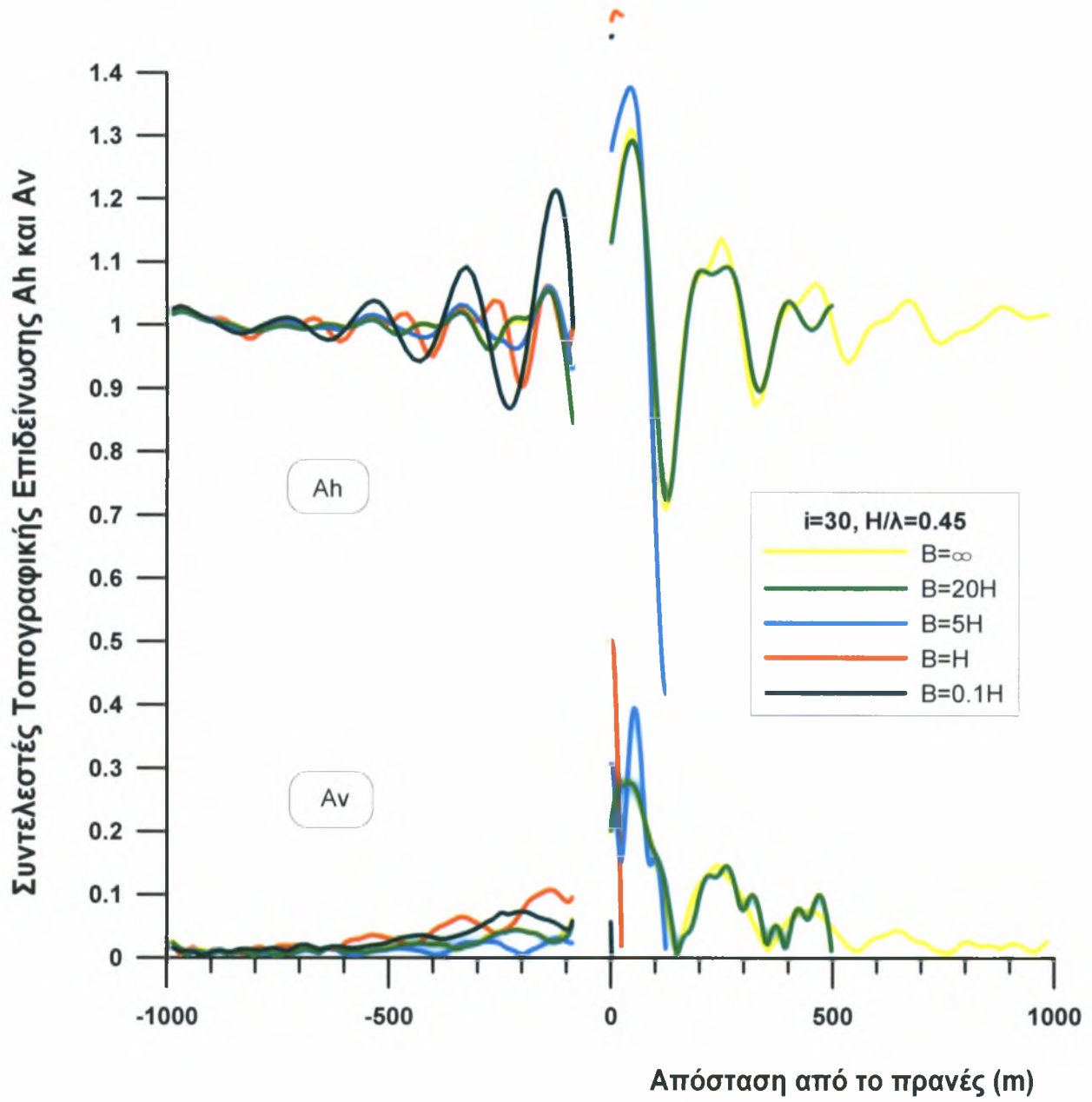
Συνεπώς κάθε σχήμα σύγκρισης απεικονίζει λόφους συγκεκριμένης κλίσης i και συγκεκριμένου αδιάστατου ύψους H/λ , αλλά με όλες τις περιπτώσεις πλάτους στέψης B που διερευνήθηκαν. Χάριν σύγκρισης, στο ίδιο σχήμα συμπεριλαμβάνονται και οι τιμές των A_h και A_v για το αντίστοιχο μονοκλινές πρανές. Επισημαίνεται ότι στα σχήματα που ακολουθούν δεν αποτυπώνονται τα αποτελέσματα για ολόκληρη την επιφάνεια των λόφων, καθώς λόγω της απόλυτης συμμετρίας τους σχεδιάζονται μόνο τα αποτελέσματα για το τμήμα που είναι αντίστοιχης φοράς με το μονοκλινές πρανές. Έτσι, γίνεται ευχερέστερη η σύγκρισή τους, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα σε όρους A_h και A_v για τις δύο πλευρές ενός συμμετρικού λόφου είναι ταυτόσημα.

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 5.1 έως 5.6 παρουσιάζεται η επίδραση του πλάτους στέψης B του λόφου με τα εξής χαρακτηριστικά κλίσης i και αδιάστατου ύψους H/λ :

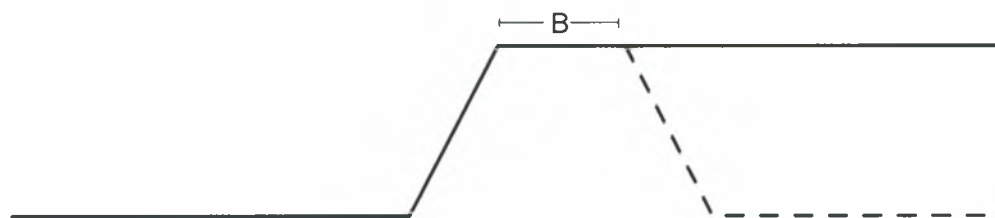
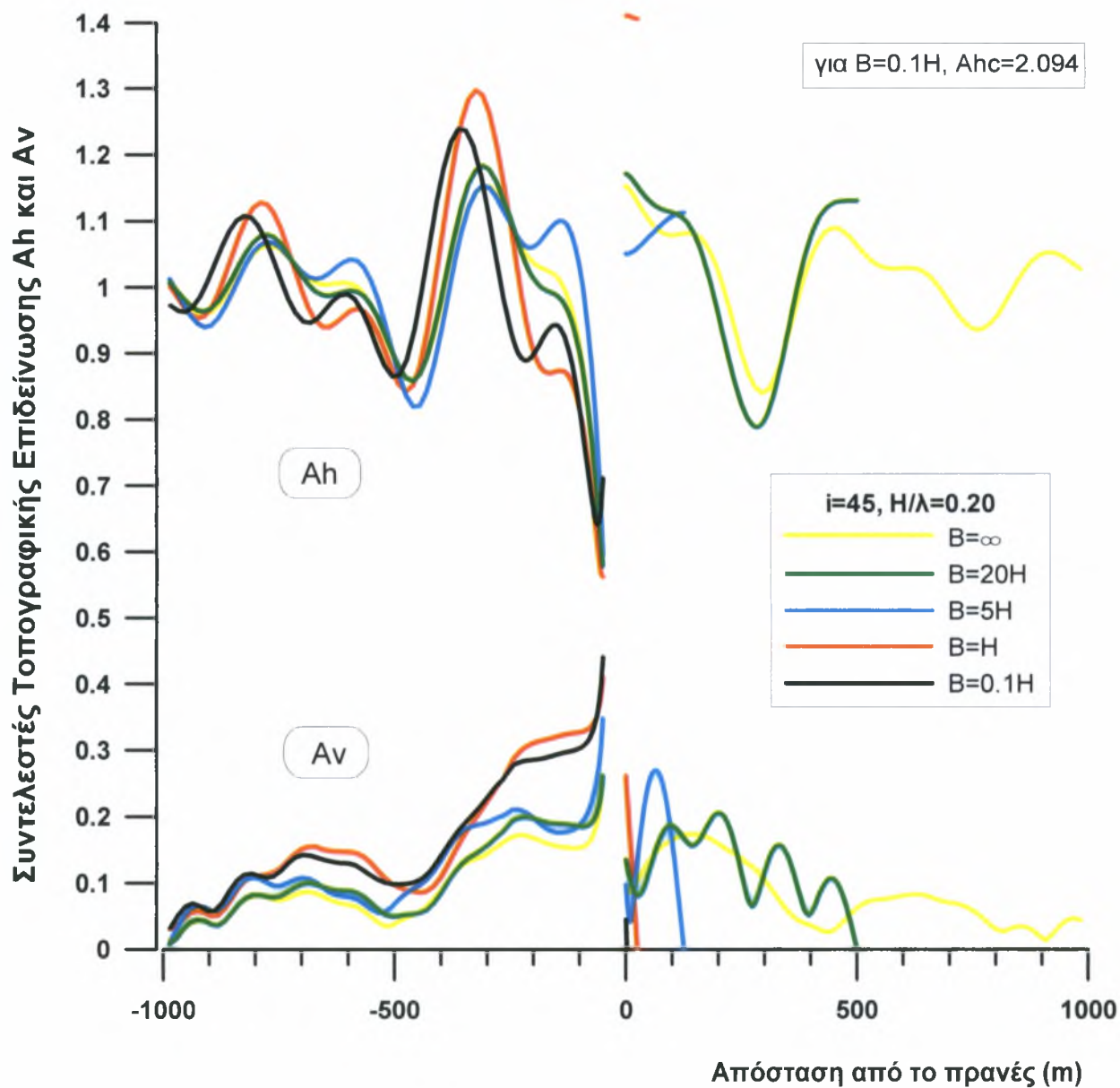
- | | | | |
|-------------|--------------|------------------|-------------|
| i) | $i=30^\circ$ | $H/\lambda=0,20$ | (Σχήμα 5.1) |
| ii) | $i=30^\circ$ | $H/\lambda=0,45$ | (Σχήμα 5.2) |
| iii) | $i=45^\circ$ | $H/\lambda=0,20$ | (Σχήμα 5.3) |
| v) | $i=45^\circ$ | $H/\lambda=0,45$ | (Σχήμα 5.4) |
| vi) | $i=60^\circ$ | $H/\lambda=0,20$ | (Σχήμα 5.5) |
| vii) | $i=60^\circ$ | $H/\lambda=0,45$ | (Σχήμα 5.6) |



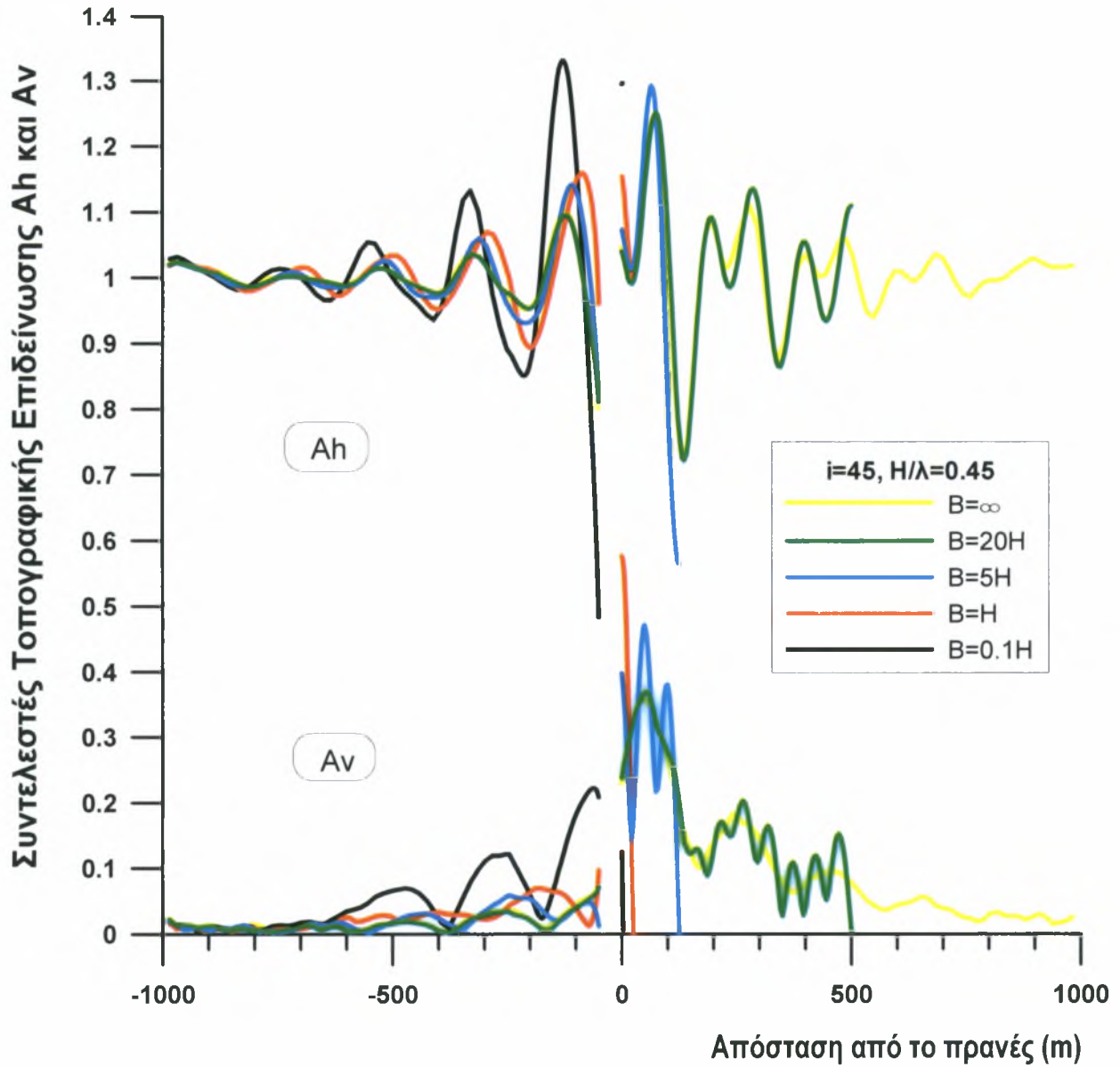
Σχήμα 5.1: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέφης B κλίσης πρηνών $i=30^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.20$



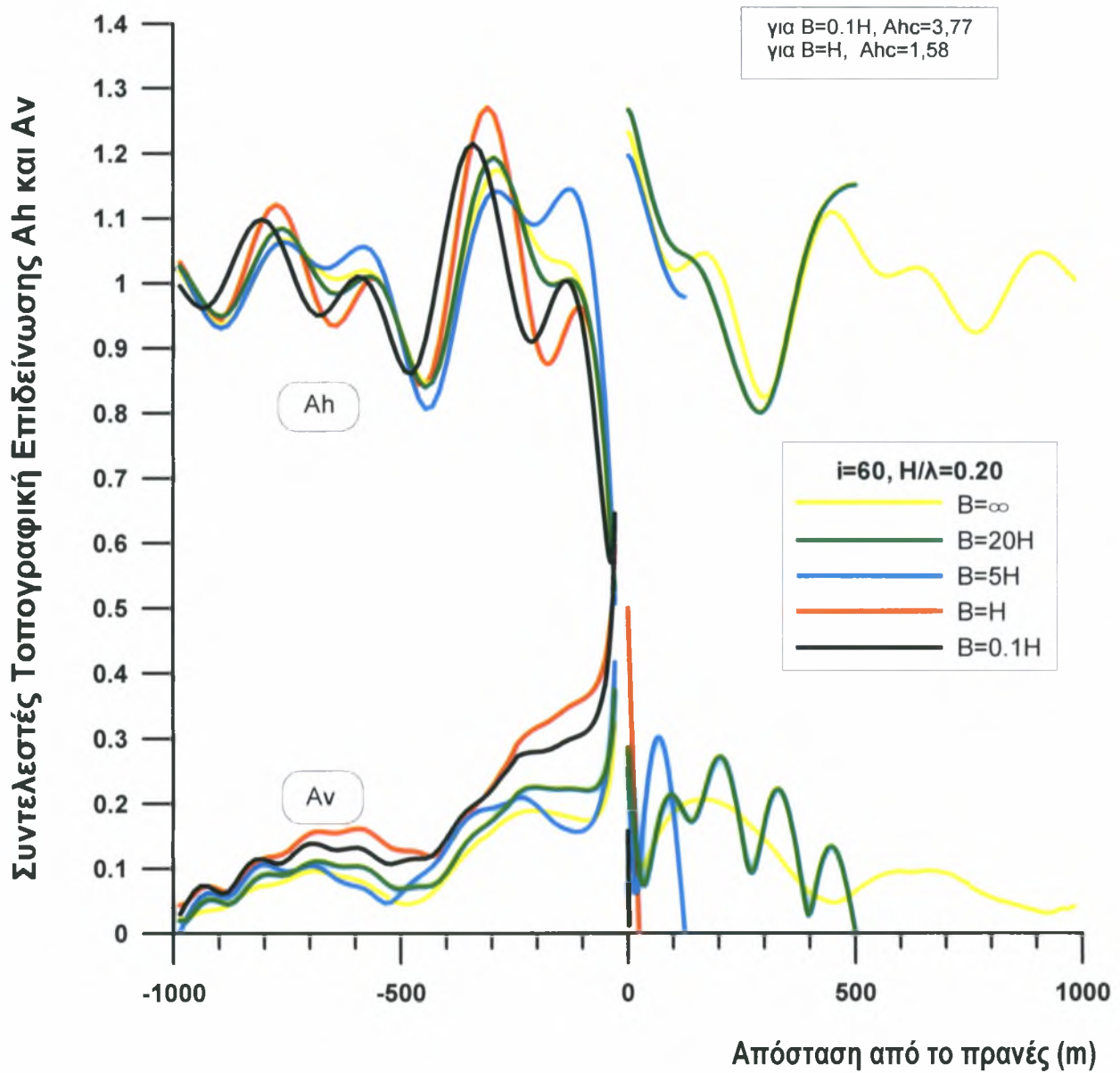
Σχήμα 5.2: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέψης B κλίσης πρανών $i=30^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$



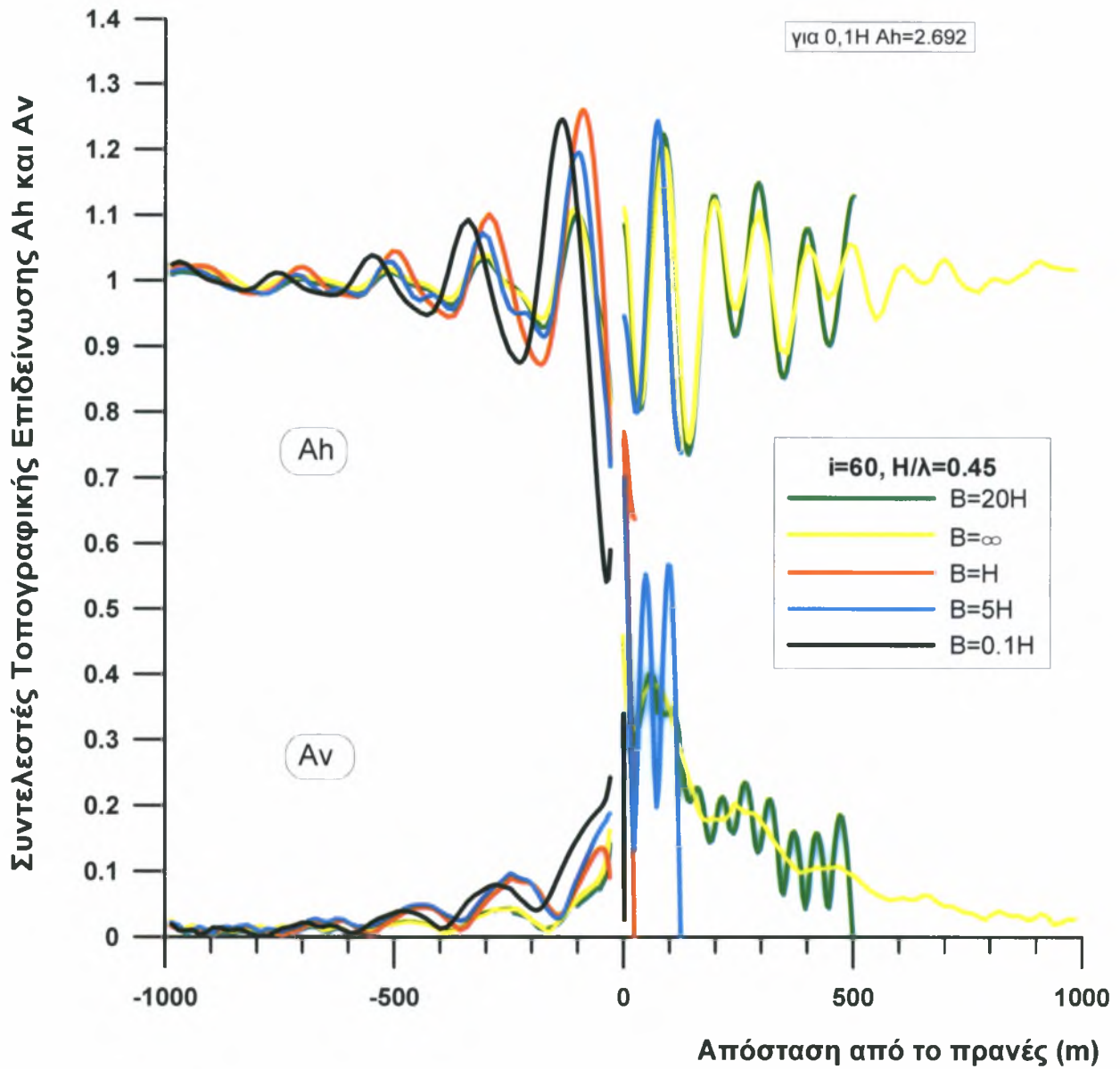
Σχήμα 5.3: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέφης B κλίσης πρηνών $i=45^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.20$



Σχήμα 5.4: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέψης B κλίσης πρηνών $i=45^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$



Σχήμα 5.5: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέφης B κλίσης πρανών $i=60^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.20$



Σχήμα 5.6: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης Ah και Av κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέψης B κλίσης πρανών $i=60^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0,45$

Σχήμα 5.6: Συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για λόφους μήκους στέψης B κλίσης πρανών $i=60^\circ$ και αδιάστατου ύψους $H/\lambda=0.45$

Γίνεται φανερό ότι η κάθε περίπτωση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, που δε γενικεύονται εύκολα. Παρ' όλα αυτά, προσεκτική παρατήρηση των συγκρίσεων μπορεί να οδηγήσει στα κάτωθι ποιοτικά συμπεράσματα:

- Οι τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης για τα μονοκλινή πρανή μπορούν να θεωρηθούν ως η μέση τιμή για όλες τις περιπτώσεις των λόφων με τα ίδια χαρακτηριστικά i και H/λ , γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη γεωγραφική διαφοροποίηση στις τιμές των A_h και A_v για τις αναλύσεις των λόφων.
- Για όλες τις περιπτώσεις λόφων που διερευνήθηκαν, οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης έχουν μικρότερη γεωγραφική διαφοροποίηση στον πόδα σε σχέση με την στέψη τους.

