

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης  
του εδάφους υπό πραγματικές σεισμικές διεγέρσεις



ΦΟΙΤΗΤΕΣ : Μέλλιος Μιλτιάδης  
Τέττα Ζωή

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Παπαδημητρίου Αχιλλέας

Βόλος 2010

στους γονείς μου, Χρήστο και Ζήνα  
και στον αδερφό μου, Κώστα

στους γονείς μου, Πέτρο και Ευδοξία  
και στον αδερφό μου, Βαγγέλη

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	- 3 -
Περίληψη .....	- 4 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο:</b> Εισαγωγή .....	- 5 -
1.1. Αντικείμενο .....	- 5 -
1.2. Διάρθρωση της διπλωματικής .....	- 5 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:</b> Βιβλιογραφική Έρευνα .....	- 7 -
2.1. Γενικά .....	- 7 -
2.2. Μελέτες σχετικές με την 2Δ απόκριση εδαφικής λεκάνης .....	- 8 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο:</b> Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων .....	- 26 -
3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας .....	- 26 -
3.2. Βαθμονόμηση Μεθοδολογίας .....	- 29 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:</b> Επίδραση μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική κίνηση .....	- 37 -
4.1. Γενικά .....	- 37 -
4.2. Επίδραση γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών λεκάνης .....	- 42 -
4.3. Επίδραση σημαντικών παραμέτρων στη γεωμορφική ενίσχυση .....	- 55 -
4.4. Συγκεντρωτικά συμπεράσματα ως προς τη θέση εμφάνισης των μέγιστων τιμών .....	- 87 -
4.5. Επίδραση της διέγερσης ως προς τους κύκλους φόρτισης .....	- 89 -
4.6. Αναφορές σχετικών μελετών .....	- 94 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο:</b> Στατιστική επεξεργασία αριθμητικών αποτελεσμάτων .....	- 95 -
5.1. Γενικά .....	- 95 -
5.2. Σχέση εκτίμησης της μέγιστης ενίσχυσης της οριζόντιας επιτάχυνσης .....	- 99 -
5.3. Σχέση εκτίμησης της μέγιστης ενίσχυσης της παρασιτικής επιτάχυνσης .....	- 109 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:</b> Συμπεράσματα - Προτάσεις .....	- 117 -
6.1. Γενικά .....	- 117 -
6.2. Συμπεράσματα .....	- 117 -
6.3. Περιορισμοί – Μελλοντική έρευνα .....	- 120 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο:</b> Βιβλιογραφία .....	- 121 -
Παράρτημα .....	- 123 -

---

## Ευχαριστίες

---

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας προς όλους όσοι υποστήριξαν πρακτικά και ηθικά την προσπάθειά μας.

Πρωτίστως, ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Παπαδημητρίου Αχιλλέα, για την άριστη καθοδήγησή του, τις πολύτιμες υποδείξεις του και την άριστη 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 μας για την περάτωση αυτής της έρευνας.

Επίσης, θέλουμε ιδιαίτερα να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, για τη συνεχή υποστήριξη και κατανόηση που έδειξαν, καθώς και για τη σημαντική εμπύχωση που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια της προσπάθειάς μας.

Τέλος, ευχαριστούμε τους φίλους μας, που ενίσχυσαν την προσπάθειά μας αυτή, με την υποστήριξη που μας προσέφεραν και τη συμπαράσταση που μας έδωσαν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία μελετά την ενίσχυση της οριζόντιας και την εμφάνιση παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους λόγω μη οριζόντιας και απειρομήκους μορφολογίας του βραχώδους υποβάθρου. Επικεντρώνεται σε 2Δ εδαφικές λεκάνες τραπεζοειδούς μορφής με ιξωδο-ελαστικό ομοιόμορφο έδαφος επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου το οποίο διεγείρεται με κατακόρυφα κύματα SV, με τη μορφή δύο πραγματικών χρονοϊστοριών (σεισμών Αιγίου και Κοζάνης του 1995), οι οποίες διαφέρουν κυρίως στον αριθμό των σημαντικών κύκλων φόρτισης. Συνολικά εκτελέσθηκαν 2Δ αναλύσεις για 56 περιπτώσεις συνδυασμών εδαφικής λεκάνης – υποβάθρου – σεισμικής διέγερσης (και για τις δύο χρονοϊστορίες) με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών.

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στη γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας  $A_h$  και της παρασιτικής κατακόρυφης  $A_v$  επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους προκύπτει ότι σημαντικές παράμετροι του προβλήματος είναι η κλίση των πρηνών  $i$ , η απόσβεση  $\xi$  των γεωυλικών, και οι αδιάστατοι λόγοι  $l/H$ ,  $B/l$  και  $a$  (όπου  $l$  το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων,  $H$  και  $B$  το πάχος και το πλάτος της κοιλάδας και  $a = V_s/V_b$  ο λόγος εμπέδησης των ταχύτητων διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στο έδαφος και το βράχο). Μάλιστα, συστήματα εδάφους-υποβάθρου-διέγερσης με ίδιες τιμές των ανωτέρω παραμέτρων (ανεξάρτητα αν προκύπτουν από διαφορετικές τιμές  $H$ ,  $B$ ,  $V_s$ ,  $V_b$  και δεσπόζουσα περίοδο  $T_e$ ) εμφανίζουν ίδια γεωμορφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης σε ίδιες αδιάστατες αποστάσεις  $x$  από τον άξονα της λεκάνης (με την αδιαστατοποίηση να γίνεται είτε ως προς το πλάτος  $B$  ή ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $l$ ).

Επιπλέον, η ένταση και η χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  επηρεάζονται κυρίως από τις τιμές των αδιάστατων λόγων  $B/l$ ,  $l/H$  και  $a$ , ενώ αντιθέτως οι παράμετροι  $i$  και  $\xi$  επηρεάζουν μόνο την ένταση χωρίς να διαφοροποιείται ποιοτικά η χωρική διαφοροποίηση. Σε ό,τι αφορά στις τιμές των μεγίστων γεωμορφικών ενισχύσεων  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  προκύπτει ότι η πιο σημαντική παράμετρος καθορισμού είναι ο αδιάστατος λόγος  $l/H$ , ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι του προβλήματος  $a$ ,  $B/l$ ,  $i$  και  $\xi$  έχουν μικρότερη επιρροή στις τιμές τους. Πιο συγκεκριμένα, αυξητική επίδραση στις τιμές τους εμφανίζει η κλίση πρηνών  $i$ , ενώ μειωτική οι λόγοι  $l/H$ ,  $B/l$  και  $a$ , καθώς και η απόσβεση  $\xi$ . Η επίδραση του αριθμού σημαντικών κύκλων της διέγερσης βρέθηκε ως μη σημαντική παράμετρος.

Για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, η μέγιστη τιμή  $A_{hmax}$  έλαβε τιμές  $1.15 \pm 18.5\%$  (με μέγιστη τιμή 1.69), ενώ αντίστοιχα η συνήθης διακύμανση της μέγιστης τιμής  $A_{vmax}$  ήταν  $0.26 \pm 21.4\%$  (με μέγιστη τιμή 0.88). Έπειτα από στατιστική επεξεργασία, λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση κάθε παραμέτρου στις τιμές των  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ , προτείνονται απλές προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού τους με τυπικές αποκλίσεις του σχετικού λάθους ίσες με 36% και 29.9%, αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή

### 1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της μορφολογίας του υποβάθρου στην επίδραση του εδάφους στη σεισμική κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης των σημαντικότερων παραμέτρων του προβλήματος στην ενίσχυση του σεισμού στην επιφάνεια ιδεατής 2Δ εδαφικής λεκάνης τραπεζοειδούς διατομής και οριζόντιας τοπογραφίας. Οι σεισμικές διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι πραγματικές χρονοϊστορίες οι οποίες είναι διαβαθμισμένες στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος  $\lambda_s$ , εντός της λεκάνης και εισήχθησαν με τη μορφή κυμάτων SV. Μετά τον εντοπισμό των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος και ύστερα από τη διερεύνηση του τρόπου επίδρασης αυτών, γίνεται μια προσπάθεια κατάστρωσης προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης των μεγίστων σεισμικών ενισχύσεων και διατύπωσης ποιοτικών συμπερασμάτων σχετικά με τη γεωγραφική διαφοροποίηση της σεισμικής ενίσχυσης κατά πλάτος της κοιλάδας. Με τον τρόπο αυτό πιστεύεται ότι τα όποια συμπεράσματα προκύψουν από την παρούσα εργασία θα μπορούν να τύχουν γενικότερης εφαρμογής για την προσεγγιστική εκτίμηση της επίδρασης της μορφολογίας υποβάθρου και σε πραγματικές περιπτώσεις λεκανών που δεν εμφανίζουν τις απλουστεύσεις σε γεωμετρία και γεωτεχνικές συνθήκες που υιοθετήθηκαν, χάριν απλότητας, στην εργασία αυτή.

### 1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η εργασία αυτή αποτελείται από 6 κεφάλαια, με το παρόν πρώτο να είναι εισαγωγικό και να παρουσιάζει το αντικείμενο της και τη διάρθρωση της. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται η σχετική με την εργασία βιβλιογραφική έρευνα που έγινε σε διαδικτυακές βάσεις δεδομένων και ανάλογες βιβλιοθήκες, ώστε να αποτυπωθεί η τυπική σεισμική απόκριση κοιλάδων με βάση καταγραφές ή αναλύσεις, και να διατυπωθούν οι βασικές παραδοχές πάνω στις οποίες βασίστηκαν οι αναλύσεις της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο περιέχει αρχικά τις απαραίτητες πληροφορίες για το λογισμικό πεπερασμένων διαφορών το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις (FLAC), όπως τις μαθηματικές αρχές στις οποίες στηρίζεται και τις υπολογιστικές του ικανότητες. Μετά αναλύεται πλήρως η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στις αναλύσεις, δηλαδή τα χαρακτηριστικά και η μορφή ενός τυπικού καννάβου, ο τρόπος εισαγωγής της σεισμικής διέγερσης στη βάση του, οι

συνοριακές συνθήκες στα άκρα, οι μορφές των επιλεχθέντων σεισμικών διεγέρσεων, αλλά και ο τρόπος εκτίμησης των αποτελεσμάτων σε όρους εδαφικής ενίσχυσης λόγω της ύπαρξης μιας πεπερασμένου εύρους κοιλάδας.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα στοιχεία και τα αποτελέσματα του συνόλου των αναλύσεων που έγιναν για την παρούσα εργασία. Με κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών γίνεται η διερεύνηση του τρόπου επίδρασης των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος και μια προσπάθεια αδιαστατοποίησης αυτών, χάριν γενίκευσης των συμπερασμάτων της εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η στατιστική επεξεργασία των αριθμητικών αποτελεσμάτων με στόχο την κατάστρωση σχετικά απλών προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης της μέγιστης ενίσχυσης της επιτάχυνσης στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, λόγω της ύπαρξης της κοιλάδας, ως συναρτήσεις των διακριβωθέντων σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος από το τέταρτο κεφάλαιο. Ακόμη, γίνεται μια μελέτη της γεωγραφικής διαφοροποίησης της ενίσχυσης κατά πλάτος της κοιλάδας. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εργασίας, οι περιορισμοί στη χρήση των αποτελεσμάτων της εργασίας και με ποιό τρόπο μπορούν αυτά τα συμπεράσματα και αποτελέσματα να βοηθήσουν σε περαιτέρω διερεύνηση του συγκεκριμένου προβλήματος.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: Βιβλιογραφική Έρευνα

---

### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά κυρίως σε μελέτες με αριθμητικές αναλύσεις και πειραματικά δεδομένα που έχουν γίνει για πραγματικές εδαφικές λεκάνες και αφορούν διερεύνηση των (γεωμορφικών) ενισχύσεων από πραγματικές σεισμικές δονήσεις ή τυπικές απλές διεγέρσεις, όπως ο παλμός Ricker. Οι λεκάνες που έχουν μελετηθεί και αναφέρονται στη παρούσα εργασία βρίσκονται στις περιοχές του Dinar της Τουρκίας, της Βόλβης στην Ελλάδα και της Ohba-Ohasi στην Ιαπωνία.

Από τις έρευνες που παρατίθενται στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου, δίνεται έμφαση στην αναγκαιότητα της χρήσης διδιάστατων μοντέλων για την αποτύπωση της πραγματικής απόκρισης της εδαφικής λεκάνης, ενώ παράλληλα επισημαίνεται η αδυναμία προσέγγισης των μονοδιάστατων μοντέλων. Οι μελέτες γίνονται σε όρους φασμάτων απόκρισης, συναρτήσεων μεταφοράς αλλά και γεωμορφικών ενισχύσεων. Ο ορισμός της γεωμορφικής ενίσχυσης στις διάφορες μελέτες της βιβλιογραφίας δεν είναι πάντα ο ίδιος. Μέσα από τις έρευνες αυτές γίνεται μια προσπάθεια κατανόησης του φαινομένου και προσέγγισης χαρακτηριστικών τα οποία επιδρούν στην 2D συμπεριφορά της εδαφικής λεκάνης, υπό σεισμική διέγερση.



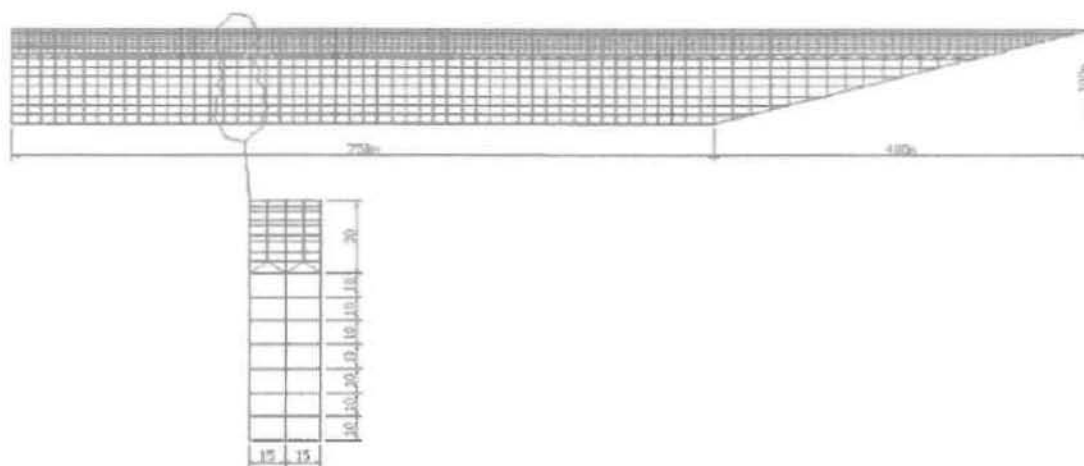
## 2.2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗΝ 2Δ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

### 2.2.1 Επίδραση των άκρων της λεκάνης στην κατανομή των καταστροφών στο Dinar

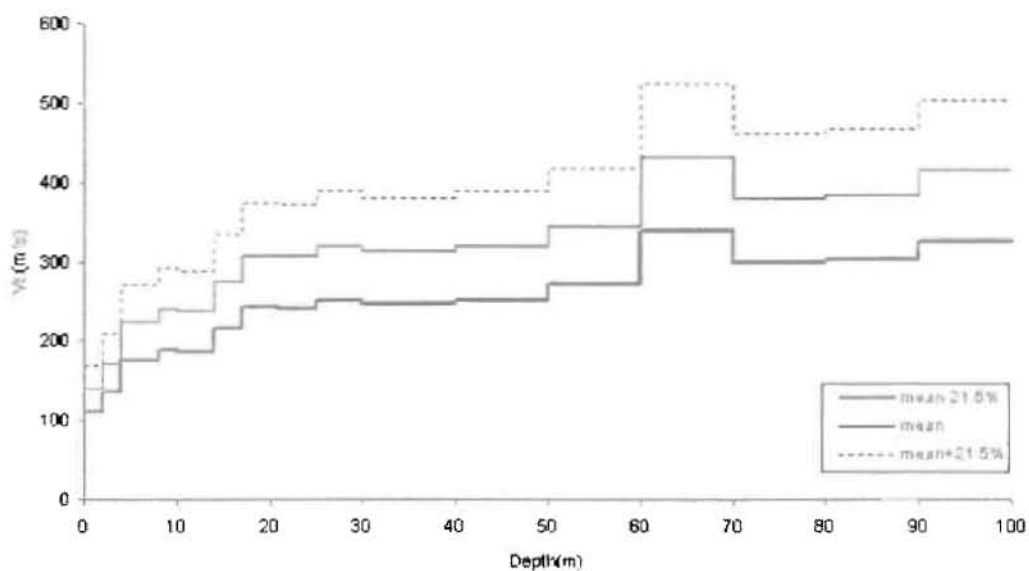
(B.S. Bakir, M.Y. Ozkan, S. Ciliz, 2002)

Τον Οκτώβριο του 1995 συνέβη ένας σεισμός στο Dinar της Τουρκίας μεγέθους  $M_L=5.9$ . Παρατηρώντας τις ζημιές στα κτήρια, διαπιστώθηκε μια μερικώς ανομοιόμορφη κατανομή των καταστροφών μέσα στην πόλη. Η πόλη Dinar είναι τοποθετημένη στα άκρα μιας αλλουβιακής λεκάνης. Τα 1Δ μοντέλα απέτυχαν να ερμηνεύσουν τις παρατηρούμενες καταστροφές καθώς δεν έλαβαν υπόψη την επίδραση των πλευρικών ορίων στα άκρα της λεκάνης. Σε τέτοιες γεωλογικές κατασκευές (κοιλάδα) παράγονται επιφανειακά κύματα στα άκρα της λεκάνης και κύματα παγιδεύονται μέσα σε αυτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η κίνηση του εδάφους να ενισχύεται σημαντικά ακόμα και σε μια απόσταση από τα άκρα της λεκάνης, γεγονός που δεν μπορεί να αναπαρασταθεί από 1Δ αναλύσεις.

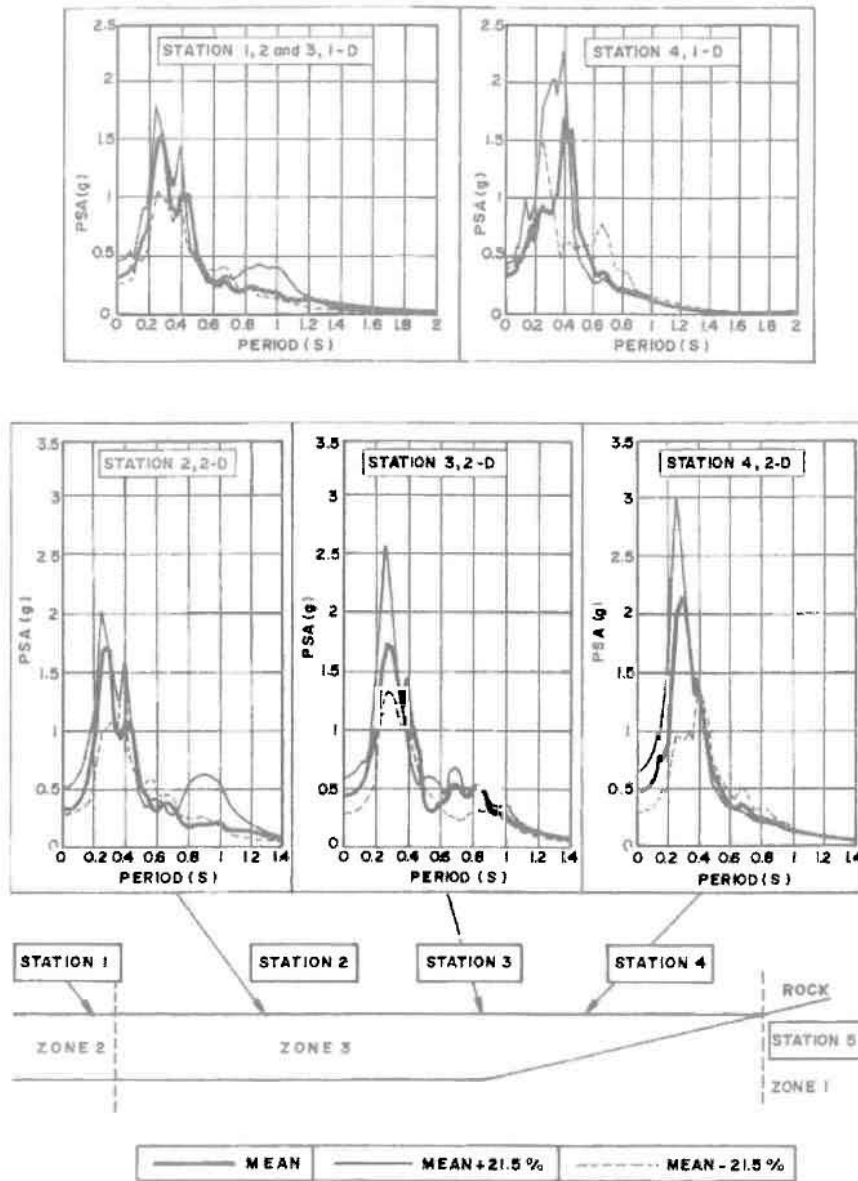
Για τη μελέτη της επίδρασης της λεκάνης έγιναν 1Δ και 2Δ αναλύσεις. Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται το προσομοίωμα της λεκάνης (2Δ μοντέλο), με μέγιστο πάχος  $H=100\text{m}$  (μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο), άνοιγμα  $B=2300\text{m}$  και  $i=14^\circ$ . Στην εικόνα 2.2 δίνεται η μεταβολή της ταχύτητας μετάδοσης των διατμητικών κυμάτων με το βάθος, έπειτα από γεωτρήσεις που έγιναν. Στην εικόνα 2.3 δίνονται τα φάσματα απόκρισης των 1Δ και 2Δ αναλύσεων, σε διάφορα σημεία της λεκάνης (σταθμοί 1 έως 4). Το πρώτο που μπορεί να σημειωθεί είναι το γεγονός ότι, τα μονοδιάστατα μοντέλα υποεκτιμούν την απόκριση στην περιοχή πλησίον των άκρων της λεκάνης (ζώνη 3), αποτυγχάνοντας να ερμηνεύσουν την παρατηρούμενη διαφορά των καταστροφών σε περιόδους 0.1sec έως 0.3sec, μεταξύ των ζωνών 2 και 3. Αντιθέτως, στα 2Δ φάσματα απόκρισης της ζώνης 3 παρατηρούνται σαφώς μεγαλύτερες τιμές απόκρισης στις παραπάνω περιόδους, δίνοντας έτσι μια πολύ πιο σωστή εικόνα της σεισμικής συμπεριφοράς. Εστιάζοντας στη μέγιστη τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης (PGA), η οποία και μελετάται στην παρούσα εργασία, παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ των 1Δ και 2Δ προσεγγίσεων αποτυπώνεται και εκεί. Οι μεγαλύτερες διαφορές των τιμών PGA μεταξύ 2Δ και 1Δ παρατηρούνται στους σταθμούς 3 και 4, πλησίον των άκρων της λεκάνης (στη ζώνη 3). Στο σχήμα 2.4 αποτυπώνεται ο λόγος  $PGA(2\Delta) / PGA(1\Delta)$  στους σταθμούς 1 έως 4. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές της 2Δ απόκρισης αυξάνουν πλησιάζοντας στα πλευρικά όρια της λεκάνης.



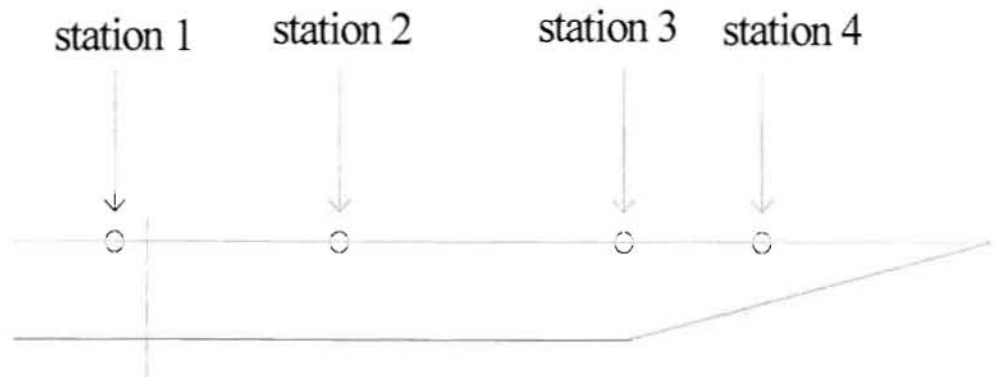
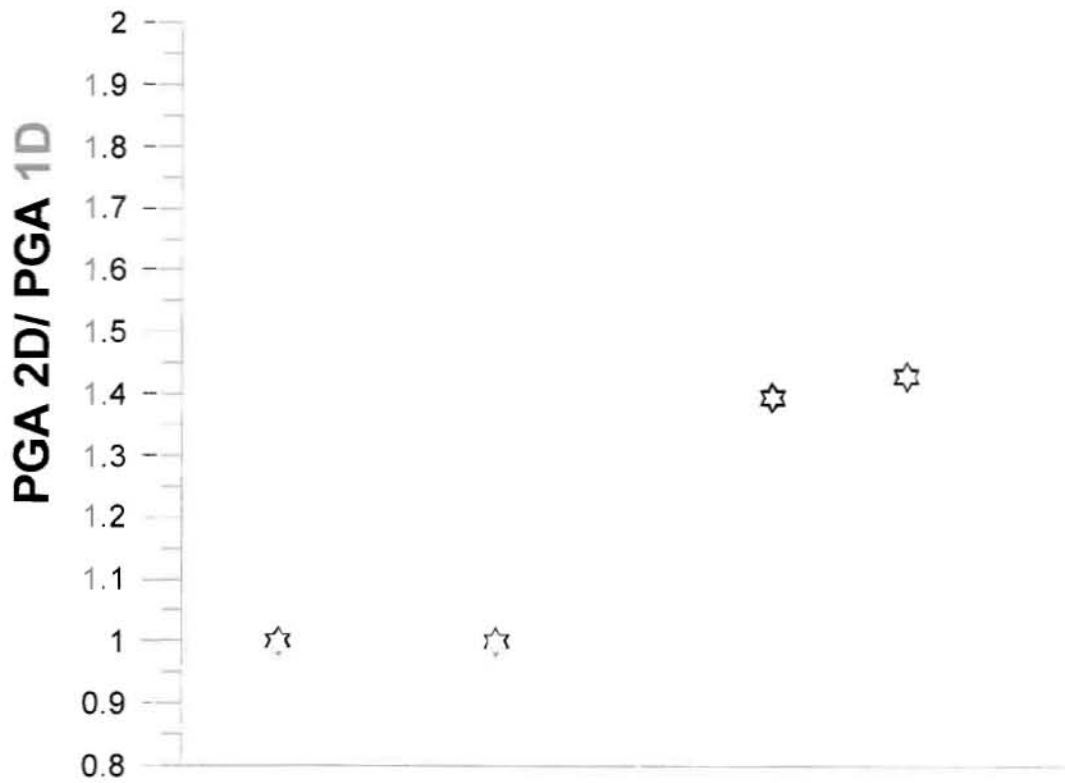
Σχήμα 2.1: 2Δ μοντέλο λεκάνης



Σχήμα 2.2: Μεταβολή ταχύτητας μετάδοσης διατμητικών κυμάτων σε σχέση με το βάθος



Σχήμα 2.3: 1Δ και 2Δ φάσματα σε διάφορους σταθμούς κατά μήκος της λεκάνης

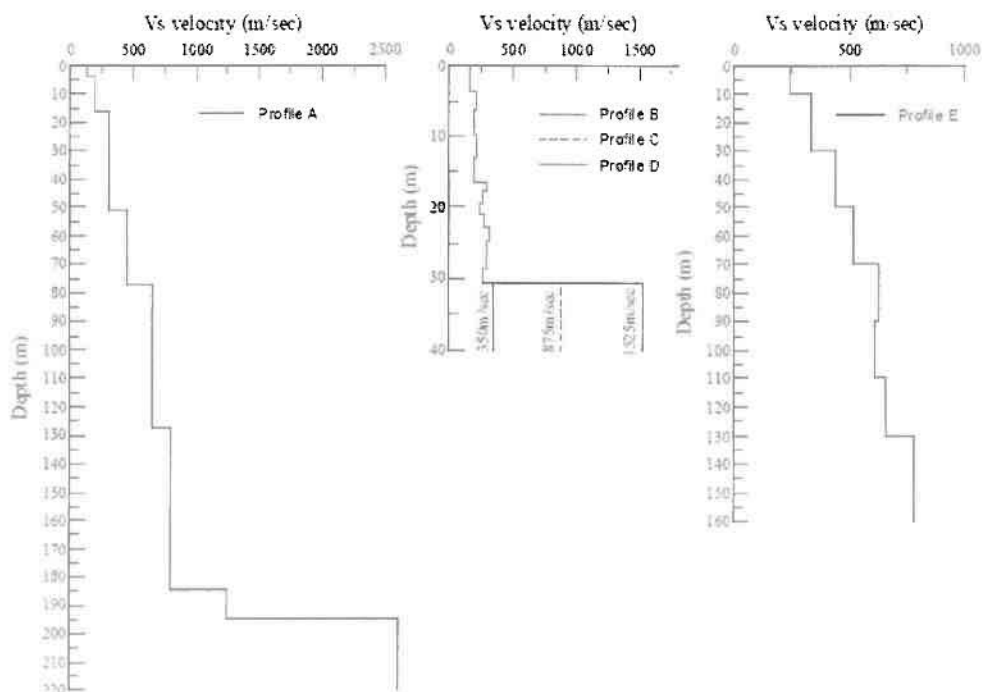


Σχήμα 2.4: PGA(2D) / PGA(1D) κατά μήκος της λεκάνης

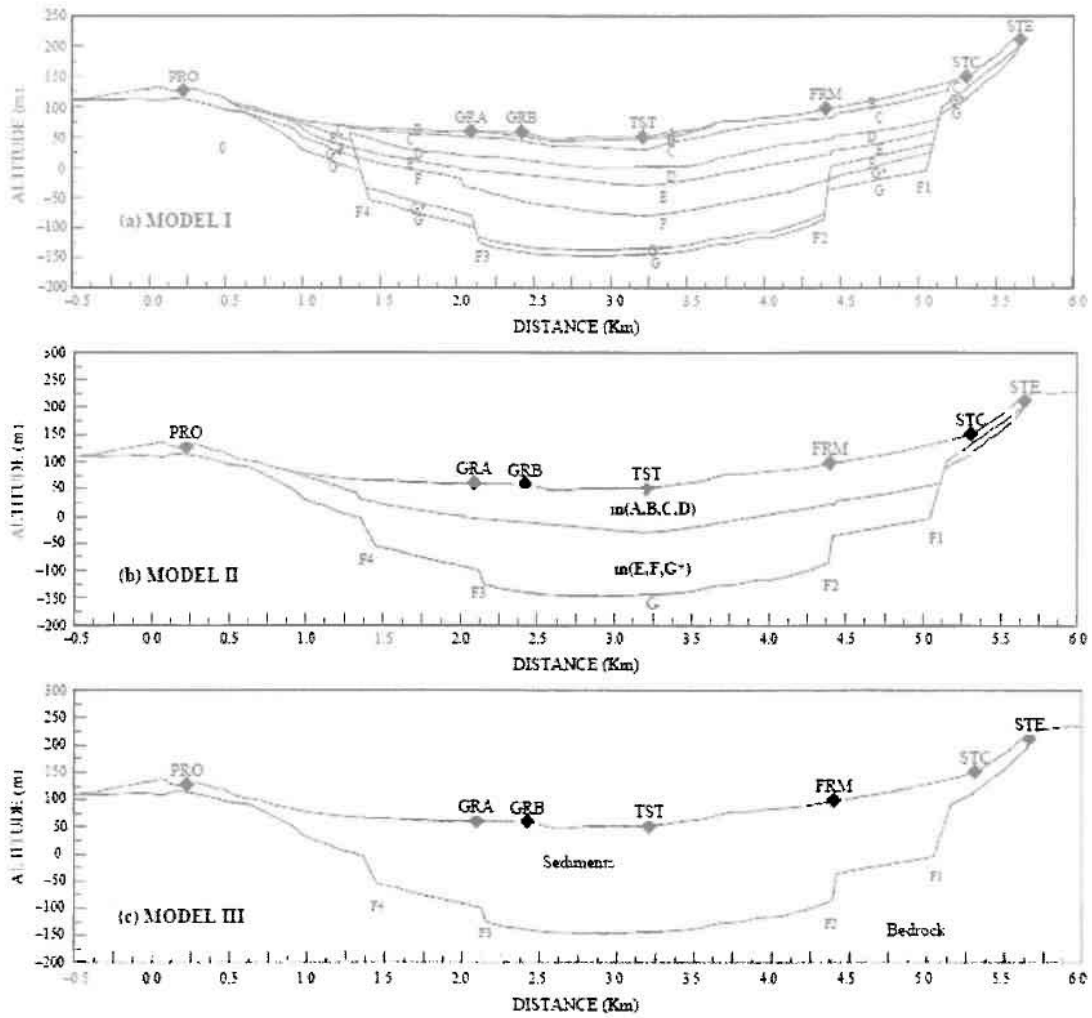
## 2.2.2 Παραμετρική ανάλυση 1Δ και 2Δ σεισμικής απόκρισης στη λεκάνη Euroseistest

(K. Makra, F.J. Chavez-Garcia, D. Raptakis, K. Pitilakis, 2005)

Η απόκριση της λεκάνης υπολογίστηκε τόσο με βάση το λεπτομερές εδαφικό προφίλ, όσο και για μία σειρά απλοποιήσεων του λεπτομερούς προσομοιώματος της εδαφικής δομής. Αρχικά, θεωρήθηκαν διαφορετικά 1Δ προσομοιώματα στο κέντρο της λεκάνης, ενώ σε ένα δεύτερο στάδιο, υπολογίστηκε η απόκριση τριών 2Δ προσομοιωμάτων με την ίδια γεωμετρία αλλά διαφορετική διακύμανση με το βάθος της ταχύτητας διάδοσης των S κυμάτων και 2 με διαφορετική γεωμετρία της διεπιφάνειας αποθέσεων και βραχώδους υποβάθρου με σκοπό να προκύψουν οι ελάχιστες απαιτούμενες πληροφορίες (ιδιότητες) της δομής που «ελέγχουν» τα χαρακτηριστικά της σεισμικής απόκρισης. Η λεκάνη έχει σχετικά τραπεζοειδές σχήμα, βάθος περίπου 200m στο βαθύτερο σημείο της και πλάτος περίπου 6000m. Στο σχήμα 2.5 δίνονται οι πέντε περιπτώσεις του προφίλ της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα 1Δ μοντέλα, ενώ στο σχήμα 2.6 α, β και γ παρατηρούνται τα πρώτα 2Δ προσομοιώματα της λεκάνης. (I, II, III) Στον πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των 2Δ μοντέλων. Οι διαφορές των χαρακτηριστικών της σεισμικής απόκρισης μεταξύ των διαφορετικών προσομοιωμάτων μελετώνται στο πεδίο τιμών των συχνοτήτων, ενώ επιπροσθέτως υπολογίζεται ο συντελεστής ενίσχυσης μεταξύ των διδιάστατων και των αντίστοιχων μονοδιάστατων φασμάτων απόκρισης με σκοπό την ποσοτικοποίηση της πρόσθετης, σε σχέση με τη 1Δ προσέγγιση, ενίσχυσης που προκαλείται λόγω φαινομένων που σχετίζονται με τη γεωμετρία της λεκάνης.



**Σχήμα 2.5:** Προφίλ ταχύτητας μετάδοσης διατμητικών κυμάτων



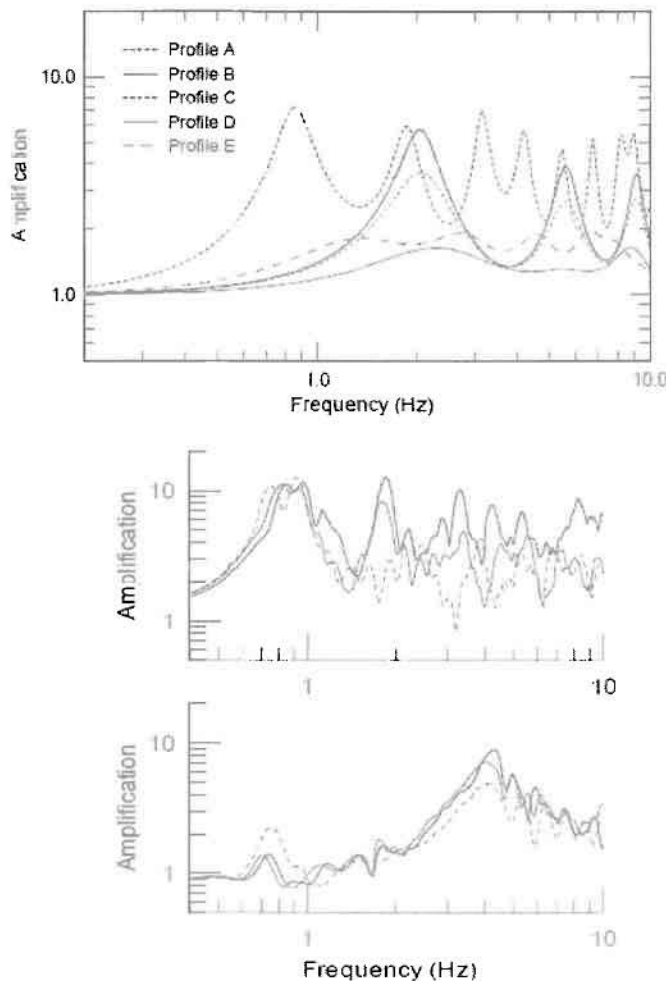
**Σχήμα 2.6:** 2Δ μοντέλα λεκάνης με διαφορετική ακρίβεια στη διαστρωμάτωση

Table 1  
Dynamic properties of the soil materials included in the 2D models

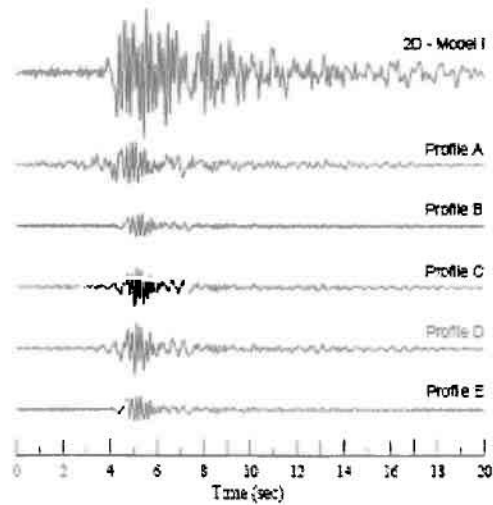
	Soil formation	A	B	C	D	E	F	G*	G
Model I	$V_s$ (m/s)	130	200	300	450	650	800	1250	2600
	$Q_s$ ( $= 1/2\zeta$ )	15	25	30	40	60	80	100	200
	$\rho$ ( $t/m^3$ )	2.05	2.15	2.075	2.10	2.155	2.20	2.50	2.60
Model II	$V_s$ (m/s)		330				750		2600
	$Q_s$ ( $= 1/2\zeta$ )		33				75		200
	$\rho$ ( $t/m^3$ )		2.10				2.20		2.60
Model III	$V_s$ (m/s)				590				2600
	$Q_s$ ( $= 1/2\zeta$ )				55				200
	$\rho$ ( $t/m^3$ )				2.2				2.60

**Πίνακας 2.1:** Πίνακας γεωτεχνικών χαρακτηριστικών 2Δ μοντέλων

Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις μεταφοράς των 1Δ και των πρώτων 2Δ μοντέλων. Παρά τις παρατηρούμενες επιμέρους διαφορές, τα 2Δ αποτελέσματα είναι περισσότερο συμβατά μεταξύ τους από οποιαδήποτε 1Δ προσέγγιση. Η πρώτη αιχμή ενίσχυσης στο κέντρο της λεκάνης προσομοιώνεται ικανοποιητικά και στις τρεις τομές, γεγονός που δεν παρατηρείται για τις 1Δ αναλύσεις. Επίσης στο σχήμα 2.8, αποτυπώνεται η χρονοϊστορία επιτάχυνσης στο κέντρο της λεκάνης, όπως αυτή εξήχθη από τις 1Δ αναλύσεις και το 2Δ πλήρες μοντέλο, (μοντέλο αναφοράς). Είναι φανερό ότι, οι 1Δ αναλύσεις δεν κατάφεραν σε καμία περίπτωση να προσεγγίσουν ικανοποιητικά την πραγματική 2Δ απόκριση της λεκάνης, ούτε σε διάρκεια σημαντικών κύκλων φόρτισης, ούτε σε ένταση. Από όλα τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι η εισαγωγή της επιρροής της πλευρικής ετερογένειας της δομής στα χαρακτηριστικά της σεισμικής κίνησης οδήγησε σε ορθότερες εκτιμήσεις της σεισμικής απόκρισης της λεκάνης από ότι οι λεπτομερείς 1Δ προσεγγίσεις. Επίσης, η απλοποίηση της στρωματογραφίας δεν επέφερε σημαντικές αλλαγές στην προσομοίωση των χαρακτηριστικών της σεισμικής κίνησης σε σχέση με τη λεπτομερή εδαφική τομή.

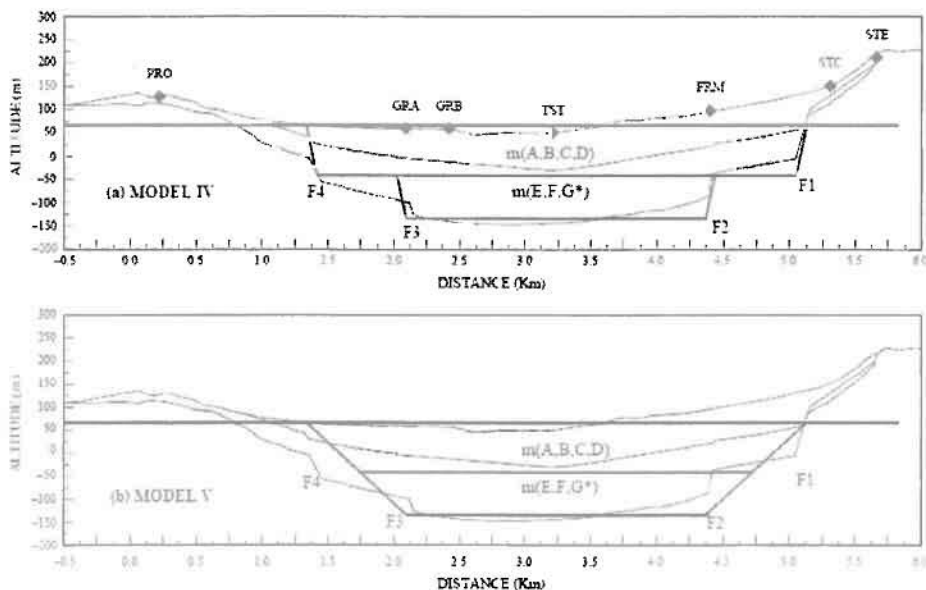


Σχήμα 2.7: Συναρτήσεις μεταφοράς των 1Δ και 2Δ μοντέλων

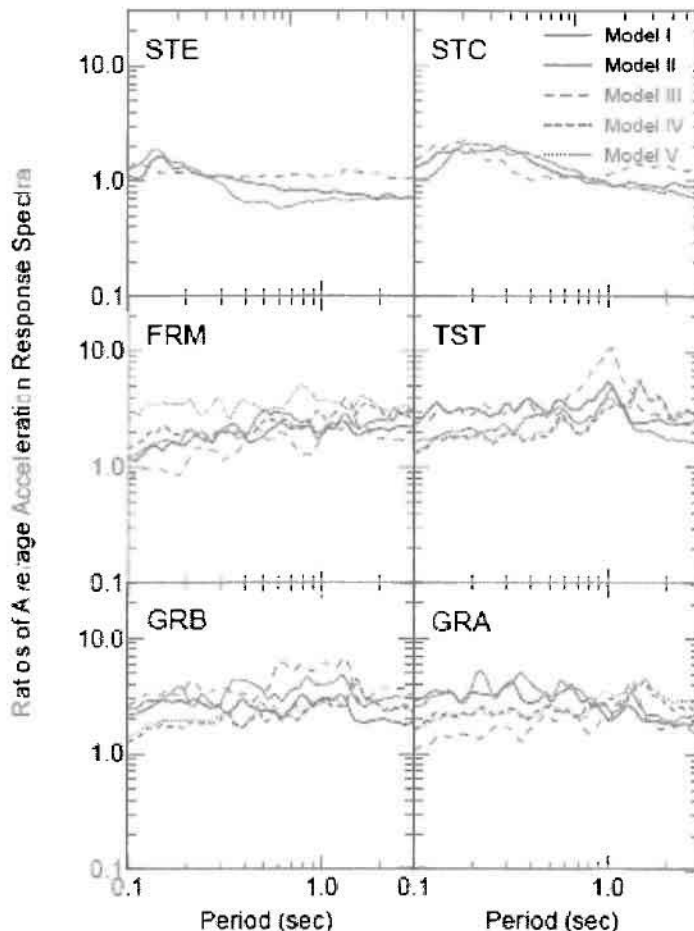


Σχήμα 2.8 : Χρονοϊστορία επιτάχυνσης στο κέντρο της λεκάνης για 1Δ και 2Δ (μοντέλο I)

Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται το μοντέλο II, με δύο διαφορετικές απλοποιημένες γεωμετρίες. Έτσι προκύπτουν τα μοντέλα IV και V. Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, ποσοτικοποιήθηκε για κάθε 2Δ προσομοίωμα ο συντελεστής επιβάρυνσης. Οι συντελεστές αυτοί ορίζονται ως ο λόγος των μέσων τιμών των διδιάστατων προς τα αντίστοιχα μονοδιάστατα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης ( $2D/1D$ ). Η πρόσθετη ενίσχυση που οφείλεται στα επιφανειακά κύματα και άρα στην επιρροή των πλευρικών ετερογενειών της δομής στη σεισμική κίνηση ποσοτικοποιείται με τους συντελεστές επιβάρυνσης. Παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις ο συντελεστής επιβάρυνσης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3 για περιόδους από 0.1 έως 3.0 sec, αναδεικνύοντας τη σημαντική συνεισφορά της γεωμετρίας της λεκάνης, (έστω και αδρής), στην πρόσθετη ενίσχυση της κίνησης. (Σχήμα 2.10)





**Σχήμα 2.9:** 2Δ μοντέλα με απλοποιημένες γεωμετρίες**Σχήμα 2.10:** Συντελεστές επιβάρυνσης για όλες τις τομές στις θέσεις των σταθμών του δικτύου

### Γενικά συμπεράσματα

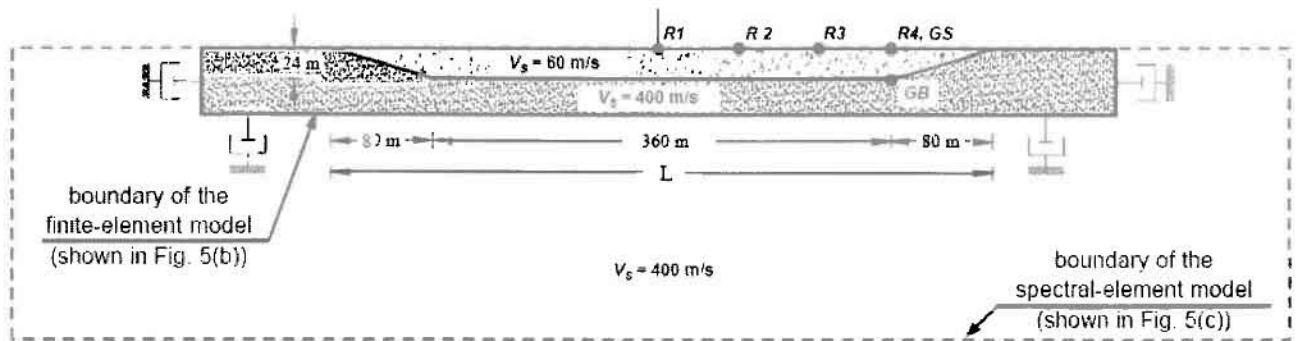
Από όλα τα αποτελέσματα, προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι η απόκριση της λεκάνης Euroseistest οφείλεται στη μορφή/γεωμετρία της καθώς κύριο φαινόμενο είναι τα τοπικά παραγόμενα στις ασυνέχειες επιφανειακά κύματα. Επίσης συμπεραίνεται ότι για την αξιόπιστη πρόβλεψη των χαρακτηριστικών αυτών (πλάτος, συχνοτικό περιεχόμενο) είναι προτιμότερο να έχουμε μία γενική και αδρή εικόνα της μορφής της λεκάνης και των μέσων δυναμικών ιδιοτήτων των σχηματισμών παρά μία λεπτομερή περιγραφή της κατακόρυφης διαδοχής των εδαφικών σχηματισμών σε μία θέση π.χ. στο κέντρο της. Επίσης, η σωστή εκτίμηση της μέσης αντίθεσης της δυσκαμψίας μεταξύ αποθέσεων και βράχου είναι απαραίτητη στην αξιόπιστη πρόβλεψη για του επιπέδου ενίσχυσης, απαίτηση που ισχύει επίσης και στα 1Δ προσομοιώματα.

### 2.2.3 Λεκάνη περιοχής Ohba Ohashi. Ιαπωνία

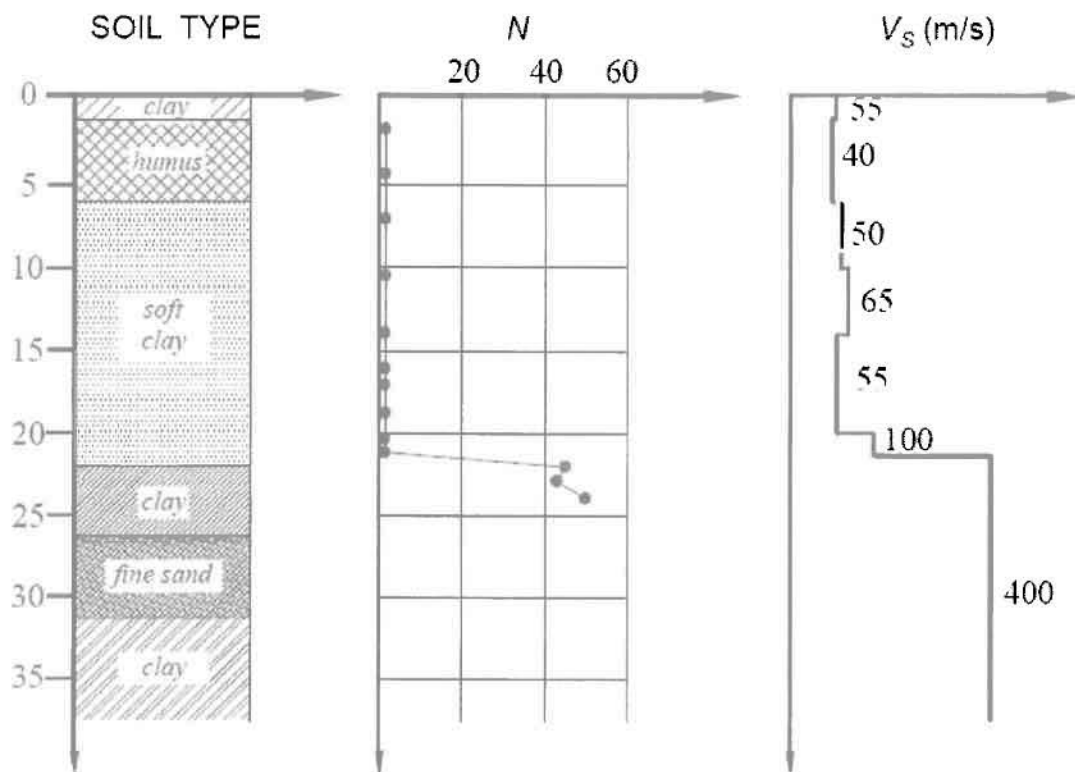
Κείμενο α

(P. N. Psarropoulos, T. Tazoh, G. Gazetas, M. Apostolou 2007)

Σύμφωνα με τους Psarropoulos et al (2007), η λεκάνη στη περιοχή της Ohba Ohashi έχει σχετικά τραπεζοειδές σχήμα, βάθος περί τα 24m. και πλάτος περί τα 520m. Στο σχήμα 2.11 φαίνεται η προσεγγιστική γεωμετρία της λεκάνης. Τα χαρακτηριστικά της προσεγγιστικής λεκάνης που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις φαίνονται στο σχήμα 2.12.



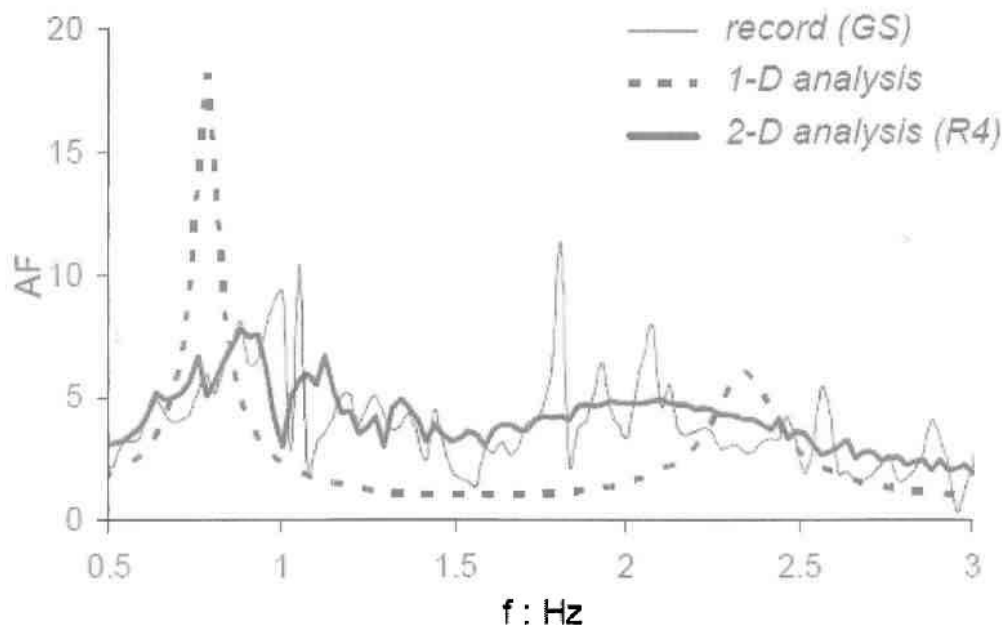
Σχήμα 2.11: Σκαρίφημα λεκάνης Ohba Ohashi. (απλοποιητική μορφή)



Σχήμα 2.12: Χαρακτηριστικό εδαφικό προφίλ λεκάνης Ohba Ohashi.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν 2Δ γραμμικές βισκοελαστικές αναλύσεις, στις οποίες διερευνήθηκε κατά πόσο η 1Δ προσέγγιση έχει την ικανότητα να προσομοιώσει επαρκώς την πραγματική απόκριση. Οι ελαστικές αναλύσεις στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ικανοποιητικές επειδή αφενός το έδαφος χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές πλαστιμότητας (PI) και αφετέρου οι σεισμικές διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν έχουν και πολύ υψηλά επίπεδα επιτάχυνσης. Οι διεγέρσεις του συστήματος είναι πραγματικές καταγραφές.

Για το λόγο αυτό, συγκρίνονται στην εικόνα 2.13 οι συντελεστές ενίσχυσης για  $\xi=3\%$  (σε όρους φασματικού περιεχομένου) που εξάγονται από την 1Δ θεωρία, τη 2Δ ανάλυση της λεκάνης και από την καταγεγραμμένη απόκριση στην επιφάνεια, όλα για το σημείο R4 (Gs και Gb). Γίνεται αντιληπτή η αδυναμία της 1Δ ανάλυσης να προσεγγίσει την καταγεγραμμένη κίνηση. Δηλαδή οι συχνότητες που ενισχύονται από το εδαφικό φίλτρο είναι τελείως διαφορετικές.



