



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΑΝΟ-
ΜΟΙΟΜΟΡΦΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΟΙΛΑΔΕΣ**

ΧΑΤΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αχ. Παπαδημητρίου, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π



DIPLOMA THESIS

**SEISMIC MOTION AMPLIFICATION ALONG
NON-UNIFORM SOIL VALLEYS**

CHATZIS KONSTANTINOS

Supervisor:

Ach. Papadimitriou, Assistant Professor N.T.U.A

Αθήνα, Μάρτιος 2016

**ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΑΝΟ-
ΜΟΙΟΜΟΡΦΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΟΙΛΑΔΕΣ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσους υποστήριξαν πρακτικά και ηθικά την προσπάθειά μου.

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ. Παπαδημητρίου Αχιλλέα, για την άριστη συνεργασία που είχαμε, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Είμαι σίγουρος πως οι συμβουλές του και η καθοδήγηση του θα είναι ένα από τα πιο πολύτιμα εφόδια στην επαγγελματική μου σταδιοδρομία και του είμαι ευγνώμων.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την αμέριστη ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν, με αποτέλεσμα να έχω τη δυνατότητα να αφοσιωθώ απερίσπαστα στην περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την συμπαράσταση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αφορά στην αριθμητική διερεύνηση της γεωμορφικής επιδείνωσης της φασματικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους ανομοιόμορφων (αλλουβιακών) κοιλάδων. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης (με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών) για ομοιόμορφες και ανομοιόμορφες συμμετρικές τραπεζοειδείς κοιλάδες ιξωδο-ελαστικού εδάφους επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου, με μη-αρμονικές διεγέρσεις που επιβάλλονται ως κατακόρυφως προσπίπτοντα κύματα SV.

Η πλειονότητα της σχετικής βιβλιογραφίας επικεντρώνεται στη δυναμική απόκριση ομοιόμορφων κοιλάδων, και έτσι η διερεύνηση εδώ γίνεται συγκρίνοντας την απόκριση γεωμετρικά ίδιων κοιλάδων με ανομοιόμορφο έδαφος ίδιας μέσης δυστημσίας με το ομοιόμορφο έδαφος αναφοράς. Η ανομοιομορφία εισάγεται ως γραμμική αύξηση (κλίσης d) της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων V_S με το βάθος, χωρίς οριζόντια διαφοροποίηση. Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης στην οριζόντια επιτάχυνση ορίζεται ο λόγος ASA_h της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης σε κάθε θέση, προς την αντίστοιχη επιτάχυνση υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης στην ίδια θέση, και όχι ως προς τον αναδυόμενο βράχο. Αντίστοιχα, ορίζεται ο λόγος ASA_v σε κάθε θέση, με τον αριθμητή να έχει ως τιμή την (παρασιτική) κατακόρυφη φασματική επιτάχυνση σε κάθε θέση, και τον παρονομαστή να είναι και πάλι εκείνος του λόγου ASA_h , δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη ταλάντωση υπό 1Δ συνθήκες.

Οι αναλύσεις υποδεικνύουν μεγεθυμένες φασματικές ενισχύσεις ως προς τον αναδυόμενο βράχο σε ανομοιόμορφες κοιλάδες, αλλά αυτό αποδίδεται στην αντίστοιχη μεγέθυνση της φασματικής επιτάχυνσης υπό 1Δ συνθήκες. Μάλιστα, βρέθηκε ότι η μεγέθυνση της 1Δ φασματικής επιτάχυνσης είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο αυξάνει ο βαθμός ανομοιομορφίας, δηλαδή η κλίση d της γραμμικής αύξησης της ταχύτητας V_S με το βάθος. Οι μεγεθυντικές επιδράσεις της ανομοιομορφίας στην 1Δ απόκριση δε σχετίζονται με τη (μικρή) μεταβολή της πρώτης ιδιοπεριόδου της εδαφικής στρώσης, αλλά με τη σύγκλιση της δεύτερης και τρίτης ιδιοπεριόδου σε τιμές πλησίον της πρώτης.

Στη συνέχεια, η έμφαση δόθηκε στους λόγους ASA_h και ASA_v απ' όπου προκύπτει σχετική μείωση αυτών με το βαθμό της ανομοιομορφίας, ειδικά για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις. Με άλλα λόγια, η ανομοιομορφία ενισχύει τις φασματικές επιταχύνσεις λίγο περισσότερο υπό 1Δ συνθήκες, παρά εντός 2Δ εδαφικών κοιλάδων. Επιπλέον προκύπτει, ότι οι θέσεις εμφάνισης των μεγίστων τιμών των λόγων ASA_h και ASA_v μετατοπίζονται προς τα άκρα της κοιλάδας, όσο αυξάνει ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Επίσης, τα ελαστικά φάσματα απόκρισης υποδεικνύουν ότι σημαντικές γεωμορφικές φασματικές ενισχύσεις συμβαίνουν σε σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής T , και συγκεκριμένα για περιόδους T μικρότερες της πρώτης ιδιοπεριόδου της εδαφικής στρώσης για την ASA_h και για περιόδους T μικρότερες της δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης για την ASA_v .

Τέλος, διερευνήθηκε το πόσο σωστή είναι η χρήση των λόγων ASA_h και ASA_v κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων του υποβάθρου, όπου το κατακόρυφο πάχος της κοιλάδας είναι μικρότερο του H που αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς κοιλάδας, και για το οποίο εκτιμάται ο κοινός παρονομαστής των ανωτέρω λόγων κατά μήκος ολόκληρης της κοιλάδας. Για το σκοπό αυτό εκτιμήθηκε η 1Δ απόκριση και για εδαφικές στήλες πάχους $H/3$ και $2H/3$, με βάση τις οποίες έγινε γεωγραφική διαφοροποίηση του παρονομαστή των λόγων ASA_h και ASA_v κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων. Οι συγκρίσεις υποδεικνύουν ότι ο ορισμός με βάση το πάχος H δίνει γενικώς συντηρητικές εκτιμήσεις της γεωμορφικής επιδείνωσης (υψηλές τιμές) κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων, με εξαίρεση ίσως την πλέον ακραία περιοχή της κοιλάδας, πλησίον της ανάδυσης του βράχου στην επιφάνεια. Το πρόβλημα αυτό είναι ποσοτικό μεγαλύτερο στις ανομοιομορφες κοιλάδας, αλλά πάλι εντοπίζεται μόνο στην ίδια περιοχή.

ABSTRACT

This thesis concerns the numerical investigation of the geomorphic aggravation of the spectral acceleration at the ground surface of non-uniform (alluvial) valleys. For this purpose, 2D seismic ground response numerical analyses were performed for symmetric trapezoidal valleys of uniform and non-uniform visco-elastic soil deposits over visco-elastic bedrock. The excitations used were vertically impinging non-harmonic SV waves.

The majority of the pertinent literature focuses on the dynamic response of uniform soil valleys and, thus, this investigation is performed by comparing the response of geometrically similar valleys of non-uniform soil of same mean stiffness with the corresponding (reference) uniform soil. The non-uniformity is introduced as a linear increase (of gradient d) of the shear wave velocity V_S with depth, without horizontal diversification. For the quantification of geomorphic aggravation in the horizontal acceleration, the term ASA_h is defined as the ratio of horizontal spectral acceleration at each location of the ground surface over the corresponding acceleration under 1D vibration conditions at the same location, and not at the outcropping bedrock. Similarly, the term ASA_v is defined as the ratio of the (parasitic) vertical spectral acceleration at each location of the ground surface over the same denominator as that in the term ASA_h , since there is no vertical vibration under 1D conditions.

The analyses indicate increased spectral amplification in non-uniform soil valleys in comparison to the motion at outcropping bedrock, but this is due to the respective amplification of the spectral acceleration under 1D vibration conditions. Moreover, the 1D amplification of spectral acceleration increases with the intensity of non-uniformity, namely the value of gradient d of the linear increase of V_S with depth. The increased 1D amplification effects due to soil non-uniformity are not related with the (small) modification of its first eigen-period, but to the convergence of the second and third eigen-periods to period values near those of the first eigen-period.

Then, the emphasis was set on the ASA_h and ASA_v ratios, which exhibit a relative decrease with the degree of soil non-uniformity, especially for low frequency excitations.

In other words, the non-uniformity aggravates the spectral acceleration under 1D vibration conditions slightly more than within 2D soil valleys. Moreover, the locations of occurrence of the peak values of ASA_h and ASA_v are shifted to the valley edges, as the degree of non-uniformity increases. In addition, the elastic response spectra show that significant geomorphic aggravations occur at relatively small structural periods T , and specifically for periods T smaller than the first eigenperiod for ASA_h and for periods T smaller than the predominant excitation period for ASA_v .

Finally, an investigation is performed as to the relative accuracy of using the ratios ASA_h and ASA_v along the inclined bedrock edges of the valley, where the vertical valley thickness is less than H corresponding to the central part of the trapezoidal valley, and for which the common denominator of these ratios is computed and applied for all locations along the valley. For this purpose, the 1D vibration response of soil columns with thickness equal to $H/3$ and $2H/3$ is estimated, and is being used for spatially differentiating the denominator of the ASA_h and ASA_v ratios along the inclined edges. The comparisons indicate that the definition by employing thickness H leads to generally conservative estimations of geomorphic aggravation (high values) along the inclined edges, with the exception of the very edges of the valley near where the bedrock outcrops at the surface. This problem is quantitatively more intense in non-uniform soil valleys, but it's again limited to the same area only.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	v
Περιεχόμενα	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 <i>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ</i>	3
1.2 <i>ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</i>	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	5
2.1 <i>ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ EC8 ΣΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ</i>	6
2.2 <i>ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ A_h και A_v (A_{hmax} και A_{vmax})</i>	7
2.3 <i>ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΟΥΣ ΕΛΑΦΟΥΣ</i>	10
2.4 <i>ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΩΝ ΛΟΓΩ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ</i>	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	25
3.1 <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ FLAC</i>	25
3.2 <i>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</i>	27
3.2.1 <i>ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ</i>	27
3.2.2 <i>ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΤΗΛΕΣ</i>	33
3.3 <i>ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ</i>	34
3.4 <i>ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</i>	34
3.5 <i>ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</i>	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟΥ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	39
4.1 <i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	39

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1Δ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ	41
4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1Δ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΑΚΑΜΠΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ	45
4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1 ^Η ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ	48
4.5 ΣΥΝΟΨΗ	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΛΑΔΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	53
5.1 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	53
5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΕ «ΣΤΕΝΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ	55
5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΕ «ΠΛΑΤΙΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ	80
5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96
5.5 ΣΥΝΟΨΗ	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΡΘΟΤΗΤΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ ΚΟΙΛΑΔΑΣ	101
6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ.....	101
6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ «ΣΤΕΝΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ	102
6.3 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ «ΠΛΑΤΙΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ.....	109
6.4 ΣΥΝΟΨΗ	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	115
7.1 ΓΕΝΙΚΑ	115
7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	116
7.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα σεισμών στο παρελθόν όπου η σεισμική κίνηση εντός αλλοιωματικών κοιλάδων ενισχύθηκε σημαντικά σε σχέση με τον αναδυόμενο βράχο. Οι ενισχύσεις αυτές δεν ήταν ενιαίες, και παρουσίαζαν σημαντική χωρική διαφοροποίηση κατά μήκος των κοιλάδων. Έτσι, το πολύπλοκο φαινόμενο της (γεωμορφικής) επιδείνωσης του σεισμικής κίνησης κατά μήκος κοιλάδων έχει αποτελέσει το στόχο πολλών ερευνητών στη βιβλιογραφία, και η εργασία αυτή εντάσσεται σε αυτές τις προσπάθειες.

Η πλειονότητα της σχετικής βιβλιογραφίας επικεντρώνεται στη δυναμική απόκριση ομοιόμορφων κοιλάδων. Έτσι, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στη γεωμορφική επιδείνωση της φασματικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους ανομοιόμορφων κοιλάδων. Η διερεύνηση γίνεται με 2D αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης (με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών) για ομοιόμορφες και ανομοιόμορφες συμμετρικές τραπεζοειδείς κοιλάδες ιξωδο-ελαστικού εδάφους επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου, με μη-αρμονικές διεγέρσεις που επιβάλλονται ως κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα SV.

Το πώς προσεγγίστηκε η αριθμητική διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης ανομοιόμορφων κοιλάδων περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο, όπου παρουσιάζεται και η διάρθρωση της εργασίας.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή αποτελείται από 7 κεφάλαια, με το παρόν πρώτο να είναι εισαγωγικό και να παρουσιάζει το αντικείμενό της και τη διάρθρωσή 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), και μετά αναλύεται πλήρως η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στις αναλύσεις: μορφή καννάβου, ο τρόπος εισαγωγής της σεισμικής διέγερσης, οι συνοριακές συνθήκες, η μορφή της επιλεχθείσας σεισμικής διέγερσης, αλλά και ο τρόπος εκτίμησης των αποτελεσμάτων σε όρους εδαφικής ενίσχυσης λόγω της ύπαρξης μιας πεπερασμένου εύρους κοιλάδας.

Το τέταρτο κεφάλαιο μελετά τη μονοδιάστατη (1Δ) συμπεριφορά ανομοιομορφων εδαφών κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης, καθώς κρίθηκε αναγκαία η διερεύνησή της εξαιτίας της πολυπλοκότητας της σεισμικής απόκρισης 2Δ σχηματισμών ανομοιομορφου εδάφους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της ανομοιομορφίας του εδάφους της λεκάνης στη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους, με έμφαση στην ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης τόσο ως προς τον αναδύομενο βράχο όσο και ως προς την επιφάνεια του εδάφους, αλλά υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης.

Στο έκτο κεφάλαιο, διερευνήθηκε η ακρίβεια του τρόπου ορισμού της ενίσχυσης της φασματικής επιτάχυνσης ως προς την 1Δ θεώρηση, ειδικά κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων της κοιλάδας όπου το πάχος της κοιλάδας αλλάζει από θέση σε θέση, και κυμαίνεται από Η στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς κοιλάδας μέχρι μηδέν εκεί που αναδύεται ο βράχος.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εργασίας, οι περιορισμοί στη χρήση των αποτελεσμάτων της εργασίας και με ποιο τρόπο η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εμπεδώσει την αξιοπιστία τους και να επεκτείνει την χρησιμότητά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Οι σεισμοί αποτελούν ένα από τα καταστροφικότερα φυσικά φαινόμενα με δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη όσο και στην οικονομική ζωή (UNISDR 2006). Κρίνεται συνεπώς εύλογο να αναγνωρισθούν και να κατανοηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την σεισμική απόκριση των εδαφικών στρώσεων.

Πρωταρχική σημασία στην πρόβλεψη της πιθανής σεισμικής δόνησης σε μια περιοχή κατέχουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου της. Υπάρχει πλήθος αναφορών στη διεθνή βιβλιογραφία όπου η ύπαρξη αλλουβιακών κοιλάδων σχετίζεται με την χωρική διαφοροποίηση των παρατηρηθεισών βλαβών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο σεισμός του 1988 στην Αρμενία, στην κοιλάδα Kirovakan, όπου παρατηρήθηκαν ανομοιόμορφες καταστροφές σε διαφορετικές περιοχές της πόλης Yerevan (Yegian et al, 1994) οι οποίες αποδίδονται στην επίδραση της εδαφικής λεκάνης (“basin effects”). Άλλα γνωστά παραδείγματα τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση καταστροφών σε συγκεκριμένες περιοχές αποτελούν ο σεισμός του Caracas του 1967 (Seed et al, 1972), και η ενίσχυση του εδαφικού κραδασμού από τους μαλακούς αργιλικούς σχηματισμούς του San Francisco και του Oakland από το ρήγμα του σεισμού Loma Prieta το 1989 (Graves 1993, Zhang and Papageorgiou 1996).

Παρακινούμενη από τον αντίκτυπο παρόμοιων σεισμικών συμβάντων, η επιστημονική έρευνα στόχευσε στην κατανόηση των χαρακτηριστικών της κυματικής διάδοσης σε αλλουβιακές κοιλάδες. Αρχικά, η έρευνα επικεντρώθηκε στην μελέτη της ελαστικής κυματικής διάδοσης σε οριζόντια στρωματοποιημένο μέσο (Herrera 1964, Tsai 1969, Aki and Larner 1970, Boore 1970). Η σεισμική απόκριση εδαφικών αποθέσεων με κεκλιμένο υπόβαθρο μελετήθηκε για πρώτη φορά από τους Dezfulian and Seed (1969). Στη συνέχεια, κλειστές αναλυτικές λύσεις για την διδιάστατη κυματική διάδοση σε φαράγγια και κοιλάδες απλής γεωμετρίας υποκείμενες σε διέγερση SH κυμάτων δόθηκαν από τους Trifunac (1971) και Wong and Trifunac (1974).

Η ανάδειξη των H/Y σε βασικό εργαλείο της υπολογιστικής μηχανικής, συνάμα και της γεωτεχνικής, οδήγησε στην χρήση ισχυρών αριθμητικών αλγορίθμων (όπως η μέθοδος Aki Larner, η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών (finite difference), η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (finite element – F.E.M) και η μέθοδος συνοριακών στοιχείων (boundary element – B.E.M)) προσφέροντας την δυνατότητα μελέτης απλών μοντέλων κοιλάδων με απλές διεγέρσεις, αλλά κυρίως πιο περίπλοκες γεωμετρίες πραγματικών κοιλάδων με πραγματικές διεγέρσεις (Sánchez-Sesma et al. 1993, Sánchez-Sesma and Luzon 1995, Bard and Bouchon 1980a, b, Hill et al. 1990, Zhang and Papageorgiou 1996). Από τα παραπάνω δείχθηκε ότι ο σεισμικός κραδασμός μπορεί να επηρεαστεί από τα χαρακτηριστικά της πηγής της διέγερσης (ο τύπος και η

γωνία πρόσπτωσης των εισερχομένων κυμάτων, η θεμελιώδης περίοδος τους), και τα ειδικά χαρακτηριστικά της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο μέσον (ο λόγος εμπέδησης των υποκείμενων στρωμάτων, η γεωμετρία των οριζόντιων ανομοιογενειών και ο βαθμός κινητοποίησης της μη γραμμικότητας του εδάφους).

Επίσης, παρατηρήθηκε η δημιουργία παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας εξαιτίας της δισδιάστατης μορφολογίας του υποβάθρου, η επίδραση της οποίας μπορεί να είναι επιζήμια για τις υπερκείμενες κατασκευές και είναι ένα φαινόμενο στο οποίο σπάνια δίνεται προσοχή. (Gelagoti et al. 2010).

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την διερεύνηση της επίδρασης της γεωμετρίας των οριζόντιων ανομοιογενειών εντός των εδαφικών αποθέσεων της αλλουβιακής κοιλάδας, τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης.

2.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ EC8 ΣΤΗΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Ο Ευρωκώδικας 8 (EC8) αναφέρεται σε απλοποιημένους συντελεστές ενίσχυσης σεισμικών δράσεων οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της ευστάθειας πρανών. Συγκεκριμένα, αυτοί οι συντελεστές αναφέρονται ως S_T και είναι ανεξάρτητοι της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της σεισμικής δόνησης. Πολλαπλασιάζοντας τον άνωθι συντελεστή με την τιμή που προκύπτει από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του EN 1998-1:2004 προκύπτει η επιτάχυνση σχεδιασμού. Αυτοί οι συντελεστές ενίσχυσης πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση όταν τα πρανή emπίπτουν σε δισδιάστατες τοπογραφικές ανωμαλίες, όπως σε κορυφογραμμές και πλαγιές ύψους μεγαλύτερου των 30 μέτρων.

Ενδεικτικά, ο Ευρωκώδικας 8 διακρίνει τις παρακάτω περιπτώσεις τοπογραφικών ανωμαλιών :

- Μονήρεις πλαγιές: Η τιμή του S_T πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1,2 για περιοχές κοντά στην κορυφή του πρανού
- Λόφοι με πλάτος κορυφής σημαντικά μικρότερο από το πλάτος της βάσης: Η τιμή του S_T πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1,4 για περιοχές κοντά στην κορυφή του λόφου μέσης γωνίας κλίσης μεγαλύτερης ή ίσης των 30° και η τιμή του S_T πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1,2 για μικρότερες γωνίες κλίσης πρανού

- Υπαρξη χαλαρού επιφανειακού στρώματος εδάφους: Σε αυτή την περίπτωση, η μικρότερη τιμή του S_T που δίνεται στις παραπάνω περιπτώσεις πρέπει να προσ αυξάνεται κατά 20%
- Χωρική κατανομή του συντελεστή ενίσχυσης: Η τιμή του S_T μπορεί να ελαττώνεται ως γραμμική συνάρτηση του ύψους πάνω από τη βάση της πλαγιάς ή του λόφου, και να είναι ίση με τη μονάδα στη βάση

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι ο EC8 δεν αντιμετωπίζει ολοκληρωτικά το πρόβλημα της σεισμικής ενίσχυσης λόγω τοπογραφικών ανωμαλιών. Υπάρχει, άρα, σημαντικό έλλειμμα στους αντισεισμικούς κανονισμούς όσον αφορά περιοχές που υπόκεινται σε τοπογραφία κοιλάδας.

2.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ A_h και A_v (A_{hmax} και A_{vmax})

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 έγινε μια προσπάθεια κατάστρωσης προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης των μέγιστων τιμών των συντελεστών A_h και A_v , δηλαδή των τιμών A_{hmax} και A_{vmax} , συναρτήσεως των βασικών παραμέτρων του προβλήματος της γεωμορφικής ενίσχυσης, οι οποίες είναι :

- Το αδιάστατο πάχος λ/H , με την μειωτική του επίδραση τόσο στην τιμή της οριζόντιας όσο και στην κατακόρυφη γεωμορφικής ενίσχυσης
- Το αδιάστατο πλάτος B/λ , με ελάχιστη επίδραση στην τιμή της οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_{hmax} , και αμελητέα επίδραση στην τιμή της κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης
- Ο λόγος εμπέδησης α , με μειωτική επίδραση στις δύο συνιστώσες της κίνησης
- Η γωνία κλίσης των πρανών της λεκάνης i , με αυξητική επίδραση τόσο στον οριζόντιο όσο και στον κατακόρυφο συντελεστή γεωμορφικής ενίσχυσης
- Το ποσοστό απόσβεσης ξ , με μειωτική επίδραση και στις δύο συνιστώσες της κίνησης

Πιο συγκεκριμένα, προέκυψε η σχέση εκτίμησης μέγιστων οριζόντιων ενισχύσεων :

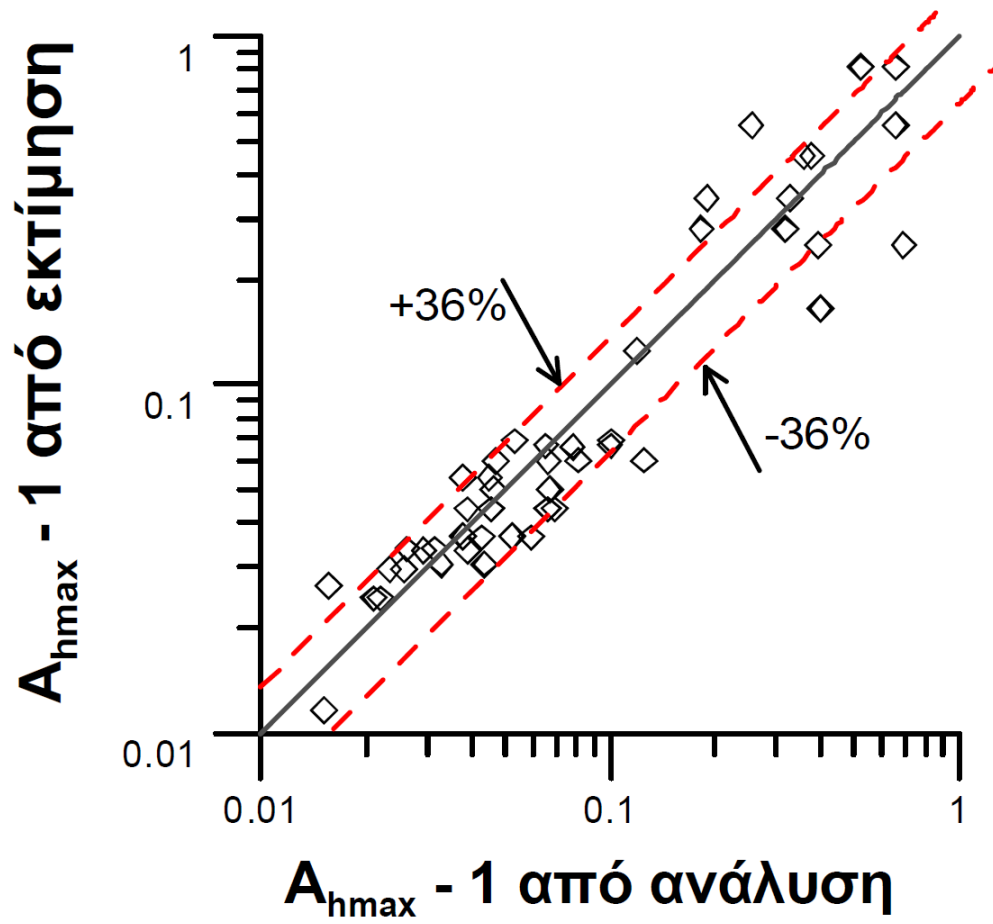
$$A_{hmax} = 1 + 0.1151 \left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45} \left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} \alpha^{-0.65} i^{0.46} \xi^{-0.26} \quad (2.1)$$

Στο Σχήμα 2.1 δίνεται το διάγραμμα 1 προς 1, στο οποίο στον άξονα x εισάγεται η τιμή της ανάλυσης και στον άξονα y η αντίστοιχη τιμή εκτίμησης από την τελική σχέση εκτίμησης, για την τιμή της $A_{hmax} - 1$. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται, 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.

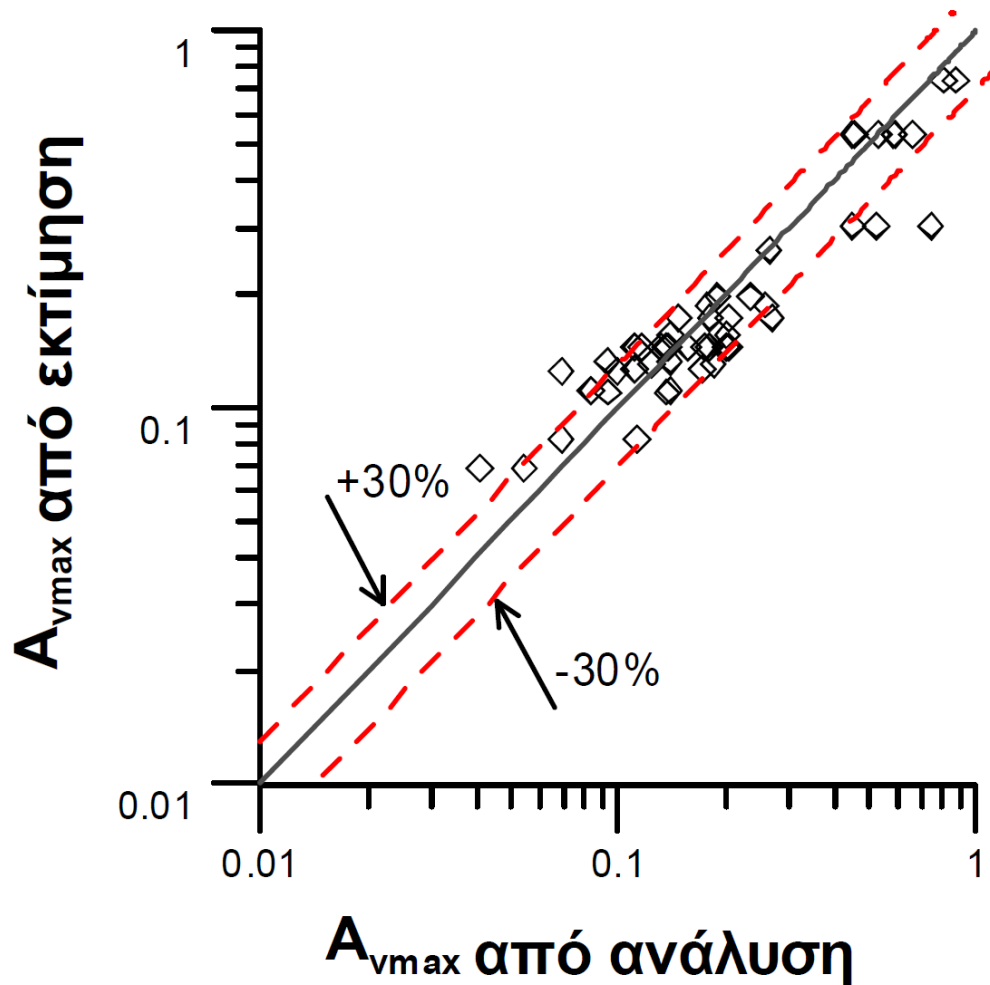
Η σχέση εκτίμησης των μέγιστων κατακόρυφων ενισχύσεων είναι:

$$A_{vmax} = 0.2156 \left(\frac{\lambda}{H} \right)^{-0.81} \alpha^{-0.37} i^{0.25} \xi^{-0.19} \quad (2.2)$$

Στο Σχήμα 2.2, δίνεται το διάγραμμα 1 προς 1, δηλαδή ανάλυσης – εκτίμησης, για την τιμή της A_{vmax} .



Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών $A_{hmax} - 1$, που προέκυψαν από την ανάλυση σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της A_{hmax} (Μελλιός και Τέττα 2010)

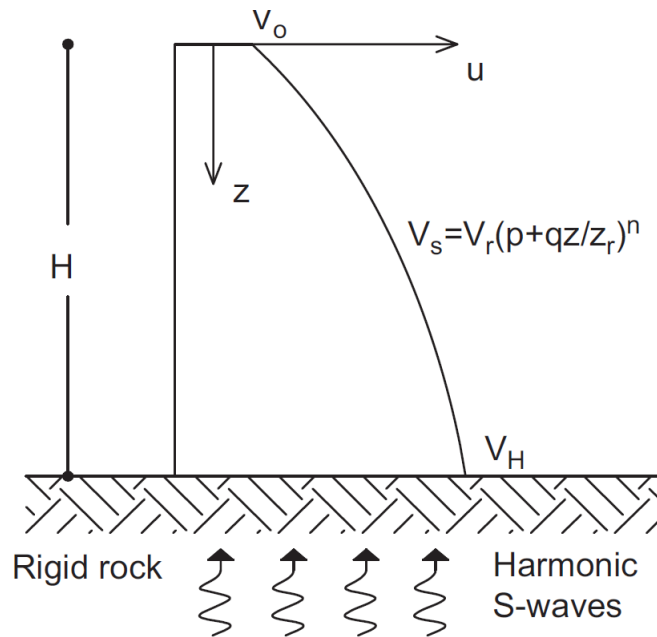


Σχήμα 2.2 : Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών A_{vmax} , που προέκυψαν από την ανάλυση σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της A_{vmax} (Μελλίος και Τέττα 2010)

2.3 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΟΥΣ ΕΛΑΦΟΥΣ

Η καλύτερη κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στις αλλουβιακές κοιλάδες ανομοιομορφων εδαφών κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης απαιτεί την διερεύνηση της βιβλιογραφίας που αφορά την μονοδιάστατη απόκριση ανομοιογενών εδαφών.

Στην εργασία Rovithis et al. (2010) μελετάται η σεισμική απόκριση ανομοιογενών εδαφικών αποθέσεων αναλυτικά μέσω της μονοδιάστατης ιζωδοελαστικής κυματικής θεωρίας. Το πρόβλημα που διερευνάται αποτελείται από ένα συνεχώς ανομοιομορφο στρώμα εδάδους πάνω από ένα ομογενές στρώμα εδάφους μεγαλύτερης δυσκαμψίας, ενώ η σεισμική διέγερση ορίζεται σε όρους κατακόρυφα διαδιδόμενων αρμονικών S κυμάτων επιβαλλόμενα στη βάση του συστήματος.



Σχήμα 2.3 : Χρησιμοποιούμενο προσομοίωμα στην εργασία Rovithis et al. (2010)

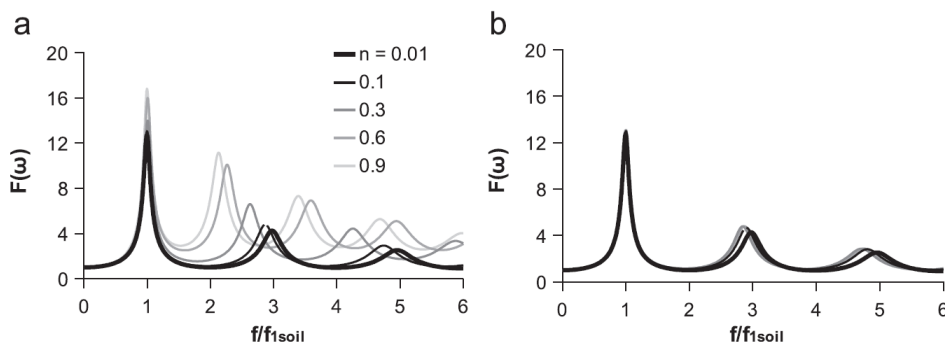
Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.3 τα συστήματα που εξετάζονται στην εργασία Rovithis et al. (2010) είναι ένα συνεχώς ανομοιομορφο ιξωδοελαστικό εδαφικό στρώμα πάχους H υπερκείμενο σε στιβαρή βάση. Η πυκνότητα του εδάφους, ρ και ο υστερητικός λόγος απόσβεσης, ξ θεωρούνται σταθεροί με το βάθος, ενώ η διατμητική κυματική ταχύτητα λογίζεται να αυξάνει με το βάθος σύμφωνα με τη γενικευμένη συνάρτηση :

$$V_s = V_r \left(b + q \frac{z}{z_r} \right)^n \quad (2.3)$$

όπου n , b , q είναι αδιάστατοι συντελεστές ανομοιομορφίας και z είναι το βάθος μετρούμενο από την επιφάνεια του εδάφους. V_r και z_r αποτελούν την διατμητική κυματική ταχύτητα και βάθος αναφοράς, αντίστοιχα.