Συνεπώς δε μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά συμπεράσματα γενικής εφαρμογής με βάση τα ανωτέρω σχήματα. Έτσι, στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μια στατιστική επεξεργασία των ανωτέρω αποτελεσμάτων, ώστε να εξαχθούν κάποιες ποσοτικές εκφράσεις επίδρασης του μήκους στέψης B στην τοπογραφική επιδείνωση λόφων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: Στατιστική επεξεργασία αριθμητικών αποτελεσμάτων τοπογραφικής επιδείνωσης

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπως διαφαίνεται από τα Κεφάλαια 4 και 5, στην εργασία αυτή μελετάται η επίδραση του πλάτους B της κοιλάδας φαραγγιών και της στέψης λόφων, αντίστοιχα, επί των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v . Καθώς δεν έγινε πλήρης διερεύνηση (για όλες τις τιμές των i , H/λ , ξ και N), ως βάση σύγκρισης υπάρχει η απόκριση του εκάστοτε αντιστοίχου μονοκλινούς πρανούς για σημαντικές παραμέτρους της οποίας έχουν ήδη προταθεί στο παρελθόν οι ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης (Bouckovalas & Papadimitriou 2005):

$$A_{hc} \text{ (πρανούς)} = 1 + \frac{0.225(H/\lambda)^{0.4} \left(\frac{l^2 + 2l^6}{l^3 + 0.02} \right)}{1 + 0.9\xi} \quad (6.1)$$

$$A_{vc} \text{ (πρανούς)} = \frac{0.75(H/\lambda)^{0.8} (l^{0.5} + 1.5l^5)}{1 + 0.15\xi^{0.5}} \quad (6.2)$$

$$D_{hc} \text{ (πρανούς)} = \frac{\left[\frac{(H/\lambda)}{0.2 + (H/\lambda)^2} \right] \left(\frac{l^{1.5} + 3.3l^3}{l^4 + 0.07} \right)}{0.71 + 3.33\xi} N^{0.43} \quad (6.3)$$

$$D_{vc} \text{ (πρανούς)} = \frac{\left[\frac{0.233(H/\lambda)}{0.2 + (H/\lambda)^2} \right] \left(\frac{l^{1.5} + 3.3l^3}{l^4 + 0.07} \right)}{\xi^{0.78}} \quad (6.4)$$

όπου:

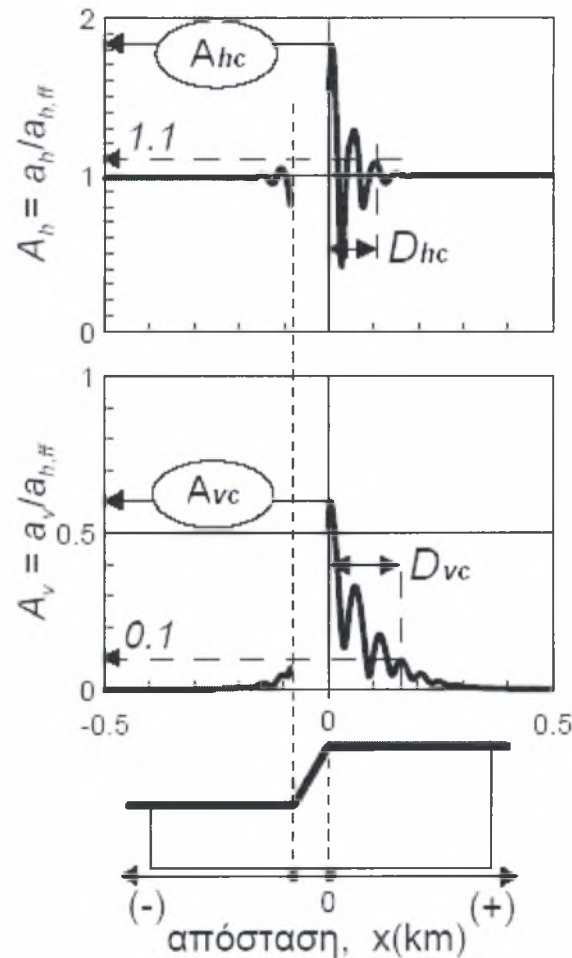
A_{hc} είναι η μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς,

A_{vc} είναι η μέγιστη τιμή του συντελεστή (παρασιπικής) κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς

D_{hc} είναι η απόσταση πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την οριζόντια επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_h γίνει συστηματικά μικρότερη από 1.10

D_{vc} είναι η απόσταση πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_v γίνει συστηματικά μικρότερη από 0.10

Ενδεικτικά, οι ανωτέρω παράμετροι σχεδιασμού για την απόκριση μονοκλινούς πρανούς ορίζονται πρακτικώς όπως στο ακόλουθο Σχήμα 6.1:



Σχήμα 6.1. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης από αριθμητική ανάλυση για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$, αδιάστατο ύψος $H/\lambda=2.0$, απόσβεση $\xi=5\%$ και $N=6$ σημαντικούς κύκλους και ορισμός μεγεθών σχεδιασμού (Μπουκοβάλας κ.α. 2006).

Οι σχέσεις (6.1) έως (6.4) μπορούν να δώσουν μια αξιόπιστη εκτίμηση των χρήσιμων αυτών μεγεθών για κάθε περίπτωση i , H/λ , ξ και N και στη συνέχεια, η επίδραση του πλάτους B να εκτιμηθεί με όσα αναφέρονται στην παράγραφο 6.2 για τα φαράγγια και στην παράγραφο 6.3 για τους λόφους.

6.2. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΜΟΡΦΗΣ ΦΑΡΑΓΓΙΟΥ

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων τοπογραφικής επιδείνωσης που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.1 έως 4.11, γίνεται κατ' αρχήν στο Σχήμα 6.2, ο ορισμός των κρίσιμων μεγεθών ενδιαφέροντος που είναι οι μέγιστες τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης: (A_{hc} , A_{ht} , A_{vc} , A_{vt}), και οι αποστάσεις μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» πίσω από την στέψη: (D_{hc} , D_{vc}). Πιο συγκεκριμένα, τα προαναφερθέντα μεγέθη ενδιαφέροντος ορίζονται ως:

A_{hc} : μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη φαράγγιων

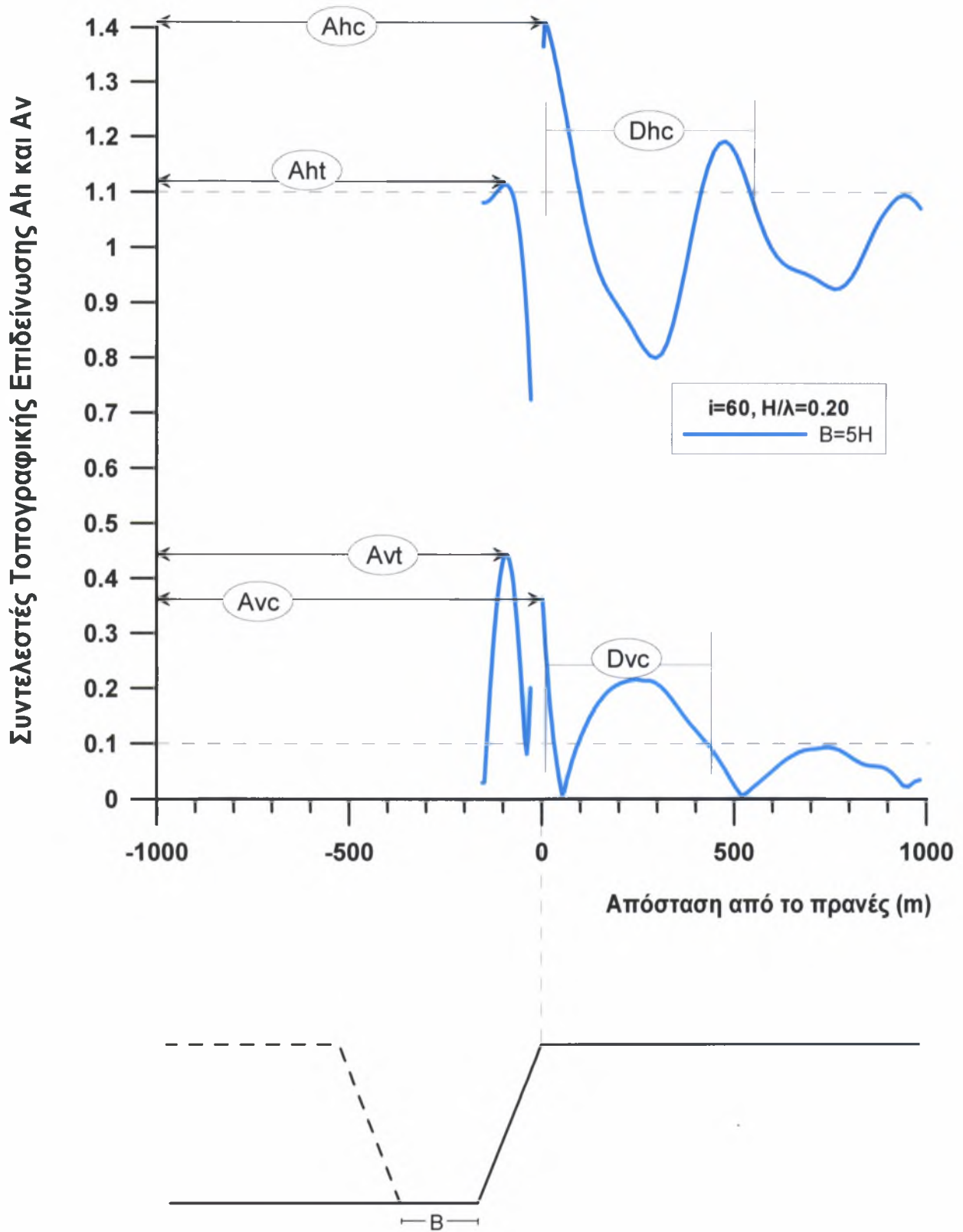
A_{ht} : μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης μπροστά από τον πόδα φαράγγιων

A_{vc} : μέγιστη τιμή του συντελεστή (παρασιτικής) κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη φαράγγιων

A_{vt} : μέγιστη τιμή του συντελεστή (παρασιτικής) κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης μπροστά από τον πόδα φαράγγιων

D_{hc} : απόσταση πίσω από τη στέψη φαράγγιων μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την οριζόντια επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_h γίνει συστηματικά μικρότερη από 1.10

D_{vc} : απόσταση πίσω από τη στέψη φαράγγιων μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_v γίνει συστηματικά μικρότερη από 0.10



Σχήμα 6.2: Ορισμός μέγιστων τιμών συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_{hc} , A_{ht} , A_{vc} , A_{vt} , D_{hc} , D_{vc} για τοπογραφία μορφής φαράγγιού.

Οι τιμές όλων των ανωτέρω μεγεθών για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1. Χάριν σύγκρισης, στον ίδιο πίνακα ενσωματώνονται αποτελέσματα και για τα εκάστοτε αντίστοιχα μονοκλινή πρηνή, για τα οποία θεωρήθηκε ότι αντιστοιχούν σε φαράγγια με πολύ μεγάλο πλάτος κοιλάδας $B=40H=2000m$.

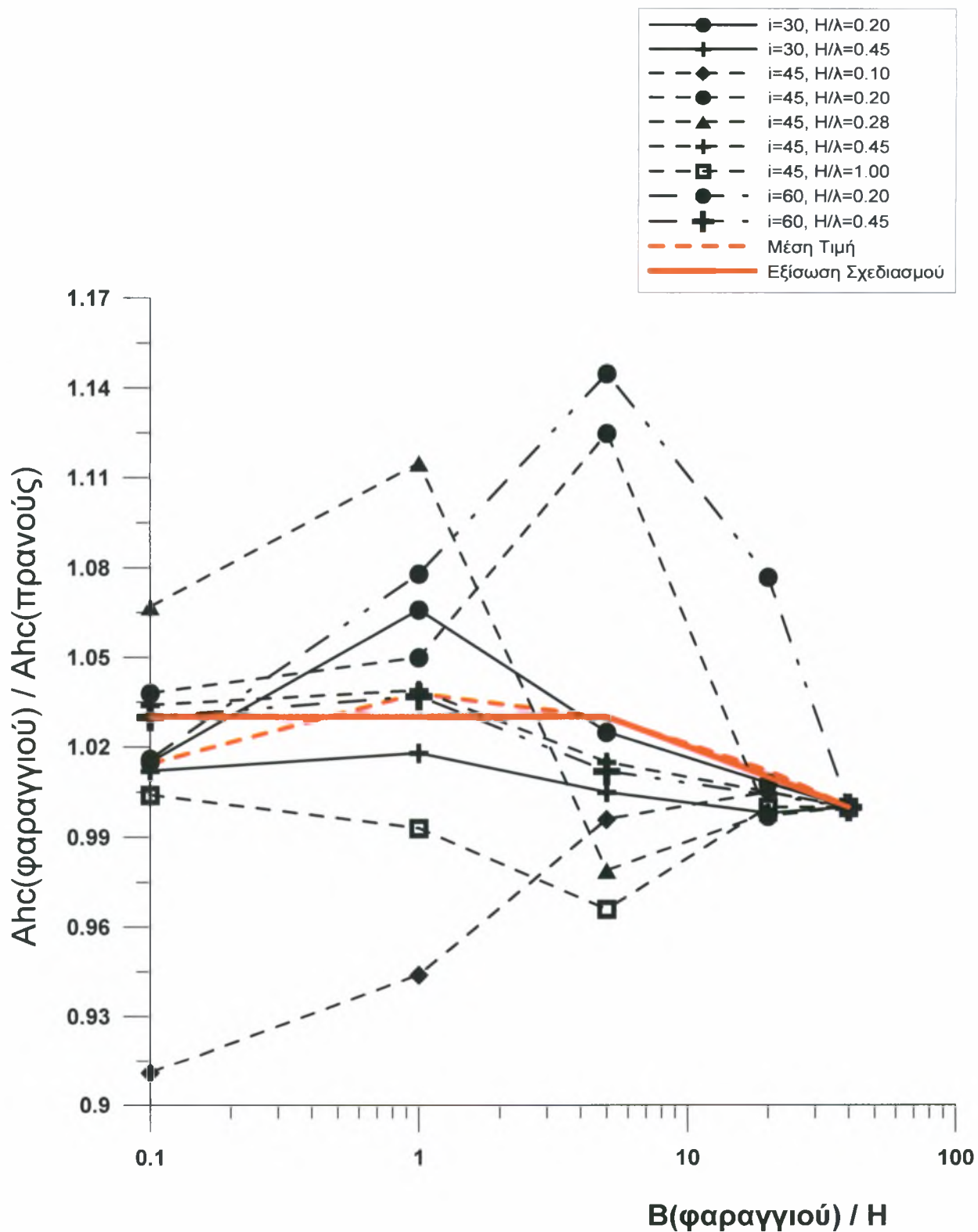
Για να χρησιμοποιηθούν ως βάση αναφοράς και γενίκευσης οι εξισώσεις 6.1 έως 6.4 από τη βιβλιογραφία, οι εκτιμήσεις για τα A_{hc} , A_{vt} , A_{vc} , A_{vt} , D_{hc} , D_{vc} αδιαστατοποιήθηκαν ως προς τιμές απόκρισης που προέκυψαν για τις εκάστοτε αντίστοιχες αναλύσεις μονοκλινών πρηνών και συγκεκριμένα:

- * Τα A_{hc} όλων των περιπτώσεων των φαραγγίων διαιρέθηκαν με το A_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς,
- * Τα A_{vc} διαιρέθηκαν με το A_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς,
- * Τα A_{ht} διαιρέθηκαν με το A_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του A_{ht} (πρηνούς)
- * Τα A_{vt} διαιρέθηκαν με το A_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του A_{vt} (πρηνούς)
- * Τα D_{hc} διαιρέθηκαν με το D_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς
- * Τα D_{vc} διαιρέθηκαν με το D_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς

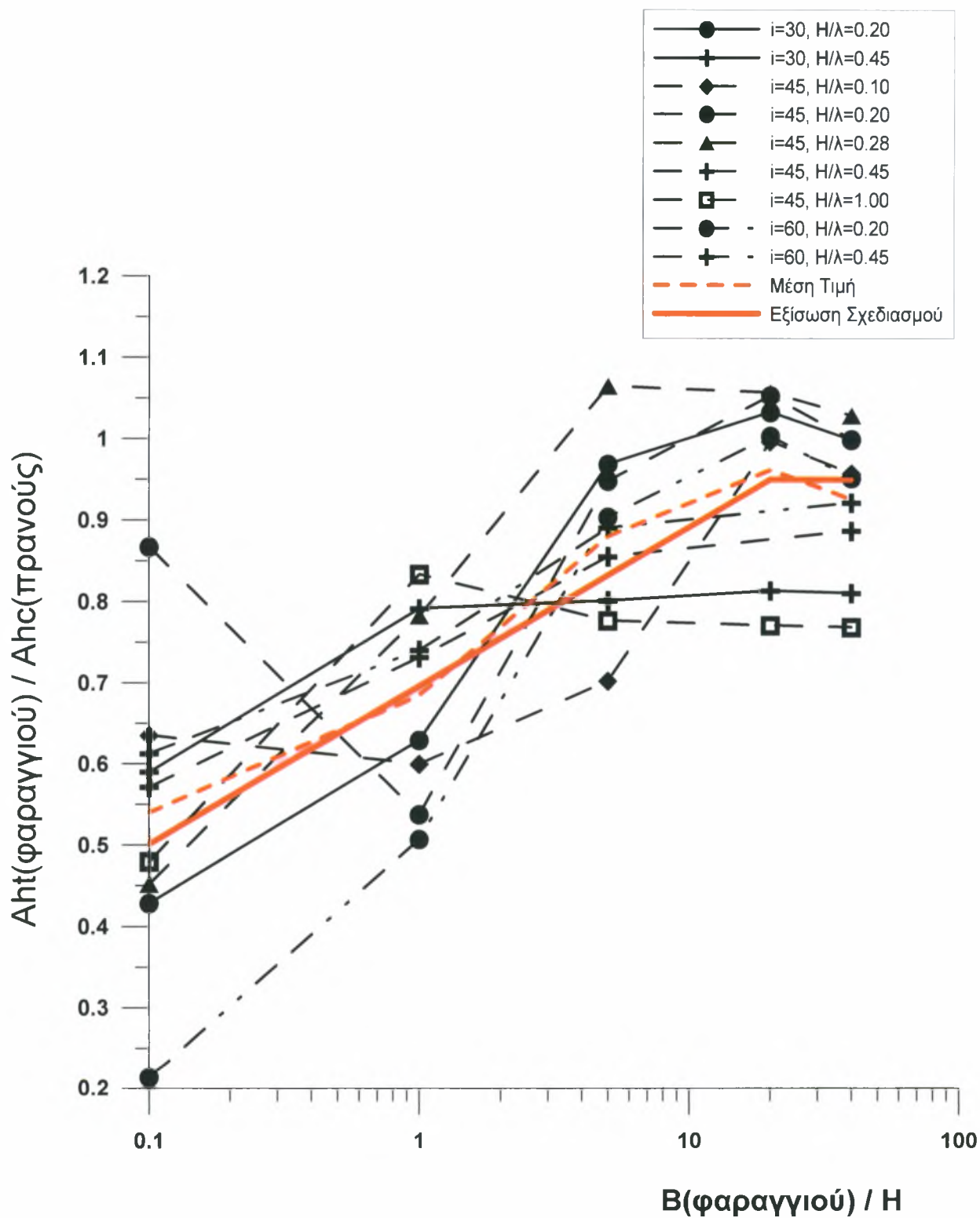
Η επίδραση του αδιάστατου εύρους B/H επί των ανωτέρω λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.3 έως 6.8

Πίνακας 6.1: Τιμές συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης φαραγγίων.