**Σχήμα 2.13:** Σύγκριση των συντελεστών ενίσχυσης (AF) μεταξύ πραγματικών καταγραφών, μονοδιάστατων και διδιάστατων αναλύσεων

Περαιτέρω διερεύνηση των γεωμορφικών ενισχύσεων σε αυτή τη λεκάνη έγινε με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση της μη γραμμικότητας στη σεισμική κίνηση. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με διεγέρσεις μορφής παλμών Ricker, δεσπόζουσας συχνότητας 1Hz και 2Hz, για τις παρακάτω περιπτώσεις συνδυασμών εδαφών-διεγέρσεων:

1<sup>η</sup> περίπτωση ( case A ): PI=200 PGBA=0,034g γραμμικό έδαφος

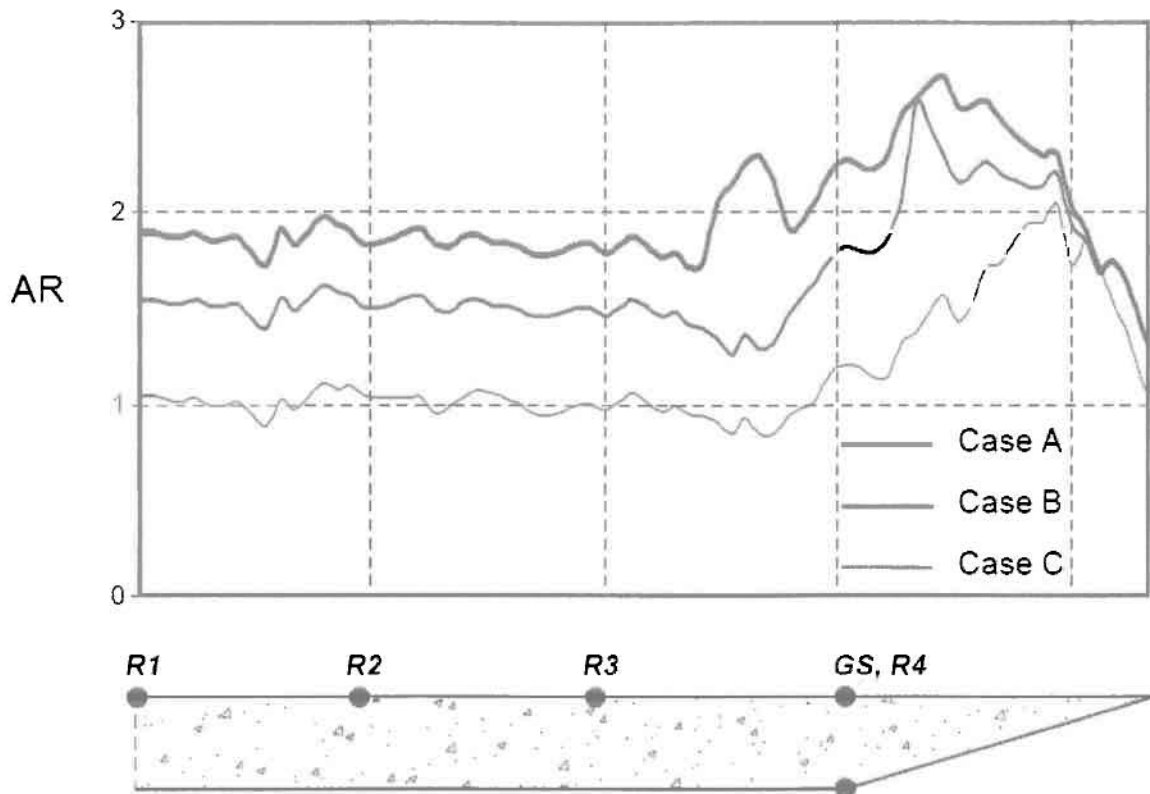
2<sup>η</sup> περίπτωση ( case B ): PI=50 PGBA=0,034g ελαφρώς μη γραμμικό έδαφος

3<sup>η</sup> περίπτωση ( case C ):  $PI=50$   $PGBA=0,340g$  μη γραμμικό έδαφος

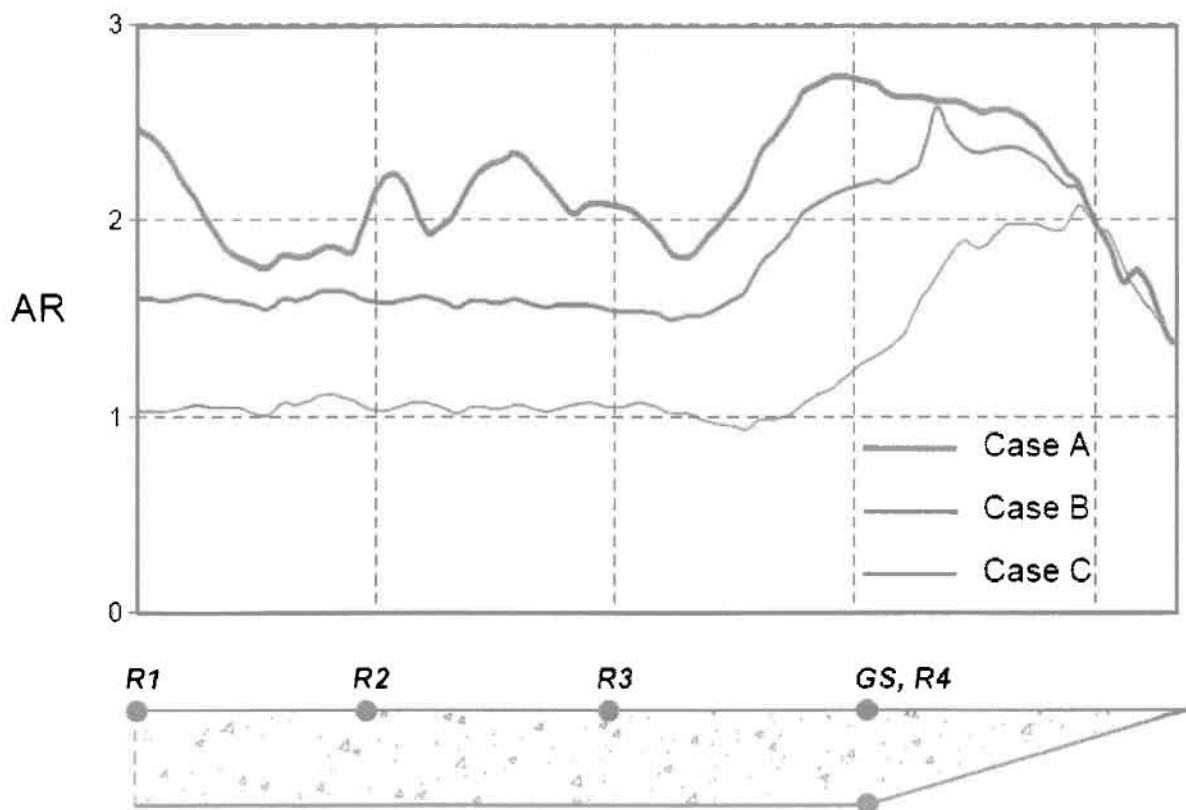
Παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις B και C θεωρείται έδαφος με μικρότερο PI και μεγαλύτερη ένταση σεισμού, έτσι ώστε η πραγματική συμπεριφορά της λεκάνης να πλησιάζει πιο κοντά στη μη γραμμικότητα.

Στα παρακάτω σχήματα (σχήμα 2.14 και σχήμα 2.15) φαίνονται οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις για τους παλμούς 1Hz και 2Hz στο δεξί μέρος της λεκάνης για τις τρεις περιπτώσεις εδαφών, οι οποίες ορίζονται ως ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους προς την τιμή που έχει η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στη «θαμμένη» γωνία της εδαφικής λεκάνης. Γίνεται προφανές ότι όσο πιο γραμμικώς ελαστικά συμπεριφέρεται το έδαφος τόσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των γεωμορφικών ενισχύσεων, ενώ και στις 2 περιπτώσεις συχνοτήτων οι μεγαλύτερες τιμές ενισχύσεων εμφανίζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης.

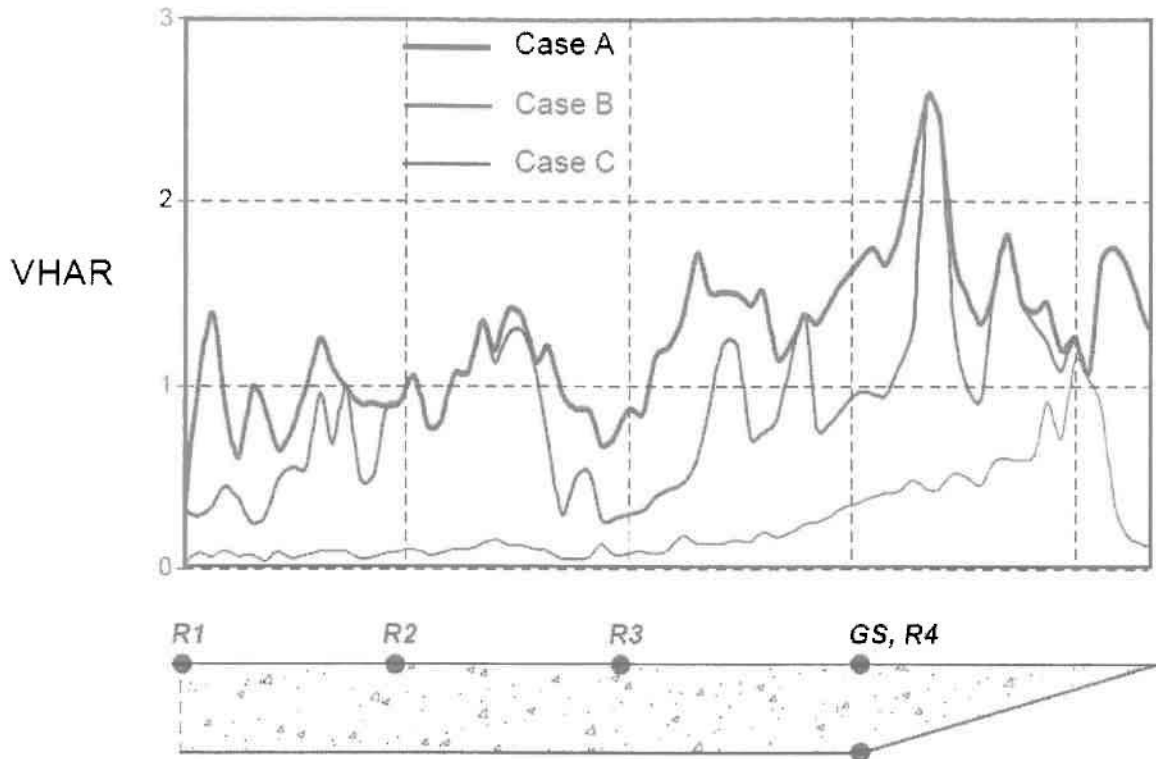
Στα σχήματα (σχήμα 2.16 και σχήμα 2.17) φαίνεται ο λόγος των κατακόρυφων ενισχύσεων στην επιφάνεια προς τις οριζόντιες ενισχύσεις στη θαμμένη γωνία της λεκάνης κατά μήκος του δεξιού μέρους της λεκάνης για τις τρεις περιπτώσεις εδαφών και τις συχνότητες πάλι των 1Hz και 2Hz. Όπως προκύπτει, οι κατακόρυφες ενισχύσεις μηδενίζονται στο κέντρο της λεκάνης και παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους πλησίον των άκρων αυτής.



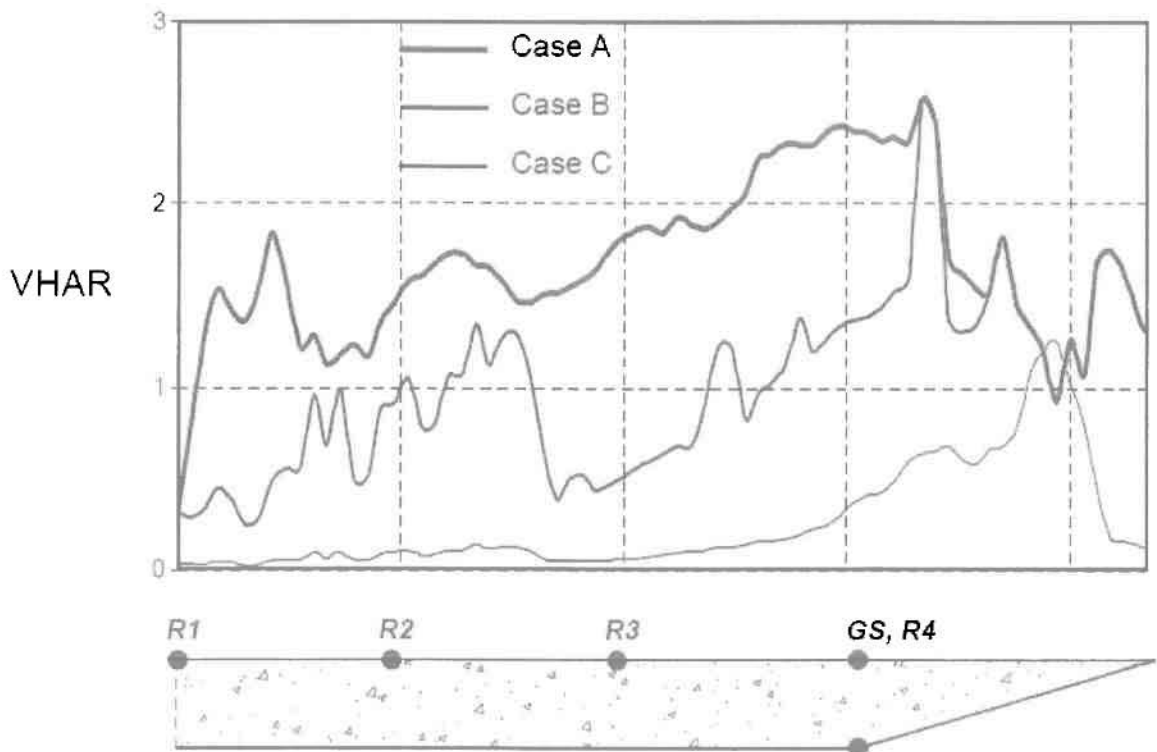
**Σχήμα 2.14:** Τιμές οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 2Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.



**Σχήμα 2.15:** Τιμές οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 1Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.



**Σχήμα 2.16:** Τιμές λόγου κατακόρυφων προς οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 2Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.



**Σχήμα 2.17:** Τιμές λόγου κατακόρυφων προς οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 1Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.

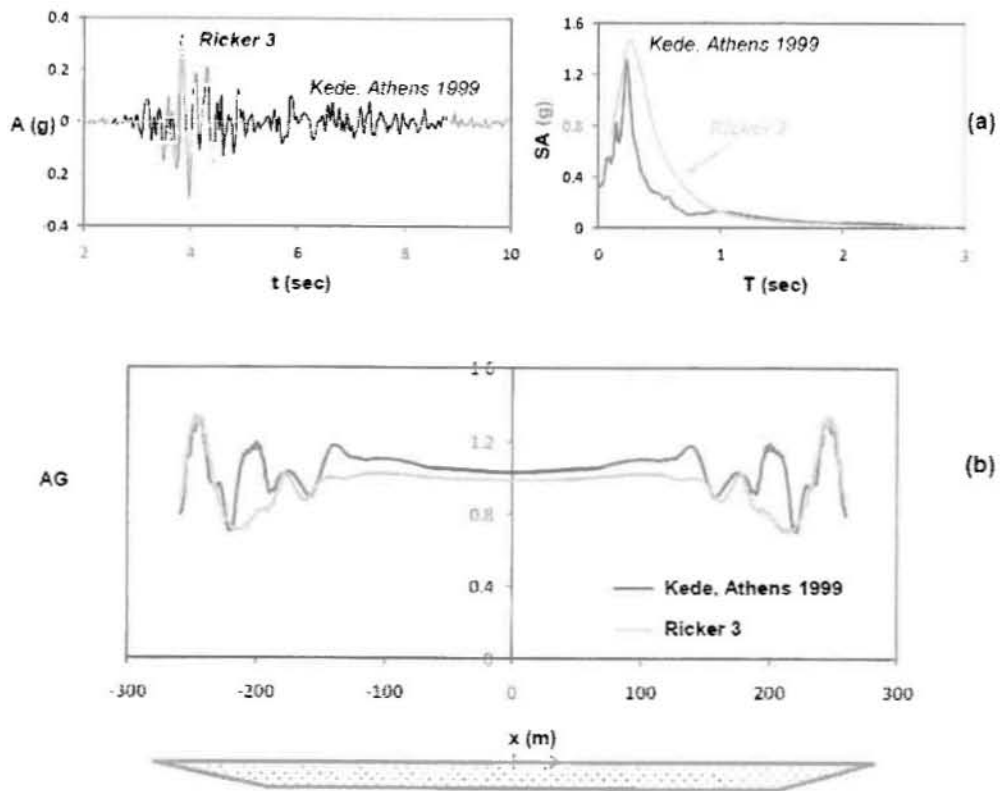
*Κείμενο β*

(F. Gelagoti, R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, T. Tazoh, G. Gazetas, 2010)

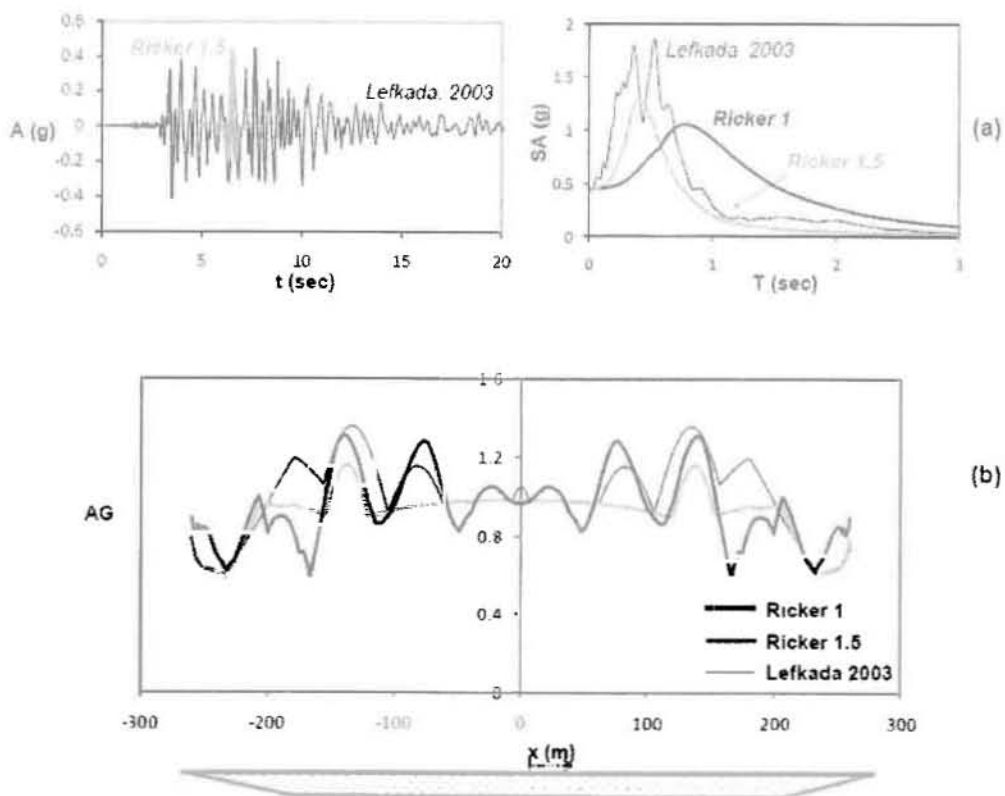
Οι Gelegoti, Kourkoulis, Anastasopoulos, Tazoh, Gazetas, μελέτησαν τη 2Δ συμπεριφορά της παραπάνω λεκάνης, σε όρους οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης  $ah_{max}(2\Delta) / ah_{max}(1\Delta)$ , όπου  $ah_{max}$  η μέγιστη τιμή της οριζόντιας επιτάχυνσης στην επιφάνεια, στις 2Δ και 1Δ αναλύσεις αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται έμφαση στην επίδραση της 2Δ συμπεριφοράς της λεκάνης στην PGA. Επίσης, ορίζεται η κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση ως ο λόγος της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης στην επιφάνεια (καθώς η εισαγόμενη κίνηση είναι μόνο οριζόντια) προς την οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια, υπό 1Δ συνθήκες. Πραγματοποιήθηκαν ελαστικές αναλύσεις για τρεις πραγματικές καταγραφές διεγέρσεων καθώς και των παλμών *ricker* που τις προσεγγίζουν.

Στην εικόνα 2.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οριζόντιας επιδείνωσης για τη διέγερση της Αθήνας 1999 και ενός παλμού *Ricker* με συχνότητα 3Hz, όπου η απόσβεση είναι  $\xi = 2\%$ . Στην εικόνα 2.19 υπάρχουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το σεισμό της Λευκάδας 2003 και τους παλμούς *Ricker* με συχνότητα 1Hz και 1.5Hz, ενώ στην εικόνα 2.20 η διέγερση είναι η καταγραφή της Yarımaca 1999 και παλμός με συχνότητα 0.5Hz. Παρατηρείται ότι τόσο οι θέσεις των μέγιστων επιταχύνσεων όσο και οι τιμές τους εξαρτώνται από το συχνοτικό περιεχόμενο του παλμού διέγερσης. Στις υψίσυχνες διεγέρσεις οι ενισχύσεις εντοπίζονται στα ακραία τμήματα της κοιλάδας, ενώ στις μακροπερίοδες τα φαινόμενα ενισχύονται στο κεντρικό τμήμα εξαιτίας της επιβλαβούς συμβολής επιφανειακών κυμάτων τύπου Rayleigh. Επίσης, σε ό,τι αφορά τη σύγκριση μεταξύ πραγματικής διέγερσης και παλμού *Ricker*, στην περιοχή των μέγιστων τιμών υπάρχει αρκετά καλή προσέγγιση.

Στα σχήματα 2.21 έως 2.23 παρατηρούμε τις κατακόρυφες παρασιτικές γεωμορφικές ενισχύσεις, για τις τρεις πραγματικές διεγέρσεις. Παρατηρείται ότι οι τιμές μηδενίζουν σε όλες τις περιπτώσεις στο κέντρο της λεκάνης, ενώ οι μέγιστες τιμές επιδεινώσεων εμφανίζονται πάντα πλησίον των άκρων της λεκάνης.

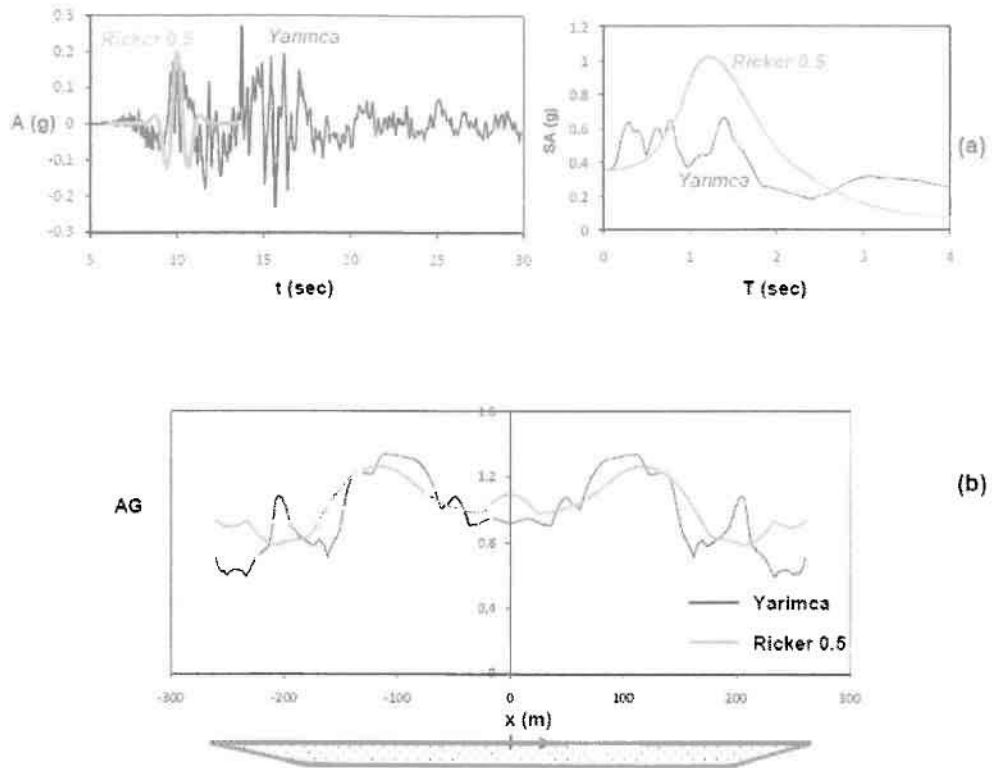


Σχήμα 2.18: Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 3$  Hz

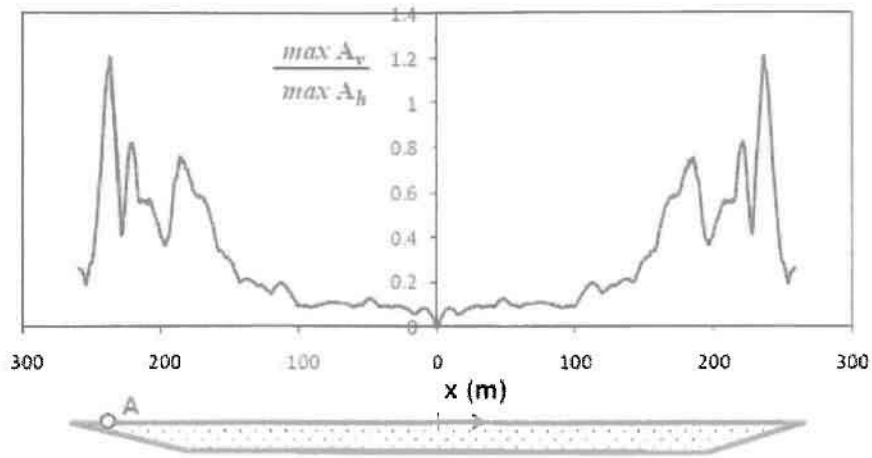


Σχήμα 2.19: Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 1$  και  $1.5$  Hz

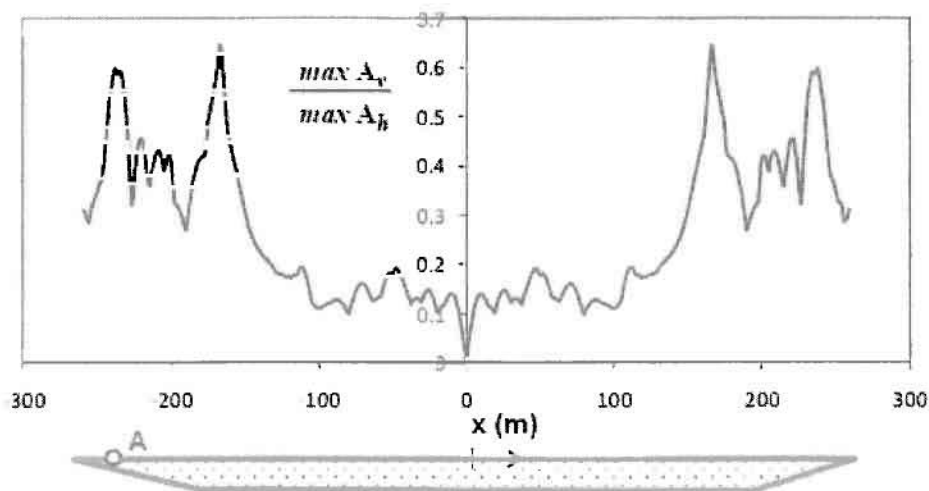




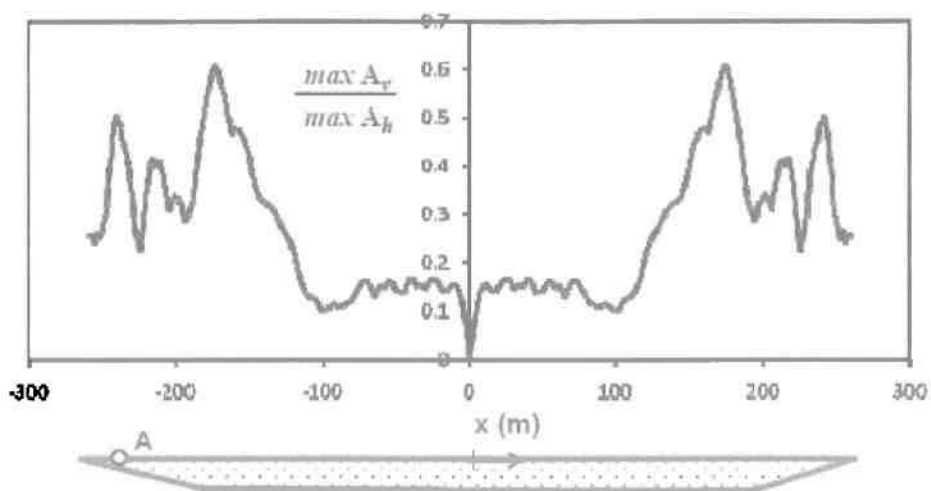
Σχήμα 2.20: Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 0.5$  Hz



**Σχήμα 2.21:** Κατακόρυφες παρασιτικές γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 3$  Hz (σεισμός Αθήνας)



**Σχήμα 2.22:** Κατακόρυφες παρασιτικές γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 1.5$  Hz (σεισμός Λευκάδας)



**Σχήμα 2.23:** Κατακόρυφες παρασιτικές γεωμορφικές ενισχύσεις, για  $\xi=2\%$  και  $f_e = 0.5$  Hz (σεισμός Yagimaca)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Μεθοδολογία Αριθμητικών Αναλύσεων

### 3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Για την εργασία αυτή εκτελέστηκε μία σειρά αριθμητικών αναλύσεων, επί τη βάση και προηγούμενων μελετών για την επίδραση της μορφολογίας του υποβάθρου (Γριντάκης 2009). 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 τις 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  $\Sigma F$  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  $\Delta t$ , 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  $\Delta t$  αντιστοιχούν σε πραγματικά χρονικά διαστήματα. Αν η επίλυση επιλεγεί να γίνει στατικά, τότε η μάζα, η 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

$d_{\text{max}}$  : 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 η "πληροφορία" για τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και δράσεων να μη διαδίδεται μέσα στον κάνναβο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των διαμηκων 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 κάρναβος στο κάτω όριο του οποίου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που θα λάμβανε 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 μόνρφωση 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

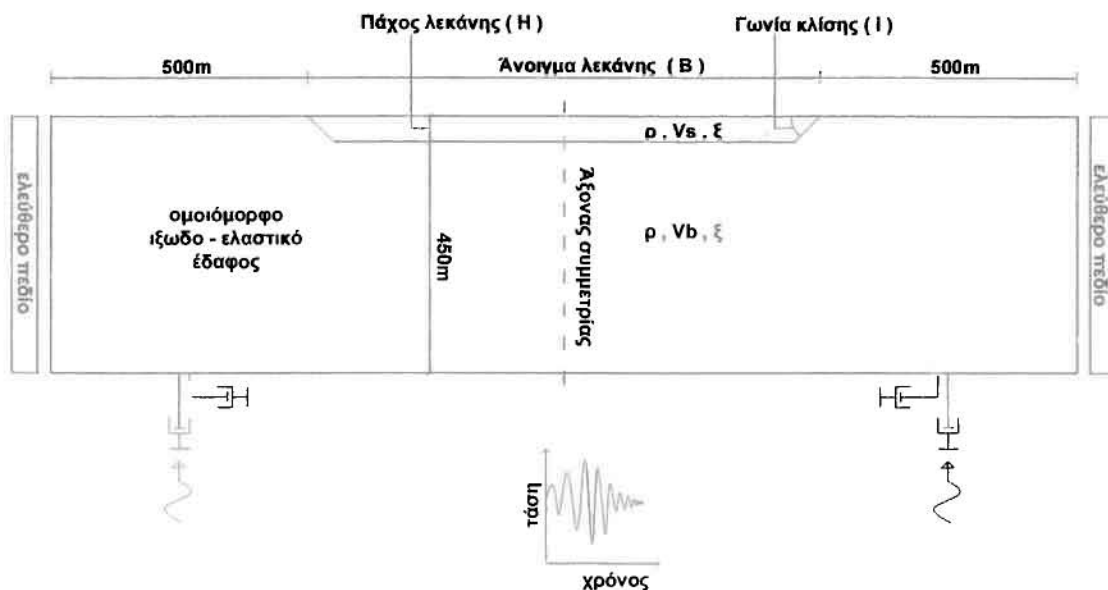
πρέπει να είναι μικρές. Αυτό ισχύει και για τη στατική επίλυση καθώς, λόγω του χαρακτήρα του κώδικα, η επίδραση της αδράνειας υπεισεύχεται και σ' αυτή την ανάλυση.

### 3.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

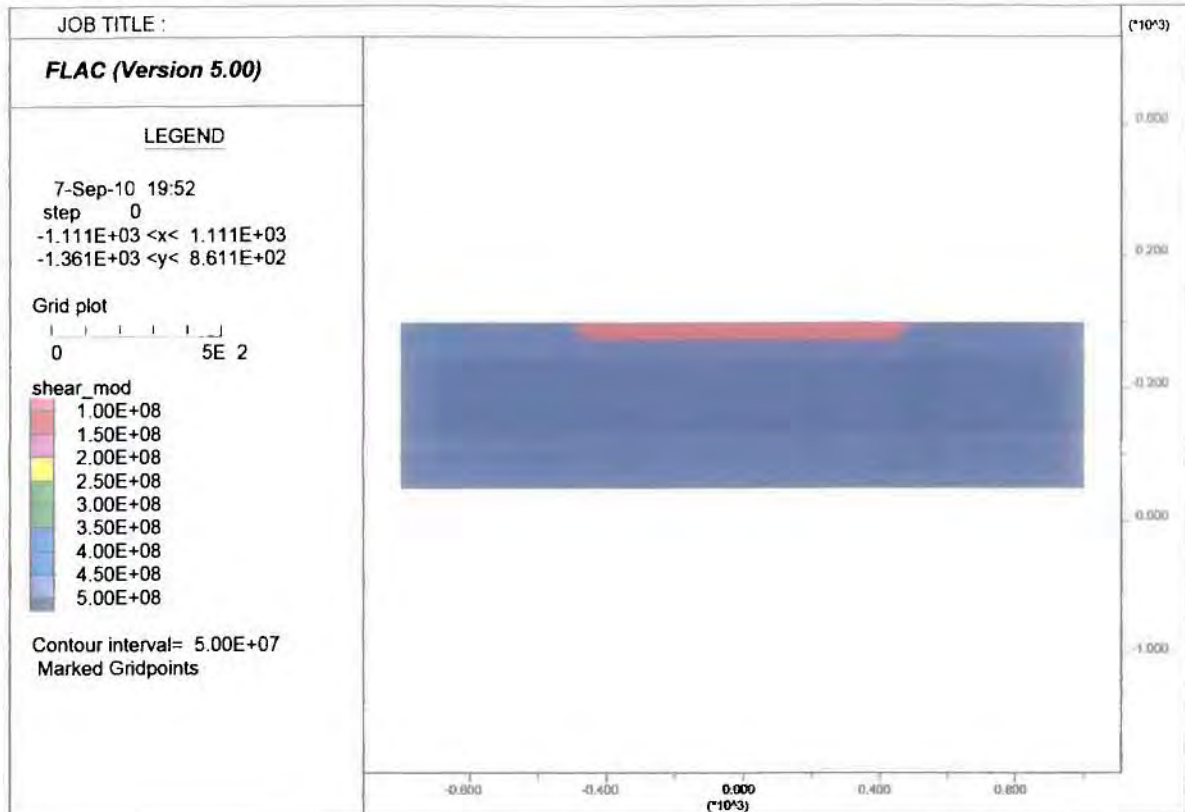
Για την παρούσα εργασία εκτίμησης της σεισμικής ενίσχυσης λόγω της επίδρασης του υποβάθρου έγιναν 28 διαφορετικές «ομάδες» αναλύσεων, εισάγοντας σε κάθε «ομάδα» αναλύσεων δύο διαφορετικές διεγέρσεις. Κάθε μία από τις «ομάδες» αυτές αποτελείται από τρεις επιμέρους αναλύσεις ως εξής:

#### **A) Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο - εδαφική λεκάνη**

Για την προσομοίωση της πραγματικής δισδιάστατης συμπεριφοράς μιας εδαφικής απόθεσης σε βραχώδες υπόβαθρο, χρησιμοποιήθηκαν λεκάνες τραπεζοειδούς διατομής, με γεωμετρικές παραμέτρους το άνοιγμα της λεκάνης (B), το βάθος της (H) (ύψος τραπεζίου) και την κλίση των άκρων της (i). (Σχήμα 3.1) Σε κάθε ανάλυση, βραχώδες υπόβαθρο βάθους 450m υπόκειται της εδαφικής λεκάνης, ενώ εκατέρωθεν αυτής το αναδεδόμενο βραχώδες υπόβαθρο εκτείνεται κατά 500m. Κατ' επέκταση, το μέγεθος κάθε καννάβου καθορίζεται από το άνοιγμα και το βάθος της λεκάνης ως εξής:  $[(500+B+500)/5] \times [(450/5)+(H/2.5)]$ . Ο κάνναβος σχεδιάστηκε έτσι ώστε, στην περιοχή της εδαφικής λεκάνης να υπάρχει πύκνωση (μικρή διακριτοποίηση) και επιπλέον στην επιφάνεια να υπάρχουν κόμβοι ανά 5m. Για παράδειγμα, μια περίπτωση λεκάνης με  $H=50m$ ,  $B=1000m$  και  $i=45^\circ$  αποτελείται από  $400 \times 110$  ζώνες. (σχήμα 3.2)



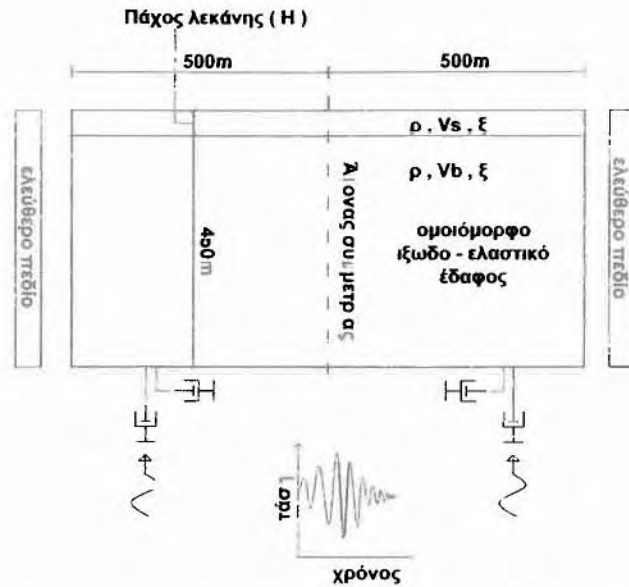
Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης



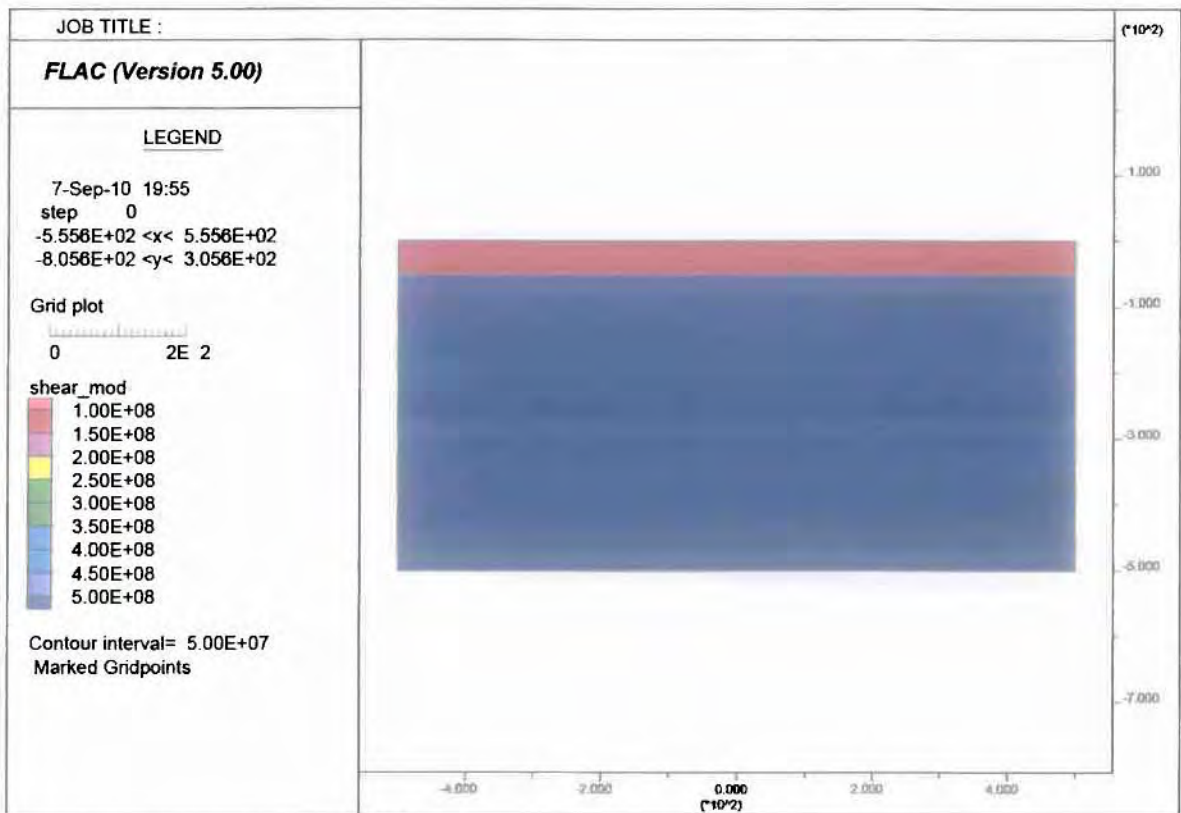
Σχήμα 3.2: Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης

## Β) Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο – απειρούμηκες έδαφος

Δημιουργήθηκαν κάρναβοι αντίστοιχοι της πρώτης ανάλυσης με τη διαφορά ότι εδαφική στρώση πάχους ίσου με αυτό της αντίστοιχης λεκάνης, εκτείνεται οριζοντίως έως τα όρια του καννάβου. Αντίστοιχα, σε κάθε περίπτωση, βραχώδες υπόβαθρο πάχους 450m υπόκειται της εδαφικής στρώσης. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων αυτού του συστήματος, επιλέχθηκε εδαφική στρώση μήκους 1000m. (σχήμα 3.3) Αυτός ο κάρναβος αφορά την θεωρητικώς 1Δ σεισμική απόκριση της λεκάνης υπό σεισμική διεγερση, μια απόκριση πραγματική μόνο για λεκάνη απείρου μήκους Β. Χάριν απλότητας και απαλοιφής οποιασδήποτε τεχνητής επίδρασης του καννάβου στα αποτελέσματα, για την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου – εδάφους χρησιμοποιήθηκε ίδια διακριτοποίηση σε στοιχεία με την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου – εδαφικής λεκάνης. Στο συγκεκριμένο σύστημα, καθώς δεν υπάρχει η έννοια του ανοίγματος της λεκάνης, το μέγεθος του καννάβου εξαρτάται από το πάχος Η της εδαφικής στρώσης ως εξής:  $200 \times [(450/5) + (H/2.5)]$ . Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάρναβος για μια ανάλυση με  $H = 50m$ , ο οποίος αποτελείται από  $200 \times 110$  ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.



Σχήμα 3.3: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος απειρομήκους εδάφους επί βραχώδους υπόβαθρου

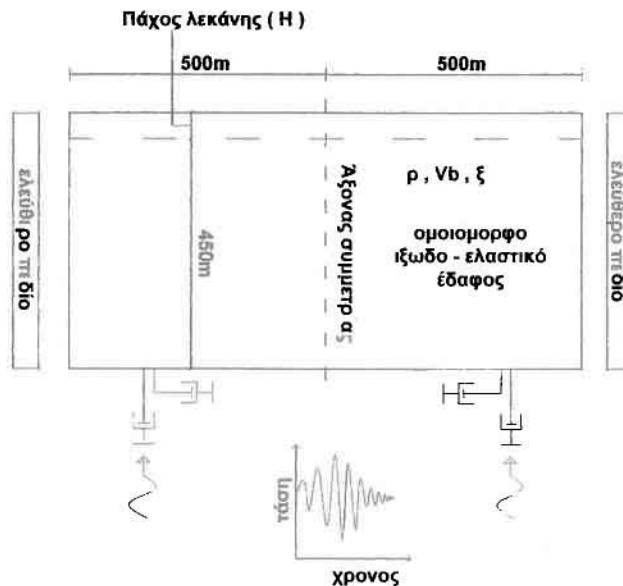


Σχήμα 3.4: Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - απειρομήκους εδάφους

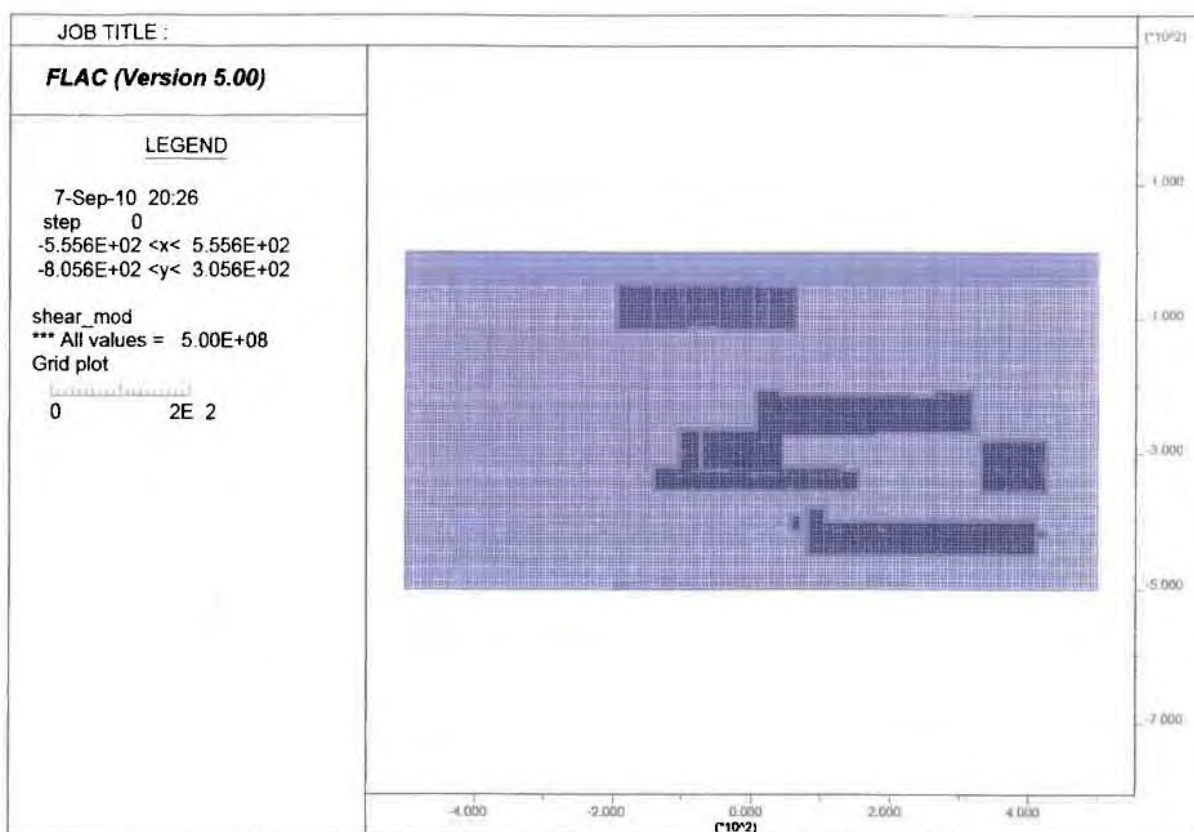


### Γ) Βραχώδες υπόβαθρο

Δημιουργήθηκαν κάρναβοι αντίστοιχοι των προηγούμενων, με τη διαφορά ότι σε όλο τον κάρναβο υπάρχει μόνο βράχος (βλέπε σχήμα 3.5). Αυτός ο κάρναβος αφορά την θεωρητικώς 1Δ σεισμική απόκριση του βραχώδους υποβάθρου, μια απόκριση πραγματική μόνο σε πολύ μεγάλη (οιωνεί άπειρη) οριζόντια απόσταση από τη λεκάνη. Χάριν απλότητας και απαλοιφής οποιασδήποτε τεχνητής επίδρασης του κάρναβου στα αποτελέσματα, για την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου χρησιμοποιήθηκε ίδια διακριτοποίηση σε στοιχεία με την ανάλυση των προηγούμενων συστημάτων. Ο κάρναβος αυτός έχει ίδιο αριθμό ζωνών με αυτόν του συστήματος βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος. Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάρναβος βράχου που αντιστοιχεί σε μια ανάλυση με πάχος λεκάνης  $H = 50\text{m}$ , ο οποίος αποτελείται από  $200 \times 110$  ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.



Σχήμα 3.5: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης βραχώδους υποβάθρου



**Σχήμα 3.6:** Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος βραχώδους υπόβαθρου

Σχετικά με τα στοιχεία των αναλύσεων της παρούσας εργασίας θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν τα κάτωθι :

- Στα πλευρικά όρια του καννάβου, χρησιμοποιήθηκαν συνοριακές συνθήκες ελεύθερου πεδίου (ff), για την αναπαράσταση της θεωρητικώς άπειρης οριζόντιας έκτασης του ημιχώρου εκτός καννάβου, ώστε να αποφευχθεί η πιθανή επίδραση των ορίων του καννάβου λόγω τεχνητών ανακλάσεων στην απόκριση της λεκάνης. Επιπλέον, το αναδυόμενο υπόβαθρο εκτείνεται κατά 500m αριστερά και δεξιά της λεκάνης, για τον ίδιο λόγο.
- Ανεξάρτητα από το πάχος της λεκάνης, το βάθος του βραχώδους υπόβαθρου κάτω από αυτήν είναι πάντα 450m, ώστε να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη ενίσχυσης στην επιφάνεια του εδάφους από όλες τις αναλύσεις.
- Οι κάρναβοι πεπερασμένων διαφορών έχουν μορφωθεί έτσι ώστε, στην επιφάνεια κάθε ομάδας αναλύσεων να υπάρχουν κόμβοι ανα 5m, για να υπάρχουν αποτελέσματα στα ίδια σημεία σε κάθε ένα από τα τρία συστήματα της εκάστοτε ομάδας.

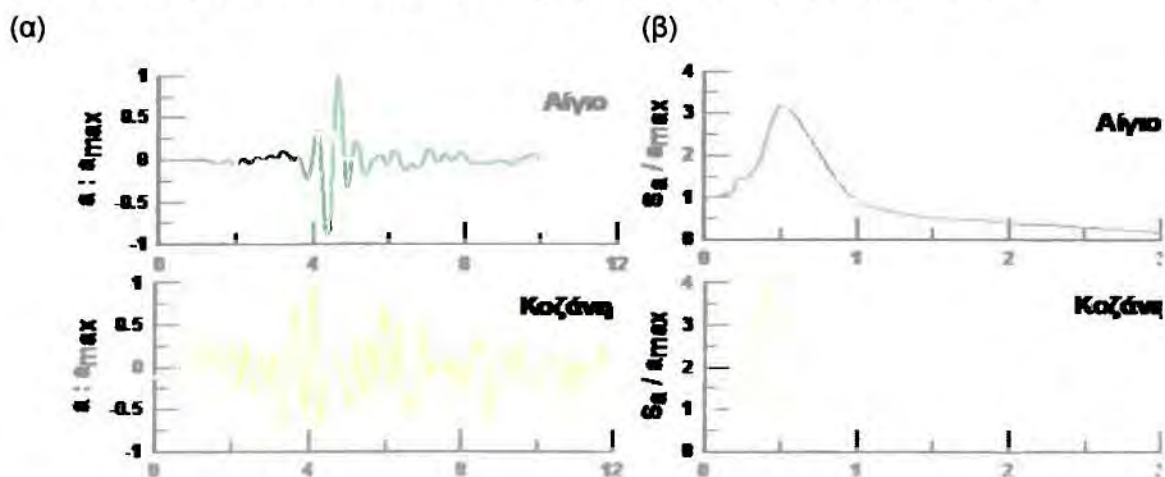
**Μηχανικά χαρακτηριστικά προσομοιώματος**

Το έδαφος και ο βράχος θεωρήθηκαν ομοιόμορφα ιξωδοελαστικά, με κοινή πυκνότητα  $\rho=2\text{Mg/m}^3$ , κοινό λόγο poisson  $\nu=1/3$  και διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε έδαφος και βράχο,  $V_s$  και  $V_b$  αντίστοιχα. Οι μηχανικές παράμετροι που εισάγονται στο μοντέλο είναι το μέτρο διάτμησης  $G$ , που υπολογίζεται ως  $G=V^2 \cdot \rho$  και το μέτρο ομοιόμορφης συμπίεσης  $K$ , που δίνεται από τον τύπο  $K = [2 \cdot G \cdot (1+\nu)] / [3 \cdot (1-2 \cdot \nu)]$ . Είναι φανερό ότι τα  $G$ ,  $K$  είναι διαφορετικά για έδαφος και βράχο, αλλά σε κάθε περίπτωση η ιδιοπερίοδος του μαλακού εδάφους δίδεται από τη γνωστή σχέση  $T_s = 4 \cdot H / V_s$ .

**Σεισμική διέγερση συστήματος**

Για την προσπάθεια εκτίμησης της επίδρασης των κύκλων φόρτισης στη γεωμορφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης, ως σεισμικές διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο πραγματικές καταγραφές, ο σεισμός του Αιγίου (1995), ο οποίος περιέχει λίγους κύκλους φόρτισης και εκείνος της Κοζάνης (1995), με πολλούς κύκλους φόρτισης. Κάθε μία από τις χρονοϊστορίες είναι διαβαθμισμένη στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος  $\lambda=V_s/f$ , μεταβάλλοντας το χρονικό βήμα ολοκλήρωσης τους, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή δεσπόζουσας συχνότητας  $f$ . Το εύρος των δεσποζουσων συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι  $f = 1$  έως  $10$  Hz με στόχο να καλυφθεί όλο το πιθανό εύρος δεσποζουσων συχνοτήτων που αναμένονται στην πράξη. Η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων ήταν χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Για κάθε διέγερση δίνεται η χρονοϊστορία ταχύτητας του υλικού σημείου ( $u'$ ). Η τάση υπολογίζεται ως εξής:

$\tau = -2 \cdot \rho \cdot \sqrt{(G_b/\rho)} \cdot u'$ . Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων.



Σχημα 3.7: Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, με δεσπόζουσα περίοδο  $T_e=0.5\text{sec}$  (α) και ελαστικά φάσματα απόκρισης (β) σεισμών Αιγίου και Κοζάνης

**Απόσβεση συστήματος**

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν ιξωδο-ελαστικές, χάριν απλότητας. Σε τέτοιου είδους αναλύσεις, η πραγματικώς υστερητική απόσβεση των γεωυλικών προσομοιώνεται μέσω της απόσβεσης Rayleigh, η οποία είναι εξαρτώμενη από την συχνότητα. Πιο συγκεκριμένα, το μητρώο απόσβεσης  $C$  της εξίσωσης κίνησης του υλικού σημείου συσχετίζεται με τα μητρώα μάζας  $M$  και δυσκαμψίας  $K$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (3.1)$$

όπου:

$$\alpha = \xi_{\min} \omega_{\min}$$

$$\beta = \zeta_{\min} / \omega_{\min}$$

Η εν λόγω συσχέτιση της τελικής τιμής της απόσβεσης  $\xi$  με την κυκλική συχνότητα  $\omega$  αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.8. Όπως προκύπτει, παρουσιάζει ελάχιστη τιμή  $\xi = \xi_{\min}$  για συχνότητα  $\omega = \omega_{\min}$  και τιμές  $\xi > \xi_{\min}$  για τιμές  $\omega$  τόσο μικρότερες όσο και μεγαλύτερες του  $\omega_{\min}$ . Έτσι, το ζητούμενο είναι η βαθμονόμηση των  $\xi_{\min}$  και  $\omega_{\min}$  ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της κάθε ανάλυσης.

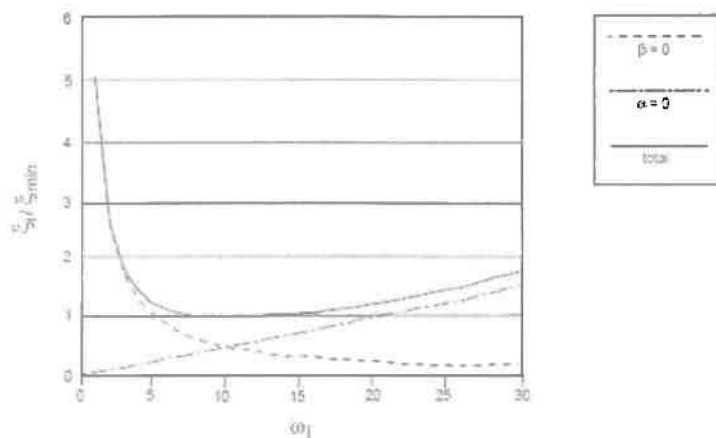
Δεδομένου ότι η εξάρτηση της απόσβεσης  $\xi$  από τη συχνότητα  $\omega$  δεν είναι μια ρεαλιστική θεώρηση για την υστερητική απόσβεση των γεωυλικών, σχετικώς ρεαλιστικές προσομοιώσεις επιτυγχάνονται με βαθμονόμηση της απόσβεσης Rayleigh ώστε να δίνει τις επιθυμητές τιμές  $\xi$  στις συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν. Στο υπό μελέτη πρόβλημα, οι συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν είναι εκείνες μεταξύ της δεσπόζουσας κυκλικής συχνότητας της διέγερσης  $\omega_e$  και της ιδιοσυχνότητας κυκλικής ταλάντωσης της εδαφικής στρώσης  $\omega_s$ , καθώς η δεσπόζουσα συχνότητα της τελικής ταλάντωσης των υλικών σημείων του εδάφους θα έχει τιμή μεταξύ των δύο αυτών ακραίων τιμών. Χάριν απλότητας, στην παρούσα εργασία η εκτίμηση του  $\omega_{\min}$  γίνεται θεωρώντας τη δεσπόζουσα περίοδο στην οποία αντιστοιχεί ίση με τη μέση τιμή μεταξύ των δύο προαναφερθέντων περιόδων ενδιαφέροντος, δηλαδή σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_{\min} = \frac{T_e + T_s}{2}$$

από όπου προκύπτει :

$$\omega_{\min} = \frac{2}{\left(\frac{1}{\omega_e} + \frac{1}{\omega_s}\right)} \quad (3.2)$$

Για την προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης σχετικά μικρής έντασης επιλέχθηκε μια σχετικά μικρή τιμή  $\xi_{\min} = 5\%$ , η οποία οδηγεί γενικώς σε σχετικά μεγάλες ενισχύσεις που δε φθίνουν γρήγορα με την απόσταση. Από εκεί και πέρα όμως, οι παραμετρικές αναλύσεις που εκτελέστηκαν διερεύνησαν και την επίδραση της τιμής του  $\xi$  στις εκτιμώμενες γεωμορφικές επιδράσεις στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους. Να σημειωθεί ότι η τιμή του  $\xi$  ελήφθη κοινή τόσο για την εδαφική απόθεση όσο και για τον βράχο, χάριν απλότητας. Το προφανές πρόβλημα ακρίβειας που αυτό δημιουργεί στις τιμές των επιταχύνσεων στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης, αναμένεται να απαλοφείται στη μελέτη της γεωμορφικής επιδείνωσης, καθώς οι ενιαίες τιμές  $\xi$  υιοθετούνται τόσο στις αναλύσεις λεκάνης, όσο και στις μονοδιάστατες αναλύσεις απειρομήκους εδάφους επί βράχου και ομοιόμορφου βράχου, που χρησιμοποιούνται για την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων για την εδαφική λεκάνη.



**Σχήμα 3.8:** Απόσβεση Rayleigh σε συνάρτηση με τη συχνότητα (ενδεικτικό γράφημα)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Επίδραση μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική κίνηση

### 4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Είναι γεγονός ότι η ύπαρξη κάποιων μέτρων μαλακού εδάφους πάνω σε βραχώδες υπόβαθρο, επιδρά στη σεισμική κίνηση του εδάφους και πολλές φορές επιφέρει ενισχυμένες τιμές αποκρίσεων στην επιφάνεια, σε σχέση με την περίπτωση που σε όλο το εδαφικό προφίλ μιας περιοχής παρατηρείται μόνο βράχος. Στην περίπτωση που η στρώση του μαλακού εδάφους είναι οριζόντια, τότε το πρόβλημα προσεγγίζεται ικανοποιητικά, με τη βοήθεια μονοδιάστατων προσομοιωμάτων ανάλυσης, προσεγγιστικά ή και αναλυτικών λύσεων για αρμονικές διεγέρσεις. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, στις οποίες η διεπιφάνεια του μαλακού εδάφους και του βράχου παύει να είναι οριζόντια και αποκτά μια κλίση, καθώς ο βράχος αναδύεται στην επιφάνεια, δημιουργώντας έτσι μια κλειστή λεκάνη εδαφικών αποθέσεων. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν ομάδες αναλύσεων, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει τρία συστήματα. (2Δ: βραχώδες υπόβαθρο – λεκάνη, 1Δ: βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος, 1Δ: βραχώδες υπόβαθρο). Οι μονοδιάστατες αναλύσεις υλοποιήθηκαν με σκοπό να απομονωθεί η ενίσχυση που οφείλεται αμιγώς στην ύπαρξη της λεκάνης και όχι στις εδαφικές συνθήκες αυτές καθ' αυτές.