Στα Σχήματα 2.4 a, b δείχνεται η εξίσωση του λόγου των μετακινήσεων κορυφής προς βάσης για ένα ανομοιογενές στρώμα εδάφους, σχετιζόμενη με τη συνδυασμένη επίδραση του συντελεστή ανομοιομορφίας n και του λόγο των διατμητικών ταχυτήτων V_o/V_H . Στον οριζόντιο άξονα των δύο σχημάτων, η συχνότητα της διέγερσης είναι κανονικοποιημένη ως προς την ιδιοπερίοδο της στρώσης, f_{1soil} . Παρατηρείται ότι για μικρούς λόγους διατμητικών ταχυτήτων

V_o/V_H ($V_o/V_H=0.1$), αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας ενισχύεται η απόκριση και οι υψηλότερες ιδιομορφές παρατηρούνται σε χαμηλότερες συχνότητες. Για μεγαλύτερους λόγους διατμητικών ταχυτήτων V_o/V_H ($V_o/V_H=0.75$), η επίδραση του συντελεστή ανομοιομορφίας ελαττώνεται ευλόγως, καθώς η διακύμανση της διατμητικής κυματικής ταχύτητας εντός του ανομοιόμορφου εδάφους είναι ασθενής.



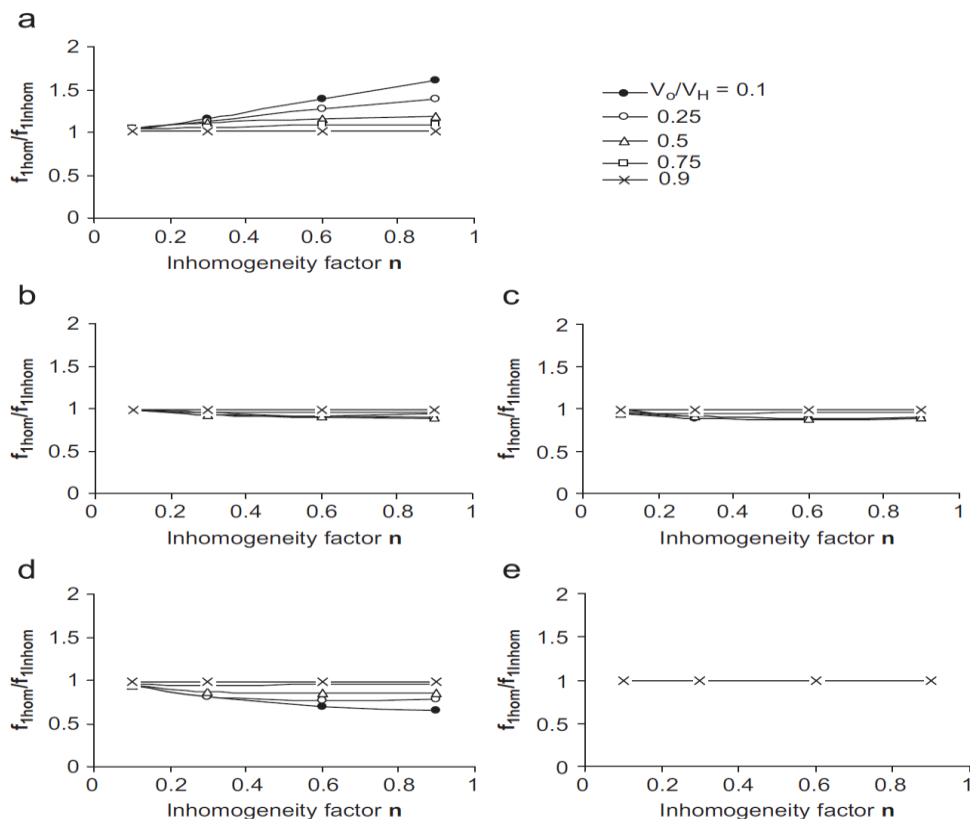
Σχήμα 2.4 : Επίδραση του λόγου V_o/V_H στην εξίσωση του λόγου των μετακινήσεων κορυφής προς βάσης ενός ανομοιογενούς εδάφους για a) $V_o/V_H=0.1$ και b) $V_o/V_H=0.75$ συναρτήσει της συχνότητας για διάφορες τιμές της παραμέτρου ανομοιομορφίας n ; $\xi=0.05$ Rovithis et al. (2010)

Όσον αφορά την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του ανομοιόμορφου εδάφους, στους Rovithis et al. η προτεινόμενη λύση τους συγκρίνεται με την απόκριση εναλλακτικών ισοδύναμων ομογενών εδαφών. Πέντε ομογενή στρώματα εξετάζονται, όπου η διατμητική κυματική ταχύτητα έχει τους παρακάτω εναλλακτικούς ορισμούς :

1. V_{hom1} , ίση με τη διατμητική κυματική ταχύτητα V_H στην βάση του ανομοιογενούς εδάφους
2. V_{hom2} , ίση με τη διατμητική κυματική ταχύτητα $V_s(H/2)$ στο μέσο του ανομοιογενούς εδάφους
3. V_{hom3} , ίση με τη μέση διατμητική κυματική ταχύτητα στο ανομοιογενές έδαφος
4. V_{hom4} , που δίνει ίσους χρόνους διέλευσης μεταξύ της βάσης και της κορυφής στο ομογενές και ανομοιογενές έδαφος
5. V_{hom5} , που ανταποκρίνεται σε ένα ισοδύναμο ομοιόμορφο έδαφος που έχει την ίδια θεμελιώδη ιδιοπερίοδο με το ανομοιογενές

Στο Σχήμα 2.5, το ανομοιογενές σύστημα συγκρίνεται με τα άνωθι ισοδύναμα ομογενή σε όρους των φυσικών χαρακτηριστικών ταλάντωσης. Συγκεκριμένα, ο λόγος της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του ισοδύναμου ομογενούς εδάφους προς την πρώτη ιδιοπερίοδο του ανομοιογενούς εδάφους ($f_{1\text{hom}}/f_{1\text{Inhom}}$) σχεδιάζεται σε σχέση με τον παράγοντα ανομοιογένειας n για διάφορους λόγους V_o/V_H .

Παρατηρείται ότι οι συχνότητες συντονισμού μετριώς ανομοιόμορφων εδαφών ($V_o/V_H > 0.25$) μπορούν να προσεγγισθούν ικανώς από ένα ισοδύναμο ομοιογενές έδαφος είτε ίσης διατμητικής κυματικής ταχύτητας στο μέσο βάθος της ανομοιογενούς απόθεσης, ή μέσης τιμής της διατμητικής κυματικής ταχύτητας ολόκληρου του στρώματος. Αντίθετα, οι συχνότητες συντονισμού μετριώς προς ισχυρώς ανομοιόμορφων εδαφών ($V_o/V_H < 0.5$ και παράγοντα ανομοιογένειας πάνω από 0.3) μπορούν αξιοσημείωτα να υποεκτιμηθούν όταν εφαρμόζεται ένα ισοδύναμο ομοιογενές εδαφικό προφίλ.

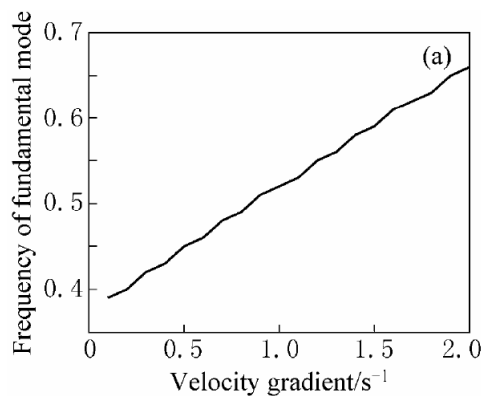


Σχήμα 2.5 : Λόγος της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του ισοδύναμου ομογενούς εδάφους προς την πρώτη ιδιοπερίοδο του ανομοιογενούς εδάφους ($f_{1\text{hom}}/f_{1\text{Inhom}}$) συναρτήσει του παράγοντα ανομοιομορφίας n : (a) $V_{\text{hom}}=V_{\text{hom}1}$, (b) $V_{\text{hom}}=V_{\text{hom}2}$, (c) $V_{\text{hom}}=V_{\text{hom}3}$, (d) $V_{\text{hom}}=V_{\text{hom}4}$ και (e) $V_{\text{hom}}=V_{\text{hom}5}$. Σε όλα τα σχήματα, $\xi=0.05$ Rovithis et al. (2010)

2.4 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΩΝ ΛΟΓΩ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

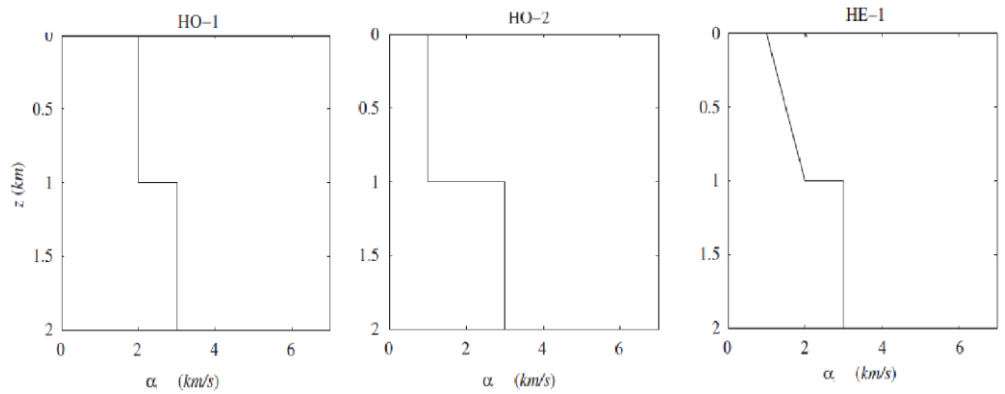
- ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

Στην εργασία Zengxi Ge (2010) μελετήθηκε η επιρροή του μεταβαλλόμενου μέτρου της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στην θεμελιώδη συχνότητα συντονισμού. Στο Σχήμα 2.6 αποτυπώνεται η μεταβολή της συχνότητας συντονισμού της υπό εξέταση κοιλάδας για 20 διαφορετικές κλίσεις του μέτρου διατμητικής ταχύτητας από το 0.1 ως το 2. Καθώς η κλίση αυξάνει η συχνότητα συντονισμού αυξάνεται γραμμικά, καθώς αυξάνεται γραμμικά η μέση ταχύτητα διάδοσης των κυματισμών.



Σχήμα 2.6 : Επίδραση μέτρου μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης στην θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα συντονισμού (Zengxi Ge 2010)

Στην εργασία Luzon et al. (2004, 2008) η θεμελιώδης συχνότητα συντονισμού μιας ανομοιόμορφης κοιλάδας μπορεί να βρεθεί ως ο μέσος όρος των θεμελιωδών συχνοτήτων ομοιογενών κοιλάδων, όπου η ετερογενής κοιλάδα είναι ένα μέσο προσομοίωμα των δυο ομοιογενών με την έννοια ότι παρουσιάζει την ίδια ταχύτητα διάδοσης Vs στην ελεύθερη επιφάνεια με τη μία και στο μέγιστο βάθος της με την άλλη.

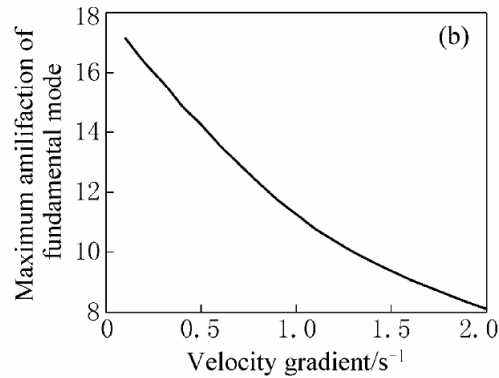


Σχήμα 2.7 : Ταχύτητες διαδόσεως των 3 κοιλάδων κατά Luzon et al. (2004, 2008)

Όσον αφορά τις ανώτερες συχνότητες συντονισμού τόσο οι εργασίες των Luzon et al. όσο και του Zengxi Ge αναφέρουν ότι διαφέρουν ανάλογα την κοιλάδα και δεν μπορούν να γίνουν απλοποιητικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό τους.

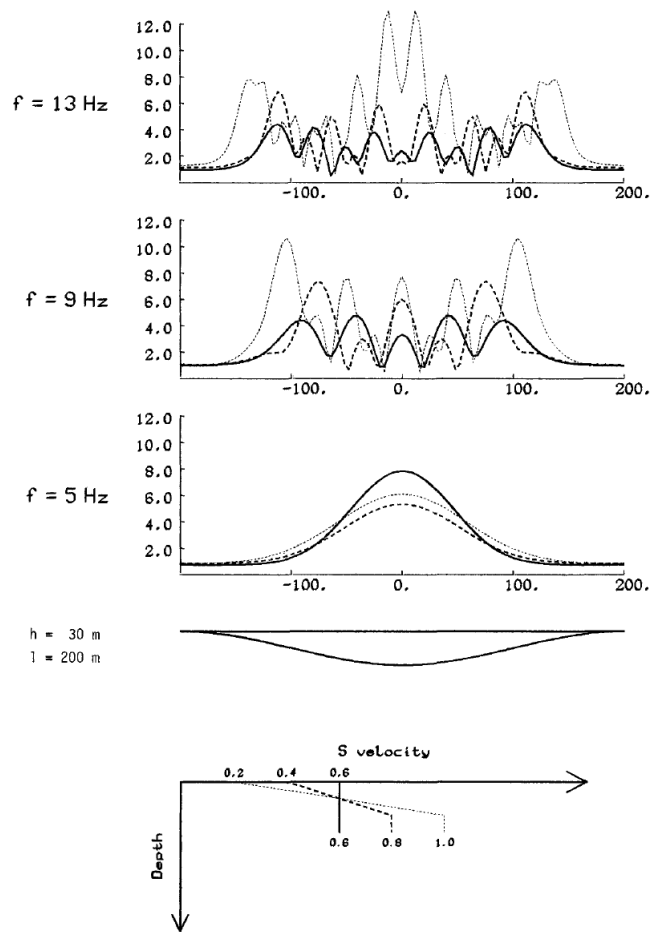
- ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Στην εργασία Zengxi Ge (2010) μελετήθηκε η επιρροή του μεταβαλλόμενου μέτρου διατμητικής ταχύτητας στην ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού κατά την πρώτη ιδιομορφή της κοιλάδας. Στο Σχήμα 2.8 αποτυπώνεται η μεταβολή του βαθμού ενίσχυσης της σεισμικής κίνησης της υπό εξέταση κοιλάδας για 20 διαφορετικές κλίσεις του μέτρου διατμητικής ταχύτητας από το 0.1 ως το 2. Προκύπτει ότι αυξανόμενης της μεταβολής της διατμητικής ταχύτητας ο βαθμός ενίσχυσης μειώνεται, καθώς η αντίθεση των δυσκαμψιών του υποβάθρου και της εδαφικής μάζας της κοιλάδας μειώνεται με αποτέλεσμα λιγότερη ενέργεια να εγκλωβίζεται στην κοιλάδα.



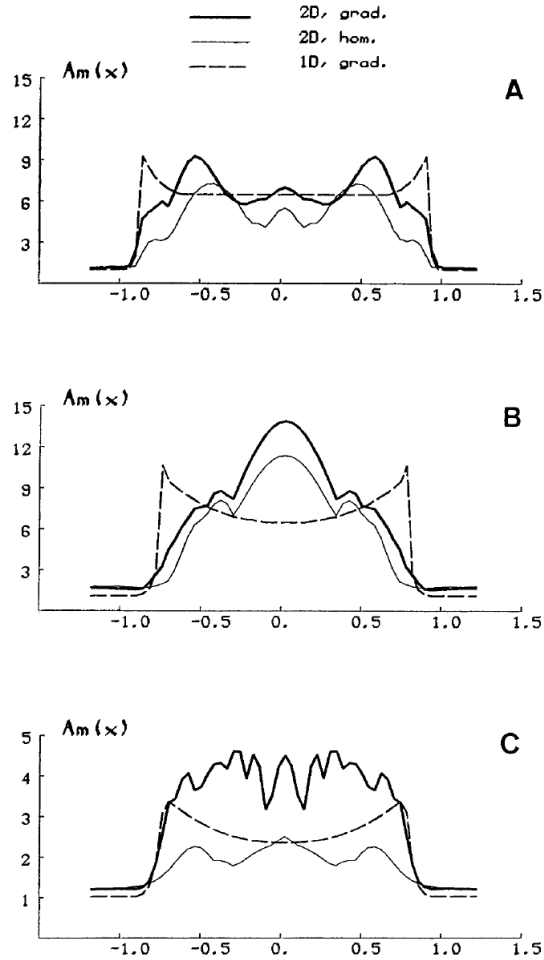
Σχήμα 2.8 : Επίδραση μέτρου μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης στον βαθμό σεισμικής ενίσχυσης κατά την θεμελιώδη περίοδο συντονισμού (Zengxi Ge 2010)

Στην εργασία Bard and Gariel (1986) ερευνάται η σεισμική απόκριση δισδιάστατων αποθέσεων με μεγάλη κλίση ταχυτήτων διάδοσης. Η παρουσία κατακόρυφης ανομοιογένειας δεν αλλάζει άρδην την ποιοτική σεισμική απόκριση της κοιλάδας. Η μεταβολή του μέτρου δυσκαμψίας της κοιλάδας δρα επαυξητικά στην παγίδευση της σεισμικής ενέργειας εντός της κοιλάδας. Επομένως, αναμένεται επιδείνωση της σεισμικής κίνησης σε μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με την αντίστοιχη απόκριση της ομοιογενούς κοιλάδας. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η επιφανειακή ενίσχυση σε χαρακτηριστικές συχνότητες, για μια κοιλάδα συγκεκριμένου σχήματος, σταθερής ταχύτητας στο μέσο της απόθεσης και για τρεις διαφορετικές κλίσεις ταχυτήτων διάδοσης. Παρατηρείται το άνοιγμα του εύρους στην κοιλάδα όπου εμφανίζονται οι μέγιστες ενισχύσεις για όλες τις συχνότητες, αλλά και η αύξηση της ενίσχυσης καθώς η κλίση του μέτρου της ταχύτητας αυξάνεται.



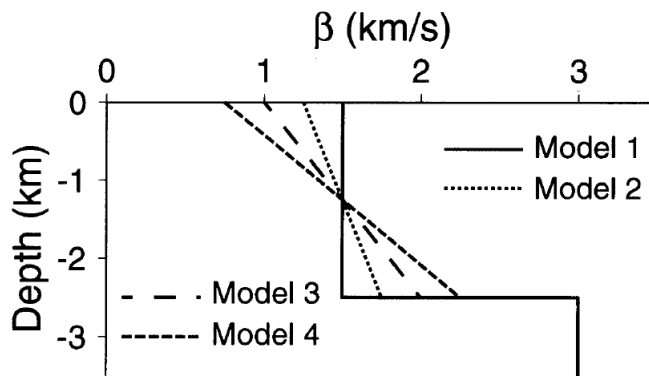
Σχήμα 2.9 : Επίδραση μέτρου μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης στον βαθμό και την κατανομή της σεισμικής ενίσχυσης σε διάφορες συχνότητες (Bard and Gariel 1986)

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η φασματική ενίσχυση για τρεις διαφορετικές κοιλάδες διαφορετικού βάθους και λόγω εμπέδησης προσομοιώνοντας την σεισμική κίνηση με 1-Δ ανομοιογενή, 2-Δ ομοιογενή και ανομοιογενή προσομοιώματα. Αμέλεια της κατακόρυφης ανομοιομορφίας έχει ως αποτέλεσμα την αξιοσημείωτη υποεκτίμηση της επιφανειακής ενίσχυσης ειδικά στις άκρες της κοιλάδας. Παράβλεψη του διαστήματος του προβλήματος οδηγεί σε διαφορετικές φασματικές ενισχύσεις.



Σχήμα 2.10 : Φασματικές ενισχύσεις 3 κοιλάδων ως συνάρτηση της αδιαστατοποιημένης απόστασης από το κέντρο της κοιλάδας με χρήση 1- Δ και 2- Δ προσομοιωμάτων (Bard and Gariel 1986)

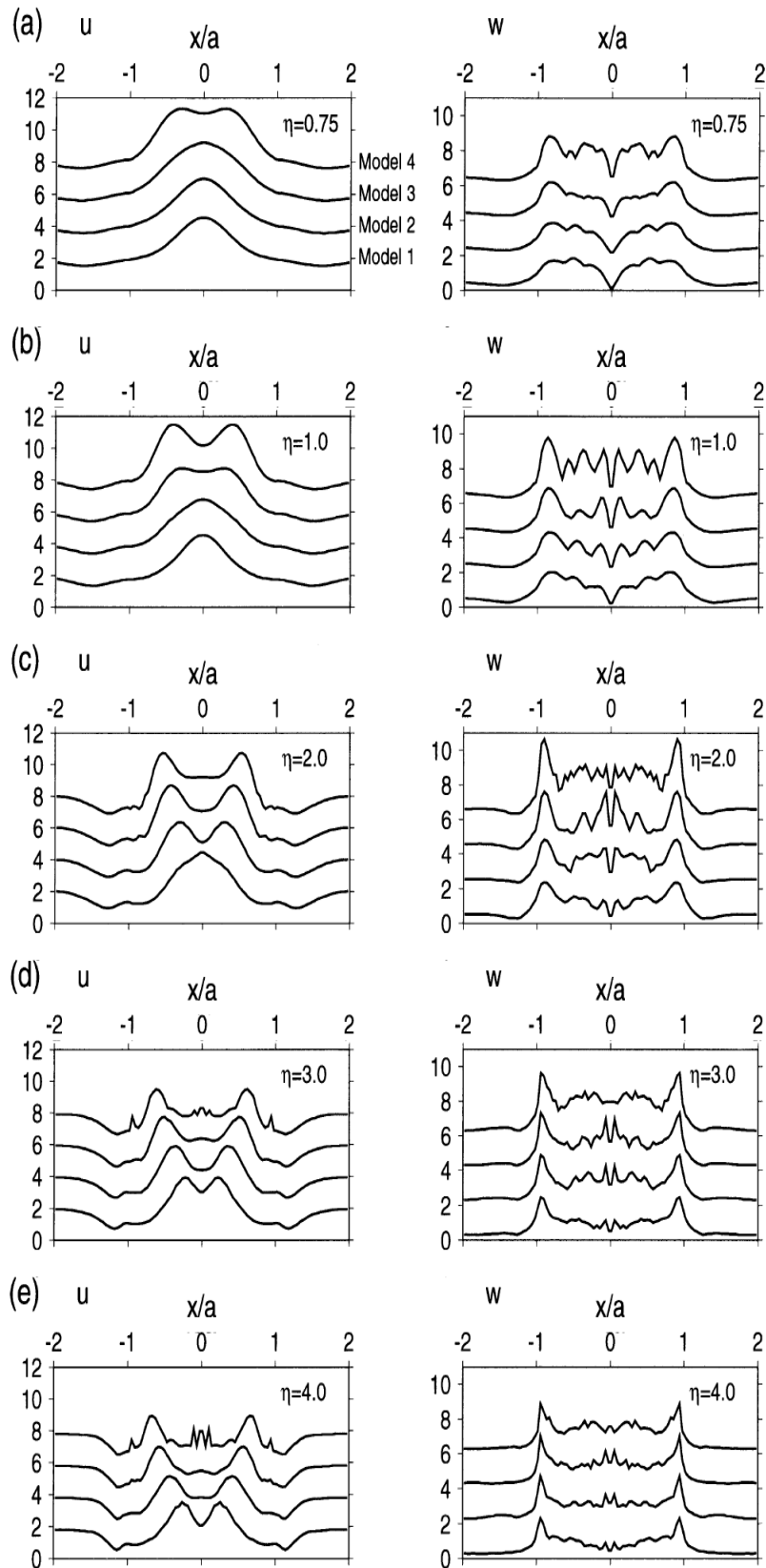
Στην εργασία Wang et al. (2000) ερευνάται η εξάρτηση της ενίσχυσης και της χωρικής κατανομής σεισμικού κραδασμού από την κλίση της διατμητικής ταχύτητας και την επικρατούσα συχνότητα του σεισμικού σήματος μέσω τεσσάρων κοιλάδων. Η μεταβολή της διατμητικής ταχύτητας των τεσσάρων προσομοιωμάτων δείχνεται στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11 : Κατανομή ταχυτήτων των προσομοιωμάτων (Wang et al. 2000)

Στο Σχήμα 2.12 παρουσιάζεται η κατανομή των οριζόντιων και κατακόρυγων μετατοπίσεων για τις τέσσερις κοιλάδες για 4 διαφορετικές επικρατούσες συχνότητες διέγερσης. Η οριζόντια συνιστώσα της κίνησης παρουσιάζει το μέγιστο της στο κέντρο για όλες τις κοιλάδες και τις συχνότητες διέγερσης. Η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης μεγιστοποιείται στα άκρα της κοιλάδας και στο κέντρο είναι μηδενική λόγω συμμετρίας. Συμπερασματικά για τυχαία επιβαλλόμενα κύματα διαφορετικών συχνοτήτων, οι τέσσερις κοιλάδες έχουν παρόμοια χωρική κατανομή των μέγιστων συνιστωσών της κίνησης κατά μήκος της επιφάνειάς τους, αλλά αυτή η κατανομή τείνει να γίνεται πιο περίπλοκη και να εμφανίζει περισσότερα τοπικά μέγιστα προς τα άκρα της των κοιλάδων καθώς αυξάνεται η κλίση μεταβολής του μέτρου της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων και η συχνότητα της διέγερσης.

Κατά μήκος της επιφάνειας των κοιλάδων και εξωτερικά των ακρών των, τόσο η οριζόντια όσο και η κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησης διαφέρει από σημείο σε σημείο με εμφάνιση τοπικών μεγίστων.



Σχήμα 2.12 : Κατανομή των επιφανειακών ενισχύσεων για κάθε προσομοίωμα και συχνότητα. Αριστερά οι οριζόντιες και δεξιά οι κατακόρυφες μετακινήσεις. Η κάθε καμπύλη είναι μετατοπισμένη κατά 2 προς τα πάνω (Wang et al. 2000)

- ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Οι Wang et al (2000) μελέτησαν την χρονική κατανομή των σεισμικών κυμάτων σε όλο το βάθος των κοιλάδων. Στο Σχήμα 2.13 παρουσιάζονται τα στιγμιότυπα των κυματομορφών για μια ομοιογενή και μια ετερογενή κοιλάδα. Στα στιγμιότυπα απεικονίζονται P και SV κύματα, τα οποία δείχνονται με κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

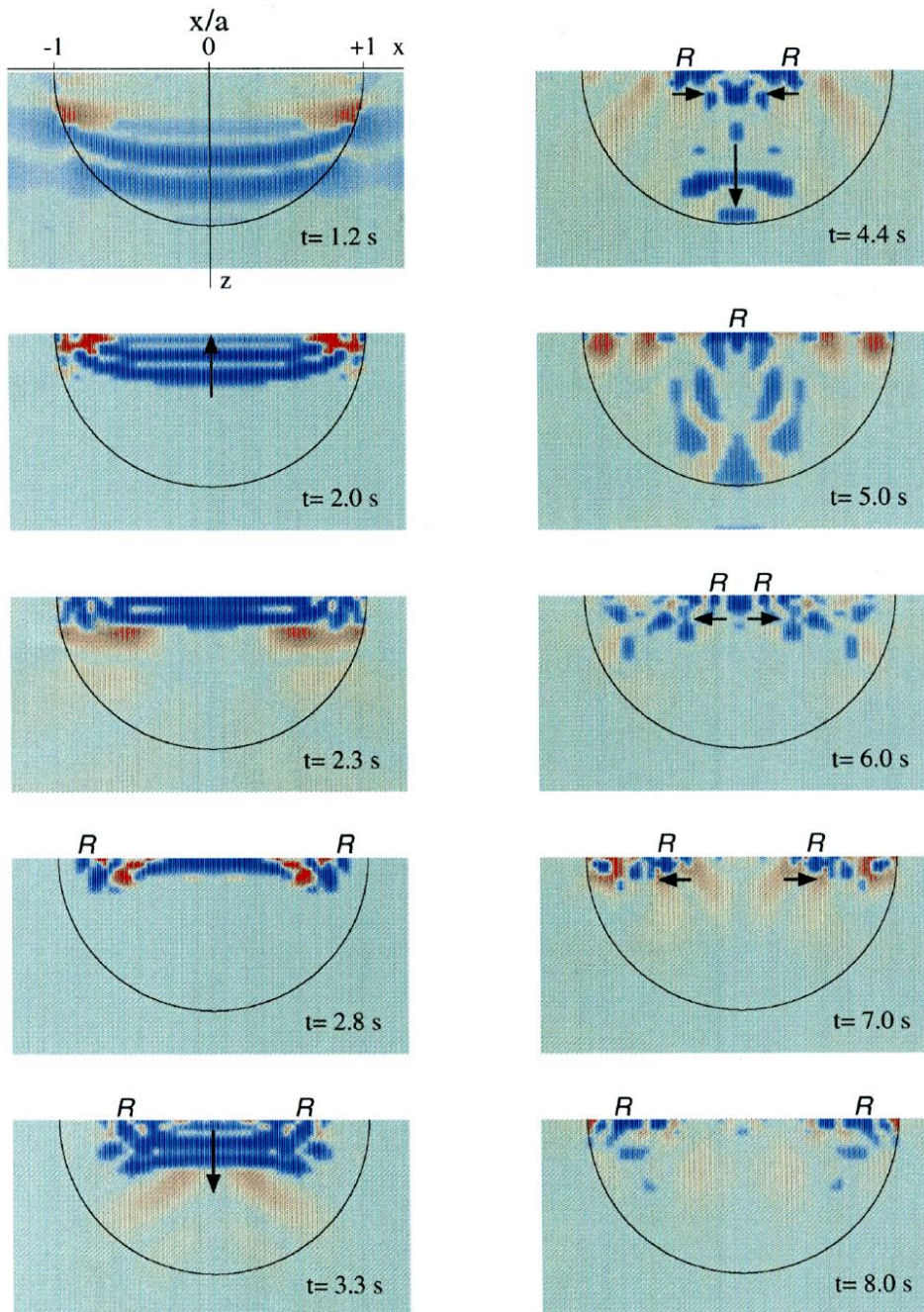
Συγκρίνοντας τα στιγμιότυπα στην ομοιογενή και ανομοιογενή κοιλάδα, παρατηρείται ότι η ύπαρξη μεταβαλλόμενου μέτρου ταχύτητα διαδόσεως επιδρά εντόνως στις κυματομορφές εντός της κοιλάδας. Ο αντίκτυπος του μεταβλητού μέτρου ταχύτητας είναι ιδιαίτερα εμφανής στην κίνηση των ρηχών ζωνών των κοιλάδων καθώς αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίθεση δυσκαμψιών με το υπόβαθρο.

Παραβάλλοντας τα αποτελέσματα των 2 προσομοιωμάτων, φαίνεται η αλλαγή της καμπύλωσης των εισερχόμενων και ανακλώμενων κυματικών μετώπων (από $t=1.2$ s ως 3.3 s). Στην ανομοιογενή κοιλάδα, τα Rayleigh κύματα που δημιουργούνται στα άκρα εμφανίζονται με μεγαλύτερα πλάτη σε σχέση με την ομοιογενή. Επιπλέον, τα διαδιδόμενα κύματα στην ανομοιογενή κοιλάδα "παγιδεύονται" στην ανώτερη ρηχή ζώνη της κοιλάδας λόγω της μικρότερης ταχύτητας διαδόσεως, πράγμα που δεν παρατηρείται στην ομοιογενή κοιλάδα.

Στα τελευταία δευτερόλεπτα του σεισμικού κραδασμού, η κίνηση στην ανώτερη ρηχή ζώνη γίνεται εντονότερη καθώς μεταγενέστερα P και SV κύματα εισέρχονται. Η ανωτέρα κίνηση συγκεντρώνεται κυρίως στα άκρα της κοιλάδας καθώς εκεί η διαφορά δυσκαμψιών της εδαφικής στρώσης με το υπόβαθρο είναι μεγαλύτερη. Τα άνω ενισχυμένα φαινόμενα δεν εμφανίζονται σε τέτοιο βαθμό στις ομοιογενείς κοιλάδες.

Παρόμοια φαινόμενα έχουν εμφανιστεί σε όλο το εύρος των υπό εξέταση συχνοτήτων και λόγων σχήματος κοιλάδας.