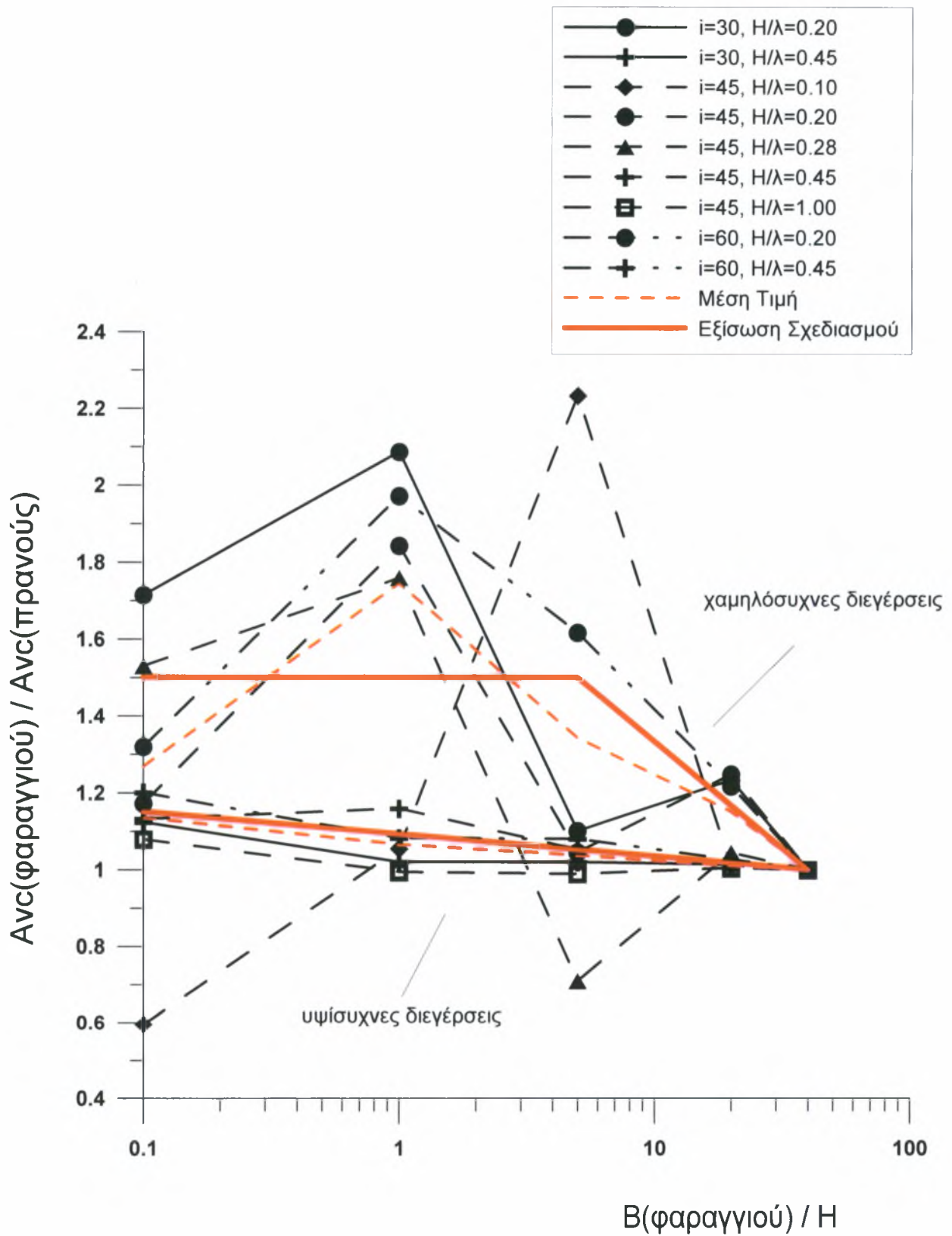
i	H/λ	B/H	B	Ah_c	Dh_c	Av_c	Dv_c	Ah_t	Av_t
30	0.2	0.1	5	1.156	300	0.235	650	0.488	0.042
30	0.2	1	50	1.214	300	0.286	670	0.717	0.177
30	0.2	5	250	1.167	500	0.151	330	1.104	0.275
30	0.2	20	1000	1.148	300	0.169	280	1.177	0.17
30	0.2	40	2000	1.139	300	0.137	270	1.138	0.139
30	0.45	0.1	5	1.323	270	0.317	280	0.771	0.03
30	0.45	1	50	1.331	270	0.288	280	1.035	0.076
30	0.45	5	250	1.314	270	0.288	280	1.048	0.082
30	0.45	20	1000	1.305	270	0.286	280	1.064	0.049
30	0.45	40	2000	1.307	270	0.282	280	1.06	0.061
45	0.1	0.1	5	1.037	-	0.053	-	0.723	0.023
45	0.1	1	50	1.074	-	0.094	300	0.683	0.107
45	0.1	5	250	1.134	400	0.2	600	0.8	1.174
45	0.1	20	1000	1.143	180	0.09	320	1.135	0.187
45	0.1	40	2000	1.138	180	0.089	300	1.089	0.116
45	0.2	0.1	5	1.195	250	0.203	350	0.998	0.076
45	0.2	1	50	1.208	500	0.319	750	0.619	0.318
45	0.2	5	250	1.295	520	0.181	392	1.092	0.377
45	0.2	20	1000	1.147	500	0.216	610	1.213	0.232
45	0.2	40	2000	1.151	500	0.173	300	1.151	0.245
45	0.28	0.1	5	1.204	490	0.338	550	0.51	0.099
45	0.28	1	50	1.258	490	0.389	542	0.883	0.359
45	0.28	5	250	1.104	320	0.157	480	1.202	0.299
45	0.28	20	1000	1.126	320	0.231	500	1.193	0.204
45	0.28	40	2000	1.128	320	0.221	500	1.161	0.259
45	0.45	0.1	5	1.283	300	0.403	490	0.709	0.038
45	0.45	1	50	1.289	300	0.413	490	0.908	0.097
45	0.45	5	250	1.26	300	0.375	470	1.062	0.093
45	0.45	40	2000	1.241	300	0.356	330	1.101	0.071
45	1.0	0.1	5	1.383	-	0.656	290	0.661	0.12
45	1.0	1	50	1.368	-	0.574	230	1.149	0.144
45	1.0	5	250	1.373	-	0.602	230	1.074	0.147
45	1.0	20	1000	1.378	-	0.611	230	1.063	0.089
45	1.0	40	2000	1.378	-	0.608	230	1.06	0.098
60	0.2	0.1	5	1.252	300	0.297	340	0.263	0.117
60	0.2	1	50	1.328	495	0.444	790	0.625	0.317
60	0.2	5	250	1.411	530	0.364	415	1.114	0.443
60	0.2	20	1000	1.241	485	0.274	390	1.237	0.286
60	0.2	40	2000	1.232	460	0.225	650	1.173	0.322
60	0.45	0.1	5	1.239	300	0.549	510	0.737	0.088
60	0.45	1	50	1.247	300	0.495	500	0.891	0.18
60	0.45	5	250	1.218	300	0.494	495	1.072	0.164
60	0.45	40	2000	1.203	300	0.457	490	1.109	0.161



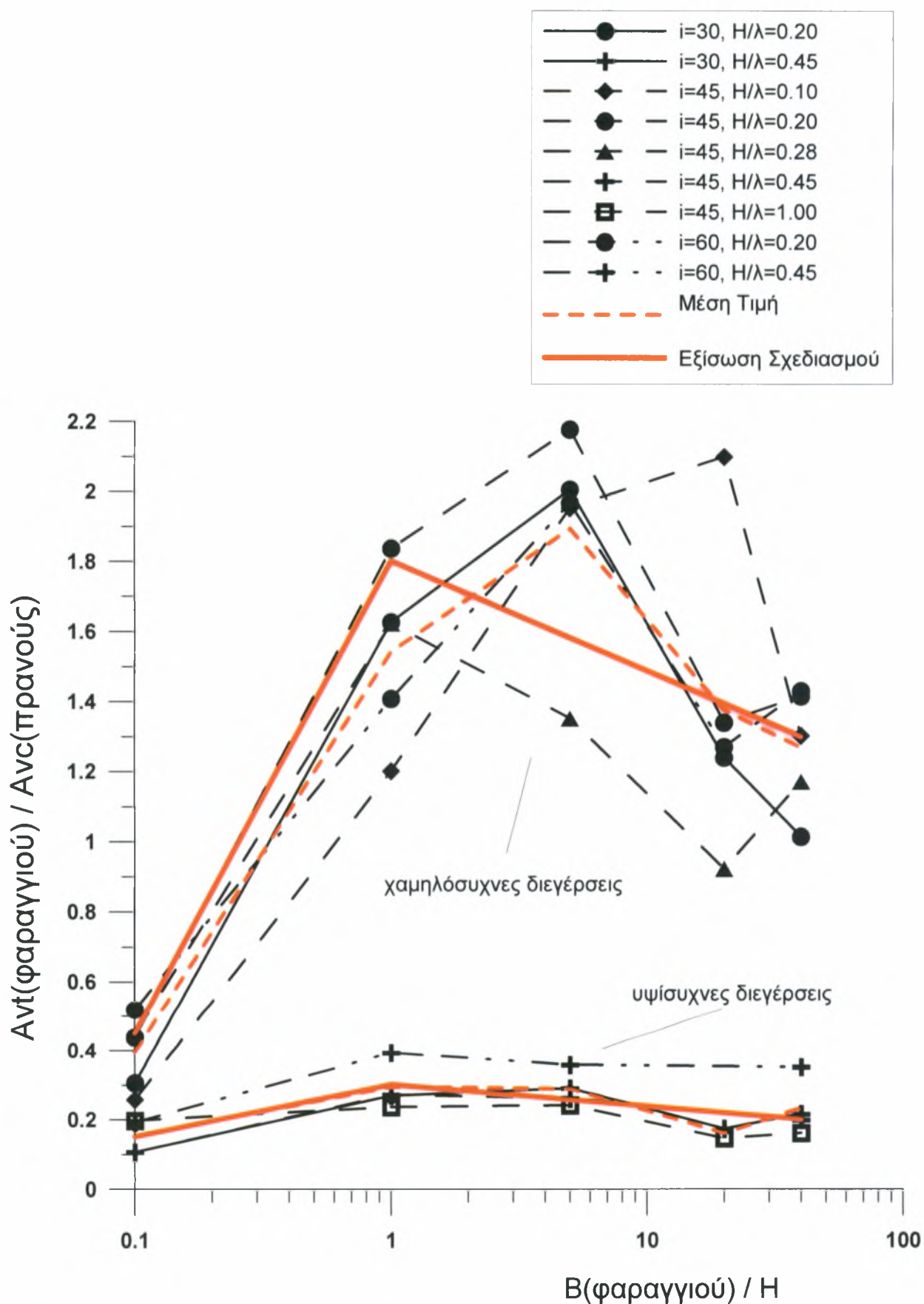
Σχήμα 6.3: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαλαγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



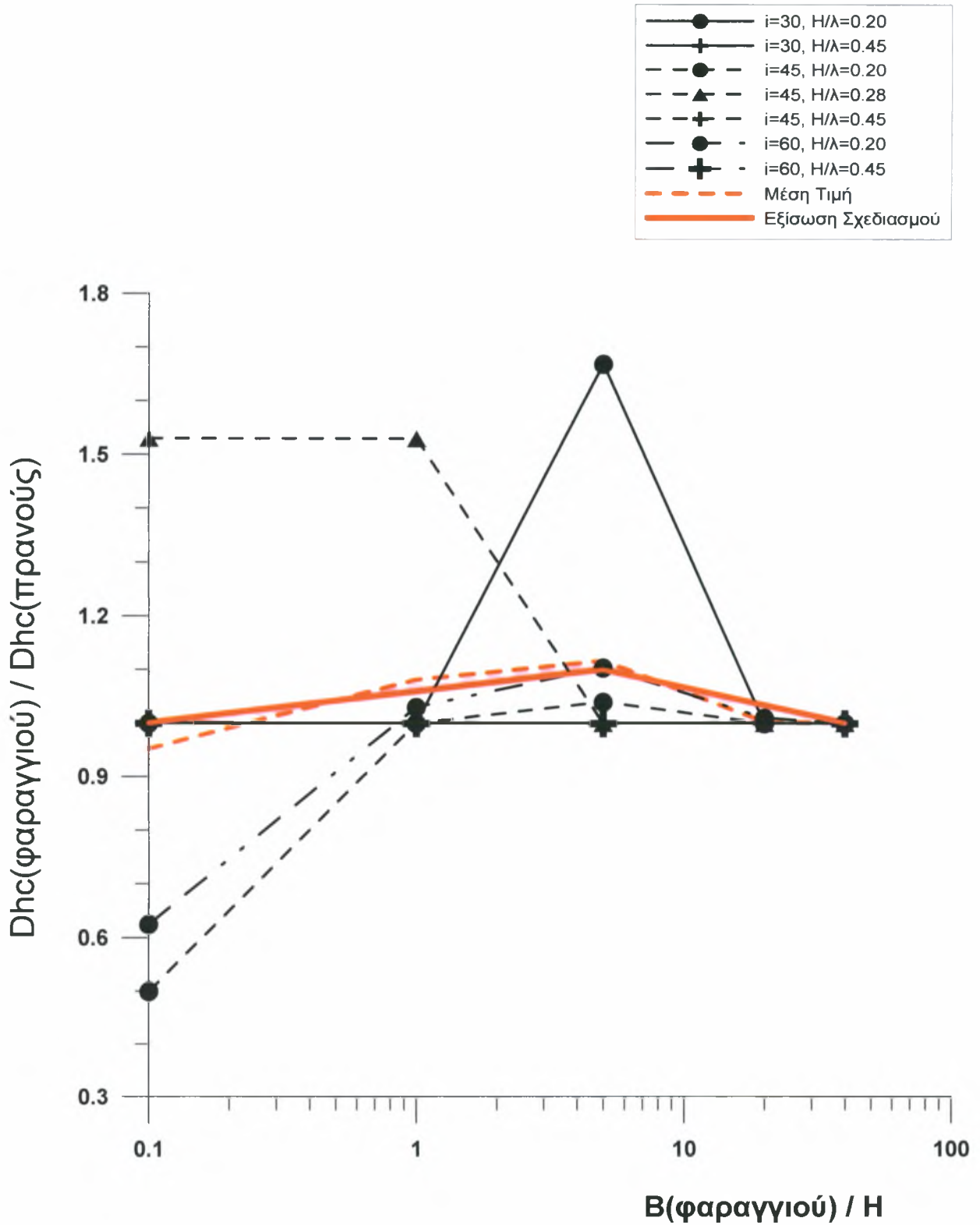
Σχήμα 6.4: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαραγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα του φαραγγιού, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



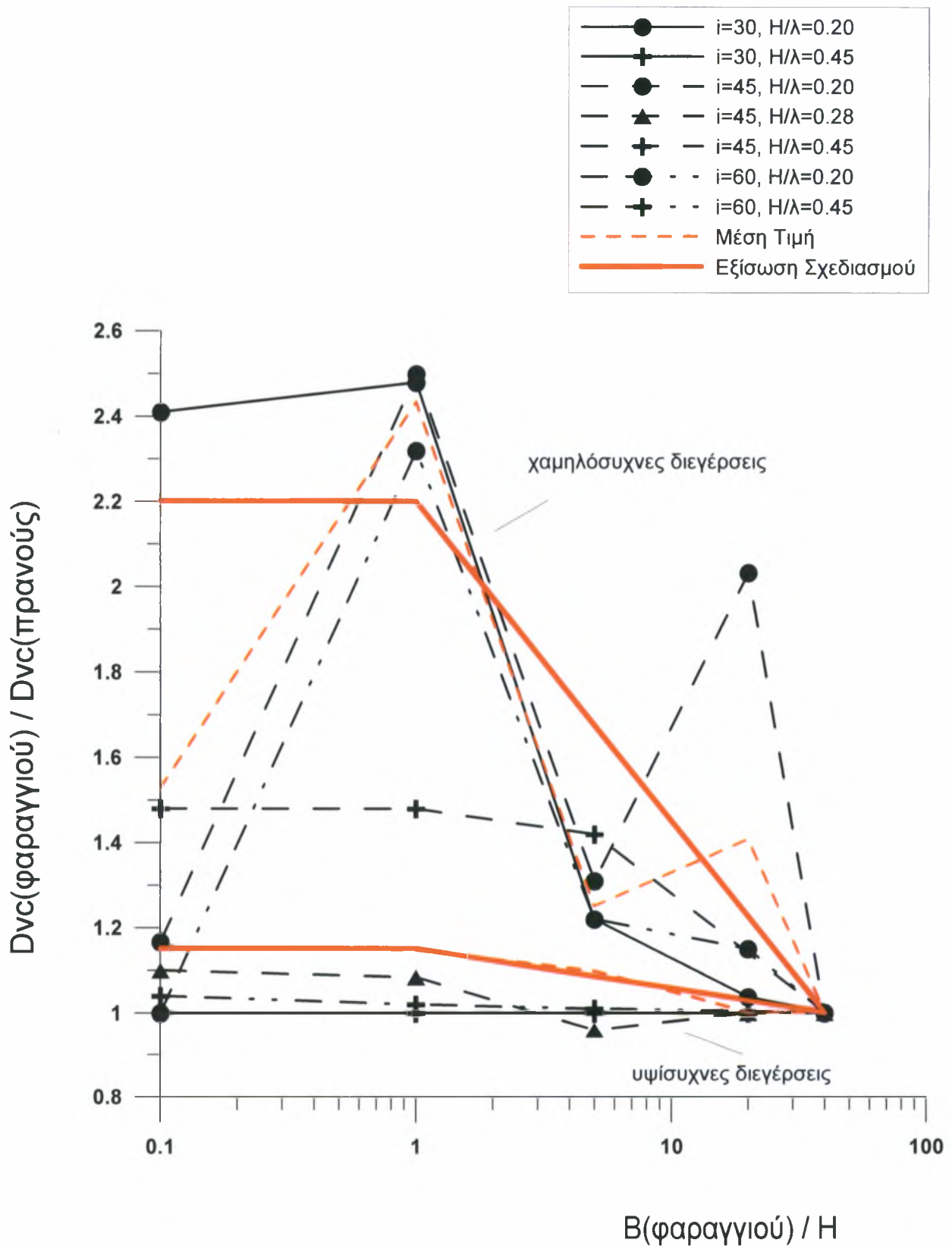
Σχήμα 6.5: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαραγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 6.6: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαλαγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα του φαλαγγιού, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 6.7: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαλαγγιού B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη φαλαγγιού, εν συγκρίσει με την απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 6.8: Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαλαγγιού B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τον πόδα του φαλαγγιού, εν συγκρίσει με την απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς

Σχετικά με τα Σχήματα 6.3 έως 6.8 γίνονται οι εξής παρατηρήσεις:

α) δεν υπάρχει κάποια σαφής μονοτονική επίδραση του B/H στις τιμές των διαφόρων λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης,

β) για ορισμένους από τους λόγους τοπογραφικής επιδείνωσης (Σχ. 6.5, 6.6, 6.8) μπορεί να υιοθετηθεί ομοδοποίηση των αποτελεσμάτων, για σχετικώς:

- **υψίσυχνες διεγέρσεις** ($H/\lambda=0.45$ και $H/\lambda=1.00$) ή υψηλά φαράγγια, στις οποίες οι τιμές των λόγων λαμβάνουν σχετικώς υψηλές τιμές,
- **χαμηλόσυχνες διεγέρσεις** ($H/\lambda=0.10, 0.20, 0.28$) ή χαμηλά φαράγγια, στις οποίες οι τιμές των λόγων λαμβάνουν σαφώς χαμηλότερες τιμές

γ) με βάση των ανωτέρω ομαδοποίηση μπορεί να υιοθετηθεί μια αδρή διαφοροποίηση για υψίσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια, όπου $H/\lambda > 0.35$ και στις χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια, όπου $H/\lambda \leq 0.35$.