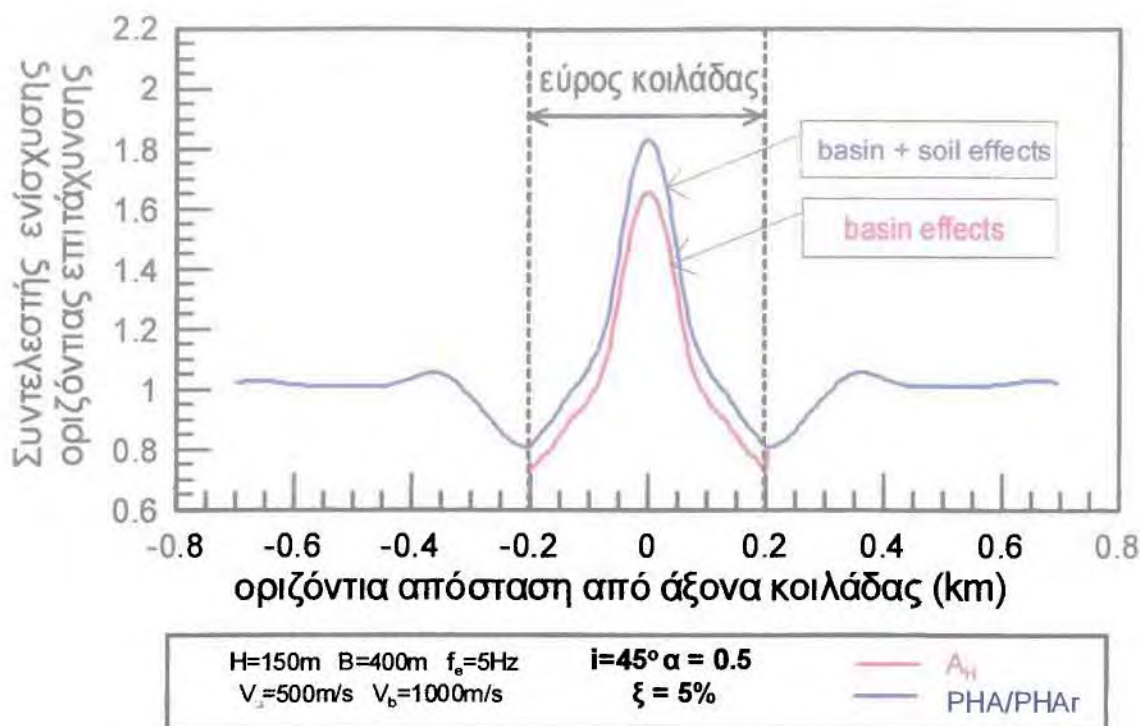
Πιο αναλυτικά, για κάθε σημείο της ελεύθερης επιφάνειας της 2Δ ανάλυσης εδαφικής λεκάνης εκτιμήθηκε η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση P<sub>HA</sub> και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση P<sub>VA</sub>. Από την 1Δ ανάλυση υποβάθρου μια ενιαία τιμή P<sub>HAr</sub> και από την 1Δ ανάλυση απειρομήκους εδάφους επί υποβάθρου η P<sub>HAs</sub>. Σε ότι αφορά την P<sub>VA</sub>, ο όρος «παρασιτική» εισάγεται, καθώς η εισερχόμενη κίνηση είναι αμιγώς οριζόντια (κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV) και οποιαδήποτε κατακόρυφη ταλάντωση οφείλεται σε διάθλαση κυμάτων στα κεκλιμένα όρια της εδαφικής λεκάνης. Συνεπώς, οι αντίστοιχες τιμές των P<sub>VAr</sub> και P<sub>VAs</sub> που προκύπτουν από τις αναλύσεις υποβάθρου και οριζοντίου εδάφους επί υποβάθρου είναι μηδενικές.

Δεδομένων των ανωτέρω μεγεθών, ορίζεται η **οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση  $A_h$**  σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (P<sub>HA</sub>) προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (P<sub>HAr</sub> ή P<sub>HAs</sub>). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως

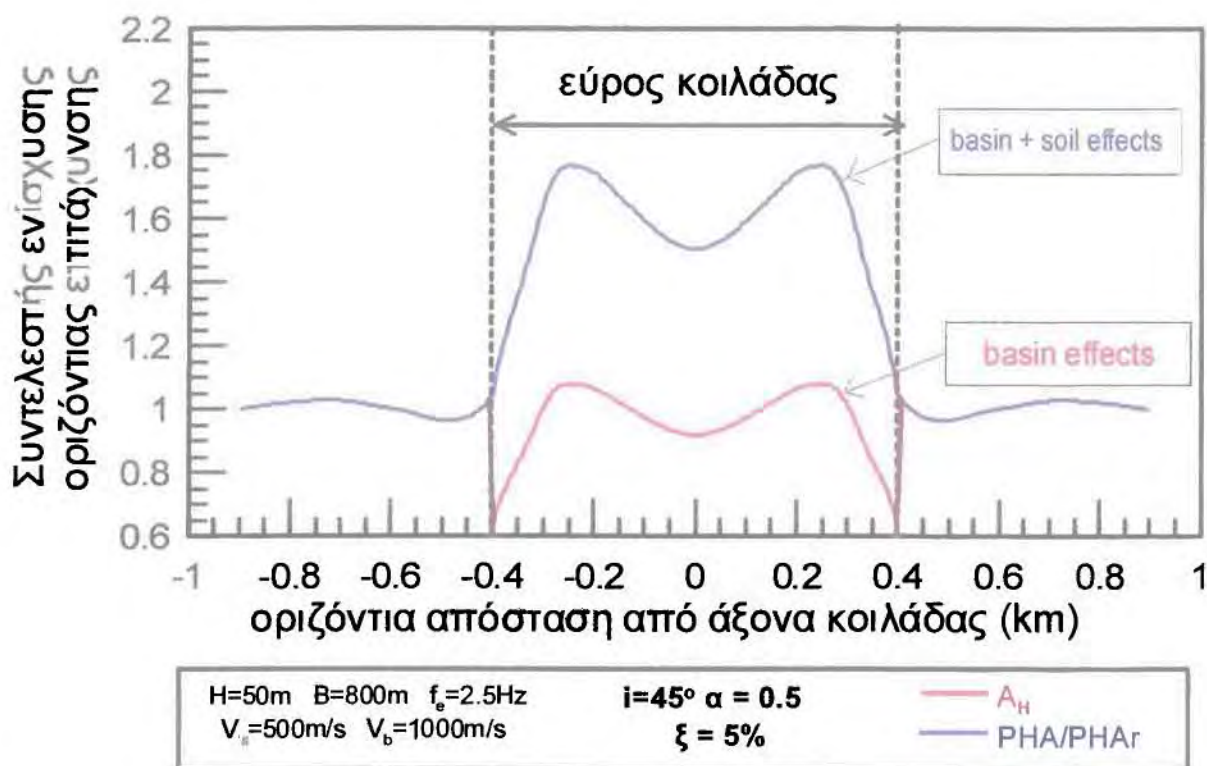
$A_h = P_{HA}/P_{HAs}$ , ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυσόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε  $A_h = P_{HA}/P_{HAr}$ .

Αντίστοιχα, ορίζεται και η **παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση  $A_v$**  σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (PVA) προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (P<sub>HAr</sub> ή P<sub>HAs</sub>). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως  $A_v = PVA/P_{HAs}$ , ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυσόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε  $A_v = PVA/P_{HAr}$ . Σημειώνεται ότι ο ορισμός της  $A_v$  ως συνάρτηση των P<sub>HAs</sub> και P<sub>HAr</sub> είναι επακόλουθο του γεγονότος ότι  $PVAs = PVA_r = 0$ , δεδομένης της κατακόρυφης πρόσπτωσης κυμάτων SV επί οριζοντίου εδάφους.

Για να γίνει κατανοητή η σημασία της γεωμορφικής ενίσχυσης που οφείλεται καθαρά στα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (basin effects), σε σχέση με την ενίσχυση που προκαλείται από την ύπαρξη μιας στρώσης μαλακού εδάφους (soil effects), παρατίθενται τα παρακάτω διαγράμματα χωρικής διαφοροποίησης των ενισχύσεων της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης, στην επιφάνεια της λεκάνης, για δύο εξόχως διαφορετικές περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, στα σχήματα 4.1 α, β αποτυπώνονται οι συνολικές ενισχύσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την επίδραση του μαλακού εδάφους και της «γεωμετρίας» μαζί, (soil & basin effects), καθώς και εκείνες όπου απομονώνονται οι ενισχύσεις που προκαλεί η παρουσία της λεκάνης και μόνο (basin effects). Παρατηρείται ότι η μια καμπύλη είναι μετατοπισμένη σε σχέση με την άλλη, κατά μήκος της εδαφικής λεκάνης και συμπίπτουν στις θέσεις του αναδυσόμενου βράχου. Δημιουργείται μάλιστα 'άλμα' στα διαγράμματα. Είναι φανερό ότι, στο Σχήμα 4.1β, οι μέγιστες οριζόντιες ενισχύσεις στην επιφάνεια οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη μαλακού εδάφους, ενώ η επίδραση της λεκάνης είναι δευτερογενούς σημασίας. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις στις οποίες η επίδραση της λεκάνης είναι σημαντική, όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στο σχήμα 4.1α .



Σχήμα 4.1 α Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου (ανάλυση #13)



Σχήμα 4.1 β Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου (ανάλυση # 15)



Δεδομένου ότι οι αναλύσεις αφορούν πραγματικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης και όχι αρμονικές διεγέρσεις, τα αποτελέσματά τους μπορούν να οδηγήσουν και σε μελέτη της επίδρασης της μορφολογίας υποβάθρου (γεωμορφική επίδραση) σε ολόκληρο το ελαστικό φάσμα απόκρισης. Παρόλα αυτά, στην παρούσα εργασία η έμφαση δόθηκε στη μελέτη της γεωμορφικής επίδρασης στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους και μόνο (PHA και PVA), χάριν απλότητας.

Πραγματοποιήθηκαν 28 «ομάδες» αναλύσεων, τα χαρακτηριστικά των οποίων εκτιμήθηκαν με βάση τη βιβλιογραφία, για να διερευνηθούν πλήρως οι επιδράσεις των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος. Αρωγός στην προσπάθεια αυτή αποτέλεσε η εργασία του Γριντάκη (2009) στο Π.Θ. Παρακάτω παρατίθεται η πλήρης λίστα των χαρακτηριστικών αυτών των αναλύσεων (Πίνακας 4.1). Σημειώνεται ότι στον πίνακα αυτό,  $H$  και  $B$  είναι το πάχος και το πλάτος της 2D τραπεζοειδούς λεκάνης, ενώ  $i$  είναι η κλίση των μη-παράλληλων πλευρών της. Επιπλέον,  $V_s$  είναι η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στο ομοιόμορφο έδαφος, ενώ  $V_b$  είναι η αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στον ομοιόμορφο βράχο (υπόβαθρο). Τέλος, απόσβεση  $\xi$  είναι η τιμή της  $\xi_{min}$  που επελέγη για τη δεσπόζουσα περίοδο ταλάντωσης της εδαφικής λεκάνης (βλέπε Σχήμα 3.8), ενώ  $T_e$  είναι η δεσπόζουσα περίοδος της εισερχόμενης διέγερσης από το υπόβαθρο. Αντίστοιχα με τα ανωτέρω, μπορεί να ορισθεί και το δεσπόζον μήκος κύματος στο έδαφος  $\lambda = V_s * T_e$ , αλλά και το δεσπόζον μήκος κύματος στο βράχο  $\lambda_b = V_b * T_e$ .

Για την επιλογή των παραμέτρων στις προαναφερθείσες αναλύσεις γίνονται οι παρακάτω παρατηρήσεις:

- Για λόγους ευκολίας στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, όπως ήδη αναφέρθηκε, η πυκνότητα του εδάφους  $\rho_s$  και του βραχώδους υποβάθρου  $\rho_b$  ελήφθη ίση με  $2\text{Mg/m}^3$ , ούτως ώστε ο λόγος εμπέδησης  $a=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)$  να εξαρτάται μόνο από το λόγο των ταχυτήτων διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στο βράχο και στο έδαφος. Με βάση αυτό, οι τιμές για τις ταχύτητες διάδοσης  $V_s$  και  $V_b$  έχουν επιλεγεί έτσι ώστε ο λόγος εμπέδησης  $a$  να παίρνει τιμές 0.75, 0.50, 0.25 και 0.10 για τις διάφορες περιπτώσεις αναλύσεων.
- Οι τιμές των κλίσεων των μη-παραλλήλων πλευρών της λεκάνης επιλέγησαν να κυμαίνονται από  $i=15^\circ$  έως  $90^\circ$
- Η βασική διατομή η οποία μελετήθηκε είναι η τραπεζοειδής. Για κάποιες τιμές των γεωμετρικών παραμέτρων ( $i=45^\circ$  και  $B/H=2$ ), η τραπεζοειδής διατομή εκφυλίζεται σε τριγωνική.
- Η διακύμανση της  $T_e = 0.1 - 1.0\text{sec}$  επελέγη ώστε να καλύψει όλα τα πιθανά εύρη δεσπόζουσων περιόδων σεισμικής κίνησης που αναμένονται στην πράξη.

## 4.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ

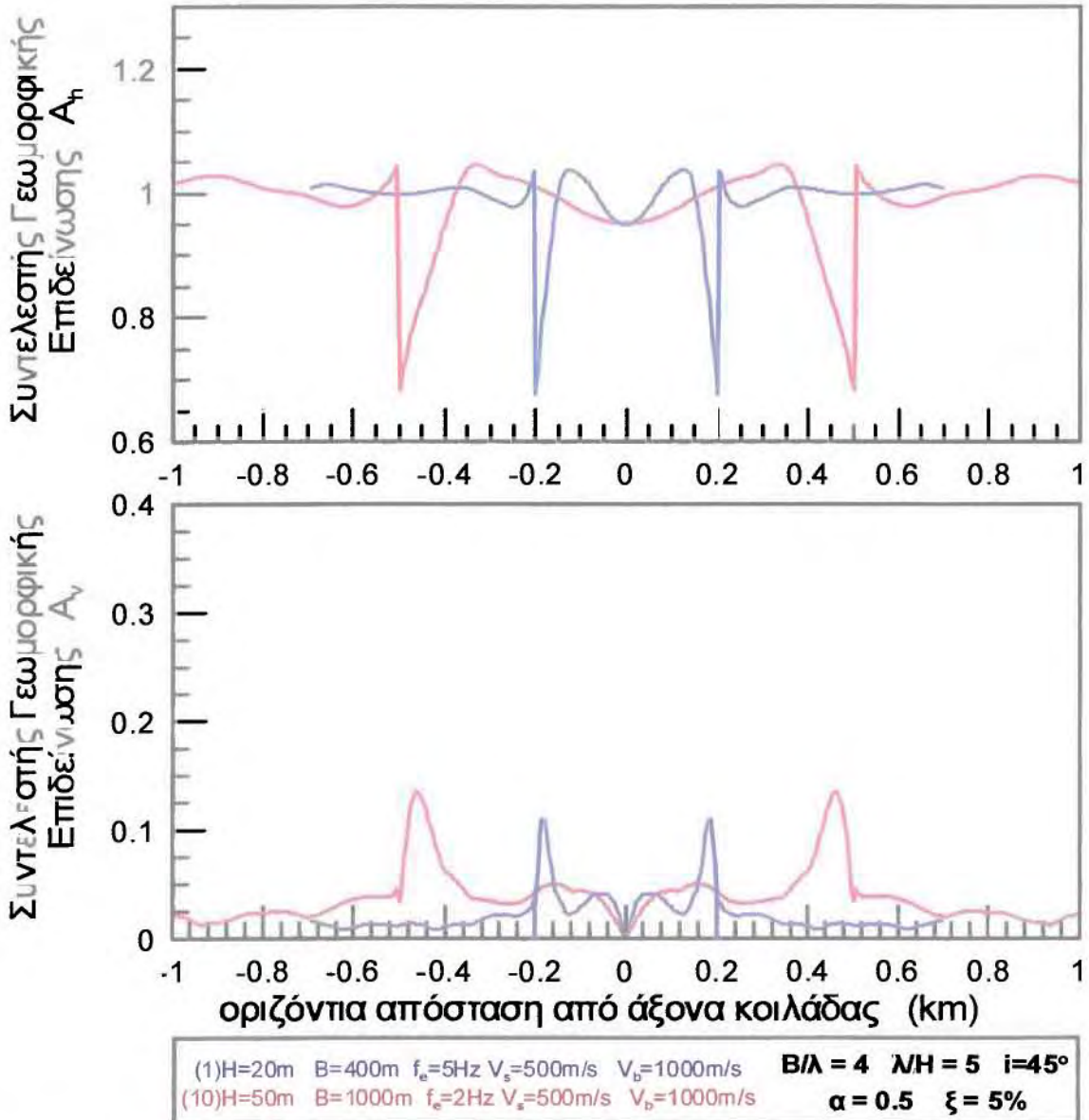
### 4.2.1. Επίδραση πάχους $H$ και πλάτους $B$ λεκάνης

Για τη διερεύνηση της επίδρασης του πάχους  $H$  και του πλάτους  $B$  της λεκάνης στις γεωμορφικές επιδράσεις  $A_h$  και  $A_v$  επιλέγονται προς παρουσίαση τα αποτελέσματα των αναλύσεων #1 και #10, τόσο για το σεισμό του Αιγίου, όσο και για εκείνον της Κοζάνης. Στις αναλύσεις αυτές, οι τιμές των παραμέτρων  $V_s$ ,  $V_b$ ,  $i$ ,  $\xi$  είναι ίδιες, ενώ αυτό που διαφέρει είναι το πάχος  $H$ , το πλάτος  $B$  και η δεσπόζουσα περίοδος της διεγερσης  $T_e$ . Έτσι, στα Σχήματα 4.2 α, β παρουσιάζεται η διαφοροποίηση των  $A_h$  και  $A_v$  ως συνάρτηση της οριζόντιας απόστασης  $x$  από τον άξονα συμμετρίας της εκάστοτε λεκάνης, με βάση τα αποτελέσματα από τις 2 αναλύσεις. Όπως αναμενόταν, οι δύο περιπτώσεις οδηγούν σε διαφορετικές γεωμορφικές ενισχύσεις για τις ίδιες οριζόντιες αποστάσεις  $x$  από τον άξονα συμμετρίας της κοιλάδας. Στη συνέχεια, στα Σχήματα 4.3 α, β και 4.4 α, β παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα γεωμορφικής ενίσχυσης ως συνάρτηση της οριζόντιας απόστασης  $x$ , αδιαστατοποιημένης ως προς το πλάτος  $B$  και το δεσπόζον μήκος κύματος  $\lambda$ , αντίστοιχα.

Εδώ παρατηρείται ότι, η αδιαστατοποίηση της οριζόντιας απόστασης  $x$  ως προς  $B$  και  $\lambda$ , οδηγεί σε ουσιαστική ταύτιση των τιμών του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης ( $A_h$ ) για τις δύο περιπτώσεις εντελώς διαφορετικών αναλύσεων. Σε ότι αφορά το συντελεστή

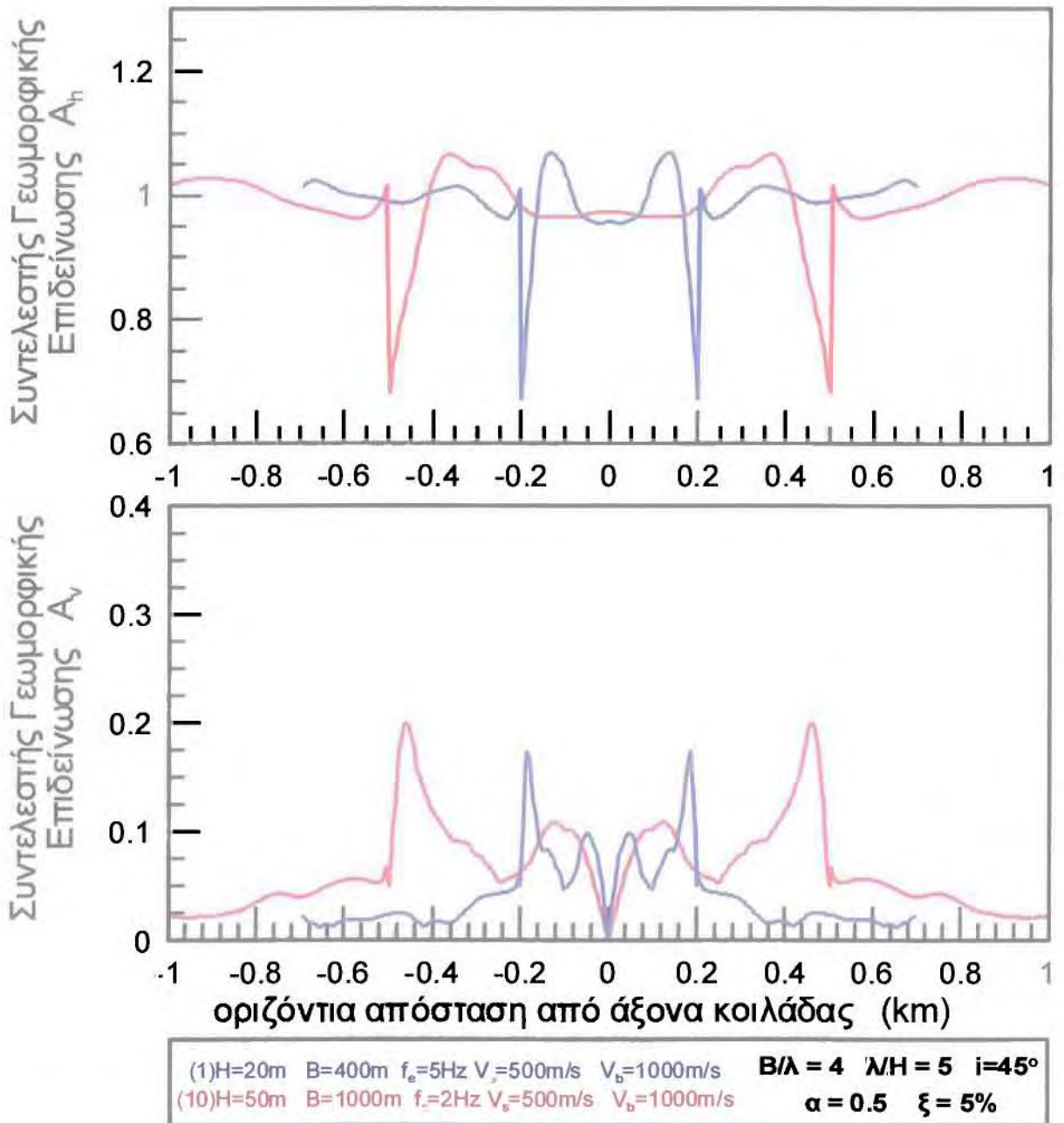
παρασιτικής κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης ( $A_v$ ), παρουσιάζονται μικροαποκλίσεις που πρακτικά θεωρούνται αμελητέες, δεδομένου ότι η διακριτοποίηση του καννάβου έγινε σε όρους ίδιας οριζόντιας διάστασης στοιχείων  $\Delta x=5m$  και όχι σε όρους ίδιας αδιαστατοποιημένης διάστασης  $\Delta x/B$  ή  $\Delta x/\lambda$ . Αυτή η όμοια συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο περιπτώσεις των συγκεκριμένων αναλύσεων έχουν ίδιες τιμές λόγων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ , με κοινές παραμέτρους  $i$ ,  $\xi$ ,  $V_s$ ,  $V_b$ , παρά το γεγονός ότι τα πρωτογενή χαρακτηριστικά των λόγων ( $B, H, T_e$ ) είναι διαφορετικά. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι οι τιμές των αδιάστατων λόγων  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$  είναι καθοριστικές παράμετροι για την εκτίμηση της γεωμορφικής ενίσχυσης 2D λεκανών τραπεζοειδούς διατομής. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από παλαιότερη μελέτη, στην οποία η διέγερση ήταν ο απλός παλμός Ricker. (Γριντάκης 2009)

## Σεισμός Αιγίου



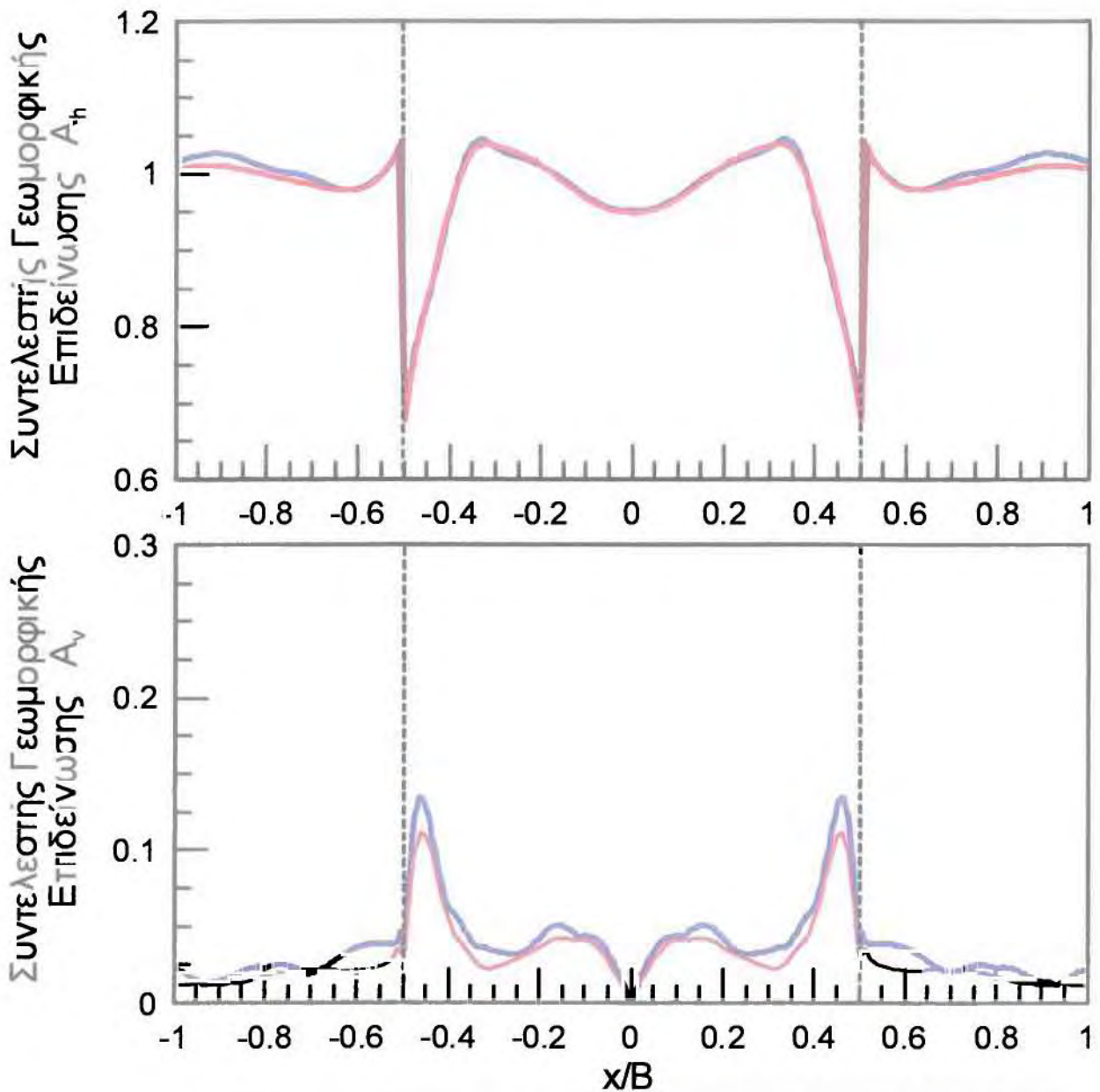
Σχήμα 4.2 α Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διεγέρση του Αιγίου

## Σεισμός Κοζάνης



Σχήμα 4.2 β Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διεγέρση της Κοζάνης

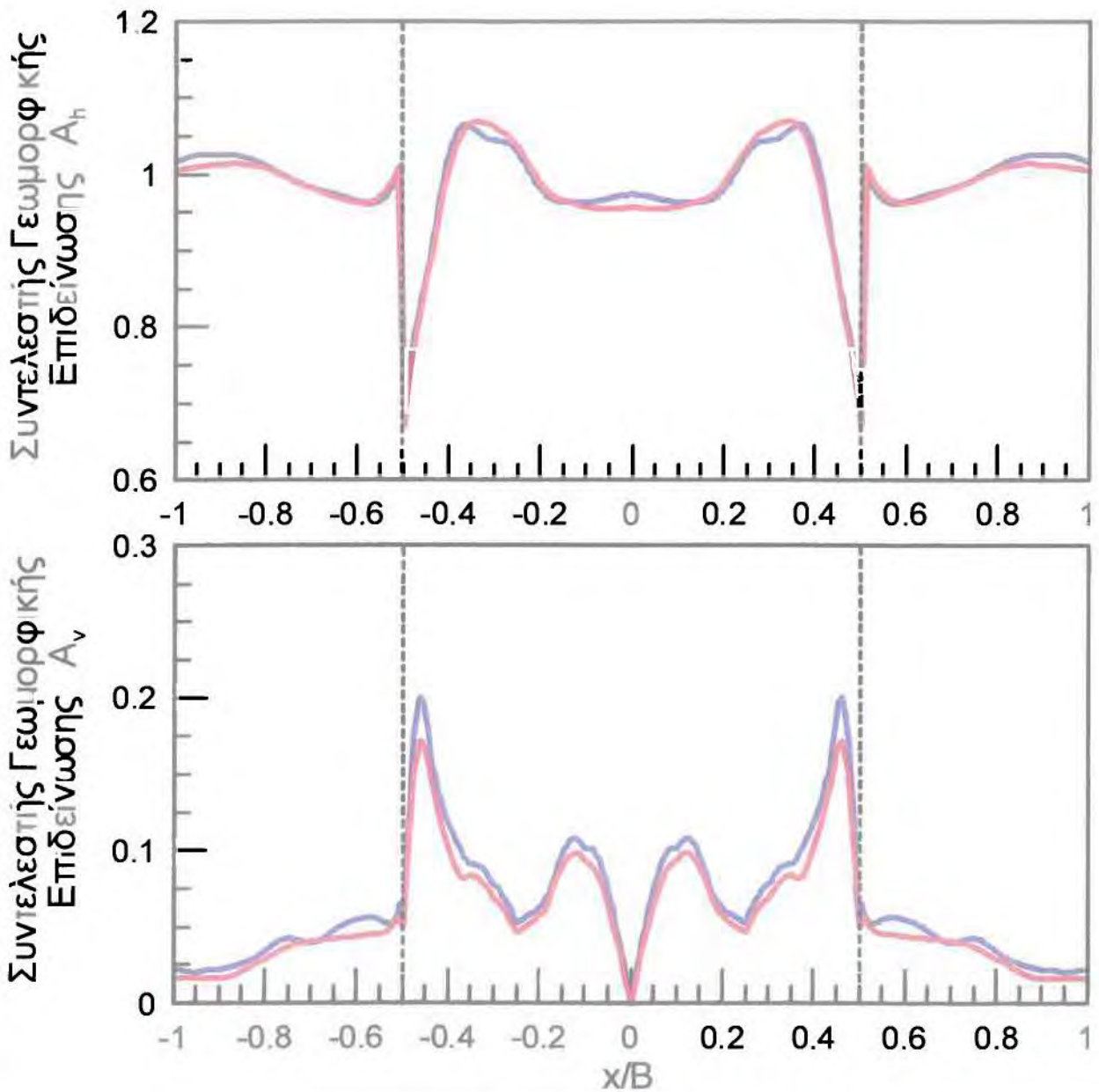
## Σεισμός Αιγίου



$\lambda/H = 5$	$B/\lambda = 4$	(10) $T_e = 0.5 \text{ sec}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$	$V_b = 1000 \text{ m/s}$
$\alpha = 0.5$	$i = 45^\circ$	$\xi = 5\%$	$B = 1000 \text{ m}$	$H = 50 \text{ m}$
		(1) $T_e = 0.2 \text{ sec}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$	$V_b = 1000 \text{ m/s}$
			$B = 400 \text{ m}$	$H = 20 \text{ m}$

Σχήμα 4.3 α: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου

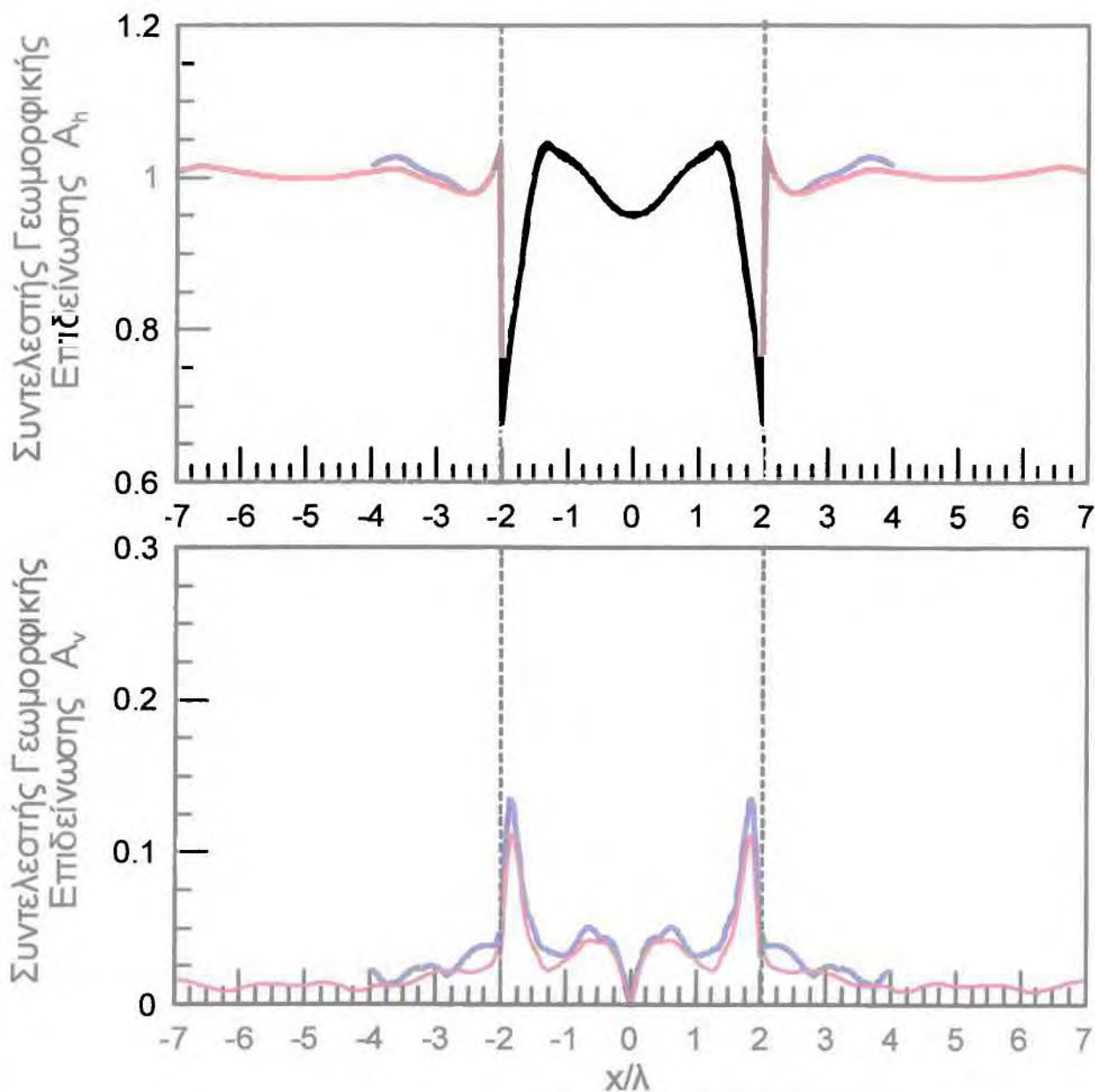
## Σεισμός Κοζάνης



$\lambda H = 5 \quad B/\lambda = 4$ $\alpha = 0.5 \quad i = 45^\circ \quad \xi = 5\%$	(10) $T_e = 0.5 \text{ sec} \quad V_s = 500 \text{ m/s} \quad V_b = 1000 \text{ m/s}$ $B = 1000 \text{ m} \quad H = 50 \text{ m}$
	(1) $T_e = 0.2 \text{ sec} \quad V_s = 500 \text{ m/s} \quad V_b = 1000 \text{ m/s}$ $B = 400 \text{ m} \quad H = 20 \text{ m}$

Σχήμα 4.3 β: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγέρση της Κοζάνης

## Σεισμός Αιγίου

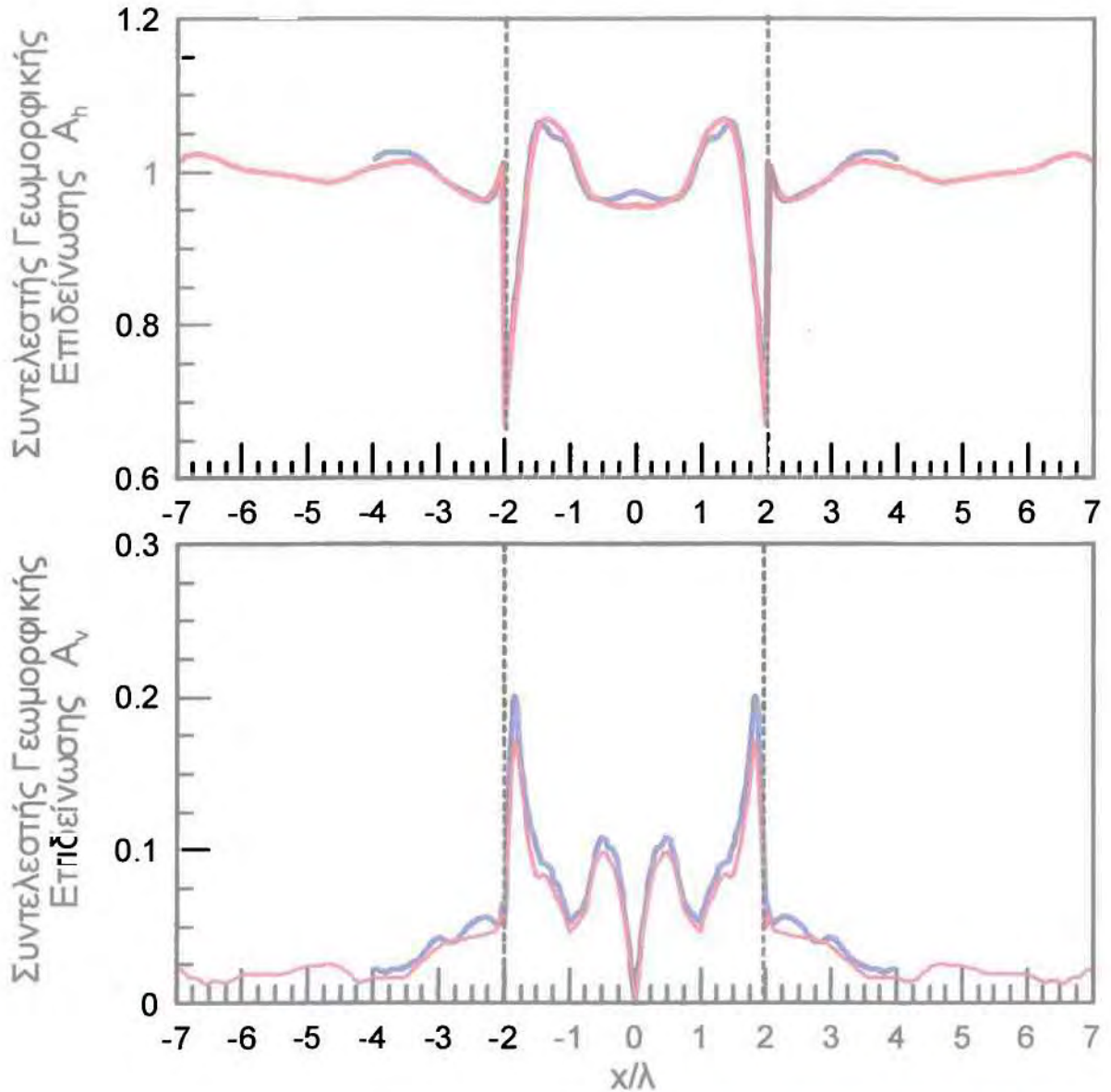


$\lambda/H = 5$	$B/\lambda = 4$	(10) $T_e = 0.5 \text{ sec}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$	$V_b = 1000 \text{ m/s}$
			$B = 1000 \text{ m}$	$H = 50 \text{ m}$
$\alpha = 0.5$	$i = 45^\circ$	$\xi = 5\%$	(1) $T_e = 0.2 \text{ sec}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$
				$V_b = 1000 \text{ m/s}$
				$B = 400 \text{ m}$
				$H = 20 \text{ m}$

**Σχήμα 4.4 α:** Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου



## Σεισμός Κοζάνης



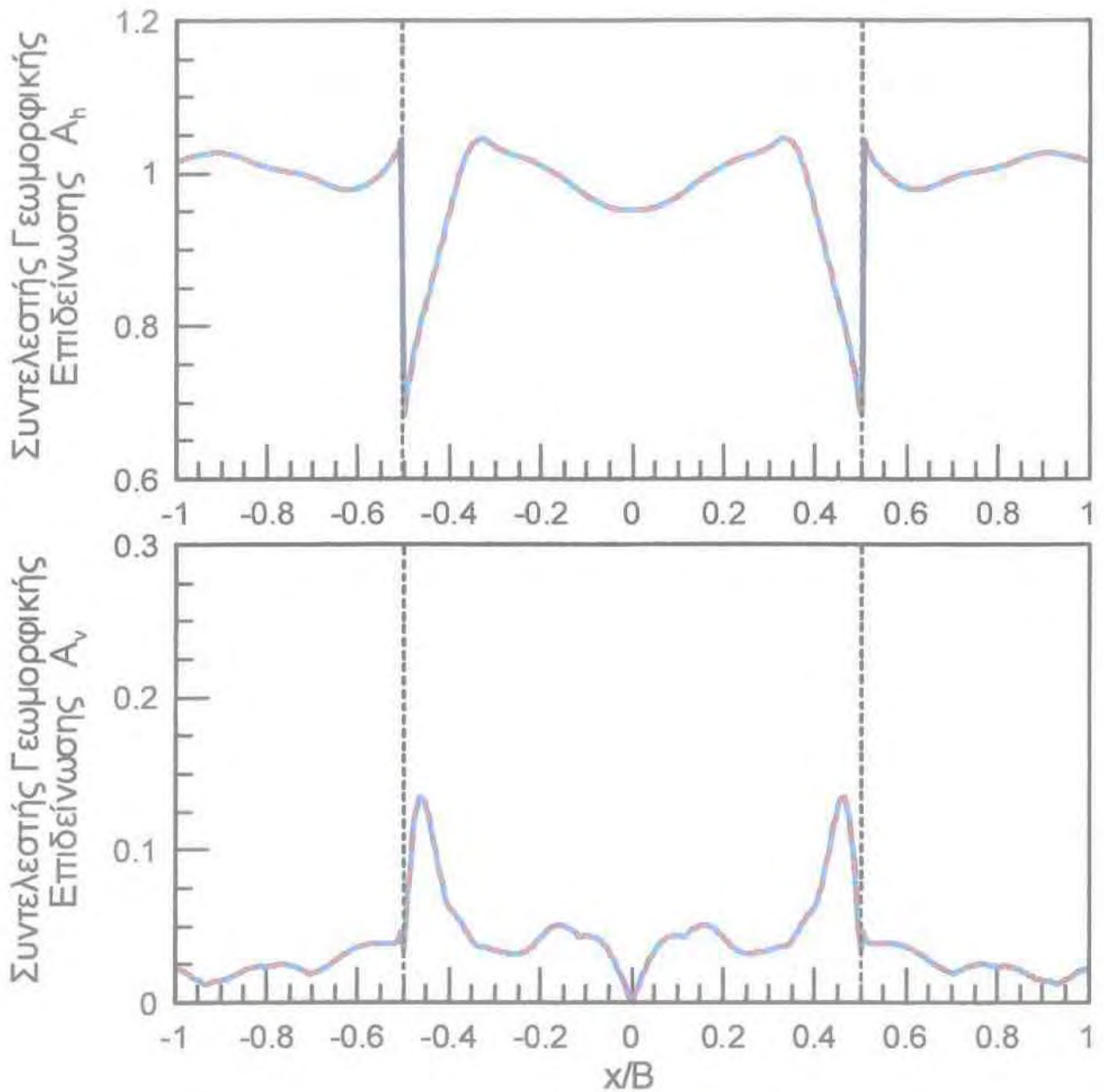
$\lambda/H = 5$ $B/\lambda = 4$ $\alpha = 0.5$ $i=45^\circ$ $\xi = 5\%$	(10) $T_e=0.5$ sec $V_s=500$ m/s $V_b=1000$ m/s $B=1000$ m $H=50$ m
	(1) $T_e=0.2$ sec $V_s=500$ m/s $V_b=1000$ m/s $B=400$ m $H=20$ m

Σχήμα 4.4 β: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #1 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσποζόν μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

#### **4.2.2. Επίδραση της δυσκαμψίας εδάφους Vs και υποβάθρου Vb**

Στην παράγραφο αυτή διερευνάται η σημαντικότητα της δυσκαμψίας του εδάφους Vs και του υποβάθρου Vb. Για το σκοπό αυτό συγκρίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων #3 και #10 που αφορούν εδαφικές λεκάνες που έχουν ίδιες τιμές των  $l/H$  και  $B/l$ , ίδια κλίση πρηνών  $i$ , ίδια απόσβεση  $\xi$ , αλλά διαφορετικές τιμές των Vs και Vb. Οι γεωμορφικές ενισχύσεις παρουσιάζονται μόνο συναρτήσει της αδιάστατης απόστασης  $x/B$  και  $x/l$  για λόγους που αναπτύχθηκαν ανωτέρω. Στα σχήματα 4.5 α, β και 4.6 α, β παρατηρείται απόλυτη ταύτιση των τιμών των δύο αναλύσεων, τόσο για το συντελεστή  $A_h$ , όσο και για το συντελεστή  $A_v$  και για τις δύο διεγέρσεις. Συνεπάγεται ότι, η απόκριση της λεκάνης σε ότι αφορά τη γεωμορφική επιδείνωση, δεν καθορίζεται από τις μεμονωμένες τιμές των ταχυτήτων Vs ή Vb, αλλά από τη σχετική τιμή αυτών, η οποία είναι ίση με 0.5 και στις δύο περιπτώσεις λεκανών. Πιο συγκεκριμένα αποδεικνύεται ότι μία ακόμα καθοριστική παράμετρος της γεωμορφικής ενίσχυσης είναι ο λόγος εμπέδησης  $a=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)$ , ο οποίος στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας ισούται απλουστευτικά με  $a=V_s/V_b$ , καθώς  $\rho_s = \rho_b = 2\text{Mg/m}^3$

## Σεισμός Αιγίου



$$NH = 5 \quad i=45^\circ \quad B/\lambda=4$$

$$\alpha = 0.5 \quad \xi = 5\%$$

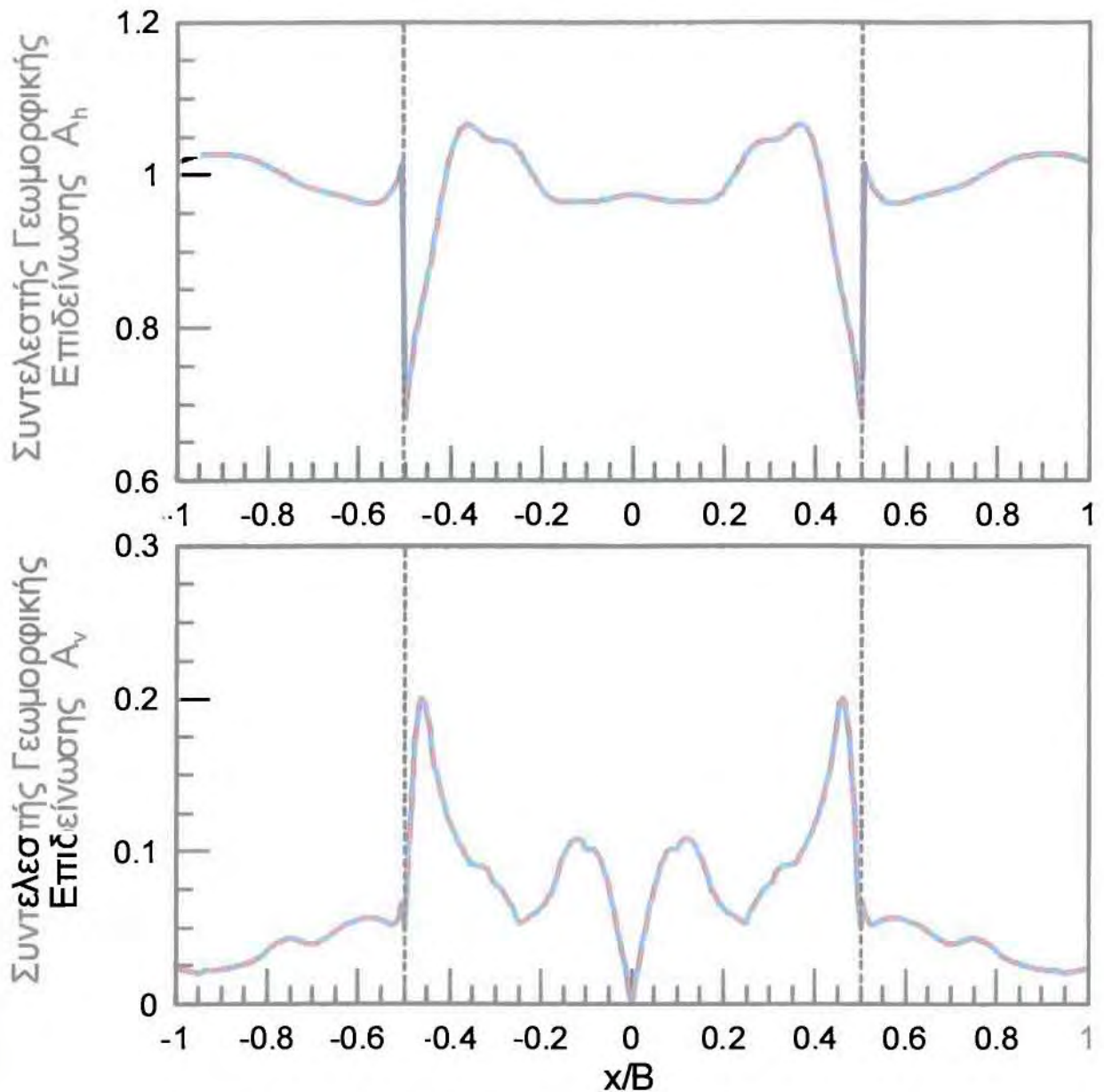
$$B=1000\text{m} \quad H=50\text{m}$$

$$(3) T_e=1 \text{ sec} \quad V_s=250\text{m/s} \quad V_b=500\text{m/s}$$

$$(10) T_e=0.5\text{sec} \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s}$$

Σχήμα 4.5 α: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #3 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της λεκάνης αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου

## Σεισμός Κοζάνης



$$\lambda/H = 5 \quad i=45^\circ \quad B/\lambda=4$$

$$\alpha = 0.5 \quad \xi = 5\%$$

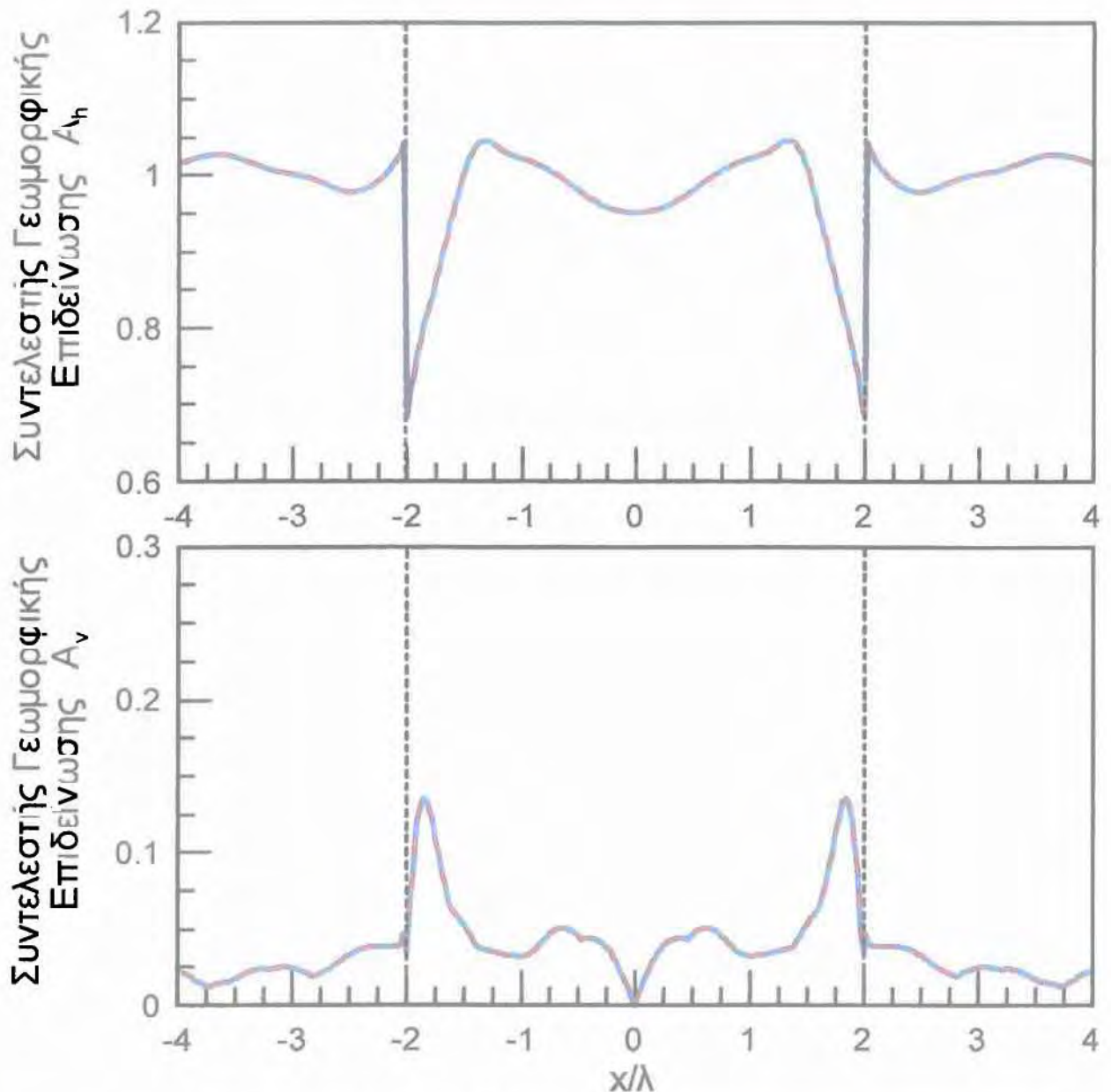
$$B=1000\text{m} \quad H=50\text{m}$$

$$(3) T_e=1 \text{ sec} \quad V_s=250\text{m/s} \quad V_b=500\text{m/s}$$

$$(10) T_e=0.5\text{sec} \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s}$$

Σχήμα 4.5 β: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #3 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της λεκάνης αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγερση της Κοζάνης.