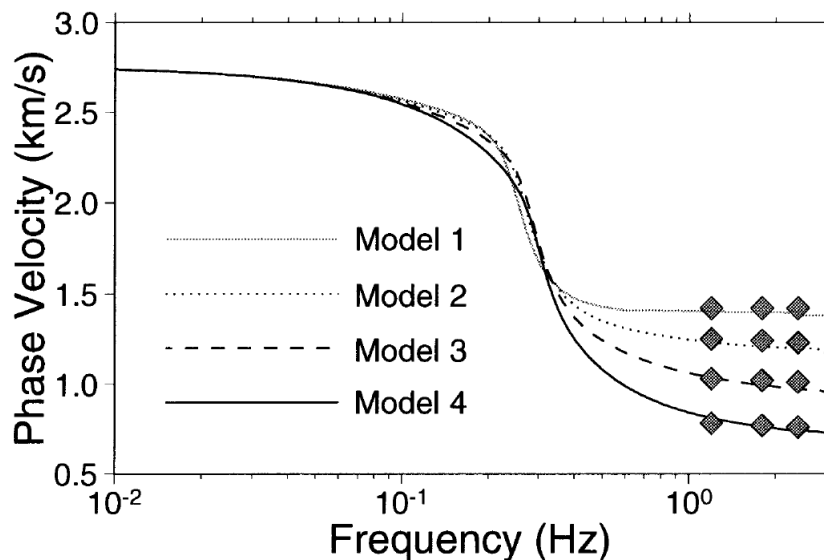
Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο αυξάνει το μέτρο μεταβολής της ταχύτητας τα παραπάνω φαινόμενα ενισχύονται και γίνονται πιο πολύπλοκα. Ακόμη, η σεισμική κίνηση διαρκεί περισσότερο και τα μέγιστα των μετακινήσεων εμφανίζονται και σε μεγαλύτερους χρόνους.



Σχήμα 2.13 : Στιγμιότυπα κυματομορφών ανομοιογενούς (αριστερά) και ομοιογενούς κοιλάδας (δεξιά). Απεικονίζονται P και SV κύματα με κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα (Wang et al. 2000)

- Φασική ταχύτητα κυματισμών (Rayleigh)

Στην εργασία των Wang et al (2000) παρατηρήθηκε ότι η φασική ταχύτητα των Rayleigh κυμάτων διαφέρει ανάλογα με την κλίση της μεταβολής των μέτρων ταχυτήτων των κυμάτων. Στο Σχήμα 2.14 δείχνεται η καμπύλες διασποράς των φασικών ταχυτήτων ανάλογα των συχνοτήτων των επιβαλλόμενων διεγέρσεων για 4 διαφορετικές κλίσεις μεταβολής της διατμητικής ταχύτητας. Φαίνεται ότι οι καμπύλες διασποράς ταυτίζονται για συχνότητες μικρότερες των 0.35 Hz, ενώ για μεγαλύτερες συχνότητες διαφοροποιούνται. Όσο αυξάνεται η κλίση της ταχύτητας διαδόσεως τόσο μειώνεται η φασική ταχύτητα για συχνότητες μεγαλύτερες των 0.35 Hz, με αποτέλεσμα τα Rayleigh κύματα να δρουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εντός της κοιλάδας.



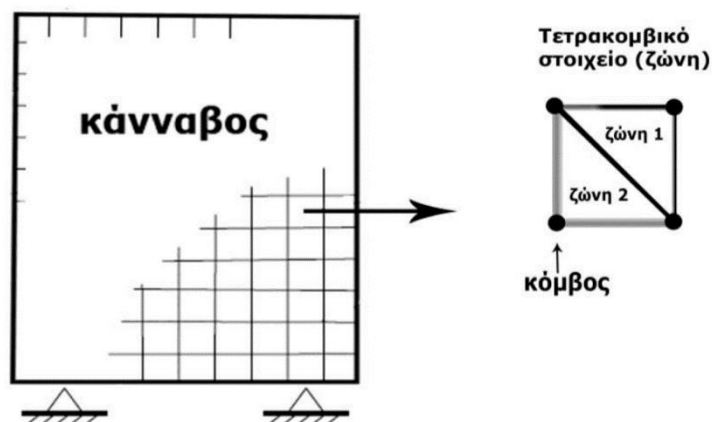
Σχήμα 2.14 : Συσχέτιση της φασικής ταχύτητας των Rayleigh κυμάτων με την συχνότητα των επιβαλλόμενων διεγέρσεων για 4 προσομοιώματα με αυξανόμενη κλίση διατμητικής ταχύτητας (Wang et al. 2000)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ FLAC

Για την παρούσα εργασία εκτελέστηκε μία σειρά αριθμητικών αναλύσεων. Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το FLAC το οποίο εφαρμόζεται για την επίλυση δισδιάστατων προβλημάτων με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Είναι ένα λογισμικό που εξειδικεύεται στην προσομοίωση της συμπεριφοράς εδάφους και βράχου, δηλαδή προβλημάτων που άπτονται της γεωτεχνικής (σεισμικής και μη) μηχανικής.

Με βάση τον κώδικα, το μοντέλο διακριτοποιείται σε ένα πλήθος πεπερασμένων στοιχείων ή ζωνών σε καθένα από τα οποία εφαρμόζεται το σύνολο των διαφορικών εξισώσεων που διέπει τη φυσική του προβλήματος. Κάθε στοιχείο είναι τετρακομβικό και υποδιαιρείται σε δύο υποζώνες (Σχήμα 3.1). Λόγω της χρήσης των πεπερασμένων διαφορών, γίνεται αναγωγή των παραγώγων των διαφορικών εξισώσεων ώστε να μην αναφέρονται πλέον σε απειροστή μεταβολή του εκάστοτε μεγέθους αλλά σε πεπερασμένη.

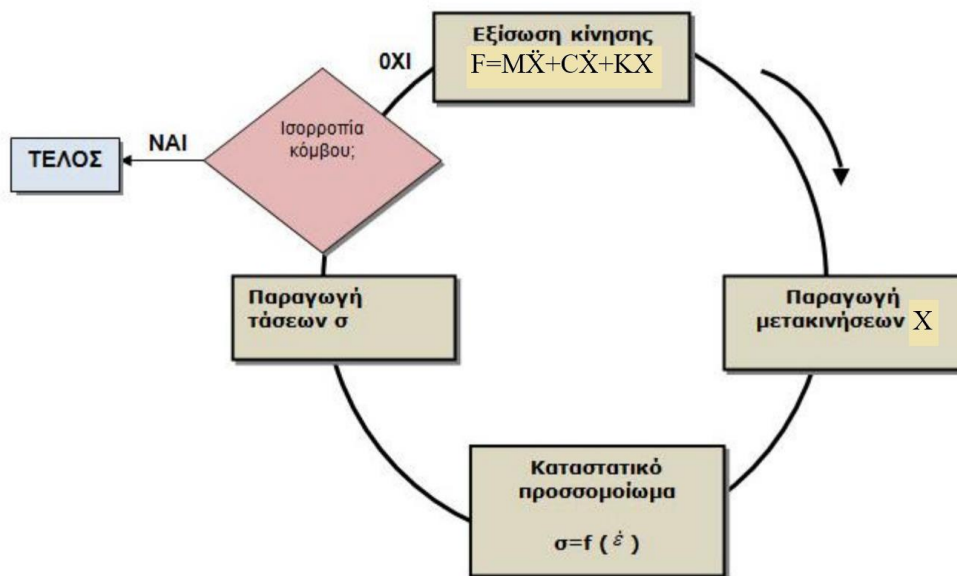


Σχήμα 3.1 : Σχηματική αναπαράσταση του καννάβου, των ζωνών, των υποζωνών και των κόμβων στο FLAC

Μια αδρή αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας του FLAC παρατίθεται στο Σχήμα 3.2. Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος εισάγονται στο πρόβλημα με τη μορφή μετακινήσεων X (ή ταχυτήτων \dot{X} ή επιταχύνσεων \ddot{X}) ή με τη μορφή δυνάμεων F οι οποίες ασκούνται σε

κόμβους του καννάβου. Αυτές 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.

Στην περίπτωση επιβολής δυνάμεων, από την εξίσωση της κίνησης ($F=M\ddot{X}+C\dot{X}+KX$), παράγονται επιταχύνσεις στους κόμβους (ή με ολοκλήρωση, ταχύτητες \dot{X}) με αποτέλεσμα, την αλλαγή των συντεταγμένων τους. Η αλλαγή αυτή, επιφέρει νέα εντατική κατάσταση στη ζώνη, αλλάζοντας πλέον τις ασκούμενες τάσεις σ_i στους κόμβους. Με τις υπολογισθείσες ταχύτητες του προηγούμενου βήματος, μπορεί να οριστεί ο ρυθμός παραμόρφωσης $\dot{\epsilon}$ και εν συνεχεία, οι νέες τάσεις βάση του καταστατικού προσομοιώματος που χρησιμοποιείται. Οι νέες τάσεις ανάγονται σε δυνάμεις στους κόμβους $F=\sigma A$ (όπου σ τάση και A επιφάνεια), και επανεξετάζεται η ισορροπία του κόμβου. Σε περίπτωση που ο κόμβος δεν ισορροπεί, ($\Sigma F \neq 0$) τότε η μη ισορροπούσα δύναμη παράγει νέες επιταχύνσεις και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 3.2 : Αλγόριθμος επίτευξης τελικής ισορροπίας στο FLAC. Οι συμβολισμοί M,C,K εκφράζουν τα μητρώα μάζας ,απόσβεσης και δυσκαμψίας αντίστοιχα. Τα F,X εκφράζουν τα μητρώα δύναμης και μετακίνησης

Ο κύκλος επαναλαμβάνεται ανά χρονικό βήμα (timestep) Δt , το οποίο είναι τόσο μικρό ώστε η πληροφορία (X, σ) να μην κινείται από τη μια ζώνη στην άλλη, γρηγορότερα από τη ταχύτητα διάδοσης της διέγερσης, με βάση τη σχέση :

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

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

d_{max} : η μεγαλύτερη διαγώνιος της και

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

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

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.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

3.2.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ

Η εργασία ασχολείται κυρίως με 2Δ λεκάνες συμμετρικής τραπεζοειδούς διατομής εδάφους με γραμμικά αυξανόμενο μέτρο διατμητικής κυματικής ταχύτητας V_s , με παραμέτρους το άνοιγμα της λεκάνης B , το βάθος της H και την κλίση των άκρων της i . Πραγματοποιήθηκαν 6 «ομάδες» αναλύσεων, κάθε μια εκ των οποίων αποτελείται από 4 «ομάδες» αναλύσεων στις οποίες υπεισέρχεται βαθμιαία η αύξηση της κλίσης της διατμητικής ταχύτητας V_s που υποδηλώνεται με τον δείκτη ανομοιομορφίας d που ορίζεται από την εξής σχέση :

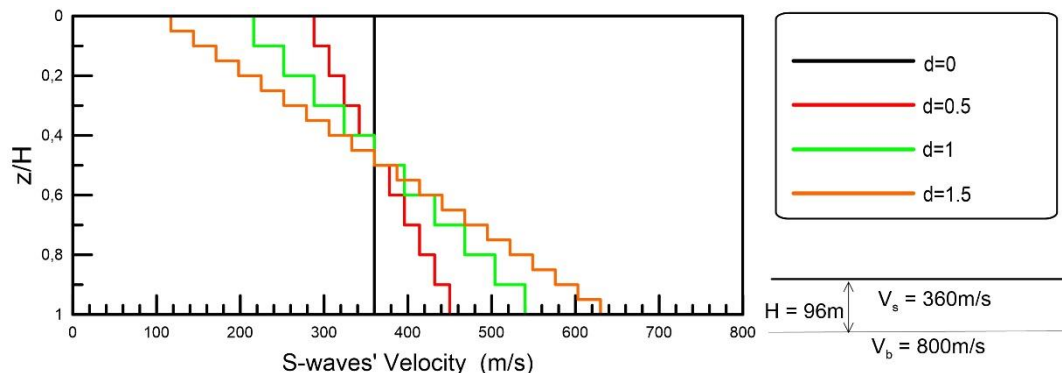
$$d = \frac{V_{s\text{max}} - V_{s\text{min}}}{V_{s\text{ave}}} \quad (3.1)$$

Όπου, $V_{s\text{max}}$: η διατμητική ταχύτητα V_s στη βάση της εδαφικής λεκάνης

V_{smin} : η διατμητική ταχύτητα V_s στη κορυφή της εδαφικής λεκάνης και

V_{save} : η μέση διατμητική ταχύτητα V_s εντός της εδαφικής λεκάνης.

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για 4 τιμές του δείκτη ανομοιομορφίας d , δηλαδή για $d=0$ (ομοιομορφο έδαφος), 0.5 (ελαφρώς ανομοιόμορφο), 1 (μετρίως ανομοιόμορφο), 1.5 (ισχυρώς ανομοιόμορφο). (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.3 : Τα εδαφικά προφίλ, όπως υλοποιήθηκαν στην προσομοίωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας για $V_{save}=360$ m/s και $V_b=800$ m/s

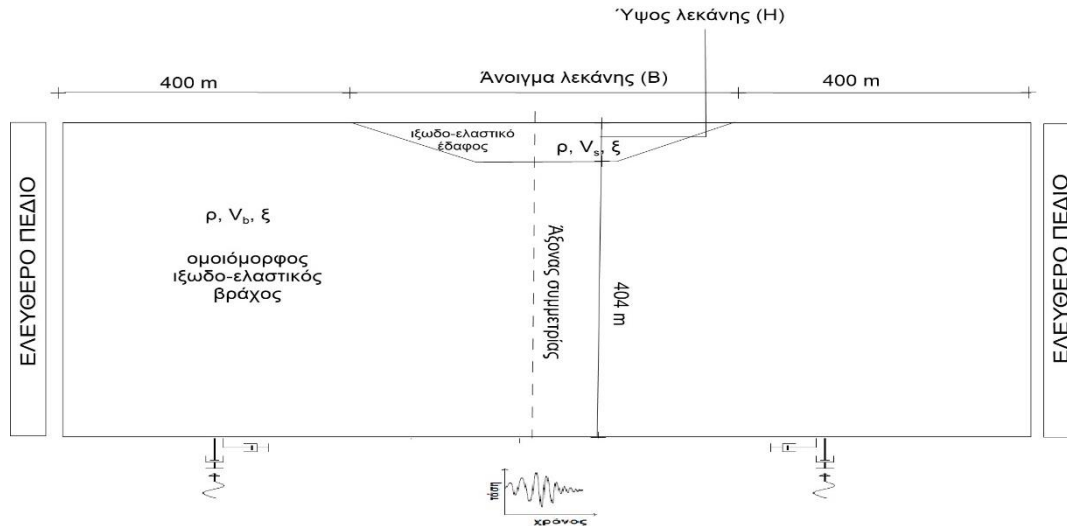
Έπειτα, κάθε μία από τις τελευταίες αναλύσεις αποτελείται από τρεις επιμέρους αναλύσεις ως εξής :

A. Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο - εδαφική λεκάνη

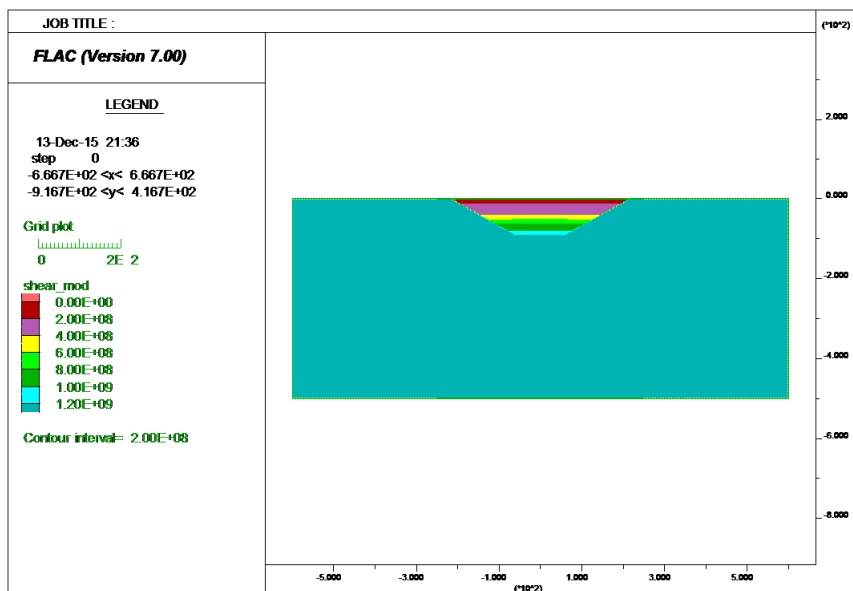
Σε αυτή την ανάλυση προσομοιώνεται η πραγματική διδιάστατη συμπεριφορά της τραπεζοειδούς λεκάνης. Γεωμετρικές παράμετροι είναι το άνοιγμα της λεκάνης (B), το βάθος της (H) (ύψος τραπεζιού) και την κλίση των άκρων της (i). (Σχήμα 3.4). Σε κάθε ανάλυση, βραχώδες υπόβαθρο βάθους 404m υπόκειται της εδαφικής λεκάνης, ενώ εκατέρωθεν αυτής το αναδύομενο βραχώδες υπόβαθρο εκτείνεται κατά 400m τουλάχιστον. Ο κάρναβος σχεδιάστηκε έτσι ώστε, στην περιοχή της εδαφικής λεκάνης (εντός κοιλάδας) να υπάρχει πύκνωση (μικρή διακριτοποίηση) και επιπλέον στην επιφάνεια να υπάρχουν κόμβοι ανά 3.3m. Για παράδειγμα, μια περίπτωση λεκάνης με $H=96$ m, $B=960$ m και $i=30^\circ$ αποτελείται από 480 x 130 ζώνες. (Σχήμα 3.5).

Επιπλέον, καθώς ο βαθμός ανομοιομορφίας d αυξάνεται, απαιτείται εντός της εδαφικής λεκάνης επιπλέον πύκνωση των κόμβων για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1.5$ ούτως ώστε η πληροφορία (X, σ) να μην κινείται από τη μια ζώνη στην άλλη γρηγορότερα από τη διέγερση. Γνωρίζο-

ντας ότι η ελάχιστη ταχύτητα είναι της τάξης $V_s=90\text{m/sec}$ και η ελάχιστη περίοδος της ανάλυσης είναι $T_{\min}=0.2\text{ sec}$ προκύπτει το ελάχιστο μήκος κύματος ίσο με $\lambda_{\min}=V_s \cdot T_{\min}=18\text{m}$. Από το εμπειρικό κριτήριο, ότι κάθε ζώνη πρέπει να έχει ύψος ίσο με $\lambda/10$ προκύπτει ότι ζώνη με ύψος 1.80m είναι επαρκής ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης να είναι αντιπροσωπευτικά



Σχήμα 3.4 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου – εδαφικής λεκάνης

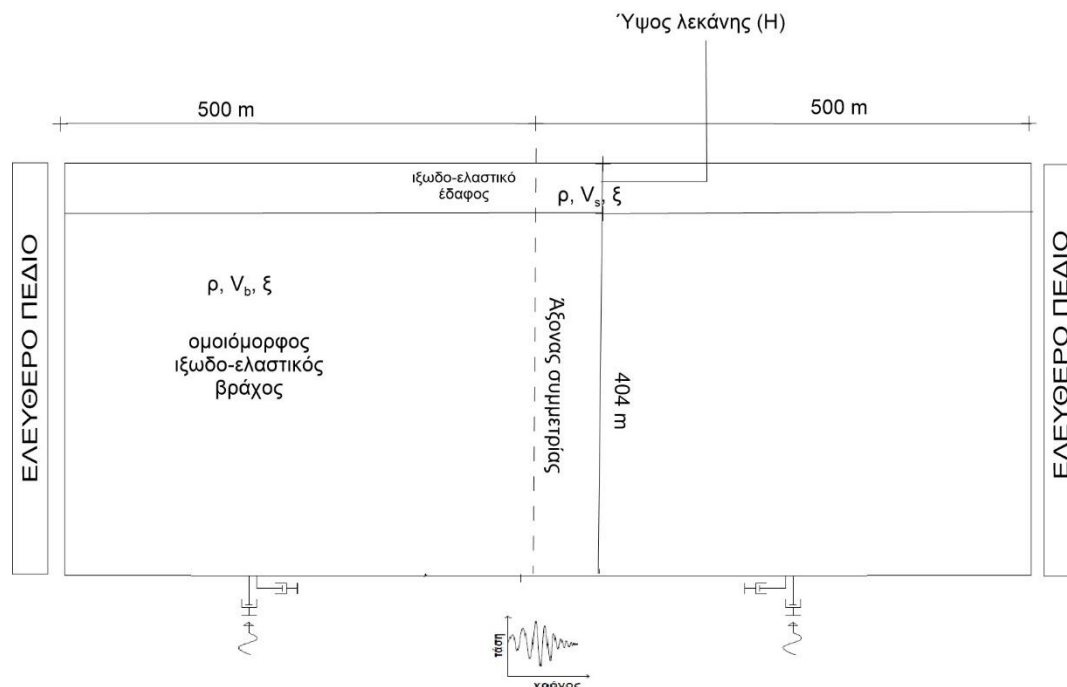


Σχήμα 3.5 : Ενδεικτικός κάνναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου – εδαφικής λεκάνης

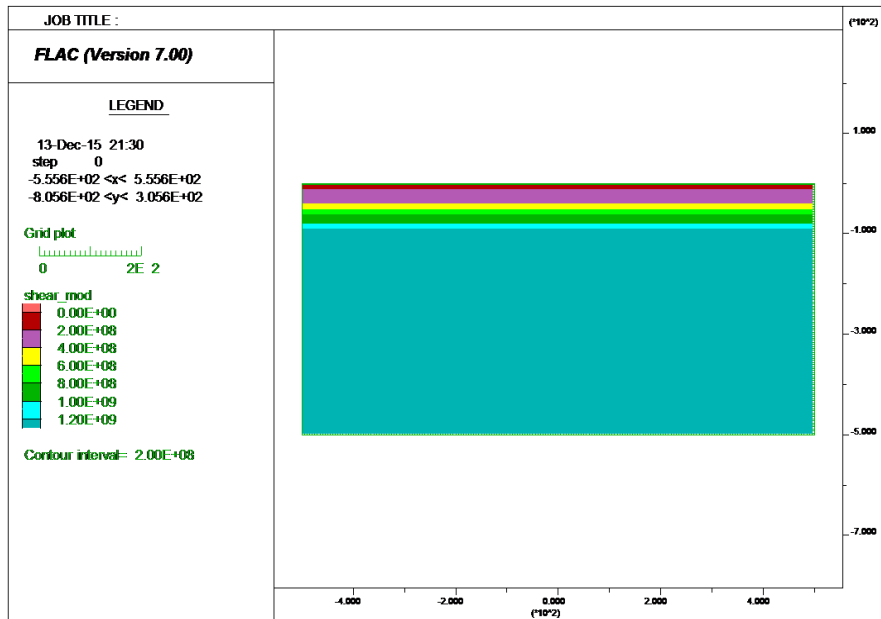
Β. Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος

Σε αυτές τις αναλύσεις, οι κάρναβοι αφορούν την θεωρητικώς 1Δ σεισμική απόκριση της λεκάνης υπό σεισμική διέγερση, μια απόκριση πραγματική μόνο για λεκάνη απείρου μήκους Β. Συνεπώς, δημιουργήθηκαν κάρναβοι αντίστοιχοι της πρώτης ανάλυσης με τη διαφορά ότι το έδαφος πάχους ίσου με αυτό της αντίστοιχης λεκάνης εκτείνεται οριζοντίως έως τα όρια του καννάβου. Αντίστοιχα, σε κάθε περίπτωση, βραχώδες υπόβαθρο πάχους 404m υπόκειται της εδαφικής στρώσης. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων αυτού του συστήματος, επιλέχθηκε εδαφική στρώση μήκους 1000m. (Σχήμα 3.6). Χάριν απλότητας και απαλοϊφής 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 Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάρναβος για μια ανάλυση με $H = 96\text{m}$, ο οποίος αποτελείται από 200x130 ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.

Επιπλέον, καθώς ο βαθμός ανομοιομορφίας d αυξάνεται, απαιτείται εντός της εδαφικής στρώσης επιπλέον πύκνωση των κόμβων κατά 30 στοιχεία κατακόρυφα για βαθμό ανομοιομορφίας $d = 1.5$ ούτως ώστε η πληροφορία (X, σ) να μην κινείται από τη μια ζώνη στην άλλη γρηγορότερα από τη διέγερση.



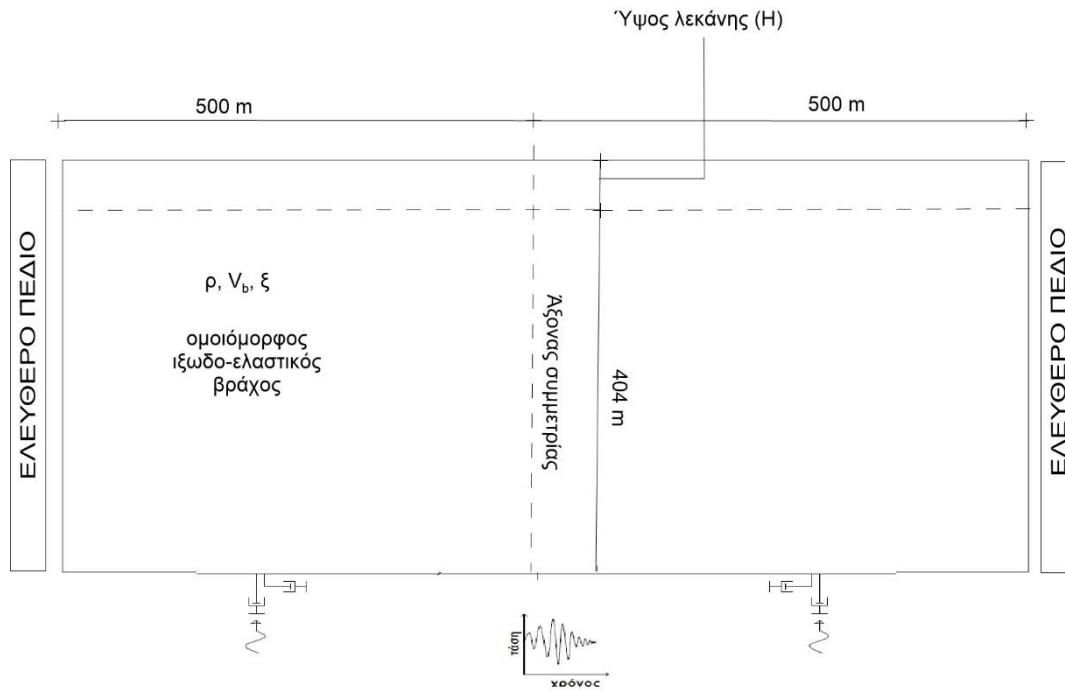
Σχήμα 3.6 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου – απειρομήκους εδάφους



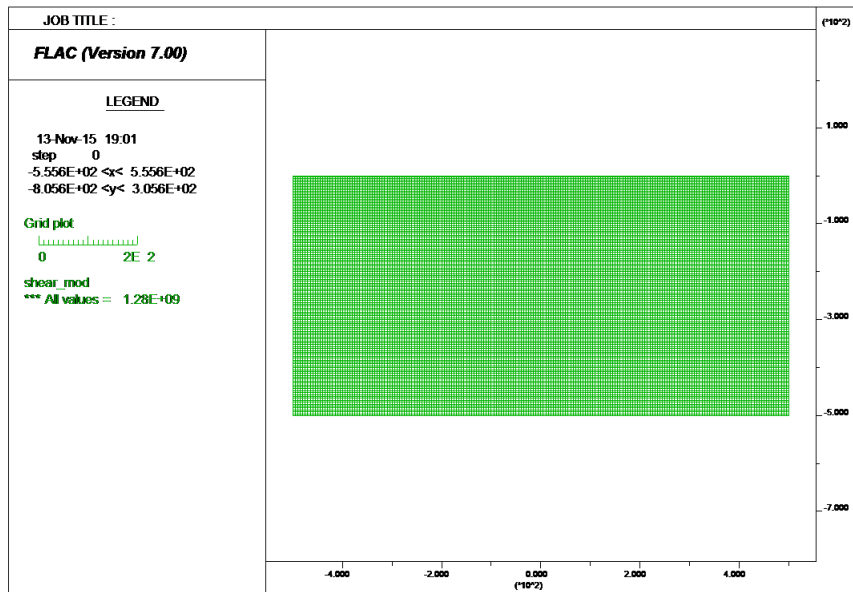
Σχήμα 3.7 : Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου – απειρομήκους εδάφους

C. Βραχώδες υπόβαθρο

Σε αυτές τις αναλύσεις, οι κάρναβοι αφορούν 1Δ σεισμική απόκριση του βραχώδους υποβάθρου, μια απόκριση πραγματική μόνο σε πολύ μεγάλη οριζόντια απόσταση από τη λεκάνη (Σχήμα 3.8). Χάριν απλότητας και απαλοιφής οποιασδήποτε τεχνητής επίδρασης του καννάβου στα αποτελέσματα, για την ανάλυση του συστήματος βραχώδου 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 – απειρομήκους εδάφους. Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάρναβος βράχου που αντιστοιχεί σε μια ανάλυση με πάχος λεκάνης $H = 96\text{m}$, ο οποίος αποτελείται από 200×130 ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.



Σχήμα 3.8 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης βραχώδους υπόβαθρου



Σχήμα 3.9 : Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος βραχώδους υπόβαθρου

Θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν τα εξής :

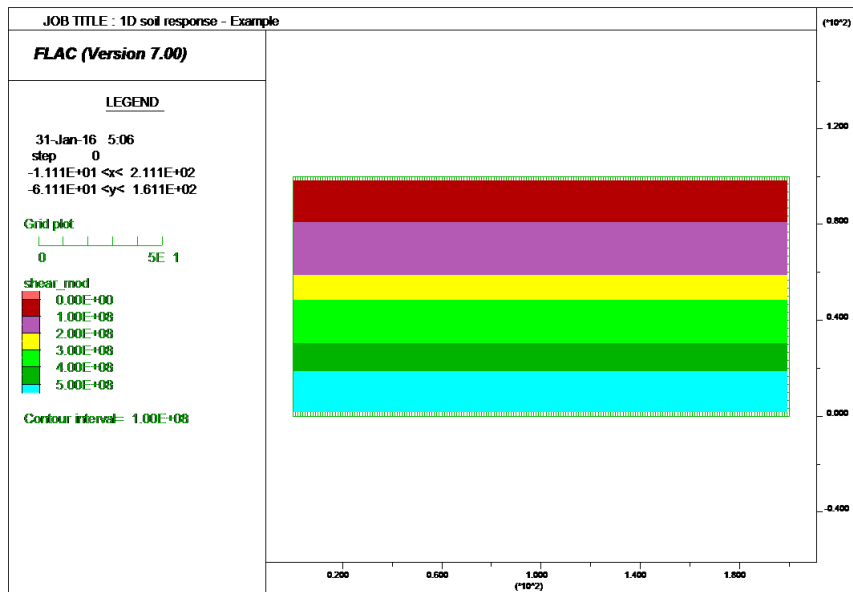
- Συνοριακές συνθήκες ελεύθερου πεδίου (ff) χρησιμοποιήθηκαν στα πλευρικά όρια του καννάβου, για την προσέγγιση της θεωρητικής άπειρης οριζόντιας έκτασης του ημιχώρου εκτός καννάβου, ώστε να αποφευχθεί η πιθανή επίδραση των ορίων του καννάβου λόγω τεχνητών ανακλάσεων στην απόκριση της λεκάνης. Επιπλέον, το αναδύμενο υπόβαθρο εκτείνεται κατά 400m τουλάχιστον αριστερά και δεξιά της λεκάνης, για τον ίδιο λόγο.
- Σε όλες τις αναλύσεις το πάχος της εδαφικής λεκάνης ήταν 96 m και το βάθος του βραχώδους υπόβαθρου κάτω από αυτήν είναι πάντα 496m, ώστε να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη ενίσχυσης στην επιφάνεια του εδάφους από όλες τις αναλύσεις.
- Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων

3.2.2 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΕΛΛΑΦΙΚΕΣ ΣΤΗΛΕΣ

Για να διερευνηθεί εις βάθος η σεισμική απόκριση των τραπεζοειδών κοιλάδων ανομοιόμορφου εδάφους πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις εδαφικής στήλης, που στόχο είχαν την εξερεύνηση της μονοδιάστατης απόκρισης ανομοιόμορφων εδαφών. Συγκεκριμένα, για κάθε βαθμό ανομοιομορφίας d , δηλαδή για $d=0$ (ομοιόμορφο έδαφος), 0.5 (ελαφρώς ανομοιόμορφο), 1 (μετρίως ανομοιόμορφο), 1.5 (ισχυρώς ανομοιόμορφο), εδαφική στήλη υπεβλήθη σε αρμονική διέγερση περιόδου T από 0.1 ως 3 sec με βήμα 0.1, με σκοπό την εύρεση του λόγου ενίσχυσης του κραδασμού λόγω εδάφους και των ιδιοπεριόδων. Δημιουργήθηκαν κάρναβοι των οποίων η διακριτοποίηση των στοιχείων ήταν ίδια με αυτή των προηγούμενων αναλύσεων, με τη μόνη διαφορά να έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπήρχε βραχώδες υπόβαθρο (Σχήμα 3.10).

Αξίζει να τονισθεί ότι :

- Συνοριακές συνθήκες ελεύθερου πεδίου (ff) χρησιμοποιήθηκαν στα πλευρικά όρια του καννάβου, για την προσέγγιση της θεωρητικής άπειρης οριζόντιας έκτασης του ημιχώρου εκτός καννάβου, ώστε να αποφευχθεί η πιθανή επίδραση των ορίων του καννάβου λόγω τεχνητών ανακλάσεων στην απόκριση της εδαφικής στήλης.
- Σε όλες τις αναλύσεις το πάχος της εδαφικής λεκάνης ήταν 96 m, ώστε τα αποτελέσματα της 1Δ απόκρισης να είναι συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα των δισδιάστατων τραπεζοειδών κοιλάδων.