Για τον ορισμό εξισώσεων σχεδιασμού για τις τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης ως συναρτήσεις του αδιάστατου εύρους κοιλάδας φαραγγιού B/H, εκτιμήθηκε αρχικώς ο μέσος όρος των τιμών των λόγων για κάθε τιμή του B/H (βλέπε διακεκομμένη κόκκινη γραμμή στα Σχήματα 6.3 έως 6.8). Στη συνέχεια ορίσθηκαν εξισώσεις σχεδιασμού με στόχο την επαρκή προσέγγιση του μέσου όρου, εξισώσεις των οποίων η μορφή σχεδιάσθηκε με συνεχή κόκκινη γραμμή στα Σχήματα 6.3 έως 6.8, και των οποίων η αναλυτική μορφή παρουσιάζεται παρακάτω:

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαραγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.3):

$$\frac{A_{hc}(\text{φαραγγιού})}{A_{hc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 1.03, & B/H \leq 5 \\ 1.00, & B/H \geq 40 \\ 1.03 - 0.033 \log[0.2(B/H)] \geq 1.0, & 5 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.5)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαραγγιού B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.4):

$$\frac{A_{ht}(\text{φαραγγιού})}{A_{hc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 0.5, & B/H \leq 0.1 \\ 0.95, & B/H \geq 20 \\ 0.5 + 0.196 * \log[10(B/H)] \leq 0.95, & 0,1 < B/H < 20 \end{array} \right\} \quad (6.6)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαράγγιού B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.5):

α) **χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια (H/λ ≤ 0.35):**

$$\frac{A_{vc}(\text{φαράγγιού})}{A_{vc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{l} 1.5, \quad B/H \leq 5 \\ 1.0, \quad B/H \geq 40 \\ 1.5 - 0.554 \log[0.2(B/H)] \geq 1.0, \quad 5 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.7\alpha)$$

β) **υψίσυχνες διεγέρσεις ή υψηλά φαράγγια (H/λ ≥ 0.35):**

$$\frac{A_{vc}(\text{φαράγγιού})}{A_{vc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{l} 1.15, \quad B/H \leq 0.1 \\ 1.0, \quad B/H \geq 40 \\ 1.15 - 0.058 \log[10(B/H)] \geq 1.0, \quad 0.1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.7\beta)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαράγγιού B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.6):

α) **χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια (H/λ ≤ 0.35):**

$$\frac{A_{vt}(\text{φαράγγιού})}{A_{vt}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{l} 0.45, \quad B/H \leq 0.1 \\ 1.3, \quad B/H \geq 40 \\ 0.45 + 1.35 \log[10(B/H)], \quad 0.1 \leq B/H \leq 1 \\ 1.8 - 0.312 \log(B/H) \geq 1.3, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.8\alpha)$$

β) **υψίσυχνες διεγέρσεις ή υψηλά φαράγγια (H/λ ≥ 0.35):**

$$\frac{A_{vt}(\text{φαράγγιού})}{A_{vt}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{l} 0.15, \quad B/H \leq 0.1 \\ 0.2, \quad B/H \geq 40 \\ 0.15 + 0.15 \log[10(B/H)], \quad 0.1 \leq B/H \leq 1 \\ 0.3 - 0.062 \log(B/H) \geq 0.2, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.8\beta)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαράγγιού B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.7):

$$\frac{D_{hc}(\text{φαράγγιού})}{D_{hc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{l} 1.0, \quad B/H \leq 0.1 \\ 1.0, \quad B/H \geq 40 \\ 1 + 0.59 \log[10(B/H)] \leq 1.1, \quad 0.1 \leq B/H \leq 5 \\ 1.1 - 0.111 \log[0.2(B/H)] \geq 1.0, \quad 5 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.9)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους φαράγγιού B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.8):

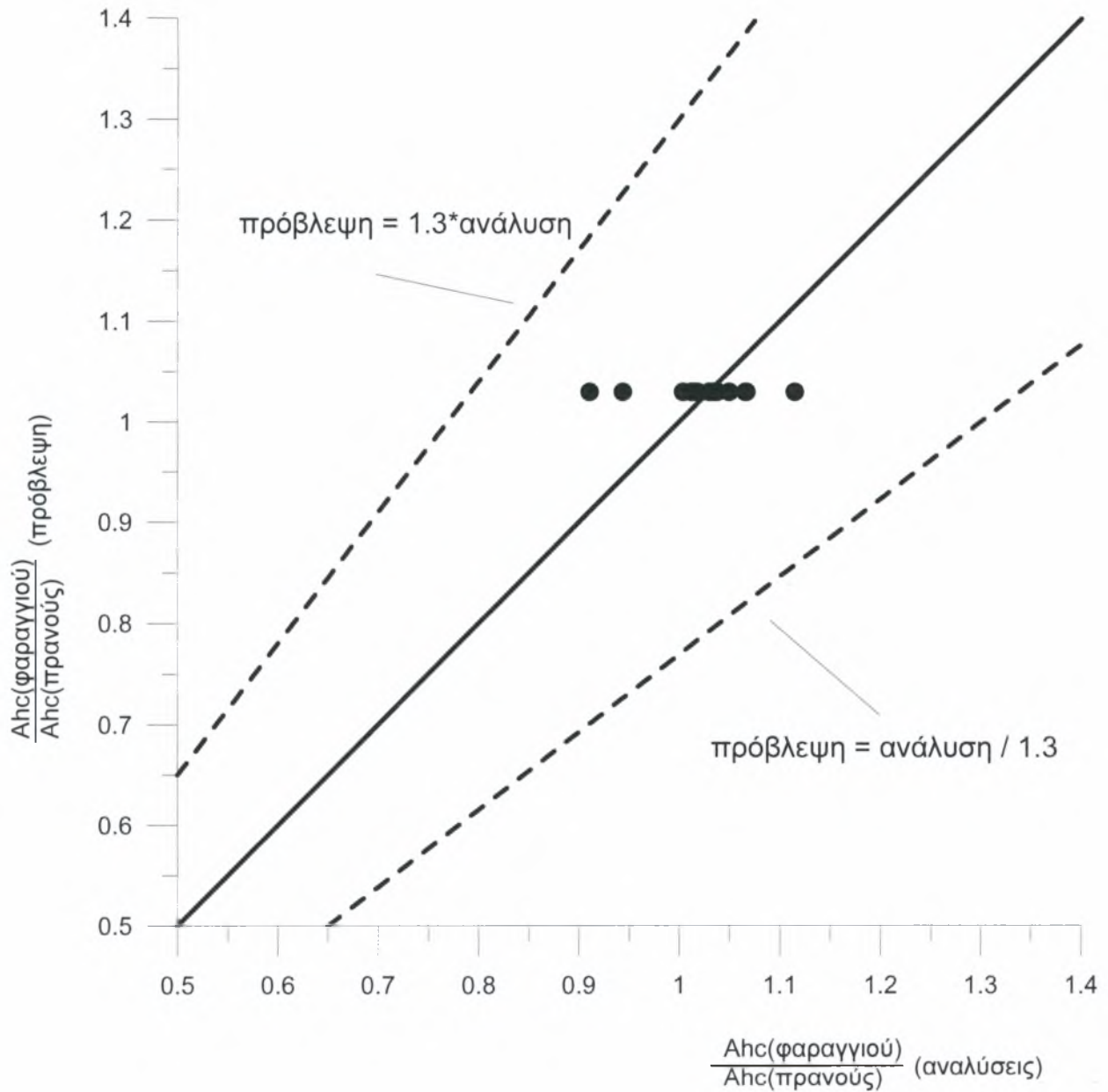
α) χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλά φαράγγια ($H/\lambda \leq 0.35$):

$$\frac{D_{vc}(\text{φαραγγιού})}{D_{vc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 2.2, \quad B/H \leq 1 \\ 1.0, \quad B/H \geq 40 \\ 2.2 - 0.749 \log(B/H) \geq 1.0, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.10\alpha)$$

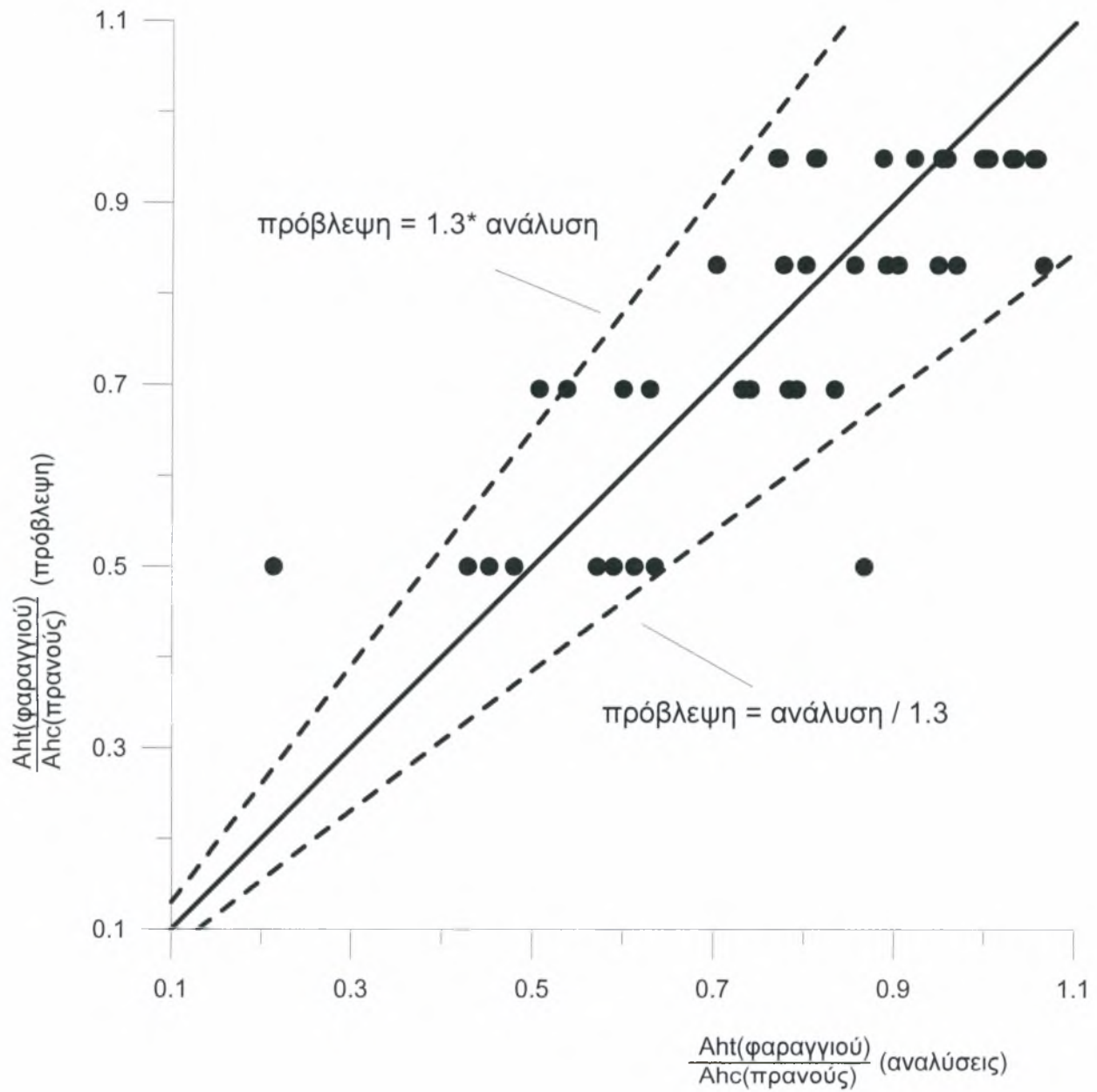
β) υψίσυχνες διεγέρσεις ή υψηλά φαράγγια ($H/\lambda \geq 0.35$):

$$\frac{D_{vc}(\text{φαραγγιού})}{D_{vc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 1.15, \quad B/H \leq 1 \\ 1.0, \quad B/H \geq 40 \\ 1.15 - 0.094 \log(B/H) \geq 1.0, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.10\beta)$$

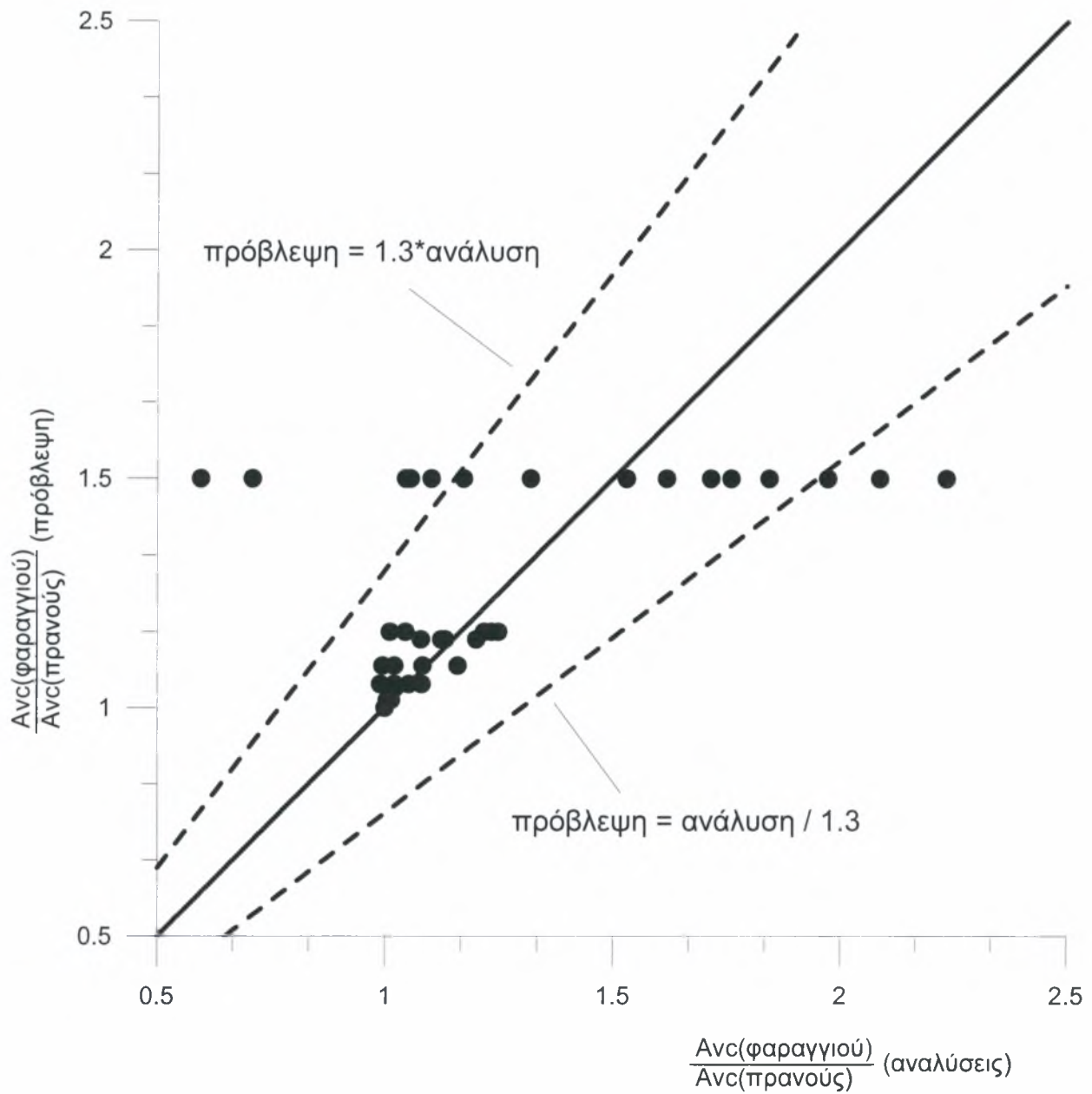
Για την ποσοτικοποίηση της ακρίβειας των εξισώσεων σχεδιασμού (6.5) έως (6.10), στα Σχήματα 6.9 έως 6.14 συγκρίνονται οι τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις με τις αντίστοιχες, κατά περίπτωση, τιμές του όπως προκύπτουν από τις εξισώσεις σχεδιασμού (6.5) έως (6.10), αντίστοιχα. Τέλεια σύγκριση ανάλυσης – πρόβλεψης θα τοποθετούσε τα σύμβολα ακριβώς επί της διαγωνίου των εν λόγω Σχημάτων, τα οποία εμπεριέχουν (με διακεκομμένη) και τις ευθείες που αντιστοιχούν σε $\pm 30\%$ σχετικό λάθος πρόβλεψης. Όπως προκύπτει, στην πολύ μεγάλη πλειοψηφία τους, οι προβλέψεις για τις τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης έχουν σχετικό λάθος μικρότερο ή ίσο του 30%, γεγονός που τις καθιστά αξιόπιστα εργαλεία πρόβλεψης της τοπογραφικής επιδείνωσης σε φαράγγια, πάντα σε συνδυασμό με τις σχέσεις (6.1) έως (6.4) που αντιστοιχούν στο μονοκλινές πρανές και προέρχονται από τη βιβλιογραφία.



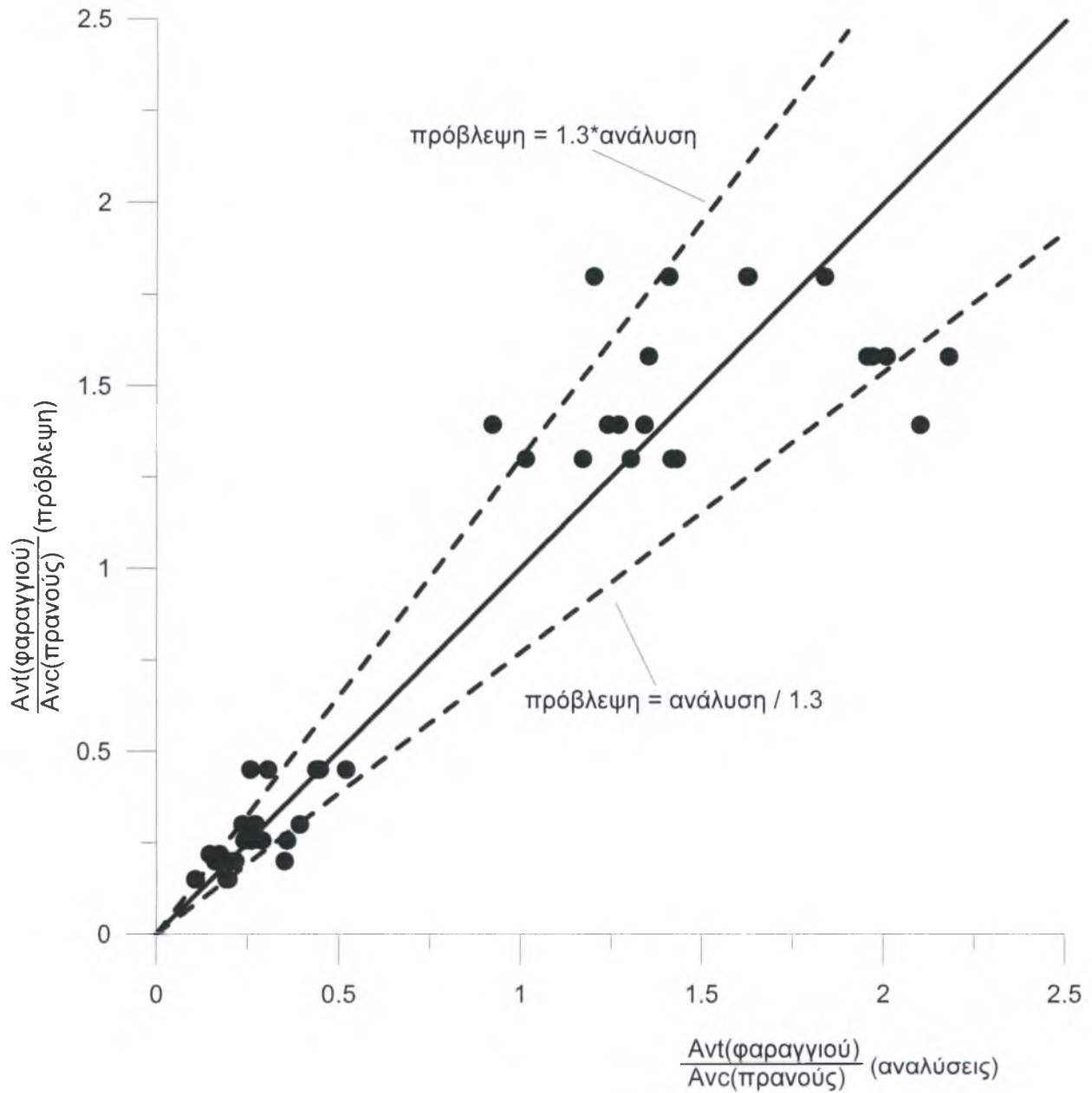
Σχήμα 6.9: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη φαραγγιού



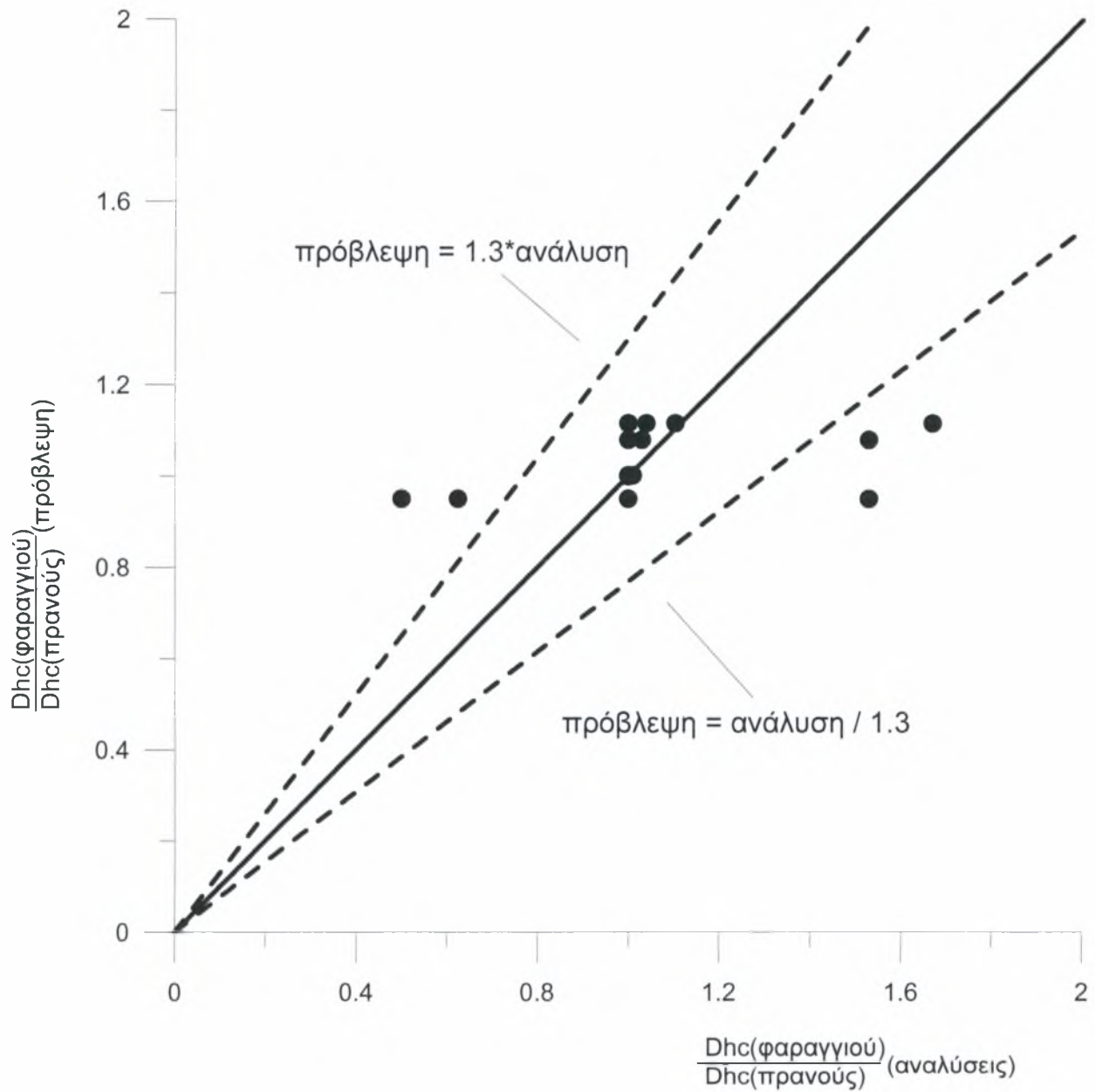
Σχήμα 6.10: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα φαράγγιο