## Σεισμός Αιγίου



$$\lambda/H = 5 \quad i=45^\circ \quad B/\lambda=4$$

$$\alpha = 0.5 \quad \xi = 5\%$$

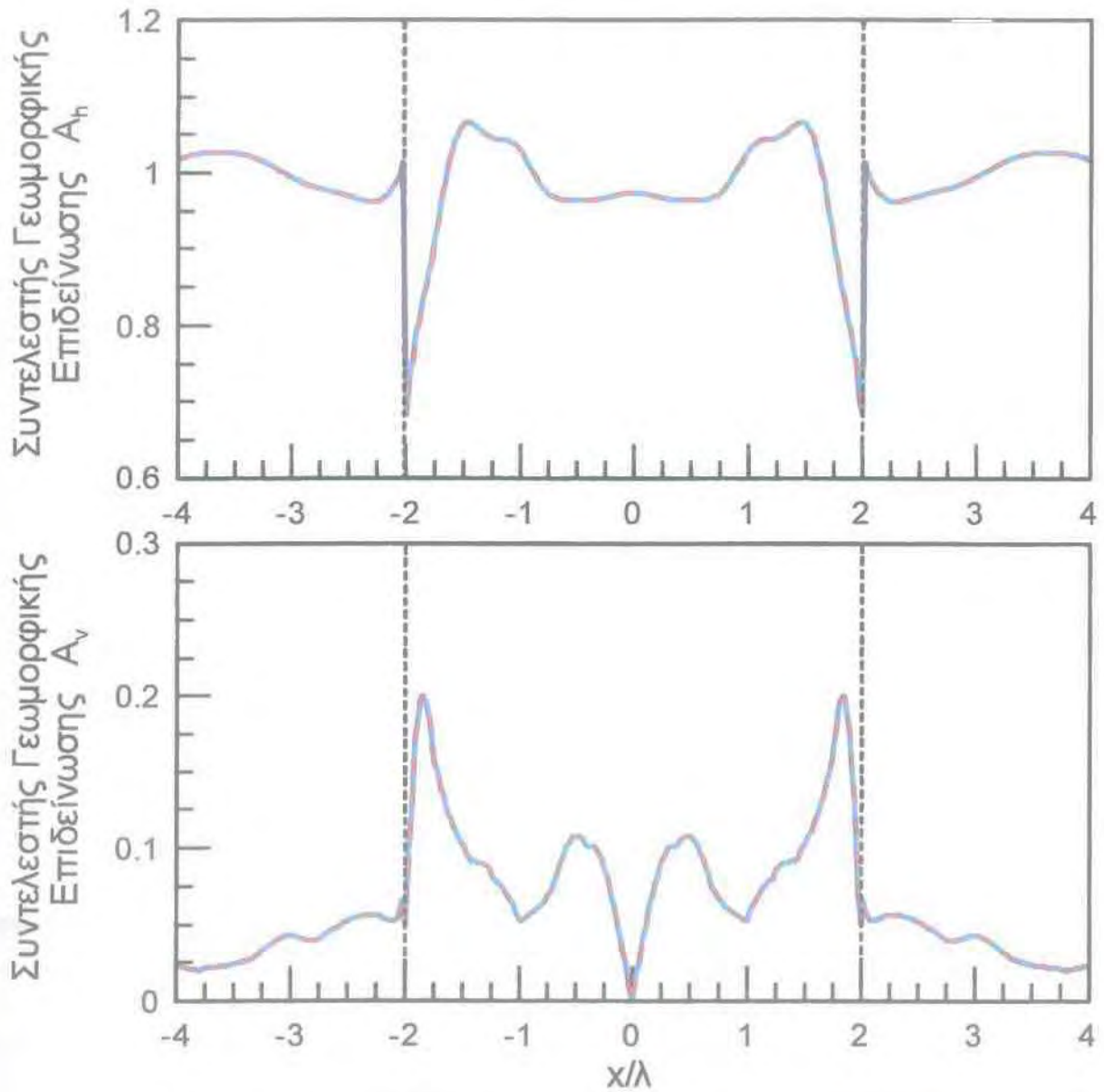
$$B=1000\text{m} \quad H=50\text{m}$$

$$(3) \quad T_e=1 \text{ sec} \quad V_s=250\text{m/s} \quad V_b=500\text{m/s}$$

$$(10) \quad T_e=0.5\text{sec} \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s}$$

Σχήμα 4.6 α: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #3 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της λεκάνης αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διαμηθικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διεγέρση του Αιγίου

## Σεισμός Κοζάνης



$$\lambda/H = 5 \quad i=45^\circ \quad B/\lambda=4$$

$$\alpha = 0.5 \quad \xi = 5\%$$

$$B=1000\text{m} \quad H=50\text{m}$$

$$(3) T_e=1 \text{ sec} \quad V_s=250\text{m/s} \quad V_b=500\text{m/s}$$

$$(10) T_e=0.5\text{sec} \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s}$$

Σχήμα 4.6 β: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #3 και #10, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της λεκάνης αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

### 4.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Με βάση όσα παρουσιάζονται στην παράγραφο 4.2 αποδείχτηκε ότι, βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τη γεωμορφική ενίσχυση αποτελούν οι αδιάστατοι λόγοι  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$  και  $a$ , η επίδραση των οποίων θα μελετηθεί παρακάτω. Επιπλέον, θα μελετηθεί η επίδραση της κλίσης των πρανών του υποβάθρου,  $i$  και της απόσβεσης των γεωυλικών,  $\xi$ . Για να εξετασθεί πως επηρεάζει η κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους τη γεωμορφική επιδείνωση, οι τιμές της υπό μελέτης παραμέτρου διαφοροποιούνται, ενώ διατηρούνται σταθερές οι τιμές όλων των υπολοίπων. Στα διαγράμματα επίδρασης κάθε παραμέτρου γίνονται σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με τη μορφή της χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών  $A_h$ ,  $A_v$ , τη μέγιστη τιμή τους και τη θέση όπου εμφανίζονται αυτές, σε σχέση με το εύρος της λεκάνης,  $B$  και το δεσπόζον μήκος κύματος εντός αυτής,  $\lambda$ . Στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των πέντε παραμέτρων για καθεμιά από τις 28 αναλύσεις, υπενθυμίζοντας ότι για κάθε μια από τις κατωτέρω περιπτώσεις λεκάνης, έγιναν δύο αναλύσεις, με διεγέρσεις Αίγιο και Κοζάνη.

#	$B/\lambda$	$\lambda/H$	$i(o)$	$\xi(\%)$	$a$
1	4	5	45	5	0.50
2	9	5.555556	45	5	0.50
3	4	5	45	5	0.50
4	4	5	45	5	0.25
5	4	5	45	5	0.75
6	20	1	45	5	0.50
7	1	2	45	5	0.50
8	1	5	45	5	0.50
9	2	5	45	5	0.50
10	4	5	45	5	0.50
11	1	10	45	5	0.50
12	4	5	45	5	0.10
13	4	0.666667	45	5	0.50
14	4	1	45	5	0.50
15	4	4	45	5	0.50
16	4	5	30	5	0.50
17	4	5	60	5	0.50
18	4	5	90	5	0.50
19	4	5	45	10	0.50
20	4	5	45	1	0.50
21	4	5	45	20	0.50
22	4	12.5	45	5	0.50
23	4	5	15	5	0.50
24	10	5	45	5	0.50
25	0.5	5	45	5	0.50
26	2	1	45	5	0.50
27	4	2	45	5	0.50
28	10	1	45	5	0.50

**Πίνακας 4.2:** πίνακας τιμών χαρακτηριστικών παραμέτρων αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας (βλέπε και Πίνακα 4.1).

#### **4.3.1. Επίδραση αδιάστατου πάχους λεκάνης $L/H$**

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, για τη διερεύνηση της επίδρασης του αδιάστατου λόγου  $L/H$  στη γεωμορφική ενίσχυση εκτελέστηκαν δύο σειρές παραμετρικών αναλύσεων για δύο διαφορετικές τιμές του αδιάστατου εύρους της λεκάνης,  $B/\lambda$ . Πιο αναλυτικά, για  $B/\lambda=1$  χρησιμοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις με διαφορετικούς λόγους  $L/H$ , αλλά ίδιες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων  $\eta$ ,  $\xi$  και  $a$ , ενώ αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε σε έξι άλλες αναλύσεις με λόγο  $B/\lambda=4$ .

Η σύγκριση γίνεται στα Σχήματα 4.7 έως 4.14, και η γεωμορφική ενίσχυση σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης  $x$ , αδιαστατοποιημένης ως προς  $B$  και  $\lambda$ , αντίστοιχα. Όπως προκύπτει, η επίδραση του λόγου  $L/H$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις είναι σημαντική.

Πιο συγκεκριμένα, σε ότι αφορά το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_{h1}$ , και για τις δύο διεγέρσεις, γενικώς, παρατηρούνται τα εξής :

- Όσο μειώνεται η τιμή αδιάστατου πάχους  $L/H$  τόσο υπάρχει η τάση να αυξάνεται η μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_{hmax}$ , και για τις δύο περιπτώσεις του αδιάστατου εύρους της λεκάνης  $B/\lambda$ . Αξίζει να σημειωθεί ότι και για τις δύο περιπτώσεις του λόγου  $B/\lambda$ , για αρκετά μεγάλες τιμές του λόγου  $L/H$  ( $L/H=10, 12.5$ ), οι ενισχύσεις γίνονται αμελητέες και κατ' ουσίαν πρόκειται για μονοδιάστατη απόκριση. Αρκετά μικρή επιδείνωση παρατηρείται σε αβαθείς κοιλάδες με μικρό πάχος, το οποίο αυξάνει το λόγο  $L/H$ . Από την άλλη μεριά, για μικρές τιμές του λόγου  $L/H$  ( $L/H=2, 1, 0.667$ ) οι ενισχύσεις αυξάνονται σημαντικά. Σε ότι αφορά τους ενδιάμεσους λόγους  $L/H$ , οι τιμές 4 και 5 αποτελούν ένα όριο στο οποίο αρχίζει να εμφανίζεται αξιοσημείωτη επίδραση της διδιάστατης συμπεριφοράς και στις δύο περιπτώσεις λόγων  $B/\lambda$ .
- Η χωρική διαφοροποίηση επηρεάζεται αρκετά, καθώς μεταβάλλεται το αδιάστατο πάχος της λεκάνης,  $L/H$ . Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ομαλή μετάβαση της θέσης όπου συμβαίνει η μέγιστη ενίσχυση από το κέντρο της λεκάνης προς τα άκρα της, καθώς η τιμή του λόγου  $L/H$  αυξάνεται. Η τάση αυτή είναι πιο εμφανής στο διάγραμμα για  $B/\lambda=4$ . (Σχήματα 4.9 και 4.10) Στο ίδιο διάγραμμα, αξιοσημείωτη είναι η ανάλυση #27 με  $L/H=2$ , η οποία αποτελεί ένα όριο μεταβολής της μορφής της χωρικής διαφοροποίησης. Είναι σαφές ότι, η τροποποίηση της μορφής της καμπύλης και τα όρια μεταβολής της συμπεριφοράς της, εξαρτώνται από τη τιμή του αδιάστατου εύρους της λεκάνης,  $B/\lambda$ . Για παράδειγμα, στο διάγραμμα με λόγο  $B/\lambda=1$  (και χαρακτηριστικά στο σεισμό του Αιγίου), μια περίπτωση μετάβασης θα μπορούσε να είναι η ανάλυση #11 με  $L/H=10$ . Δηλαδή, καθώς ο λόγος  $B/\lambda$  μειώθηκε από το 4 στο 1, χρειάστηκε ένας

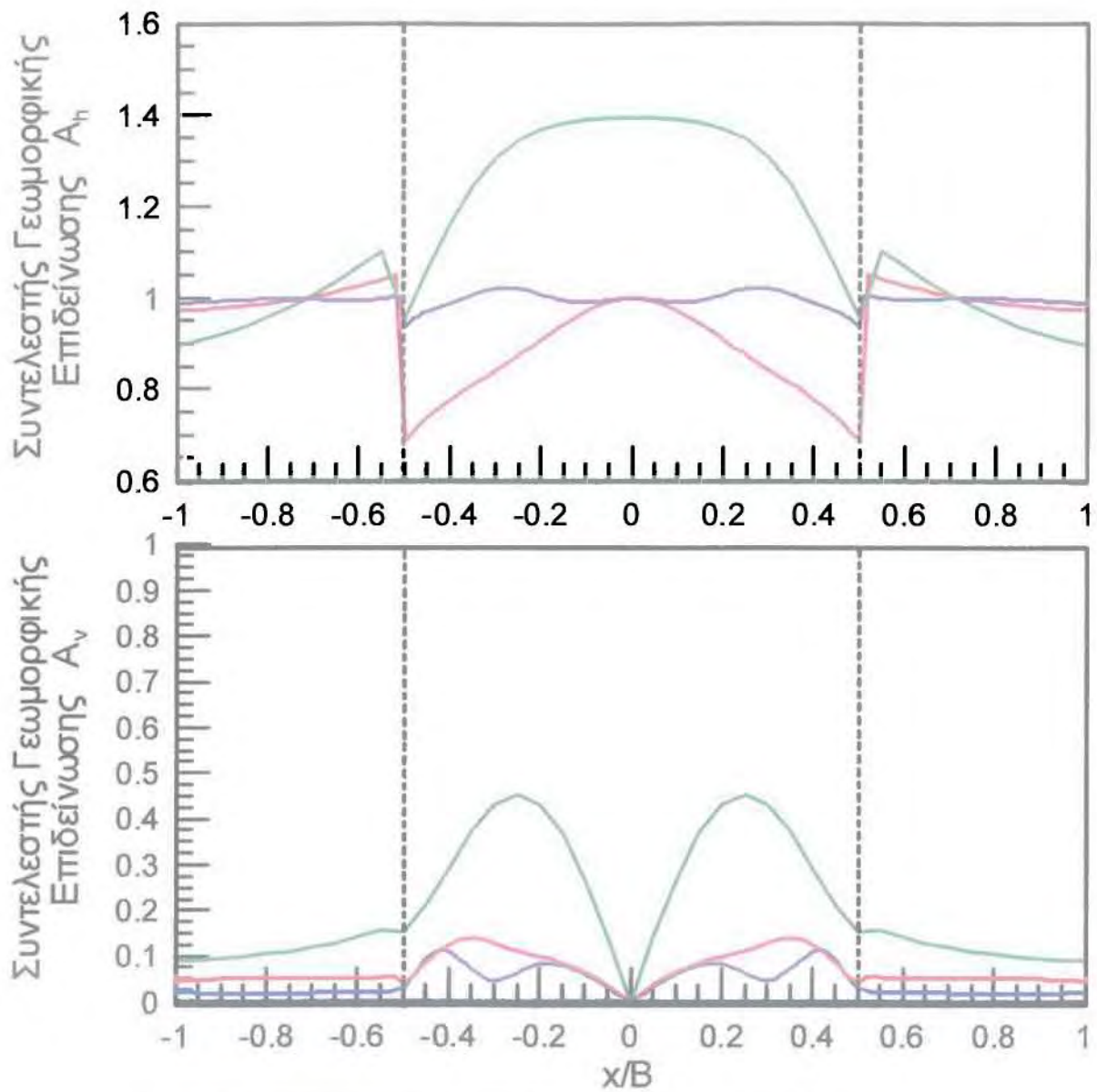


αρκετά μεγάλος λόγος  $l/H$  για να παρατηρηθεί η τάση μετάβασης της περιοχής των υψηλών ενισχύσεων από το κέντρο προς τα άκρα. Απλά, η τάση μεταβολής της μορφής είναι λιγότερο ορατή στο διάγραμμα με  $B/l=1$ , επειδή η μεγάλη οριακή τιμή  $l/H$  ( $=10$ ) έχει ως αποτέλεσμα πολύ μικρές ενισχύσεις, όπως ήδη αναφέρθηκε.

Σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_v$ , και για τις δύο διεγέρσεις, γενικώς, παρατηρείται σαφέστερη εικόνα. Ειδικότερα, καθώς ελαττώνεται το αδιάστατο πάχος  $l/H$ , παρατηρείται άνοδος των τιμών του συντελεστή  $A_v$ , σε όλη την έκταση της λεκάνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σχεδόν όλες οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης σε εύρος  $x/B$  από 0.1875 έως 0.485 και  $x/l$  από 0.25 έως 1.94, ενώ μηδενίζονται στο κέντρο της, λόγω συμμετρικής κοιλάδας υπό κατακόρυφη διέγερση.

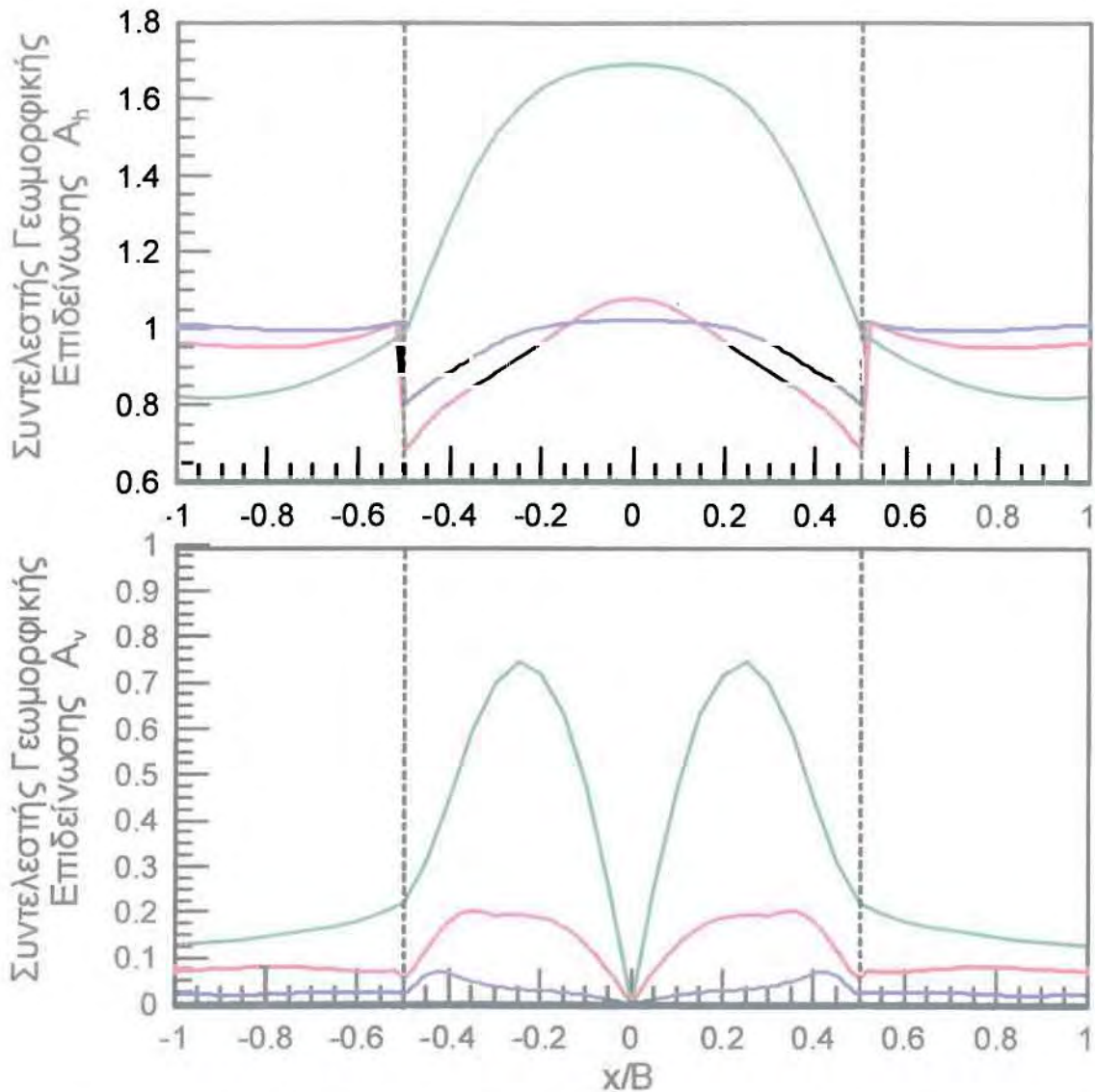
Στα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν δόθηκε έμφαση στην επίδραση της βασικής, όπως προκύπτει, παραμέτρου  $l/H$  στη γεωμορφική επιδείνωση. Μακροσκοπικά, τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν ισχύ και για τις δύο διεγέρσεις, του Αιγίου και της Κοζάνης. Έντονη διαφοροποίηση στις τιμές των συντελεστών  $A_h$  και  $A_v$ , μεταξύ των δύο σεισμών παρατηρείται στην ανάλυση # 7, με  $B/l=1$  και  $l/H=2$ , η οποία είναι τριγωνικής διατομής και εμφανίζει ούτως ή άλλως υψηλές ενισχύσεις.

Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι οι αδιάστατοι παράμετροι  $l/H$  και  $B/l$  αλληλεπιδρούν και η συσχέτισή τους παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς της λεκάνης.



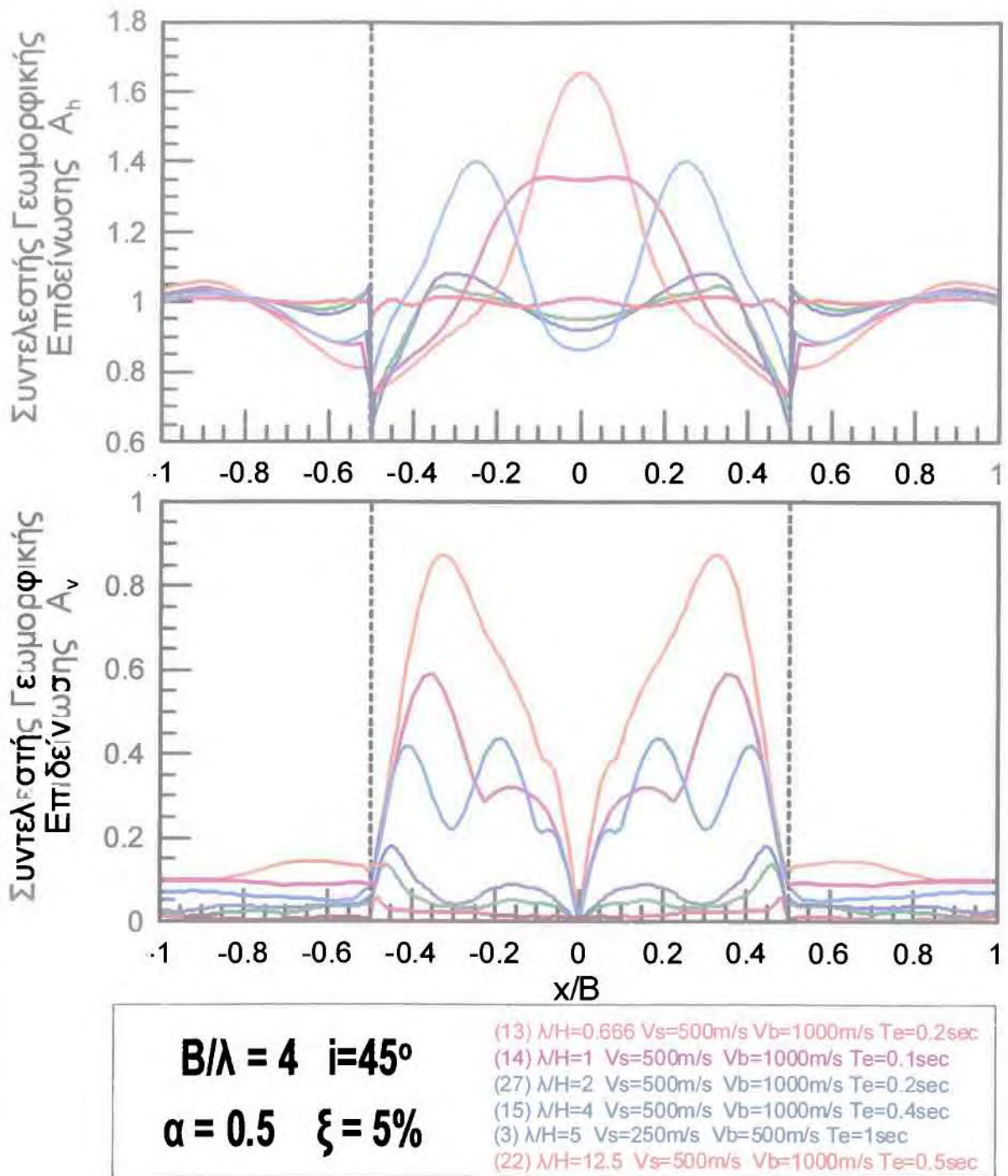
$B/\lambda = 1 \quad i=45^\circ$ $\alpha = 0.5 \quad \xi = 5\%$	(7) $L/H=2 \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s} \quad T_e=0.2\text{sec}$
	(8) $L/H=5 \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s} \quad T_e=0.5\text{sec}$
	(11) $L/H=10 \quad V_s=500\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s} \quad T_e=1\text{sec}$

Σχήμα 4.7 : Επίδραση αδιάστατου πάχους  $L/H$ , για  $B/\lambda=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #7, #8, #11, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου

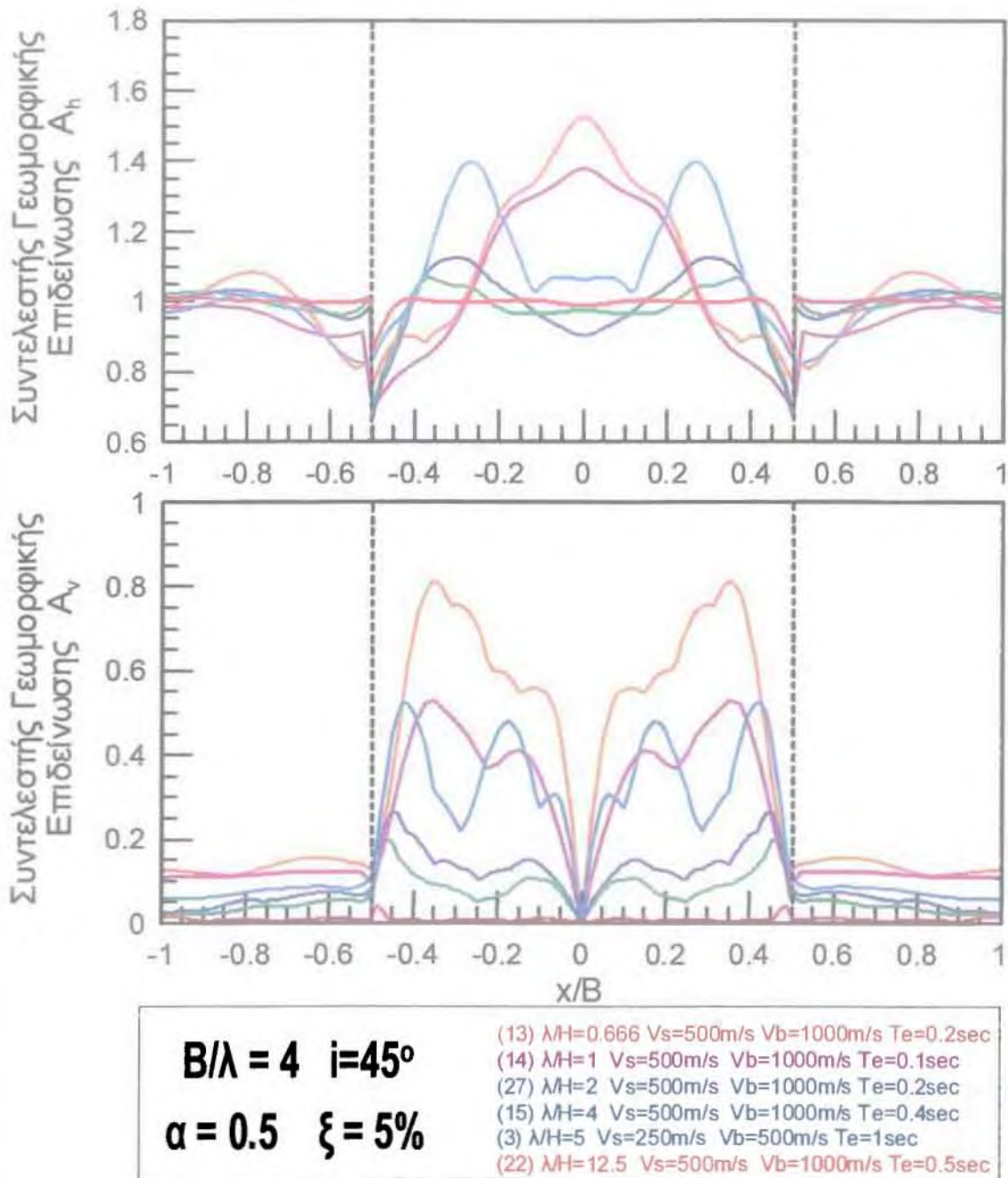


$B/\lambda = 1$   $i=45^\circ$  (7)  $\lambda/H=2$   $V_s=500\text{m/s}$   $V_b=1000\text{m/s}$   $T_e=0.2\text{sec}$   
 $\alpha = 0.5$   $\xi = 5\%$  (8)  $\lambda/H=5$   $V_s=500\text{m/s}$   $V_b=1000\text{m/s}$   $T_e=0.5\text{sec}$   
 (11)  $\lambda/H=10$   $V_s=500\text{m/s}$   $V_b=1000\text{m/s}$   $T_e=1\text{sec}$

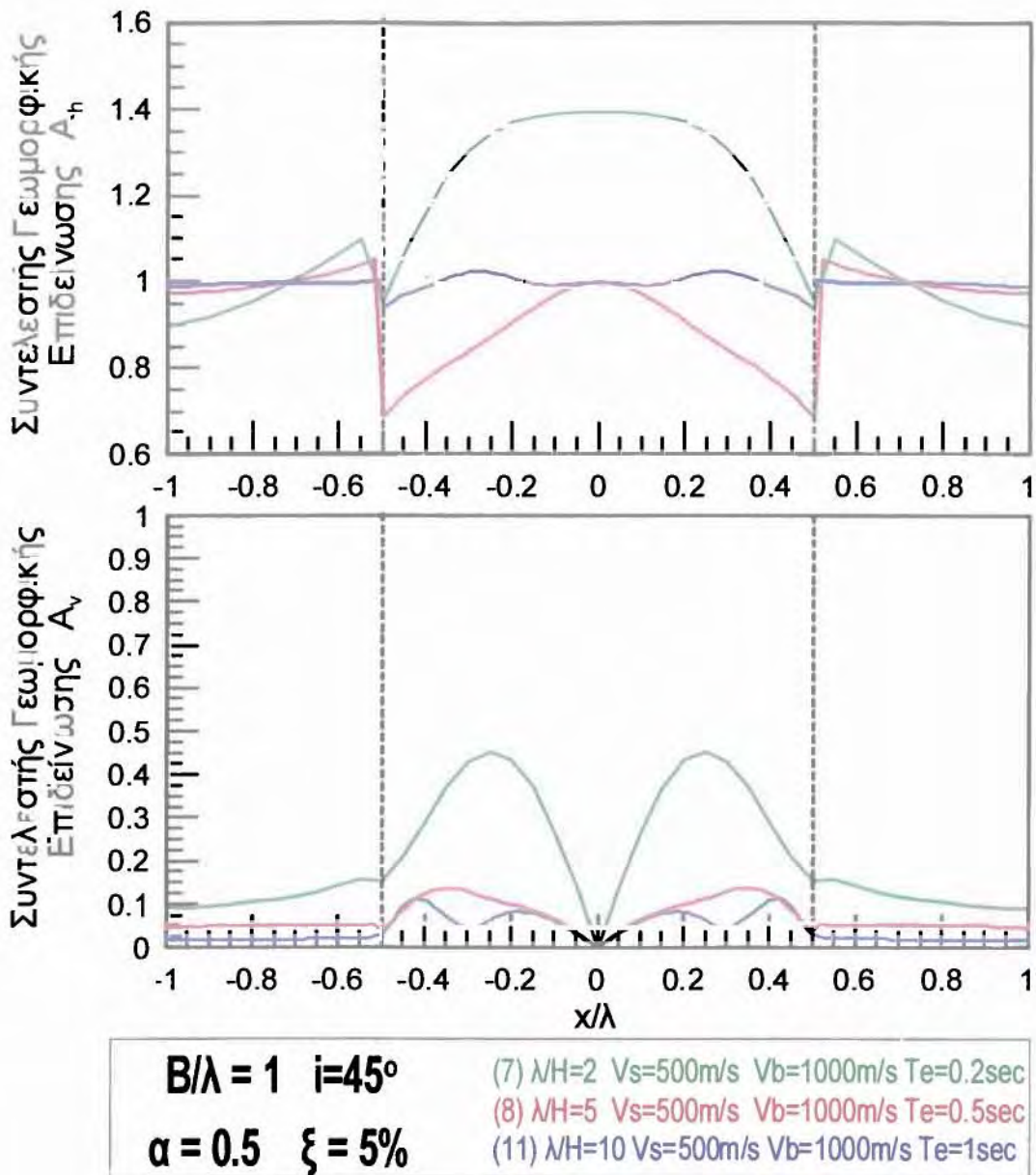
Σχήμα 4.8 : Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #7, #8, #11, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



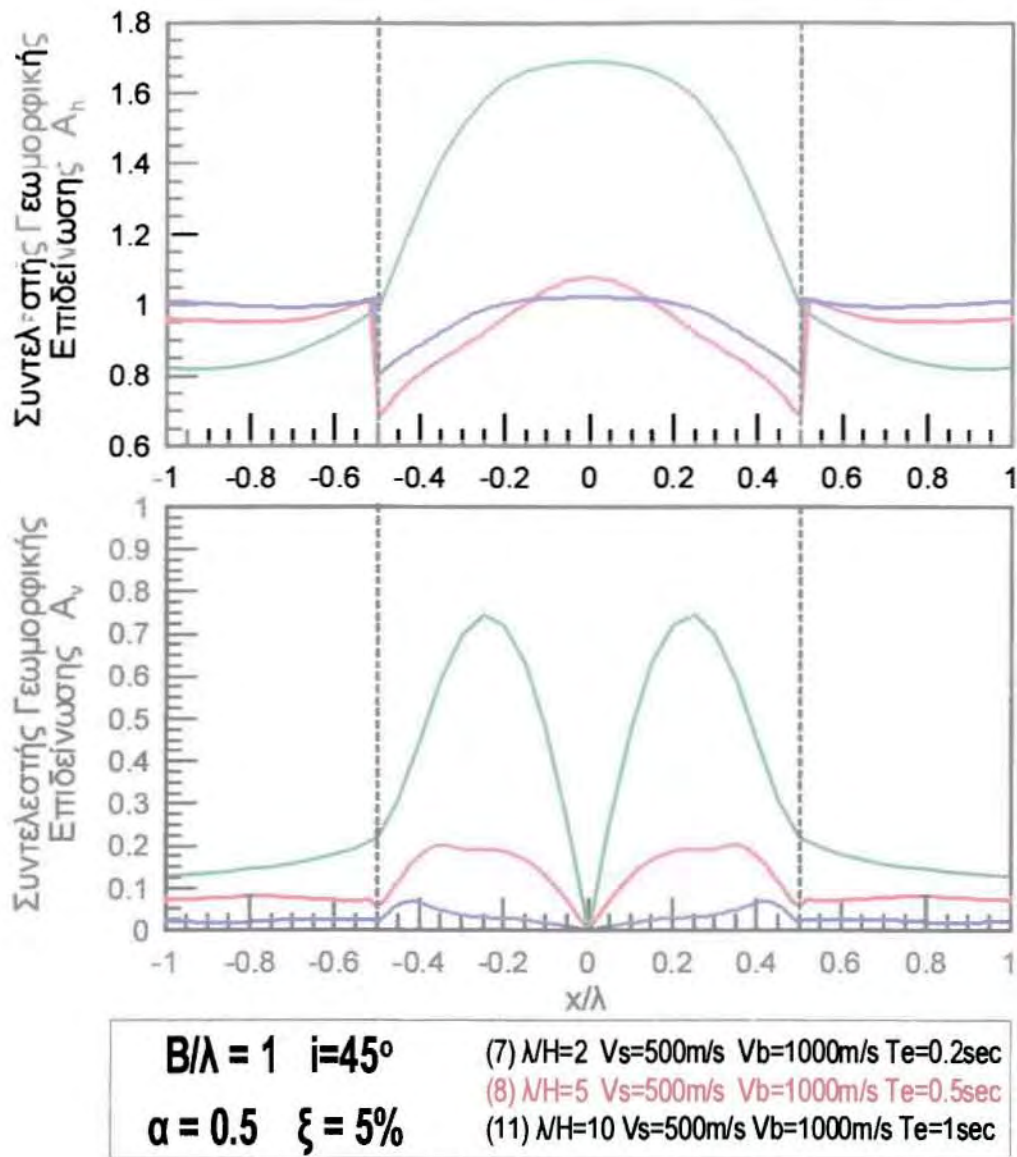
Σχήμα 4.9 : Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=4$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #13, #14, #27, #15, #3, #22 ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγέρση του Αιγίου



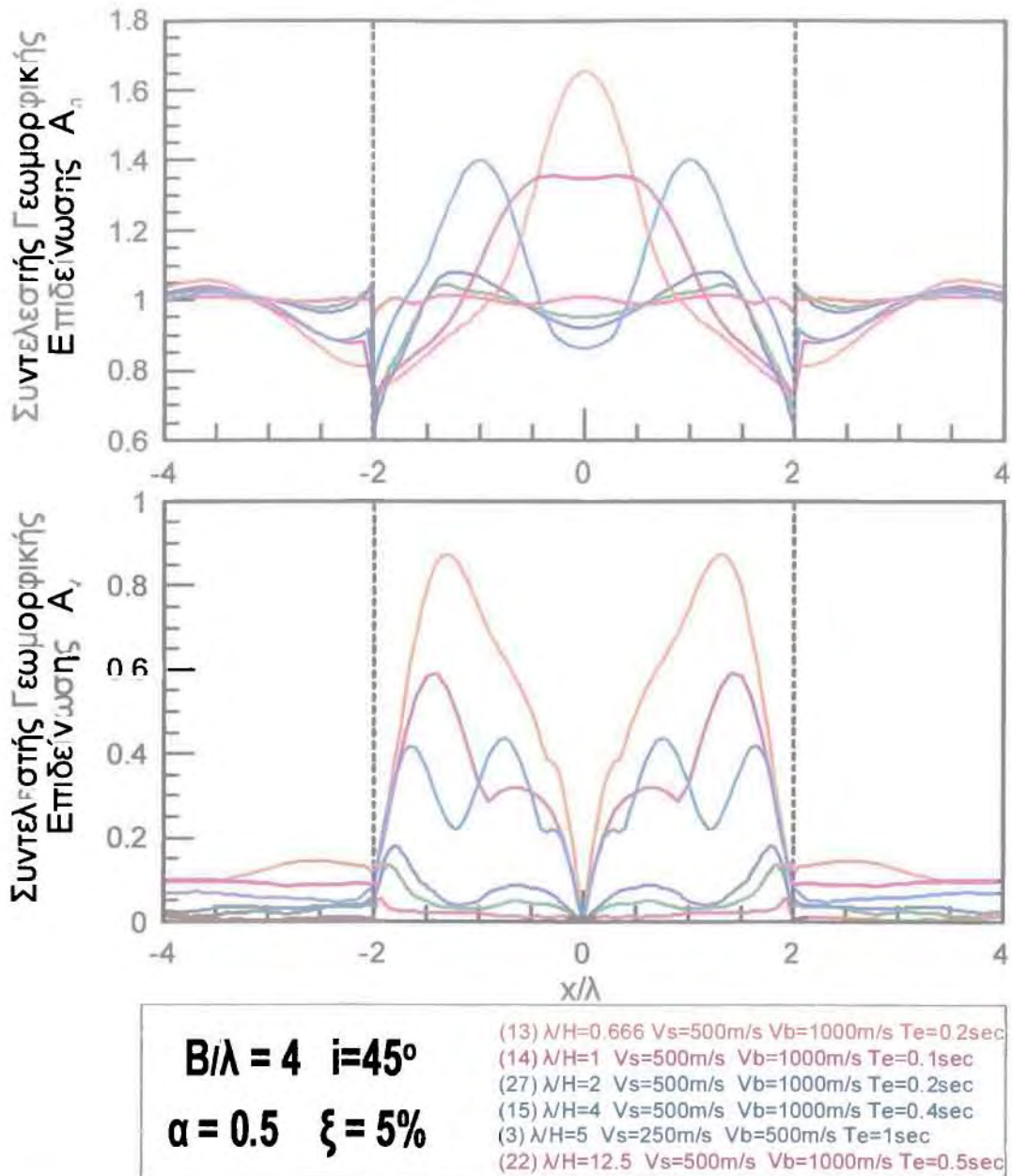
**Σχήμα 4.10 :** Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=4$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #13, #14, #27, #15, #3, #22 ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



Σχήμα 4.11 : Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #7, #8, #11, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διαμηθικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου

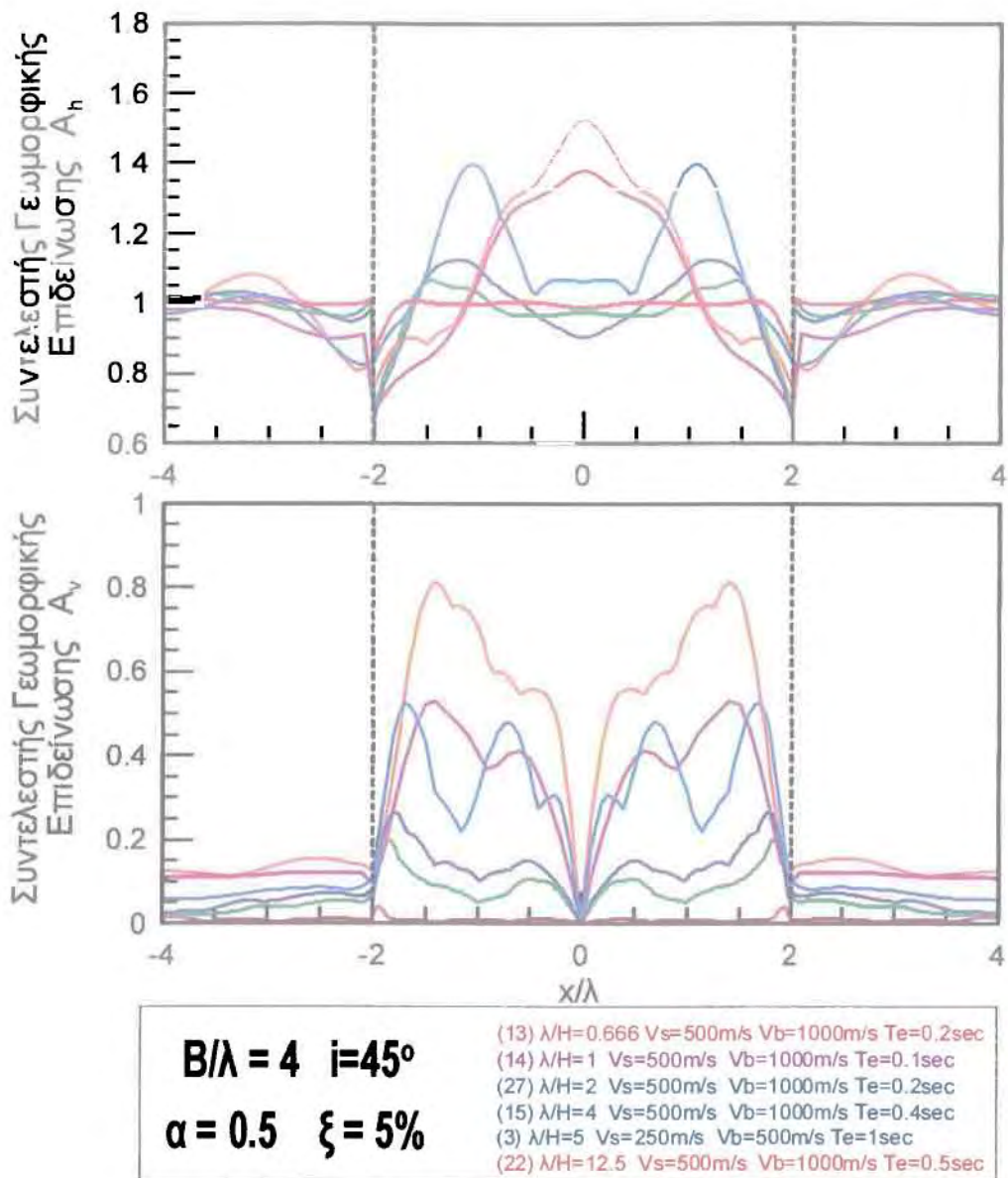


**Σχήμα 4.12 :** Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #7, #8, #11, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



**Σχήμα 4.13 :** Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=4$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #13, #14, #27, #15, #3, #22 ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου





**Σχήμα 4.14 :** Επίδραση αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , για  $B/\lambda=4$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #13, #14, #27, #15, #3, #22 ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

#### **4.3.2. Επίδραση αδιάστατου πλάτους λεκάνης B/λ**

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, για τη διερεύνηση της επίδρασης του αδιάστατου λόγου B/λ στη γεωμορφική ενίσχυση εκτελέστηκαν δύο σειρές παραμετρικών αναλύσεων, για δύο διαφορετικές τιμές του αδιάστατου πάχους της λεκάνης, λ/H. Πιο αναλυτικά, για λ/H=1 χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις με διαφορετικούς λόγους B/λ, αλλά ίδιες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων i, ξ και a, ενώ αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε σε πέντε άλλες αναλύσεις με λόγο λ/H=5.

Η σύγκριση γίνεται στα Σχήματα 4.15 έως 4.18 και η γεωμορφική ενίσχυση σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης x, αδιαστατοποιημένης ως προς B. Όπως προκύπτει, η επίδραση του λόγου B/λ στις οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις είναι σημαντική.

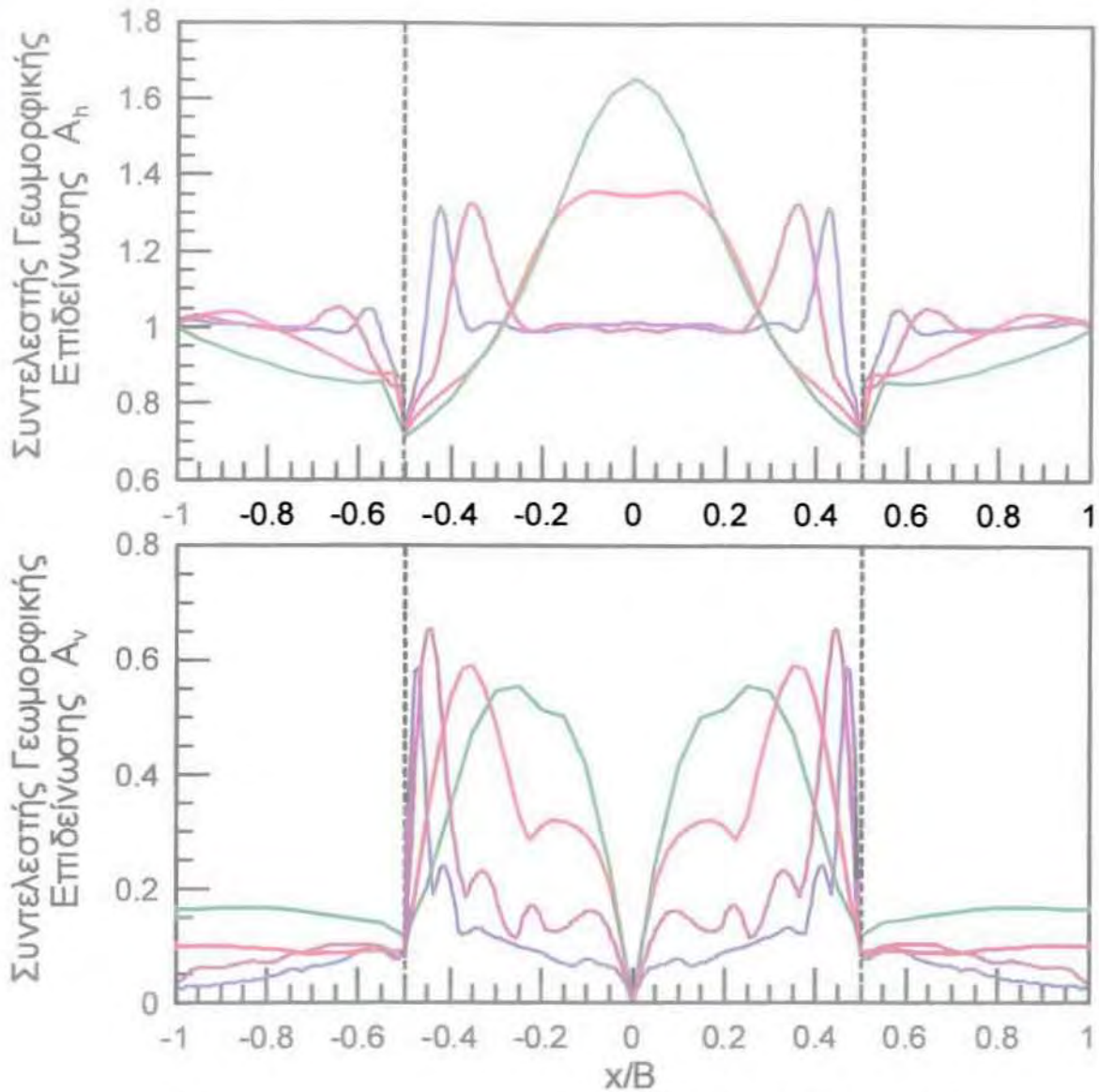
Πιο συγκεκριμένα, σε ότι αφορά το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_h$ , και για τις δύο διεγέρσεις, γενικώς, παρατηρούνται τα εξής :

- Η εικόνα των διαγραμμάτων του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης δεν είναι αρκετά σαφής, σε πρώτη ανάγνωση, ώστε να προκύψουν ασφαλή γενικευμένα συμπεράσματα για το σύνολο των περιπτώσεων. Ειδικότερα, στο διάγραμμα με λ/H=5, οι διακυμάνσεις στις μέγιστες τιμές του συντελεστή  $A_h$  είναι πολύ μικρές, γεγονός που αποδεικνύει ότι η παράμετρος B/λ, για το συγκεκριμένο λόγο λ/H, δεν επιδρά σημαντικά. Στο ίδιο διάγραμμα, παρόλο που μελετήθηκε ένα μεγάλο εύρος τιμών του λόγου B/λ (1 έως 10), οι τιμές των οριζόντιων ενισχύσεων παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα, λόγω της σχετικά μεγάλης τιμής του αδιάστατου πάχους λ/H. Στη δεύτερη περίπτωση (λ/H=1), το αδιάστατο εύρος B/λ δείχνει να επηρεάζει περισσότερο τις μέγιστες τιμές του συντελεστή  $A_h$ , ειδικά όταν λαμβάνει μικρές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, διαφαίνεται μια τάση να εμφανίζονται υψηλότερες μέγιστες τιμές, με τη μείωση του λόγου B/λ. Γενικώς, οι σχετικά υψηλές ενισχύσεις αυτής της περίπτωσης οφείλονται κατά κύριο λόγο στη μικρή τιμή του αδιάστατου πάχους λ/H. Θα πρέπει να σημειωθεί η ιδιαίτερη περίπτωση της ανάλυσης # 25 με λόγο B/λ=0.5, (η μόνη ανάλυση με τιμή αδιάστατου εύρους B/λ<1), η οποία εμφανίζει τιμές απομείωσης σε όλο το εύρος της λεκάνης. Να τονιστεί όμως, ότι η συνολική απόκριση της συγκεκριμένης εδαφικής λεκάνης παρουσιάζει αυξημένες τιμές επιταχύνσεων σε σχέση με το βράχο, κάτι που οφείλεται στην παρουσία του μαλακού εδάφους. Δηλαδή απλά, η ύπαρξη της λεκάνης απομειώνει την ενίσχυση που οφείλεται στην οριζόντια στρώση μαλακού εδάφους. Αυτού του είδους η συμπεριφορά χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, καθώς εδώ μελετήθηκαν λεκάνες με τιμές αδιάστατου εύρους B/λ >1.

- Η χωρική διαφοροποίηση εξαρτάται έντονα από το αδιάστατο εύρος της λεκάνης. Είναι φανερό ότι η παράμετρος  $B/\lambda$  επιδρά σημαντικά, εν γένει, στον καθορισμό της θέσης εμφάνισης της μέγιστης τιμής ενίσχυσης. Ειδικότερα, παρατηρείται η ομαλή μετάβαση της θέσης όπου συμβαίνει η μέγιστη ενίσχυση από το κέντρο της λεκάνης προς τα άκρα της, καθώς η τιμή του λόγου  $B/\lambda$  αυξάνεται. Σε καθαρά γεωμετρικούς όρους, πολύ ευρείες λεκάνες (μεγάλη τιμή  $B/\lambda$ ) μεταφέρουν την περιοχή σημαντικών ενισχύσεων αμιγώς στα άκρα τους, ενώ στα σημεία περί το κέντρο παρατηρείται σχεδόν μονοδιάστατη συμπεριφορά, καθώς τα επιφανειακά κύματα Rayleigh ταξιδεύοντας προς το κέντρο προλαβαίνουν να αποσβεστούν στην πορεία. Είναι σαφές ότι, η τροποποίηση χωρικής διαφοροποίησης και τα όρια μεταβολής αυτής, καθορίζονται από το συνδυασμό των παραμέτρων  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$ . Για παράδειγμα, στο διάγραμμα με λόγο  $\lambda/H=5$ , μια περίπτωση μετάβασης θα μπορούσε να είναι η ανάλυση # 9 με  $B/\lambda=2$ , ενώ σε ότι αφορά το διάγραμμα με  $\lambda/H=1$ , υπάρχει ένδειξη ότι η μορφή αλλάζει μεταξύ των τιμών  $B/\lambda=5$  έως 9.

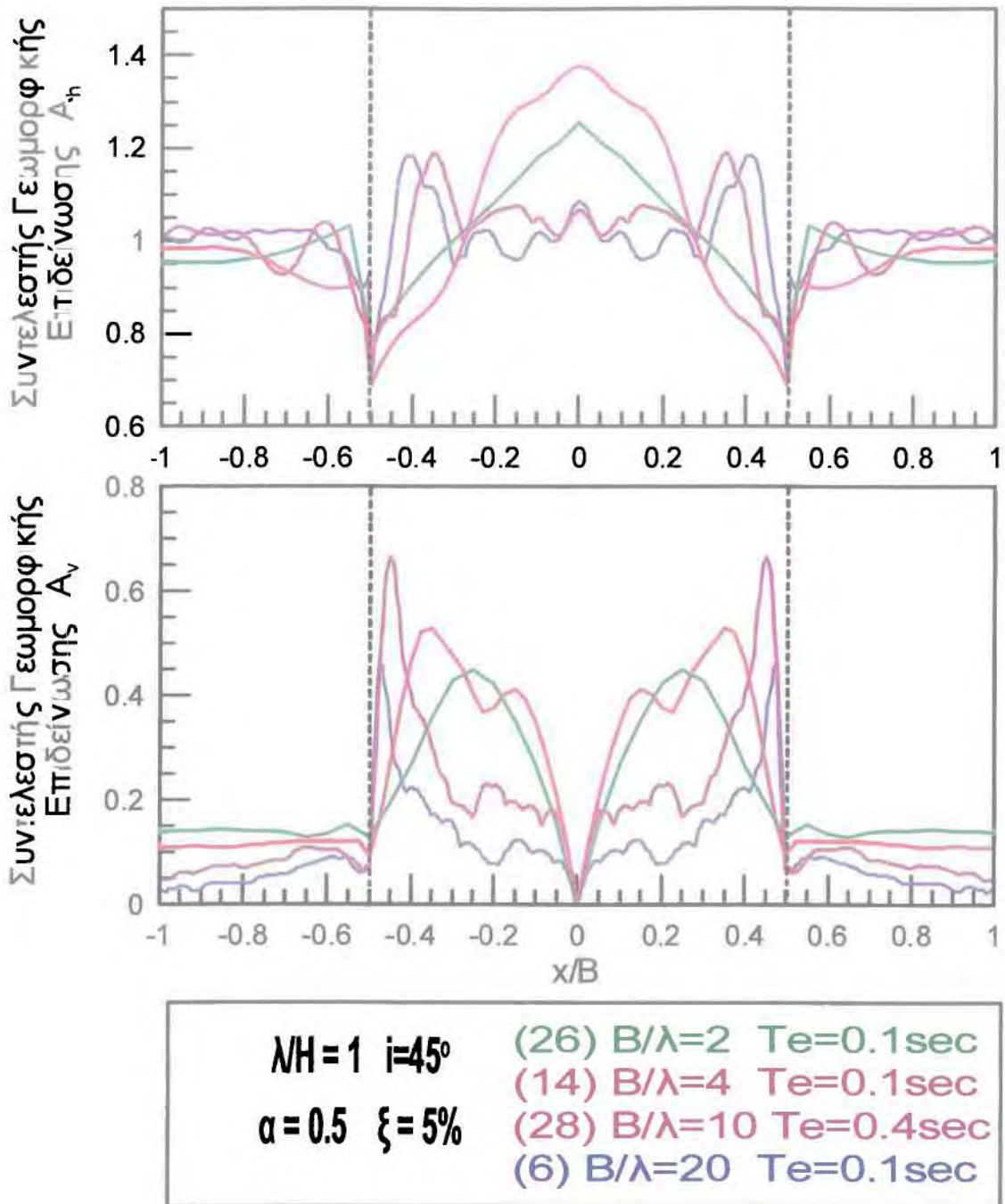
Σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_v$ , και για τις δύο διεγέρσεις, γενικώς, δεν παρατηρείται κάποια ξεκάθαρη τάση σε ότι αφορά τις μέγιστες τιμές του, όσο το αδιάστατο εύρος  $B/\lambda$  μεταβάλλεται. Μολοταύτα, μπορεί να σημειωθεί ότι οι τιμές των κατακόρυφων ενισχύσεων κατά μήκος της λεκάνης τείνουν να αυξηθούν καθώς μειώνεται το αδιάστατο εύρος  $B/\lambda$ . Γενικά, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης, με εύρος  $x/B$  από 0.25 έως 0.485 και  $x/\lambda$  από 0.15 έως 9.5, ενώ στο κέντρο η ενίσχυση μηδενίζεται, λόγω συμμετρικής λεκάνης και συμμετρίας της διέγερσης. Με μια δεύτερη ανάγνωση παρατηρείται ότι η θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη κατακόρυφη ενίσχυση, μεταφέρεται όλο και πιο κοντά στο κέντρο της λεκάνης, με τη μείωση του αδιάστατου λόγου  $B/\lambda$ .

Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν και τις δύο διεγέρσεις, καθώς παρατηρείται κοινή συμπεριφορά στους σεισμούς Αιγίου και Κοζάνης. Μια απόκλιση στις μέγιστες τιμές αλλά όχι στη μορφή της χωρικής διαφοροποίησης μεταξύ των δύο διεγέρσεων εμφανίζεται στην ανάλυση # 26 με αδιάστατους λόγους  $B/\lambda=2$ ,  $\lambda/H=1$ , της οποίας η λεκάνη είναι τριγωνικής διατομής. Έτσι, στο διάγραμμα με  $\lambda/H=1$  του σεισμού Κοζάνης, οι τιμές του συντελεστή  $A_h$  είναι μικρότερες από αυτές που ίσως αναμένονταν, από παρατήρηση αποκρίσεων για τραπεζοειδείς λεκάνες.