Σχήμα 3.10 : Ενδεικτικός κάρναβος ανάλυσης συστήματος εδαφικής στήλης

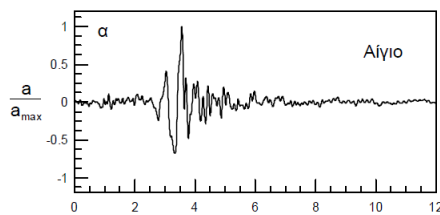
3.3 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Το βραχώδες υπόβαθρο θεωρήθηκε ομοιόμορφο ιξωδο-ελαστικό. Το έδαφος και ο βράχος έχουν κοινή πυκνότητα $\rho=2\text{Mg/m}^3$, κοινό λόγο Poisson $\nu=1/3$, αλλά διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε έδαφος και βράχο, V_s και V_b αντίστοιχα.

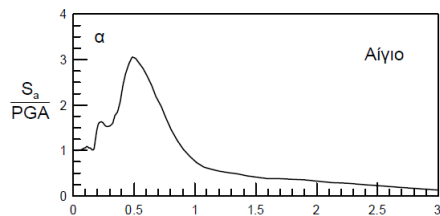
3.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η πραγματική διέγερση η οποία επιλέχθηκε να εφαρμοσθεί στη βάση του καννάβου ήταν το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Αιγίου 1995, το οποίο αποτελείται από ένα σημαντικό κύκλο φόρτισης. Το εύρος των δεσπόζουσων συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι $f=2$ και 5 Hz με στόχο να καλυφθούν εκείνες οι συχνότητες που αντιπροσωπεύουν το κύριο εύρος των σεισμικών διεγέρσεων στον ελλαδικό χώρο και αφορούν συνεπώς τον επιστήμονα-μηχανικό. Η κάθε χρονοϊστορία είναι διαβαθμισμένη στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda=V_s/f$, μεταβάλλοντας το χρονικό βήμα ολοκλήρωσής τους, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή

τιμή δεσπόζουσας συχνότητας f . 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. Όπως λέχθηκε και προηγουμένως, στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων. Στο Σχήμα 3.11 δίνεται η χρονοϊστορία επιτάχυνσης για δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, ενώ στο Σχήμα 3.12 το ελαστικό φάσμα απόκρισης του σεισμού Αιγίου 1995.



Σχήμα 3.11 : Χρονοϊστορία επιτάχυνσης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ του σεισμού Αιγίου 1995



Σχήμα 3.12 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης του σεισμού Αιγίου 1995

3.5 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μια καλή μέθοδος ανάλυσης που μπορεί να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που εισάγονται σε σχέση με την απόσβεση στις αριθμητικές δυναμικές αναλύσεις είναι η δυναμική ανάλυση με απόσβεση Rayleigh. Αυτή η μορφή απόσβεσης είναι ένας από τους πιο βολικούς υπολογιστικούς τρόπους απόσβεσης, καθώς εισάγει την απόσβεση μέσα στα μητρώα μάζας και δυσκαμ-

πίας του συστήματος, δεδομένου ότι ικανοποιεί τις ορθογώνιες ιδιότητες του μητρώου απόσβεσης. Πρέπει βέβαια να ειπωθεί ότι πρόκειται για τεχνητή απόσβεση και έτσι υστερεί από άποψη φυσικού υποβάθρου.

Το μητρώο απόσβεσης για το σύστημα περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$[C] = a[M] + b[K] \quad (3.1)$$

Όπου, $[C]$: μητρώο απόσβεσης

$[M]$: μητρώο μάζας

μητρώο δυσκαμψίας

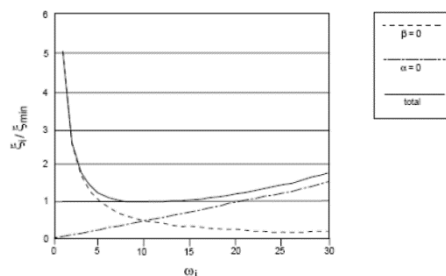
ντελεστές απόσβεσης

$[K]$:

α, β : συ-

Η παράμετρος α ελέγχει την επίδραση της μάζας στην απόσβεση του συστήματος. Όσο αυξάνεται η παράμετρος αποσβένονται περισσότερο οι χαμηλότερες συχνότητες. Η παράμετρος β καθορίζει την επίδραση της ακαμψίας στην απόσβεση του συστήματος και αντίστοιχα όσο αυξάνεται τόσο αυξάνεται η απόσβεση στις μεγαλύτερες συχνότητες. Ο υπολογισμός των παραμέτρων γίνεται από την ακόλουθη εξίσωση. Για τον υπολογισμό τους απαιτούνται δύο συντελεστές απόσβεσης ξ που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικές συχνότητες δόνησης ω . Οι συντελεστές απόσβεσης για την κάθε συχνότητα (ξ_1, ω_1) και (ξ_2, ω_2) μπορούν να ληφθούν πειραματικά μέσω της δοκιμής συντονισμού στήλης (Das, 1995).

$$\alpha + \beta\omega^2 = 2\omega\xi \quad (3.2)$$



Σχήμα 3.13 : Απόσβεση Rayleigh σε συνάρτηση με τη συχνότητα (ενδεικτικό γράφημα)

Στη παρούσα εργασία, οι συχνότητες ενδιαφέροντος είναι εκείνες μεταξύ της δεσπόζουσας κυκλικής συχνότητας της διέγερσης ω_e και της κυκλικής ταλάντωσης της εδαφικής στρώσης ω_s , καθώς η δεσπόζουσα συχνότητα της τελικής ταλάντωσης των υλικών σημείων του εδάφους αναμένεται να βρίσκεται μεταξύ των δύο αυτών ακραίων τιμών. Απλουστευτικά, στην παρούσα εργασία η εκτίμηση του ω_{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:

$$\omega_{\min} = 2/(1/\omega_e + I/\omega_s) \quad (3.3)$$

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. Αξίζει να τονισθεί ότι η τιμή του ξ 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 απαλειφθεί στη μελέτη της γεωμορφικής επιδείνωσης, καθώς οι ενιαίες τιμές ξ 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να εξετάσει συστηματικά την μονοδιάστατη (1Δ) απόκριση ανομοιομορφων εδαφών κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης, ως προαπαιτούμενο της μελέτης δισδιάστατης σεισμικής απόκρισης τέτοιων σχηματισμών. Ο λόγος αυτής της μελέτης είναι ότι για τα ανομοιομορφα εδάφη η σεισμική απόκριση γίνεται αρκετά πιο περίπλοκη και δεν καλύπτεται από εύχρηστες αναλυτικές λύσεις.

Για το σκοπό αυτό, αρχικά, γίνεται μελέτη της 1Δ φασματικής ενίσχυσης ανομοιομορφου εδάφους προς τον αναδύμενο εύκαμπτο βράχο, με βάση αποτελέσματα από αριθμητικές αναλύσεις εκτελεσμένες με διαφορετικές μεθοδολογίες και λογισμικά. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται αποτελέσματα από τη χρήση του FLAC με ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις στο πεδίο του χρόνου με απόσβεση Rayleigh (βλ. Κεφ. 3), με εκείνα από τη χρήση του STRATA (Rathje, Kottke (2010), "Strata,") με ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις στο πεδίο των συχνοτήτων με λόγο απόσβεσης ανεξάρτητο της συχνότητας.

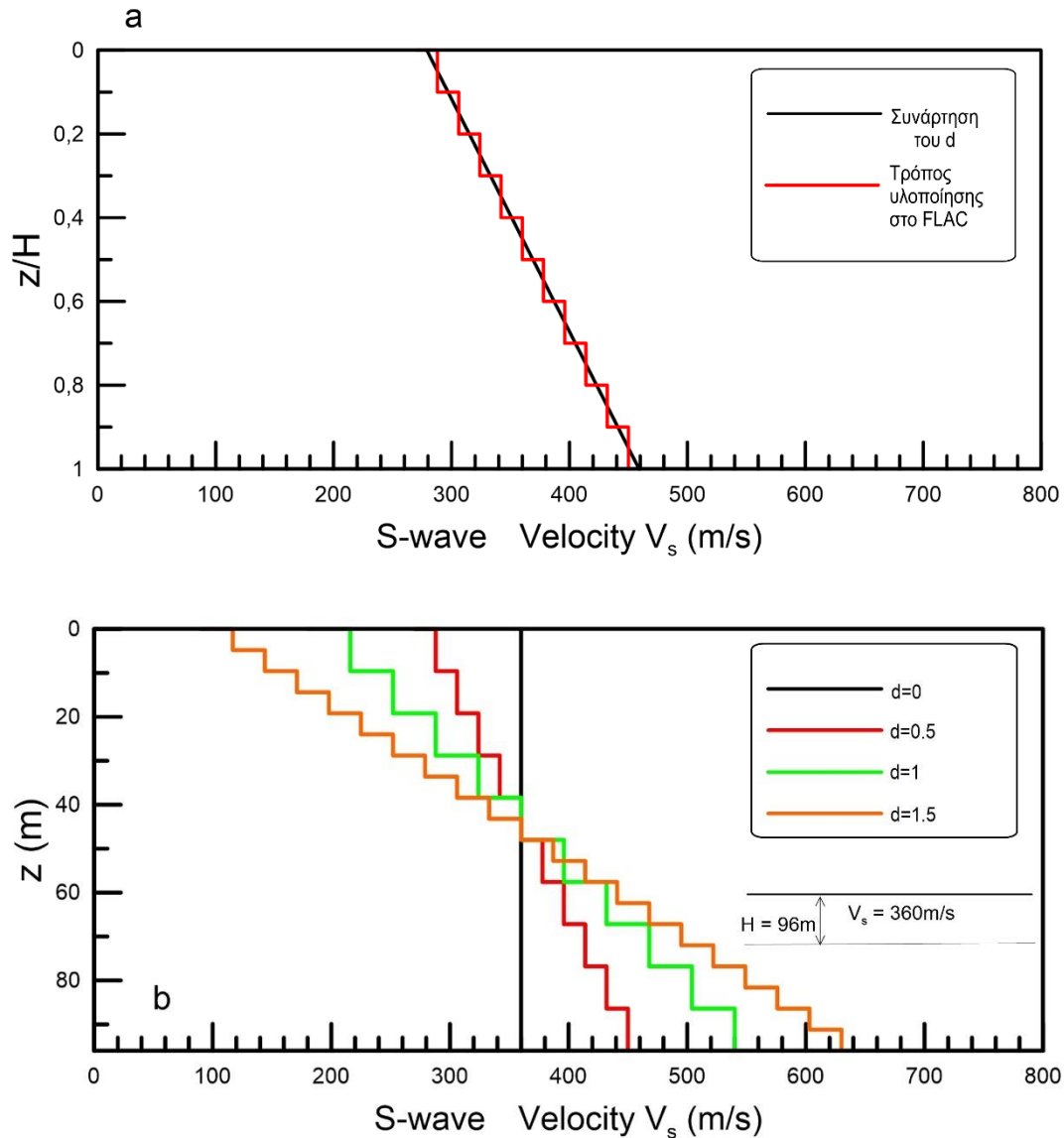
Στη συνέχεια, γίνονται αντίστοιχες συγκρίσεις με θεώρηση του βράχου ως ακάμπτου μέσου, και όταν η σύγκριση γίνεται σε όρους μεγίστων επιταχύνσεων δίνεται η δυνατότητα συγκρίσεων και με αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία.

Όπως παρουσιάζεται στο Κεφ. 3, η ανομοιομορφία στην παρούσα εργασία εισάγεται σε όρους ταχύτητας V_s διάδοσης διατμητικών κυμάτων S και ποσοτικοποιείται ως γραμμικά αυξανόμενη με το βάθος (με κλίση d , όπου $d=0$ αντιστοιχεί στην ομοιόμορφη στρώση). Έτσι, στη συνέχεια του παρόντος Κεφαλαίου, διερευνάται η επίδραση της κλίσης d στην πρώτη ιδιοπερίοδο της εδαφικής στήλης, μέσω αριθμητικών λύσεων και αναλυτικών τεχνικών (Rayleigh) από τη βιβλιογραφία.

Γενικώς, διερευνώνται τέσσερις (4) χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή ανομοιομορφίας d (0.0, 0.5, 1.0, 1.5) που περιγράφουν τέσσερα εδαφικά προφίλ: ομοιόμορφο, ελαφρώς, μετρίως και ισχυρώς ανομοιόμορφο, τα οποία υλοποιήθηκαν στις αναλύσεις ως εξής :

- Η τομή της εδαφικής στήλης διαιρέθηκε σε 10-20 τμήματα σταθερής τιμής V_s το καθένα

- Για θετικές τιμές του d , κάθε υποκείμενο τμήμα έχει μεγαλύτερη τιμή της V_s από το υπερκείμενό του.
- Συνολικά, ο μέσος όρος των τιμών της διατμητικής ταχύτητας V_s σε όλα τα τμήματα πρέπει να είναι ίσος με την τιμή της ενιαίας διατμητικής ταχύτητας στο ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$), ώστε να είναι συγκρίσιμα.



Σχήμα 4.1 : **a)** ο ορισμός του συντελεστή ανομοιομορφίας d και το πώς υλοποιείται στην ανάλυση, **b)** τα εδαφικά προφίλ, όπως υλοποιήθηκαν στην ανάλυση για τους 4 συντελεστές ανομοιομορφίας (μέση $V_{save}=360$ m/s, πάχος εδάφους $H=96$ m)

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται ο ορισμός συντελεστή ανομοιομορφίας d και το πώς υλοποιείται το ανομοιόμορφο προφίλ στις αναλύσεις (ενδεικτικά για $d=0.5$), και μετά συγκρίνονται τα 4

εδαφικά προφίλ, όπως υλοποιήθηκαν στην ανάλυση, για τους 4 συντελεστές ανομοιομορφίας $d = 0.0, 0.5, 1.0$ και 1.5 , για την ίδια περίπτωση αναφοράς με $V_{save} = 360\text{m/s}$, και πάχος εδάφους $H=96\text{m}$. Από το Σχήμα αυτό γίνεται σαφές ότι όσο αυξάνει η τιμή του συντελεστή d , τόσο μεγαλώνει η ένταση της ανομοιομορφίας του εδάφους, αλλά πάντα με γραμμική αύξηση με το βάθος, χάριν απλότητας.

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1Δ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

Όπως αναφέρεται στην εισαγωγή, εδώ θα μελετηθεί η 1Δ φασματική ενίσχυση του ανομοιομορφου εδάφους προς τον αναδύμενο βράχο με βάση αποτελέσματα από αριθμητικές αναλύσεις εκτελεσμένες με διαφορετικές μεθοδολογίες και λογισμικά. Συγκεκριμένα, συγκρίνονται αποτελέσματα από τη χρήση του FLAC με ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις με απόσβεση Rayleigh (βλ. Κεφ. 3), με εκείνα από τη χρήση του STRATA (Rathje, Kottke (2010), "Strata,") με ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις με λόγο απόσβεσης ανεξάρτητο της συχνότητας.

Χρησιμοποιήθηκαν τα 4 εδαφικά προφίλ του Σχήματος 4.1, τα οποία επικάθονται του ίδιου εύκαμπτου βράχου με $V_b = 800\text{m/s}$, και συνεπώς είχαν τον ίδιο «μέσο» δείκτη εμπέδησης, αλλά πρακτικώς διαφορετική εμπέδηση, όπως θα φανεί και από τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Ως διέγερση χρησιμοποιήθηκε η χρονοϊστορία Αιγίου με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.20\text{sec}$.

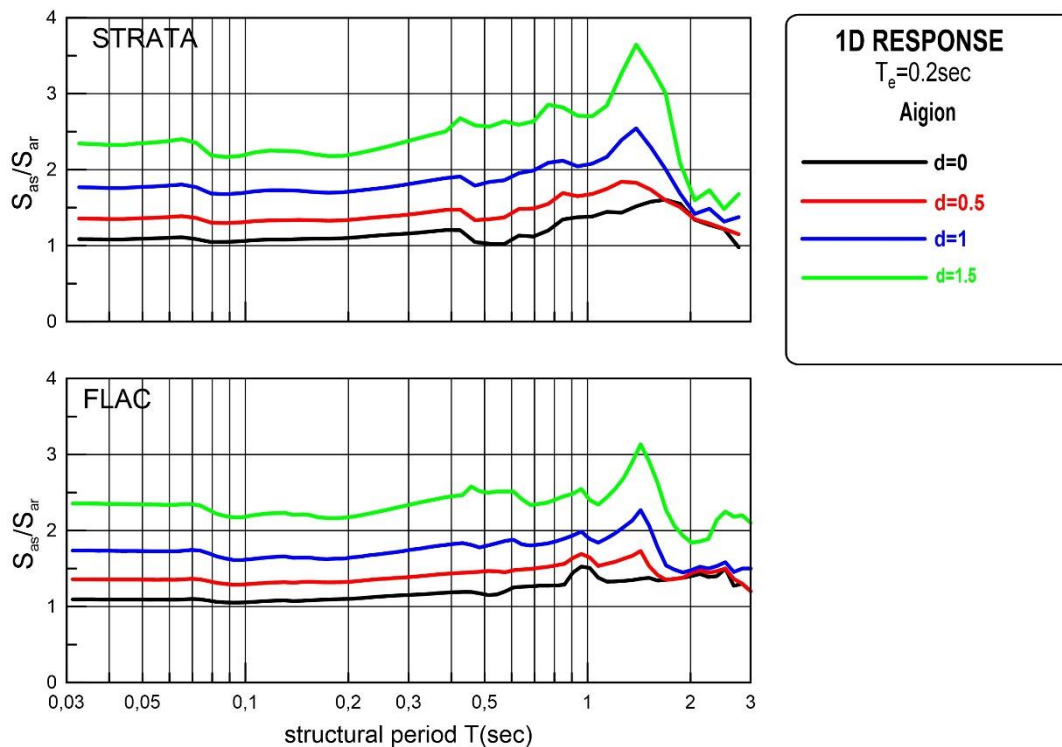
Στο Σχήμα 4.2 συγκρίνονται οι λόγοι ενίσχυσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης (απόσβεση κατασκευής 5%) του εδάφους προς τον αναδύμενο βράχο S_{as}/S_{ar} σε 1Δ απόκριση για διάφορους βαθμούς ανομοιομορφίας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις στο πρόγραμμα FLAC και STRATA.

Σχετικά με το συντελεστή ενίσχυσης S_{as}/S_{ar} προκύπτουν τα εξής :

- Παρατηρείται σημαντική αύξηση της ενίσχυσης, όσο αυξάνεται ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Δεδομένου ότι το S_{ar} παραμένει σταθερό και για τα τέσσερα εδαφικά προφίλ, συνεπάγεται ότι η αύξηση της ενίσχυσης οφείλεται μόνο στη φασματική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους, που αυξάνει όσο αυξάνει η ανομοιομορφία.
- Όσον αφορά τις μικρές περιόδους, οι οποίες αποτελούν σημαντικό στοιχείο του αντισεισμικού σχεδιασμού συνήθων κατασκευών, αφού δίνουν την εδαφική επιτάχυνση αιχμής (PGA), ο συντελεστής $A_a = S_{as}/S_{ar}(T=0)$ είναι περίπου ίσος με 1.1 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$) για το συγκεκριμένο συνδυασμό εδάφους-διέγερσης. Παρατηρείται ότι για

βαθμό ανομοιομορφίας $d=1.5$ η εδαφική ενίσχυση A_a πλησιάζει την τιμή 2.5. Μεγάλη εδαφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιομορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου συντελεστής A_a είναι περίπου ίσος με 1.85. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιομορφου εδάφους είναι αρκετά κοντά στον ομοιόμορφο, με τιμή A_a ίση με 1.4.

- Στις κοντινές περιόδους με την ιδιοπερίοδο της ομοιόμορφης εδαφικής στήλης ($T_S=4 * \frac{96}{360} = 1.07sec$) παρατηρείται ένα τοπικό μέγιστο και στις τέσσερις καμπύλες, γεγονός που σχετίζεται με το ότι η ιδιοπερίοδος δε φαίνεται να αλλάζει ιδιαίτερα λόγω της ανομοιομορφίας. Η αύξηση του λόγου S_{as}/S_{ar} συνεχίζει να είναι σημαντική με την αύξηση του βαθμού ανομοιομορφίας d για όλες τις περιόδους κατασκευής T .
- Ποιοτικά, οι φασματικές ενισχύσεις για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας είναι σχεδόν πανομοιότυπες, δηλαδή υπάρχει μόνο αυξητική μετατόπιση καθώς αυξάνεται η ανομοιομορφία.
- Αξίζει να επισημανθεί ότι οι προβλεπόμενες ενισχύσεις από τις δύο μεθοδολογίες είναι ποσοτικά πολύ κοντινές, με τις ενισχύσεις που προβλέπει το STRATA να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς στο εν λόγω λογισμικό ο λόγος απόσβεσης είναι σταθερός ($\xi=5\%$) ανεξαρτήτως συχνότητας, ενώ στο FLAC η απόσβεση είναι τύπου Rayleigh και η ανωτέρω τιμή $\xi=5\%$ έχει οριστεί ως η ελάχιστη για τις συχνότητες ενδιαφέροντος (ανάμεσα στην ιδιοσυχνότητα της στρώσης και δεσπόζουσας συχνότητα της διέγερσης).

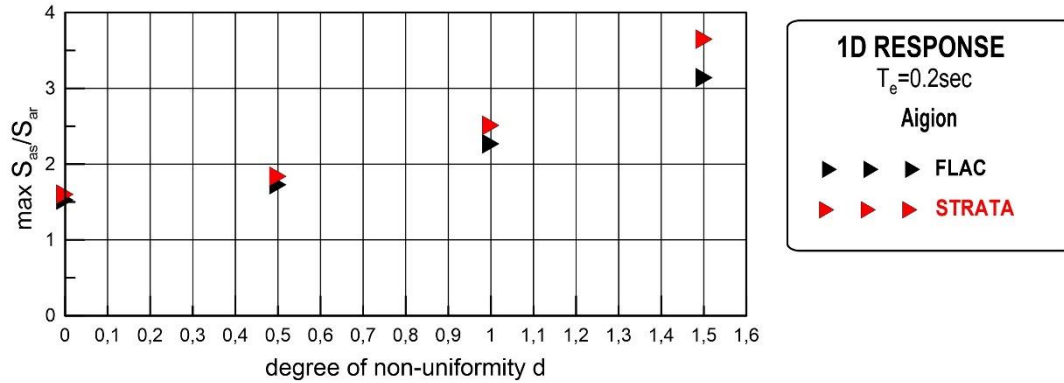


Σχήμα 4.2 : Σύγκριση φασματικής ενίσχυσης σε 1Δ απόκριση ΕΔΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96$ m) προς ΒΡΑΧΟΥ ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{\text{save}} = 360$ m/s) για διέγερση Αιγίου (με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.20$ sec), με βάση αναλύσεις εκτελεσμένες με διάφορα λογισμικά

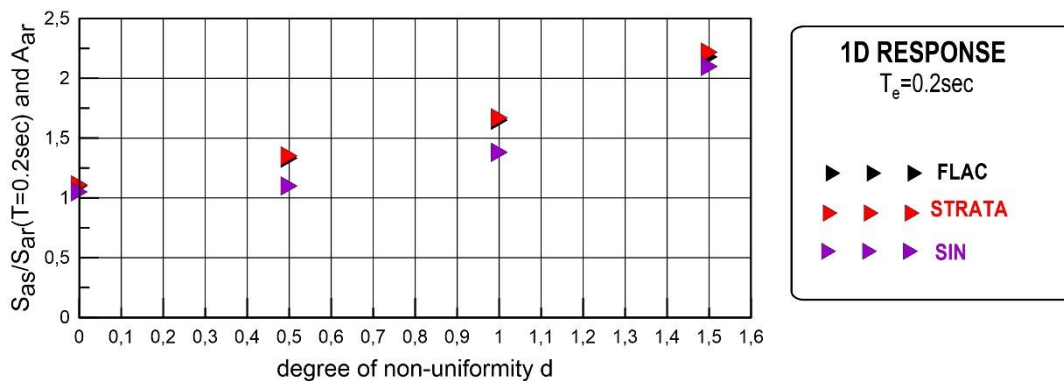
Στο Σχήμα 4.3 δείχνονται οι μέγιστοι λόγοι της φασματικής ενίσχυσης του εδάφους προς τον αναδυόμενο βράχο $\max S_{as}/S_{ar}$ για τις 4 τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d , ανεξαρτήτως της περιόδου κατασκευής στην οποία παρατηρούνται, με βάση τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.2. Παρατηρείται ότι στο ομοιόμορφο έδαφος ο μέγιστος λόγος $\max S_{as}/S_{ar}$ είναι περίπου ίσος με 1.5, ενώ αυξάνεται σταδιακά, φτάνοντας σε τιμές μεγαλύτερες του 3 για $d=1.5$. Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η αύξηση των ενισχύσεων όσο πιο ανομοιόμορφο γίνεται το έδαφος, με τις τιμές από το STRATA να είναι συστηματικά λίγο μεγαλύτερες, λόγω της σχετικά μικρότερης απόσβεσης που αυτό θεωρεί.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι τιμές του λόγου S_{as}/S_{ar} για περίοδο κατασκευής T ίση με τη δεσπόζουσα περίοδο $T_e = 0.20$ s της σεισμικής διέγερσης Αιγίου, όπως προκύπτουν από αναλύσεις με τις 2 μεθοδολογίες/λογισμικά. Επιπλέον, χάριν σύγκρισης, στο ίδιο σχήμα εμπεριέχονται και τιμές ενίσχυσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς αναδυόμενο βράχο A_{ar} για αρμονική διέγερση βάσης με περίοδο ίση με 0.20s (τα οποία εκτελέστηκαν και με τα δύο λογισμικά δίνοντας ταυτόσημα αποτελέσματα). Από όλα αυτά τα αποτελέσματα βγαίνει το κοινό

συμπέρασμα της αύξησης των ενισχύσεων με την ανομοιομορφία του εδάφους, η οποία γίνεται πιο σημαντική για $d > 0.5$.



Σχήμα 4.3 : Σύγκριση μέγιστων φασματικών ενισχύσεων $\max S_{as}/S_{ar}$ 1Δ απόκρισης ΕΛΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96$ m) προς ΒΡΑΧΟΥ ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{save} = 360$ m/s) για διέγερση Αιγίου (με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.20$ sec), με βάση αναλύσεις εκτελεσμένες με διάφορα λογισμικά



Σχήμα 4.4 : Σύγκριση φασματικών επιταχύνσεων S_{as}/S_{ar} 1Δ απόκρισης ΕΛΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96$ m) προς ΒΡΑΧΟΥ ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{save} = 360$ m/s) στην περίοδο $T=0.2$ sec για διέγερση Αιγίου (με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.20$ sec), καθώς και ενισχύσεων της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς αναδύμενο βράχο A_{ar} για ημιτονοειδή διέγερσης ίδιας περιόδου 0.20 sec, με βάση αναλύσεις εκτελεσμένες με διάφορα λογισμικά

4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1^η ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΑΚΑΜΠΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ

Όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή, εδώ γίνονται αντίστοιχες συγκρίσεις με θεώρηση του βράχου ως ακάμπτου μέσου. Οι αναλύσεις αυτές δίνουν έμφαση σε ημιτονοειδείς διεγέρσεις, ώστε να επιτρέψουν και σύγκριση με τη βιβλιογραφία. Ο άκαμπτος βράχος στις αναλύσεις εδαφικής στήλης και στα δύο λογισμικά εισάγεται με τιμή V_b πολύ μεγάλη.

Πιο συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν συνολικά 120 αναλύσεις στο πρόγραμμα FLAC, δηλαδή 30 αναλύσεις ημιτονοειδούς φόρτισης για διάφορες περιόδους από 0.1sec έως 3sec, για εδαφική στήλη με πάχος $H=96\text{m}$, κοινή $V_{\text{save}}=360\text{m/s}$ και διαφορετικές τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d (βλ. Σχήμα 4.1).

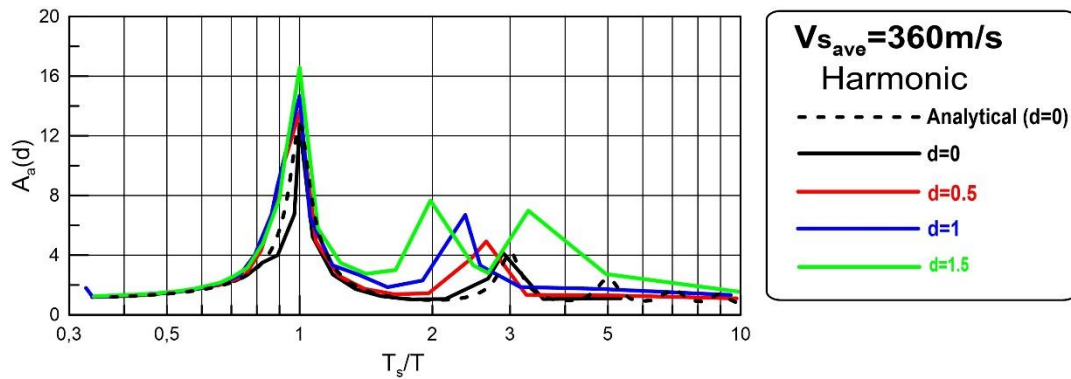
Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι ενισχύσεις της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) A_a για τους 4 διαφορετικούς βαθμούς ανομοιομορφίας d ως συνάρτηση της συχνότητας $1/T$ ημιτονοειδούς διεγερσης βάσης (κανονικοποιημένης ως προς την ιδιοσυχνότητα της κάθε στρώσης $1/T_s$), καθώς επίσης και η αναλυτική λύση για ομοιόμορφο έδαφος. Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή A_a :

- Όπως είναι αναμενόμενο, η τιμή A_a που προκύπτει αριθμητικά για το ομοιόμορφο έδαφος συμπίπτει με την αναλυτική λύση, γεγονός που υπογραμμίζει την αξιοπιστία των αριθμητικών αναλύσεων. Επιπλέον, είναι σαφείς οι 3 πρώτες ιδιοπερίοδοι του ομοιόμορφου εδάφους για $T_s/T = 1, 3$ και 5 .
- Στην πρώτη ιδιοπερίοδο ($T_s/T = 1$), η οποία είναι διαφορετική για κάθε βαθμό ανομοιομορφίας (βλ. παρακάτω), η τιμή του A_a γίνεται μέγιστη, για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας. Επιπλέον, προκύπτει ότι η τιμή του A_a στην πρώτη ιδιοπερίοδο ($T_s/T = 1$) αυξάνει, όσο αυξάνει ο δείκτης ανομοιομορφίας d , και συγκεκριμένα αυξάνει από 12.5 για $d=0$ στο 16.5 για $d=1.5$.
- Όσον αφορά τις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους, παρατηρείται ότι αυτές εμφανίζονται σε μικρότερες περιόδους στα ανομοιόμορφα απ' ότι στα ομοιόμορφα εδάφη, δηλαδή η 2^η ιδιοπερίοδος πλησιάζει στην 1^η και ούτω καθεξής. Συνεπώς, το εύρος σημαντικών περιόδων στα ανομοιόμορφα εδάφη είναι πιο στενό, ενώ παρατηρείται και αύξηση των ενισχύσεων και στις μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους με την αύξηση της ανομοιομορφίας. Είναι δε χαρακτηριστικό ότι σε όρους έντασης της ενίσχυσης, η 3^η ιδιομορφή του ισχυρώς ανομοιόμορφου εδάφους ($d=1.5$) είναι συγκρίσιμη με την 2^η ιδιομορφή, κάτι που δε συμ-

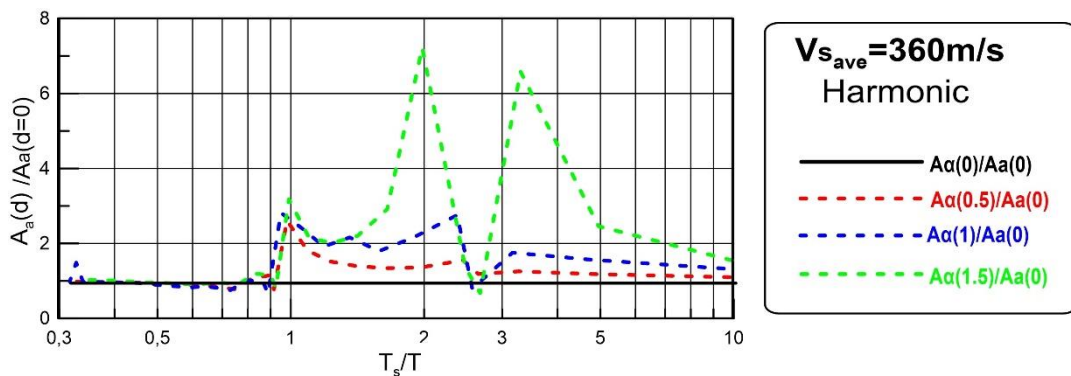
βαίνει στα ομοιόμορφα εδάφη ($d=0$). Συνεπώς, οι ανώτερες ιδιομορφές αποκτούν συγκριτικά μεγαλύτερη σημασία σε ανομοιόμορφα εδάφη, καθώς ενισχύουν την εδαφική ενίσχυση σε πλήθος περιόδων.