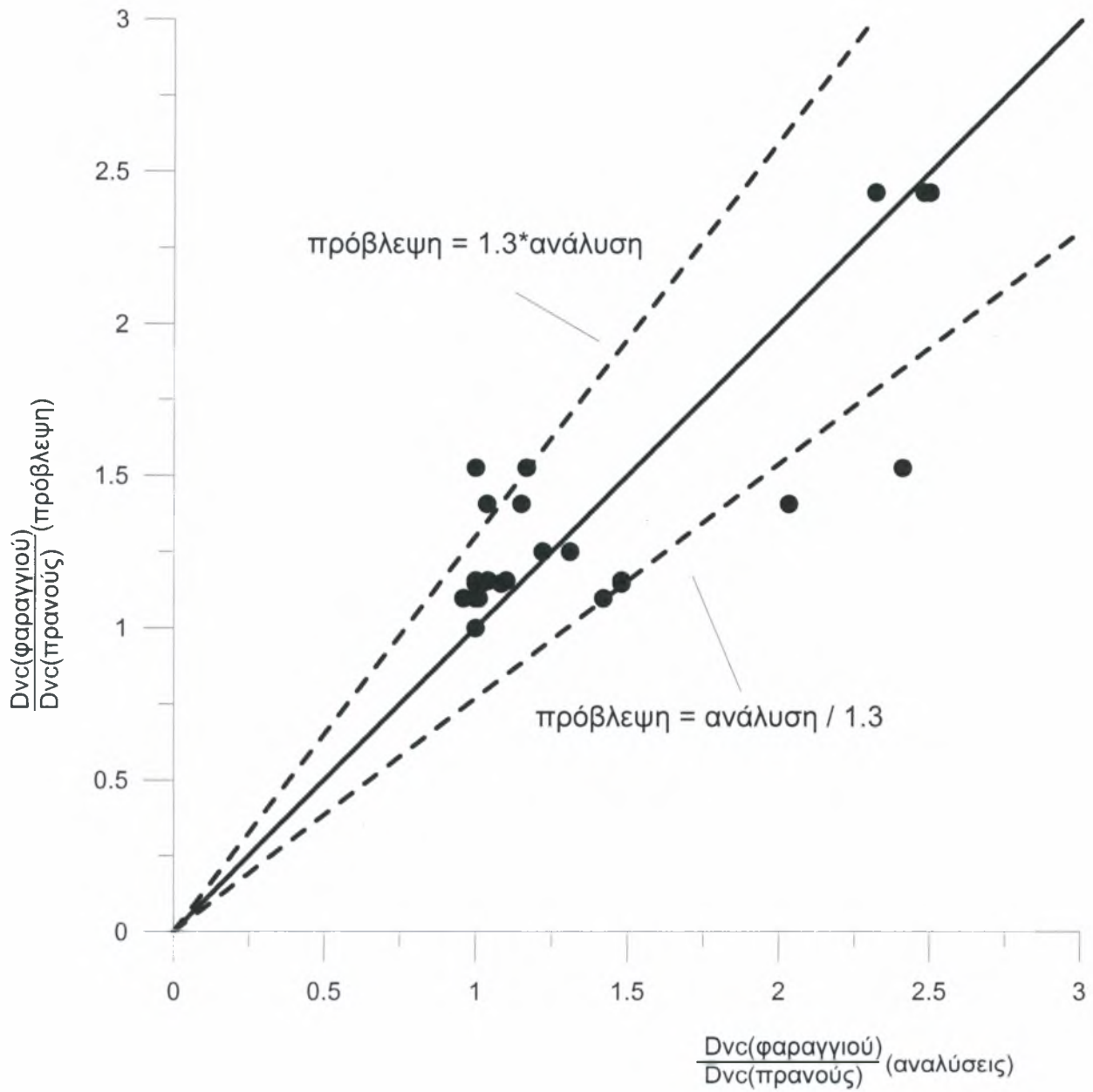
Σχήμα 6.11: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη φαραγγιού.



Σχήμα 6.12: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον ποδα φαραγγιού.



Σχήμα 6.13: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της απόστασης έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη φαραγγιού.



Σχήμα 6.14: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της απόστασης έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση πίσω από τη στέψη φαραγγιού.

6.3. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΜΟΡΦΗΣ ΛΟΦΟΥ

Αντίστοιχα με την τοπογραφική επιδείνωση φαραγγίων, για την περίπτωση των λόφων και τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων τοπογραφικής επιδείνωσης που παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.1 έως 5.6, γίνεται κατ' αρχήν στο Σχήμα 6.15 ο ορισμός των κρίσιμων μεγεθών ενδιαφέροντος που είναι οι μέγιστες τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης (A_{hc} , A_{ht} , A_{vc} , A_{vt}) και οι αποστάσεις μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» μπροστά από τον πόδα λόφων (D_{ht} , D_{vt}). Πιο συγκεκριμένα, τα προαναφερθέντα μεγέθη ενδιαφέροντος ορίζονται ως:

A_{hc} : μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη λόφων

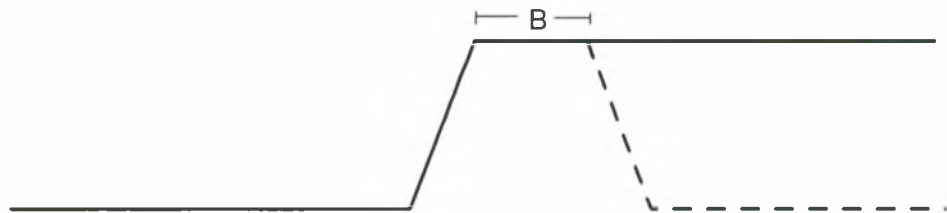
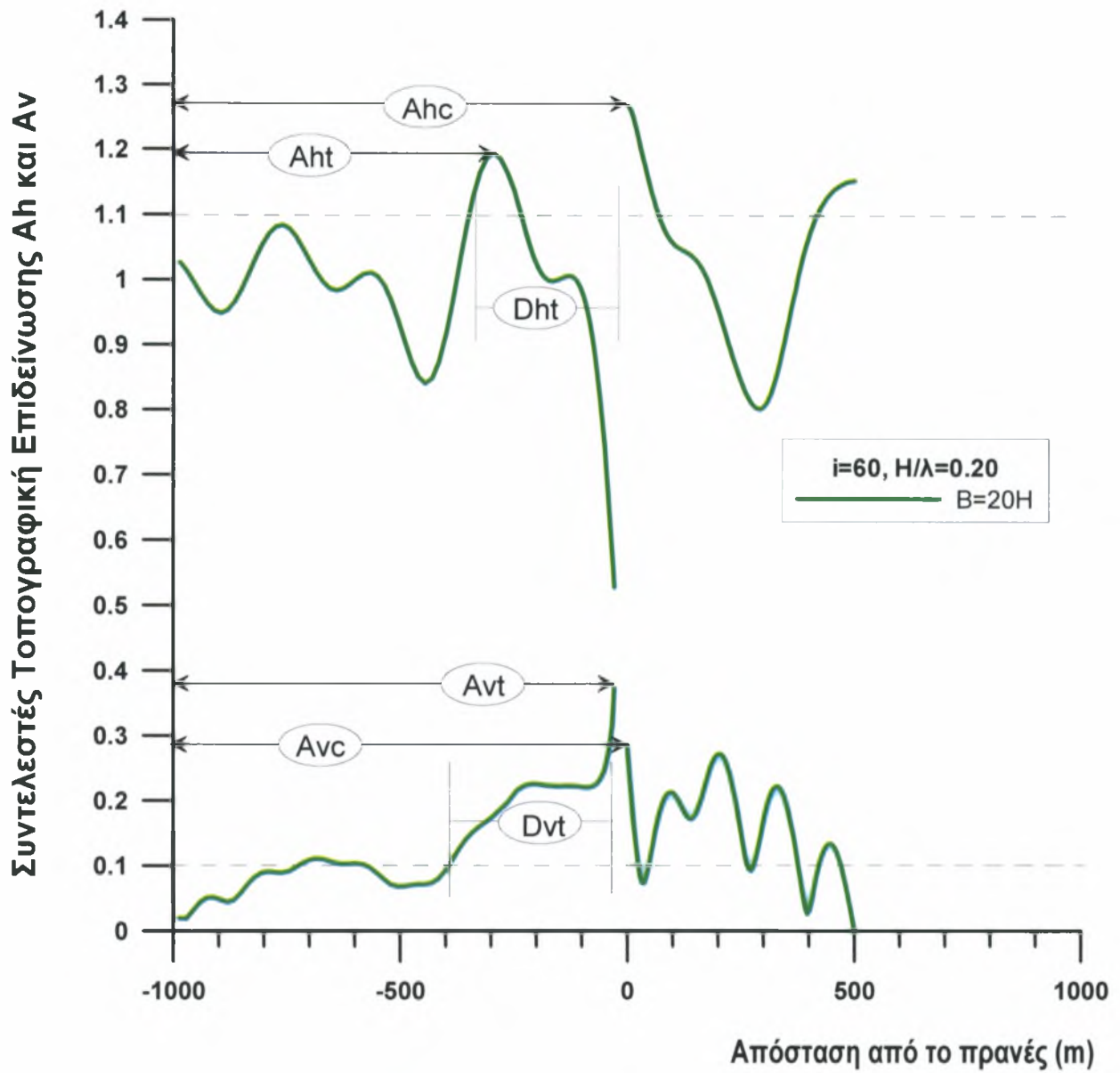
A_{ht} : μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης μπροστά από τον πόδα λόφων

A_{vc} : μέγιστη τιμή του συντελεστή (παρασιτικής) κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης πίσω από τη στέψη λόφων

A_{vt} : μέγιστη τιμή του συντελεστή (παρασιτικής) κατακόρυφης τοπογραφικής επιδείνωσης μπροστά από τον πόδα λόφων

D_{ht} : απόσταση μπροστά από τον πόδα λόφων μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την οριζόντια επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_h γίνει συστηματικά μικρότερη από 1.10

D_{vt} : απόσταση μπροστά από τον πόδα λόφων μέχρι το «ελεύθερο πεδίο» για την (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, μια απόσταση που ορίζεται, με ακρίβεια μηχανικού, ως η απόσταση μέχρις ότου η τιμή του συντελεστή A_v γίνει συστηματικά μικρότερη από 0.10



Σχήμα 6.15: Ορισμός μέγιστων τιμών συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_{hc} , A_{ht} , A_{vc} , A_{vt} , D_{hc} , D_{vc} , για τοπογραφία μορφής λόφου.

Οι τιμές όλων των ανωτέρω μεγεθών για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις συνοψίζονται στον Πίνακα 6.2. Χάριν σύγκρισης, στον ίδιο πίνακα ενσωματώνονται αποτελέσματα και για τα εκάστοτε αντίστοιχα μονοκλινή πρηνή, για τα οποία θεωρήθηκε ότι αντιστοιχούν σε λόφους με πολύ μεγάλο πλάτος στέψης $B=40H=2000m$.

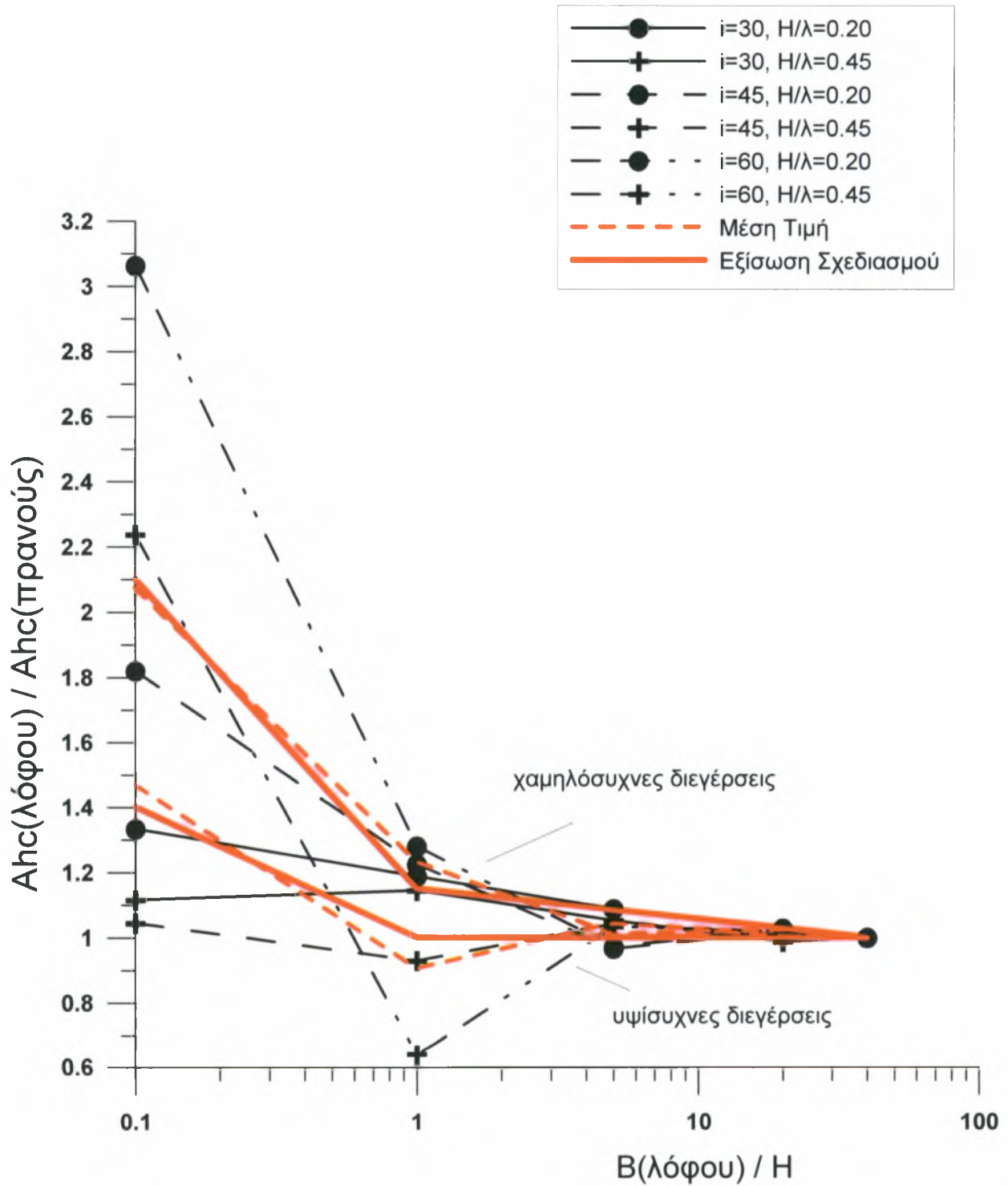
Για να χρησιμοποιηθούν ως βάση αναφοράς και γενίκευσης οι εξισώσεις 6.1 έως 6.4 από τη βιβλιογραφία, οι εκτιμήσεις για τα A_{hc} , A_{vt} , A_{vc} , A_{ht} , D_{hc} , D_{vc} αδιαστατοποιήθηκαν ως προς τιμές απόκρισης που προέκυψαν για τις εκάστοτε αντίστοιχες αναλύσεις μονοκλινών πρηνών και συγκεκριμένα:

- * Τα A_{hc} όλων των περιπτώσεων λόφων διαιρέθηκαν με το A_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς,
- * Τα A_{vc} διαιρέθηκαν με το A_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς,
- * Τα A_{ht} διαιρέθηκαν με το A_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του A_{ht} (πρηνούς)
- * Τα A_{vt} διαιρέθηκαν με το A_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του A_{vt} (πρηνούς)
- * Τα D_{ht} διαιρέθηκαν με το D_{hc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του D_{ht} (πρηνούς)
- * Τα D_{vt} διαιρέθηκαν με το D_{vc} του αντίστοιχου πρηνούς, καθώς οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δεν περιλαμβάνουν εκτίμηση του D_{vt} (πρηνούς)

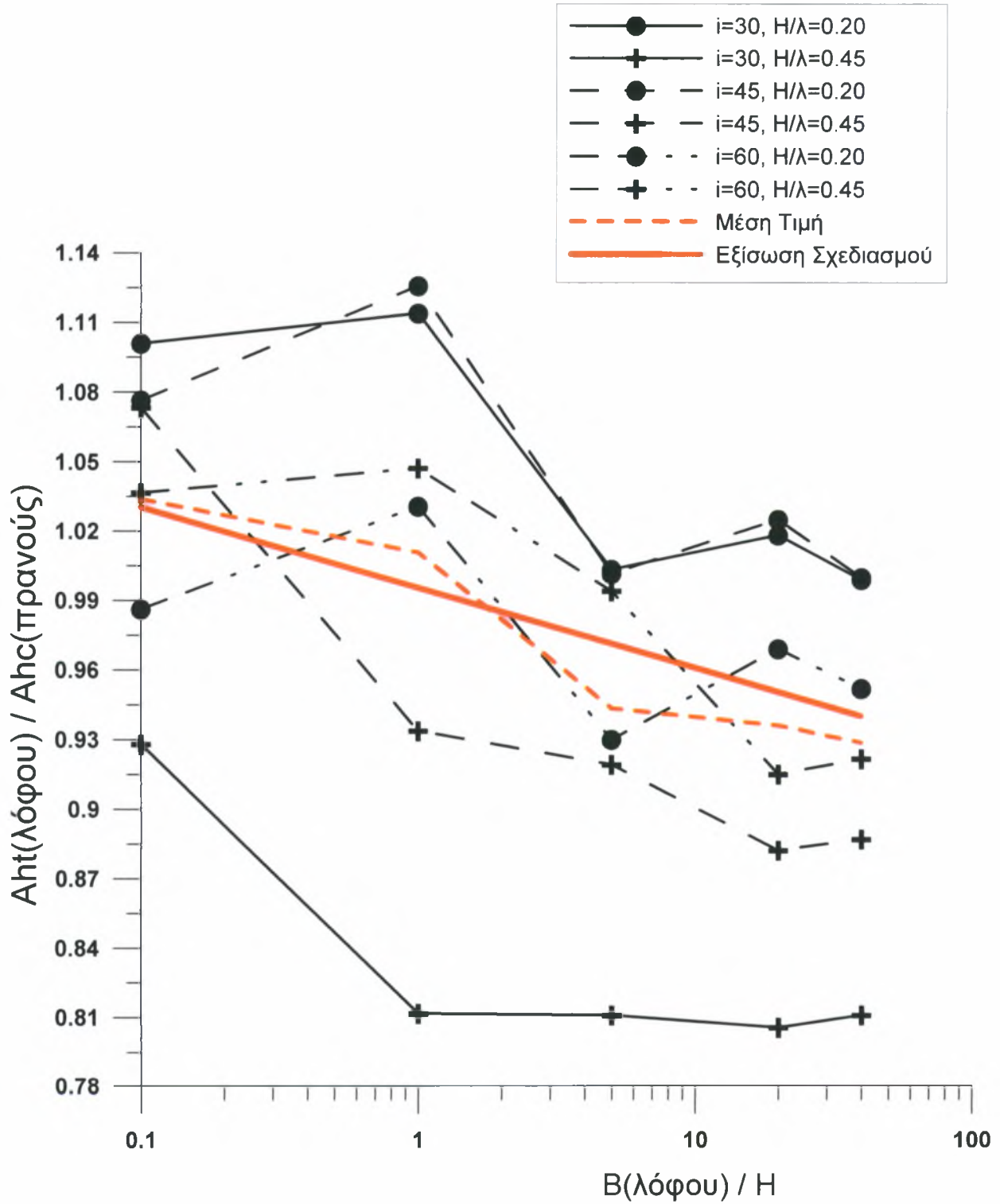
Η επίδραση του αδιάστατου εύρους B/H επί των ανωτέρω λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.16 έως 6.21.

Πίνακας 6.2: Τιμές συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης για τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης λόφων.