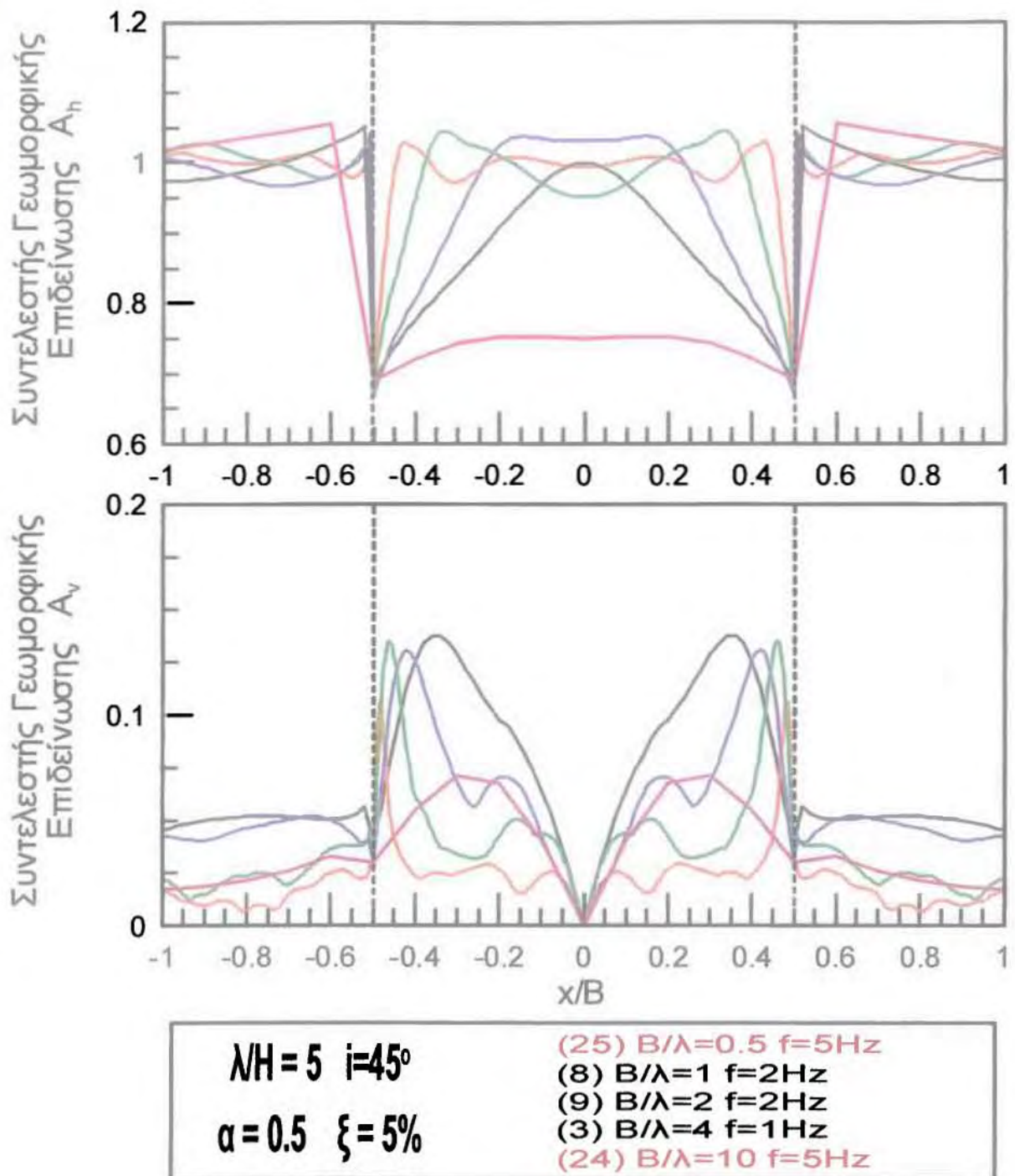


$\lambda H = 1$	$i = 45^\circ$	(26)	$B/\lambda = 2$	$T_e = 0.1 \text{ sec}$
		(14)	$B/\lambda = 4$	$T_e = 0.1 \text{ sec}$
$\alpha = 0.5$	$\xi = 5\%$	(28)	$B/\lambda = 10$	$T_e = 0.4 \text{ sec}$
		(6)	$B/\lambda = 20$	$T_e = 0.1 \text{ sec}$

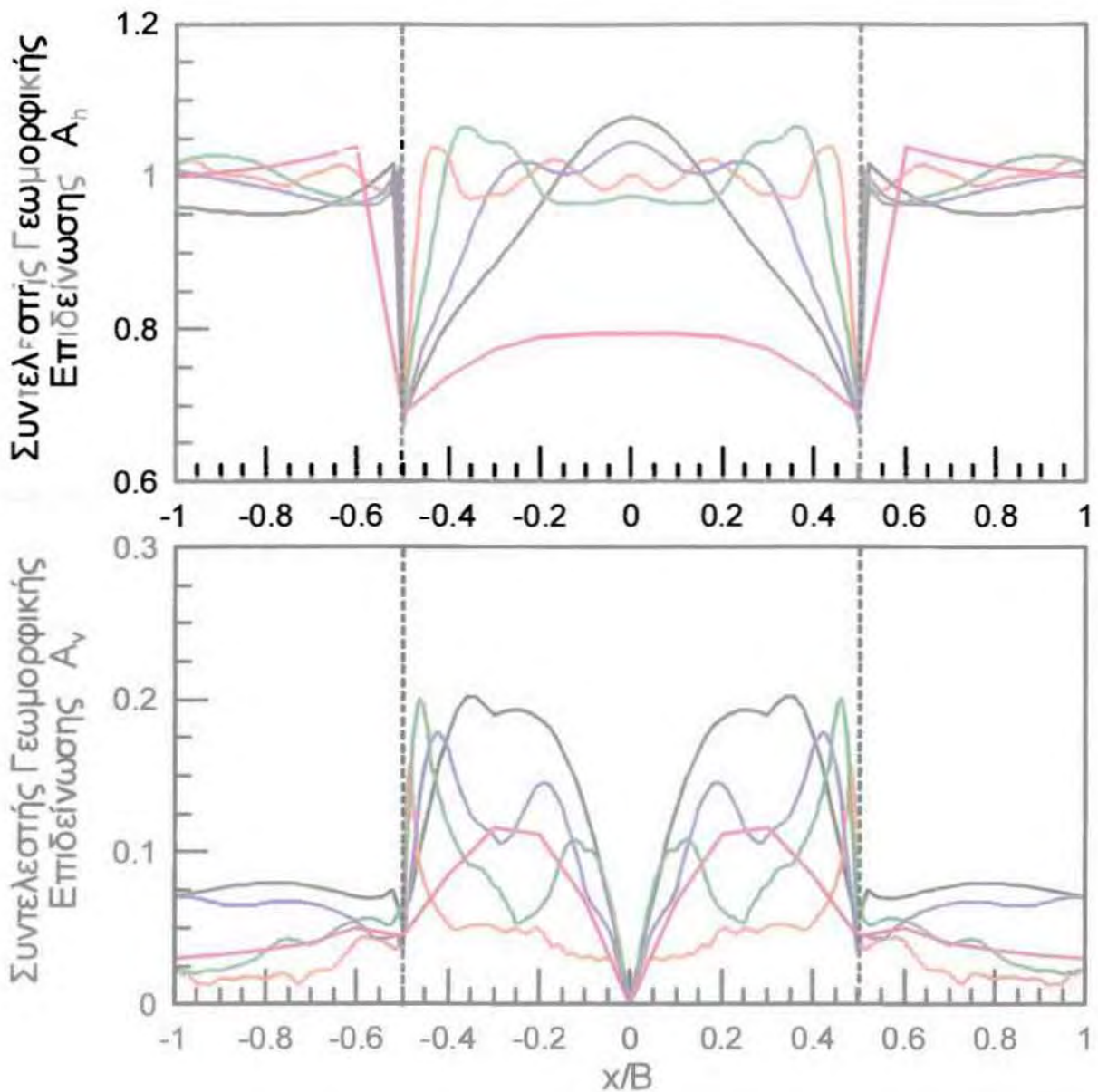
**Σχήμα 4.15:** Επίδραση αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$ , για  $\lambda H=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #26, #14, #28 και #6, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου



**Σχήμα 4.16:** Επίδραση αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$ , για  $\lambda/H=1$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #26, #14, #28 και #6, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



Σχήμα 4.17: Επίδραση αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$ , για  $MH=5$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #25, #8, #9, #3 και #24, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου



$\lambda H = 5$	$i = 45^\circ$	(25) $B/\lambda = 0.5$ $f = 5\text{Hz}$
$\alpha = 0.5$	$\xi = 5\%$	(8) $B/\lambda = 1$ $f = 2\text{Hz}$
		(9) $B/\lambda = 2$ $f = 2\text{Hz}$
		(3) $B/\lambda = 4$ $f = 1\text{Hz}$
		(24) $B/\lambda = 10$ $f = 5\text{Hz}$

Σχήμα 4.18: Επίδραση αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$ , για  $\lambda H=5$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #25, #8, #9, #3 και #24, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

### **4.3.3. Επίδραση λόγου εμπέδησης $a$**

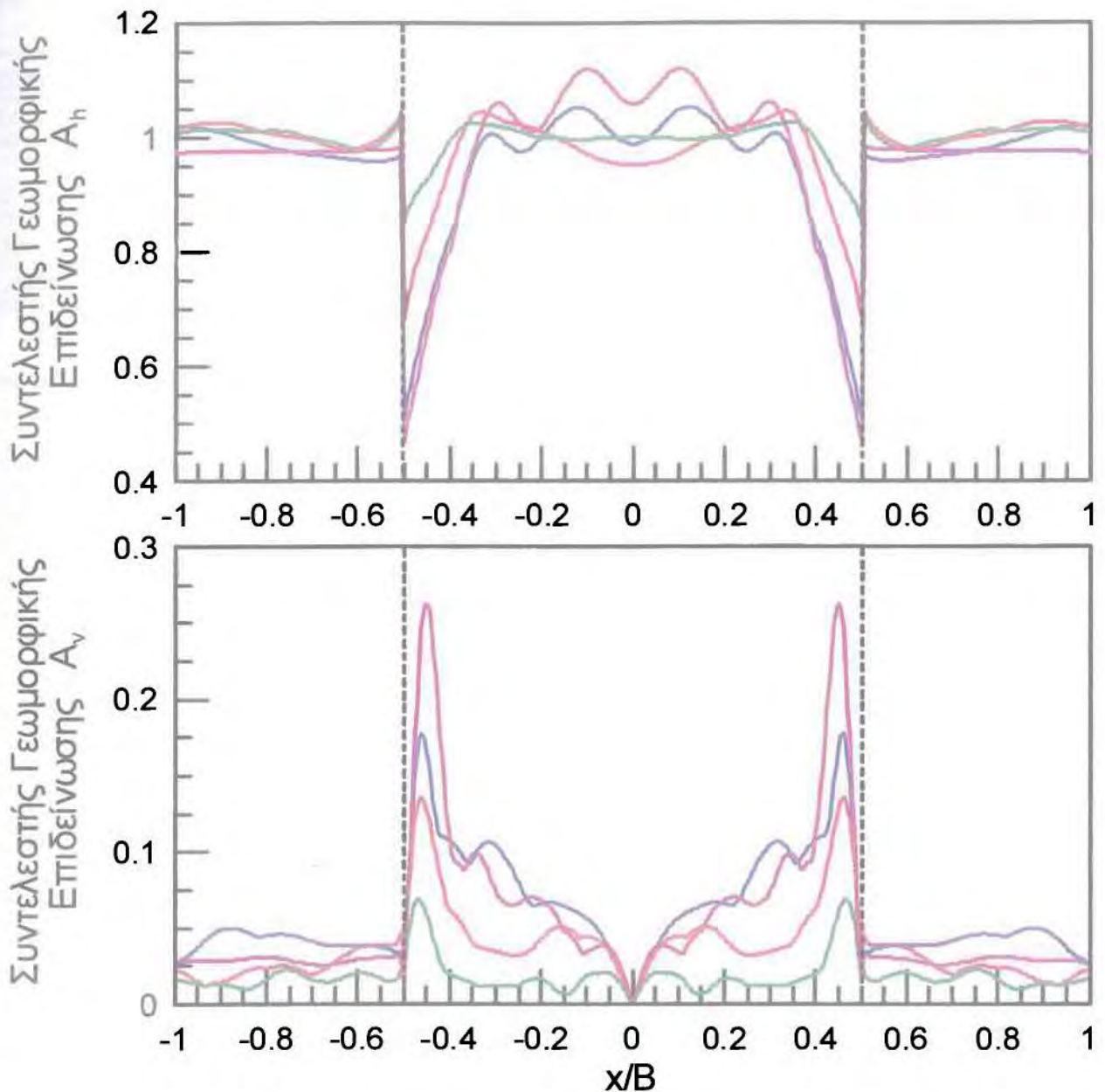
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, για τη διερεύνηση της επίδρασης του λόγου εμπέδησης  $a$  στη γεωμορφική ενίσχυση εκτελέσθηκαν διάφορες παραμετρικές αναλύσεις. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αναλύσεις με διαφορετικούς λόγους εμπέδησης, από  $a=0.75$  έως  $0.1$ , αλλά ίδιες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $i$  και  $\xi$ .

Η σύγκριση γίνεται στα Σχήματα 4.19 έως 4.22, και η γεωμορφική ενίσχυση σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης  $x$ , αδιαστατοποιημένης ως προς  $B$  και  $\lambda$ .

Πιο συγκεκριμένα, σε ότι αφορά το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_h$ , και για τις δύο διεγέρσεις, παρατηρείται ότι, όσο μικρότερος είναι ο λόγος εμπέδησης, τόσο πιο έντονη αποδεικνύεται η μέγιστη τιμή της οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_{hmax}$ . Σε μικρές τιμές του λόγου εμπέδησης, οι μορφές των καμπυλών έχουν μια πιο κυματοειδή μορφή, εμφανίζοντας τις πιο υψηλές τιμές τους σε διάφορα σημεία κατά μήκος της λεκάνης. Η έντονη αντίθεση στις δυσκαμψίες μεταξύ του μαλακού εδάφους και του βραχώδους υποβάθρου (μικρός λόγος  $a$ ), προκαλεί ήπια απόσβεση ακτινοβολίας και έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό κυμάτων μέσα στη λεκάνη και τη συμβολή τους σε περισσότερα σημεία.

Σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_v$ , και για τις δύο διεγέρσεις, είναι ξεκάθαρο ότι, καθώς μειώνεται ο λόγος εμπέδησης, οι κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αυξάνονται κατά μήκος όλης της λεκάνης. Οι μέγιστες τιμές του συντελεστή  $A_v$ , εμφανίζονται στα άκρα της λεκάνης με εύρος  $x/B$  από  $0.45$  έως  $0.46$  και  $x/\lambda$  από  $1.8$  έως  $1.86$ .





$B/\lambda = 4$   $\lambda/H = 5$

$i=45^\circ$   $\xi = 5\%$

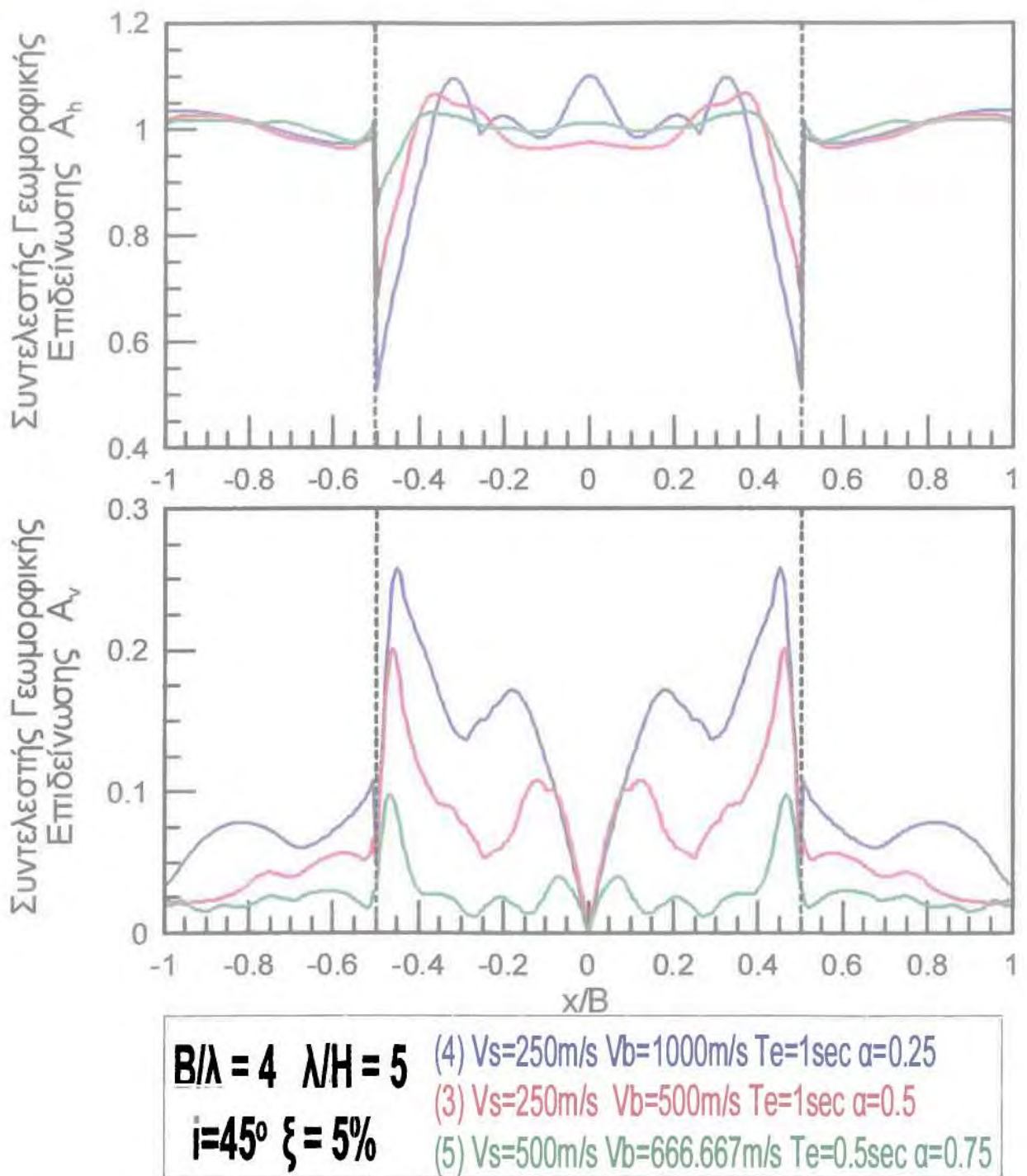
(12)  $V_s=250\text{m/s}$   $V_b=2500\text{m/s}$   $T_e=1\text{sec}$   $\alpha=0.1$

(4)  $V_s=250\text{m/s}$   $V_b=1000\text{m/s}$   $T_e=1\text{sec}$   $\alpha=0.25$

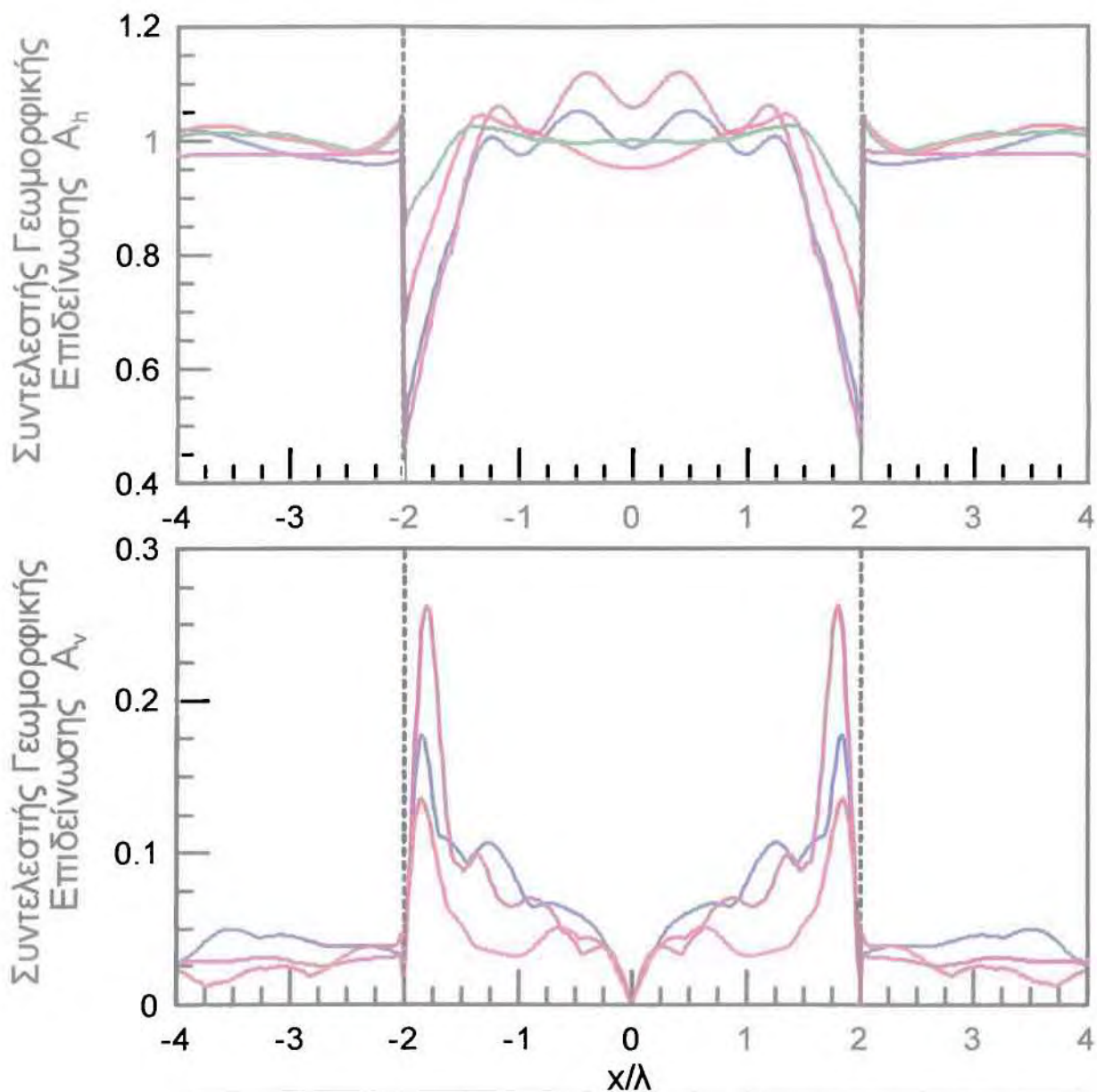
(3)  $V_s=250\text{m/s}$   $V_b=500\text{m/s}$   $T_e=1\text{sec}$   $\alpha=0.5$

(5)  $V_s=500\text{m/s}$   $V_b=666.667\text{m/s}$   $T_e=0.5\text{sec}$   $\alpha=0.75$

Σχήμα 4.19: Επίδραση λόγου εμπέδησης  $\alpha$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #12, #4, #3 και #5, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγέρση του Αιγίου



**Σχήμα 4.20:** Επίδραση λόγου εμπέδησης  $\alpha$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #12, #4, #3 και #5, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



$B/\lambda = 4 \quad \lambda/H = 5$

$i=45^\circ \quad \xi = 5\%$

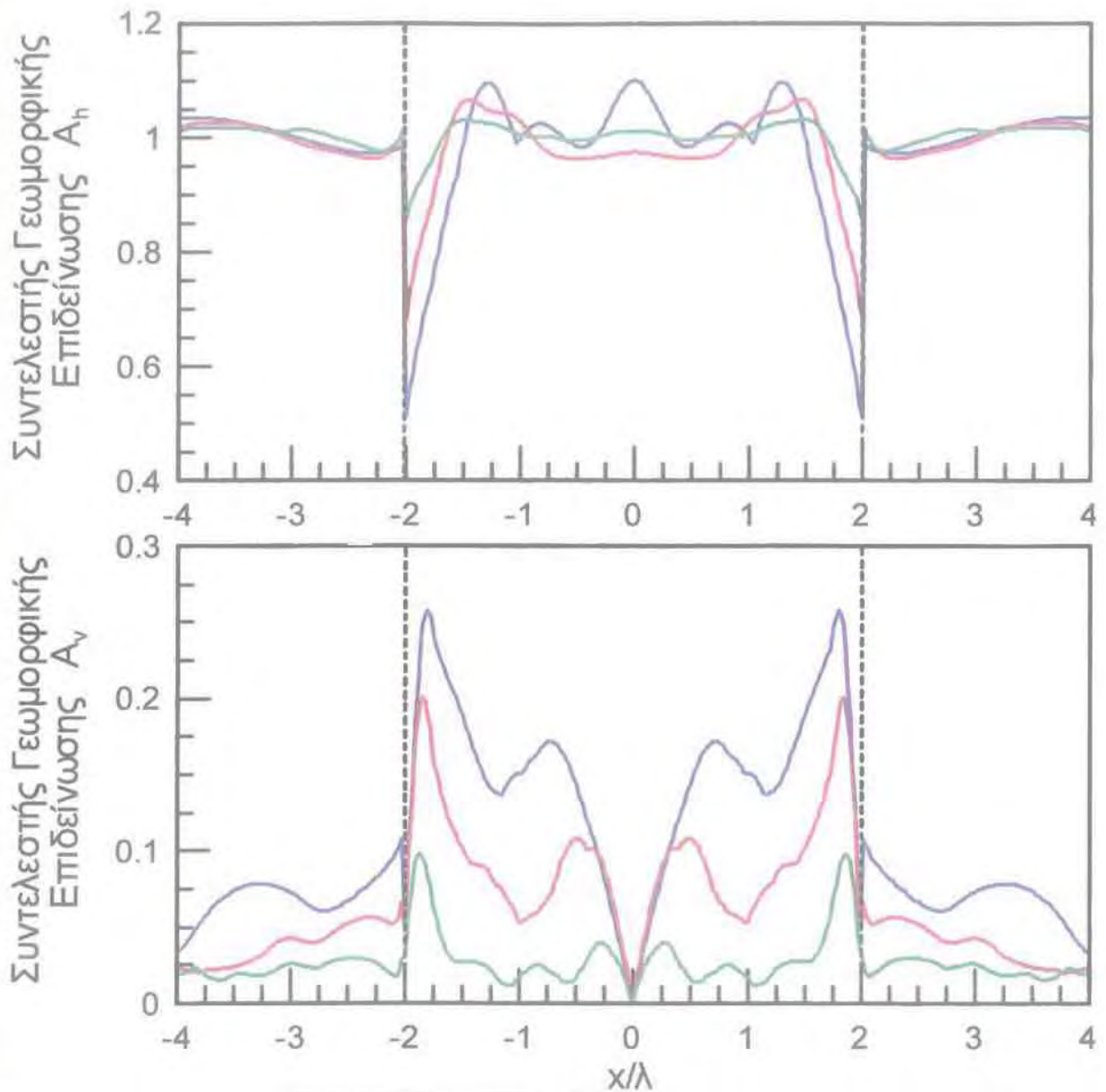
(12)  $V_s=250\text{m/s} \quad V_b=2500\text{m/s} \quad T_e=1\text{sec} \quad \alpha=0.1$

(4)  $V_s=250\text{m/s} \quad V_b=1000\text{m/s} \quad T_e=1\text{sec} \quad \alpha=0.25$

(3)  $V_s=250\text{m/s} \quad V_b=500\text{m/s} \quad T_e=1\text{sec} \quad \alpha=0.5$

(5)  $V_s=500\text{m/s} \quad V_b=666.667\text{m/s} \quad T_e=0.5\text{sec} \quad \alpha=0.75$

**Σχήμα 4.21:** Επίδραση λόγου εμπέδησης  $\alpha$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #12, #4, #3 και #5, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου



$B/\lambda = 4$ $N/H = 5$ $i=45^\circ$ $\xi = 5\%$	(4) $V_s=250\text{m/s}$ $V_b=1000\text{m/s}$ $T_e=1\text{sec}$ $\alpha=0.25$
	(3) $V_s=250\text{m/s}$ $V_b=500\text{m/s}$ $T_e=1\text{sec}$ $\alpha=0.5$
	(5) $V_s=500\text{m/s}$ $V_b=666.667\text{m/s}$ $T_e=0.5\text{sec}$ $\alpha=0.75$

**Σχήμα 4.22:** Επίδραση λόγου εμπέδησης  $\alpha$  στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #4, #3 και #5, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

**4.3.4. Επίδραση γωνίας κλίσης  $i$  πρανών υποβάθρου στα άκρα της λεκάνης**

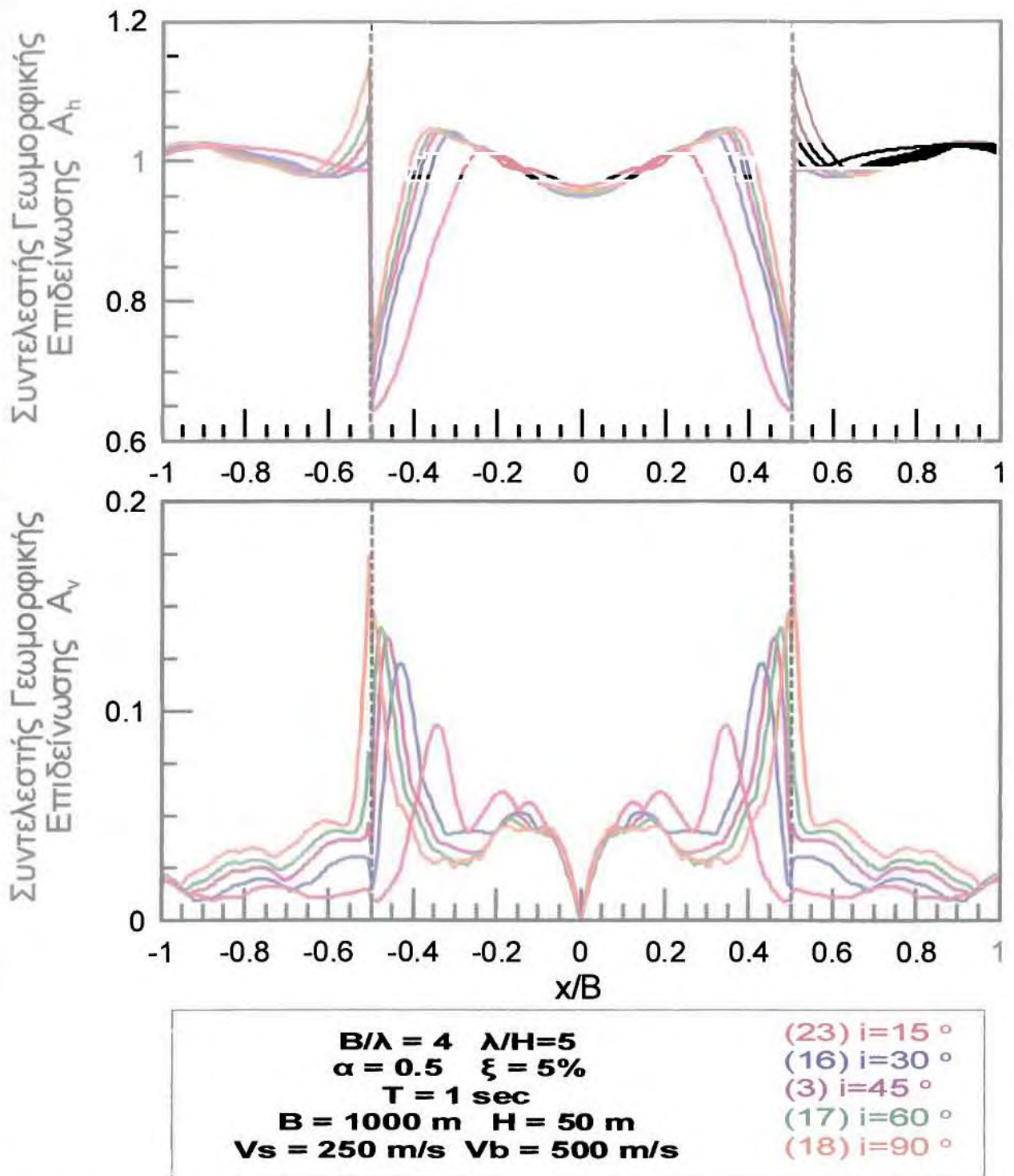
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, για τη διερεύνηση της επίδρασης της γωνίας κλίσης των πρανών της λεκάνης στη γεωμορφική ενίσχυση εκτελέστηκαν διάφορες παραμετρικές αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν πέντε αναλύσεις με διαφορετικές κλίσεις πρανών, από  $i=15^\circ$  έως  $90^\circ$ , αλλά ίδιες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $a$  και  $\xi$ .

Η σύγκριση γίνεται στα Σχήματα 4.23 έως 4.26, και η γεωμορφική ενίσχυση σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης  $x$ , αδιαστατοποιημένης ως προς  $B$  και  $\lambda$ , αντίστοιχα. Όπως προκύπτει, η επίδραση της κλίσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις είναι δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με τις επιδράσεις των βασικών παραμέτρων  $\lambda/H$ ,  $B/\lambda$  και  $a$  που αναλύονται παραπάνω.

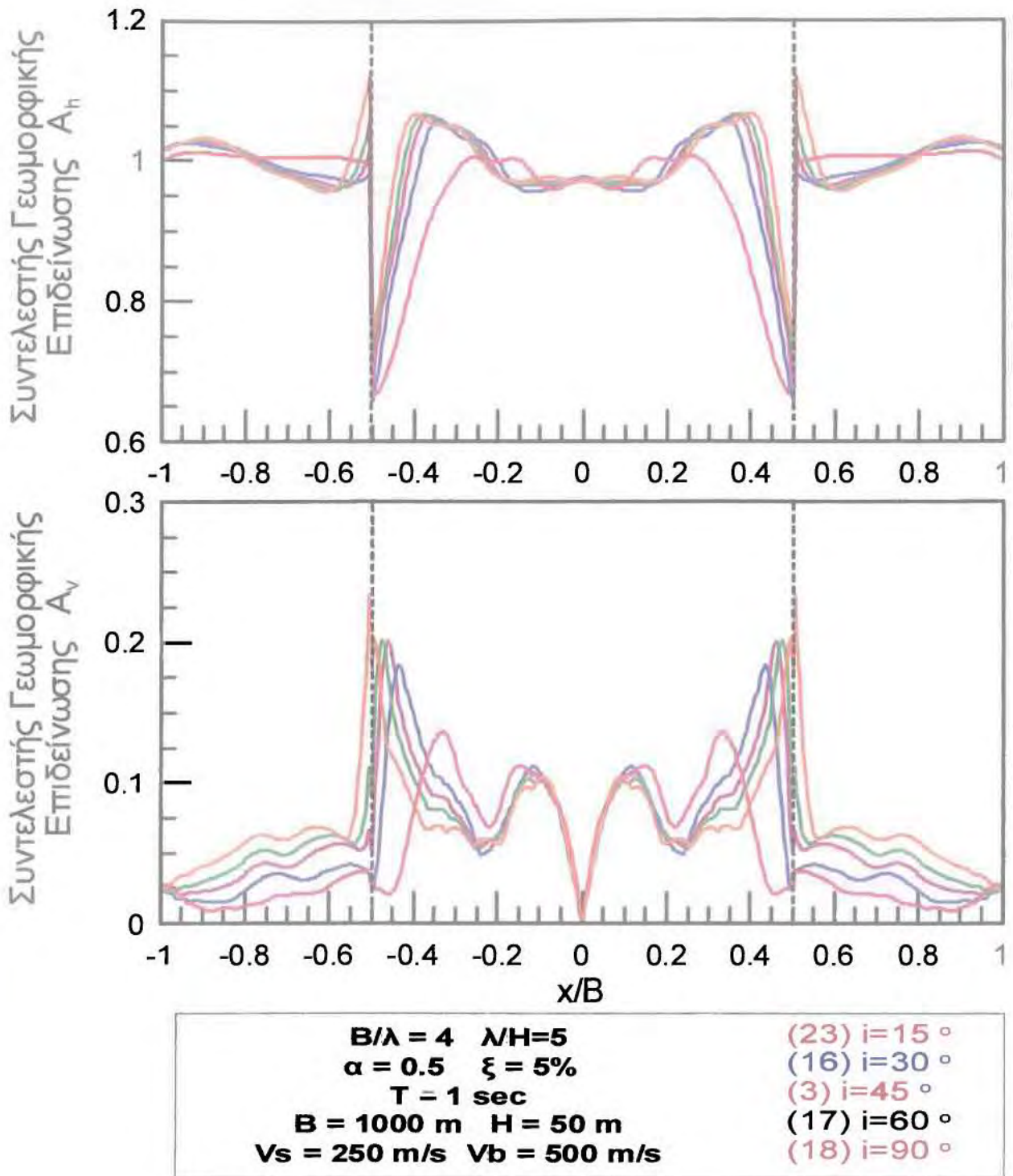
Οι βασικές παρατηρήσεις σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_h$ , και για τις δύο διεγέρσεις, έχουν ως εξής. Η χωρική διαφοροποίηση παρουσιάζεται ποιοτικά ίδια. Πιο συγκεκριμένα, καθώς η κλίση αυξάνεται η μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης ενισχύεται, χωρίς όμως μεγάλες διαφοροποιήσεις και η θέση εμφάνισής της μεταφέρεται προς τα άκρα. Για πολύ μικρή τιμή της γωνίας κλίσης των πρανών ( $i=15^\circ$ ) οι τιμές του συντελεστή  $A_h$ , μειώνονται αισθητά.

Οι βασικές παρατηρήσεις σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_v$ , και για τις δύο διεγέρσεις, είναι οι εξής. Η χωρική διαφοροποίηση για τις διάφορες κλίσεις είναι ποιοτικά ίδια και παρουσιάζονται μικρές ποσοτικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, σε μικρότερες κλίσεις πρανών υποβάθρου αναλογούν μικρότερες τιμές του συντελεστή  $A_v$ . Οι θέσεις των μεγίστων παρουσιάζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης με εύρος  $x/B$  από 0.33 έως 0.495 και  $x/\lambda$  από 1.32 έως 1.98. Με την αύξηση της κλίσης των πρανών, παρατηρείται άνοδος των μεγίστων τιμών και το σημείο εμφάνισης αυτών μεταβαίνει σταδιακά προς τα πλευρικά όρια της λεκάνης.

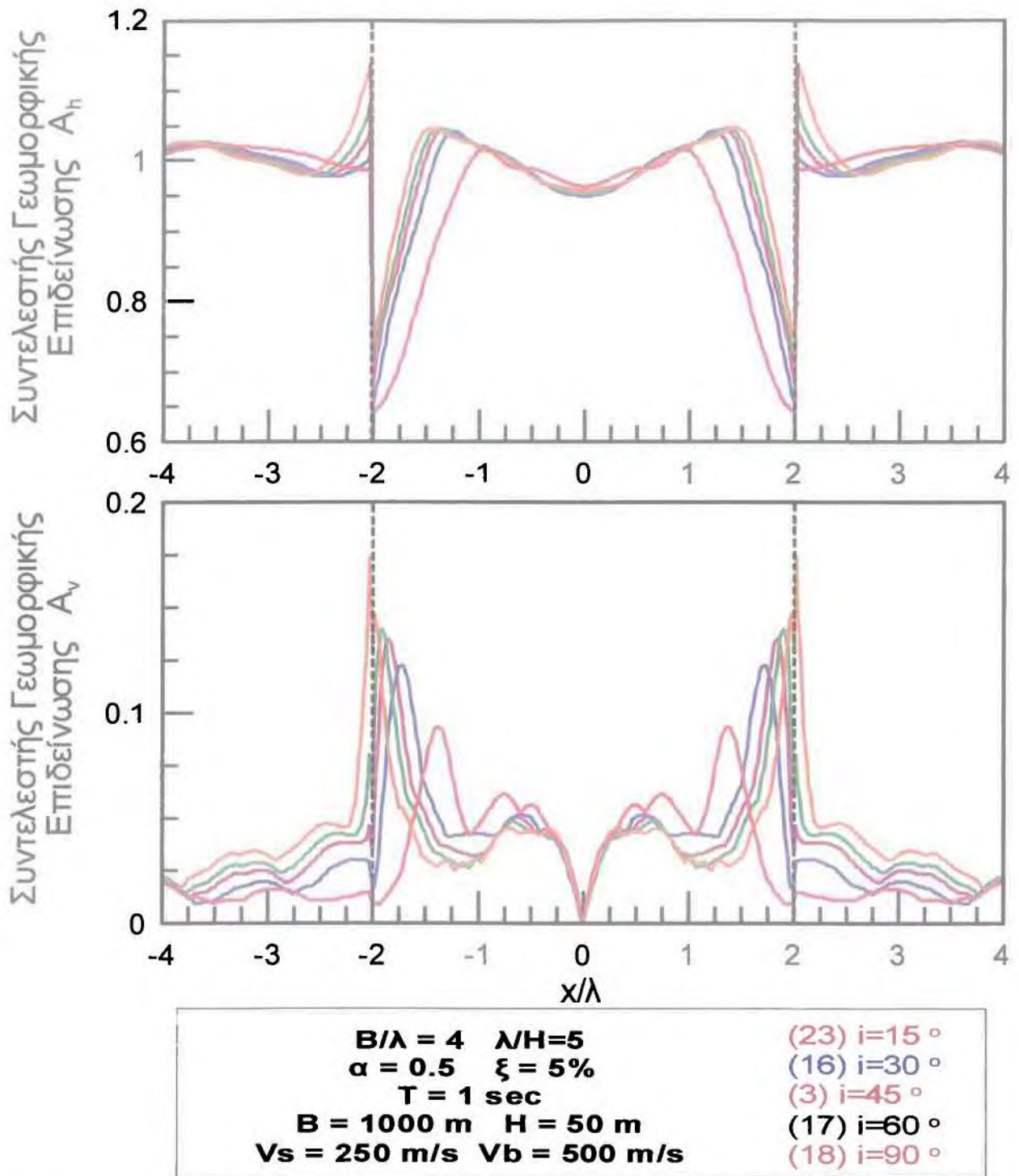




**Σχήμα 4.23:** Επίδραση γωνίας κλίσης πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #23, #16, #3, #17 και #18, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγέρση του Αιγίου

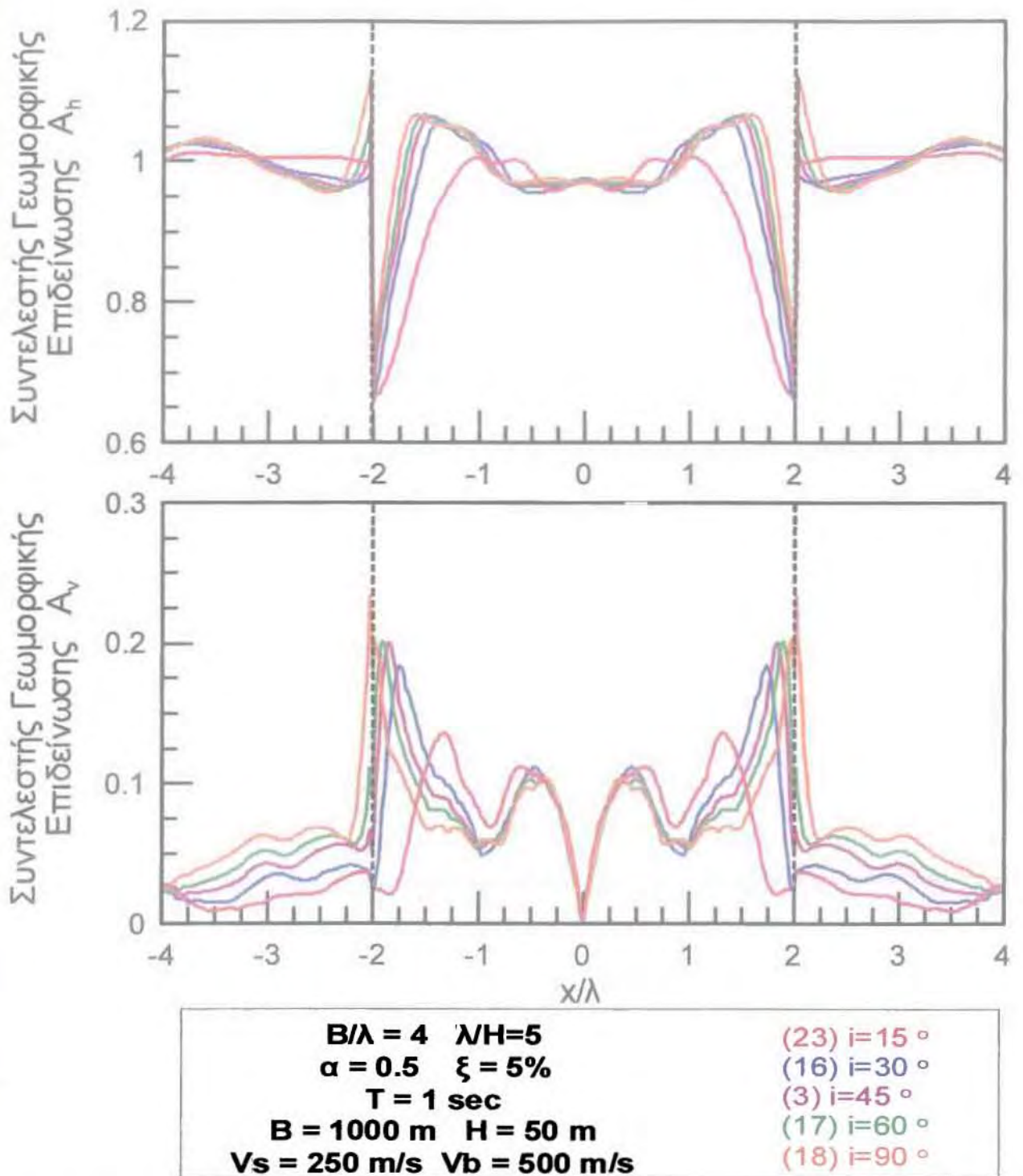


**Σχήμα 4.24:** Επίδραση γωνίας κλίσης πρηνών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #23, #16, #3, #17 και #18, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



**Σχήμα 4.25:** Επίδραση γωνίας κλίσης πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #23, #16, #3, #17 και #18, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου





**Σχήμα 4.26:** Επίδραση γωνίας κλίσης πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #23, #16, #3, #17 και #18, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης

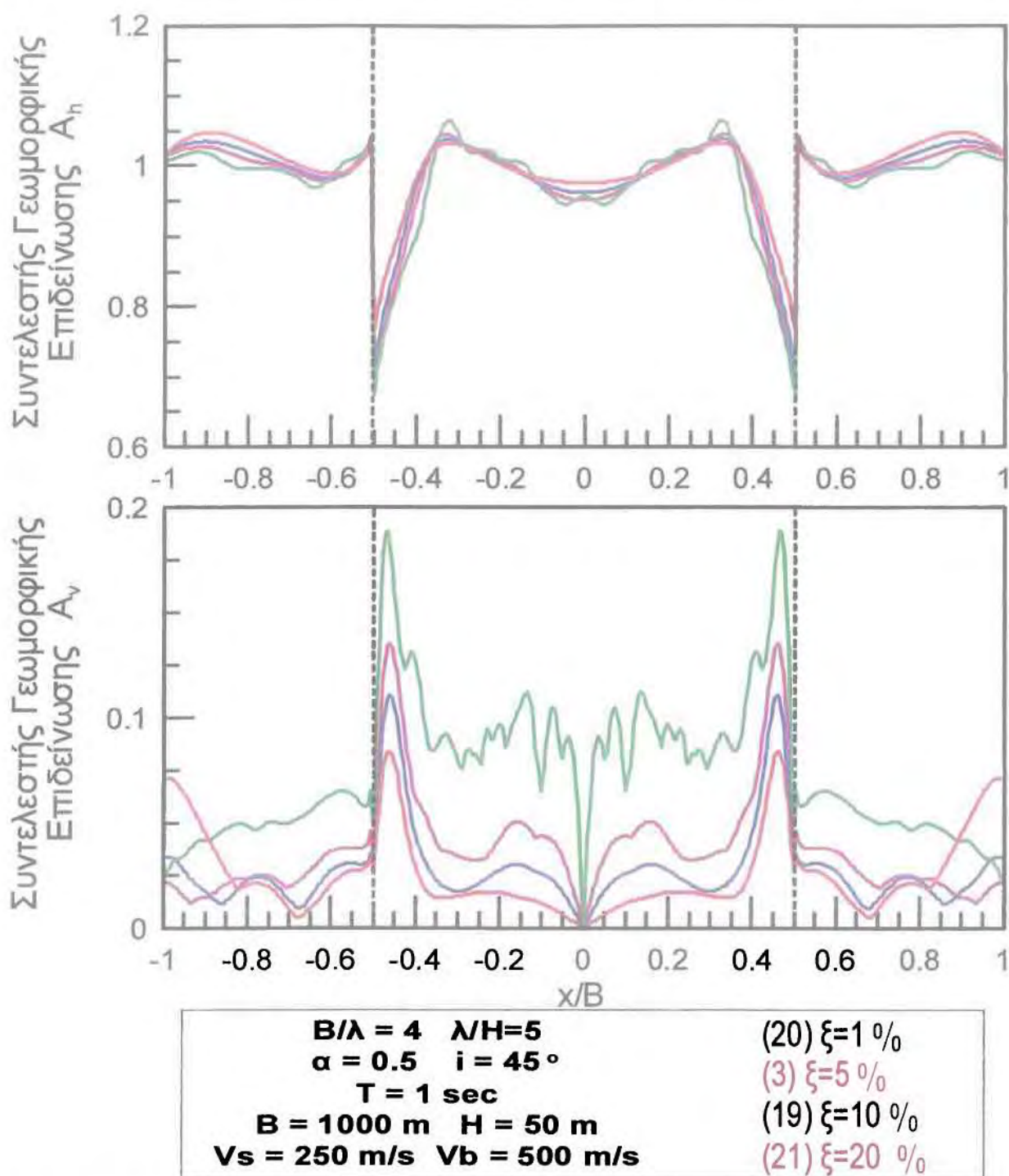
#### **4.3.5. Επίδραση ποσοστού απόσβεσης εδάφους $\xi$**

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2, για τη διερεύνηση της επίδρασης του ποσοστού απόσβεσης του εδάφους  $\xi$  στη γεωμορφική ενίσχυση εκτελέστηκαν τέσσερις αναλύσεις με διαφορετικά ποσοστά απόσβεσης εδάφους  $\xi$ , από  $\xi=1\%$  έως  $20\%$ , αλλά ίδιες τιμές των υπολοίπων παραμέτρων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $a$  και  $i$ .

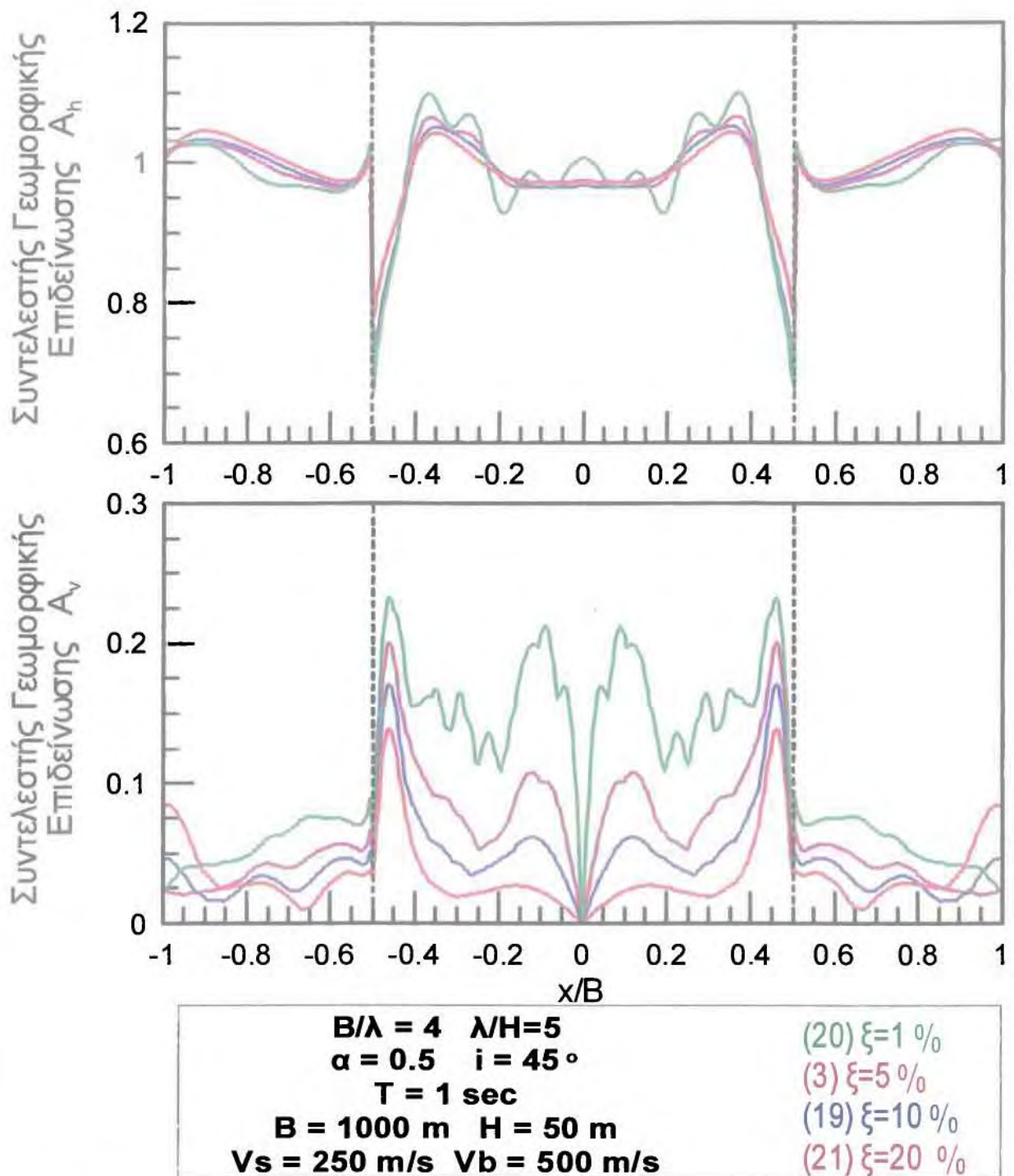
Η σύγκριση γίνεται στα Σχήματα 4.27 έως 4.30, και η γεωμορφική ενίσχυση σε όρους  $A_h$  και  $A_v$  παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης  $x$ , αδιαστατοποιημένης ως προς  $B$  και  $\lambda$ , αντίστοιχα.

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_h$ , και για τις δύο διεγέρσεις γίνεται εμφανές πως το ποσοστό απόσβεσης εδάφους,  $\xi$  δεν επιδρά σημαντικά στη μορφή και στις τιμές του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης. Παρατηρείται όμως η τάση, να μειώνονται ελαφρώς οι μέγιστες τιμές των ενισχύσεων με την άνοδο του ποσοστού απόσβεσης της ανάλυσης.

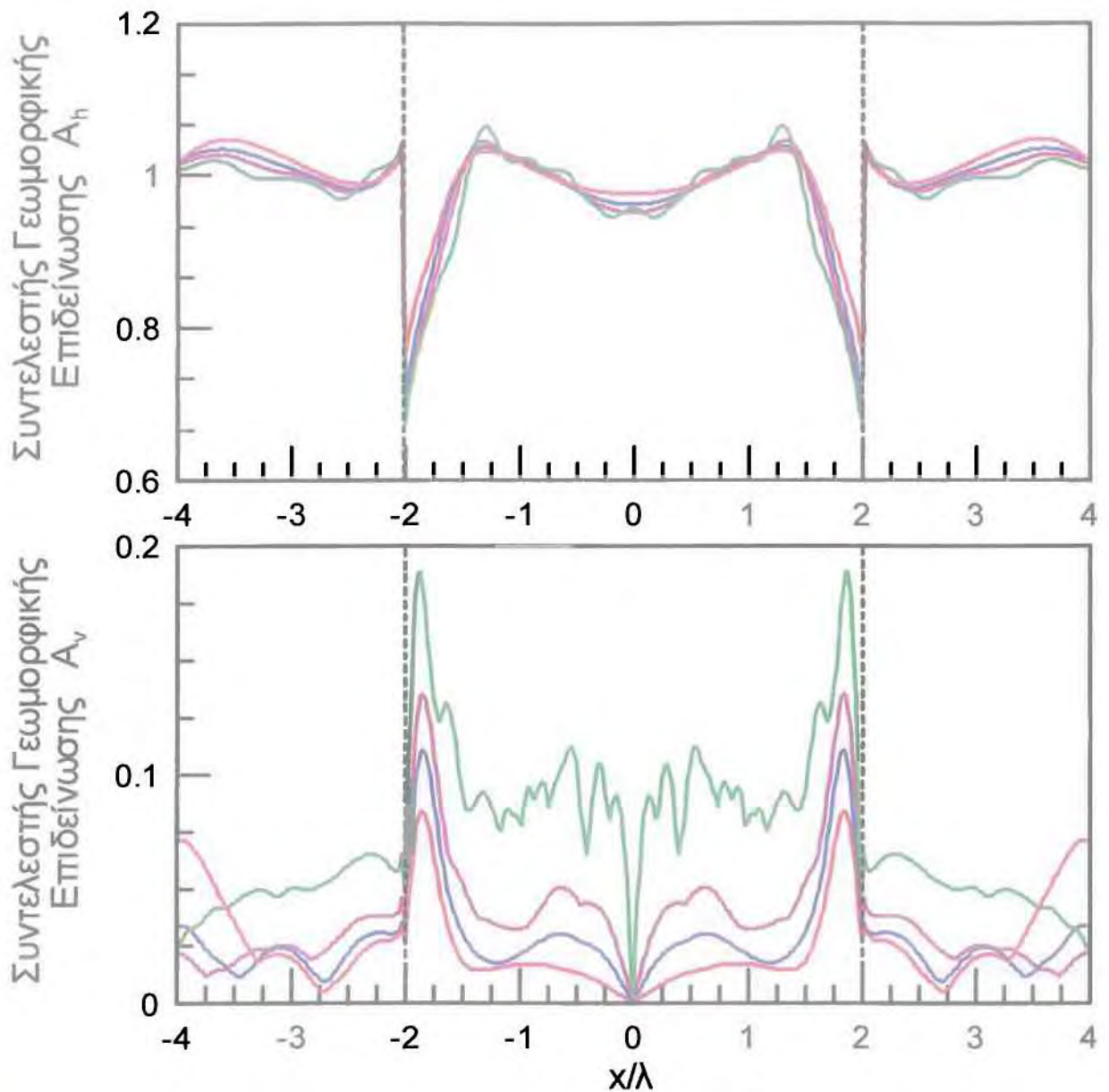
Αντίστοιχα, για το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης,  $A_v$ , και για τις δύο διεγέρσεις, παρατηρείται ότι η χωρική διαφοροποίηση κατά μήκος της λεκάνης για τα διάφορα ποσοστά απόσβεσης είναι ποιοτικά ίδια, ενώ παρουσιάζονται κάποιες ποσοτικές διαφορές. Πιο αναλυτικά, καθώς μειώνονται οι τιμές της παραμέτρου  $\xi$  εμφανίζονται υψηλότερες τιμές κατακόρυφων ενισχύσεων σε όλη την έκταση της εδαφικής λεκάνης. Όλες οι αναλύσεις εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους στις ακραίες θέσεις της λεκάνης με ένα μικρό εύρος τιμών που κυμαίνεται σε  $x/B$  από 0.46 έως 0.465 και  $x/\lambda$  από 1.84 έως 1.86.