Με σκοπό τη σαφέστερη ποσοτικοποίηση της ενίσχυσης της μέγιστης επιτάχυνσης A_a που παρουσιάζεται στα ανομοιόμορφα εδάφη (με βαθμό ανομοιομορφίας $d > 0$), συγκριτικά με τα αντίστοιχα ομοιόμορφα $A_a(d=0)$, το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.5 κανονικοποιημένα, δηλαδή σε όρους λόγου $A_a(d)/A_a(d=0)$. Για να γίνει δυνατή η κανονικοποίηση αυτή (καθώς οι αναλύσεις έχουν γίνει για ίδιες τιμές T και διαφορετικές τιμές d), οι λόγοι αυτοί παρουσιάζονται ως προς τη συχνότητα $1/T$ κανονικοποιημένη ως προς την πρώτη ιδιοσυχνότητα $1/T_s$ της ομοιόμορφης στρώσης, η οποία (όπως παρουσιάζεται παρακάτω) είναι κοντινή αλλά δεν ταυτίζεται με εκείνες των ανομοιόμορφων εδαφών. Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι:

- Συστηματικά, όλοι οι λόγοι $A_a(d)/A_a(d=0)$ βρίσκονται για όλες τις περιόδους T πάνω από την μονάδα (με ελάχιστες εξαιρέσεις). Συνεπώς, δεν προκύπτει σχεδόν ποτέ απομείωση της σεισμικής κίνησης στα ανομοιόμορφα εδάφη σε σχέση με τα ομοιόμορφα, ενώ αντιθέτως προκύπτουν ενισχύσεις, οι οποίες εξαρτώνται από την περίοδο, αλλά μπορεί να είναι και εντυπωσιακές (πάνω από 6 φορές).
- Στην 1^η ιδιοπερίοδο του ομοιόμορφου εδάφους ($T = T_s$), η ενίσχυση κυμαίνεται αυξημένη κατά 2.6 ($d=0.5$) ως 3.2 ($d=1.5$) φορές σε σχέση με το ομοιόμορφο. Επομένως, η απλουστευτική θεώρηση ομοιόμορφου εδάφους στη θέση ανομοιόμορφων εδαφών δίνει μη-συντηρητικές εκτιμήσεις για την εκτίμηση της ενίσχυσης.
- Σε μικρότερες περιόδους ($T < T_s$), είναι εμφανής η μεγαλύτερη ενίσχυση που παρατηρείται στα ανομοιόμορφα εδάφη. Για παράδειγμα, σε περίοδο που αντιστοιχεί στη 2^η ιδιομορφή του ισχυρώς ανομοιόμορφου εδάφους ($d=1.5$), η ενίσχυση είναι 7 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που θα έδινε στην ίδια περίοδο το ομοιόμορφο έδαφος. Αντίστοιχα, το ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος παρουσιάζει την 3^η ιδιομορφή σε συχνότητα λίγο μεγαλύτερη εκείνης της 2^η ιδιομορφής του ομοιόμορφου εδάφους, και σε αυτήν τη συχνότητα η ενίσχυση προκύπτει 6.5 φορές μεγαλύτερη εκείνης του ομοιόμορφου εδάφους. Για λιγότερο ανομοιόμορφα εδάφη, οι ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=1.0$, οι ενισχύσεις εμφανίζονται έως 3.0 φορές μεγαλύτερες (2.0 φορές κατά μέση τιμή), ενώ για $d=0.5$ οι εν λόγω ενισχύσεις εμφανίζονται έως 2.0 φορές μεγαλύτερες (1.5 φορές κατά μέση τιμή).
- Σε μεγαλύτερες περιόδους ($T > T_s$), η ανομοιομορφία δεν δείχνει σημαντική καθώς οι ενισχύσεις πρακτικώς ταυτίζονται με εκείνες των ομοιόμορφων εδαφών.



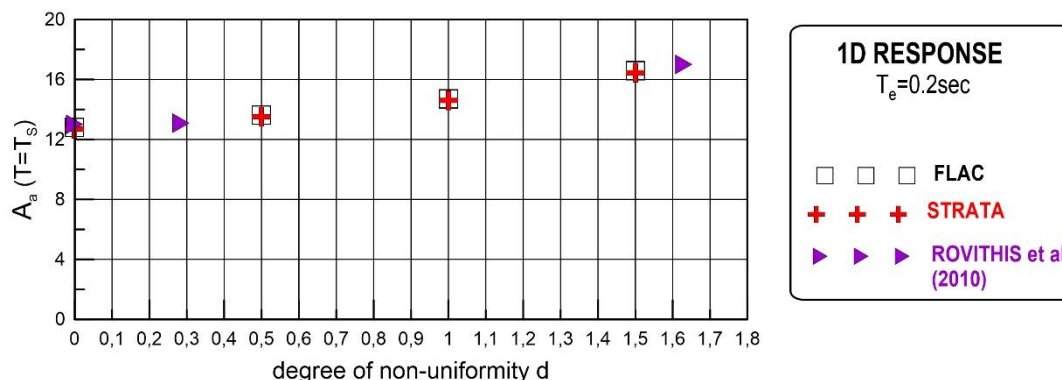
Σχήμα 4.5 : Σύγκριση ενισχύσεων της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) A_a σε 1Δ απόκριση ΕΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96 \text{ m}$) ως συνάρτηση της συχνότητας $1/T$ ημιτονοειδούς διέγερσης βάσης (κανονικοποιημένης ως προς την πρώτη ιδιοσυχνότητα στρώσης $1/T_s$) για διάφορες τιμές βαθμού ανομοιομορφίας d (και κοινό $V_{save} = 360 \text{ m/s}$) και σύγκριση με αναλυτική λύση για ομοιόμορφη στρώση ($d=0$)



Σχήμα 4.6 : Επίδραση βαθμού ανομοιομορφίας d στην ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) A_a σε 1Δ απόκριση ΕΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96 \text{ m}$) συγκριτικά με την αντίστοιχη ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης A_a ομοιόμορφου εδάφους, ως συνάρτηση της συχνότητας $1/T$ ημιτονοειδούς διέγερσης βάσης (κανονικοποιημένης ως προς την πρώτη ιδιοσυχνότητα στρώσης $1/T_s$) (για κοινό $V_{save} = 360 \text{ m/s}$)

Χάριν σύγκρισης με τη βιβλιογραφία, στο Σχήμα 4.7 η έμφαση δίνεται στην ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) A_a σε 1Δ απόκριση ΕΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96 \text{ m}$) προς άκαμπτο βράχο ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{save} = 360 \text{ m/s}$) για διέγερση βάσης ημιτονοειδή με περίοδο T ίση με την πρώτη ιδιοπερίοδο T_s της στρώσης. Στο

σχήμα συμπεριλαμβάνονται αποτελέσματα με βάση τις 2 αριθμητικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται εδώ, καθώς και εκτιμήσεις από τη βιβλιογραφία με βάση τους Rovithis et al. (2010). Από το σχήμα προκύπτει εξαιρετική συμφωνία, γεγονός που υπογραμμίζει την αξιοπιστία των αριθμητικών προβλέψεων, και η σαφής αύξηση της ενίσχυσης με το βαθμό ανομοιομορφίας, η οποία ποιοτικά ισχύει σε όλες τις περιόδους, λίγο έως πολύ, αλλά ποσοτικά είναι συνάρτηση της περιόδου.



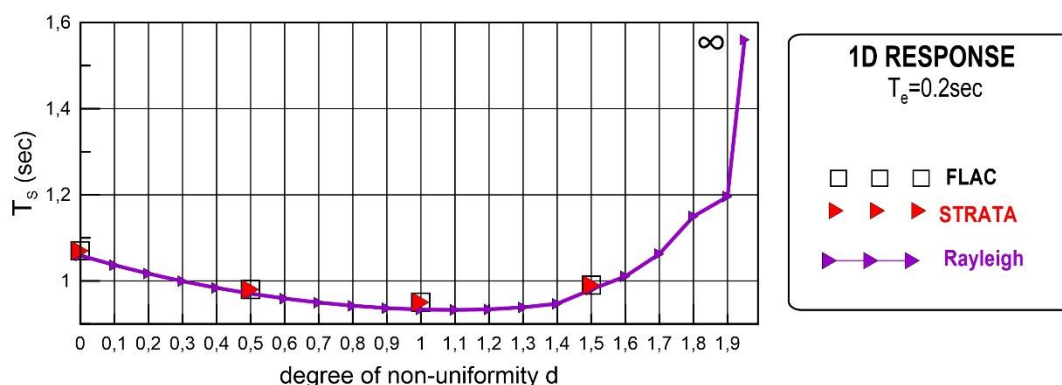
Σχήμα 4.7 : Σύγκριση μέγιστης ενίσχυσης της επιτάχυνσης σε 1Δ απόκριση ΕΛΛΑΦΟΥΣ (πάχους $H=96$ m) προς ΑΚΑΜΠΤΟ ΒΡΑΧΟ ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{save} = 360$ m/s) για διέγερση βάσης ημιτονοειδή με περίοδο T ίση με την ιδιοπερίοδο T_s της στρώσης, με βάση αναλύσεις εκτελεσμένες με διάφορα λογισμικά και από την βιβλιογραφία

4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΤΗΝ 1^η ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟ ΕΛΛΑΦΙΚΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μελέτη της επίδρασης της ανομοιομορφίας στις τιμές της 1^{ης} ιδιοπεριόδου των στρώσεων, ώστε να διερευνηθεί και ποσοτικοποιηθεί το συμπέρασμα των προηγούμενων παραγράφων ότι οι ιδιοπερίοδοι των ανομοιομορφών εδαφών δεν ταυτίζονται με εκείνες των ομοιομορφών. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων με ημιτονοειδή διέγερση για τις τιμές της 1^{ης} ιδιοπεριόδου, και τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με αναλυτικές μεθοδολογίες από τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, από τη βιβλιογραφία θα χρησιμοποιηθεί η απλοποιημένη μέθοδος Rayleigh (Dobry et al. 1976), μία μέθοδος που συγκλίνει άμεσα, καθώς από την πρώτη επανάληψη το αποτέλεσμα παρουσιάζει απόκλιση μικρότερη του 3% από την ακριβή τιμή.

Έτσι, στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η επίδραση του βαθμού ανομοιομορφίας στην 1^η ιδιοπερίοδο σύμφωνα με τα προαναφερθέντα λογισμικά αλλά και την μέθοδο Rayleigh, για τη γνωστή περίπτωση εδαφικής στρώσης με πάχος $H=96\text{m}$, κοινή $V_{\text{save}}=360\text{m/s}$ και διάφορες τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d . Μάλιστα, ενώ για τις αριθμητικές αναλύσεις παρουσιάζονται αποτελέσματα για διακριτές τιμές του $d = 0.0, 0.5, 1.0$ και 1.5 , με τη μέθοδο Rayleigh εκτιμήθηκαν τιμές για $d = 0$ έως 1.9 , με βήμα 0.1 . Με βάση το σχήμα αυτό προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για την 1^η ιδιοπερίοδο T_s ανομοιομόρφων εδαφών:

- Οι εκτιμήσεις όλων των μεθόδων είναι συμβατές μεταξύ τους, και ειδικά οι 2 αριθμητικές μέθοδοι δίνουν ταυτόσημα αποτελέσματα.
- Η ανομοιομορφία επηρεάζει την τιμή της 1^{ης} ιδιοπεριόδου T_s , αλλά όχι μονοτονικά. Συγκριτικά με την τιμή για ομοιομορφο έδαφος ($d=0$), για συνήθεις τιμές ανομοιομορφίας ($d \leq 1.7$) οι τιμές της T_s είναι μικρότερες ή ίσες αυτής, ενώ για πολύ έντονη ανομοιομορφία ($d \geq 1.7$) προκύπτουν και τιμές T_s μεγαλύτερες εκείνης για $d=0$. Η ελάχιστη τιμή T_s εμφανίζεται για $d = 1.0 - 1.1$, και είναι έως 11% μικρότερη της τιμής για ομοιομορφη στρώση.
- Πιο συγκεκριμένα, για μικρές τιμές ανομοιομορφίας ($d \leq 1.0 - 1.1$), η επίδραση του βαθμού ανομοιομορφίας d στην τιμή της T_s είναι μειωτική. Αυτό αποδίδεται στο ότι για ελαφρώς ανομοιομόρφα εδάφη δεν υπάρχει μεγάλη αντίθεση δυσκαμψίας μεταξύ της βάσης και της κορυφής της εδαφικής στήλης, συνεπώς η μέση τιμή V_{save} είναι αντιπροσωπευτική του εδαφικού προφίλ. Συνεπώς, η απόκριση της εδαφικής στήλης είναι ως να αντιστοιχεί σε μικρότερου πάχους εδαφική στήλη, με χαρακτηριστική τιμή V_s τη μέση τιμή V_{save} , γεγονός που αποδίδεται με σχετική μείωση της τιμής της T_s συγκριτικά με την τιμή για $d=0$.
- Αντιθέτως, για μεγάλες τιμές ανομοιομορφίας ($d > 1.0 - 1.1$), η επίδραση του βαθμού ανομοιομορφίας d στην τιμή της T_s είναι αυξητική. Αυτό αποδίδεται στο ότι για έντονα ανομοιομόρφα εδάφη υπάρχει μεγάλη αντίθεση δυσκαμψίας μεταξύ της βάσης και της κορυφής της εδαφικής στήλης, συνεπώς η μέση τιμή V_{save} παύει να είναι αντιπροσωπευτική του εδαφικού προφίλ και κάποια μικρότερη τιμή δείχνει καταλληλότερη. Συνεπώς, η απόκριση της εδαφικής στήλης αντιστοιχεί μεν σε μικρότερου πάχους εδαφική στήλη, αλλά η χαρακτηριστική τιμή V_s είναι μικρότερη της μέσης τιμής V_{save} , γεγονός που αποδίδεται ακόμη και με σχετική αύξηση της τιμής της T_s συγκριτικά με την τιμή για $d=0$.



Σχήμα 4.8 : Μεταβολή 1^{ης} ιδιοπεριόδου T_s στρώσης (πάχους $H=96$ m) ως συνάρτηση του βαθμού ανομοιομορφίας d (για $V_{save} = 360$ m/s) με βάση αριθμητικές αναλύσεις από δύο λογισμικά και σύμφωνα με την απλοποιημένη μεθοδολογία Rayleigh (Dobry et al. 1976)

4.5 ΣΥΝΟΨΗ

Ο όρος ανομοιομορφία εδαφικών σχηματισμών σε σεισμική ταλάντωση ουσιαστικά αποτυπώνει μια μεταβαλλόμενη ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_s με το βάθος. Χάριν ποσοτικοποίησης της έντασης της ανομοιομορφίας, μπορεί να θεωρηθεί μια γραμμική αύξηση της V_s με το βάθος, η ένταση της οποίας να αποτυπωθεί μ' έναν αδιάστατο συντελεστή d . Συνοπτικά, σχετικώς με τη 1Δ σεισμική απόκριση ανομοιόμορφων εδαφών, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η φασματική επιτάχυνση, για όλες τις περιόδους κατασκευής, στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνει όσο αυξάνεται ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Για δείκτες ανομοιομορφίας $d > 1$, δηλαδή για μετρίως και έντονα ανομοιόμορφα εδάφη, οι φασματικές επιταχύνσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες απ' ότι στα ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια μέση V_{save} . Αντίθετα, σε ασθενώς ανομοιόμορφα εδάφη με $d < 1$, οι φασματικές επιταχύνσεις δεν διαφέρουν αισθητά από αυτές για ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια μέση V_{save} , αλλά πάντα είναι μεγαλύτερες αυτών.
- Οι ενισχύσεις της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) των ανομοιόμορφων εδαφών είναι ποιοτικά και ποσοτικά διαφορετικές από αυτές των ομοιόμορφων εδαφών με την ίδια μέση V_{save} . Συγκεκριμένα, για περίοδο διέγερσης ίση με την 1^η ιδιοπερίοδο του

ομοιόμορφου εδάφους, η ενίσχυση σταδιακά αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Επιπλέον, οι μεγαλύτερες ιδιομορφές των ανομοιόμορφων εδαφών εμφανίζονται σε μικρότερες συχνότητες απ' ότι των ομοιόμορφων, και εμφανίζουν συγκριτικά αυξημένη ενίσχυση. Συνεπώς, η ενίσχυση των ανομοιόμορφων εδαφών είναι εντονότερη και αυξάνει με το βαθμό ανομοιομορφίας d , ειδικά για περιόδους ίσες και μικρότερες της πρώτης ιδιοπεριόδου. Για μεγαλύτερες περιόδους, η ανομοιομορφία δεν δείχνει σημαντική, καθώς οι ενισχύσεις πρακτικώς ταυτίζονται με εκείνες των ομοιόμορφων εδαφών.

- Η πρώτη ιδιοπερίοδος T_s των ανομοιόμορφων εδαφών είναι διαφορετική σε σχέση με τα ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια V_{save} . Συγκριτικά με την τιμή για ομοιόμορφο έδαφος ($d = 0$), για συνήθεις τιμές ανομοιομορφίας ($d \leq 1.7$) οι τιμές της T_s είναι μικρότερες ή ίσες αυτής, ενώ για πολύ έντονη ανομοιομορφία ($d \geq 1.7$) προκύπτουν και τιμές T_s μεγαλύτερες εκείνης για $d = 0$. Η ελάχιστη τιμή T_s εμφανίζεται για $d = 1.0 - 1.1$, και είναι έως 11% μικρότερη της τιμής για ομοιόμορφο έδαφος ($d = 0$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΛΑΔΕΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

5.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ανομοιομορφίας του εδάφους της λεκάνης στη φασματική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους. Σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3, για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν ομάδες αναλύσεων, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει τρία (3) γεωμορφικά συστήματα: 2Δ: βραχώδες υπόβαθρο – λεκάνη, 1D_soil: βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος, 1D_rock: βραχώδες υπόβαθρο. Οι μονοδιάστατες (1D) 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 οριζόντια επιτάχυνση S_{ah} και η παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση S_{av} , από την 1Δ ανάλυση υποβάθρου (1D_rock) μια ενιαία τιμή S_{ar} και από την 1Δ ανάλυση απειρομήκους εδάφους επί υποβάθρου (1D_soil) εκτιμήθηκε η αντίστοιχη S_{as} . Σε ότι αφορά την S_{av} , 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 S_{ar} και S_{as} που προκύπτουν από τις αναλύσεις υποβάθρου (1D_rock) και οριζοντίου εδάφους επί υποβάθρου (1D_soil) είναι μηδενικές.

Δεδομένων των ανωτέρω μεγεθών, ορίζεται η οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση ASA_h σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της οριζόντιας επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (S_{ah}) προς τη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (S_{ar} ή S_{as}). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως $ASA_h = S_{ah} / S_{as}$, ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε $ASA_h = S_{ah} / S_{ar}$.

Αντίστοιχα, ορίζεται και η παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση ASA_v σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (S_{av}) προς τη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (S_{ar} ή S_{as}). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως

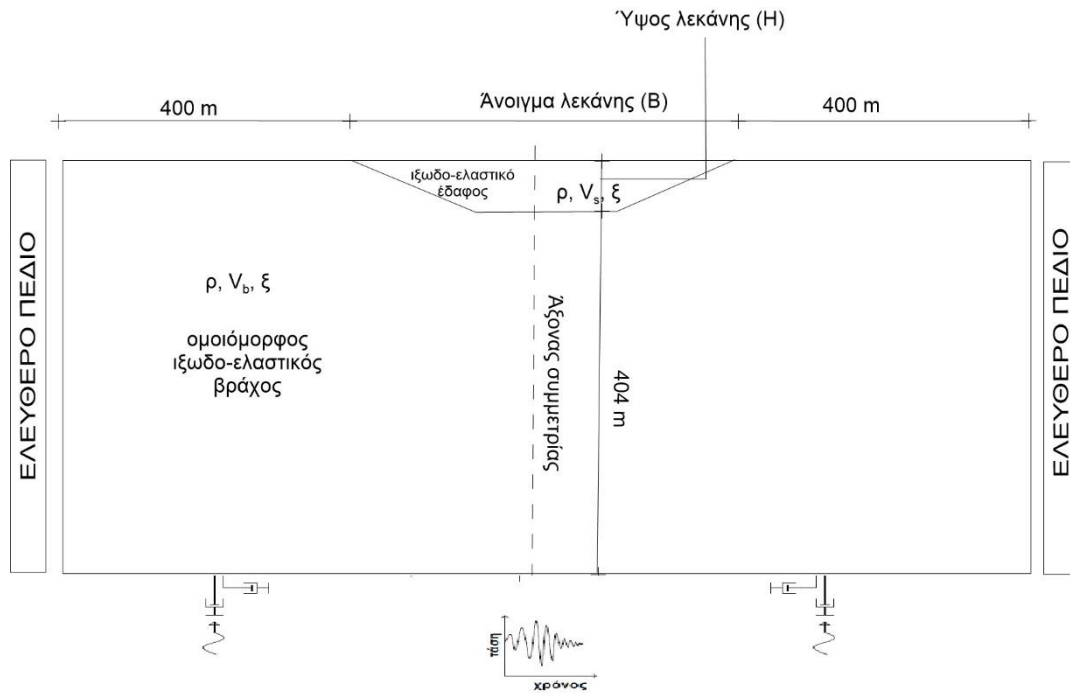
$ASA_v = S_{av} / S_{as}$, ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε $ASA_v = S_{ah} / S_{ar}$.

Επιπλέον, ορίζεται η οριζόντια συνολική ενίσχυση $ASAR_h$ σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της οριζόντιας επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (S_{ah}) προς τη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την μονοδιάστατη ανάλυση υποβάθρου (S_{ar}), δηλαδή $ASAR_h = S_{ah} / S_{ar}$.

Αντίστοιχα, ορίζεται και η συνολική παρασιτική κατακόρυφη ενίσχυση $ASAR_v$ σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (S_{av}) προς τη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από από την μονοδιάστατη ανάλυση υποβάθρου (S_{ar}), δηλαδή $ASAR_v = S_{av} / S_{ar}$.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ένα εννοιολογικό πρόβλημα στον ορισμό του ASA_h (αλλά και του ASA_v). Αυτό αφορά στα σημεία της επιφάνειας της εδαφικής λεκάνης που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια. Εκεί, ο παρονομαστής S_{as} στους παραπάνω ορισμούς των ASA_h και ASA_v αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους H , κάτι που έχει ισχύ μόνο στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς εδαφικής λεκάνης κι όχι στα σημεία που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια (καθώς εκεί το πάχος της εδαφικής στρώσης είναι μικρότερο από H και μειώνεται σταδιακά προς τα άκρα της λεκάνης). Το πρόβλημα αυτό είναι σημαντικό σε εδαφικές λεκάνες που το σχήμα τους είναι σχεδόν τριγωνικό, αλλά όχι τόσο σημαντικό σε τραπεζοειδείς εδαφικές λεκάνες με μεγάλο άνοιγμα B , καθώς οι δύο περιοχές που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια είναι μικρού εύρους συγκριτικά με το συνολικό άνοιγμα της εδαφικής λεκάνης. Όμως, δεν υπάρχει ένας εύκολος και απολύτως ορθός τρόπος να ληφθεί υπόψη αυτή η σταδιακή μείωση του πάχους του εδάφους άνωθεν των κεκλιμένων άκρων της λεκάνης. Αντιθέτως, η εύκολη εναλλακτική της χρήσης του μεγέθους S_{ar} , στον παρονομαστή του ορισμού της οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης ASA_h κατά μήκος όλης της λεκάνης θα οδηγούσε στη λανθασμένη εκτίμηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, καθώς θα συμπεριλαμβανόταν σε αυτή τόσο η επίδραση των εδαφικών συνθηκών (soil effects) όσο και η επίδραση της ύπαρξης λεκάνης (valley effects).

Στο Σχήμα 5.1, δίνεται ένα σκαρίφημα των στοιχείων ανάλυσης ενός συστήματος εδαφικής λεκάνης – υποβάθρου για μια λεκάνη, όπου το έδαφος της είναι ανομοιόμορφο. Συνεπώς, εκτελούνται στοχευμένες αναλύσεις λεκανών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, στις οποίες η διατμητική κυματική ταχύτητα του εδάφους θα προσομοιώνεται όπως στο Κεφάλαιο 4 για τους τέσσερις διαφορετικούς βαθμούς ανομοιομορφίας d . Στη συνέχεια θα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των ανομοιόμορφων λεκανών με την αντίστοιχη ομοιόμορφη, αλλά και μεταξύ τους.



Σχήμα 5.1 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου – εδαφικής λεκάνης

Όπως σημειώνεται στο Κεφάλαιο 2, οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην απόκριση μιας εδαφικής λεκάνης είναι η τιμή του αδιάστατου λόγου l/H και του αδιάστατου πλάτους B/l . Για να δειχθούν τα αποτελέσματα της επίδρασης της εδαφικής ανομοιογένειας στην απόκριση των λεκανών επιλέχθηκαν να γίνουν αναλύσεις με l/H μικρό, ούτως ώστε οι επιταχύνσεις να είναι αυξημένες. Επιπλέον, επιλέχθηκαν να γίνουν αναλύσεις για το ίδιο λόγο l/H σε «στενές» και «πλατιές» κοιλάδες για να δειχθεί και η επίδραση του B/l . Ακόμα, όσον αφορά τις «στενές» κοιλάδες, έγιναν αναλύσεις και για τις αντίστοιχες τριγωνικές, τα αποτελέσματα των οποίων δείχνονται στο Παράρτημα.

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΕ «ΣΤΕΝΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ

Οι πρώτες αναλύσεις θα αφορούν σχετικά «στενές» εδαφικές λεκάνες, γιατί σε αυτές αναμένονται αυξημένες γεωμορφικές ενισχύσεις, και επομένως θα φανεί η επίδραση της ανομοιομορφίας καλύτερα. Επιλέγεται, λοιπόν, μια ομοιόμορφη εδαφική λεκάνη αναφοράς με πλάτος

$B=432$ m, πάχος $H=96$ m, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360$ m/sec και στο βράχο $V_b=800$ m/sec και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$. Οι αναλύσεις έγιναν για την σεισμική διέγερση του Αιγίου για δύο τιμές δεσπόζουσας συχνότητας $f=2$ Hz και $f=5$ Hz. Στον Πίνακα 5.1, δίνονται οι αναλύσεις για τις «στενές» κοιλάδες που πραγματοποιήθηκαν με τις τιμές των βασικών παραμέτρων τους. Επισημαίνεται ότι οι όροι που αναφέρονται στις ανομοιόμορφες κοιλάδες σημειώνονται με δείκτη ave.

#	B(m)	H(m)	V _{save} (m/s)	V _b (m/s)	T _e (s)	λ _{ave} (m)	i(°)	ξ(%)	B/λ _{ave}	λ _{ave} /H	σ _{ave}
1	432	96	360	800	0.2	72	30	5	6	0.75	0.45
2	332	96	360	800	0.2	72	30	5	4.6	0.75	0.45
4	432	96	360	800	0.5	180	30	5	2.4	1.88	0.45
5	332	96	360	800	0.5	180	30	5	1.84	1.88	0.45

Πίνακας 5.1 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «κοιλάδων» αναλύσεων ανομοιόμορφων εδαφικά λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της ανομοιογένειας σε «στενές» εδαφικές λεκάνες

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν, αφενός τη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v και συνολικής ενίσχυσης $ASAR_h$ και $ASAR_v$, με την οριζόντια απόσταση x (από το μέσο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα B της εκάστοτε λεκάνης, αφετέρου την διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v συγκεκριμένων σημείων εντός της κοιλάδας συναρτήσει διάφορων περιόδων, για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d . Για λόγους αποσαφήνισης της επίδρασης της εδαφικής ανομοιομορφίας στην απόκριση των κοιλάδων, όσον αφορά της πρώτης μορφής διαγράμματα παρουσιάζεται η επίδραση του d στους παραπάνω συντελεστές για την περίοδο $T=0$ sec και στις μέγιστες τιμές των, ενώ για της δεύτερης μορφής διαγράμματα παρουσιάζεται η επίδραση του d στους παραπάνω συντελεστές για τη θέση της κοιλάδας όπου γίνεται μέγιστος (για περίοδο $T=0$ sec) ο κάθε συντελεστής και για τη θέση της κοιλάδας όπου εμφανίζεται το μέγιστο των μεγίστων αυτών των συντελεστών. Εξαιρέση αποτελούν τα δύο πρώτα σχήματα που δείχνουν την χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v με την αδιαστατοποιημένη οριζόντια απόσταση x/B (από το μέσο της κοιλάδας) για πλήθος φασματικών περιόδων.

- ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Στο Σχήμα 5.2 δείχνεται η γεωμορφική επιδείνωση κοιλάδας ομοιόμορφου εδάφους ($d=0$) με πλάτος $B=432$ m, ύψος $H=96$ m, και γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ενώ στο Σχήμα 5.3 η γεωμορφική επιδείνωση της αντίστοιχης κοιλάδας εδάφους μετρίως ανομοιόμορφου ($d=1$).

Σχετικά με το συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

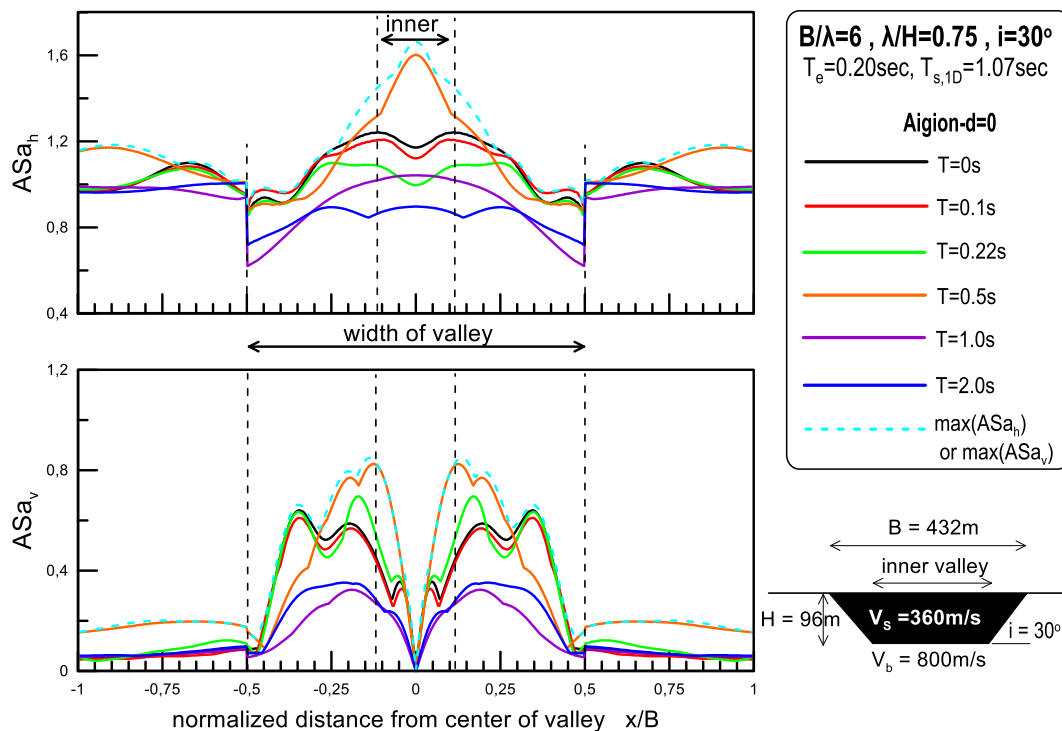
- Η ανάλυση για $d=0$ εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της, έστω ASA_{hmax} , στην περιοχή του κέντρου (σε απόσταση $x/B=0$), όπως άλλωστε αναμενόταν καθώς πρόκειται για «στενή» εδαφική λεκάνη με αδιάστατο λόγο $B/H=4.5$ (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Επισημαίνεται επιπλέον ότι τα μέγιστα εμφανίζονται είτε ακριβώς στο κέντρο για περιόδους $T>0.5$ sec είτε στις θέσεις $x/B=\pm 0.25$ για περιόδους $T<0.5$ sec.
- Στη λεκάνη ανομοιόμορφου εδάφους, όσον αφορά τη χωρική διαφοροποίηση της ASA_h , παύει να συγκεντρώνονται τα μέγιστα στο κέντρο, όπως άλλωστε αναμενόταν, και παρουσιάζεται μία μετατόπιση τους προς τα άκρα της κοιλάδας. Ακόμα, παρατηρούνται μεγάλες ενισχύσεις ακόμα στο κέντρο. Παρατηρείται πως η μέγιστη οριζόντια ενίσχυση είναι $ASA_{hmax}=1.369$, όντας μειωμένη σημαντικά σε σχέση με τη μέγιστη ενίσχυση στην αντίστοιχη ομοιόμορφη ($ASA_{hmax}=1.663$) και εμφανίζεται σε απόσταση $x/B=\pm 0.25$, δηλαδή πάνω από τα πρανή της κοιλάδας. Παρόλα αυτά για ένα μεγάλο εύρος περιόδων οι γεωμορφικές ενισχύσεις εμφανίζονται στο κέντρο απομειωμένες σε σχέση με την ομοιόμορφη. Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

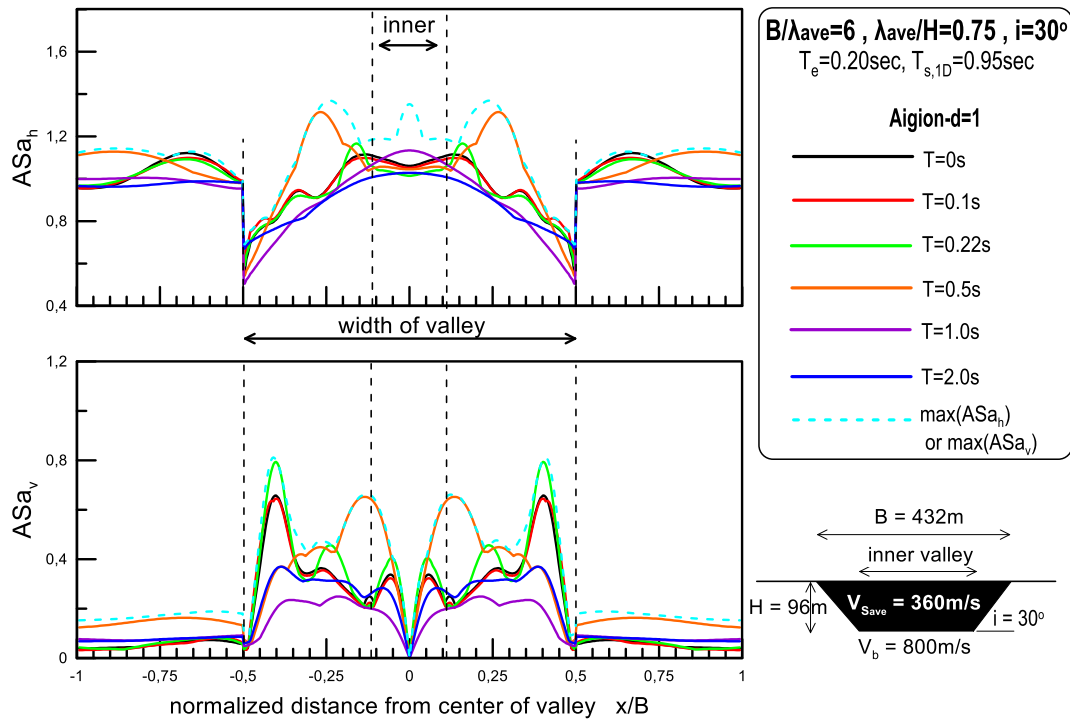
- Η ομοιόμορφη λεκάνη παρουσιάζει μια τυπική συμπεριφορά, εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή ASA_{vmax} στην περιοχή των ορίων του εσωτερικού της κοιλάδας με τα πρανή όπως άλλωστε συμβαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό των αναλύσεων (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Εντούτοις, σημαντικές ενισχύσεις παρατηρούνται και στα άκρα της κοιλάδας. Η συγκεκριμένη απόκριση θυμίζει αρκετά αποτελέσματα για τριγωνικές λεκάνες (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Όμως αυτό αναμενόταν εδώ, καθώς η εξεταζόμενη τόσο στενή λεκάνη ($B=432$ m) με σχετικά μικρή κλίση πρανών ($i=30^\circ$) παραπέμπει περισσότερο σε τριγωνική λεκάνη, παρά σε μία τυπική τραπεζοειδή λεκάνη.
- Όπως και για την ASA_h , στην ανομοιόμορφη λεκάνη παρατηρείται μια μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα. Πιο αναλυτικά, είναι φανερό πως παύει ο μηδενισμός του ASA_v στο κέντρο, κάτι που ήταν αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας, αλλά προκύπτουν τοπικά μέγιστα και στα όρια του εσωτερικού της κοιλάδας με τα πρανή. Έχουμε,

συνεπώς μια εντελώς διαφορετική κατανομή για όλες τις περιόδους της ASA_v σε σχέση με την ομοιόμορφη κοιλάδα.