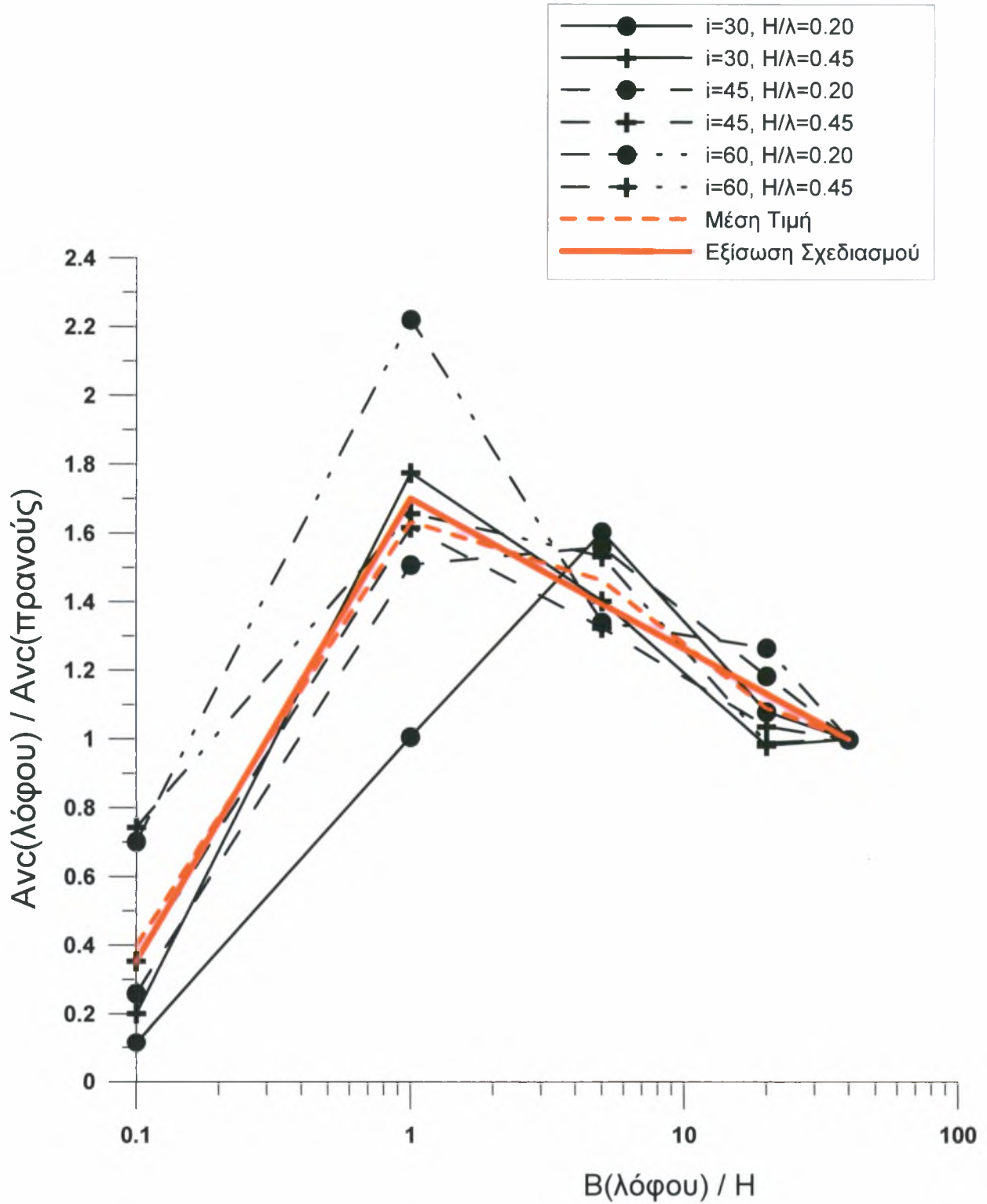
i	H/λ	B/H	B	Ah_c	Av_c	Ah_t	Dh_t	Av_t	Dv_t
30	0.2	0.1	5	1.519	0.016	1.254	800	0.252	700
30	0.2	1	50	1.354	0.138	1.269	760	0.223	630
30	0.2	5	250	1.239	0.22	1.143	300	0.196	320
30	0.2	20	1000	1.169	0.148	1.16	310	0.154	280
30	0.2	40	2000	1.139	0.137	1.138	310	0.139	280
30	0.45	0.1	5	1.458	0.057	1.213	60	0.073	0
30	0.45	1	50	1.496	0.501	1.061	0	0.107	60
30	0.45	5	250	1.376	0.396	1.06	0	0.031	0
30	0.45	20	1000	1.291	0.277	1.053	0	0.053	0
30	0.45	40	2000	1.307	0.282	1.06	0	0.061	0
45	0.2	0.1	5	2.094	0.045	1.239	800	0.441	800
45	0.2	1	50	1.411	0.261	1.296	780	0.409	780
45	0.2	5	250	1.113	0.27	1.153	320	0.347	780
45	0.2	20	1000	1.171	0.205	1.18	330	0.261	650
45	0.2	40	2000	1.151	0.173	1.151	330	0.245	330
45	0.45	0.1	5	1.297	0.126	1.332	310	0.222	270
45	0.45	1	50	1.154	0.576	1.159	40	0.096	0
45	0.45	5	250	1.293	0.472	1.141	50	0.059	0
45	0.45	20	1000	1.251	0.369	1.095	50	0.071	0
45	0.45	40	2000	1.241	0.356	1.101	50	0.071	0
60	0.2	0.1	5	3.774	0.158	1.215	780	0.635	820
60	0.2	1	50	1.578	0.5	1.27	770	0.597	810
60	0.2	5	250	1.197	0.302	1.146	280	0.417	810
60	0.2	20	1000	1.267	0.285	1.194	300	0.373	690
60	0.2	40	2000	1.232	0.225	1.173	290	0.322	650
60	0.45	0.1	5	2.692	0.34	1.247	320	0.243	220
60	0.45	1	50	0.77	0.758	1.26	290	0.134	220
60	0.45	5	250	1.245	0.701	1.196	100	0.188	220
60	0.45	20	1000	1.224	0.452	1.101	70	0.142	20
60	0.45	40	2000	1.203	0.457	1.109	70	0.161	20



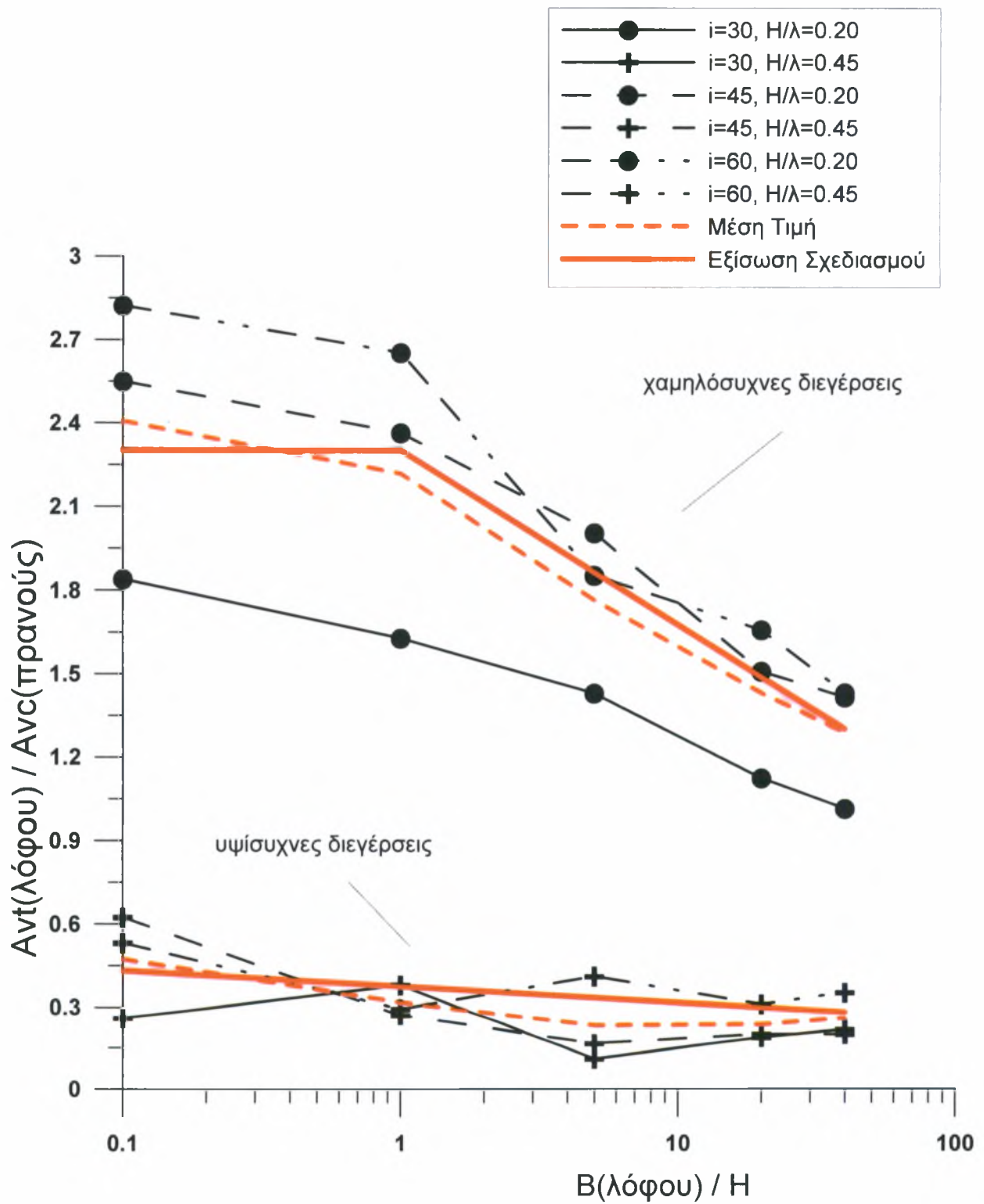
Σχήμα 6.16: Επίδραση του αδιάστατου εύρους στέψης λόφου B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη λόφου, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



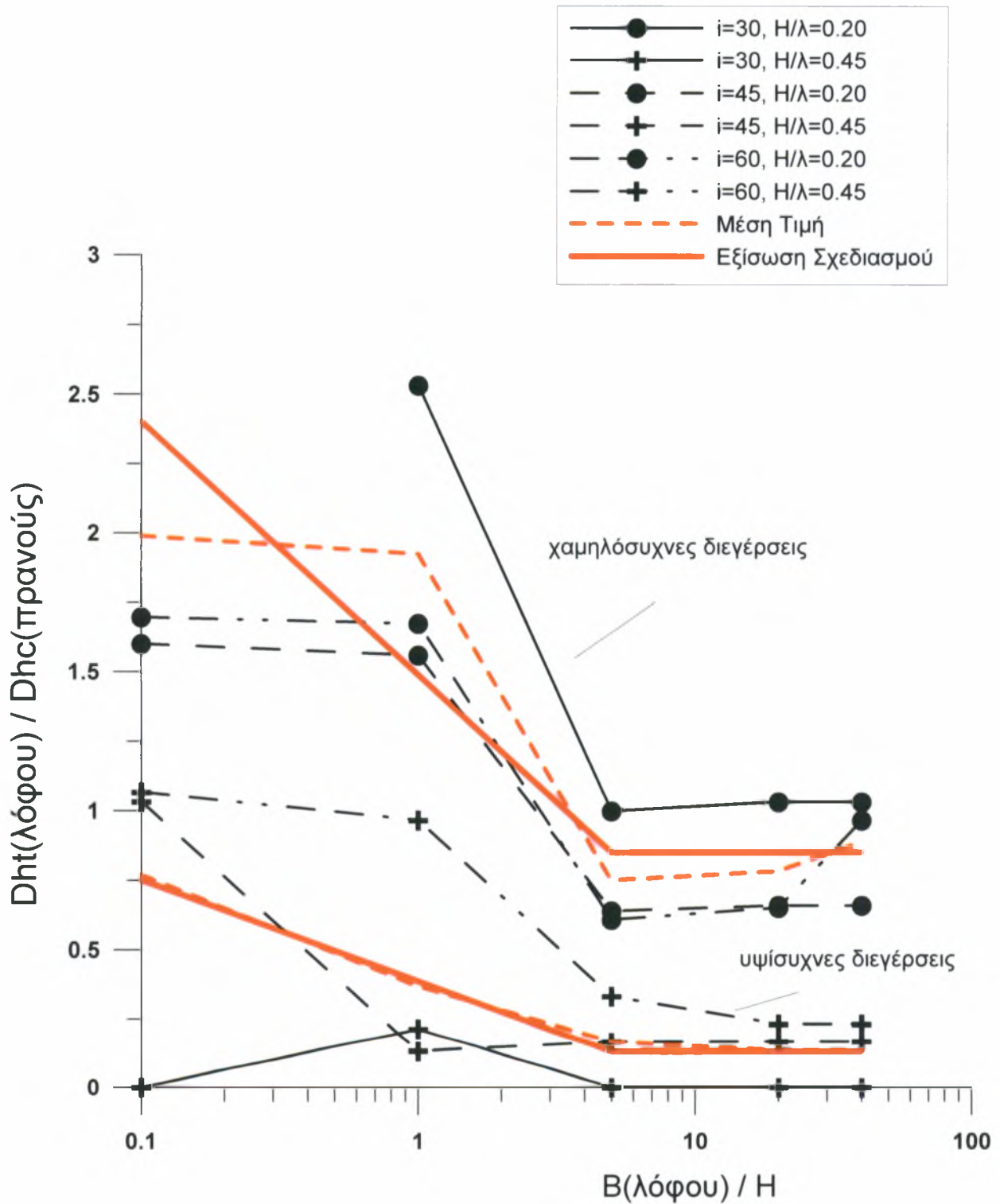
Σχήμα 6.17: Επίδραση του αδιάστατου εύρους στέψης λόφου B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα λόφου, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



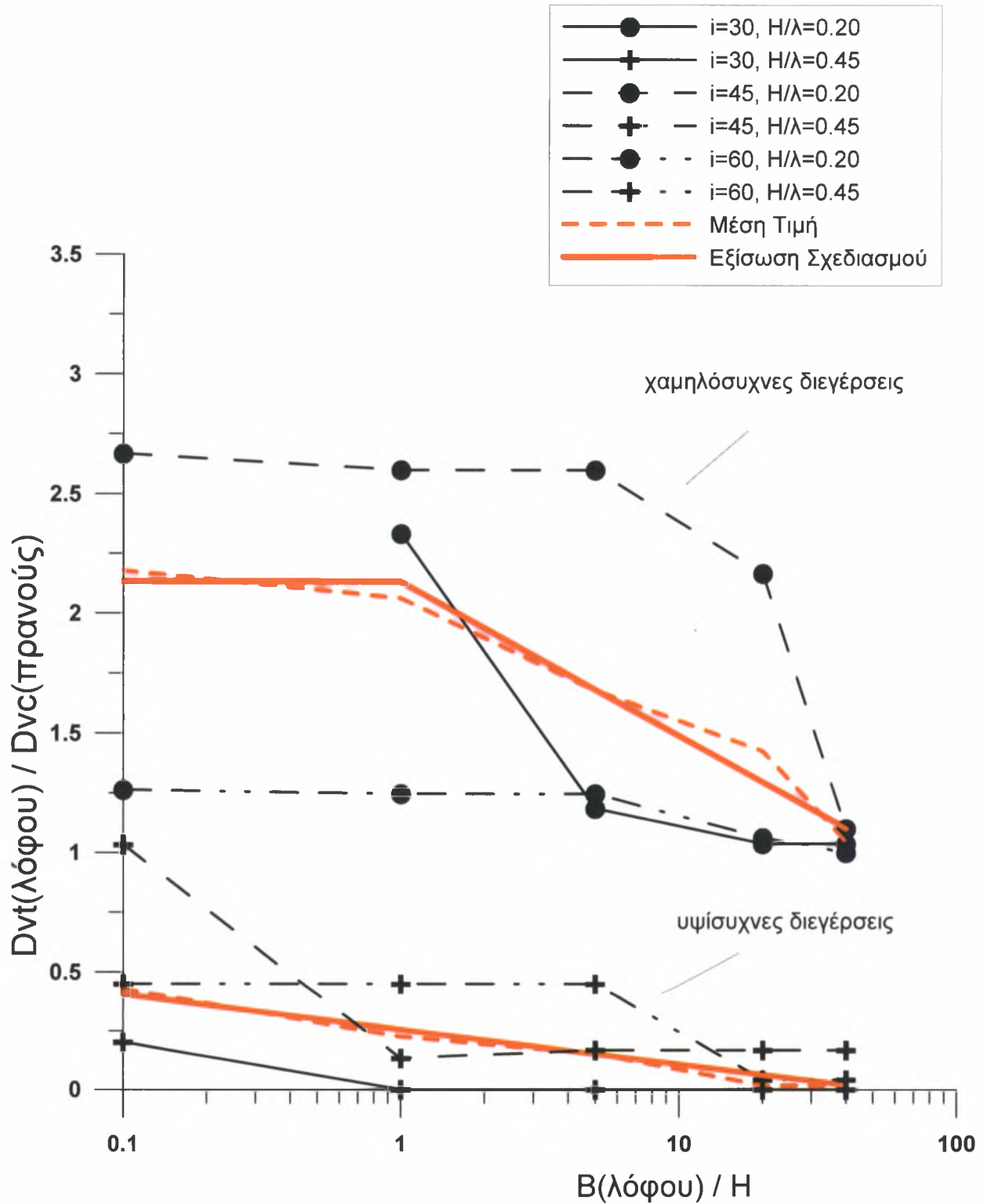
Σχήμα 6.18: Επίδραση του αδιάστατου εύρους στέψης λόφου B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη λόφου, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρानο



Σχήμα 6.19: Επίδραση του αδιάστατου εύρους στέψης λόφου B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα λόφου, εν συγκρίσει με τη μέγιστη ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 6.20: Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα λόφου, εν συγκρίσει με την απόστασή έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 6.21: Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα λόφου, εν συγκρίσει με την απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη μονοκλινοῦς πρανούς

Από τα Σχήματα 6.16 έως 6.21 γίνονται οι εξής παρατηρήσεις:

α) δεν υπάρχει κάποια σαφής μονοτονική επίδραση του B/H στις τιμές των διαφόρων λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης

β) για ορισμένους από τους λόγους τοπογραφικής επιδείνωσης (Σχ. 6.16, 6.19, 6.20, 6.21) μπορεί να υιοθετηθεί ομοδοποίηση των αποτελεσμάτων, για σχετικώς:

- **υψίσυχνες διεγέρσεις** ($H/\lambda=0.45$) ή υψηλούς λόφους, στις οποίες οι τιμές των λόγων λαμβάνουν σχετικώς υψηλές τιμές
- **χαμηλόσυχνες διεγέρσεις** ($H/\lambda=0.20$) ή χαμηλούς λόφους, στις οποίες οι τιμές των λόγων λαμβάνουν σαφώς χαμηλότερες τιμές

γ) με βάση των ανωτέρω ομαδοποίηση μπορεί να υιοθετηθεί μια αδρή διαφοροποίηση για υψίσυχνες διεγέρσεις ή υψηλούς λόφους, όπου $H/\lambda > 0.35$ και στις χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή χαμηλούς λόφους, όπου $H/\lambda \leq 0.35$, υιοθετώντας την αντίστοιχη ομαδοποίηση και για τα φάραγγια, των οποίων η τοπογραφική επιδείνωση διερευνήθηκε για περισσότερες τιμές του H/λ.