**Σχήμα 4.27:** Επίδραση ποσοστού απόσβεσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #20, #3, #19 και #21, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διεγερση του Αιγίου

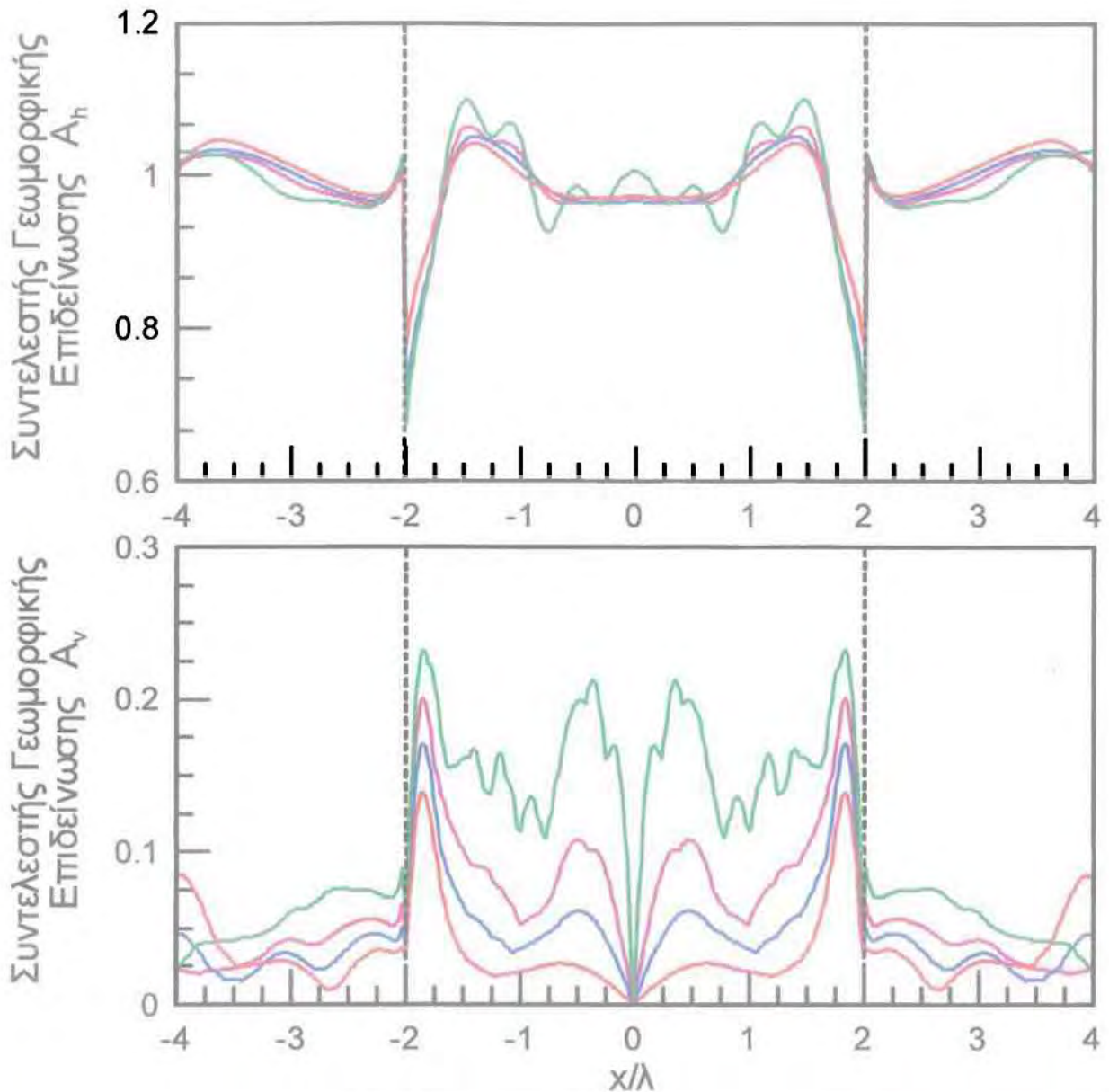


**Σχήμα 4.28:** Επίδραση ποσοστού απόσβεσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #20, #3, #19 και #21, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος  $B$  αυτής, για τη διέγερση της Κοζάνης



$B/\lambda = 4$	$\lambda/H=5$	(20) $\xi=1\%$
$\alpha = 0.5$	$i = 45^\circ$	(3) $\xi=5\%$
$T = 1 \text{ sec}$		(19) $\xi=10\%$
$B = 1000 \text{ m}$	$H = 50 \text{ m}$	(21) $\xi=20\%$
$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_b = 500 \text{ m/s}$	

Σχήμα 4.29: Επίδραση ποσοστού απόσβεσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #20, #3, #19 και #21, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου



$B/\lambda = 4$	$\lambda/H=5$	(20) $\xi=1\%$
$\alpha = 0.5$	$i = 45^\circ$	(3) $\xi=5\%$
$T = 1 \text{ sec}$		(19) $\xi=10\%$
$B = 1000 \text{ m}$	$H = 50 \text{ m}$	(21) $\xi=20\%$
$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_b = 500 \text{ m/s}$	

**Σχήμα 4.30:** Επίδραση ποσοστού απόσβεσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις αναλύσεων #20, #3, #19 και #21, ως συνάρτηση της απόστασης  $x$  από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος διαμηθικών κυμάτων  $\lambda$  εντός αυτής, για τη διέγερση του Αιγίου

#### 4.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΘΕΣΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις των συγκριτικών διαγραμμάτων της χωρικής διαφοροποίησης του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης  $A_h$ , παρατηρήθηκε ότι η θέση στην οποία εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές μεταβαίνει σταδιακά από το κέντρο της λεκάνης προς τα άκρα αυτής, καθώς μεταβάλλονται οι παράμετροι  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$ . Έγινε προσπάθεια, συγκεντρώνοντας το σύνολο των περιπτώσεων, να διαμορφωθούν δύο περιοχές κατά μήκος της λεκάνης, στις οποίες κατατάσσονται οι αναλύσεις ανάλογα με το σημείο εμφάνισης της μέγιστης τιμής. Πιο αναλυτικά, υπάρχει μια ομάδα αναλύσεων στην οποία ανήκουν εκείνες που η μέγιστη τιμή τους παρατηρείται σε μια περιοχή πλησίον των άκρων της λεκάνης και μια δεύτερη ομάδα, της οποίας οι αναλύσεις εμφανίζουν μέγιστη τιμή στην υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης γύρω από το κέντρο της. Έτσι, καθορίστηκε ένα όριο των δύο περιοχών (κέντρο – άκρα), ώστε να υπάρχει ταύτιση της περιοχής που συμβαίνει το μέγιστο τόσο στην περίπτωση της διέγερσης του Αιγίου όσο και της Κοζάνης. Το γεωμετρικό αυτό όριο, έπειτα από παρατήρηση, ορίστηκε ως  $\pm 0.3 \cdot B$ , από το κέντρο της λεκάνης.

Σε επόμενο βήμα, η έρευνα επικεντρώθηκε στις παραμέτρους που καθορίζουν την κατάταξη των αναλύσεων σε μια από τις δύο περιοχές. Καθώς παρατηρήθηκε ότι ο συσχετισμός των παραμέτρων  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$  παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χωρικής διαφοροποίησης, έγινε προσπάθεια εύρεσης ενός τρόπου ερμηνείας που να λαμβάνει με κάποιο τρόπο υπόψη αυτές τις παραμέτρους. Έτσι διαπιστώθηκε ότι, το γινόμενο των δύο λόγων  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$ , δηλαδή ο αδιάστατος λόγος  $B/H$  που συνδέεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, είναι μια αρκετά διαφωτιστική παράμετρος για το διαχωρισμό των αναλύσεων στις δύο περιοχές (κέντρο και άκρα), σε συνδυασμό βέβαια με το δεσπόζον μήκος κύματος και το λόγο εμπέδησης. Πιο αναλυτικά, εξετάζοντας προσεκτικά τις τιμές του λόγου  $B/H$  για τις αναλύσεις με λόγο εμπέδησης 0.5 και μεγαλύτερο, παρατηρήθηκε πως οι περιπτώσεις λεκανών με υψηλές τιμές  $B/H$  εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή στην περιοχή των άκρων, ενώ αυτές με μικρό λόγο  $B/H$  την εμφανίζουν στην περιοχή του κέντρου. Είναι δύσκολη η εύρεση μιας οριακής τιμής του  $B/H$  για τον καθορισμό των δύο περιοχών καθώς υπάρχει επίδραση και του δεσπόζοντος μήκους κύματος,  $\lambda$ . Ειδικότερα, για σταθερή τιμή του  $B/H$  όσο αυξάνει το  $\lambda$ , η μέγιστη ενίσχυση τείνει να μεταφέρεται προς το κέντρο. Έτσι, σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, όταν η τιμή του λόγου  $B/H$  γίνει μεγαλύτερη του 16 τότε η ανάλυση ανήκει στην περιοχή των άκρων, ενώ όταν γίνει μικρότερη του 8, η ανάλυση εμφανίζει τη μέγιστη ενίσχυση στην περιοχή του κέντρου. Ως γκριζα ζώνη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η περιοχή με εύρος τιμών από  $B/H=9$  έως  $B/H=15$ , καθώς εκεί παρατηρήθηκαν περιπτώσεις με κοινή τιμή  $B/H$  οι οποίες εμφάνισαν μέγιστα σε διαφορετικές περιοχές.

Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει ότι, η γεωμετρία μας δίνει μια πρώτη γεύση για τη θέση όπου σημειώνεται η μέγιστη οριζόντια ενίσχυση, με μια διαφοροποίηση που οφείλεται στην επίδραση του μήκους κύματος,  $\lambda$ .

Πρέπει να τονιστεί ότι, τα συμπεράσματα για το γεωμετρικό λόγο  $B/H$  έχουν ισχύ όταν ο λόγος εμπέδησης παίρνει ενδιάμεσες έως υψηλές τιμές ( $a > 0.5$ ). Όταν υπάρχει έντονη αντίθεση των δυσκαμψιών μεταξύ του μαλακού εδάφους και του βραχώδους υποβάθρου, (δηλ. σε μικρές τιμές του λόγου  $a$ ) τότε σχηματίζονται κυματοειδείς μορφές χωρικής διαφοροποίησης των οριζόντιων ενισχύσεων, με αποτέλεσμα την πιθανότητα εμφάνισης της μέγιστης τιμής σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της εδαφικής λεκάνης. Επομένως, ένας μικρός λόγος εμπέδησης ( $a < 0.5$ ) επηρεάζει σημαντικά το σημείο εμφάνισης της μέγιστης γεωμορφικής επιδείνωσης και δεν μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα γενικής χρήσης.

Σε αυτό το σημείο, θα ήταν χρήσιμο, να συγκεντρώσουμε τα εύρη της θέσης εμφάνισης των μέγιστων τιμών του συντελεστή  $A_h$  ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος εντός της λεκάνης.

#### Περιοχή άκρων

Το εύρος τιμών των περισσότερων αναλύσεων, οι οποίες εμφανίζουν μέγιστες ενισχύσεις στην περιοχή των άκρων, κυμαίνεται από  $x/\lambda=1.2$  έως  $1.62$  με όμοια απόκριση και για τις δύο διεγέρσεις. Αξιοσημείωτη αποκλίνουσα συμπεριφορά παρατηρείται σε τέσσερις αναλύσεις, οι οποίες εμφανίζουν τη μέγιστη ενίσχυσή τους, στην περιοχή των άκρων, σε τιμές  $x/\lambda$  αρκετά υψηλότερες. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι, οι συγκεκριμένες αναλύσεις έχουν αρκετά μεγάλους λόγους  $B/\lambda$ . Πιο αναλυτικά :

	Κοζάνη	Αίγιο
για $B/\lambda=20$	$xh_m/\lambda=8.2$	$xh_m/\lambda=8.5$
για $B/\lambda=10$	$xh_m/\lambda=4.35$	$xh_m/\lambda=4.25$
για $B/\lambda=10$	$xh_m/\lambda=3.5$	$xh_m/\lambda=3.55$
για $B/\lambda=9$	$xh_m/\lambda=3.87$	$xh_m/\lambda=3.825$



Περιοχή κέντρου

Το εύρος τιμών των αναλύσεων, οι οποίες εμφανίζουν μέγιστες ενισχύσεις στην περιοχή του κέντρου, κυμαίνεται από  $x/\lambda=0$  έως 0.48, με εξαίρεση την ανάλυση # 27 που εμφανίζει μέγιστο στο  $x/\lambda=1$ .

Συντελεστής  $A_v$ 

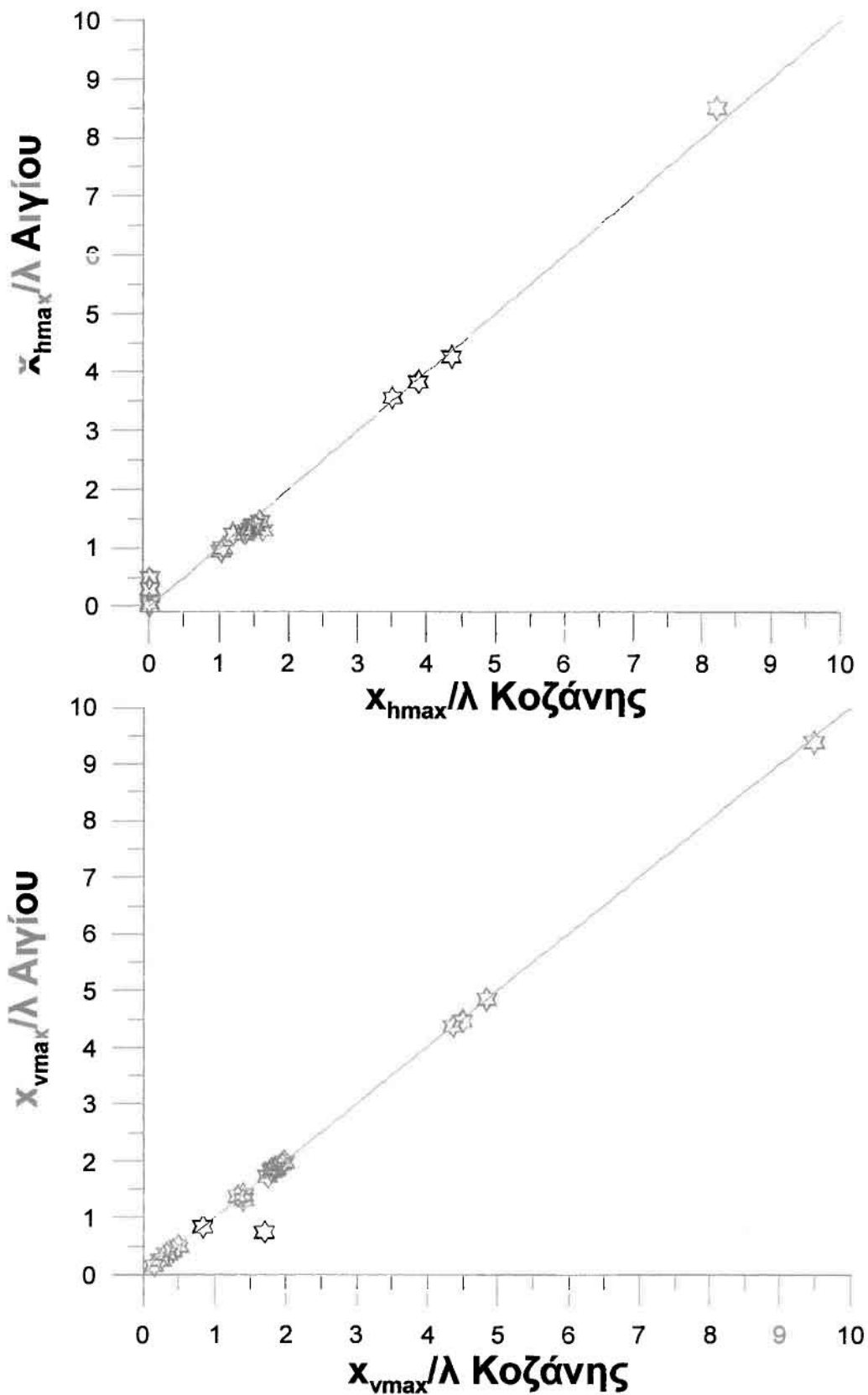
Όλες οι αναλύσεις εμφανίζουν τη μέγιστη κατακόρυφη επιδείνωση στην περιοχή που ορίστηκε ως άκρα. Εξαίρεση αποτελούν οι δύο τριγωνικές αναλύσεις, #7 και # 26, οι οποίες εμφανίζουν τη μέγιστη κατακόρυφη ενίσχυση σε  $x/B = 0.25$  και για τους δύο σεισμούς.

**4.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Για τη μελέτη της επίδρασης των κύκλων φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές διεγέρσεις, ο σεισμός του Αιγίου με λίγους σημαντικούς κύκλους φόρτισης και εκείνος της Κοζάνης, με πολλούς. Γενικά, οι δύο διεγέρσεις δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη ποιοτική διαφοροποίηση.

Στο Σχήμα 4.31 αποτυπώνονται οι μέγιστες τιμές των συντελεστών  $A_h$  και  $A_v$ , για το σύνολο των αναλύσεων και για τις δύο διεγέρσεις. Στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις παρατηρείται μια μικρή υπεροχή των πολλών κύκλων φόρτισης στις μικρές τιμές, η οποία όμως δεν επεκτείνεται σε μεγαλύτερες επιδεινώσεις. Η αρνητική επίδραση των πολλών κύκλων φόρτισης, περιορίζεται στις μικρές ενισχύσεις, καθώς σε μεγαλύτερες τιμές, η όποια επιρροή των κύκλων φόρτισης είναι πολύ μικρή σε σχέση με την επίδραση των υπόλοιπων παραμέτρων στη διαμόρφωση της απόκρισης στην επιφάνεια της λεκάνης.

Στο σχήμα 4.32 γίνεται μια σύγκριση των αποκρίσεων δύο σεισμών ως προς τη θέση εμφάνισης των μέγιστων τιμών των συντελεστών  $A_h$  και  $A_v$ , σε σχέση με το δεσπόζον μήκος κύματος της διέγερσης, δηλαδή οι αποστάσεις  $(x_{hmax} / \lambda)$ ,  $(x_{vmax} / \lambda)$ . Όπως προκύπτει, οι μέγιστες κατακόρυφες ενισχύσεις συμβαίνουν στην ίδια ακριβώς τιμή του λόγου  $x_{vmax}/\lambda$ , τόσο για το σεισμό του Αιγίου όσο και της Κοζάνης. Μακροσκοπικά, καταλήγουμε στο ίδιο συμπέρασμα και για το συντελεστή οριζόντιων ενισχύσεων, με ίσως λίγο μεγαλύτερες αποκλίσεις.



**Σχήμα 4.32:** Διάγραμμα θέσεων εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων για τις διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης

## Κοζάνη

#	B/λ	λ/H	α	i(o)	ξ(%)	x <sub>mh</sub> /λ	x <sub>mh</sub> /B	A <sub>hmax</sub>	x <sub>mv</sub> /λ	x <sub>mv</sub> /B	A <sub>vmax</sub>	B/H
1	4	5	0.50	45	5	1.35	0.338	1.0692	1.85	0.463	0.1728	20.0
2	9	5.556	0.50	45	5	3.87	0.43	1.0256	4.365	0.485	0.1388	50.0
3	4	5	0.50	45	5	1.46	0.365	1.066	1.84	0.46	0.2004	20.0
4	4	5	0.25	45	5	0	0	1.1008	1.8	0.45	0.258	20.0
5	4	5	0.75	45	5	1.5	0.375	1.0313	1.86	0.465	0.0986	20.0
6	20	1	0.50	45	5	8.2	0.41	1.1827	9.5	0.475	0.4589	20.0
7	1	2	0.50	45	5	0	0	1.6927	0.25	0.25	0.745	2.0
8	1	5	0.50	45	5	0	0	1.0779	0.34	0.34	0.2024	5.0
9	2	5	0.50	45	5	0	0	1.045	0.84	0.42	0.1786	10.0
10	4	5	0.50	45	5	1.46	0.365	1.066	1.84	0.46	0.2004	20.0
11	1	10	0.50	45	5	0	0	1.021	0.42	0.42	0.069	10.0
13	4	0.667	0.50	45	5	0	0	1.5235	1.4	0.35	0.8108	2.7
14	4	1	0.50	45	5	0	0	1.3786	1.4	0.35	0.5306	4.0
15	4	4	0.50	45	5	1.2	0.3	1.125	1.8	0.45	0.2665	16.0
16	4	5	0.50	30	5	1.36	0.34	1.0593	1.74	0.435	0.1837	20.0
17	4	5	0.50	60	5	1.52	0.38	1.0668	1.9	0.475	0.2013	20.0
18	4	5	0.50	90	5	1.58	0.395	1.0665	1.98	0.495	0.2027	20.0
19	4	5	0.50	45	10	1.4	0.35	1.0521	1.84	0.46	0.1713	20.0
20	4	5	0.50	45	1	1.48	0.37	1.0997	1.84	0.46	0.2329	20.0
21	4	5	0.50	45	20	1.4	0.35	1.0436	1.84	0.46	0.139	20.0
22	4	12.5	0.50	45	5	1.62	0.405	1.0048	1.94	0.485	0.0409	50.0
23	4	5	0.50	15	5	1.02	0.26	1.005	1.32	0.33	0.1364	20.0
24	10	5	0.50	45	5	4.35	0.435	1.0388	4.85	0.485	0.1565	50.0
25	0.5	5	0.50	45	5	0	0	0.7948	0.15	0.3	0.1161	2.5
26	2	1	0.50	45	5	0	0	1.2537	0.5	0.25	0.4514	2.0
27	4	2	0.50	45	5	1.05	0.263	1.3979	1.7	0.425	0.5246	8.0
28	10	1	0.50	45	5	3.5	0.35	1.1885	4.5	0.45	0.6638	10.0

**Πίνακας :** Τιμές των  $A_{hmax}$ , της θέσης εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων ενισχύσεων ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος και το άνοιγμα της λεκάνης ( $x_{mh}/\lambda$ ,  $x_{mh}/B$ ) και τιμές των  $A_{vmax}$ , της θέσης εμφάνισης των μέγιστων κατακόρυφων ενισχύσεων ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος και το άνοιγμα της λεκάνης ( $x_{mv}/\lambda$ ,  $x_{mv}/B$ ) συναρτήσει των παραμέτρων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $\alpha$ ,  $i$  και  $\xi$  των αναλύσεων, για το σεισμό της Κοζάνης

## Αίγιο

#	B/λ	λ/H	α	i(ο)	ξ(%)	x <sub>mh</sub> /λ	x <sub>mh</sub> /B	A <sub>hmax</sub>	x <sub>mv</sub> /λ	x <sub>mv</sub> /B	A <sub>vmax</sub>	B/H
1	4	5	0.50	45	5	1.3	0.325	1.0387	1.85	0.463	0.1111	20.0
2	9	5.556	0.50	45	5	3.83	0.425	1.0232	4.365	0.485	0.0927	50.0
3	4	5	0.50	45	5	1.32	0.33	1.0454	1.84	0.46	0.1351	20.0
4	4	5	0.25	45	5	0.48	0.12	1.0533	1.84	0.46	0.1774	20.0
5	4	5	0.75	45	5	1.38	0.345	1.0262	1.86	0.465	0.0691	20.0
6	20	1	0.50	45	5	8.5	0.425	1.3185	9.4	0.47	0.5873	20.0
7	1	2	0.50	45	5	0	0	1.394	0.25	0.25	0.4523	2.0
8	1	5	0.50	45	5	0	0	0.9991	0.36	0.36	0.1377	5.0
9	2	5	0.50	45	5	0.28	0.15	1.0377	0.84	0.42	0.131	10.0
10	4	5	0.50	45	5	1.32	0.33	1.0454	1.84	0.46	0.1351	20.0
11	1	10	0.50	45	5	0.28	0.28	1.0219	0.42	0.42	0.1125	10.0
12	4	5	0.10	45	5	0.4	0.1	1.1194	1.8	0.45	0.2629	20.0
13	4	0.667	0.50	45	5	0	0	1.6554	1.3	0.325	0.8751	2.7
14	4	1	0.50	45	5	0.3	0.075	1.3568	1.4	0.35	0.5899	4.0
15	4	4	0.50	45	5	1.23	0.306	1.081	1.8	0.45	0.1802	16.0
16	4	5	0.50	30	5	1.24	0.31	1.0428	1.72	0.43	0.123	20.0
17	4	5	0.50	60	5	1.38	0.345	1.0461	1.9	0.475	0.1399	20.0
18	4	5	0.50	90	5	1.44	0.36	1.047	1.98	0.495	0.1473	20.0
19	4	5	0.50	45	10	1.3	0.325	1.0379	1.84	0.46	0.1111	20.0
20	4	5	0.50	45	1	1.3	0.325	1.0654	1.86	0.465	0.1889	20.0
21	4	5	0.50	45	20	1.3	0.325	1.0326	1.86	0.465	0.084	20.0
22	4	12.5	0.50	45	5	1.3	0.33	1.0151	1.94	0.485	0.0544	50.0
23	4	5	0.50	15	5	0.94	0.24	1.0156	1.38	0.345	0.0932	20.0
24	10	5	0.50	45	5	4.25	0.425	1.0292	4.85	0.485	0.1062	50.0
25	0.5	5	0.50	45	5	0.05	0.1	0.7514	0.15	0.3	0.0714	2.5
26	2	1	0.50	45	5	0	0	1.6553	0.5	0.25	0.5559	2.0
27	4	2	0.50	45	5	1	0.25	1.4019	0.75	0.188	0.4363	8.0
28	10	1	0.50	45	5	3.55	0.355	1.3272	4.45	0.445	0.6556	10.0

**Πίνακας :** Τιμές των  $A_{hmax}$ , της θέσης εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων ενισχύσεων ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος και το άνοιγμα της λεκάνης ( $x_{mh}/\lambda$ ,  $x_{mh}/B$ ) και τιμές των  $A_{vmax}$ , της θέσης εμφάνισης των μέγιστων κατακόρυφων ενισχύσεων ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος και το άνοιγμα της λεκάνης ( $x_{mv}/\lambda$ ,  $x_{mv}/B$ ) συναρτήσει των παραμέτρων  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $\alpha$ ,  $i$  και  $\xi$  των αναλύσεων, για το σεισμό του Αιγίου

#### 4.6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Στο σημείο αυτό γίνεται μια προσπάθεια συσχέτισης ορισμένων ποιοτικών συμπερασμάτων που έχουν εξαχθεί από την παρούσα εργασία με αντίστοιχα συμπεράσματα άλλων εργασιών.

Στο 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, σε σχετικό άρθρο (Seismic soil foundation – frame interaction under valley – affected ground motion, Gelagoti, Kourkoulis, Anastasopoulos, Gazetas) αναφέρεται ότι, σε μια προσπάθεια αδιαστατοποίησης των αποτελεσμάτων τους, εισάγουν το λόγο  $x = \lambda / D$  (μήκος κύματος προς βάθος της κοιλάδας). Τονίζουν ότι, η αδιάστατη παράμετρος  $x$  είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως μέτρο της 'ικανότητας' των παραγόμενων σεισμικών κυμάτων να αντιληφθούν την 2Δ γεωμετρία της κοιλάδας. Επιπλέον αναφέρουν ότι, χαμηλές τιμές του λόγου  $x$  είναι ενδεικτικές μικρού μήκους κύματος σχετικά με τις διαστάσεις της κοιλάδας, που οδηγεί σε αυξημένη ικανότητα αντίληψης της γεωμετρίας και επομένως αναπαραγωγής των κυματικών ανακλάσεων που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν λόγω αυτής. Ο αντίστοιχος όρος της παρούσας εργασίας είναι ο λόγος  $\lambda / H$ , για τον οποίο παρατηρήθηκε ότι, η τιμή του δίνει μια γεύση για το επίπεδο της επιδείνωσης, καθώς αποδείχθηκε ότι αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για τον καθορισμό της τιμής ενίσχυσης και πιο συγκεκριμένα σε μικρές τιμές του εμφανίζονται υψηλές ενισχύσεις.

Στο ίδιο άρθρο και επιπλέον στα : seismic wave propagation in alluvial valleys : sensitivity to ground motion details and soil nonlinearity. generation of parasitic vertical component (1) (Gelagoti, Kourkoulis, Anastasopoulos, Tazoh, Gazetas), linear and nonlinear valley amplification effects on seismic ground motion (Psarropoulos, Tazoh, Gazetas, Apostolou) και στην εργασία επίδραση μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική επιτάχυνση (Γριντάκης 2009), επισημαίνεται η σπουδαιότητα της παρασιτικής κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης. Οι κατακόρυφες ενισχύσεις, σε όλες τις αναλύσεις μηδενίζονται στο κέντρο της εδαφικής λεκάνης, ενώ εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές τους στην περιοχή πλησίον των άκρων της λεκάνης. (με κάποιο εύρος φυσικά). Οι παρατηρήσεις αυτές έχουν ισχύ και στις παρούσες αναλύσεις.

Στο άρθρο (1) επισημαίνεται η ήπια τάση μετάβασης της θέσης εμφάνισης της μέγιστης τιμής των οριζόντιων ενισχύσεων από τα άκρα προς την πιο κεντρική περιοχή της λεκάνης, καθώς το δεσπόζον μήκος κύματος αυξάνεται, για σταθερή γεωμετρία, κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί και στην παρούσα εργασία, εάν συγκρίνουμε λεκάνες με ίδια γεωμετρία ή ακόμη και με ίδιο λόγο γεωμετρικών χαρακτηριστικών  $B/H$ .

---

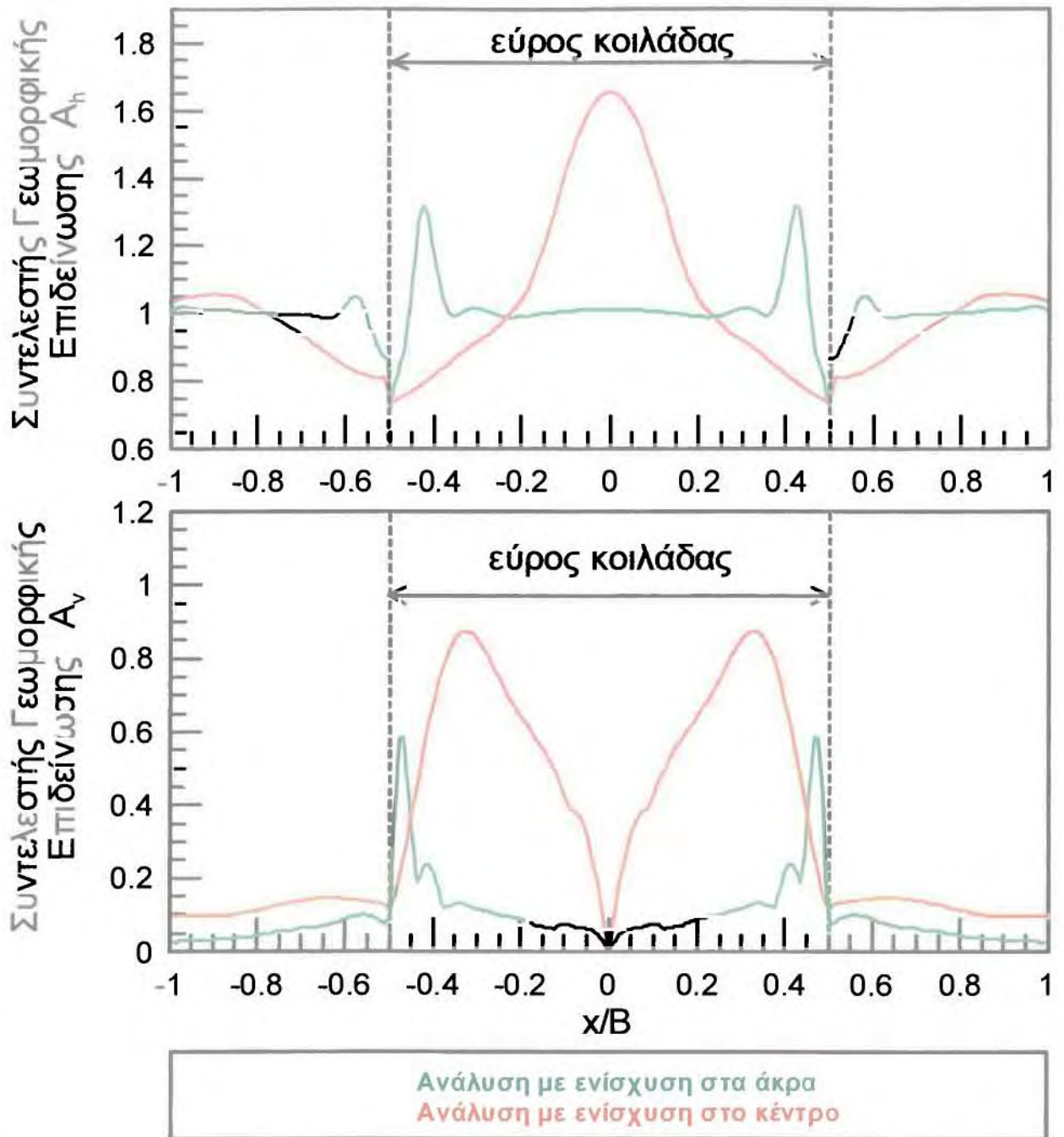
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Στατιστική επεξεργασία αριθμητικών αποτελεσμάτων

---

### 5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο Σχήμα 5.1 δίνονται τα τυπικά αποτελέσματα γεωμορφικής ενίσχυσης  $A_h$  και  $A_v$  για μια 2D κοιλάδα τραπεζοειδούς διατομής πάχους  $H$  και εύρους  $B$ , όπως προκύπτουν με βάση τις αναλύσεις που παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4. Με βάση το σχήμα αυτό προκύπτει συμμετρία της γεωμορφικής ενίσχυσης ως προς τον άξονα συμμετρίας της λεκάνης και ότι ενδιαφέρον, από πρακτικής σκοπιάς, παρουσιάζουν δύο χαρακτηριστικές τιμές της γεωμορφικής ενίσχυσης, δηλαδή οι:

- $A_{hmax}$  που είναι η μέγιστη γεωμορφική ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης, και η
- $A_{vmax}$  που είναι η μέγιστη γεωμορφική ενίσχυση της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης.



Σχήμα 5.1: Τυπικά αποτελέσματα οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων

Έτσι, στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια προσπάθεια κατάστρωσης προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης των τιμών  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  συναρτήσεων των βασικών παραμέτρων του προβλήματος της γεωμορφικής ενίσχυσης, δηλαδή του αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$ , του αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$ , του λόγου εμπέδησης  $a$ , της κλίσης πρανών στα άκρα λεκάνης  $i$  και του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  του εδάφους.

Σκοπός των δυο προσεγγιστικών σχέσεων αυτών είναι η γενίκευση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται εδώ και για συνδυασμούς  $2\Delta$  λεκάνης τραπεζοειδούς διατομής – σεισμικής διέγερσης που δεν αναλύθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, τουλάχιστον για τα μεγέθη πρακτικού ενδιαφέροντος από απόψεως σχεδιασμού.

Πιο συγκεκριμένα, για την κατάστρωση των προσεγγιστικών σχέσεων για τις παραμέτρους σχεδιασμού  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  επιλέχθηκαν μαθηματικές μορφές οι οποίες είναι απλές, έχουν τη δυνατότητα να συνδυάσουν την επίδραση όλων των παραμέτρων ενός πολύπλοκου προβλήματος και ικανοποιούν το φυσικό νόημα κάθε τάσης, με βάση τα συγκριτικά διαγράμματα του κεφ.4.

Συνεπώς, η γενική μορφή των προσεγγιστικών σχέσεων έχει ως ακολούθως:

$$A_{lunax} = 1 + b_1 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{b_2} \left( \frac{B}{\lambda s} \right)^{b_3} a^{b_4} i^{b_5} \xi^{b_6} \quad (5.1.1)$$

$$A_{vmax} = c_1 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{c_2} \left( \frac{B}{\lambda s} \right)^{c_3} a^{c_4} i^{c_5} \xi^{c_6} \quad (5.1.2)$$

όπου:

- $\lambda/H$**  : το πάχος  $H$  της λεκάνης αδιαστατοποιημένο ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος  $\lambda_s$  στο έδαφος ( $\lambda=VsTe$ , όπου  $Te$  η δεσπόζουσα περίοδος της διέγερσης)
- $B/\lambda$**  : το πλάτος  $B$  της λεκάνης αδιαστατοποιημένο ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος  $\lambda_s$  στο έδαφος ( $\lambda=VsTe$ , όπου  $Te$  η δεσπόζουσα περίοδος της διέγερσης)
- $a$**  : ο λόγος εμπέδησης εδάφους-υποβάθρου, όπου  $a=Vs / Vb$  με  $Vs$  και  $Vb$  η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στο έδαφος και το υπόβαθρο
- $i$**  : η κλίση του υποβάθρου στις άκρες της  $2\Delta$  εδαφικής λεκάνης
- $\xi$**  : το ποσοστό απόσβεσης του εδάφους
- $b1$  έως  $b6$**  είναι σταθερές προς εκτίμηση για τη σχέση 5.1.1 και
- $c1$  έως  $c6$**  είναι σταθερές προς εκτίμηση για τη σχέση 5.1.2, αντίστοιχα.



#	B/λ	λ/H	α	i(ο)	ξ(%)	Κοζάνη		Αίγιο	
						A <sub>hmax</sub>	A <sub>vmax</sub>	A <sub>hmax</sub>	A <sub>vmax</sub>
1	4	5	0.50	45	5	1.0692	0.1728	1.0387	0.1111
2	9	5.555556	0.50	45	5	1.0256	0.1388	1.0232	0.0927
3	4	5	0.50	45	5	1.066	0.2004	1.0454	0.1351
4	4	5	0.25	45	5	1.1008	0.258	1.0533	0.1774
5	4	5	0.75	45	5	1.0313	0.0986	1.0262	0.0691
6	20	1	0.50	45	5	1.1827	0.4589	1.3185	0.5873
7	1	2	0.50	45	5	1.6927	0.745	1.394	0.4523
8	1	5	0.50	45	5	1.0779	0.2024	0.9991	0.1377
9	2	5	0.50	45	5	1.045	0.1786	1.0377	0.131
10	4	5	0.50	45	5	1.066	0.2004	1.0454	0.1351
11	1	10	0.50	45	5	1.021	0.069	1.0219	0.1125
12	4	5	0.10	45	5	-	-	1.1194	0.2629
13	4	0.666667	0.50	45	5	1.5235	0.8108	1.6554	0.8751
14	4	1	0.50	45	5	1.3786	0.5306	1.3568	0.5899
15	4	4	0.50	45	5	1.125	0.2665	1.081	0.1802
16	4	5	0.50	30	5	1.0593	0.1837	1.0428	0.123
17	4	5	0.50	60	5	1.0668	0.2013	1.0461	0.1399
18	4	5	0.50	90	5	1.0665	0.2027	1.047	0.1473
19	4	5	0.50	45	10	1.0521	0.1713	1.0379	0.1111
20	4	5	0.50	45	1	1.0997	0.2329	1.0654	0.1889
21	4	5	0.50	45	20	1.0436	0.139	1.0326	0.084
22	4	12.5	0.50	45	5	1.0048	0.0409	1.0151	0.0544
23	4	5	0.50	15	5	1.005	0.1364	1.0156	0.0932
24	10	5	0.50	45	5	1.0388	0.1565	1.0292	0.1062
25	0.5	5	0.50	45	5	0.7948	0.1161	0.7514	0.0714
26	2	1	0.50	45	5	1.2537	0.4514	1.6553	0.5559
27	4	2	0.50	45	5	1.3979	0.5246	1.4019	0.4363
28	10	1	0.50	45	5	1.1885	0.6638	1.3272	0.6556

**Πίνακας 5.1:** Τιμές των A<sub>hmax</sub> και A<sub>vmax</sub> συναρτήσεσι των παραμέτρων B/λ, λ/H, α, i και ξ των αναλύσεων.

## 5.2. ΣΧΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

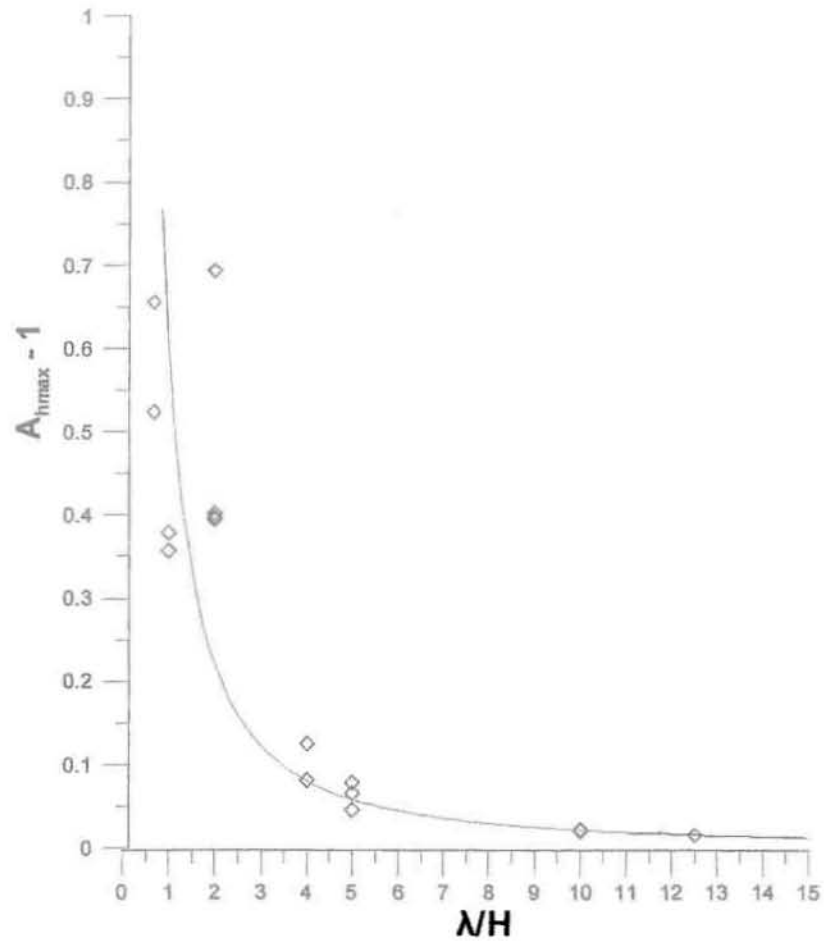
Με βάση όσα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4, η μέγιστη γεωμορφική ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης  $A_{hmax}$  είναι συνάρτηση των  $L/H$ ,  $B/\lambda$ ,  $a$ ,  $i$  και  $\xi$ . Στη στατιστική επεξεργασία που ακολουθεί, για την περίπτωση της οριζόντιας ενίσχυσης επιλέχθηκε ως τρόπος επεξεργασίας, η προβολή του  $A_{hmax} - 1$  αντί του  $A_{hmax}$ , στον κατακόρυφο άξονα των διαγραμμάτων καθώς δόθηκε έμφαση στη δισδιάστατη συμπεριφορά, δηλαδή στις τιμές που εξέχουν της μονάδας. Επίσης, για την εξαγωγή των σχέσεων δεν υπήρχε ως παράμετρος ο αριθμός των κύκλων φόρτισης. Επομένως, τοποθετήθηκαν ως σημεία οι μέγιστες ενισχύσεις και των δύο διεγέρσεων, δημιουργώντας μεγαλύτερο εύρος.

### 5.2.1 Συσχέτιση $A_{hmax} - 1$ με $L/H$

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η συσχέτιση της  $A_{hmax} - 1$  με το αδιάστατο πάχος της λεκάνης  $L/H$  με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων της παρούσας εργασίας. Όπως προκύπτει, η τιμή της  $A_{hmax} - 1$  αυξάνει αρκετά ως συνάρτηση του  $L/H$ . Στο διάγραμμα αυτό, τοποθετήθηκαν οι αναλύσεις που προέρχονται από τα συγκριτικά διαγράμματα στα οποία μελετάται η επίδραση του  $L/H$ . Κατ' επέκταση, αποτυπώνονται μαζί δύο ομάδες δεδομένων, η κάθε μια για διαφορετικό λόγο  $B/\lambda$ , ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές και ίδιες για τις δύο ομάδες. Σε λεκάνες, στις οποίες το πάχος τους είναι σαφώς μεγαλύτερο από το δεσπόζον μήκος κύματος μέσα σε αυτές, αναμένονται μεγάλες ενισχύσεις. Η στατιστική επεξεργασία άρχισε με τη μελέτη της παραμέτρου  $L/H$ , διότι αφενός, όπως προέκυψε, είναι μια αρκετά σημαντική παράμετρος για τον καθορισμό της τιμής της ενίσχυσης και αφετέρου η παράμετρος  $B/\lambda$  δεν επιδρά σημαντικά στη διασπορά των δεδομένων. Η σχέση βέλτιστης προσέγγισης των αποτελεσμάτων της σχέσης  $A_{hmax} - 1$  με το  $L/H$ , που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2.1, είναι η:

$$A_{hmax} - 1 = 0.6 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-1.45} \quad (5.2.1)$$

Να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε και προτείνεται για εύρος τιμών  $L/H=0.667$  έως 12.5



Σχήμα 5.2: Επίδραση του αδιάστατου πάχους  $\lambda/H$  στην τιμή της  $A_{hmax}^{-1}$

5.2.2 Συσχέτιση  $A_{hmax} - 1$  με  $B/\lambda$ 

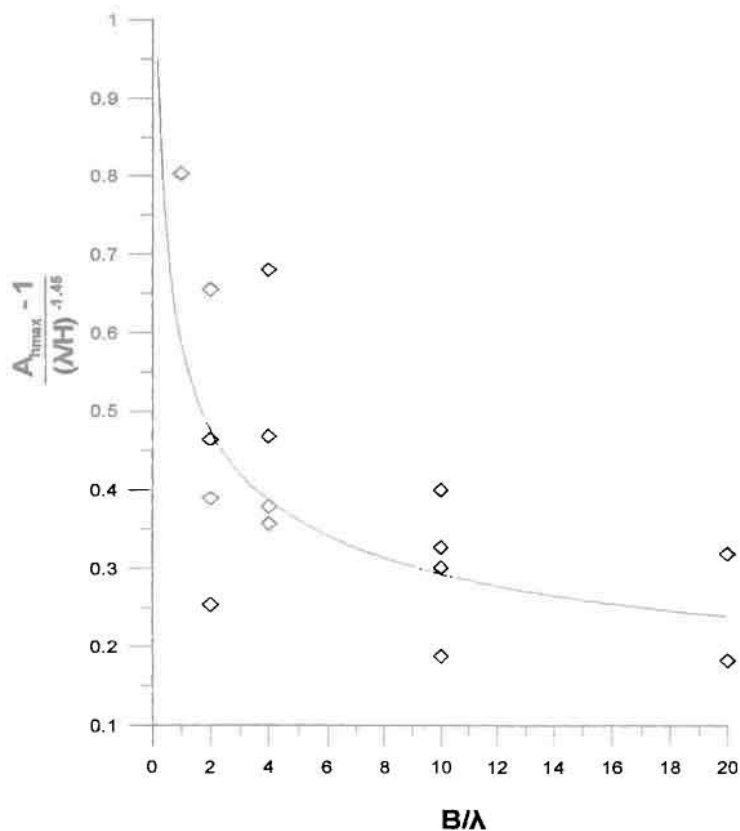
Στο Σχήμα 5.3 διερευνάται η επίδραση του αδιάστατου πλάτους λεκάνης  $B/\lambda$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$ . Επιδιώκοντας την απαλοιφή της επίδρασης της παραμέτρου  $\lambda/H$ , η τιμή  $A_{hmax} - 1$  διαιρέθηκε με τη συνάρτηση επίδρασης του λόγου  $\lambda/H$ . (χωρίς τον πολλαπλασιαστή)

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45}}$$

Όπως προκύπτει, η παραπάνω τιμή δείχνει να αυξάνει με τη μείωση του λόγου  $B/\lambda$ . Σε λεκάνες, στις οποίες το εύρος τους είναι μικρό σε σχέση με το μήκος κύματος, οι τιμές των ενισχύσεων τείνουν να αυξηθούν, παρά την παρατηρούμενη διασπορά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμη και σε πολύ μεγάλους λόγους  $B/\lambda$  παραμένει μια τιμή ενίσχυσης, γεγονός που δείχνει ότι κρατώντας το μήκος κύματος σταθερό, κοιλάδες οι οποίες έχουν μεγάλο άνοιγμα θα εμφανίσουν κάποιες ενισχύσεις σε μια περιοχή επίδρασης κοντά στα πλευρικά όρια της λεκάνης. Η βέλτιστη προσέγγιση διαμορφώνεται ως:

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45}} = 0.585 \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} \quad (5.2.2)$$

Να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε και προτείνεται για εύρος τιμών  $B/\lambda=1$  έως 20



Σχήμα 5.3: Επίδραση του αδιάστατου πλάτους  $B/\lambda$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$

5.2.3 Συσχέτιση  $A_{hmax} - 1$  με  $a$ 

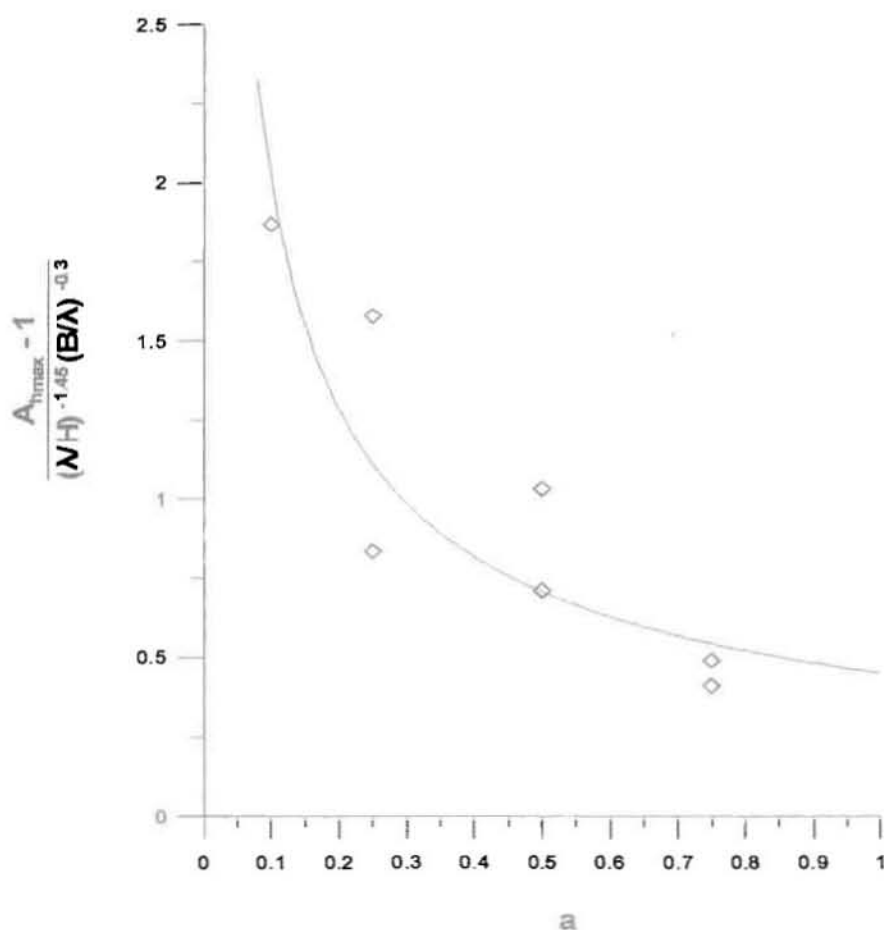
Στο Σχήμα 5.4 διερευνάται η επίδραση του λόγου εμπέδησης  $a$  ( $=V_s/V_b$ ) στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$ , διαιρεμένη με τις εκφράσεις των  $\lambda/H$  και  $B/\lambda$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.4 η τιμή του λόγου εμπέδησης συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3}}$$

Όπως προκύπτει, η ανηγμένη τιμή της  $A_{hmax} - 1$  μειώνεται καθώς ο λόγος εμπέδησης αυξάνει. Για μικρές τιμές του λόγου εμπέδησης, δηλαδή όταν υπάρχει έντονη διαφορά δυσκαψίας μεταξύ εδάφους και βράχου, αναμένονται αυξημένες τιμές των ενισχύσεων. Η βέλτιστη προσέγγιση έχει ως :

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3}} = 0.45 a^{-0.65} \quad (5.2.3)$$

Να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε και προτείνεται για εύρος τιμών  $a=0.1$  έως  $0.75$



Σχήμα 5.4: Επίδραση του λόγου εμπέδησης  $a$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$

5.2.4 Συσχέτιση  $A_{hmax} - 1$  με  $i$ 

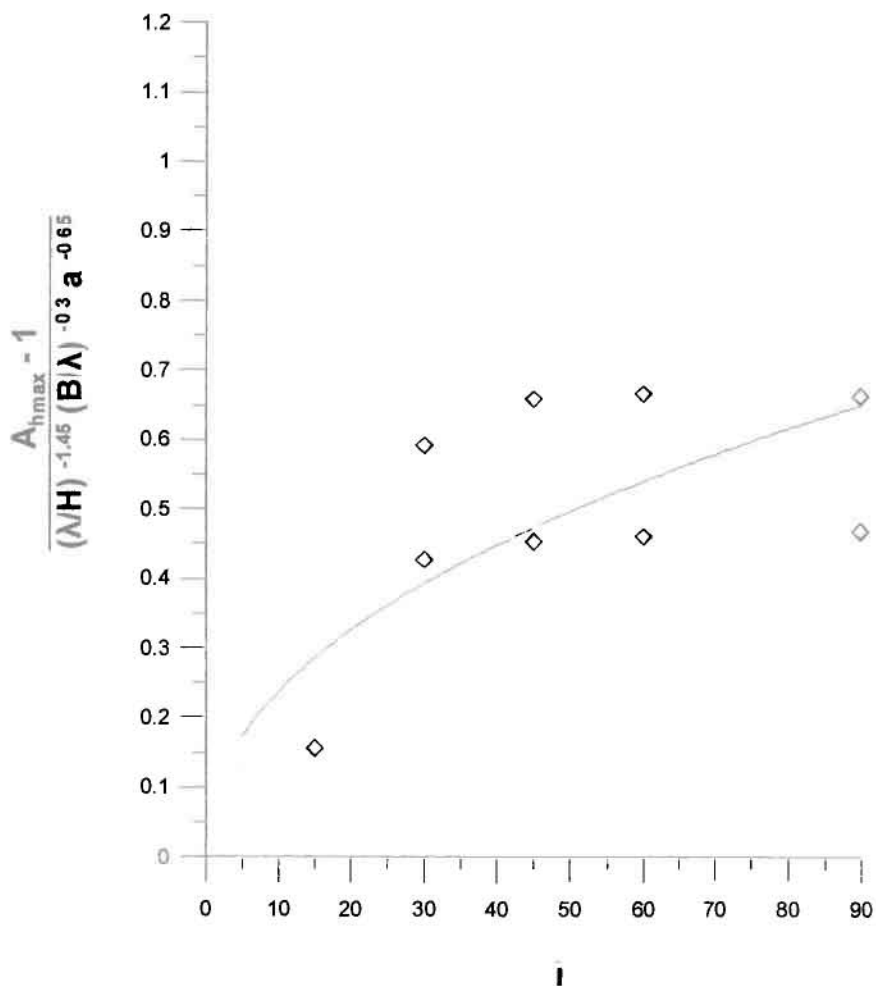
Στο Σχήμα 5.5 διερευνάται η επίδραση της γωνίας κλίσης των πρανών της λεκάνης  $i$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$ , διαιρεμένη με τις εκφράσεις των  $\lambda/H$  και  $B/\lambda$  και  $a$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.5 η τιμή της γωνίας κλίσης  $i$  συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} a^{-0.65}}$$

Όπως προκύπτει, η παραπάνω έκφραση αυξάνεται καθώς η κλίση γίνεται πιο απότομη, ενώ παρατηρείται και μικρότερη διασπορά. Η βέλτιστη προσέγγιση διαμορφώνεται ως:

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} a^{-0.65}} = 0.082 i^{0.46} \quad (5.2.4)$$

Να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε και προτείνεται για εύρος τιμών  $i=15^\circ$  έως  $90^\circ$



Σχήμα 5.5: Επίδραση της κλίσης των πρανών  $i$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$

5.2.5 Συσχέτιση  $A_{hmax} - 1$  με  $\xi$ 

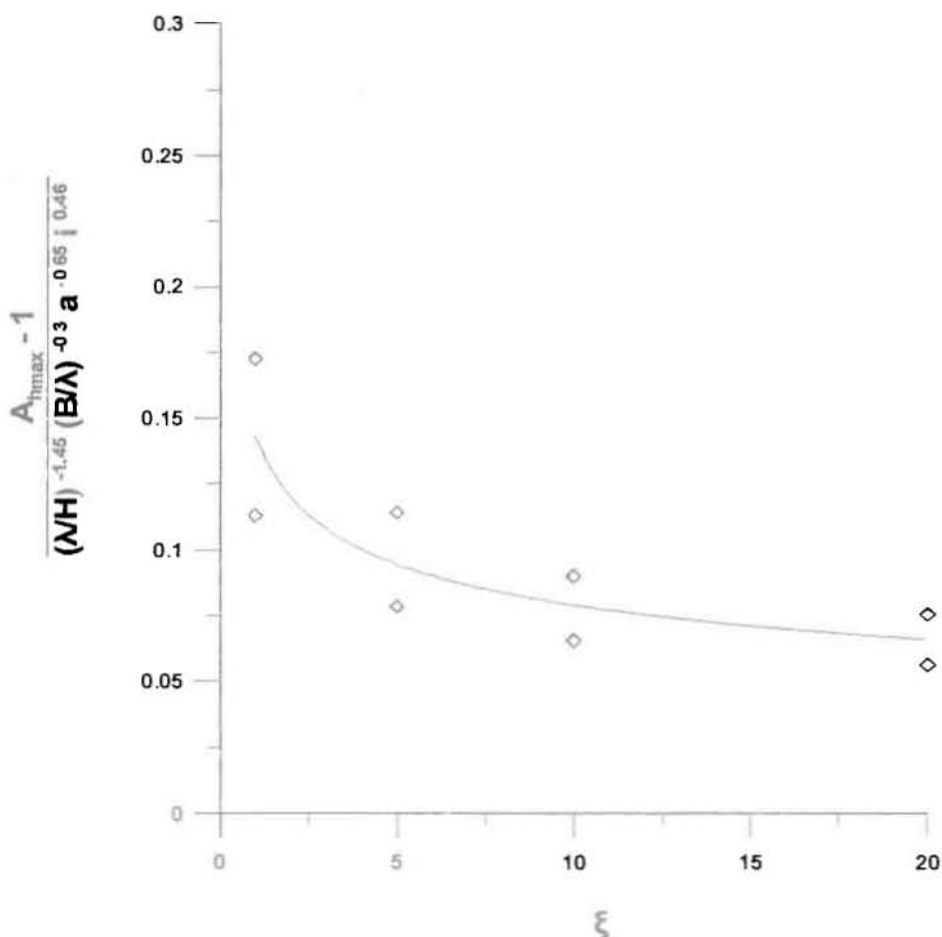
Στο Σχήμα 5.6 διερευνάται η επίδραση του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$  διαιρεμένη με τις εκφράσεις των  $\lambda/H$  και  $B/\lambda$ ,  $i$  και  $a$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.6 η τιμή του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} a^{-0.65} i^{0.46}}$$

Όπως προκύπτει, η παραπάνω έκφραση μειώνεται ως συνάρτηση του  $\xi$ , αλλά δεν παρουσιάζει πλέον σημαντική διασπορά. Η βέλτιστη προσέγγιση έχει ως :

$$\frac{(A_{hmax} - 1)}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} a^{-0.65} i^{0.46}} = 0.14 \xi^{-0.26} \quad (5.2.5)$$

Να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε και προτείνεται για εύρος τιμών  $\xi=1\%$  έως  $20\%$



Σχήμα 5.6: Επίδραση του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  στην τιμή της  $A_{hmax} - 1$

### 5.2.6 Επιλογή της τελικής σχέσης εκτίμησης

Μετά την εύρεση των επιμέρους συντελεστών (εκθετών) οι οποίοι δίνουν τη διάθεση επιρροής της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, σαν τελικό βήμα θα πρέπει να υπολογιστεί η τιμή της πολλαπλασιαστικής σταθεράς  $b_1$  της σχέσης 5.1.1. Μια αρχική προσέγγιση της τιμής αυτής, προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών της σχέσης 5.2.7 που προκύπτουν από όλες τις αναλύσεις. Στη συνέχεια, η τιμή της σταθεράς διαμορφώνεται κατά βούληση, με κριτήριο διάφορες στατιστικές παραμέτρους.