- Η μέγιστη τιμή ASA_{vmax} στην ανομοιόμορφη λεκάνη είναι ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με την ομοιογενή (1.81 έναντι 1.85). Τέλος, όπως και στην ASA_h , παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων ASA_v της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής. Όσον αφορά επακριβώς τη θέση εμφάνισης των μεγίστων, έχουμε για την ανομοιόμορφη $x/B=\pm 0.43$ έναντι $x/B=\pm 0.11$ για την ομοιόμορφη.



Σχήμα 5.2 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για διάφορες περιόδους, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$



Σχήμα 5.3 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για διάφορες περιόδους, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$

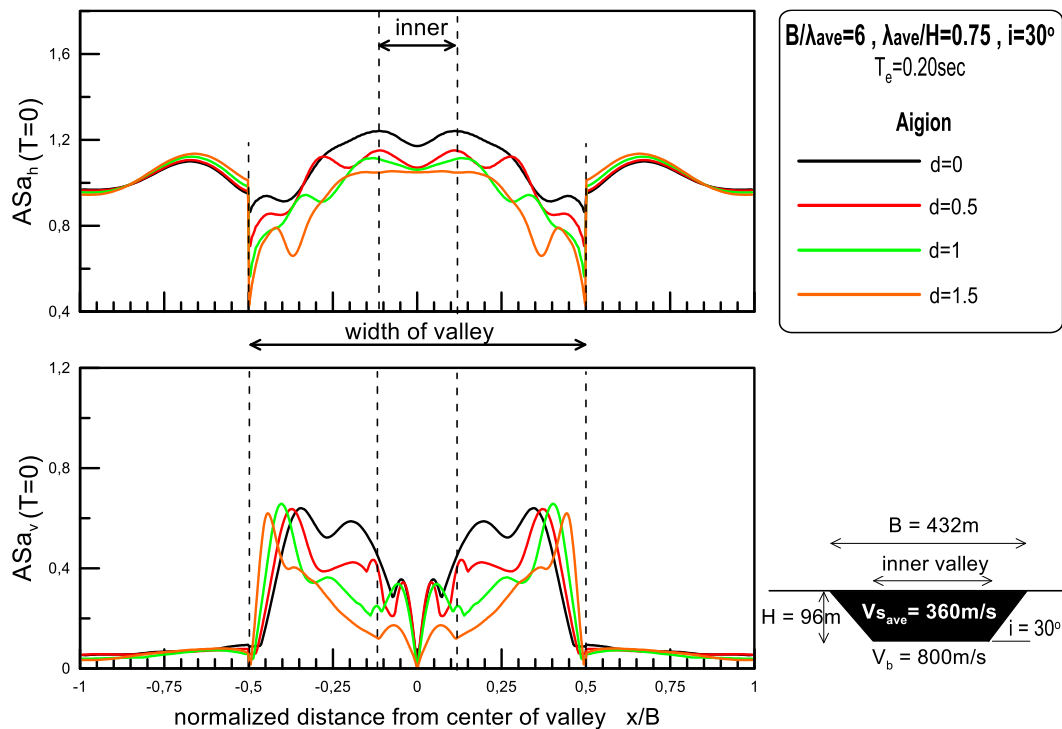
Με σκοπό τη σαφέστερη και πλήρη διερεύνηση της επίδρασης της ανομοιομορφίας, το Σχήμα 5.4 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του ASA_h αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας στο μεγαλύτερο πλάτος της κοιλάδας. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ του ομοιόμορφου και των ανομοιόμορφων προσομοιωμάτων εμφανίζονται κυρίως στο εσωτερικό τμήμα της λεκάνης. Η μέγιστη τιμή του ASA_h εντός της εδαφικής λεκάνης μειώνεται από 1.24 για $d=0$ σε 1.05 για $d=1.5$.
- Ποιοτικά, η χωρική διαφοροποίηση των γεωμορφικών ενισχύσεων διαφοροποιείται ήδη από το ασθενώς ανομοιόμορφο έδαφος, καθώς παρατηρείται πολλαπλή εμφάνιση τοπικών μεγίστων σε όλο το πλάτος της κοιλάδας. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο ταυτόχρονος συνδυασμός της απομείωσης των ASA_h και της εμφάνισης πολλαπλών μεγίστων οδηγεί στην δημιουργία ενός πλατό στο ισχυρώς ανομοιόμορφο μοντέλο.

- Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στο κέντρο παρατηρείται ο μηδενισμός των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα 4 προσομοιώματα λόγω απόλυτης συμμετρίας της λεκάνης.
- Ως προς τις μέγιστες τιμές του ASA_v δεν υπάρχει μια σταθερή τάση, καθώς υπάρχουν αμελητέες αυξομειώσεις καθώς ο βαθμός ανομοιομορφίας μεταβάλλεται. Όμως, στο μεγαλύτερο μέρος της κοιλάδας εκτός από το εσωτερικό τμήμα, η λεκάνη με το ομοιόμορφο έδαφος παρουσιάζει σημαντικές ενισχύσεις σε σχέση με τις ανομοιόμορφου εδάφους λεκάνες όπου σημαντικές ενισχύσεις παρατηρούνται στην κοντινή περιοχή εμφάνισης των μεγίστων, η οποία βρίσκεται στα όρια της κοιλάδας με το αναδυόμενο υπόβαθρο.
- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



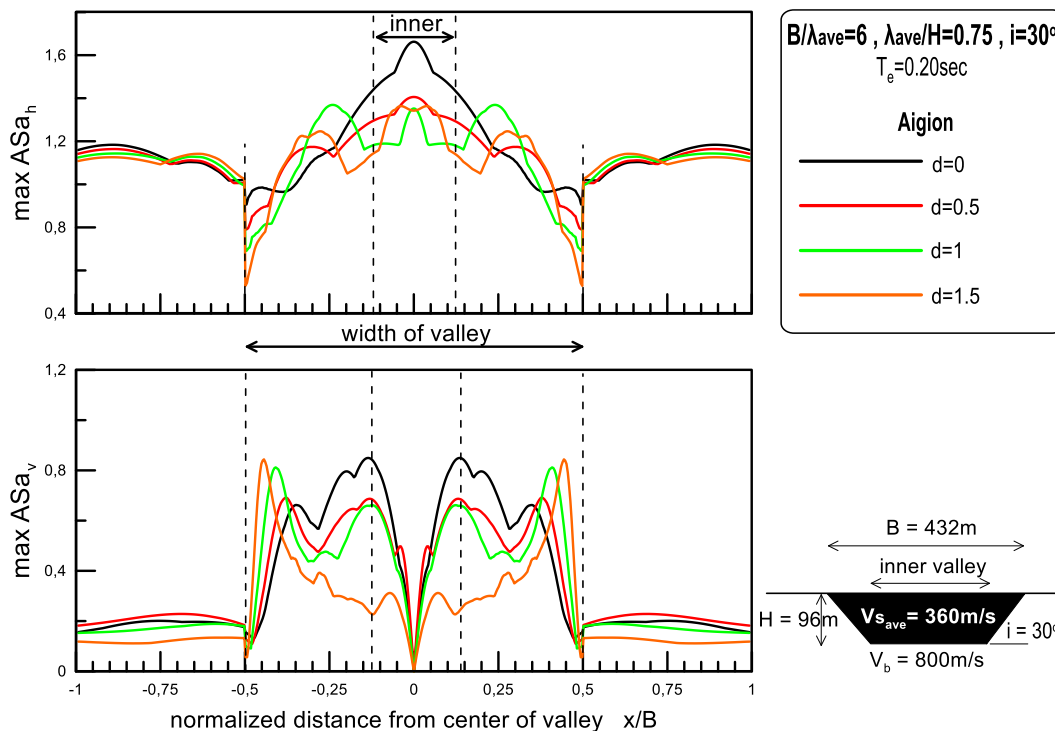
Σχήμα 5.4 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Με σκοπό την εμβάθυνση στην διερεύνηση της επίδρασης της ανομοιομορφίας, το Σχήμα 5.5 παρουσιάζει την μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τις μέγιστες τιμές του συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται απότομη μείωση τους από την ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη στις ανομοιόμορφες εδαφικά λεκάνες και μετέπειτα μια σταθεροποίηση για τους υπόλοιπους βαθμούς ανομοιομορφίας. Το μέγιστο για $d=0$ είναι 1.66 και απομειώνεται σε περίπου 1.37 για τα ανομοιόμορφα εδάφη.
- Ποιοτικά, εντούτοις, η χωρική διαφοροποίηση των γεωμορφικών ενισχύσεων είναι εντελώς διαφορετική ανάμεσα στην ομοιόμορφη και στις ανομοιόμορφες εδαφικές λεκάνες, καθώς η εμφάνιση του μεγίστου στην ομοιόμορφη συμβαίνει στο μέσο της κοιλάδας και στις ανομοιόμορφες υπάρχει επέκταση των μεγίστων προς τα άκρα. Ξανά, παρατηρείται η ύπαρξη πολλών τοπικών μεγίστων σε όλο το πλάτος των ανομοιόμορφων λεκανών.
- Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στο κέντρο παρατηρείται ο μηδενισμός των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα 4 προσομοιώματα λόγω απόλυτης συμμετρίας της λεκάνης.
- Ως προς τις μέγιστες τιμές του ASA_v , δεν παρατηρείται σημαντική επίδραση της ανομοιομορφίας, καθώς δεν υπάρχουν μεταβολές στα μέγιστα. Όμως, η λεκάνη με το ομοιόμορφο έδαφος παρουσιάζει το μέγιστο της στα όρια μεταξύ των κεκλιμένων πρανών και του εσωτερικού της κοιλάδας ($x/B=\pm 0.11$), σε αντίθεση με τις ανομοιόμορφου εδάφους λεκάνες όπου τα μέγιστα σταδιακά εμφανίζονται ολόενα και προς τα άκρα τους ($x/B=\pm 0.43$).
- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.5 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

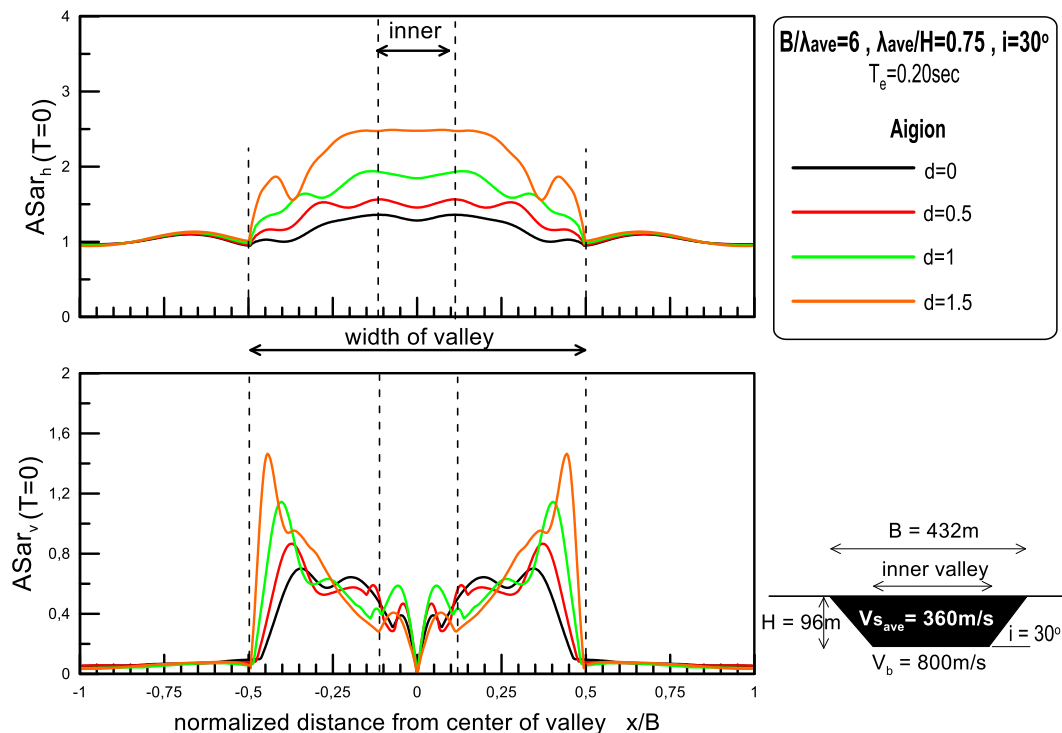
Όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 4, οι επιταχύνσεις αυξάνονται όσο πιο ανομοιόμορφη γίνεται η εδαφική στρώση. Με σκοπό τη περαιτέρω διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης ανομοιογενών εδαφικών λεκανών στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Συνεπώς, μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τον συντελεστή ενίσχυσης $ASAR_h$:

- Σε αντίθεση με τη γεωμορφική ενίσχυση, η επίδραση της ανομοιομορφίας έχει ακριβώς την αντίθετη επίδραση. Συγκεκριμένα, ο $ASAR_h$ αυξάνεται με την αύξηση της ανομοιομορφίας του εδάφους, φτάνοντας στην τιμή 2.49 για $d=1.5$ από 1.36 για $d=0$. Για λιγότερο ανομοιόμορφα εδάφη, οι συνολικές ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=1.0$, ο $ASAR_h$ έχει μέγιστη τιμή 1.94, ενώ για $d=0.5$ ο εν λόγω συντελεστής εμφανίζει τη μέγιστη τιμή 1.57.
- Ως προς την χωρική κατανομή της συνολικής ενίσχυσης, οι διαφοροποιήσεις δεν είναι τόσο έντονες όσο με την γεωμορφική. Οι μέγιστες ενισχύσεις παρατηρούνται στο εσωτερικό τμήμα της κοιλάδας, όμως με την εμφάνιση τοπικών μεγίστων μικρής σημασίας όσο αυξάνεται ο βαθμός ανομοιομορφίας.

- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας.

Σχετικά με το συντελεστή $ASAR_v$ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Όπως και για τον $ASAR_h$, παρατηρείται μια ελαφρή μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα με την αύξηση της ανομοιομορφίας. Πιο αναλυτικά, για όλα τα εδαφικά προφίλ, οι μέγιστες συνολικές ενισχύσεις παρουσιάζονται στα άκρα. Όσο αυξάνεται η ανομοιομορφία τόσο πιο πολύ προς τα όρια της κοιλάδας μετατοπίζονται τα μέγιστα, ενώ οι ενισχύσεις προς το κέντρο της λεκάνης γίνονται αμελητέες. Συνεπώς, αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας, προκύπτει ότι οι μέγιστες ενισχύσεις τείνουν να εμφανίζονται ολοένα και προς τα άκρα ποικιλοτρόπως.
- Η μέγιστη τιμή της κατακόρυφης συνολική ενίσχυση στις ανομοιομορφες λεκάνες είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιογενή, ως και υπερ-διπλασιασμός παρατηρείται στο ισχυρώς ανομοιομορφο έδαφος (1.47 έναντι 0.7). Τέλος, όπως και στην $ASAR_h$, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων $ASAR_v$ της ανομοιομορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιομορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



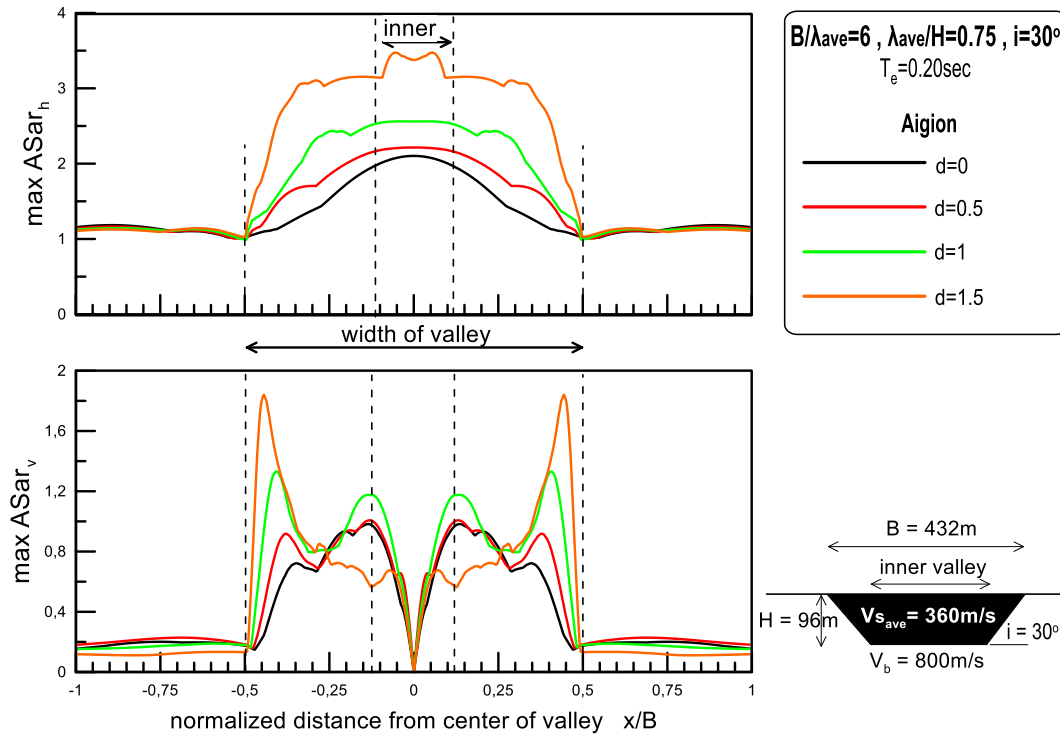
Σχήμα 5.6 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται η μέγιστη συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Συνεπώς, μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τις μέγιστες τιμές του συντελεστή ενίσχυσης $ASAR_h$:

- Όπως και προηγουμένως, η επίδραση της ανομοιομορφίας έχει ακριβώς την αντίθετη επίδραση σε σχέση με την επίδραση στους γεωμορφικούς συντελεστές. Συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές αυξάνονται εντυπωσιακά με την αύξηση της ανομοιομορφίας του εδάφους, φτάνοντας στην τιμή 3.47 για $d=1.5$ από 2.1 για $d=0$. Για λιγότερο ανομοιόμορφα εδάφη, οι συνολικές ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=1.0$, ο $ASAR_h$ έχει μέγιστη τιμή 2.57, ενώ για $d=0.5$ ο εν λόγω συντελεστής εμφανίζει τη μέγιστη τιμή 2.21.
- Ως προς την χωρική κατανομή των μεγίστων της συνολικής ενίσχυσης, επικρατεί η συσσώρευση των μεγίστων στο εσωτερικό τμήμα της λεκάνης για τα 4 εδαφικά προφίλ, ενώ ταυτόχρονα επικρατεί μια τάση εμφάνισης σημαντικών ενισχύσεων στα άκρα των ανομοιόμορφων λεκανών.

Σχετικά με το συντελεστή $ASAR_v$ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Όπως και για τον $ASAR_h$, παρατηρείται μια σημαντική μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα με την αύξηση της ανομοιομορφίας. Πιο αναλυτικά, στο μετρίως και ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος τα μέγιστα υπάρχουν σε δύο θέσεις, μία στα όρια του εσωτερικού τμήματος με τα κεκλιμένα πρηνή της λεκάνης (θέση εμφάνισης του μεγίστου στην ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη) και μία στα άκρα της. Ακόμα, στο ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος, η μέγιστη τιμή της συνολικής ενίσχυσης εμφανίζεται στα άκρα της λεκάνης, ενώ οι ενισχύσεις στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης είναι αμελητέες. Συνεπώς, αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας, προκύπτει ότι οι μέγιστες ενισχύσεις τείνουν να εμφανίζονται ολοένα και προς τα άκρα ποικιλοτρόπως.
- Η μέγιστη τιμή της κατακορύφης συνολικής ενίσχυσης στις ανομοιόμορφες λεκάνες είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιόμορφη, ως και διπλασιασμός παρατηρείται στο ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος (1.84 έναντι 0.98). Τέλος, όπως και στην $ASAR_h$, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων $ASAR_v$ της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.7 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Με σκοπό την περαιτέρω και πληρέστερη διερεύνηση της συμπεριφοράς των ανομοιομόρφων εδαφικών λεκανών, θα παρουσιαστούν διαγράμματα γεωμορφικών ενισχύσεων για τους τέσσερις βαθμούς ανομοιομορφίας σε χαρακτηριστικές θέσεις, οι οποίες κρίνονται ιδιαίτερα σημαντικές για την αποσαφήνιση της απόκρισης των κοιλάδων, για περιόδους από 0.1-3 sec.

Συνεπώς, στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή του ASA_h και ASA_v για περίοδο $T=0$ sec. Σχετικά με τον συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα εξής :

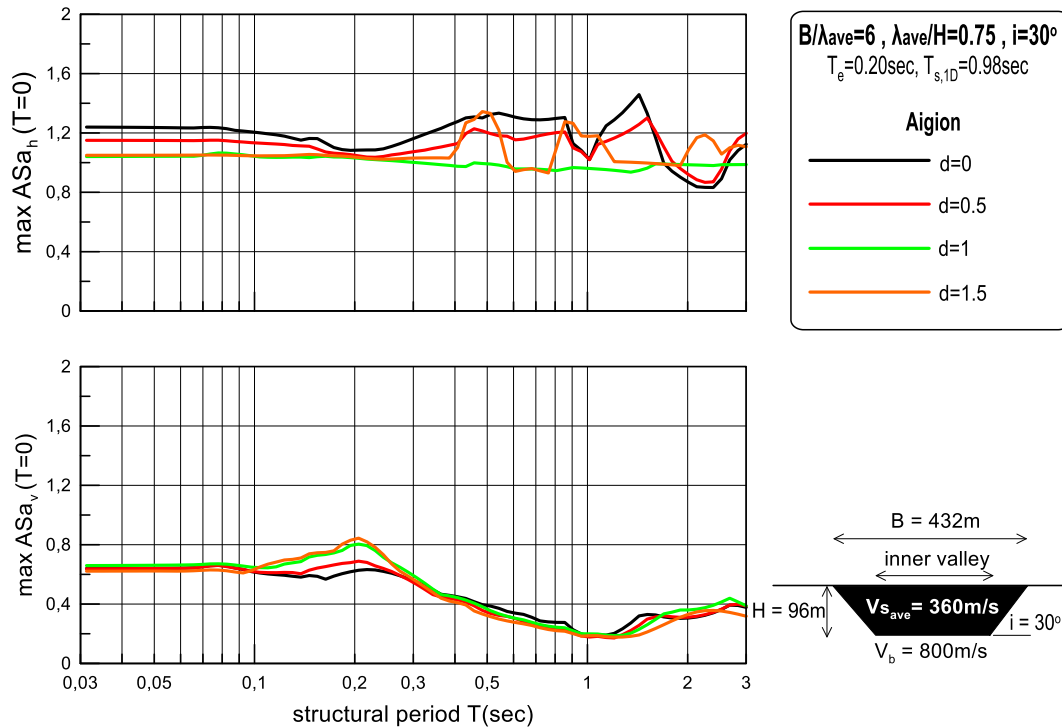
- Επαληθεύεται η μειωτική επίδραση της ανομοιομορφίας στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Παρατηρείται ότι η ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενίσχυση σχεδόν σε όλο το εύρος των περιόδων και έπονται οι ανομοιόμορφες κατά σειρά αύξοντος βαθμού ανομοιομορφίας.
- Στις μικρές περιόδους, οι οποίες αποτελούν σημαντικό στοιχείο του αντισεισμικού σχεδιασμού συνήθων κατασκευών, αφού δίνουν την εδαφική επιτάχυνση αιχμής (PGA), η γεωμορφική επιδείνωση είναι ίση με 1.24 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$) για το συγκεκριμένο συνδυασμό εδάφους-διέγερσης. Παρατηρείται ότι για βαθμό ανομοιομορφίας

$d=1.5$ η γεωμορφική ενίσχυση απομειώνεται στην τιμή 1.13. Μικρότερη γεωμορφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου ο συντελεστής ASA_h είναι περίπου ίσος με 1.15. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιόμορφου εδάφους είναι αρκετά κοντά στο ομοιόμορφο, με τιμή ASA_h ίση με 1.21. Αξίζει να τονισθεί ότι σε αυτό το εύρος περιόδων οι γεωμορφικές ενισχύσεις παραμένουν σταθερές.

- Για περιόδους $T > 0.2$ sec (συμπίπτει με την δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης), παρατηρείται η τάση μικρής αύξησης των γεωμορφικών ενισχύσεων στη πλειοψηφία των εδαφικών λεκανών. Η σταθερότητα της γεωμορφικής ενίσχυσης για το μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος ($d=1$) δεν χρήζει ως συμπέρασμα άξιο γενίκευσης.
- Για περιόδους $T > 1$ sec, επικρατεί η τάση μείωσης του συντελεστή για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας ως και χαμηλότερα από την μονάδα.
- Ουσιαστικά, για τις ανάγκες του μηχανικού η γεωμορφική επιδείνωση στις θέσεις όπου μεγιστοποιείται για $T=0$ sec, παραμένει σταθερή για $T < 1$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους φθίνει στη μονάδα.

Σχετικά με τον συντελεστή ASA_v προκύπτουν τα εξής :

- Στις μικρές περιόδους, δεν παρουσιάζονται διαφορές ανάμεσα στις διάφορες εδαφικές λεκάνες, καθώς η τιμή της ASA_v παραμένει σταθερή γύρω από το 0.6 για όλους του βαθμούς ανομοιομορφίας d .
- Στην περίοδο $T=0.2$ sec (δεσπόζουσα περίοδο σεισμικής διέγερσης), ο συντελεστής ASA_v αυξάνει κατά 33% για την μετρίως ($d=1$) και ισχυρώς ($d=1.5$) ανομοιόμορφη εδαφική λεκάνη, ενώ για την ελαφρώς ανομοιόμορφη ($d=0.5$) και ομοιόμορφη ($d=0$) παραμένει σταθερή.
- Στις μεγαλύτερες περιόδους, παρατηρείται σημαντική πτώση για όλα τα εδαφικά προφίλ, οδηγώντας σε αμελητέες γεωμορφικές ενισχύσεις.
- Ουσιαστικά, για τις ανάγκες του μηχανικού η γεωμορφική επιδείνωση στις θέσεις όπου μεγιστοποιείται για $T=0$ sec, παραμένει σταθερή για $T < 0.2$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους μηδενίζεται.



Σχήμα 5.8 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες για $T=0$ sec, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

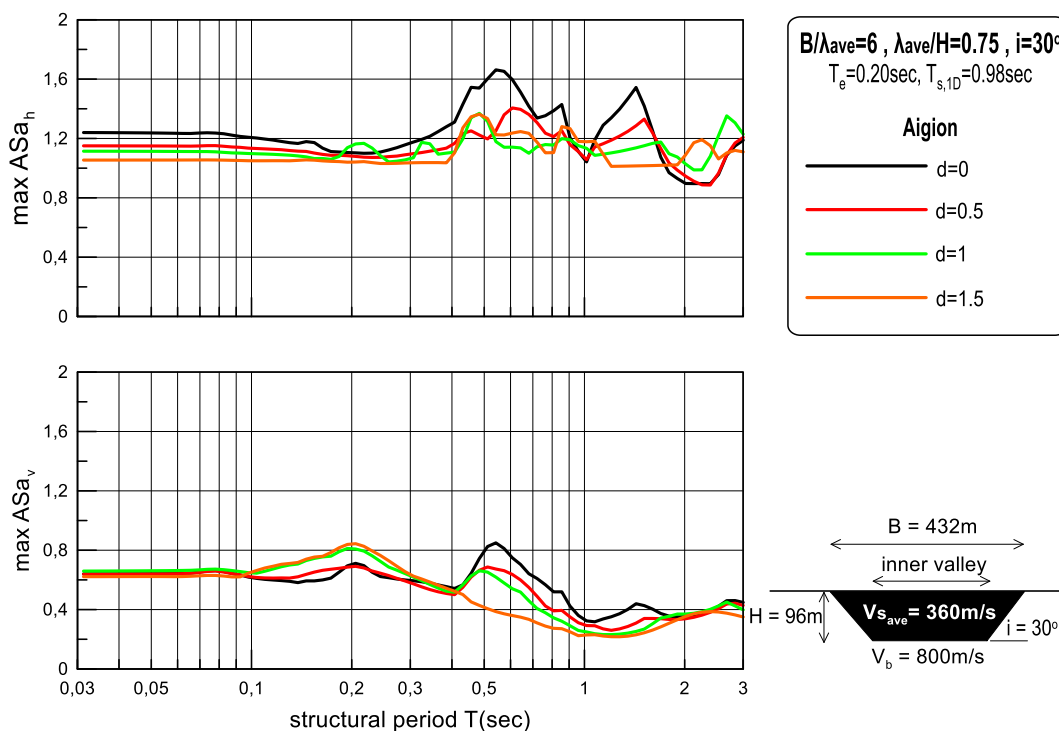
Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη των μεγίστων τιμή του ASA_h και ASA_v . Σχετικά με τον συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα εξής :

- Επαληθεύεται η μειωτική επίδραση της ανομοιομορφίας στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Παρατηρείται ότι η ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενίσχυση σχεδόν σε όλο το εύρος των περιόδων και έπονται οι ανομοιόμορφες κατά σειρά αύξοντος βαθμού ανομοιομορφίας.
- Στις μικρές περιόδους, η γεωμορφική επιδείνωση είναι ίση με 1.24 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$). Παρατηρείται ότι για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1.5$ η γεωμορφική ενίσχυση απομειώνεται στην τιμή 1.13. Μικρότερη γεωμορφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου ο συντελεστής ASA_h είναι περίπου ίσος με 1.15. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιόμορφου εδάφους είναι αρκετά κοντά στο ομοιόμορφο, με τιμή ASA_h ίση με 1.21. Αξίζει να τονισθεί ότι σε αυτό το εύρος περιόδων οι γεωμορφικές ενισχύσεις παραμένουν σταθερές.

- Για περιόδους $T > 0.2$ sec (συμπίπτει με την δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης), παρατηρείται η τάση σημαντικής αύξησης των γεωμορφικών ενισχύσεων σε όλες τις εδαφικές λεκάνες. Ξανά η ομοιόμορφη εδαφική λεκάνη εμφανίζει την μέγιστη γεωμορφική ενίσχυση ($ASA_h = 1.66$) έναντι των υπολοίπων ανομοιόμορφων εδαφικών λεκάνων (μέση τιμή του $ASA_h = 1.38$).
- Για περιόδους $T > 1$ sec, η διακύμανση των γεωμορφικών ενισχύσεων δεν είναι μονοτονική, καθώς υπάρχουν αξιοσημείωτες αυξομειώσεις.