Για τον ορισμό εξισώσεων σχεδιασμού για τις τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης ως συναρτήσεις του αδιάστατου εύρους στέψης λόφου B/H, εκτιμήθηκε αρχικώς ο μέσος όρος των τιμών των λόγων για κάθε τιμή του B/H (βλέπε διακεκομμένη κόκκινη γραμμή στα Σχήματα 6.16 έως 6.21). Στη συνέχεια ορίσθηκαν εξισώσεις σχεδιασμού με στόχο την επαρκή προσέγγιση του μέσου όρου, εξισώσεις των οποίων η μορφή σχεδιάσθηκε με συνεχή κόκκινη γραμμή στα Σχήματα 6.16 έως 6.21, και των οποίων η αναλυτική μορφή παρουσιάζεται παρακάτω:

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.16):

α) **χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda \leq 0.35$) ή χαμηλοί λόφοι:**

$$\frac{A_{hc}(\text{λόφου})}{A_{hc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 2.1, \quad B/H \leq 0.1 \\ 1.00, \quad B/H \geq 40 \\ 2.1 - 0.95 \log[10(B/H)], \quad 0.1 \leq B/H \leq 1 \\ 1.15 - 0.094 \log(B/H) \geq 1, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.11\alpha)$$

β) **υψίσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda \geq 0.35$) ή υψηλοί λόφοι:**

$$\frac{A_{hc}(\text{λόφου})}{A_{hc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 1.4, \quad B/H \leq 0.1 \\ 1.00, \quad B/H \geq 1 \\ 1.4 - 0.4 \log[10(B/H)], \quad 0.1 < B/H < 1 \end{array} \right\} \quad (6.11\beta)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στη μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.17):

$$\frac{A_{ht}(\text{λόφου})}{A_{hc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 1.03, & B/H \leq 0.1 \\ 0.94, & B/H \geq 40 \\ 1.03 - 0.035 \log[10(B/H)] \geq 0.94, & 0.1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.12)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση πίσω από τη στέψη (Σχήμα 6.18):

$$\frac{A_{vc}(\text{λόφου})}{A_{vc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 0.35, & B/H \leq 0.1 \\ 1.0, & B/H \geq 40 \\ 0.35 + 1.35 \log[10(B/H)], & 0.1 \leq B/H \leq 1 \\ 1.7 - 0.437 \log(B/H) \geq 1, & 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.13)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.19):

α) χαμηλόσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≤ 0.35) ή χαμηλοί λόφοι:

$$\frac{A_{vt}(\text{λόφου})}{A_{vc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 2.3, & B/H \leq 0.1 \\ 1.3, & B/H \geq 40 \\ 2.3 - 0.384 \log[10(B/H)] \geq 1.3, & 0.1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.14\alpha)$$

β) υψίσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≥ 0.35) ή υψηλοί λόφοι:

$$\frac{A_{vt}(\text{λόφου})}{A_{vc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 0.43, & B/H \leq 0.1 \\ 0.28, & B/H \geq 40 \\ 0.43 - 0.058 \log[10(B/H)] \geq 0.28, & 0.1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.14\beta)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου B/H στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.20):

α) χαμηλόσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≤ 0.35) ή χαμηλοί λόφοι:

$$\frac{D_{ht}(\text{λόφου})}{D_{hc}(\text{πρανούς})} = \left\{ \begin{array}{ll} 2.4, & B/H \leq 0.1 \\ 0.85, & B/H \geq 5 \\ 2.4 - 0.912 \log[10(B/H)] \geq 0.85, & 0.1 < B/H < 5 \end{array} \right\} \quad (6.15\alpha)$$

β) υψίσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≥ 0.35) ή υψηλοί λόφοι:

$$\frac{D_{ht}(\text{λόφου})}{D_{hc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 0.75, \quad B/H \leq 0.1 \\ 0.13, \quad B/H \geq 5 \\ 0.75 - 0.365 \log[10(B/H)] \geq 0.13, \quad 0.1 < B/H < 5 \end{array} \right\} \quad (6.15\beta)$$

- Επίδραση του αδιάστατου εύρους λόφου στην απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον πόδα (Σχήμα 6.21):

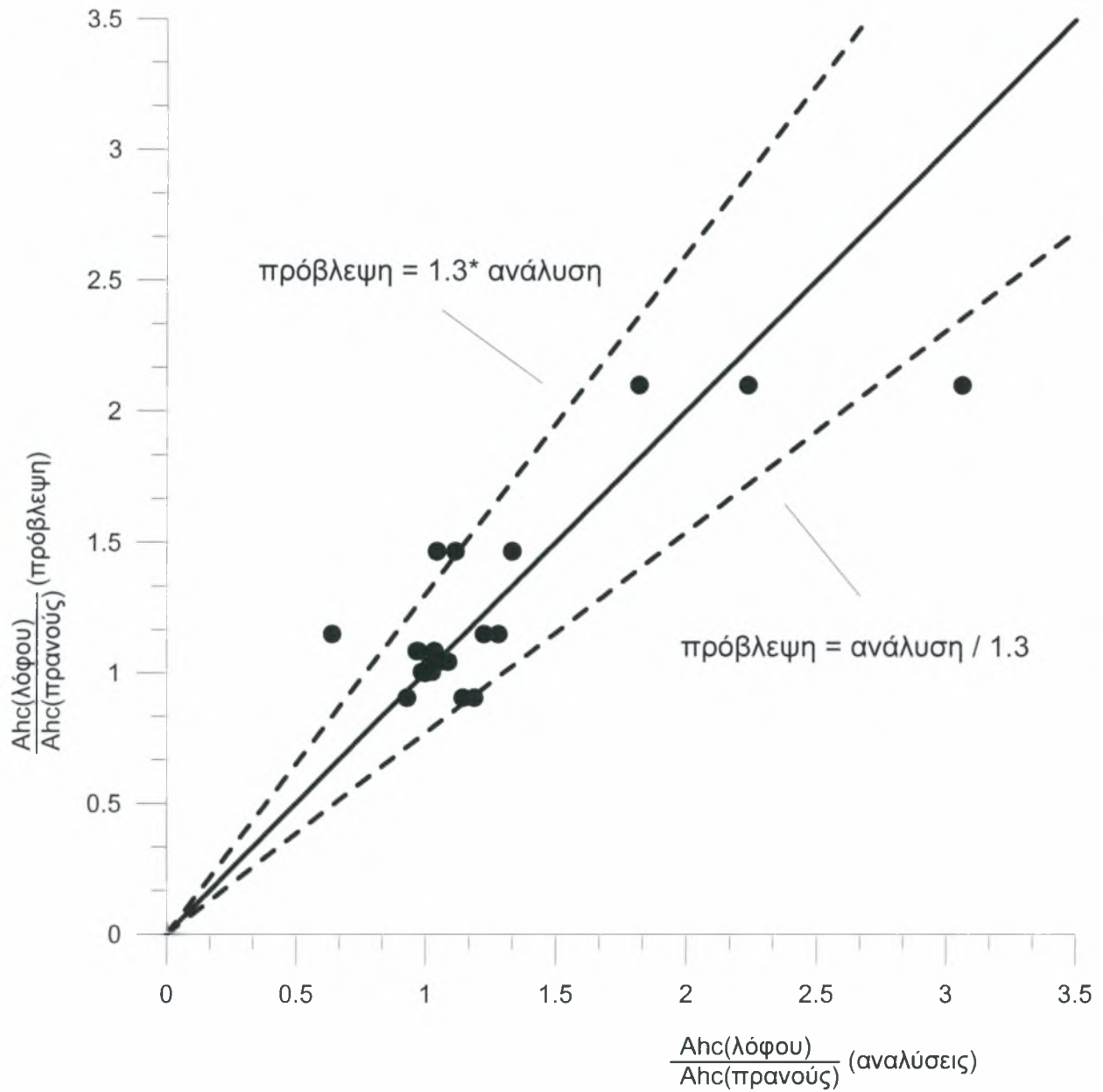
α) χαμηλόσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≤ 0.35) ή χαμηλοί λόφοι:

$$\frac{D_{vt}(\text{λόφου})}{D_{vc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 2.13, \quad B/H \leq 1 \\ 1.1, \quad B/H \geq 40 \\ 2.13 - 0.643 \log(B/H) \geq 1.1, \quad 1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.16\alpha)$$

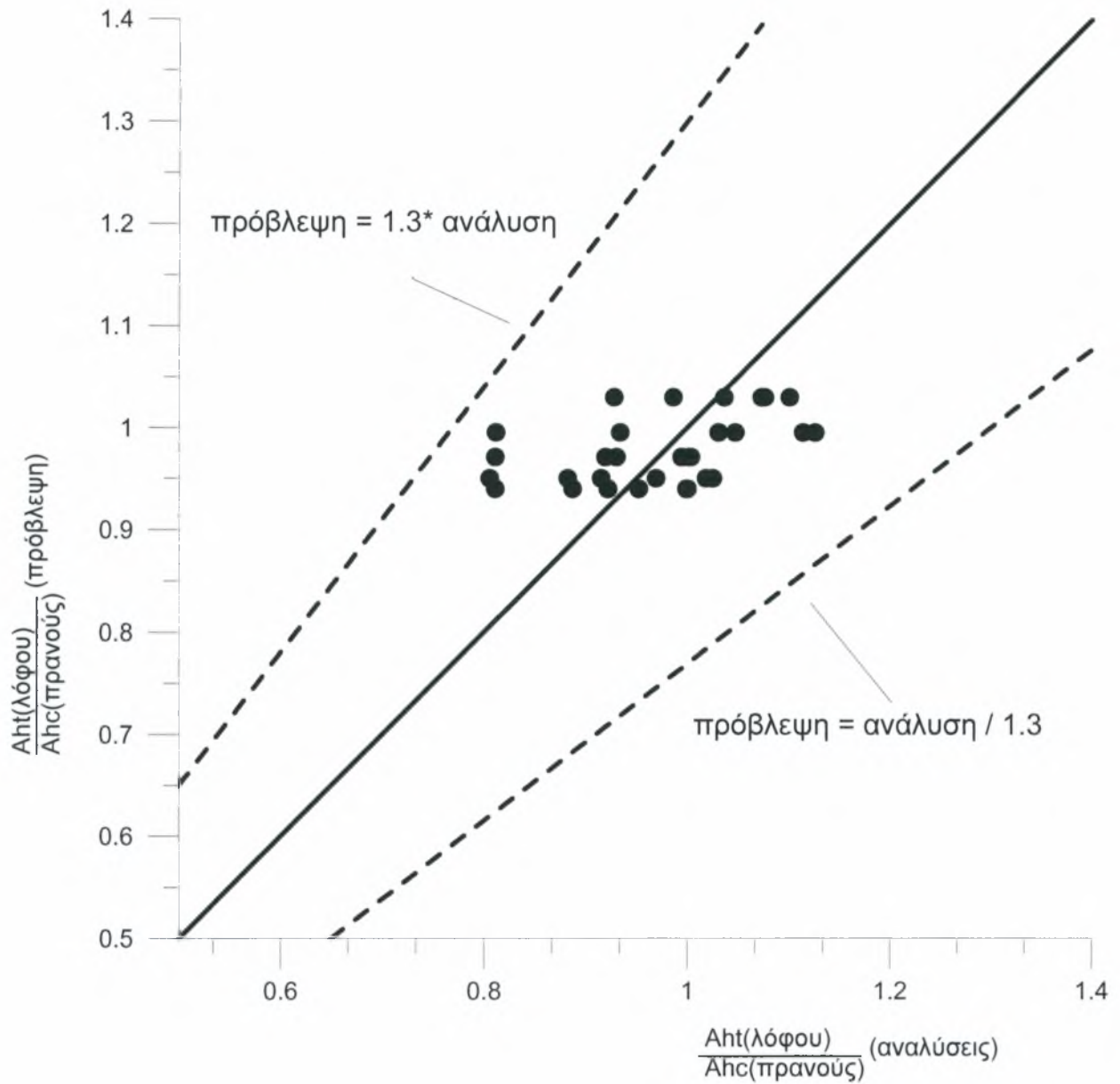
β) υψίσυχνες διεγέρσεις (H/λ ≥ 0.35) ή υψηλοί λόφοι:

$$\frac{D_{vt}(\text{λόφου})}{D_{vc}(\text{πρανούς})} = \left. \begin{array}{l} 0.4, \quad B/H \leq 0.1 \\ 0.015, \quad B/H \geq 40 \\ 0.4 - 0.148 \log[10(B/H)], \quad 0.1 < B/H < 40 \end{array} \right\} \quad (6.16\beta)$$

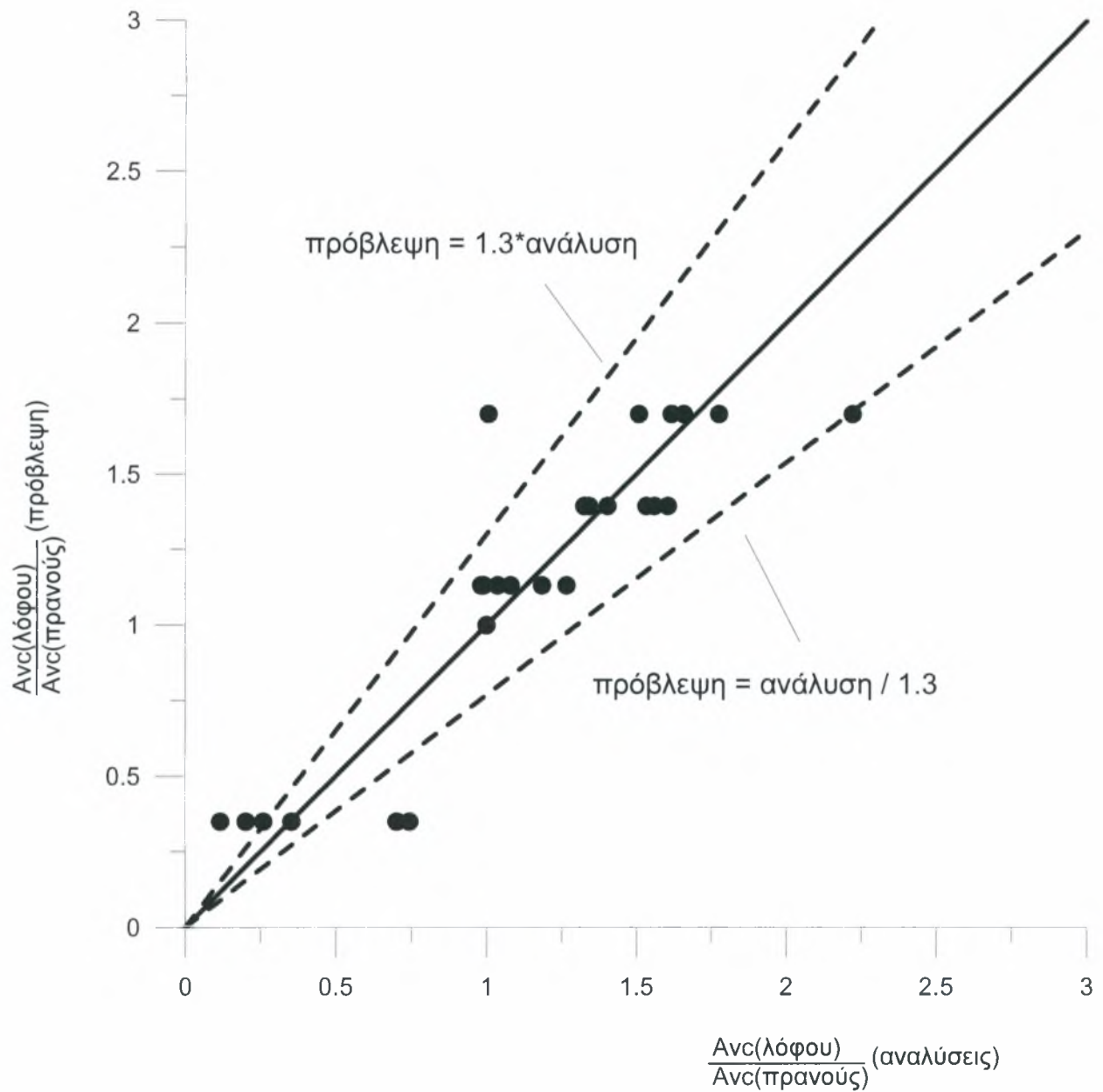
Για την ποσοτικοποίηση της ακρίβειας των εξισώσεων σχεδιασμού (6.11) έως (6.16), στα Σχήματα 6.22 έως 6.27 συγκρίνονται οι τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις με τις αντίστοιχες, κατά περίπτωση, τιμές του όπως προκύπτουν από τις εξισώσεις σχεδιασμού (6.11) έως (6.16), αντίστοιχα. Τέλεια σύγκριση ανάλυσης – πρόβλεψης θα τοποθετούσε τα σύμβολα ακριβώς επί της διαγωνίου των εν λόγω Σχημάτων, τα οποία εμπεριέχουν (με διακεκομμένη) και τις ευθείες που αντιστοιχούν σε ±30% σχετικό λάθος πρόβλεψης. Όπως προκύπτει, στην πολύ μεγάλη πλειοψηφία τους, οι προβλέψεις για τις τιμές των λόγων τοπογραφικής επιδείνωσης λόφων έχουν σχετικό λάθος μικρότερο ή ίσο του 30%, γεγονός που τις καθιστά αξιόπιστα εργαλεία πρόβλεψης της τοπογραφικής επιδείνωσης σε λόφους, πάντα σε συνδυασμό με τις σχέσεις (6.1) έως (6.4) που αντιστοιχούν στο μονοκλινές πρανές και προέρχονται από τη βιβλιογραφία.



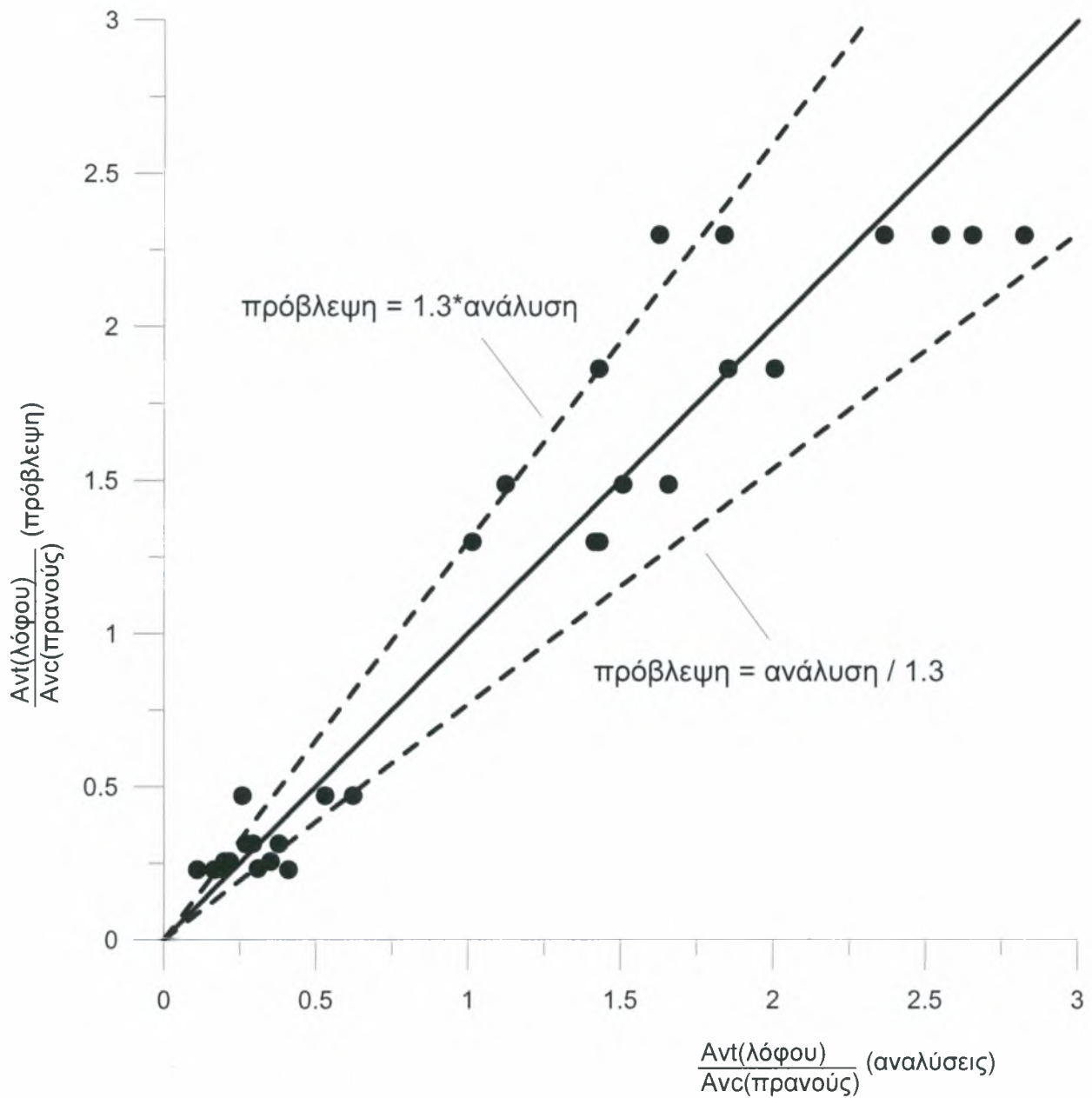
Σχήμα 6.22: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη λόφου.



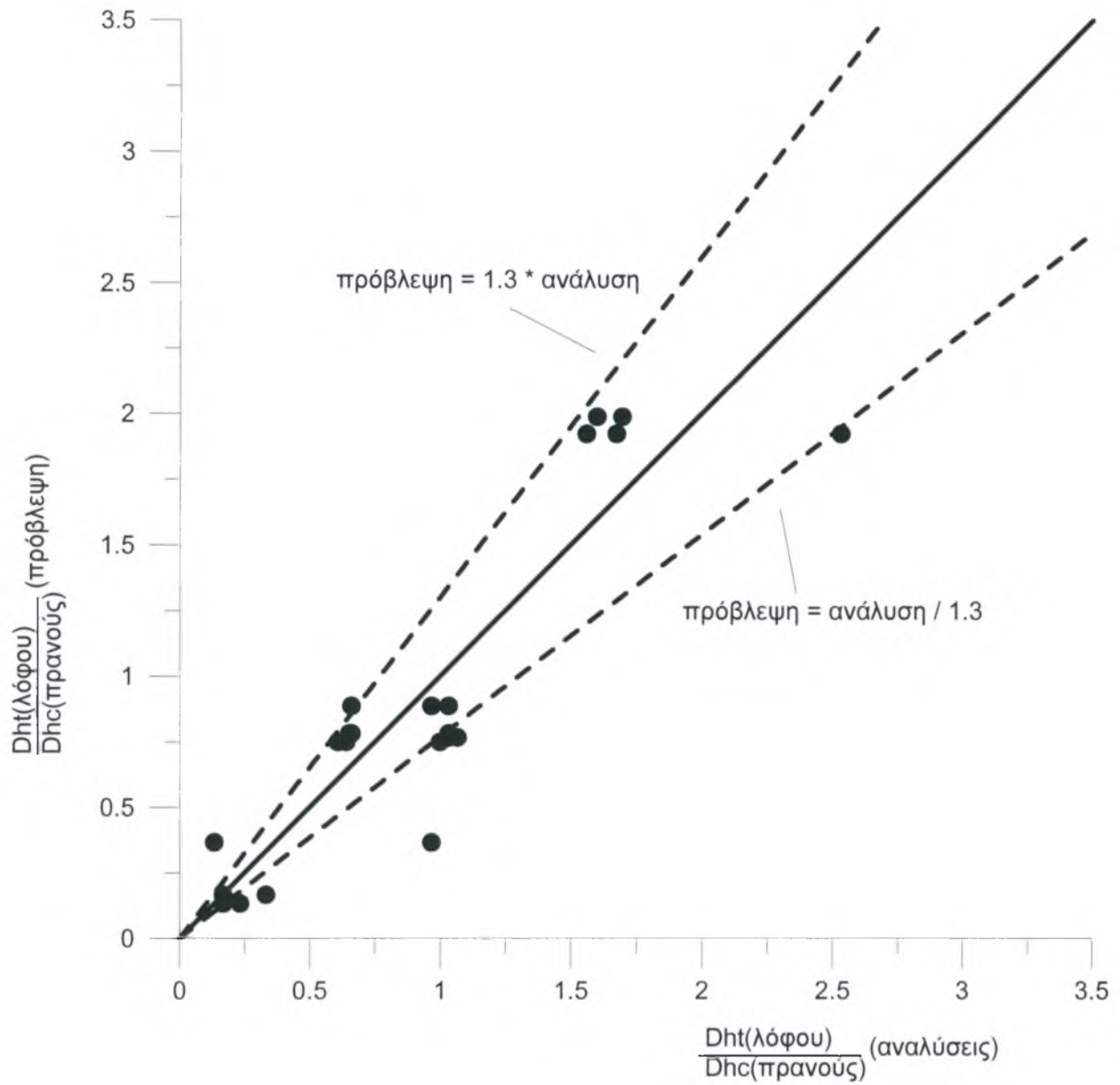
Σχήμα 6.23: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα λόφου.