Τελική σχέση εκτίμησης μέγιστων ενισχύσεων :

$$A_{hmax} = 1 + 0.1151 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-1.45} \left( \frac{B}{\lambda} \right)^{-0.3} a^{-0.65} i^{0.46} \xi^{-0.26} \quad (5.2.6)$$

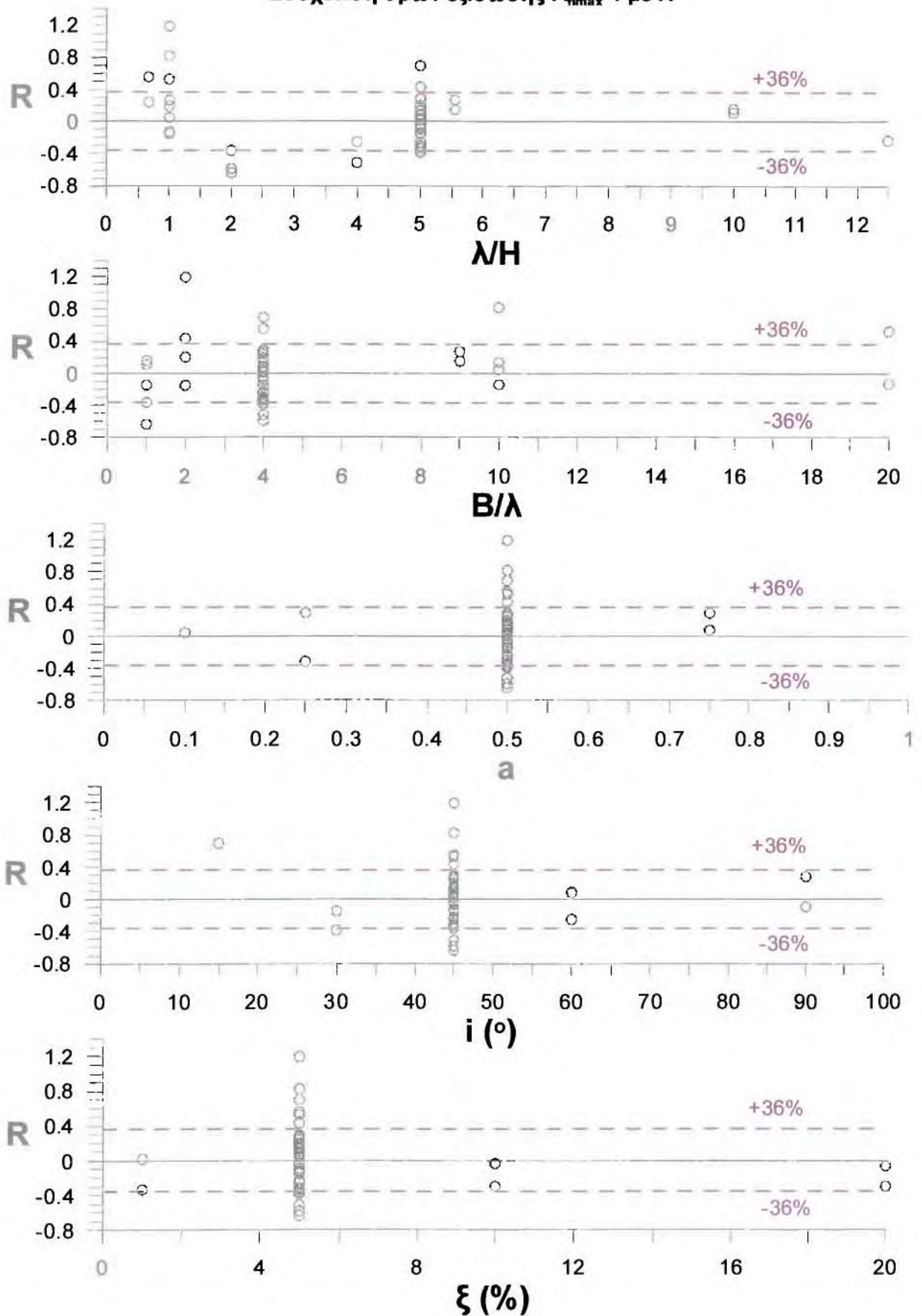
Ορίζεται ως  $R$ , η τιμή : (εκτίμηση – ανάλυση)/ανάλυση. Η τιμή αυτή υπολογίζεται για κάθε ανάλυση, με βάση την πρόβλεψη από την τελική σχέση εκτίμησης και τις πραγματικές τιμές που δίνουν οι προσομοιώσεις. Γενικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την αποφυγή αλληλοαναιρούμενων λαθών τα οποία μπορεί να δώσουν σωστά αποτελέσματα, οι προσεγγιστικές σχέσεις που υπολογίστηκαν για κάθε παράμετρο, επελέγησαν τόσο με βάση τα επιμέρους  $R$  όσο και βάσει άλλων στατιστικών παραμέτρων, για κάθε περίπτωση. Οι τελικές τιμές  $R$  που προκύπτουν από την τελική σχέση, ως προς κάθε παράμετρο, τοποθετώντας το σύνολο των αναλύσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 5.7. Η τιμή του μέσου όρου των τελικών  $R$  από όλες τις αναλύσεις έχει ως : 0.002

Ιδανικά, για κάθε ανάλυση, η τιμή του  $R$  θα πρέπει να είναι μηδέν. Έτσι, ο μέσος όρος όλων των  $R$ , δίνει μια γεύση για τη σχέση εκτίμησης και θα πρέπει να τείνει στο μηδέν. Ένα άλλο κριτήριο αποτελεί η εικόνα του διαγράμματος 1 προς 1, στην οποία στον άξονα  $x$  εισάγεται η τιμή ανάλυσης και στον άξονα  $y$  η αντίστοιχη τιμή εκτίμησης από την τελική σχέση εκτίμησης. Στο σχήμα 5.8  $a$  δίνεται αυτό το διάγραμμα για την τιμή της  $A_{hmax} - 1$ . Σε αυτό το διάγραμμα θα πρέπει να φανεί, αφενός ότι δεν υπάρχει κάποια τάση υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης της παρατήρησης από τη σχέση σε όλα τα επίπεδα ενισχύσεων (μεγάλα, μεσαία ή μικρά) και αφετέρου ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη διασπορά ως προς κάποια κατεύθυνση. Έτσι, εισάγεται και ένα επόμενο κριτήριο, η τυπική απόκλιση, η οποία και μας δίνει την ακρίβεια εκτίμησης. Η τυπική απόκλιση των  $R$  για την τιμή της  $A_{hmax} - 1$  ανέρχεται στο 36%. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στα επίπεδα τιμών αυτού που έχουμε ορίσει ως επιπλέον ενίσχυση, δηλαδή η  $A_{hmax} - 1$ , η ευαισθησία του σχετικού λάθους είναι μεγάλη. Εάν ανάγουμε τα αποτελέσματα στις τιμές του λόγου ενίσχυσης ορισμένου ως  $PGA(2D) / PGA(1D)$ , ο οποίος περιλαμβάνει τη μονάδα, η τυπική απόκλιση λαμβάνει τιμή περίπου 7%. Δηλαδή εδώ παρατηρούμε την έννοια της τάξης μεγέθους και ο κάθε παρατηρητής εστιάζει στο σημείο που τον ενδιαφέρει.

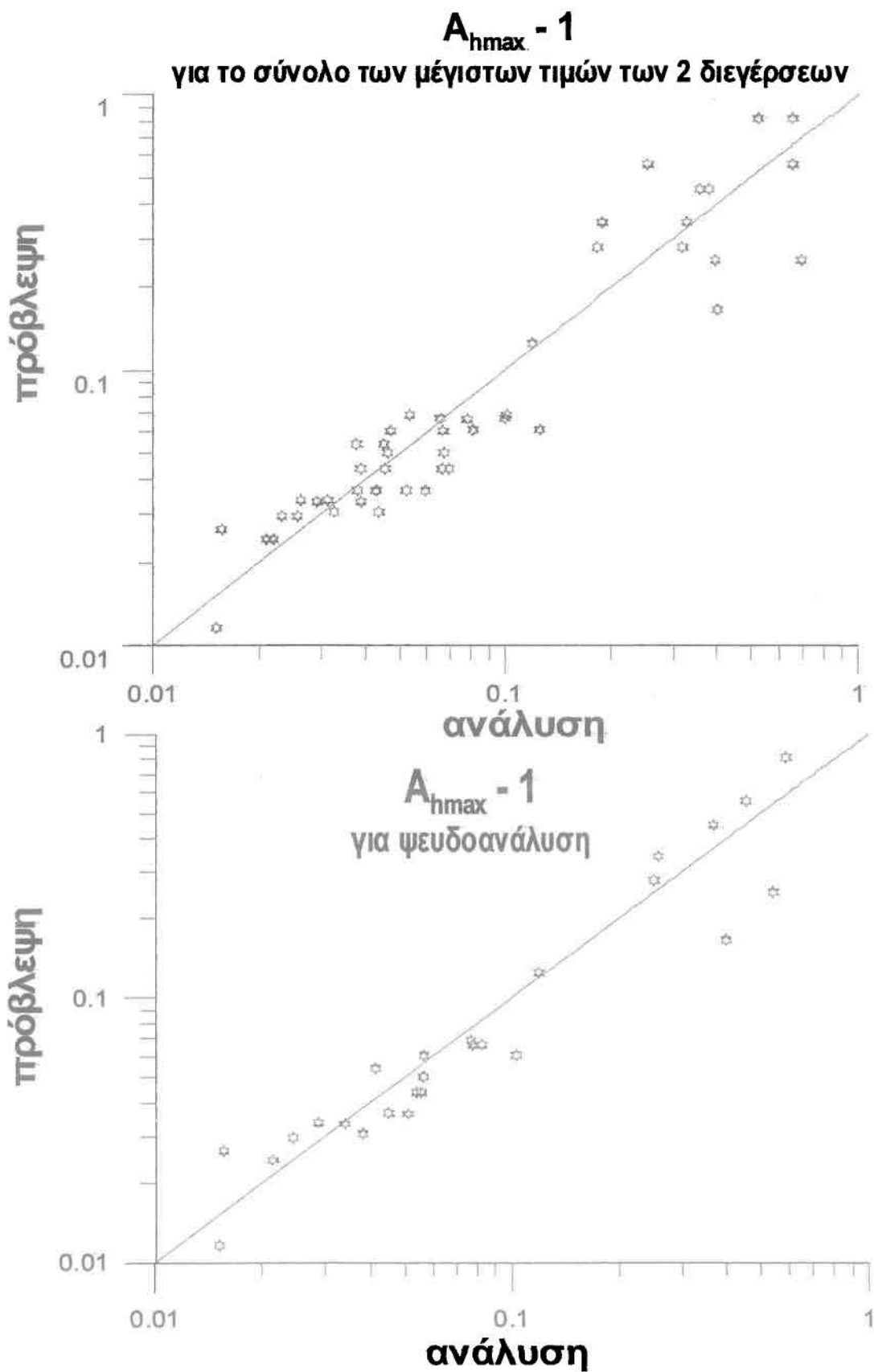


Σε αυτό το σημείο θα ήταν χρήσιμο να αναλυθεί το εξής ερώτημα. Τι θα προέκυπτε εάν στη θέση των δύο παρατηρήσεων (για Αίγιο και Κοζάνη) για κάθε ανάλυση, με βάση τις οποίες υπολογίστηκε η τελική σχέση εκτίμησης, τοποθετηθεί σαν μέγιστη ενίσχυση η μέση τιμή αυτών ; Η μελέτη μιας ψευδοανάλυσης με τιμές μέγιστης ενίσχυσης τον μέσο όρο εκείνων του Αιγίου και της Κοζάνης, ίσως είναι ενδιαφέρουσα. Στο Σχήμα 5.8 b δίνεται το διάγραμμα 1 προς 1, με τους μέσους όρους ενισχύσεων Αιγίου και Κοζάνης ως αναλύσεις στον άξονα x και τις τιμές ενισχύσεων που εκτιμώνται από την σχέση 5.2.6 ως προβλέψεις, στον άξονα y. Η τυπική απόκλιση των R αυτών των ψευδοαναλύσεων, για την εκτίμηση της  $A_{hmax} - 1$  είναι 29% και για την  $A_{hmax}$  (ενσωματώνοντας δηλαδή τη μονάδα) 6%.

Συσχέτιση όρων εξίσωσης  $A_{hmax}-1$  με R



Σχήμα 5.7: Επίδραση των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος στο σχετικό λάθος R εκτίμησης της  $A_{hmax} - 1$



**Σχήμα 5.8:** Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών  $A_{hmax} - 1$ , που παρατηρήθηκαν σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της  $A_{hmax} - 1$ , **a)** για τις τιμές των 2 διεγέρσεων και **b)** για την ψευδοανάλυση

### 5.3. ΣΧΕΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

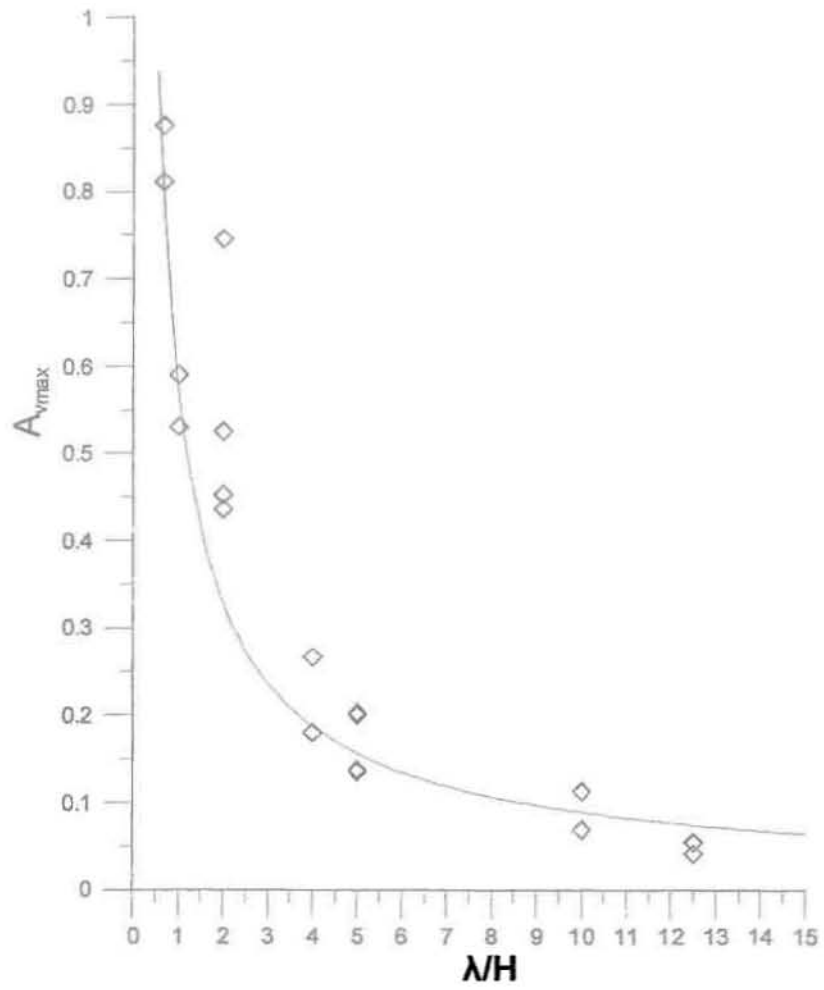
Σε αυτό το υποκεφάλαιο εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε στις οριζόντιες ενισχύσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, στη διαμόρφωση της σχέσης εκτίμησης της μέγιστης ενίσχυσης των κατακόρυφων επιταχύνσεων, δεν ελήφθη σαν παράμετρος ο λόγος  $B/\lambda$ , καθώς δεν παρατηρήθηκε κάποια συγκεκριμένη τάση επίδρασης σε ότι αφορά τις μέγιστες τιμές, παρά ένα οριζόντιο νέφος σημείων.

#### 5.3.1 Συσχέτιση $A_{vmax}$ με $\lambda/H$

Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται η συσχέτιση της  $A_{vmax}$  με το αδιάστατο πάχος της λεκάνης  $\lambda/H$  με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων της παρούσας εργασίας. Όπως προκύπτει, η τιμή της  $A_{vmax}$  αυξάνει και αυτή αρκετά ως συνάρτηση του  $\lambda/H$ . Στο διάγραμμα αυτό, τοποθετήθηκαν οι αναλύσεις που προέρχονται από τα συγκριτικά διαγράμματα στα οποία μελετάται η επίδραση του  $\lambda/H$ . Κατ' επέκταση, αποτυπώνονται μαζί δύο ομάδες δεδομένων, η κάθε μια για διαφορετικό λόγο  $B/\lambda$ , ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές και ίδιες για τις δύο ομάδες.

Η σχέση βέλτιστης προσέγγισης των αποτελεσμάτων της σχέσης  $A_{vmax}$  με το λόγο  $\lambda/H$  που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.9 είναι η:

$$A_{vmax} = 0.575 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-0.81} \quad (5.3.1)$$



Σχήμα 5.9: Επίδραση του αδιάστατου πάχους  $L/H$  στην τιμή της  $A_{vmax}$

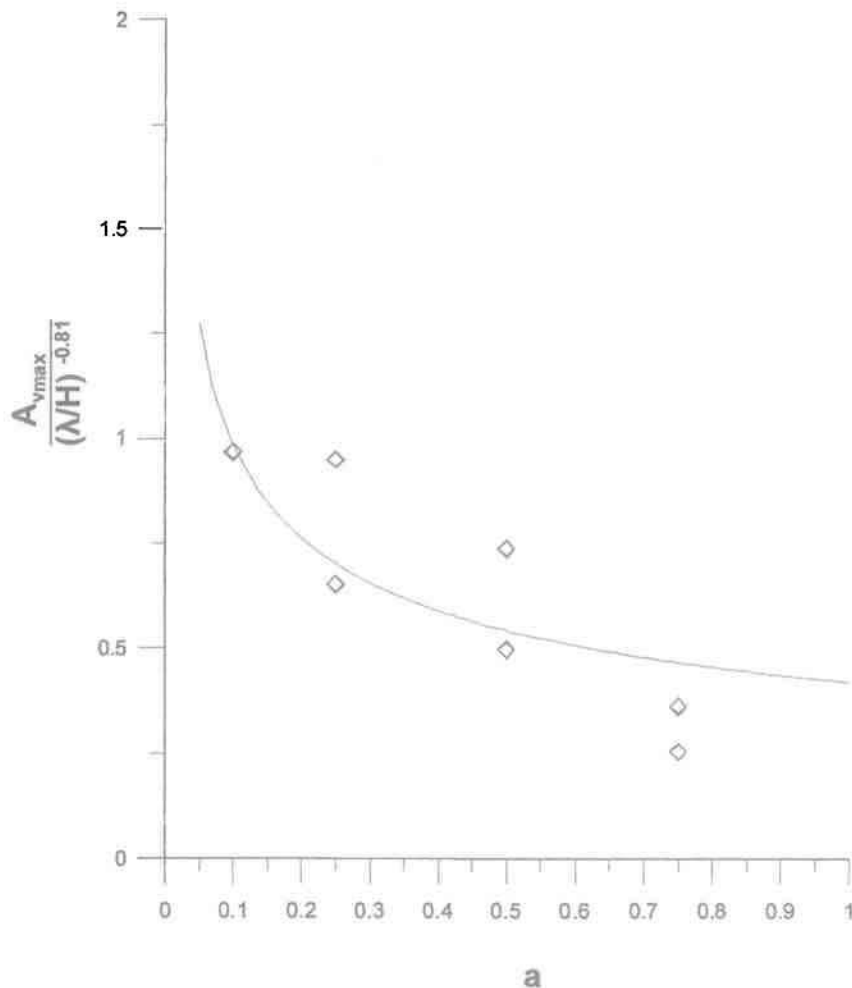
5.3.2 Συσχέτιση  $A_{vmax}$  με  $a$ 

Στο Σχήμα 5.10 διερευνάται η επίδραση του λόγου εμπέδησης  $a$  ( $= V_s / V_b$ ) στην τιμή της  $A_{vmax}$ , διαιρεμένη με την εκφράση του παράγοντα  $\lambda/H$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.10 η τιμή του λόγου εμπέδησης συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-0.81}}$$

Όπως προκύπτει, η ανηγμένη τιμή της  $A_{vmax}$  μειώνεται καθώς ο λόγος εμπέδησης αυξάνει. Η βέλτιστη προσέγγιση έχει ως :

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-0.81}} = 0.42 a^{-0.37} \quad (5.3.2)$$



Σχήμα 5.10: Επίδραση του λόγου εμπέδησης  $a$  στην τιμή της  $A_{vmax}$ .

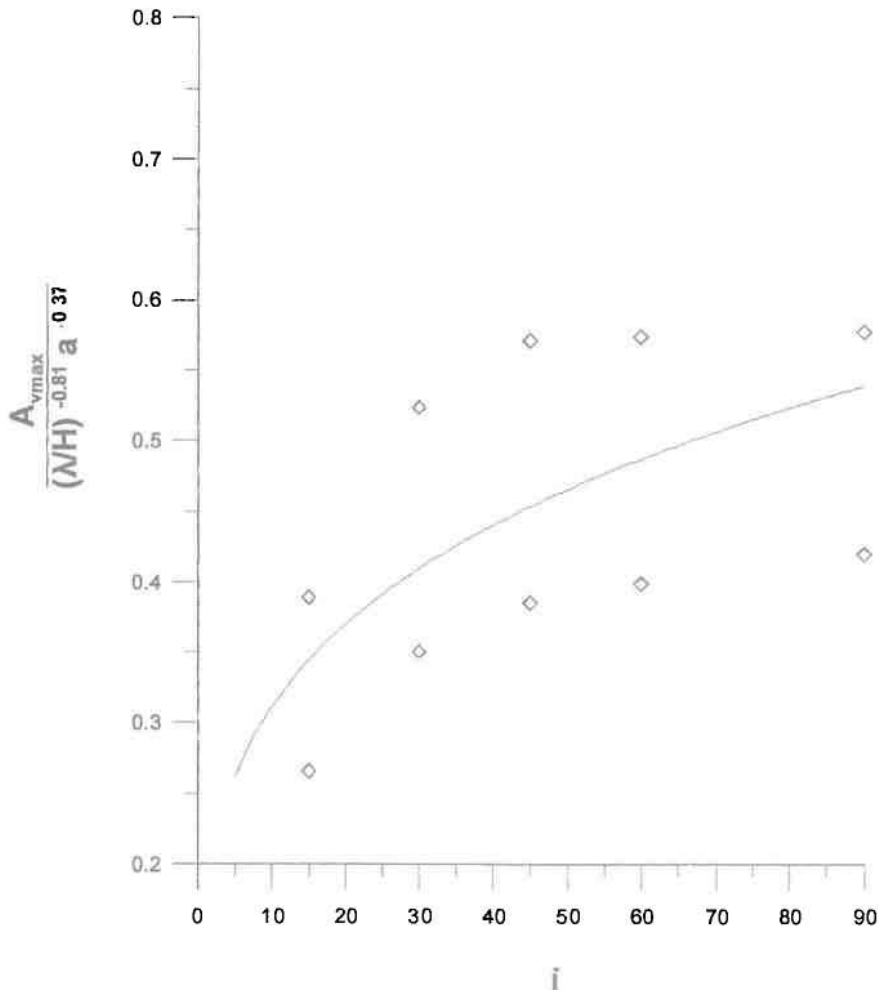
5.3.3 Συσχέτιση  $A_{vmax}$  με  $i$ 

Στο Σχήμα 5.11 διερευνάται η επίδραση της γωνίας κλίσης των πρηνών της λεκάνης  $i$  στην τιμή της  $A_{vmax}$ , διαιρεμένη με τις εκφράσεις των  $\lambda/H$  και  $a$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.11 η τιμή της γωνίας κλίσης  $i$  συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} a^{-0.37}}$$

Όπως προκύπτει, η παραπάνω έκφραση αυξάνεται καθώς η κλίση γίνεται πιο απότομη, ενώ παρατηρείται και μικρότερη διασπορά. Η βέλτιστη προσέγγιση διαμορφώνεται ως:

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} a^{-0.37}} = 0.175 i^{0.25} \quad (5.3.3)$$



Σχήμα 5.11: Επίδραση της κλίσης των πρηνών  $i$  στην τιμή της  $A_{vmax}$

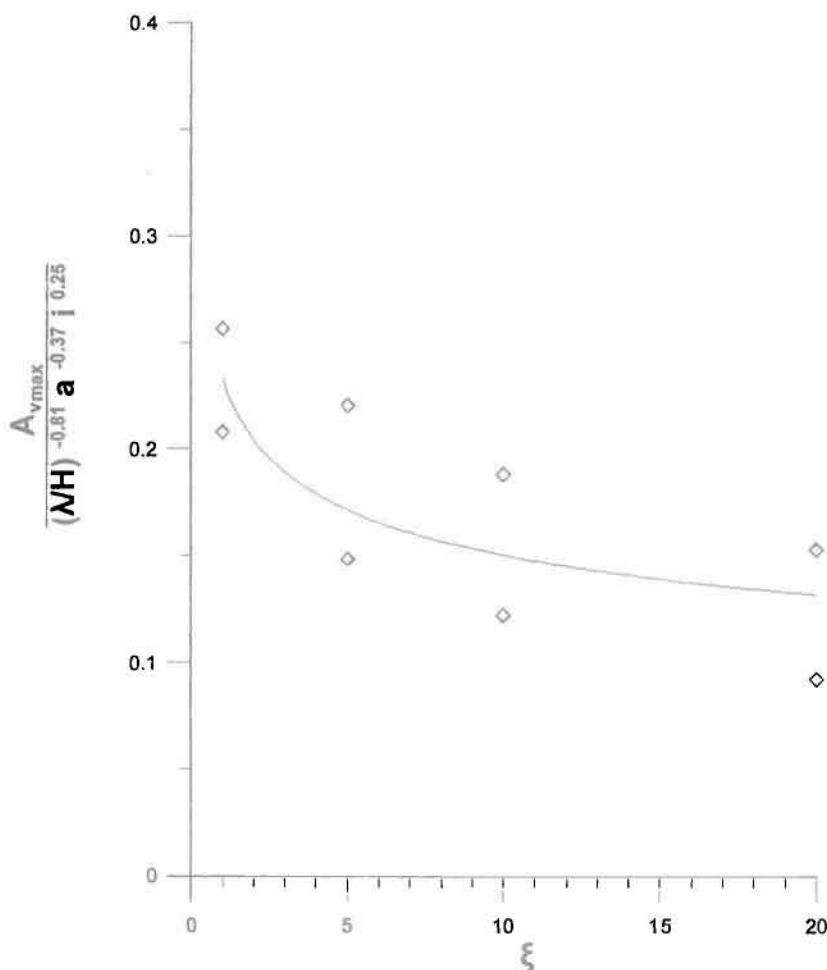
5.3.4 Συσχέτιση  $A_{vmax}$  με  $\xi$ 

Στο Σχήμα 5.12 διερευνάται η επίδραση του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  στην τιμή της  $A_{vmax}$  διαιρεμένη με τις εκφράσεις των  $\lambda/H$ ,  $i$  και  $a$ . Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.12 η τιμή του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  συναρτάται με τον όρο:

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-0.81} a^{-0.37} i^{0.25}}$$

Όπως προκύπτει, η παραπάνω έκφραση μειώνεται ως συνάρτηση του  $\xi$ , αλλά όπως και πριν δεν παρουσιάζει πλέον σημαντική διασπορά. Η βέλτιστη προσέγγιση έχει ως :

$$\frac{(A_{vmax})}{\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-0.81} a^{-0.37} i^{0.25}} = 0.233 \xi^{-0.19} \quad (5.3.4)$$



Σχήμα 5.12: Επίδραση του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$  στην τιμή της  $A_{vmax}$



### 5.3.5 Επιλογή της τελικής σχέσης εκτίμησης της $A_{vmax}$

Όμοια με την περίπτωση των οριζόντιων ενισχύσεων, επιλέχθηκε ένας πολλαπλασιαστικός συντελεστής, όπως και οι εκθέτες, με βάση στατιστικές παραμέτρους.

Τελική σχέση εκτίμησης μέγιστων ενισχύσεων :

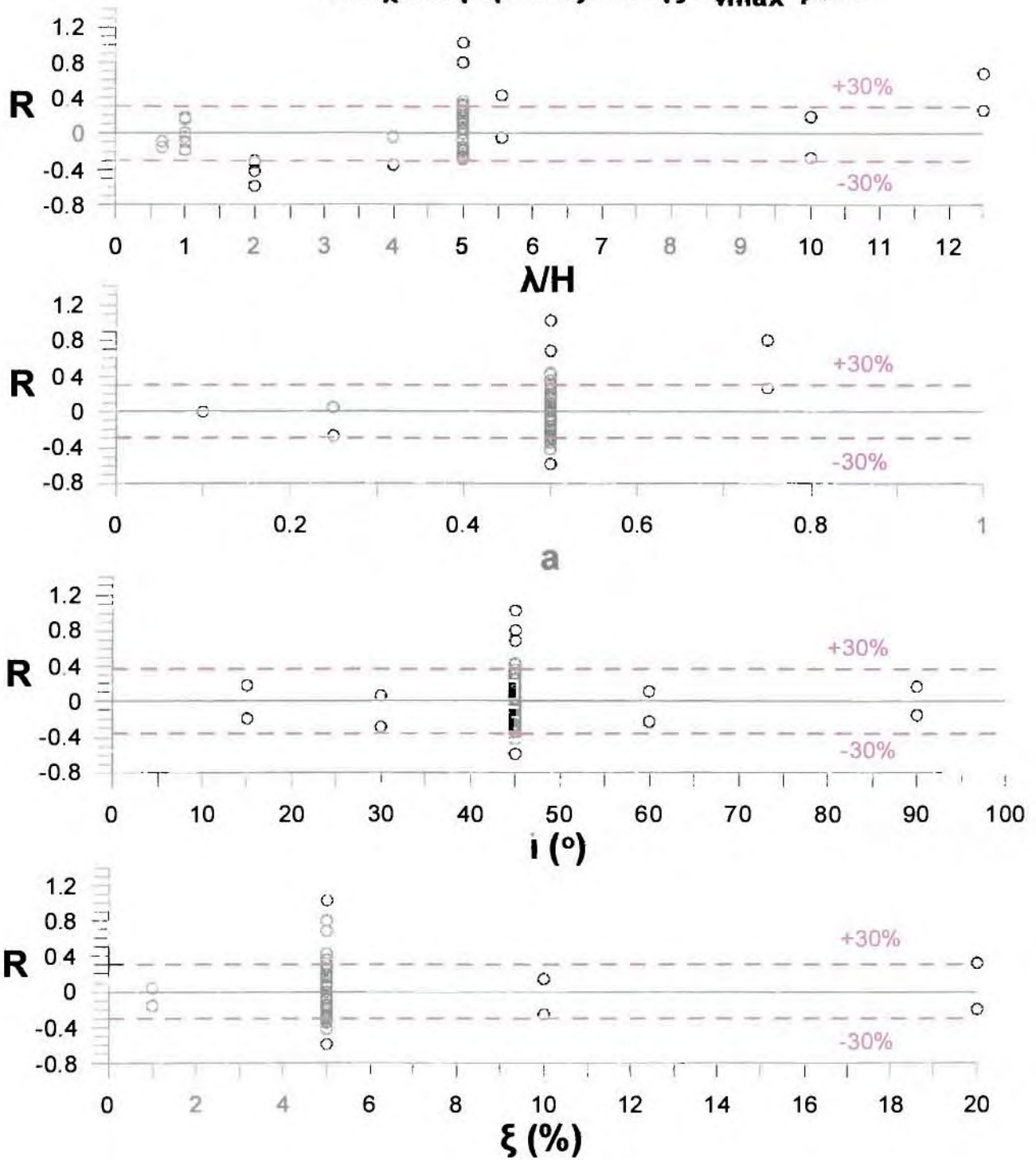
$$A_{vmax} = 0.2156 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-0.81} a^{-0.37} i^{0.25} \xi^{-0.19} \quad (5.3.5)$$

Ο μέσος όρος των R : 0,00092

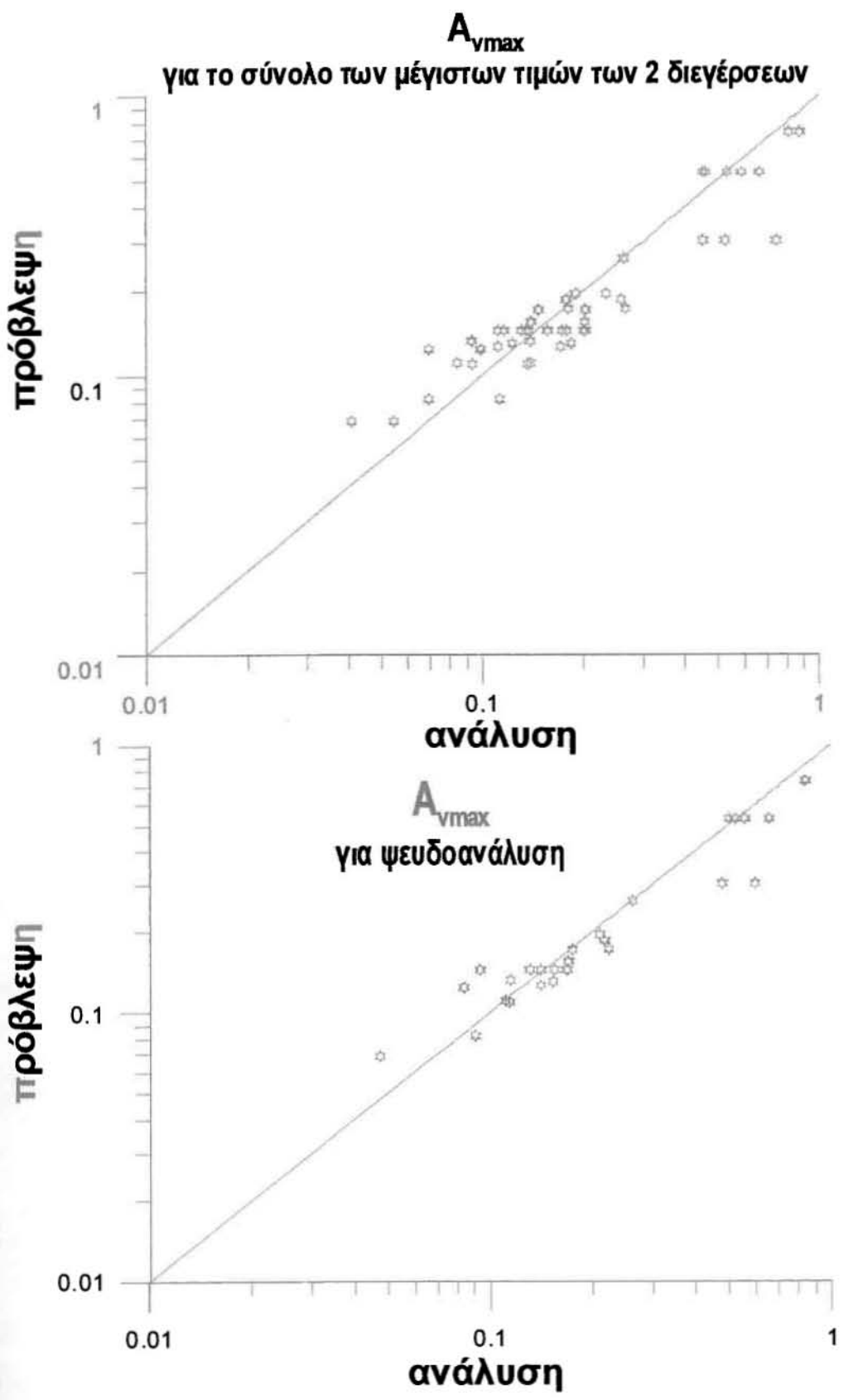
Τυπική απόκλιση : 30%

Ακολουθούν τα διαγράμματα των R με βάση την τελική σχέση συναρτήσεως όλων των παραμέτρων. (5.13) Επίσης παρουσιάζονται τα διαγράμματα 1 προς 1 δηλαδή ανάλυσης – εκτίμησης, τόσο για τις πραγματικές αναλύσεις όσο και για τις αντίστοιχες ψευδοαναλύσεις με τη μέση τιμή ενίσχυσης Αιγίου και Κοζάνης. Η τυπική απόκλιση των ψευδοαναλύσεων ανέρχεται στο 22%. (5.14 a και 5.14 b)

### Συσχέτιση όρων εξίσωσης $A_{vmax}$ με R



Σχήμα 5.12 : Επίδραση των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος στο σχετικό λάθος R εκτίμησης της  $A_{vmax}$ .



**Σχήμα 5.14:** Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών  $A_{vmax} - 1$ , που παρατηρήθηκαν σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της  $A_{vmax} - 1$ , **a)** για τις τιμές των 2 διεγέρσεων και **b)** για την ψευδοανάλυση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: Συμπεράσματα - Προτάσεις

### 6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα εργασία μελετά την ενίσχυση της οριζόντιας και την εμφάνιση παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους λόγω μη οριζόντιας και απειρομήκους μορφολογίας του βραχώδους υποβάθρου. Επικεντρώνεται σε 2Δ εδαφικές λεκάνες τραπεζοειδούς μορφής με ιξωδο-ελαστικό ομοιόμορφο έδαφος επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου το οποίο διεγείρεται με κατακόρυφα κύματα SV, με τη μορφή δύο πραγματικών χρονοϊστοριών (σεισμών Αιγίου και Κοζάνης του 1995), οι οποίες διαφέρουν κυρίως στον αριθμό των σημαντικών κύκλων φόρτισης. Συνολικά εκτελέστηκαν αναλύσεις για 56 περιπτώσεις συνδυασμών εδαφικής λεκάνης – υποβάθρου – σεισμικής διέγερσης (και για τις δύο χρονοϊστορίες). Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για λεκάνες με εύρος  $B = 50$  έως  $1000\text{m}$ , πάχος  $H = 20$  έως  $150\text{m}$ , κλίση πρανών  $i = 15^\circ$  έως  $90^\circ$ , με έδαφος δυστημσίας  $V_s = 250$  έως  $500\text{m/s}$  επί υποβάθρου με  $V_b = 500$  έως  $2500\text{m/s}$ , που υποβάλλονται σε διεγέρσεις λίγων (Αίγιο) και αρκετών (Κοζάνη) κύκλων φόρτισης με δεσπόζουσα περίοδο  $T_e = 0.1$  έως  $1.0\text{sec}$ , με τη μη-γραμμικότητα των γεωυλικών να υπεισέρχεται στις αναλύσεις μέσω διαφορετικών τιμών της (ελάχιστης) απόσβεσης Rayleigh  $\xi = 1$  έως  $20\%$ . Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στην παράγραφο 6.2, ενώ οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας συνοψίζονται στην παράγραφο 6.3, όπου σκιαγραφείται και η πιθανή μελλοντική έρευνα σε αντίστοιχο αντικείμενο.

### 6.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, συνοψίζονται τα παρακάτω βασικά συμπεράσματα:

- Η ύπαρξη των κεκλιμένων πλευρικών ορίων της εδαφικής λεκάνης, έχει ως αποτέλεσμα τη διάθλαση των κατακόρυφως προσπίπτοντων κυμάτων και τη δημιουργία επιφανειακών κυμάτων στα άκρα της λεκάνης, τα οποία ταξιδεύουν προς το κέντρο. Οι ανακλάσεις και οι συμβολές των κυμάτων προκαλούν, εν γένει, ενισχύσεις της οριζόντιας κίνησης σε σύγκριση με τις μονοδιάστατες συνθήκες και εμφάνιση κατακόρυφης παρασιτικής κίνησης. Η έντονα χωρικά διαφοροποιούμενη γεωμορφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης που περιγράφεται ανωτέρω καθορίζεται από τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της εδαφικής λεκάνης και του υποβάθρου, αλλά και από την επιβαλλόμενη διέγερση.

- Εδαφικές λεκάνες με κοινές παραμέτρους  $i$ ,  $\xi$ ,  $V_s$ ,  $V_b$  και κοινές τιμές των αδιάστατων λόγων  $\lambda/H$  και  $B/\lambda$ , οι οποίες όμως προκύπτουν από διαφορετικά πρωτογενή χαρακτηριστικά  $B$ ,  $H$  και  $\lambda$ , εμφανίζουν ίδια γεωμορφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης σε ίδιες αδιάστατες αποστάσεις  $x$  από τον άξονα της λεκάνης (με την αδιαστατοποίηση να γίνεται είτε ως προς το πλάτος  $B$  ή ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$ ). Επιπλέον, εδαφικές λεκάνες με κοινές παραμέτρους  $B/\lambda$ ,  $\lambda/H$ ,  $i$ ,  $\xi$  και κοινές τιμές λόγου εμπέδησης  $a=V_s/V_b$ , ο οποίος όμως προκύπτει από διαφορετικές τιμές  $V_s$  και  $V_b$ , εμφανίζουν και αυτές εντελώς ταυτόσημη γεωμορφική επιδείνωση στις ίδιες αδιάστατες αποστάσεις  $x/B$  ή/και  $x/\lambda$  από τον άξονα της λεκάνης.
- Η ένταση και η χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης επηρεάζονται κυρίως από την τιμή του λόγου εμπέδησης  $a$ , και τις τιμές των αδιάστατων λόγων  $B/\lambda$  και  $\lambda/H$ . Αντιθέτως, οι παράμετροι  $i$  και  $\xi$  επηρεάζουν μόνο την ένταση χωρίς να διαφοροποιείται ποιοτικά η χωρική διαφοροποίηση. Ειδικά για τις ενισχύσεις της οριζόντιας συνιστώσας ( $A_h$ ) προκύπτει ότι για πολύ μικρές τιμές του λόγου εμπέδησης ( $a=0.1$  έως  $0.25$ ), εμφανίζονται υψηλές τιμές περιοδικά κατά μήκος ολόκληρης της λεκάνης. Αντίθετα, για μεγαλύτερες τιμές ( $a > 0.5$ ), η χωρική διαφοροποίηση και κατ' επέκταση η θέση εμφάνισης της μέγιστης γεωμορφικής επιδείνωσης, καθορίζονται από τη συσχέτιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών  $B$ ,  $H$  της λεκάνης και του μήκους διατμητικών κυμάτων στην κοιλάδα  $\lambda$ . Πιο συγκεκριμένα, σε «πλατιές» κοιλάδες με  $B/H \geq 16$ , η μέγιστη γεωμορφική επιδείνωση της οριζόντιας συνιστώσας  $A_{hmax}$  εμφανίζεται πλησίον των άκρων (σε απόσταση έως  $0.2B$  από την άκρη), ενώ σε «στενές» κοιλάδες με  $B/H < 8$ , η μέγιστη επιδείνωση της  $A_h$  παρατηρείται περί το κέντρο της (σε απόσταση έως  $0.3B$  από το κέντρο). Παράλληλα, για δεδομένη τιμή του λόγου  $B/H$ , καθώς αυξάνει το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων  $\lambda$  της διέγερσης, η θέση εμφάνισης της  $A_{hmax}$  μετακινείται προς το κέντρο της κοιλάδας, καθώς τα σεισμικά κύματα αντιλαμβάνονται την κοιλάδα ως σχετικώς «λεπτότερη» (μείωση του λόγου  $B/\lambda$ ). Για την παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση  $A_v$ , η χωρική διαφοροποίηση είναι λιγότερο πολύπολοκη, καθώς οι μέγιστες τιμές  $A_{vmax}$  εμφανίζονται πλησίον των άκρων, ενώ στο κέντρο η τιμή της  $A_v$  είναι πάντα μηδενική (λόγω πλήρους εξουδετέρωσης των εν-φάσει οριζοντίως ταξιδεύοντων κυμάτων Rayleigh σε συμμετρική κοιλάδα).
- Σε ό,τι αφορά στις τιμές των μεγίστων γεωμορφικών ενισχύσεων  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  προκύπτει ότι η πιο σημαντική παράμετρος καθορισμού είναι ο αδιάστατος λόγος  $\lambda/H$ , ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι του προβλήματος  $a$ ,  $B/\lambda$ ,  $i$  και  $\xi$  έχουν μικρότερη επιρροή στις τιμές τους. Πιο συγκεκριμένα:
  - (α) Εμφανίζονται εν γένει μεγάλες τιμές  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  σε σχετικά «βαθιές» κοιλάδες ( $\lambda/H = 0.66$  έως  $2$ ), ενώ αντίθετα πολύ μεγάλες τιμές του λόγου  $\lambda/H$  («ρηχές» κοιλάδες, π.χ.  $\lambda/H = 12.5$ ) οδηγούν σε πρακτικώς 1Δ συμπεριφορά ( $A_{hmax} \rightarrow 1$ ,  $A_{vmax} \rightarrow 0$ ).

- (b) Εφόσον απαλειφθεί η (μεγάλη) επίδραση του  $\lambda/H$  στη διαμόρφωση των τιμών των  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ , με τη μείωση του λόγου  $B/\lambda$  παρατηρείται αύξηση της  $A_{hmax}$ , καθώς υπάρχει εντονότερη συμβολή των οριζόντια ταξιδεύοντων κυμάτων Rayleigh σε «στενές» κοιλάδες. Από την άλλη μεριά, σε μεγάλες τιμές του  $B/\lambda$  («πλατιές» κοιλάδες), η τιμή της  $A_{hmax}$  δεν τείνει στο 1.0, καθώς υπάρχει πάντα μια περιοχή επιδείνωσης, τοπικά, στα άκρα ακόμη και της πιο «πλατιάς» λεκάνης, η ένταση της οποίας εξαρτάται σημαντικά από την τιμή του  $\lambda/H$ . Αντίστοιχα, το εύρος  $B/\lambda$  δεν επιδρά με σαφή τρόπο στην τιμή της  $A_{vmax}$  που εμφανίζεται πάντα πλησίον των άκρων αυτής.
- (c) Καθώς μειώνεται ο λόγος εμπέδησης  $a$ , αυξάνονται οι τιμές των  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ , κάτι αναμενόμενο καθώς μειώνεται η απόσβεση ακτινοβολίας της λεκάνης.
- (d) Οι τιμές των  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$  αυξάνονται όσο αυξάνει η γωνία κλίσης  $i$  των πρανών της λεκάνης, καθώς τόσο απομακρύνεται η απόκριση από τις 1Δ συνθήκες (που προσεγγίζεται για κλίσεις  $i \leq 15^\circ$ ).
- (e) Τέλος, μεγαλύτερες τιμές του ποσοστού απόσβεσης  $\xi$ , οδηγούν σε ελαφρώς μικρότερες μέγιστες τιμές γεωμορφικής επιδείνωσης  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ .
- Για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, η μέγιστη τιμή  $A_{hmax}$  έλαβε τιμές  $1.15 \pm 18.5\%$  (με μέγιστη τιμή 1.69), ενώ αντίστοιχα η συνήθης διακύμανση της μέγιστης τιμής  $A_{vmax}$  ήταν  $0.26 \pm 21.4\%$  (με μέγιστη τιμή 0.88). Έπειτα από στατιστική επεξεργασία, λαμβάνοντας υπ' όψη την επίδραση κάθε παραμέτρου στις τιμές των  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ , προτείνονται οι εξής προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού:

$$A_{hmax} = 1 + 0.1151 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-1.45} \left( \frac{B}{\lambda} \right)^{-0.3} a^{-0.65} i^{0.46} \xi^{-0.26} \quad , \text{ για } \lambda, H, B, a, i, \xi \neq 0$$

$$A_{vmax} = 0.2156 \left( \frac{\lambda}{H} \right)^{-0.81} a^{-0.37} i^{0.25} \xi^{-0.19} \quad , \text{ για } \lambda, H, B, a, i, \xi \neq 0 \text{ και } \xi (\%), i (^\circ)$$

Οι σχετικά απλές αυτές σχέσεις προτείνονται για χρήση για τιμές των  $\lambda/H = 0.67$  έως 12.5,  $B/\lambda = 1$  έως 20,  $i = 15^\circ$  έως  $90^\circ$ ,  $\xi = 1\%$  έως 20% και  $a = 0.1$  έως 0.75. Η τυπική απόκλιση του σχετικού λάθους για τη σχέση υπολογισμού του όρου  $A_{hmax} - 1$  ανέρχεται σε 36% και για τη σχέση υπολογισμού της  $A_{vmax}$  σε 29.9%.

- Χρονοϊστορίες διέγερσης με σημαντικά διαφορετικό αριθμό σημαντικών κύκλων φόρτισης οδηγούν σε ποιοτικά παρόμοια γεωμορφική επιδείνωση (π.χ. η χωρική διαφοροποίηση είναι παρόμοια, όπως και η θέση εμφάνισης των μεγίστων τιμών  $A_{hmax}$  και  $A_{vmax}$ ). Ποσοτικά υπάρχουν διαφοροποιήσεις, οι οποίες δείχνουν μια πολύ μικρή υπεροχή των πολλών κύκλων φόρτισης στις μικρές οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις, η οποία όμως δεν επεκτείνεται σε μεγαλύτερες επιδεινώσεις, καθώς σε πιο υψηλές τιμές η όποια επιρροή των κύκλων φόρτισης είναι πολύ μικρή σε σχέση με την επίδραση των υπόλοιπων παραμέτρων στη διαμόρφωση της απόκρισης στην επιφάνεια της λεκάνης.

### 6.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η εργασία αυτή και τα συμπεράσματα της αφορούν περιπτώσεις 2Δ εδαφικής λεκάνης τραπεζοειδούς μορφής με ιξωδο-ελαστικό ομοιόμορφο έδαφος επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου το οποίο διεγείρεται με κατακόρυφα κύματα SV με τη μορφή πραγματικών χρονοϊστοριών με πολλούς και λίγους σημαντικούς κύκλους φόρτισης. Η τραπεζοειδής διατομή εκφυλίζεται σε τριγωνική για δύο περιπτώσεις και σε ορθογωνική σε μια ανάλυση, οι οποίες αγγίζουν τα όρια της παρούσας έρευνας, ως προς τη γεωμετρία. Συνεπώς, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να στοχεύσει στην αναίρεση των ανωτέρω περιορισμών. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να διερευνηθούν διεξοδικά 2Δ λεκάνες τριγωνικής ή και άλλου είδους μορφής, (ελλειπτική, ημικυκλική) ή να γίνουν αναλύσεις για πιο ρεαλιστικές 3Δ γεωμετρίες υποβάθρου. Επιπλέον, μελλοντικές αναλύσεις θα μπορούσαν να γίνουν για μη-γραμμικό έδαφος επί ιξωδο-ελαστικού υποβάθρου για καλύτερη προσομοίωση της επίδρασης της έντασης της σεισμικής διέγερσης στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Ακόμη, στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ίδια πυκνότητα σε έδαφος και βράχο, με αποτέλεσμα ο λόγος εμπέδησης να είναι το πηλίκιο των  $V_s$  και  $V_b$ , κάτι το οποίο θα μπορούσε να διερευνηθεί παραπάνω. Τέλος, θα μπορούσε να διερευνηθεί και η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης των κυμάτων από το υπόβαθρο, κάτι που θα οδηγούσε σε μη συμμετρική απόκριση ακόμη και συμμετρικών λεκανών ομοιόμορφου εδάφους.