Σχετικά με τον συντελεστή ASA_v προκύπτουν τα εξής :

- Στις μικρές περιόδους, δεν παρουσιάζονται διαφορές ανάμεσα στις διάφορες εδαφικές λεκάνες, καθώς η τιμή της ASA_v παραμένει σταθερή γύρω από το 0.6 για όλους του βαθμούς ανομοιομορφίας d .
- Στην περίοδο $T = 0.2$ sec (δεσπόζουσα περίοδο σεισμικής διέγερσης), ο συντελεστής ASA_v αυξάνει κατά περίπου 20% ισοσταθμικά για όλα τα εδαφικά προφίλ.
- Στις μεγαλύτερες περιόδους, παρατηρείται σημαντική πτώση για όλα τα εδαφικά προφίλ, οδηγώντας σε υποδιπλάσιες ενισχύσεις σε σχέση με τις μέγιστες.



Σχήμα 5.9: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_g = 0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

- ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Στη συνέχεια, η κοιλάδα με πλάτος $B=432$ m, πάχος $H=96$ m, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360$ m/sec και στο βράχο $V_b=800$ m/sec και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$, υποβάλλεται στη σεισμική διέγερση του Αιγίου με δεσπόζουσα συχνότητα $f=2$ Hz.

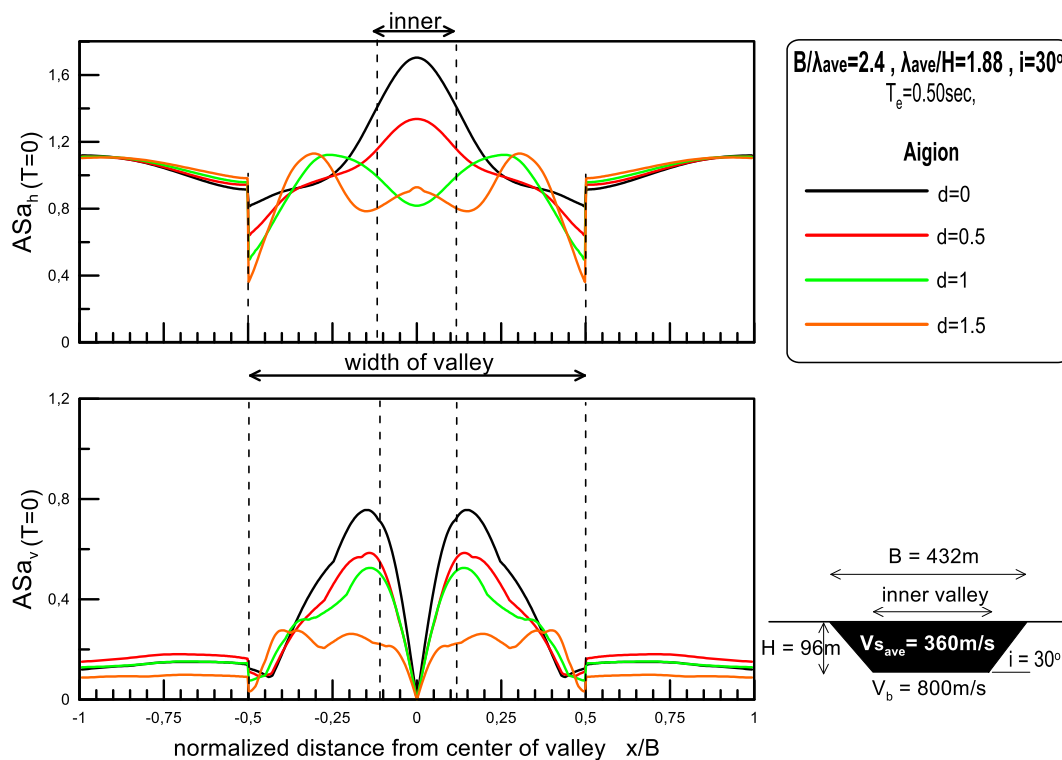
Το Σχήμα 5.10 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση του ASA_h αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας σε όλο το πλάτος της κοιλάδας. Η μέγιστη τιμή του ASA_h εντός της εδαφικής λεκάνης μειώνεται από 1.7 για $d=0$ σε 1.13 για $d=1.5$. Αξίζει να σχολιασθεί το γεγονός ότι η χαμηλόσυχη διέγερση δίνει μεγαλύτερες γεωμορφικές ενισχύσεις σε σχέση με την υψίσυχη. Εντούτοις, παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές των γεωμορφικών ενισχύσεων για $T=0$ sec των μετρίως ($d=1$) και ισχυρώς ($d=1.5$) ανομοιόμορφων εδαφικών προφίλ για τις δυο διαφορετικές διεγέρσεις συμπίπτουν ως προς τις αριθμητικές τιμές τους αναμεταξύ τους. Συνεπώς, όταν η εδαφική ανομοιομορφία είναι ιδιαίτερος έντονη, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της διέγερσης (λ/H , B/λ) έχουν αμελητέα επίδραση στις γεωμορφικές ενισχύσεις.
- Ποιοτικά, η χωρική διαφοροποίηση των γεωμορφικών ενισχύσεων διαφοροποιείται από το μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος, καθώς παρατηρείται πολλαπλή εμφάνιση τοπικών μεγίστων σε όλο το πλάτος της κοιλάδας, σε αντίθεση με την υψίσυχη διέγερση όπου χωρική διαφοροποίηση συμβαίνει ήδη από το ελαφρώς ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ. Επίσης, στην υψίσυχη διέγερση δημιουργούταν ένα πλατό στο μεγαλύτερο πλάτος της λεκάνης, κάτι που δεν συμβαίνει στην χαμηλόσυχη διέγερση, καθώς τα μέγιστα εμφανίζονται στα άκρα της λεκάνης..
- Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στο κέντρο παρατηρείται ο μηδενισμός των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα 4 προσομοιώματα λόγω απόλυτης συμμετρίας της λεκάνης.

- Ως προς τις μέγιστες τιμές του ASA_v , διακρίνεται μια σταθερή τάση, εν αντιθέσει με την προηγούμενη ανάλυση, καθώς υπάρχουν σημαντικές μειώσεις των γεωμορφικών ενισχύσεων καθώς ο βαθμός ανομοιομορφίας μεταβάλλεται.
- Τα μέγιστα, πλέον, δεν εμφανίζονται ολοένα και προς τα άκρα της κοιλάδας καθώς αυξάνεται η ανομοιομορφία. Μόνο για την ισχυρώς ανομοιομορφη εδαφικά λεκάνη ($d=1.5$) υπάρχει η τάση εμφάνισης μεγίστων προς τα άκρα, όμως οι ενισχύσεις έχουν απομειωθεί ήδη αρκετά και δεν είναι εμφανής αυτή η τάση. Συνεπώς, δεν υπάρχει τόσο μεγάλη επίδραση της ανομοιομορφίας στην χωρική κατανομή της κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης.
- Επιπλέον, παρατηρείται η μερική ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



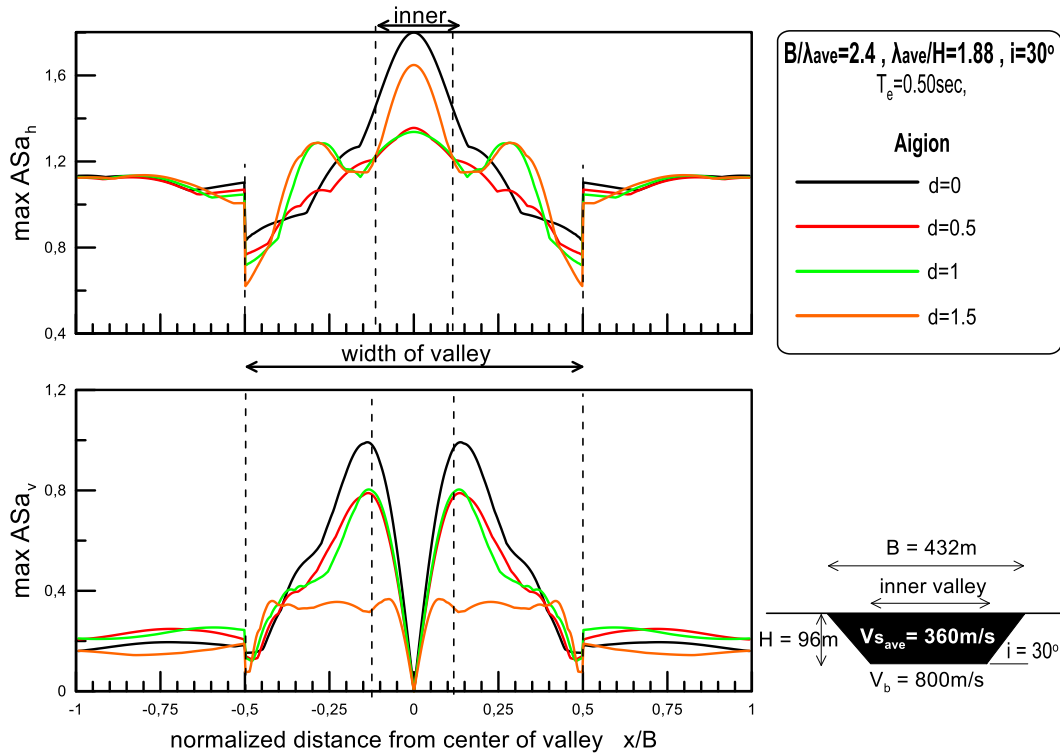
Σχήμα 5.10 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Με σκοπό την εμβάθυνση στην διερεύνηση της επίδρασης της ανομοιομορφίας, το Σχήμα 5.11 παρουσιάζει την μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τις μέγιστες τιμές του συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται απότομη μείωση τους από την ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη στις ασθενώς και μετρίως ανομοιόμορφες εδαφικά λεκάνες και μετέπειτα μια απότομη επαύξηση στο ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος. Το μέγιστο για $d=0$ είναι 1.80, απομειώνεται σε περίπου 1.34 για τα ασθενώς και μετρίως ανομοιόμορφα εδάφη και αυξάνεται σε 1.65 για το ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος.
- Η ομοιόμορφη ($d=0$) και η ασθενώς ανομοιόμορφη ($d=0.5$) εδαφική λεκάνη παρουσιάζουν την ίδια χωρική κατανομή, με τα μέγιστα να εμφανίζονται στο κέντρο τους. Από την άλλη, στα πιο ανομοιόμορφα εδαφικά προφίλ, η κατανομή είναι διαφορετική, καθώς τοπικά μέγιστα εμφανίζονται στα άκρα της λεκάνης με ταυτόχρονη εμφάνιση του μεγίστου στο κέντρο.
- Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στο κέντρο παρατηρείται ο μηδενισμός των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα 4 προσομοιώματα λόγω απόλυτης συμμετρίας της λεκάνης.
- Τα μέγιστα, πλέον, δεν εμφανίζονται ολοένα και προς τα άκρα της κοιλάδας καθώς αυξάνεται η ανομοιομορφία. Μόνο για την ισχυρώς ανομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη ($d=1.5$) υπάρχει η τάση εμφάνισης μεγίστων προς τα άκρα, όμως οι ενισχύσεις έχουν απομειωθεί ήδη αρκετά και δεν είναι εμφανής αυτή η τάση. Συνεπώς, δεν υπάρχει τόσο μεγάλη επίδραση της ανομοιομορφίας στην χωρική κατανομή της κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης.
- Επιπλέον, παρατηρείται η μερική ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.11 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

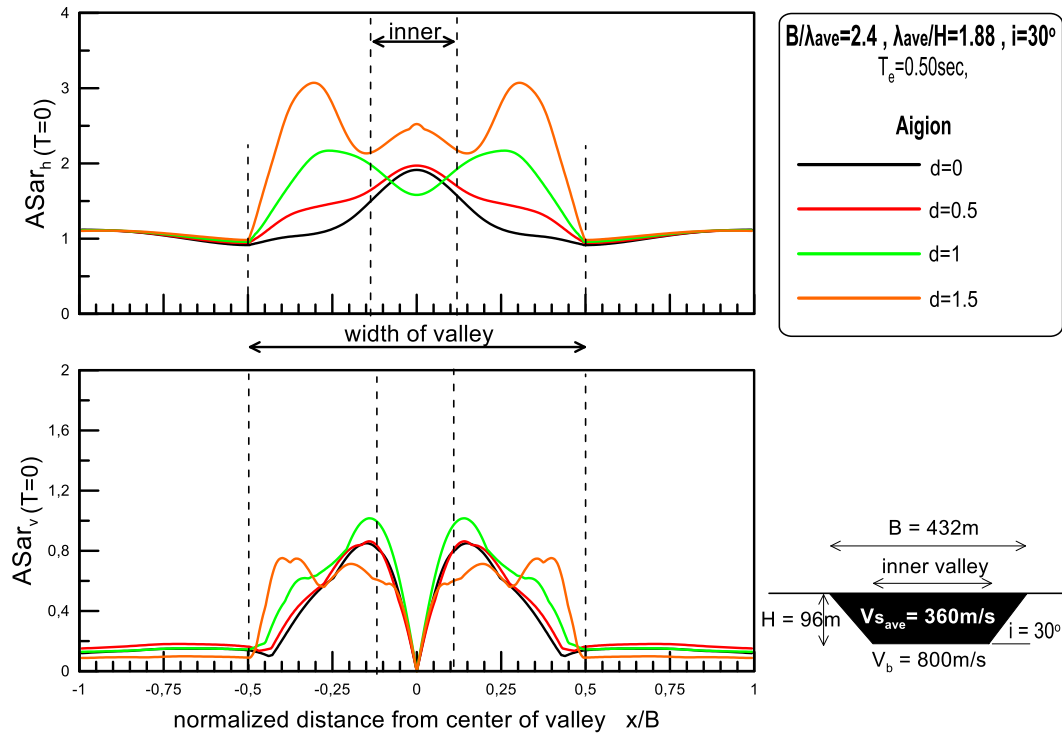
Με σκοπό τη περαιτέρω διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης ανομοιογενών εδαφικών λεκανών στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Συνεπώς, μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τον συντελεστή ενίσχυσης $ASAR_h$:

- Επιβεβαιώνεται η αυξητική επίδραση της ανομοιομορφίας στους συντελεστές συνολικής ενίσχυσης. Συγκεκριμένα, ο $ASAR_h$ αυξάνεται με την αύξηση της ανομοιομορφίας του εδάφους, φτάνοντας στην τιμή 3.07 για $d=1.5$ από 1.91 για $d=0$. Για λιγότερο ανομοιόμορφα εδάφη, οι συνολικές ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=1.0$, ο $ASAR_h$ έχει μέγιστη τιμή 2.17, ενώ για $d=0.5$ ο εν λόγω συντελεστής εμφανίζει τη μέγιστη τιμή 1.97. Ξανά, οι συνολικές ενισχύσεις στην χαμηλόσυχη είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την υψίσυχη, καθώς η δεσπόζουσα περίοδος ($T_e=0.5$ sec) είναι πιο κοντά στην ιδιοπερίοδο των εδαφικών στρώσεων.

- Ως προς την χωρική κατανομή της συνολικής ενίσχυσης, υπάρχει σαφέστατη μετατόπιση των μεγίστων στη λεκάνη με το μετρίως ($d=1$) και ισχυρώς ($d=1.5$) ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ.
- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας.

Σχετικά με το συντελεστή $ASAR_v$, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Όπως και για τον $ASAR_h$, παρατηρείται μια ελαφρά μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα με την αύξηση της ανομοιομορφίας, συγκεκριμένα για το ισχυρώς ($d=1.5$) ανομοιόμορφο έδαφος είναι πιο ευδιάκριτη. Πιο αναλυτικά, είναι φανερό πως παύει ο μηδενισμός του $ASAR_v$ στο κέντρο, κάτι που ήταν αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας, αλλά προκύπτει και αύξηση των ενισχύσεων στο μεγαλύτερο μέρος της κοιλάδας σε σχέση με την ομοιόμορφη κοιλάδα. Έχουμε, συνεπώς, μια εντελώς διαφορετική κατανομή της $ASAR_v$ των ανομοιόμορφων σε σχέση με την ομοιόμορφη κοιλάδα.
- Η μέγιστη τιμή της κατακόρυφης συνολική ενίσχυση στις ανομοιόμορφες λεκάνες δεν είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιογενή, καθώς μόνο για το μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος η γεωμορφική ενίσχυση είναι αυξημένη. Τέλος, όπως και στην $ASAR_h$, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων $ASAR_v$ της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



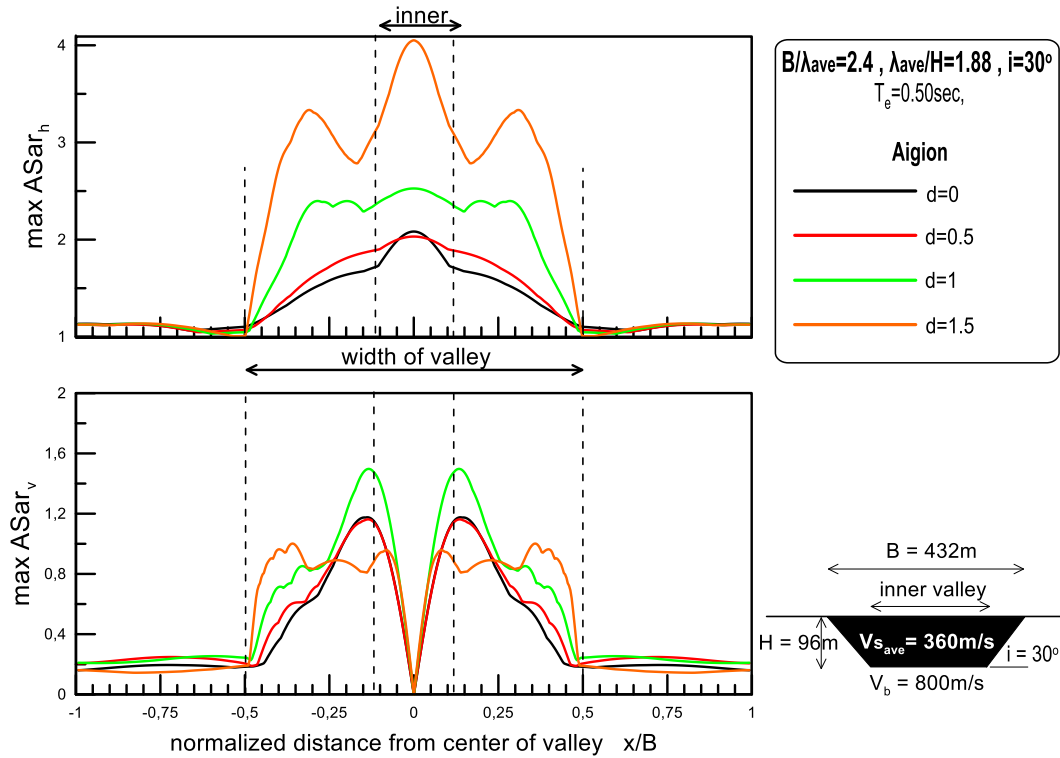
Σχήμα 5.12 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η μέγιστη συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Συνεπώς, μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τις μέγιστες τιμές του συντελεστή ενίσχυσης $ASAR_h$:

- Όπως και προηγουμένως, η επίδραση της ανομοιομορφίας έχει ακριβώς την αντίθετη επίδραση σε σχέση με την επίδραση στους γεωμορφικούς συντελεστές. Συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές αυξάνονται εντυπωσιακά με την αύξηση της ανομοιομορφίας του εδάφους, φτάνοντας στην τιμή 4 για $d=1.5$ από 2 για $d=0$. Για λιγότερο ανομοιόμορφα εδάφη, οι συνολικές ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=1.0$, ο $ASAR_h$ έχει μέγιστη τιμή 2.52, ενώ για $d=0.5$ ο εν λόγω συντελεστής εμφανίζει τη μέγιστη τιμή 2.03.
- Ως προς την χωρική κατανομή των μεγίστων της συνολικής ενίσχυσης, επικρατεί η συσσώρευση των μεγίστων στο εσωτερικό τμήμα της λεκάνης για τα 4 εδαφικά προφίλ, ενώ ταυτόχρονα επικρατεί μια τάση εμφάνισης σημαντικών ενισχύσεων στα άκρα των ανομοιόμορφων λεκανών.

Σχετικά με το συντελεστή $ASAR_v$ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Όπως και για τον $ASAR_h$, παρατηρείται μια σημαντική μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα με την αύξηση της ανομοιομορφίας. Πιο αναλυτικά, στο ισχυρώς ανομοιόμορφο έδαφος τα μέγιστα υπάρχουν σε δύο θέσεις, μία στα όρια του εσωτερικού με τα κεκλιμένα πρανή της λεκάνης (θέση εμφάνισης του μεγίστου στην ομοιόμορφη και ελαφρώς ανομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη) και μία στα άκρα της. Ακόμα, στο μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος, η μέγιστη τιμή της συνολικής ενίσχυσης εμφανίζεται στα όρια του εσωτερικού τμήματος με τα κεκλιμένα πρανή της λεκάνης, ενώ οι ενισχύσεις στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης είναι αμελητέες.. Συνεπώς, αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας, προκύπτει ότι οι μέγιστες ενισχύσεις τείνουν να εμφανίζονται ολοένα και προς τα άκρα ποικιλοτρόπως.
- Η μέγιστη τιμή της κατακόρυφης συνολική ενίσχυση στις ανομοιόμορφες λεκάνες δεν είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιογενή, καθώς μόνο για το μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος η γεωμορφική ενίσχυση είναι αυξημένη. Τέλος, όπως και στην $ASAR_h$, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων $ASAR_v$ της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.13 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Με σκοπό την περαιτέρω και πληρέστερη διερεύνηση της συμπεριφοράς των ανομοιομόρφων εδαφικών λεκανών, θα παρουσιαστούν διαγράμματα γεωμορφικών ενισχύσεων για τους τέσσερις βαθμούς ανομοιομορφίας σε χαρακτηριστικές θέσεις, οι οποίες κρίνονται ιδιαίτερα σημαντικές για την αποσαφήνιση της απόκρισης των κοιλάδων, για περιόδους από 0.1-3 sec.

Συνεπώς, στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή του ASA_h και ASA_v για περίοδο $T=0$ sec. Σχετικά με τον συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα εξής :

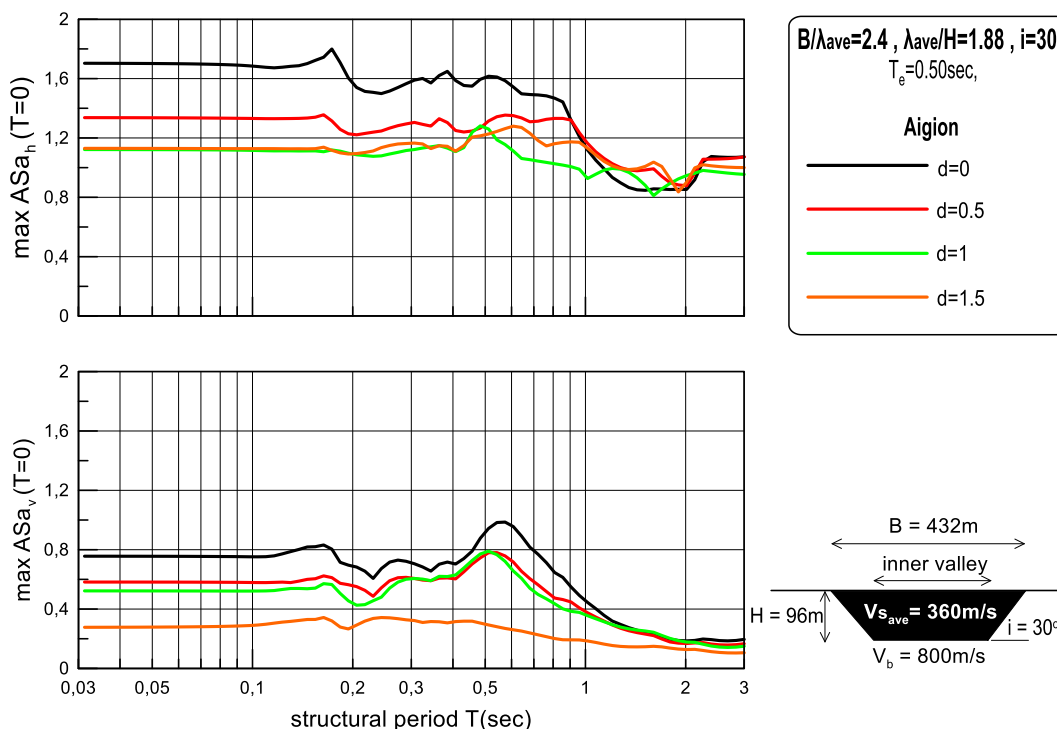
- Επαληθεύεται η μειωτική επίδραση της ανομοιομορφίας στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Παρατηρείται ότι η ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενίσχυση σχεδόν σε όλο το εύρος των περιόδων και έπονται οι ανομοιόμορφες κατά σειρά αύξοντος βαθμού ανομοιομορφίας.
- Στις μικρές περιόδους, οι οποίες αποτελούν σημαντικό στοιχείο του αντισεισμικού σχεδιασμού συνήθων κατασκευών, αφού δίνουν την εδαφική επιτάχυνση αιχμής (PGA), η γεωμορφική επιδείνωση είναι ίση με 1.7 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$) για το συγκεκριμένο συνδυασμό εδάφους-διέγερσης. Παρατηρείται ότι για βαθμό ανομοιομορφίας

$d=1.5$ η γεωμορφική ενίσχυση απομειώνεται στην τιμή 1.13. Μικρότερη γεωμορφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου ο συντελεστής ASA_h είναι περίπου ίσος με 1.12. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιόμορφου εδάφους είναι σχετικά κοντά στο ομοιόμορφο, με τιμή ASA_h ίση με 1.34. Αξίζει να τονισθεί ότι σε αυτό το εύρος περιόδων οι γεωμορφικές ενισχύσεις παραμένουν σταθερές.

- Για περιόδους $T > 1$ sec, επικρατεί η τάση μείωσης του συντελεστή για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας ως και χαμηλότερα από την μονάδα.
- Ουσιαστικά, για τις ανάγκες του μηχανικού η γεωμορφική επιδείνωση στις θέσεις όπου μεγιστοποιείται για $T=0$ sec, παραμένει σταθερή για $T < 1$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους φθίνει στη μονάδα.

Σχετικά με τον συντελεστή ASA_v προκύπτουν τα εξής :

- Στις μικρές περιόδους, εμφανίζονται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διάφορες εδαφικές λεκάνες. Η γεωμορφική επιδείνωση είναι ίση με 0.79 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$) για το συγκεκριμένο συνδυασμό εδάφους-διέγερσης. Παρατηρείται ότι για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1.5$ η γεωμορφική ενίσχυση απομειώνεται στην τιμή 0.28. Μικρότερη γεωμορφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου ο συντελεστής ASA_h είναι περίπου ίσος με 0.52. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιόμορφου εδάφους είναι σχετικά κοντά στο ομοιόμορφο, με τιμή ASA_h ίση με 0.58.
- Στην περίοδο $T=0.5$ sec (δεσπόζουσα περίοδο σεισμικής διέγερσης), ο συντελεστής ASA_v αυξάνει κατά 20% για την ομοιόμορφη ($d=0$), για την μετρίως ($d=1$) και ελαφρώς ($d=0.5$) ανομοιόμορφη εδαφική λεκάνη κατά 60%, ενώ για την ισχυρώς ανομοιόμορφη εδαφική λεκάνη ($d=1.5$) παραμένει σταθερή.
- Στις μεγαλύτερες περιόδους, παρατηρείται σημαντική πτώση για όλα τα εδαφικά προφίλ, οδηγώντας σε αμελητέες γεωμορφικές ενισχύσεις.
- Ουσιαστικά, για τις ανάγκες του μηχανικού η γεωμορφική επιδείνωση στις θέσεις όπου μεγιστοποιείται για $T=0$ sec, παραμένει σταθερή για $T < 0.2$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους μηδενίζεται.



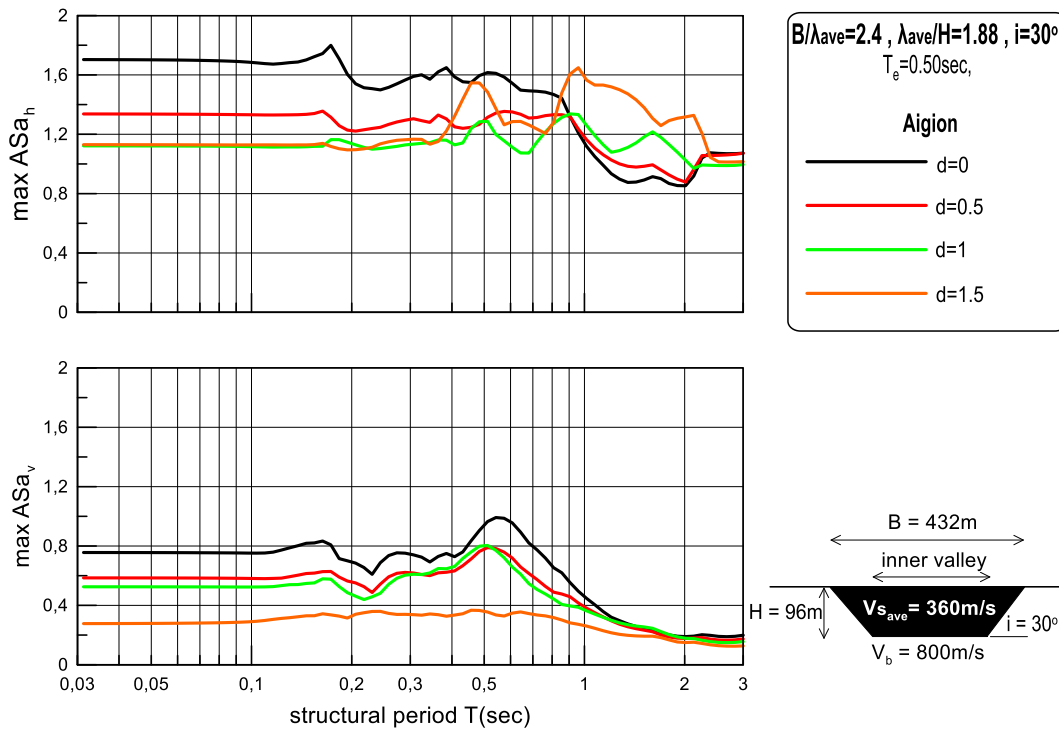
Σχήμα 5.14 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες για $T=0$ sec, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη των μεγίστων τιμή του ASA_h και ASA_v . Σχετικά με τον συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα εξής :

- Επαληθεύεται η μειωτική επίδραση της ανομοιομορφίας στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Παρατηρείται ότι η ομοιόμορφη εδαφικά λεκάνη παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενίσχυση σχεδόν σε όλο το εύρος των περιόδων και έπονται οι ανομοιόμορφες κατά σειρά αύξοντος βαθμού ανομοιομορφίας.
- Στις μικρές περιόδους, η γεωμορφική επιδείνωση είναι ίση με 1.7 για ομοιόμορφο έδαφος ($d=0$) για το συγκεκριμένο συνδυασμό εδάφους-διέγερσης. Παρατηρείται ότι για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1.5$ η γεωμορφική ενίσχυση απομειώνεται στην τιμή 1.13. Μικρότερη γεωμορφική ενίσχυση παρουσιάζεται και στο μετρίως ανομοιόμορφο εδαφικό προφίλ ($d=1.0$), όπου ο συντελεστής ASA_h είναι περίπου ίσος με 1.12. Αντίθετα, η απόκριση του ασθενώς ανομοιόμορφου εδάφους είναι σχετικά κοντά στον ομοιόμορφο, με τιμή ASA_h ίση με 1.34. 1.21. Αξίζει να τονισθεί ότι σε αυτό το εύρος περιόδων οι γεωμορφικές ενισχύσεις παραμένουν σταθερές.

- Για περιόδους $T > 0.5$ sec (συμπίπτει με την δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης), παρατηρείται η τάση σημαντικής αύξησης των γεωμορφικών ενισχύσεων στην ομοιόμορφη και ισχυρώς ανομοιόμορφη εδαφική λεκάνη. Αντίθετα, οι υπόλοιπες εδαφικές λεκάνες ($d=0.5$ και $d=1$) παρουσιάζουν σταθερές γεωμορφικές ενισχύσεις σε εκείνη την περίοδο.
- Για περιόδους $T > 1$ sec, επικρατεί η τάση μείωσης του συντελεστή για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας ως και χαμηλότερα από την μονάδα.

Σχετικά με τον συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα με του Σχήματος 5.14, καθώς οι θέσεις εμφάνισης των μεγίστων για περίοδο $T=0$ sec και μεγίστων των μεγίστων για κάθε εδαφική κοιλάδα συμπίπτουν αναμεταξύ τους.



Σχήμα 5.15 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΣΕ «ΠΛΑΤΙΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ

Με σκοπό να αποσαφηνιστεί πλήρως η επίδραση της εδαφικής ανομοιομορφίας στη σεισμική απόκριση στις αλλουβιακές κοιλάδες, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν αναλύσεις σε «πλατιές κοιλάδες». Επιλέγεται, λοιπόν, μια ομοιόμορφη εδαφική λεκάνη αναφοράς με πλάτος $B=960$ m, πάχος $H=96$ m, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360$ m/sec και στο βράχο $V_b=800$ m/sec και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$. Οι αναλύσεις έγιναν για την σεισμική διέγερση του Αιγίου για δύο τιμές δεσπόζουσας συχνότητας $f=2$ Hz και $f=5$ Hz. Στον Πίνακα 5.2, δίνονται οι αναλύσεις για τις «πλατιές» κοιλάδες που πραγματοποιήθηκαν με τις τιμές των βασικών παραμέτρων τους. Επισημαίνεται ότι οι όροι που αναφέρονται στις ανομοιόμορφες κοιλάδες σημειώνονται με δείκτη ave.