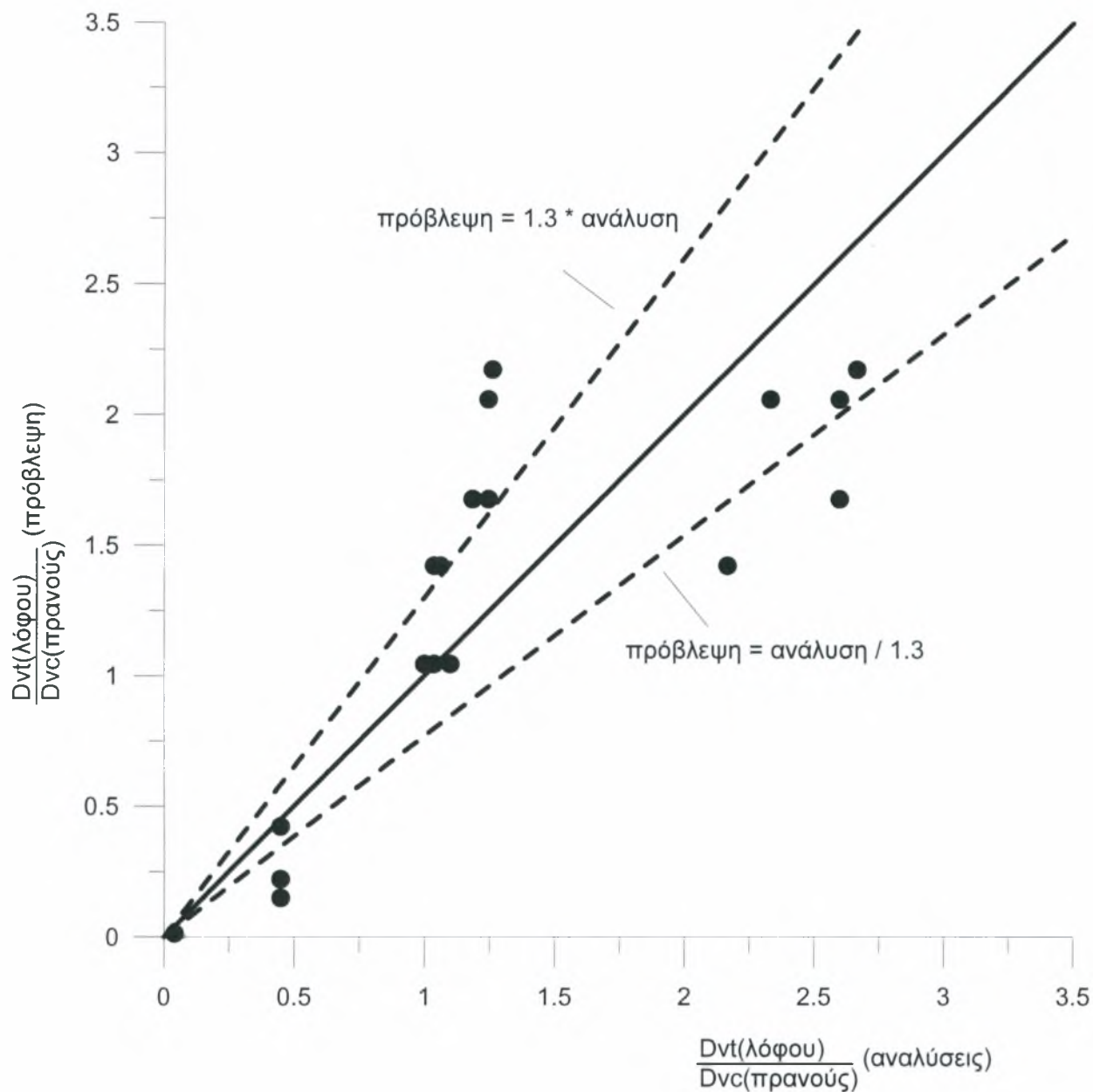
Σχήμα 6.24: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη λόφου.



Σχμήμα 6.25: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης σεισμικής επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα λόφου.



Σχήμα 6.26: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της απόστασης έως το ελεύθερο πεδίο για την οριζόντια σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον ποδα λόφου.



Σχήμα 6.27: Εκτίμηση της ακρίβειας πρόβλεψης της απόστασης έως το ελεύθερο πεδίο για την παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση μπροστά από τον ποδα λόφου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις

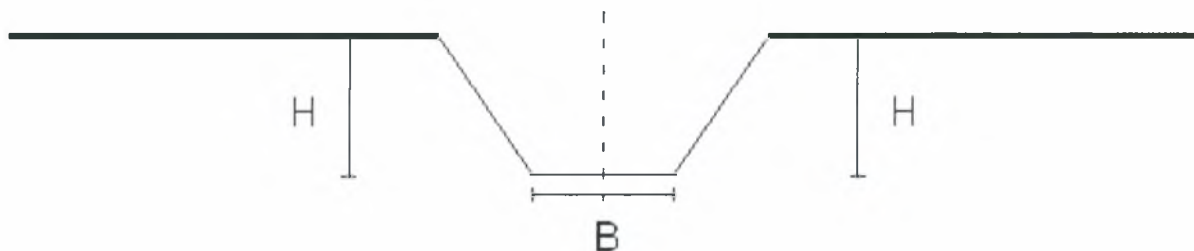
7.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η σεισμική απόκριση φαραγγιών και λόφων. Σε κάθε περίπτωση, τα φαράγγια και οι λόφοι που μελετήθηκαν ήταν ομοιόμορφα, είχαν τραπεζοειδή μορφή και ήταν συμμετρικά, χάριν απλότητας, και έτσι ήταν άμεσα συγκρίσιμα με ένα μοναδικό, κάθε φορά, μονοκλινές πρηνές, η σεισμική απόκριση του οποίου έχει μελετηθεί παραμετρικά στη βιβλιογραφία.

7.2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ

Έγιναν συνολικά 45 αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφων φαραγγιών με αδιάστατα ύψη $H/\lambda = 0.1, 0.2, 0.28, 0.45, 1.00$ και κλίσεις πρηνών $i = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$. Η επιβληθείσα διέγερση ήταν αρμονική (10 κύκλων) και η υστερητική απόσβεση ήταν ίση με $\xi = 5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης (Rayleigh Damping).

A. Περιοχή πίσω από τη στέψη του φαραγγιού

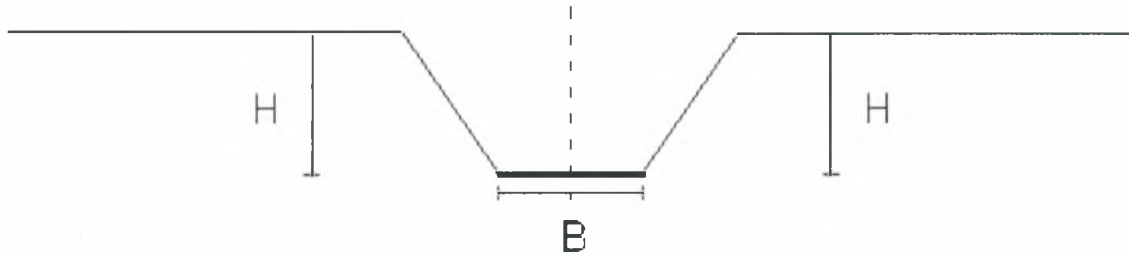


1. Η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης A_{hc} διατηρεί περίπου ίδιες τιμές με αυτές που έχει στην περίπτωση τοπογραφίας μονοκλινούς πρηνούς. Αντιθέτως, η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης A_{vc} παρουσιάζει τιμές αυξημένες σε σχέση με τις τιμές που λαμβάνει στην περίπτωση του μονοκλινούς πρηνούς.

2. Η απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο πίσω από τη στέψη ενός φαραγγιού σε ό,τι αφορά στην οριζόντια επιτάχυνση D_{hc} , είναι περίπου ίδια με εκείνη στην περίπτωση μονοκλινούς πρηνούς. Αντιθέτως, η αντίστοιχη απόσταση D_{vc} για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, είναι

μεγαλύτερη από εκείνη της περίπτωσης μονοκλινούς πρανούς, ειδικά για τις χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή/και τα χαμηλά φαράγγια ($H/\lambda < 0.35$ περίπου).

B. Περιοχή στον πόδα του φαράγγιού



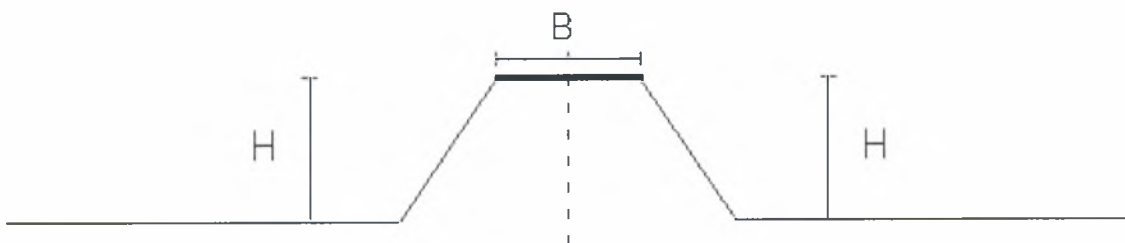
Η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης A_{ht} παίρνει τιμές μικρότερες από αυτές που λαμβάνει όταν η μορφολογία του εδάφους είναι αυτή ενός μονοκλινούς πρανού. Αντιθέτως, η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης A_{vt} εξαρτάται έντονα από το είδος της διέγερσης (υψίσυχη ή χαμηλόσυχη) ή/και το ύψος του φαράγγιού, δηλαδή:

- για υψίσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda \geq 0.35$) ή/και υψηλά φαράγγια, οι τιμές της A_{vt} είναι μικρότερες από αυτές για μονοκλινές πρανές, ενώ
- για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda < 0.35$), ή/και χαμηλά φαράγγια, παρατηρούνται αρκετά μεγαλύτερες τιμές της A_{vt} .

7.3. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΛΟΦΩΝ

Έγιναν συνολικά 32 αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιομορφων λόφων με αδιάστατα ύψη $H/\lambda = 0.2$ και 0.45 και κλίσεις πρανών $i = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$. Η επιβληθείσα διέγερση ήταν αρμονική (10 κύκλων) και η υστερητική απόσβεση ήταν ίση με $\xi = 5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης (Rayleigh Damping).

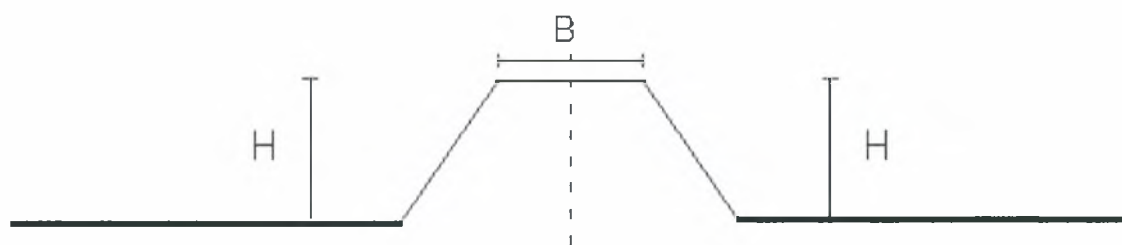
A. Περιοχή στη στέψη του λόφου



Η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης A_{hc} παρουσιάζει σημαντικά αυξημένες τιμές σε σχέση με εκείνες του αντίστοιχου μονοκλινούς πρηνούς, ειδικά για μικρού εύρους στέψης λόφους ($B/H \leq 1$) και κυρίως για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda \leq 0.35$) ή χαμηλά φαράγγια. Αντιθέτως, η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης A_{vc} , εξαρτάται καθοριστικά από το πλάτος της στέψης, δηλαδή:

- για $B/H < 0.5$ (δηλαδή για λόφους με πλάτος στέψης πολύ μικρό), παρατηρείται μείωση των τιμών της A_{vc} σε σχέση με αυτές του αντίστοιχου πρηνούς
- για $B/H > 0.5$ (δηλαδή για λόφους με ουσιωδώς μεγάλο πλάτος), έχουμε αύξηση των τιμών της A_{vc} , με την αύξηση αυτή να λαμβάνει μέγιστη τιμή όταν το πλάτος της στέψης του λόφου ισούται με το ύψος του ($B/H=1$).

B. Περιοχή μπροστά από τον πόδα του λόφου



1. Η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης A_{ht} παίρνει τιμές παρόμοιες με εκείνες στον πόδα μονοκλινούς πρηνούς. Αντιθέτως, η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης A_{vt} είναι εμφανώς αυξημένη συγκρινόμενη με εκείνη στη βάση του αντίστοιχου μονοκλινούς πρηνούς, με την αύξηση αυτή να είναι ιδιαίτερα έντονη για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda < 0.35$) ή/και χαμηλούς λόφους.

2. Η απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο μπροστά από τον πόδα εξαρτάται από τη συχνότητα της διέγερσης. Συγκεκριμένα, για την οριζόντια επιτάχυνση η D_{hc} είναι:

- για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ή/και χαμηλούς λόφους είναι συνήθως μεγαλύτερη ή ίση της αντίστοιχης απόστασης έως το ελεύθερο πεδίο πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρηνούς D_{hc} , ενώ
- για υψίσυχνες διεγέρσεις ή/και υψηλούς λόφους είναι σαφώς μικρότερη.

Αντίστοιχα είναι τα συμπεράσματα για την απόσταση D_{vt} που αφορά στη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, συγκρινόμενη με την αντίστοιχη απόσταση D_{vc} (πρηνούς).

7.4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Τα συμπεράσματα που συνοψίζονται ανωτέρω και οι προτεινόμενες εξισώσεις σχεδιασμού των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A και D στηρίζονται σε 75 ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφου εδάφους. Στην παρούσα παράγραφο συνοψίζονται οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας και δίνονται κατευθύνσεις για τη μελλοντική έρευνα:

A. Περιορισμοί

- Οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις αφορούν συμμετρικούς λόφους & φαράγγια, χάριν απλότητας. Πιθανή έλλειψη συμμετρίας των εν λόγω τοπογραφικών δομών αναμένεται να δημιουργεί επιπλέον πολυπλοκότητα στη σεισμική τους απόκριση, και συνεπώς η αξιοπιστία των ανωτέρω συμπερασμάτων και εξισώσεων σχεδιασμού για μη συμμετρικές τοπογραφικές δομές θα πρέπει να διερευνηθεί
- Οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις έγιναν για έδαφος με απόσβεση $\xi=5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο της σεισμικής διέγερσης. Η επιλογή αυτής της τιμής απόσβεσης ουσιαστικά αποδίδει τη σεισμική απόκριση εδαφών υπό μικρής έντασης σεισμική διέγερση. Αν η ένταση της σεισμικής διέγερσης ήταν μεγαλύτερη, θα αποδιδόταν με μεγαλύτερη τιμή απόσβεσης, η οποία όμως θα οδηγούσε σε μικρότερες τιμές A και D όλες τις τοπογραφικές δομές (φαράγγια, λόφοι, πρηνή) και συνεπώς σε μικρότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ αυτών. Με άλλα λόγια, η επιλογή $\xi=5\%$ οδηγεί σε συντηρητική εκτίμηση των διαφοροποιήσεων μεταξύ μονοκλινούς πρηνούς και των λοιπών τοπογραφικών δομών.
- Οι πραγματοποιηθείσες αναλύσεις έγιναν για ομοιόμορφο έδαφος, χάριν απλότητας. Πιθανή ανομοιομορφία θα επέφερε επιπλέον πολυπλοκότητα στη σεισμική απόκριση, αλλά δεν αναμένεται να επηρέαζε σημαντικά τη σύγκριση μεταξύ μονοκλινούς πρηνούς και των λοιπών τοπογραφικών δομών.

B. Μελλοντική έρευνα

- Πέραν της απάλειψης των ανωτέρω περιορισμών, η μελλοντική έρευνα θα πρέπει άμεσα να συμπεριλάβει τη διερεύνηση των συσχετίσεων που προτείνονται εδώ ως προς το αδιάστατο εύρος B/λ, αντί για το B/H. Η εν λόγω διερεύνηση κρίνεται ως ιδιαίτερα χρήσιμη, δεδομένης και της σημαντικότητας της παραμέτρου H/λ σε πολλές εκ των προταθέντων συσχετίσεων.
- Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει χρήση των συντελεστών A και D που εκτιμήθηκαν στην παρούσα εργασία για το σχεδιασμό γεωγραφικών περιβαλλουσών σχεδιασμού της τοπογραφικής επιδείνωσης φαραγγιών και λόφων, όπως ακριβώς έχουν κάνει ήδη οι Bouckovalas & Papadimitriou (2006) για την περίπτωση του μονοκλινούς πρηνούς. Έτσι,

οι προτεινόμενες σχέσεις θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν και για το σχεδιασμό έργων, ή ακόμη και σε μελλοντικές κανονιστικές διατάξεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο: Βιβλιογραφία

1. Μπουκοβάλας Γ., Παπαδημητρίου Α., Βασδέκης Σ., Βουρβαχάκης Θ., Δρανδάκης Ε., Σοφιανού Ι. (2006). "Προσεγγιστικές σχέσεις επίδρασης τοπογραφίας στη σεισμική εδαφική κίνηση", Πρακτικά, 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Μάιος.
2. 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, Vol.87, No. 3, pp.701-709.
3. Ashford S., Sitar N. (1997). "Analysis of topographic amplification of inclined shear waves in a steep coastal bluff", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.87, No. 3, pp.692-700.
4. Bard P.Y., Tucker B.E. (1985). "Underground and ridge site effects: A comparison of observation and theory", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.75, No 4, pp. 905-922.
5. Bouchon M., Barker J.S. (1996). "Seismic response of a Hill: The Example of Tarzana, California", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.86, No 1A, pp. 66-72.
6. Bouckovalas G. D., **Papadimitriou A. G.** (2005), "Numerical Evaluation of Slope Topography Effects on Seismic Ground Motion", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25(7-10): 547 - 555
7. Bouckovalas G. D., **Papadimitriou A. G.** (2006), "Aggravation of seismic ground motion due to slope topography", Proceedings, 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, 3 - 8 September, (paper no. 1171)
8. Chuhan Z., Chongbin Z. (1988). "Effects of canyon topography and geological conditions on strong ground motion", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16, pp. 81-97
9. Durand S., Gaffet S., Virieux J. (1999). "Seismic diffracted waves from topography using 3-D discrete wavenumber-boundary integral equation simulation", Geophysics, Vol.64, No 2, pp. 572-578
10. Griffiths D.W., Bollinger G.A. (1979). "The effect of Appalachian mountain topography on seismic waves", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.69, No. 4, pp.1081-1105.

11. Ohtsuki A., Harumi K. (1983). "Effect of topography and subsurface inhomogeneities on seismic SV waves", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol.11, pp. 441-462
12. Pedersen H., Le Brun, Hatzfeld D., Campillo M., Bard P.Y. (1994). "Ground-motion amplitude across ridges", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.84, No 6, pp. 1786-1800.
13. Sánchez-Sesma F.J. (1983). "Diffraction of elastic waves by three-dimensional surface irregularities", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.73, No 6, pp.1621-1636.
14. Sánchez-Sesma F.J. (1985). "Diffraction of elastic SH waves by wedges", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.75, No 5, pp. 1435-1446
15. Sánchez-Sesma F.J. (1990). "Elementary solutions for response of a wedge-shaped medium to incident SH and SV waves", *Short notes-Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.80, No 3, pp. 737-742
16. Sánchez-Sesma F.J., Bravo M.A., Herrera I. (1985). "Surface motion of topographical irregularities for incident P, SV and Rayleigh waves", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.75, No 1, pp. 263-269.
17. Sánchez-Sesma F.J., Campillo M. (1991). "Diffraction of P, SV and Rayleigh waves by topographic features: A boundary integral formulation", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.81, No 6, pp. 2234-2253.
18. Sills L.B. (1978). "Scattering of horizontally-polarized shear waves by surface irregularities", *Geophys. J. R. astr. Soc.*, Vol.54, pp. 319-348.
19. Trifunac M. D. (1971). "Surface motion of a semi-cylindrical alluvial valley for incident plane SH waves", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, pp. 1755-1770.
20. Trifunac M. D. (1973). "Scattering of plane SH wave by semi-cylindrical canyon", *International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 1, pp. 257-281.
21. Wong H.L. (1982). "Effect of surface topography on the diffraction of P, SV and Rayleigh waves", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.72, No 4, pp. 1167-1183.
22. Wong H.L., Jennigs P. C. (1975). "Effect of canyon topographies on strong ground motion", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 65, pp. 1239-1257.
23. Wong H.L., Trifunac M. D. (1974a). "Scattering of plane SH wave by semi-elliptical canyon", *International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 3, pp. 157-169.
24. Wong H.L., Trifunac M. D. (1974b). "Surface motion of a semi-elliptical alluvial valley for incident plane SH waves", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, pp.

1389-1408.

25. Zhao C., Valliapan S. (1993). "Incident P and SV wave scattering effects under different canyon topographic and geological conditions", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol. 17, pp. 73-94.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097689