Πέραν των ανωτέρω, και με οδηγό τις ήδη πραγματοποιηθείσες αναλύσεις, στο μέλλον θα μπορούσαν να γίνουν συμπληρωματικές αναλύσεις που να καλύπτουν περιπτώσεις με τιμές των σημαντικών παραμέτρων που δεν έχουν διερευνηθεί και για τις οποίες η επίδραση δεν είναι ξεκάθαρη. Για παράδειγμα, συστήματα εδαφικών λεκανών – βραχώδους υποβάθρου με λόγο εμπέδησης μικρότερο του 0.5, θα μπορούσαν να δώσουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Επίσης, αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω κοιλάδες με μικρές τιμές του λόγου  $L/H$ , καθώς αυτές οδηγούν σε σημαντικές ενισχύσεις, και τέτοιες τιμές λόγων  $L/H$  δεν είναι συχνές στον πληθυσμό των αναλύσεων της παρούσας εργασίας. Πιο σημαντικά όμως, η μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί στη γεωμορφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους, και όχι μόνο σε εκείνη της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: Βιβλιογραφία

---

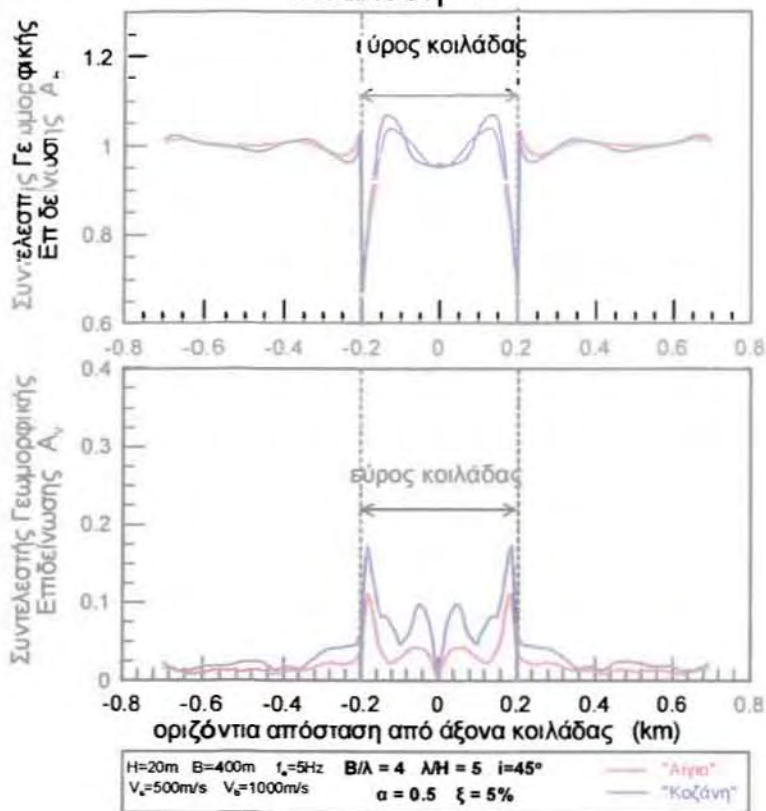
1. Pierre-Yves Bard, Jean-Christophe Gariel (1986) "The seismic response of two dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradients" BSSA, Vol.76, No2, pp.343-346
2. F.J. Sanchez-Sesma, F.J. Chavez-Garcia, M.A. Bravo (1988) "Seismic response of a class of alluvial valleys for incident SH waves" BSSA, Vol.78, No1, pp.83-95
3. Corinne Lacave, Pierre-Yves Bard, Marc Kham, Martin G. Koller (2008) "2D equivalent linear site effect simulation: example applications to two deep valleys" Bull Earthquake Eng, 6:197-211
4. K. Makra, F.J. Chavez-Garcia, D. Raptakis, K. Pitilakis (2005) "Parametric analysis of the seismic response of a 2D sedimentary valley: implications for code implementations of complex site effects" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25 303-315
5. B.S. Bakir, M.Y. Ozkan, S. Ciliz (2002) "Effects of Basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey earthquake" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22 335-345
6. J.F. Semblat, A.M. Duval , P. Dangla (2000) " Numerical Analysis of Seismic Wave Amplification in Nice (France) and comparisons with experiments" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19:347-362
7. F. Pergalani, R. de Franco, M. Compagnoni, G. Caielli (2006) "Evaluation of site effects using numerical and experimental analyses in Citta di Castello (Italy)" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26 941-951
8. Jian Zhang, John X. Zhao (2009) "Response spectral amplification ratios from 1- and 2-dimensional nonlinear soil site models" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29 563-573
9. C.G. Sun, C.K. Chung (2006) "Assessment of site effects of a shallow and wide basin using geotechnical information-based spatial characterization" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28:1028-1044
10. B. Gatmiri, C. Arson (2007) "Seismic site effects by an optimized 2D BE/FE method II. Quantification of site effects in two-dimensional sedimentary valleys" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28:646-661
11. P. N. Psarropoulos, T. Tazoh, G. Gazetas, M. Apostolou (2007) "Linear and nonlinear valley amplification effects on seismic ground motion" Soils and Foundations Journal



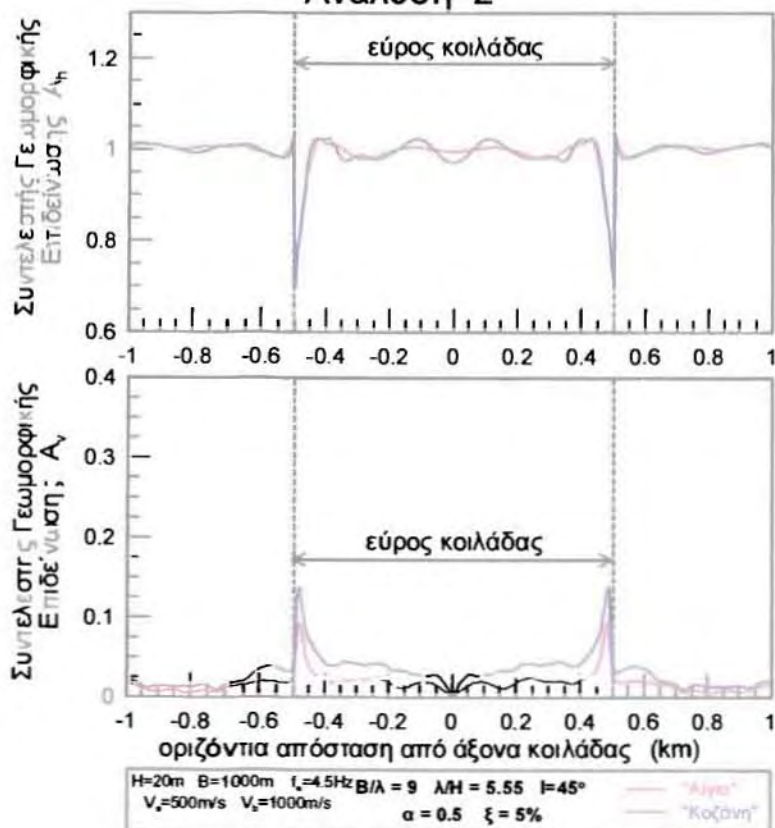
12. F. Gelagoti, R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, T. Tazoh, G. Gazetas (2010) "Seismic wave propagation in alluvial valleys: Sensitivity to ground motion 'details' and soil nonlinearity, Generation of parasitic vertical component", BSSA (in press)
13. T. Zheng, M. Dravinski (1999) "Amplification of waves by an orthotropic basin: sagittal plane motion" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28 565-584
14. J.F. Semblat, A.M. Duval, P. Dangla (2002) "Seismic site effects in a deep alluvial basin: numerical analysis by the boundary element method" Computers and Geotechnics, 29 573-585
15. Γριντάκης Ευστράτιος (2009) "Επίδραση μορφολογίας υποβάθρου στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους" Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Π.Θ.
16. F. Gelagoti, R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, G. Gazetas (2010) "Σεισμική αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελιώσεως πλαισίου, σε περιοχές εντόνου γεωμορφικού αναγλύφου" Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής (Βόλος 2010)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

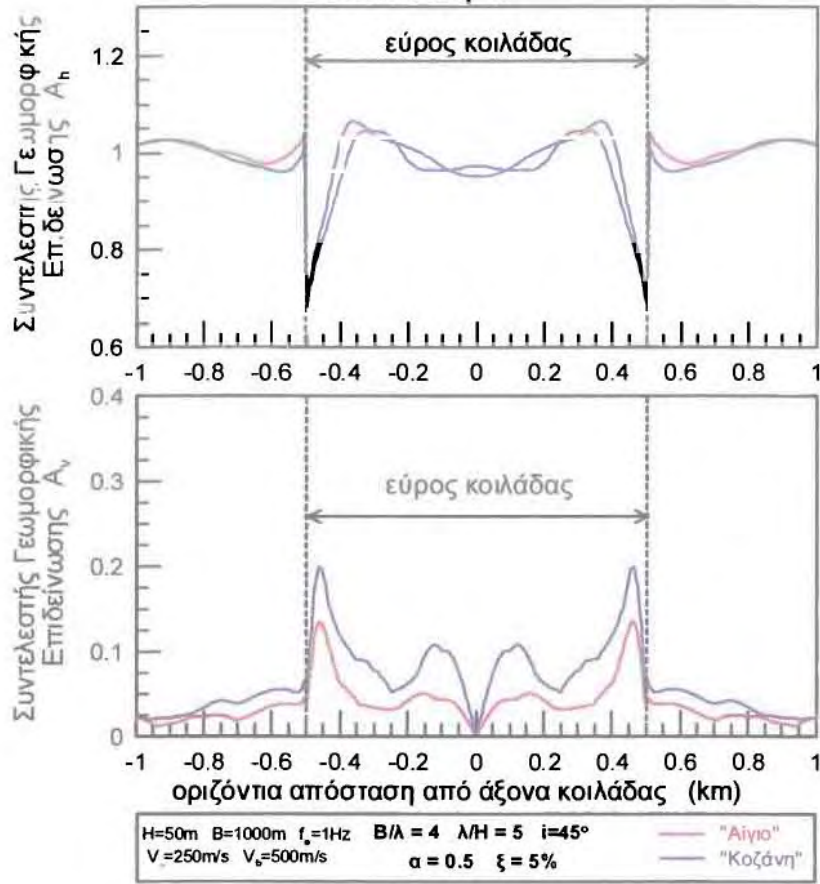
### Ανάλυση 1



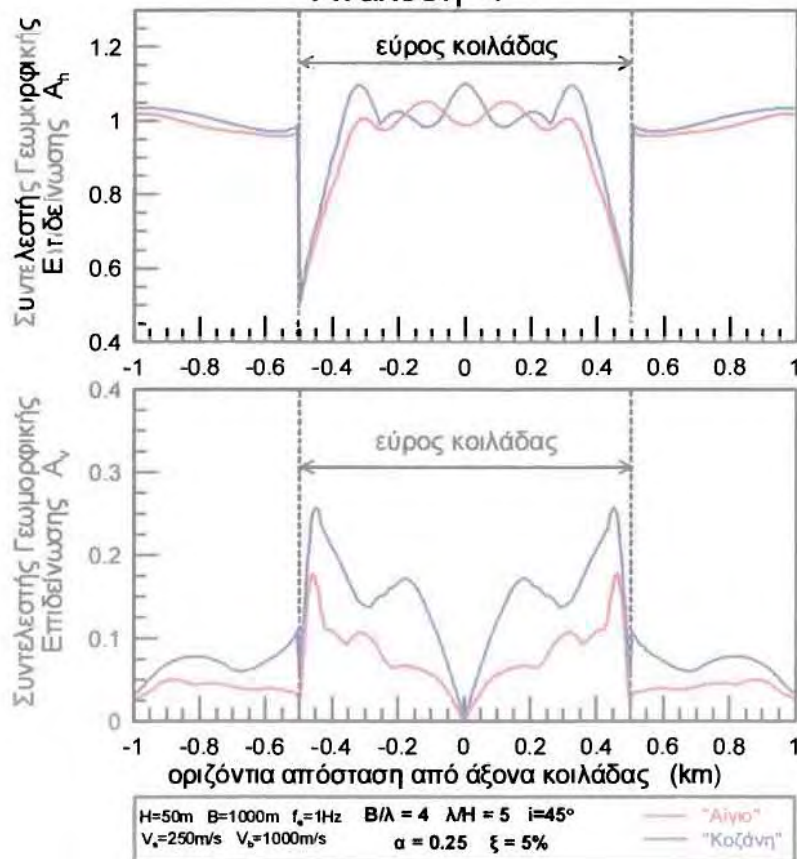
### Ανάλυση 2



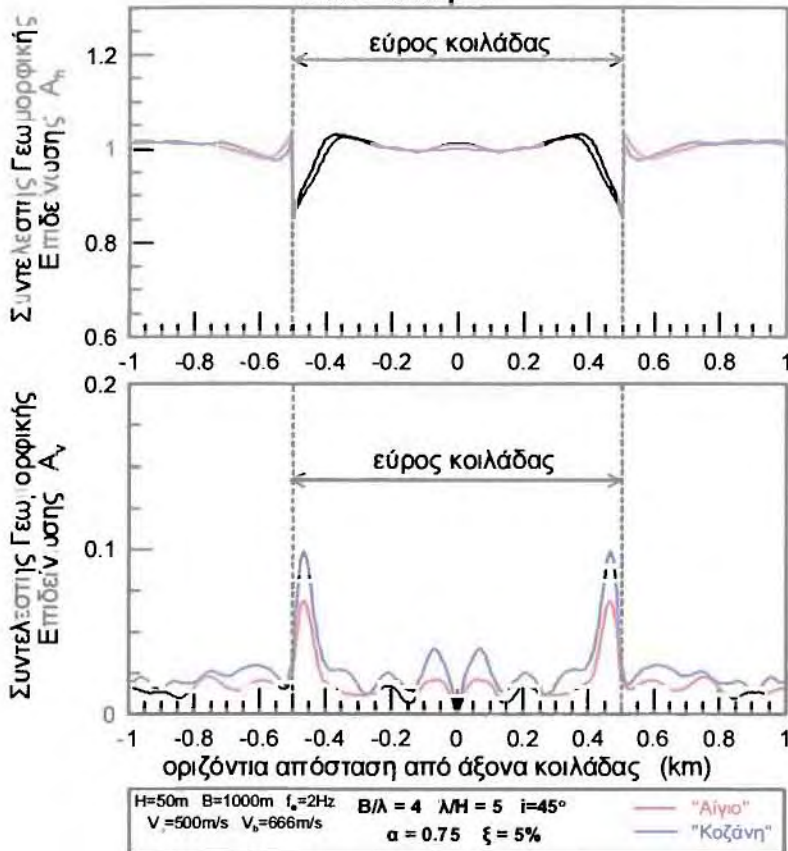
### Ανάλυση 3



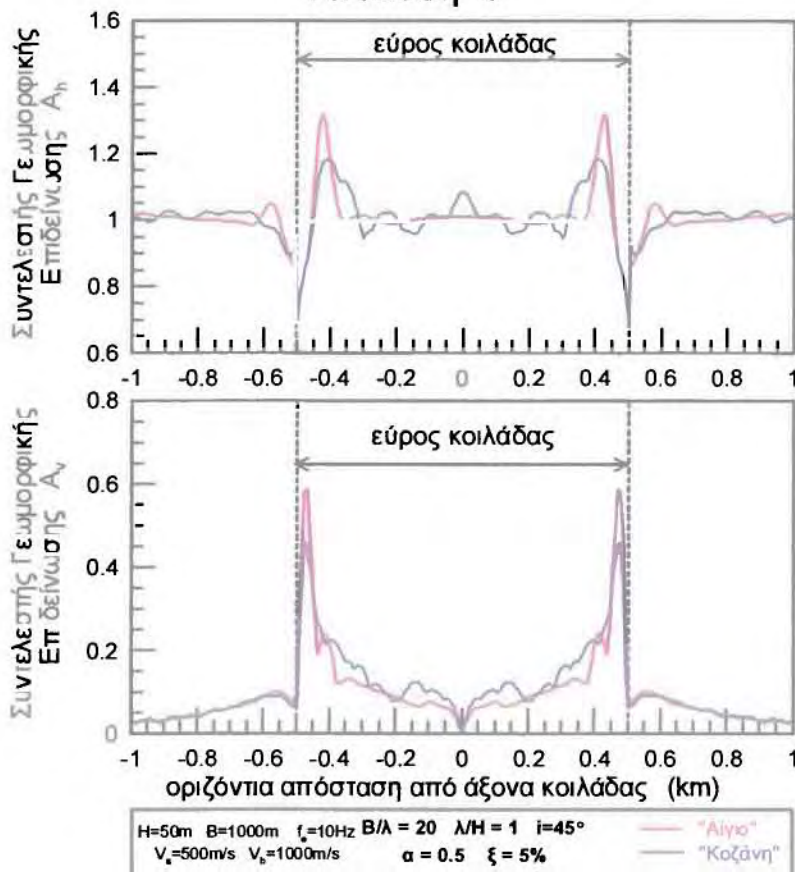
### Ανάλυση 4



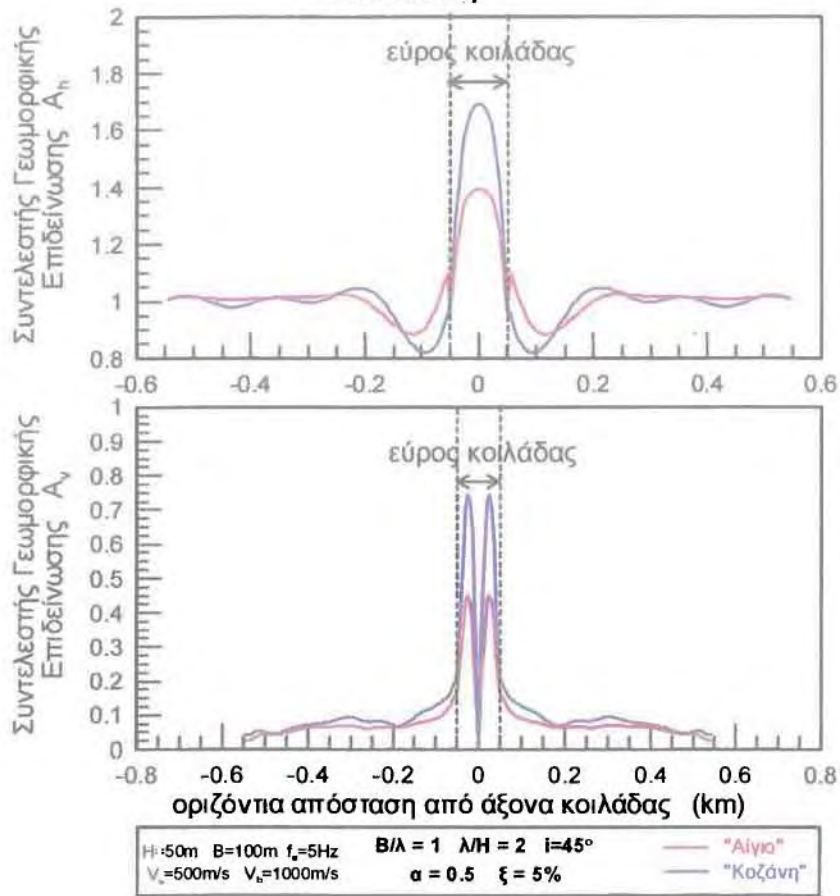
### Ανάλυση 5



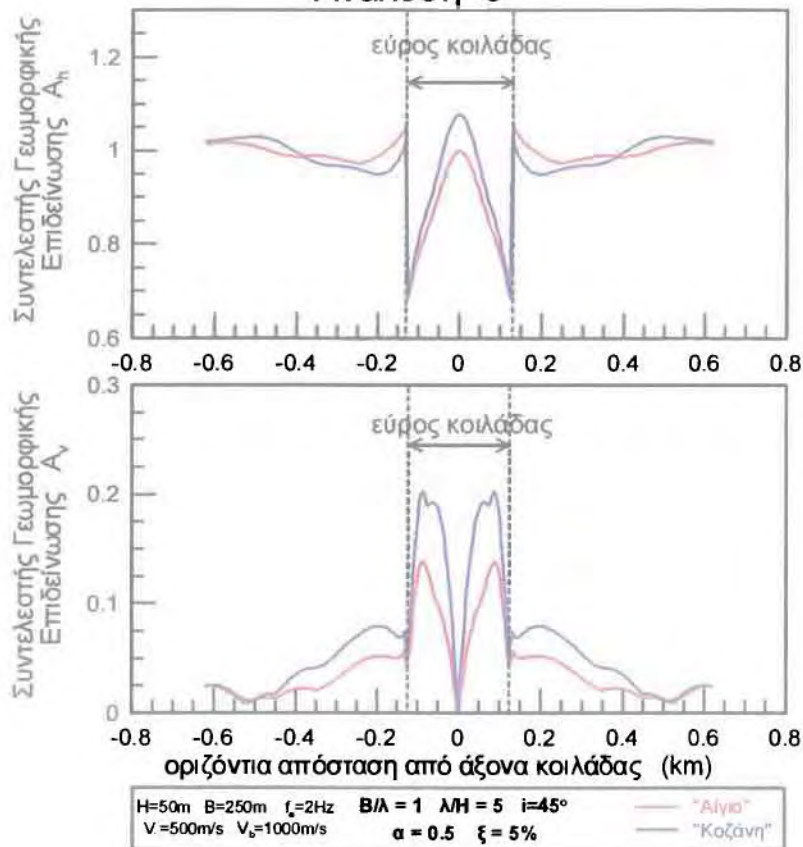
### Ανάλυση 6



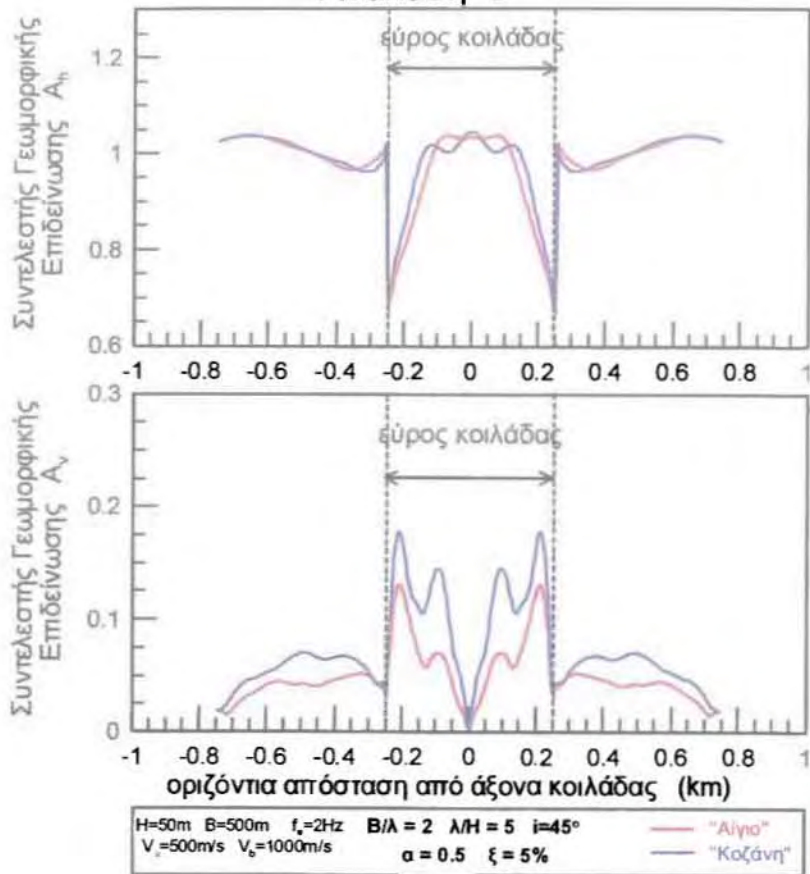
### Ανάλυση 7



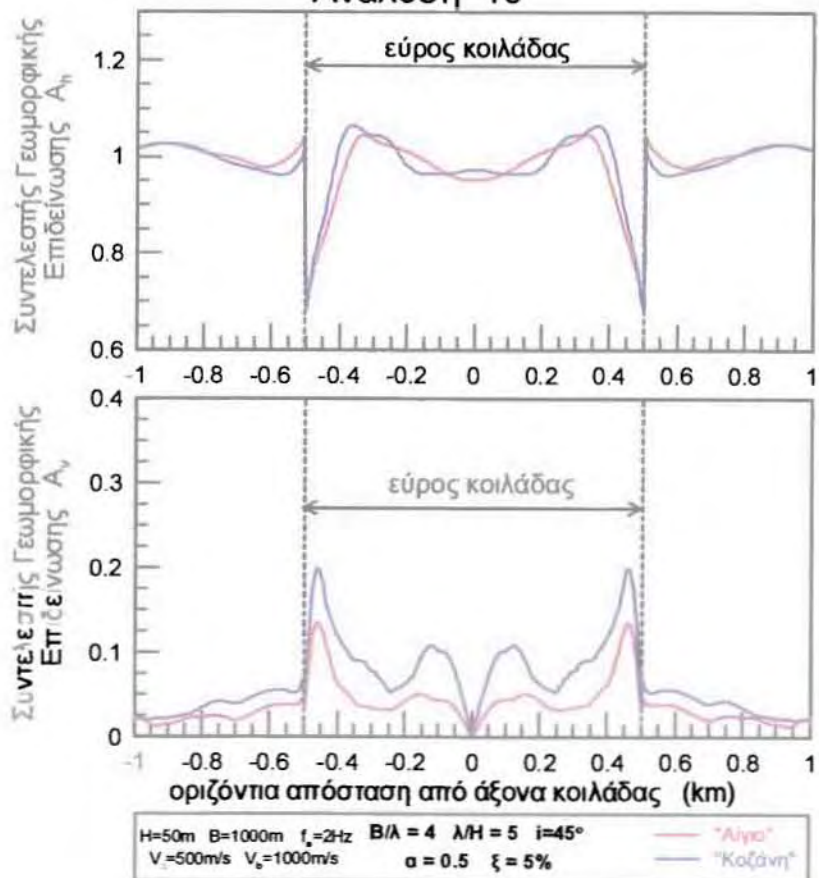
### Ανάλυση 8



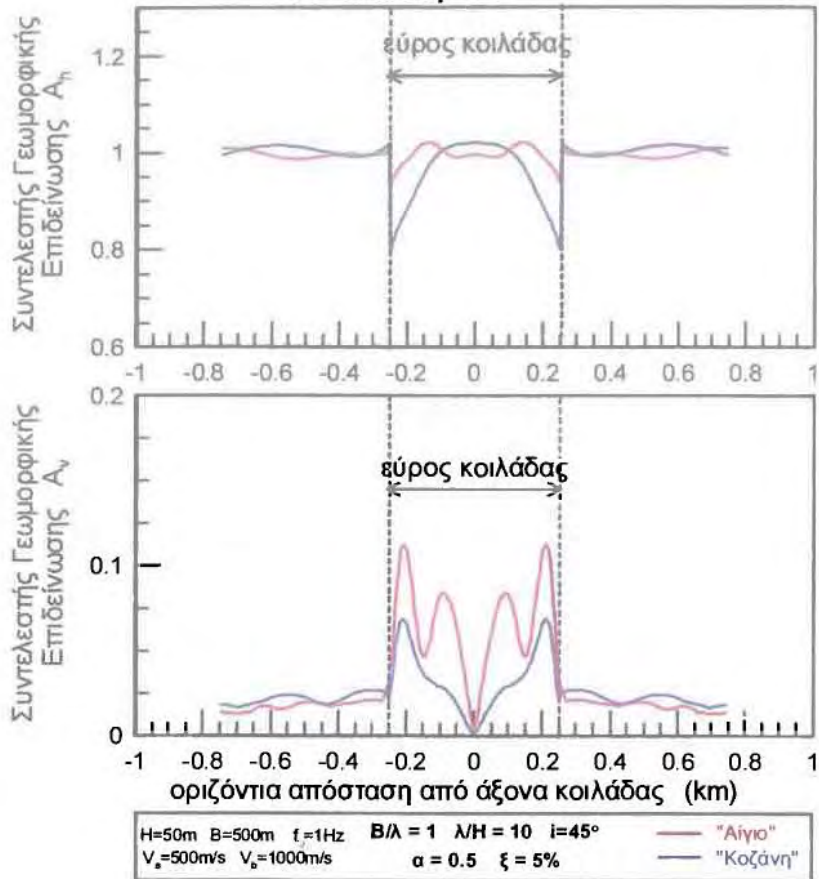
### Ανάλυση 9



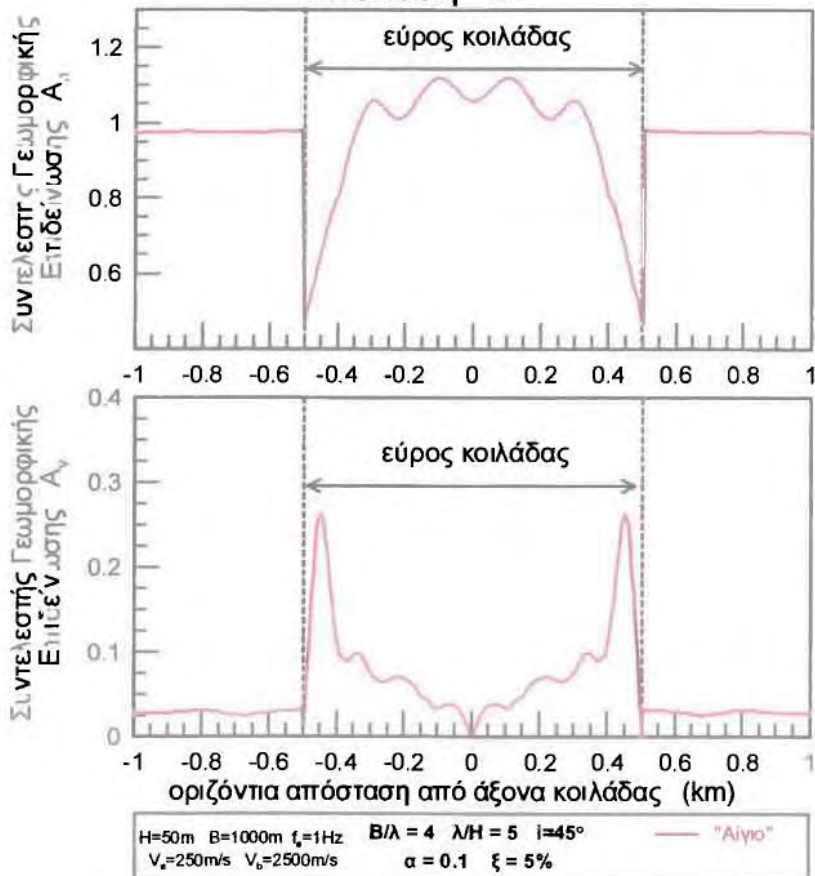
### Ανάλυση 10



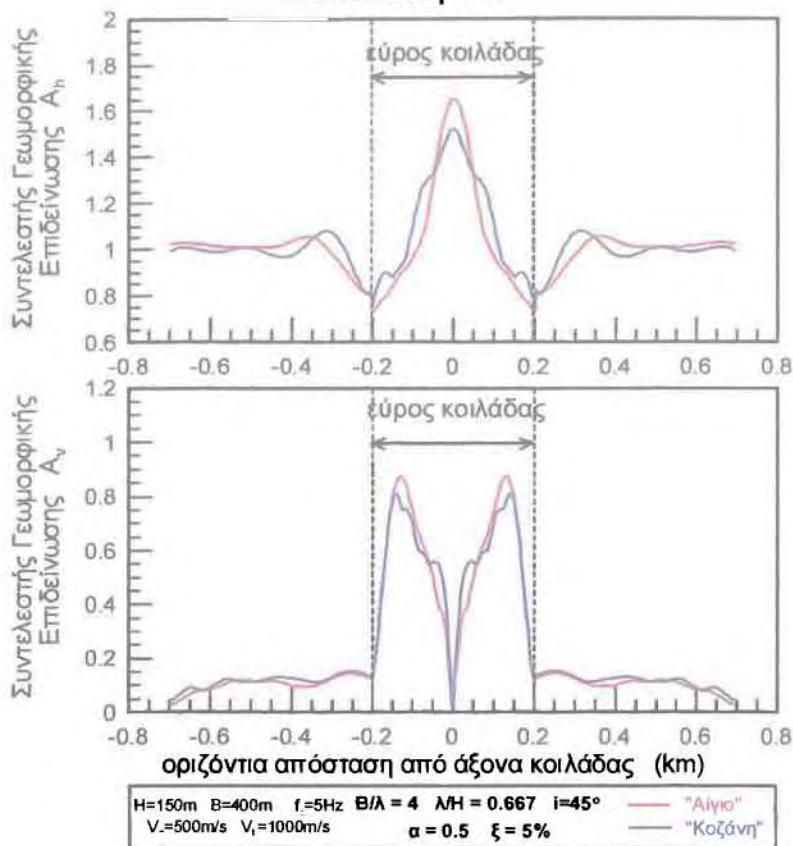
### Ανάλυση 11



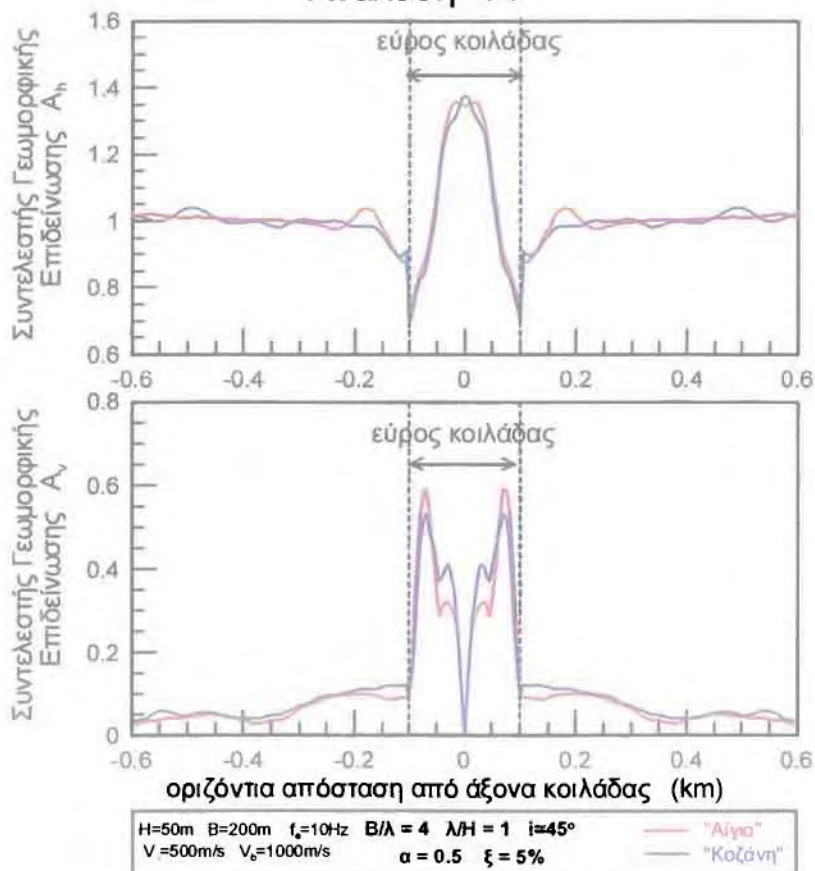
### Ανάλυση 12



### Ανάλυση 13

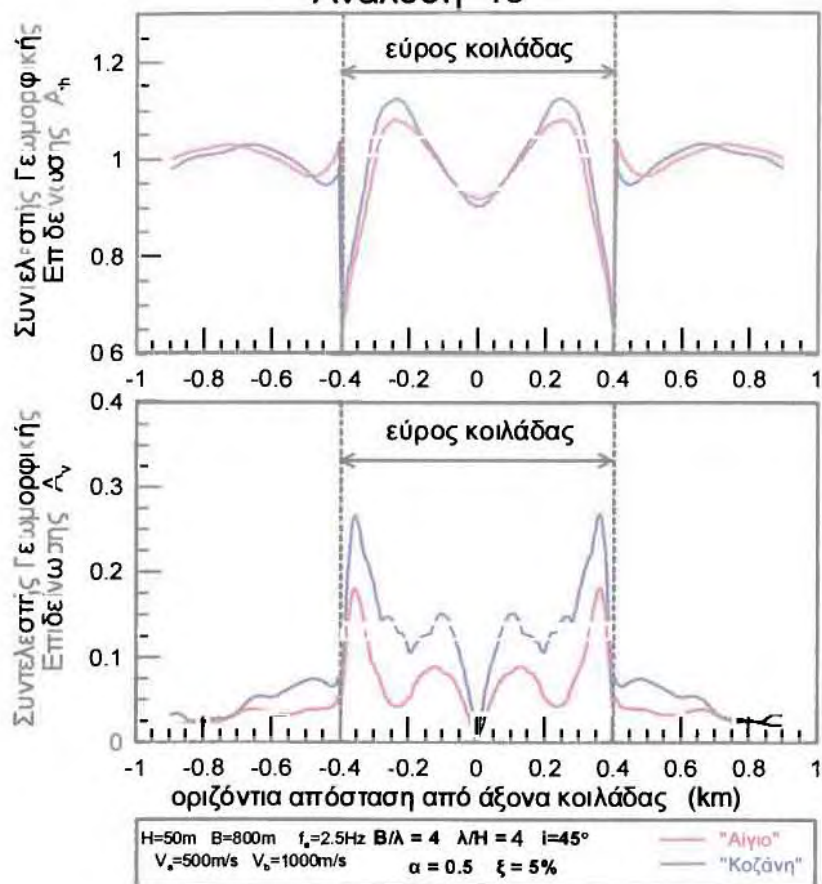


### Ανάλυση 14

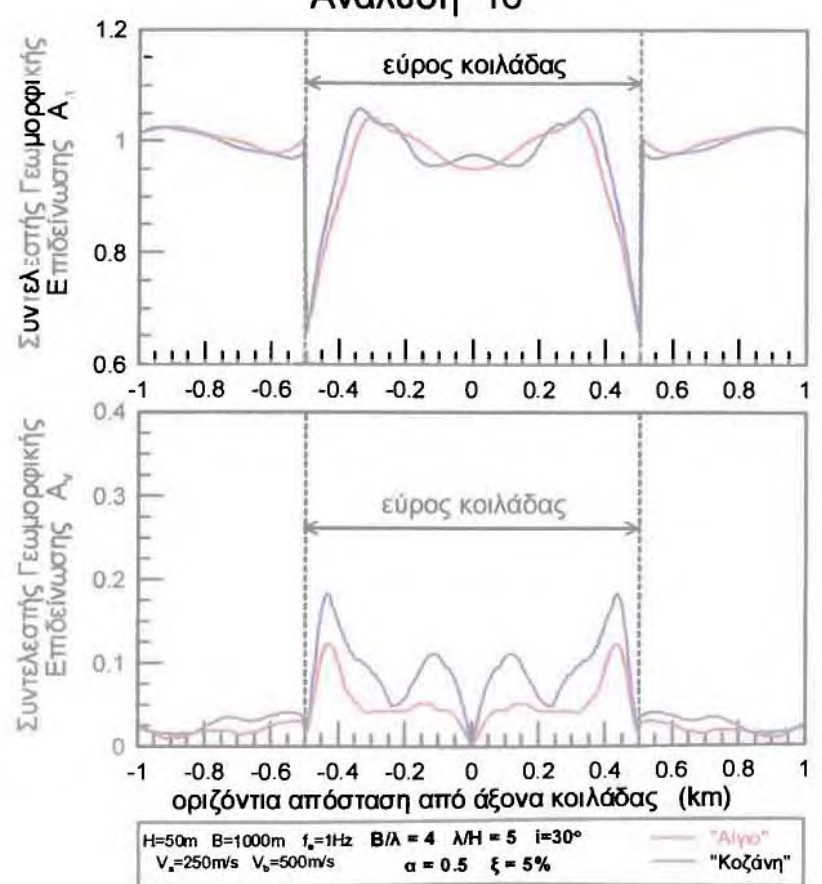




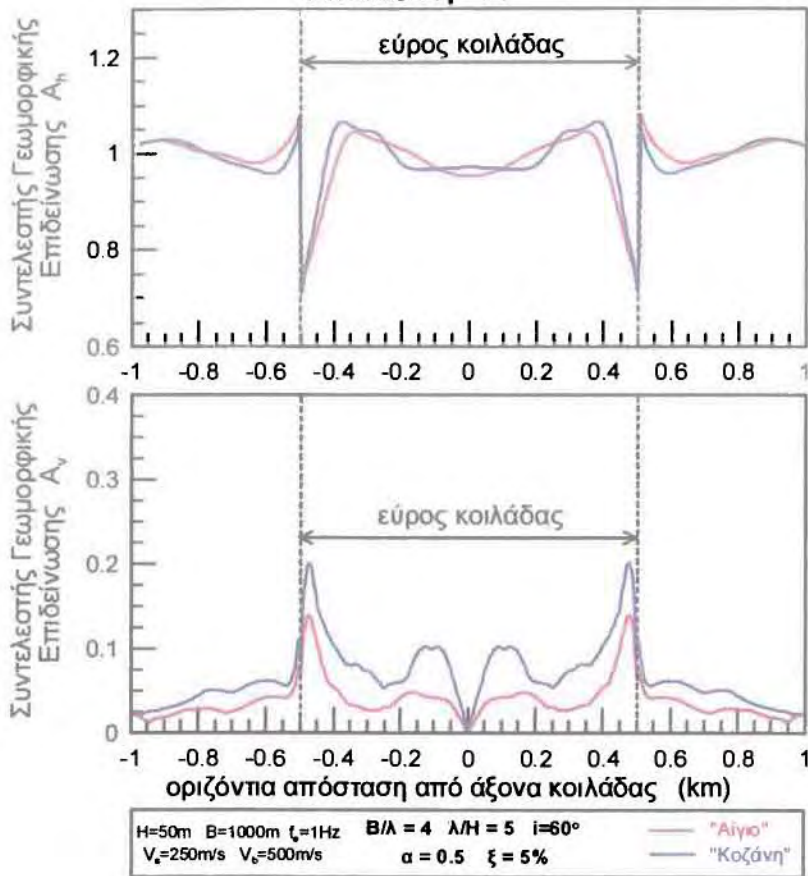
### Ανάλυση 15



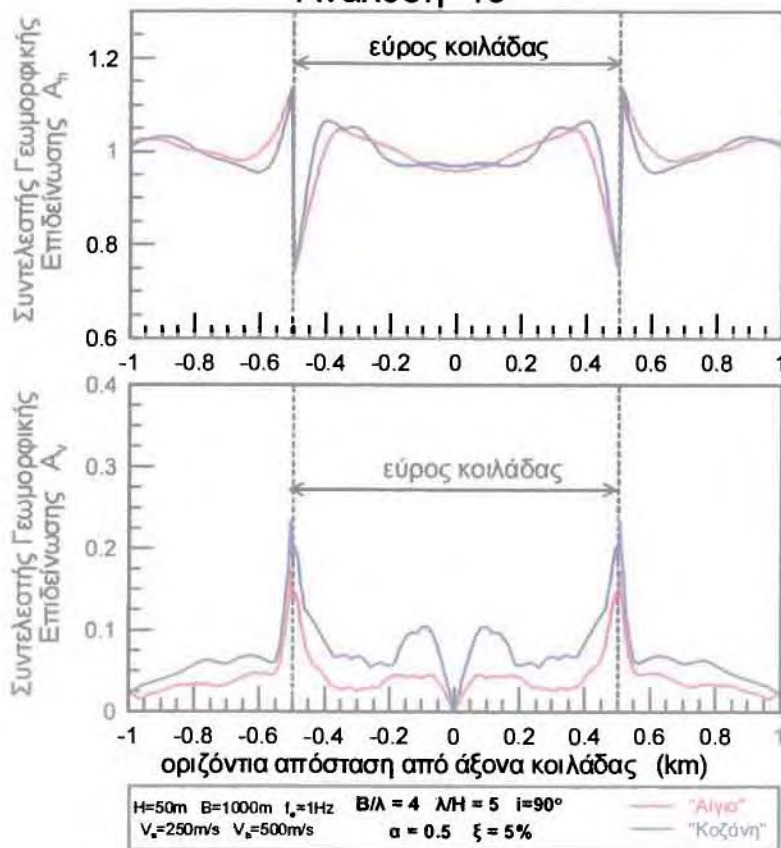
### Ανάλυση 16



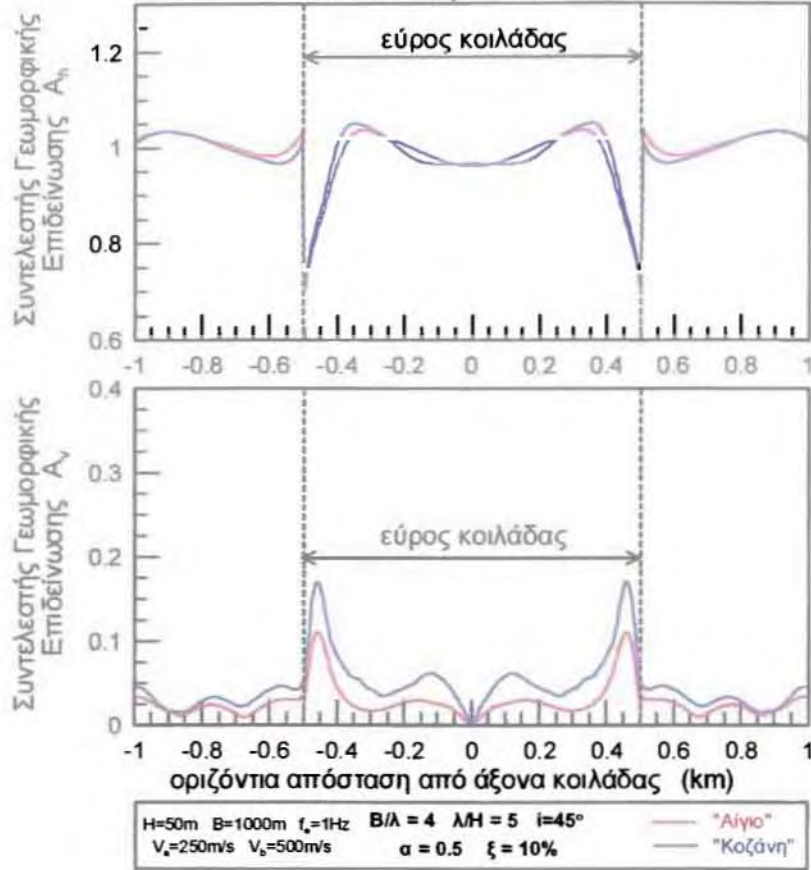
### Ανάλυση 17



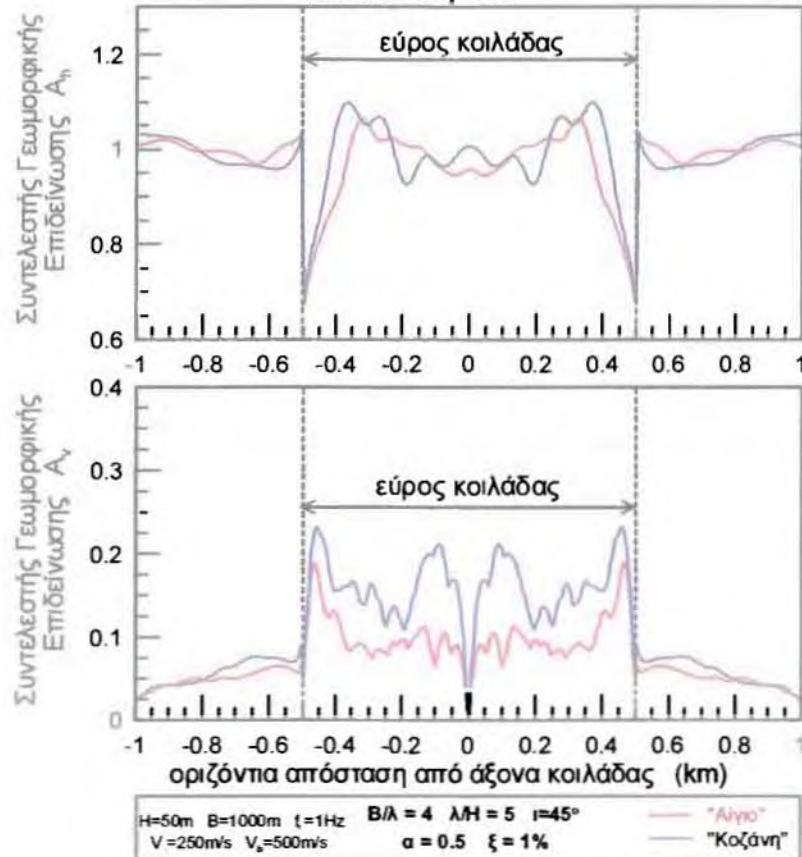
### Ανάλυση 18



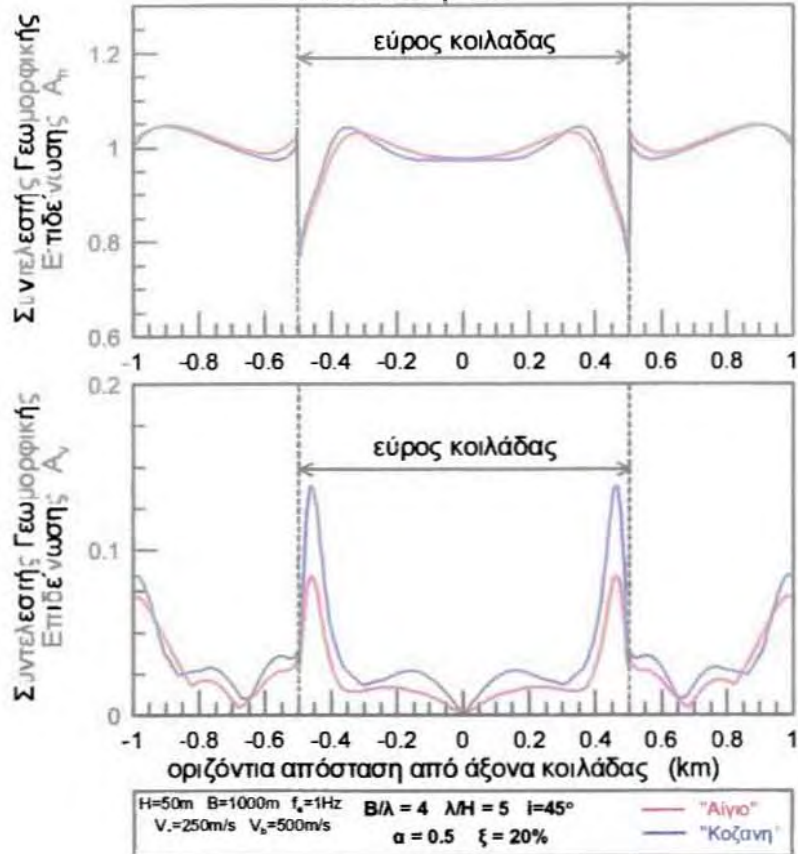
### Ανάλυση 19



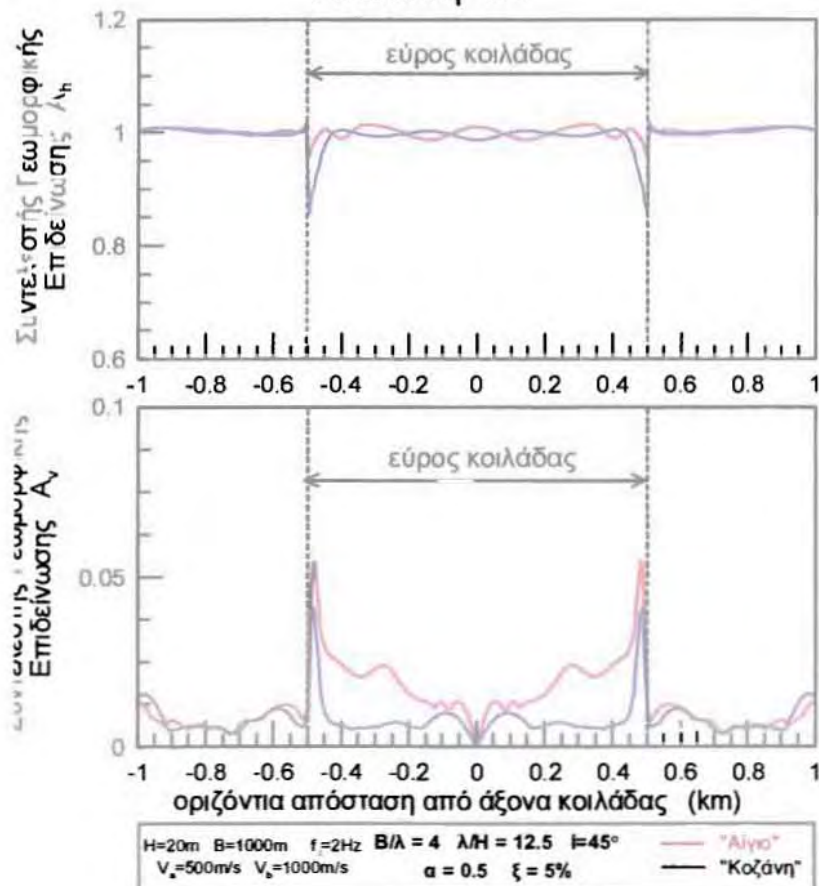
### Ανάλυση 20



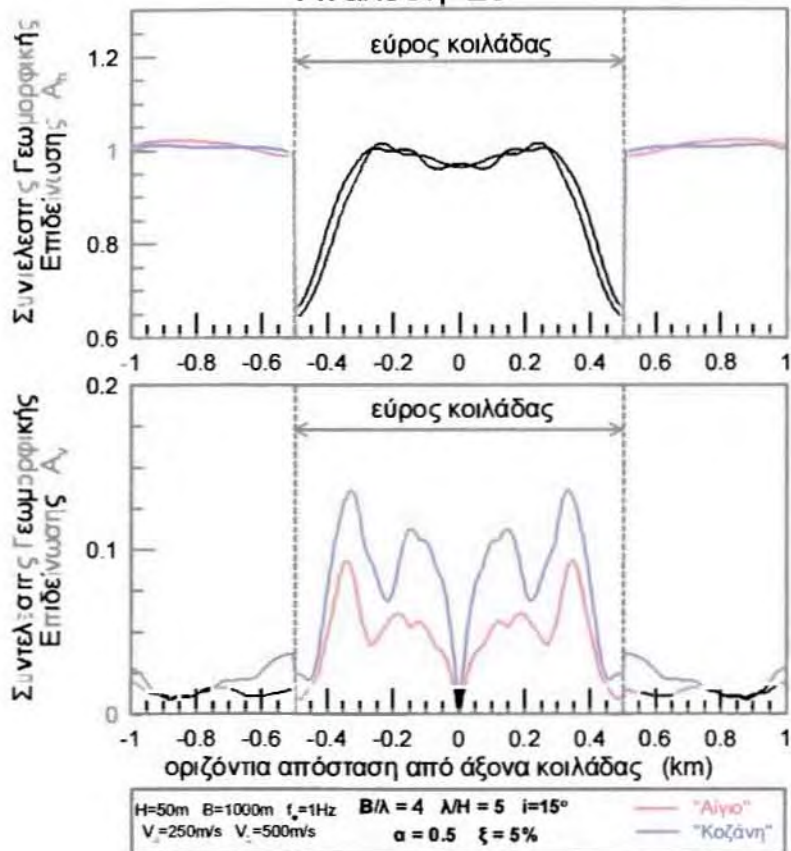
### Ανάλυση 21



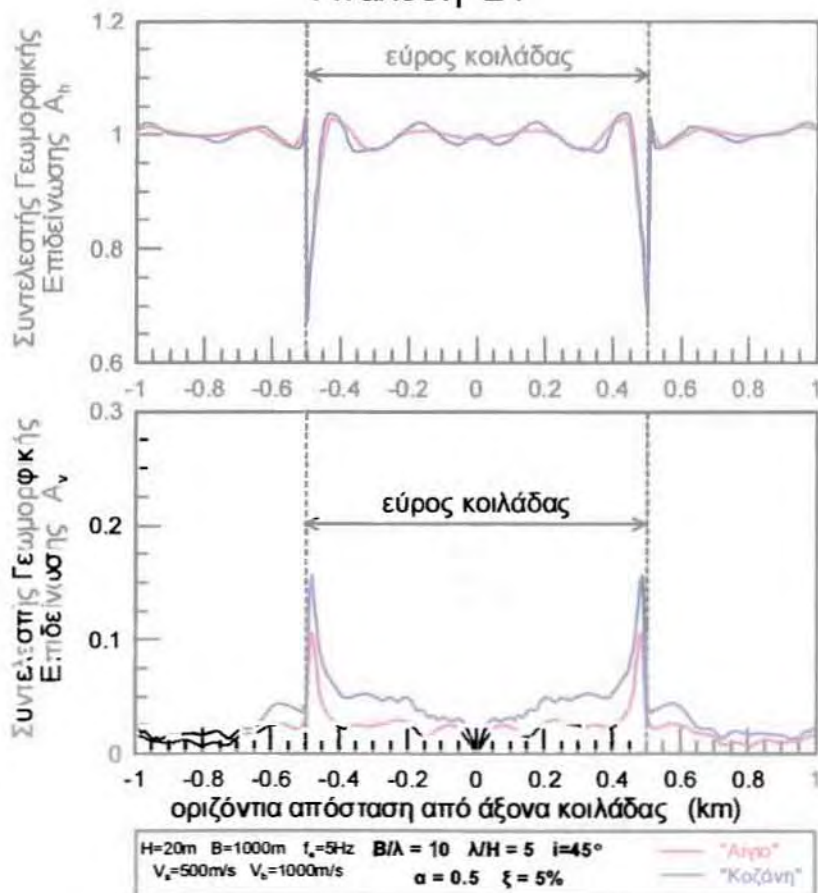
### Ανάλυση 22



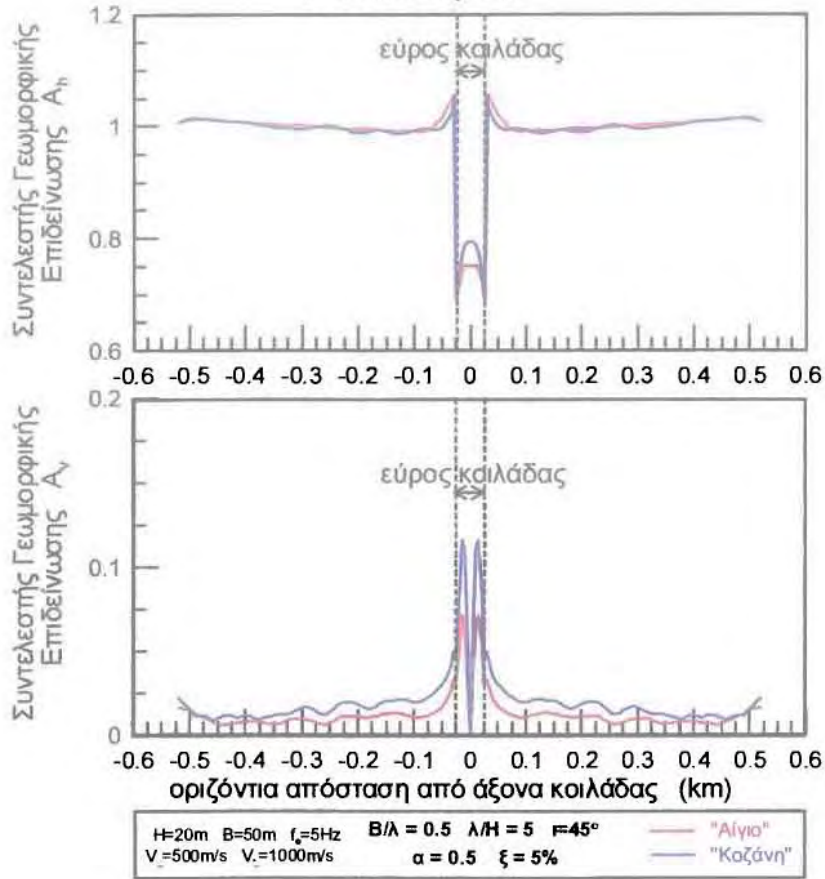
### Ανάλυση 23



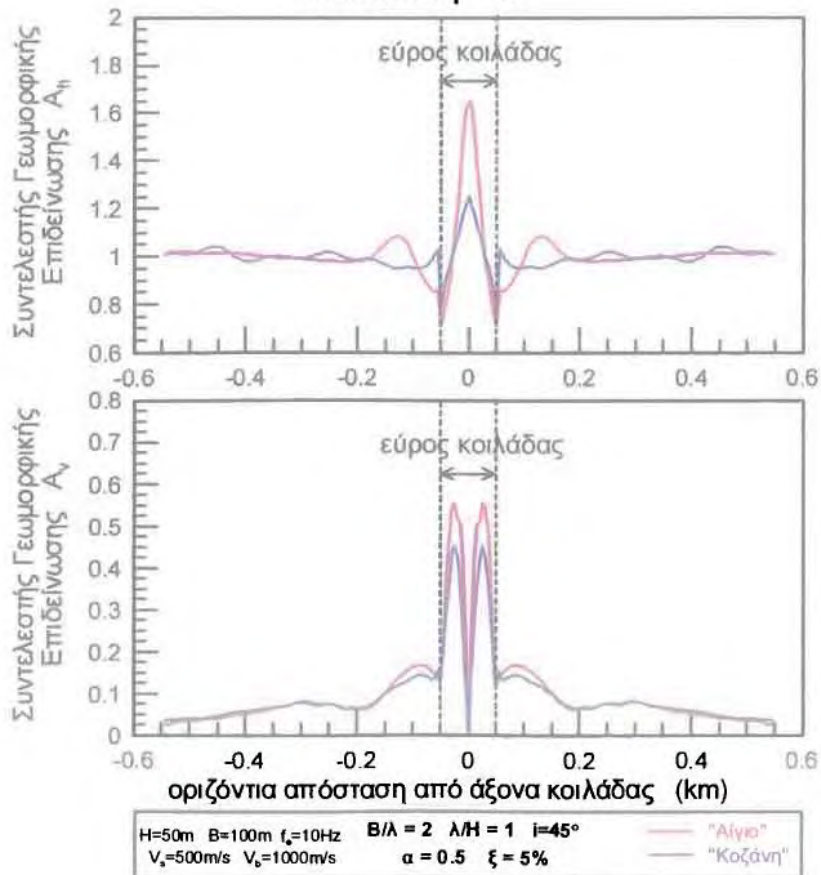
### Ανάλυση 24



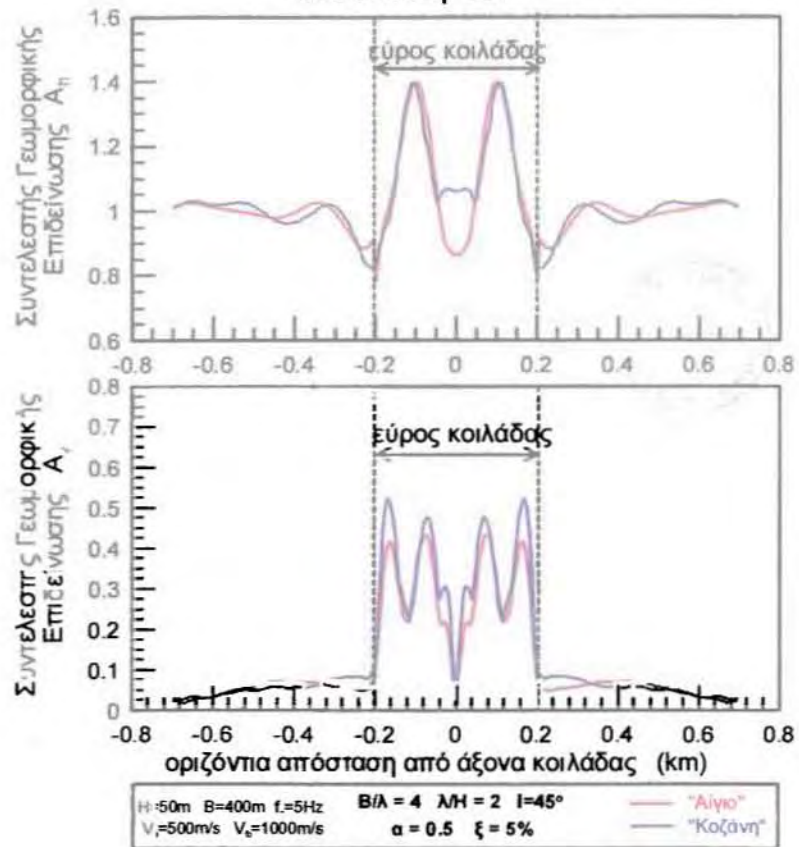
### Ανάλυση 25



### Ανάλυση 26



### Ανάλυση 27



### Ανάλυση 28