#	B(m)	H(m)	V_{save} (m/s)	V_b (m/s)	T_e (s)	λ_{ave} (m)	i (°)	ξ (%)	B/λ_{ave}	λ_{ave}/H	α_{ave}
3	960	96	360	800	0.2	180	30	5	13.33	1.88	0.45
6	960	96	360	800	0.5	180	30	5	5.33	1.88	0.45

Πίνακας 5.2 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων ανομοιόμορφων εδαφικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της ανομοιογένειας σε «πλατιές» εδαφικές λεκάνες

- ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Στο Σχήμα 5.16 δείχνεται η γεωμορφική επιδείνωση κοιλάδας ομοιόμορφου εδάφους ($d=0$) με πλάτος $B=960$ m, ύψος $H=96$ m, και γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ενώ στο Σχήμα 5.17 η γεωμορφική επιδείνωση της αντίστοιχης κοιλάδας εδάφους μετρίως ανομοιόμορφου ($d=1$).

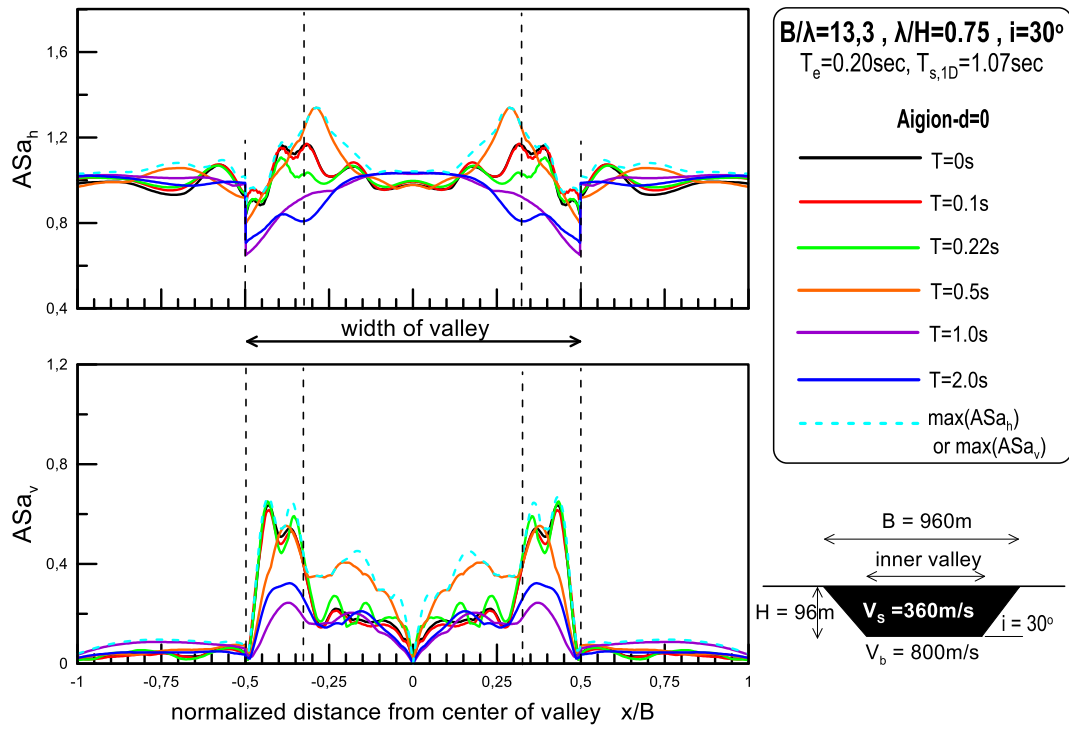
Σχετικά με το συντελεστή ASA_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η ανάλυση για $d=0$ εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της, έστω ASA_{hmax} , στην περιοχή των ορίων της λεκάνης με τα κεκλιμένα πρανή (σε απόσταση $x/B=0.28$), όπως άλλωστε αναμενόταν καθώς πρόκειται για «πλατιά» εδαφική λεκάνη με αδιάστατο λόγο $B/H=10$ (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Επισημαίνεται επιπλέον ότι τα μέγιστα εμφανίζονται προς τα άκρα για όλες τις περιόδους T .

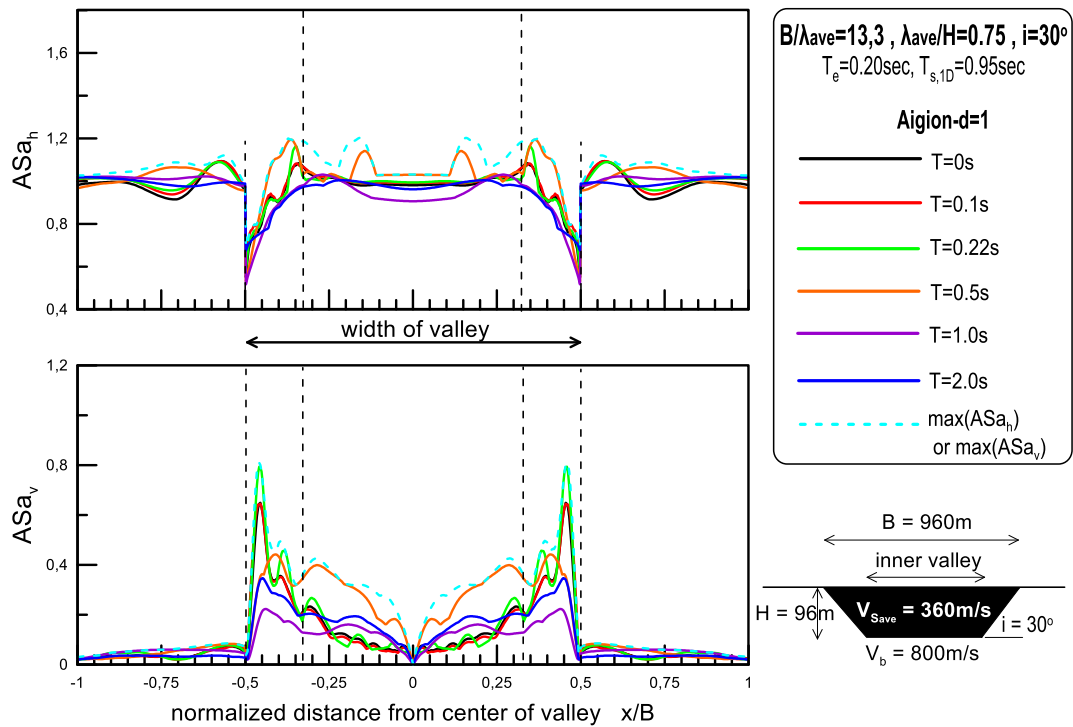
- Στη λεκάνη ανομοιόμορφου εδάφους, όσον αφορά τη χωρική διαφοροποίηση της ASA_h , τα μέγιστα συγκεντρώνονται ολοένα και προς τα άκρα της κοιλάδας. Ακόμα, παρατηρείται η εμφάνιση τοπικών μεγίστων σε όλο το εύρος της κοιλάδας, κάνοντας την απόκριση πιο σύνθετη. Παρατηρείται πως η μέγιστη οριζόντια ενίσχυση είναι $ASA_{hmax}=1.20$, όντας μειωμένη σημαντικά σε σχέση με τη μέγιστη ενίσχυση στην αντίστοιχη ομοιόμορφη ($ASA_{hmax}=1.34$). Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η ομοιόμορφη λεκάνη παρουσιάζει μια τυπική συμπεριφορά, εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή ASA_{vmax} στην περιοχή των ορίων του εσωτερικού της κοιλάδας με τα πρηνή όπως άλλωστε συμβαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό των αναλύσεων (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Εντούτοις, σημαντικές ενισχύσεις παρατηρούνται και στα άκρα της κοιλάδας.
- Όπως και για την ASA_h , στην ανομοιόμορφη λεκάνη παρατηρείται μια μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα ($x/B=0.47$), και οι ενισχύσεις προς το εσωτερικό της λεκάνης απομειώνονται αισθητά.
- Η μέγιστη τιμή ASA_{vmax} στην ανομοιόμορφη λεκάνη είναι ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιογενή (0.80 έναντι 0.68). Τέλος, όπως και στην ASA_h , παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων ASA_v της ανομοιόμορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιόμορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής. Όσον αφορά επακριβώς τη θέση εμφάνισης των μεγίστων, έχουμε για την ανομοιόμορφη $x/B=\pm 0.45$ έναντι $x/B=\pm 0.43$ για την ομοιόμορφη, δηλαδή ταυτόσημες θέσεις εμφάνισης των μεγίστων.



Σχήμα 5.16 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για διάφορες περιόδους, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$



Σχήμα 5.17 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για διάφορες περιόδους, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν, αφενός τη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v και συνολικής ενίσχυσης $ASAR_h$ και $ASAR_v$, με την οριζόντια απόσταση x (από το μέσο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα B της εκάστοτε λεκάνης, αφετέρου την διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v συγκεκριμένων σημείων εντός της κοιλάδας συναρτήσει διάφορων περιόδων, για τους 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d .

Το Σχήμα 5.18 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B .

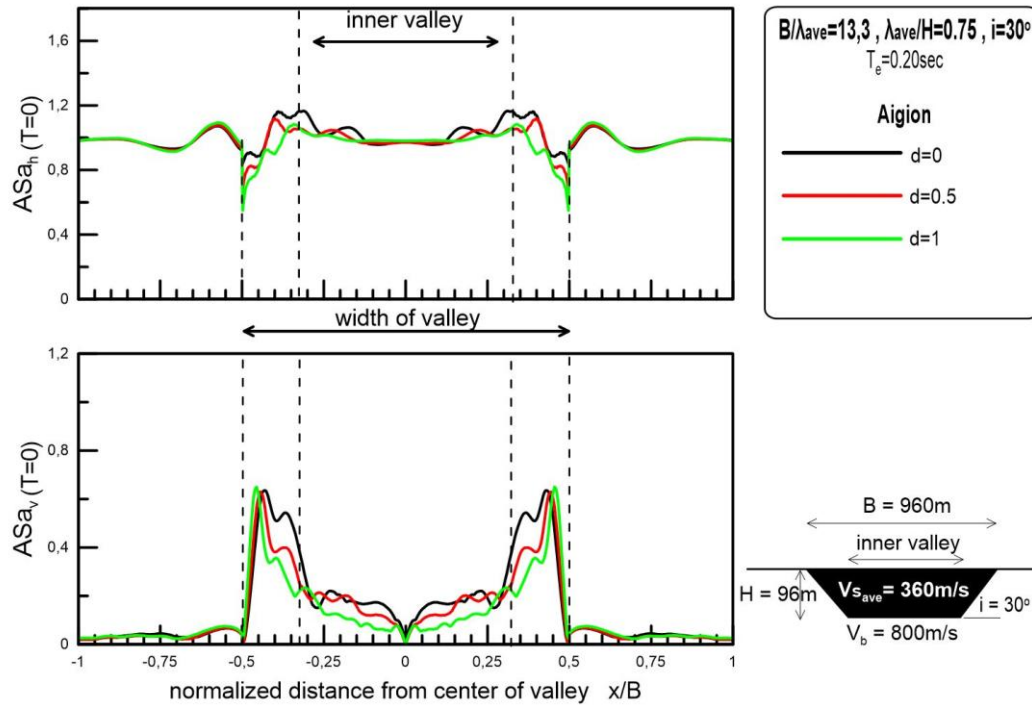
Το Σχήμα 5.19 παρουσιάζει την μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B .

Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

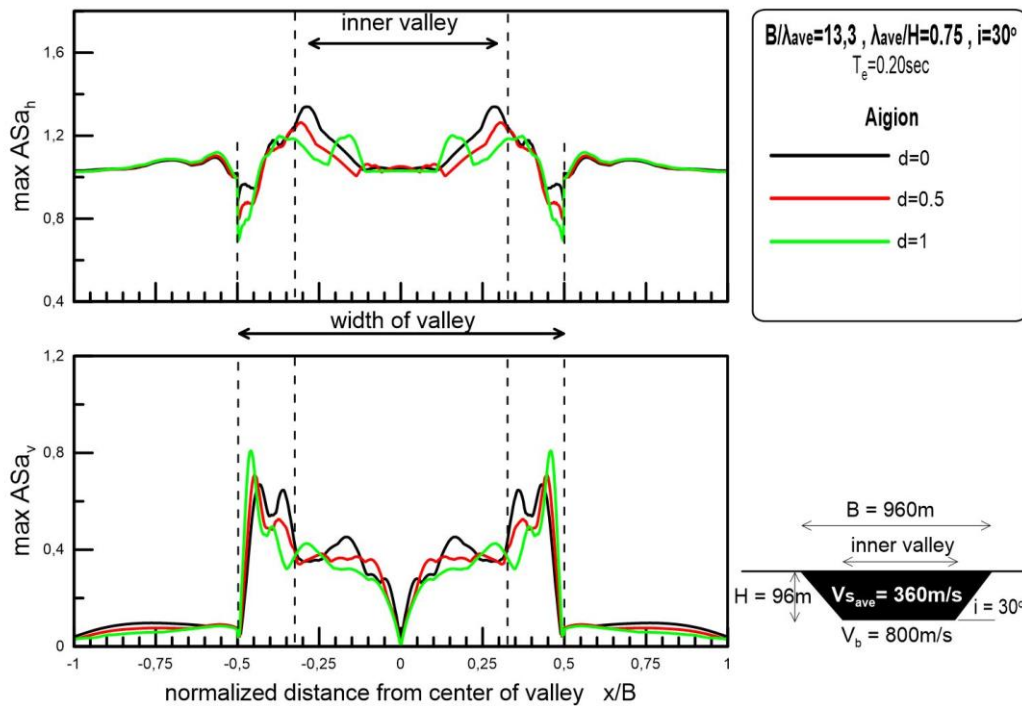
- Παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του ASA_h αυξανόμενου του βαθμού ανομοιομορφίας στο μεγαλύτερο πλάτος της κοιλάδας. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ του ομοιόμορφου και των ανομοιόμορφων προσομοιωμάτων εμφανίζονται κυρίως στο άκρο της λεκάνης.
- Ποιοτικά, η χωρική διαφοροποίηση των γεωμορφικών ενισχύσεων δεν διαφοροποιείται. Μόνο στο μετρίως ανομοιόμορφο έδαφος ($d=1$) εμφανίζεται συνθετότερη απόκριση, καθώς εμφανίζονται τοπικά μέγιστα προς το κέντρο της εδαφικής λεκάνης. Συνεπώς, η αύξηση της ανομοιομορφίας σε πλατιές κοιλάδες οδηγεί σε διαφορετική απόκριση, καθώς εκτός από τα άκρα παρατηρούνται σημαντικές ενισχύσεις και προς το κέντρο της κοιλάδας.
- Επιπλέον, παρατηρείται η σχεδόν τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στο κέντρο παρατηρείται ο μηδενισμός των κατακόρυφων επιταχύνσεων στα 4 προσομοιώματα λόγω απόλυτης συμμετρίας της λεκάνης.
- Ως προς τις μέγιστες τιμές του ASA_v , υπάρχει μια ελαφρά αύξηση αυξανόμενης της ανομοιομορφίας του εδάφους, ενώ ταυτόχρονα τα μέγιστα εμφανίζονται ολόενα και προς τα άκρα.
- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.18 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



Σχήμα 5.19 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_g=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

Στο Σχήμα 5.20 παρουσιάζεται η συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B .

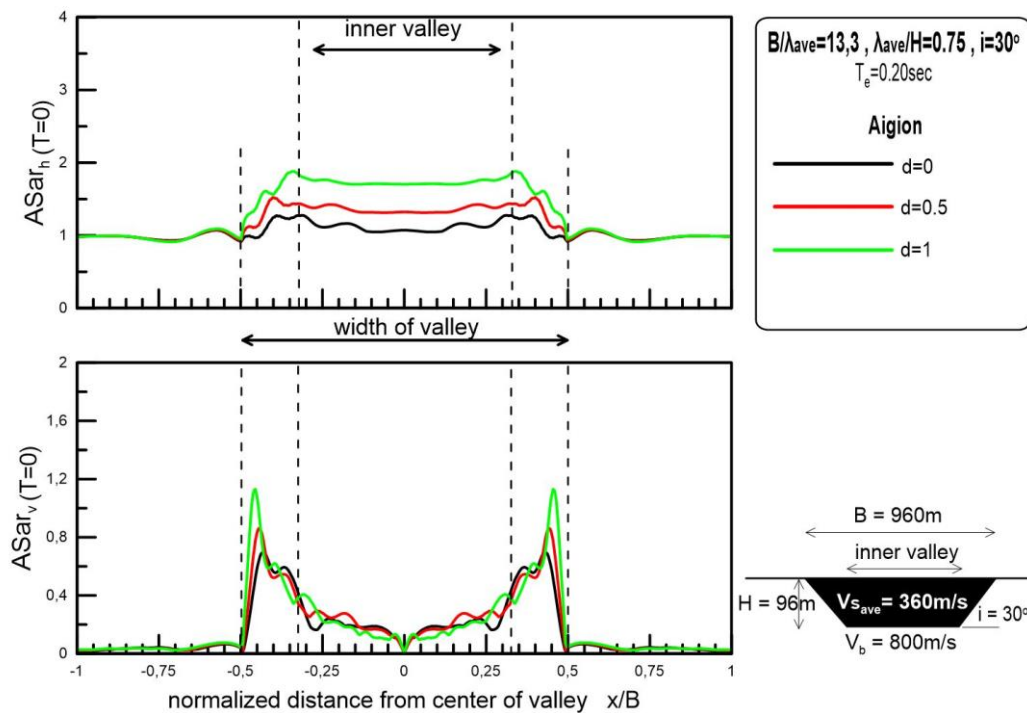
Στο Σχήμα 5.21 παρουσιάζεται η μέγιστη συνολική ενίσχυση (valley and soil effects) για τους 4 βαθμούς ανομοιομορφίας d συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B . Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για τις μέγιστες τιμές του συντελεστή ενίσχυσης $ASAR_h$:

- Σε αντίθεση με τη γεωμορφική ενίσχυση, η επίδραση της ανομοιομορφίας έχει ακριβώς την αντίθετη επίδραση. Συγκεκριμένα, ο $ASAR_h$ αυξάνεται με την αύξηση της ανομοιομορφίας του εδάφους, φτάνοντας στην τιμή 2.49 για $d=1$ από 1.73 για $d=0$. Για λιγότερο ανομοιομόμορφο εδάφος, οι συνολικές ενισχύσεις είναι λιγότερο εντυπωσιακές, αλλά πάντα μεγαλύτερες εκείνων του ομοιόμορφου εδάφους. Για παράδειγμα, για $d=0.5$ ο εν λόγω συντελεστής εμφανίζει τη μέγιστη τιμή 2.
- Ως προς την χωρική κατανομή της συνολικής ενίσχυσης, οι διαφοροποιήσεις δεν είναι τόσο έντονες όσο με την γεωμορφική. Οι μέγιστες ενισχύσεις παρατηρούνται εξολοκλήρου στα άκρα της κοιλάδας.

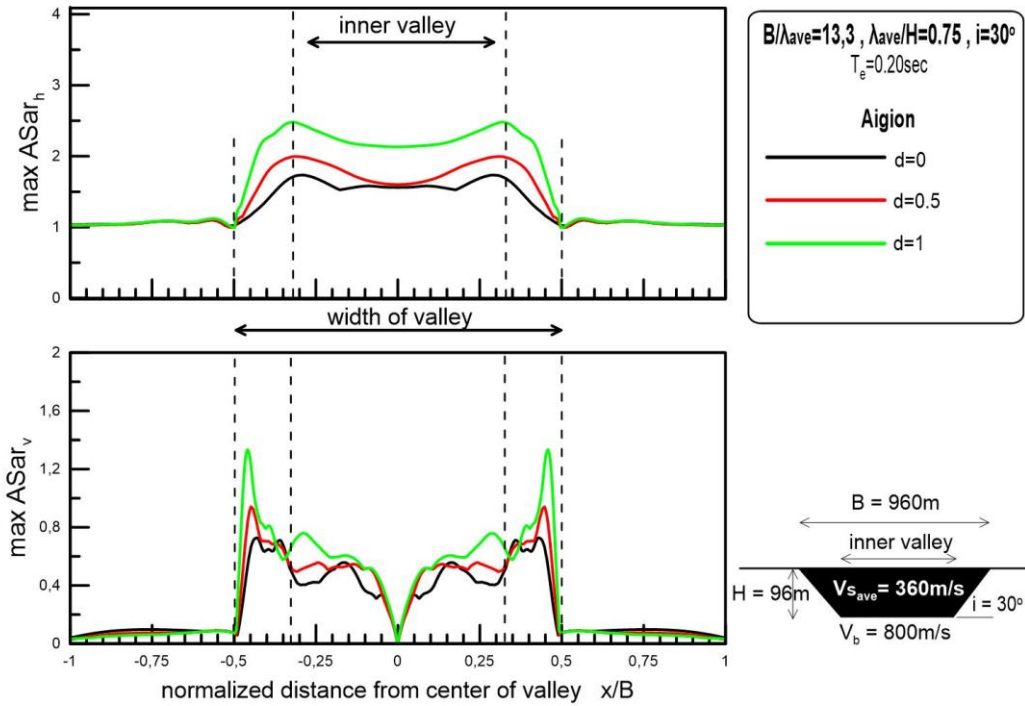
- Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας στην περιοχή εκτός της κοιλάδας.

Σχετικά με το συντελεστή $ASAR_v$ προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Όπως και για τον $ASAR_h$, παρατηρείται μια ελαφρή μετατόπιση των μεγίστων προς τα άκρα με την αύξηση της ανομοιομορφίας. Πιο αναλυτικά, για όλα τα εδαφικά προφίλ, οι μέγιστες συνολικές ενισχύσεις παρουσιάζονται στα άκρα. Όσο αυξάνεται η ανομοιομορφία τόσο πιο πολύ προς τα όρια της κοιλάδας μετατοπίζονται τα μέγιστα, ενώ οι ενισχύσεις προς το κέντρο της λεκάνης γίνονται αμελητέες.
- Η μέγιστη τιμή της κατακόρυφης συνολική ενίσχυση στις ανομοιομορφες λεκάνες είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιογενή, ως και διπλασιασμός παρατηρείται στο μετρίως ανομοιομορφο έδαφος (1.33 έναντι 0.77). Τέλος, όπως και στην $ASAR_h$, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων $ASAR_v$ της ανομοιομορφης λεκάνης με την αντίστοιχη ομοιομορφη λεκάνη στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδύομενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 5.20 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

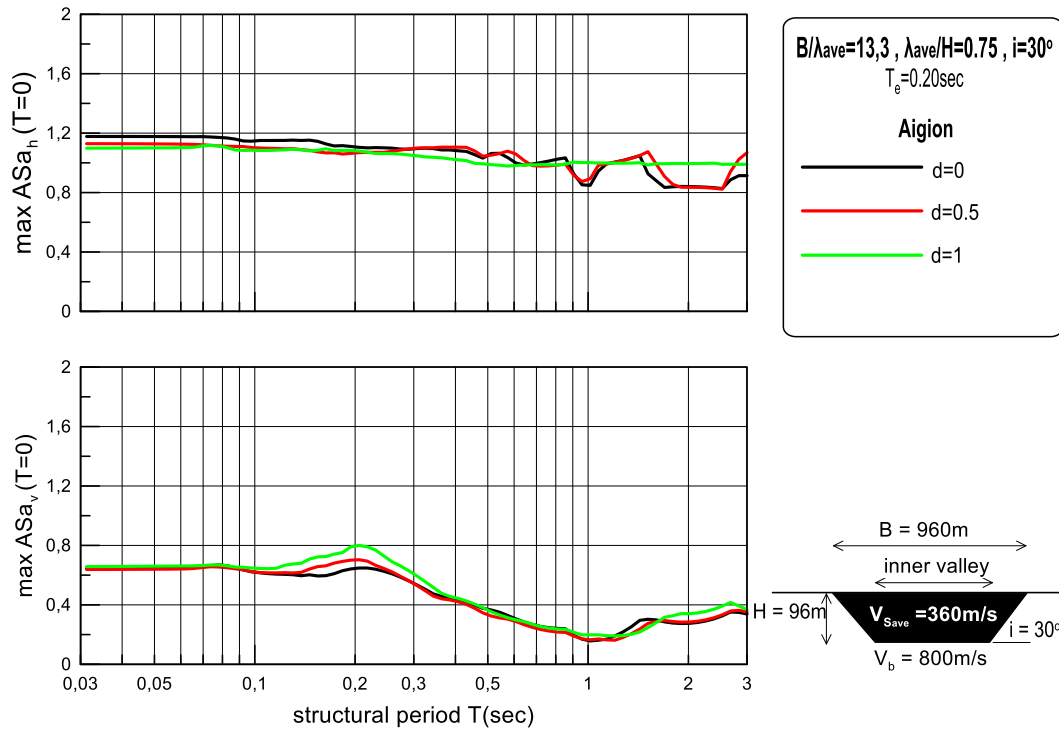


Σχήμα 5.21 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_g=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

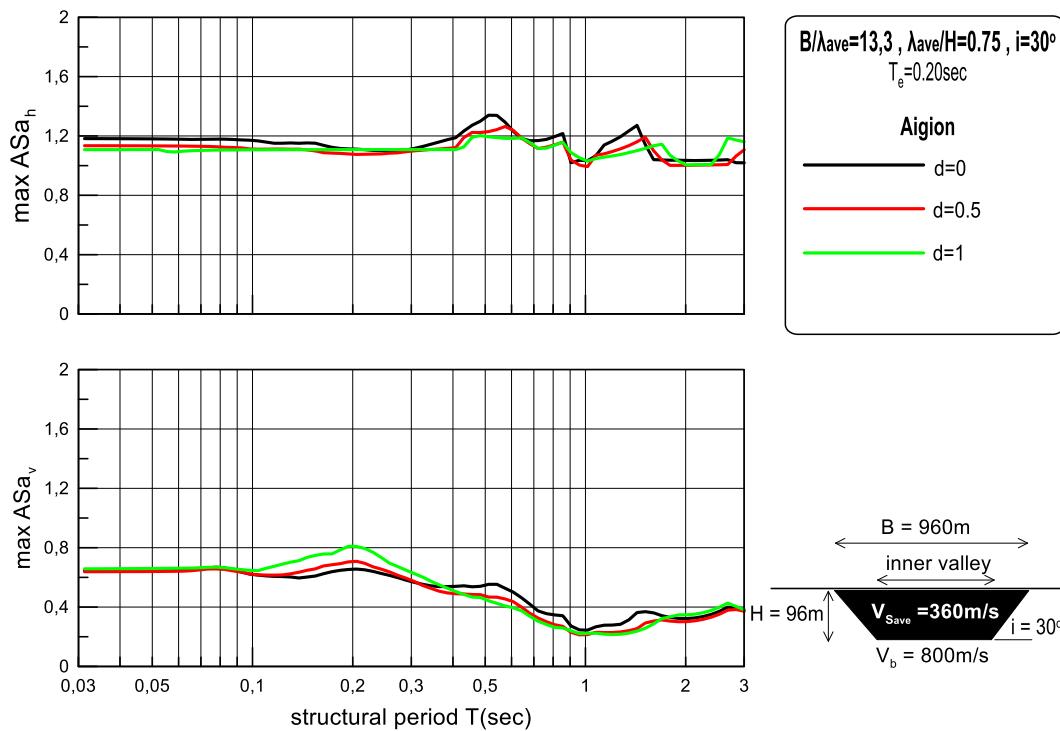
Στο Σχήμα 5.22 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή του ASA_h και ASA_v για περίοδο $T=0$ sec.

Στο Σχήμα 5.23 παρουσιάζεται το φάσμα της γεωμορφικής επιδείνωσης για τα 4 εδαφικά προφίλ στις θέσεις όπου εμφανίζεται η μέγιστη των μεγίστων τιμή του ASA_h και ASA_v .

Από αυτά τα σχήματα, προκύπτουν τα ίδια συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αντίστοιχα σχήματα στο υποκεφάλαιο 5.2. Συγκεκριμένα, για τις ανάγκες του μηχανικού η οριζόντια γεωμορφική επιδείνωση ASA_h στις θέσεις όπου μεγιστοποιείται για $T=0$ sec, παραμένει σταθερή για $T<1$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους φθίνει στη μονάδα, ενώ η κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση ASA_v παραμένει σταθερή για $T<0.2$ sec, και για τις μεγαλύτερες περιόδους μηδενίζεται.



Σχήμα 5.22 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες για $T=0$ sec, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

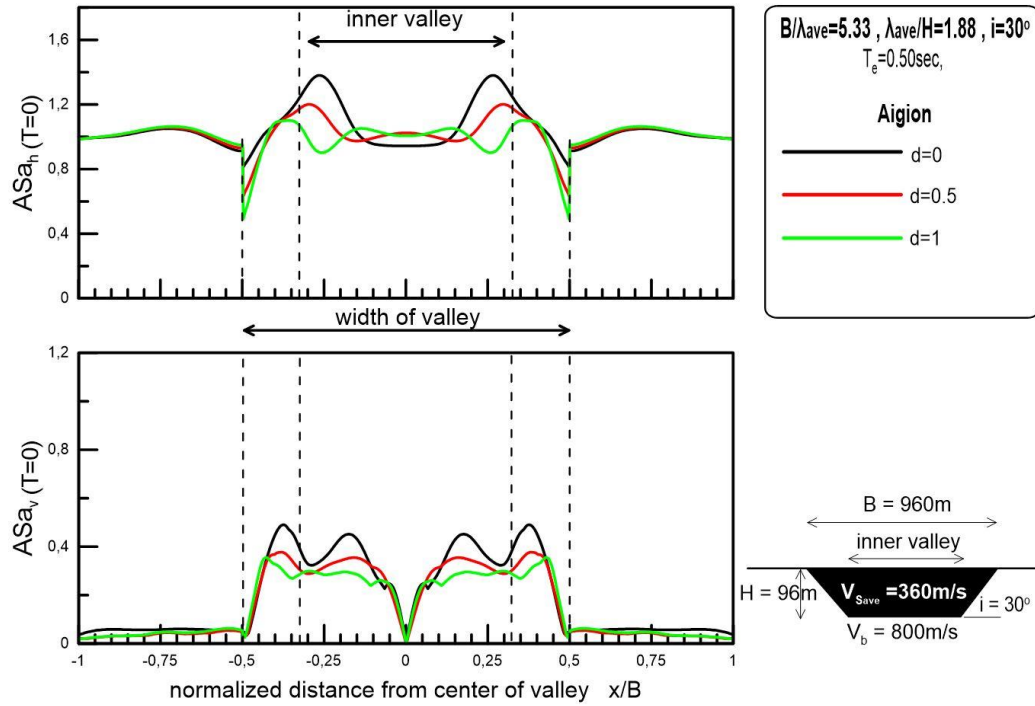


Σχήμα 5.23 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2 \text{ sec}$) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

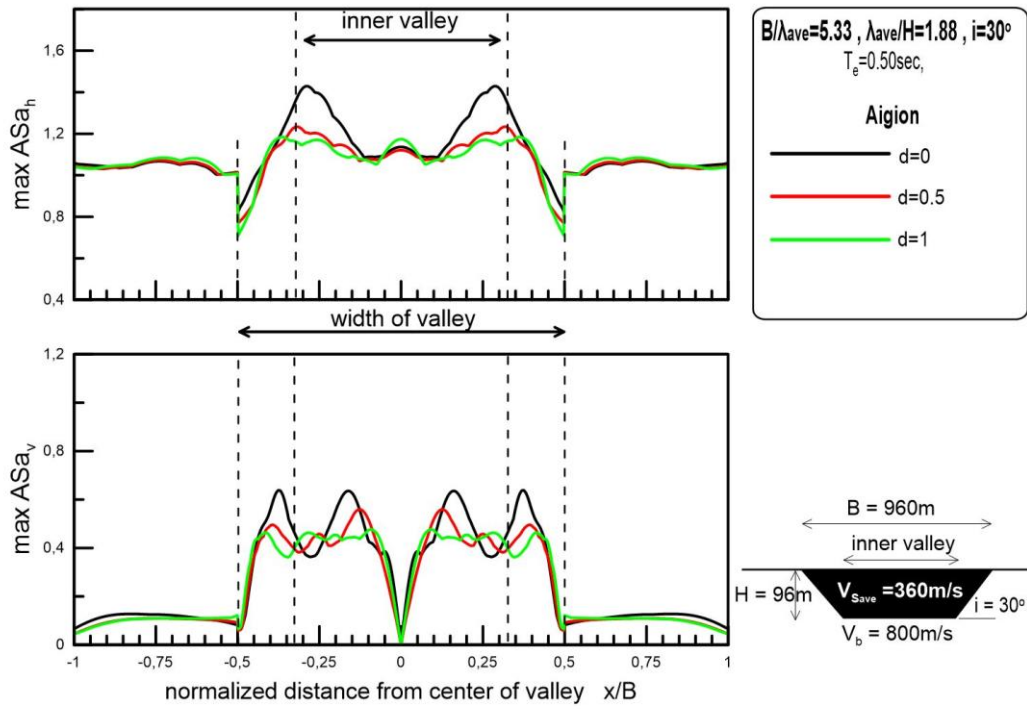
- ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Στη συνέχεια, η κοιλάδα με πλάτος $B=960 \text{ m}$, πάχος $H=96 \text{ m}$, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360 \text{ m/sec}$ και στο βράχο $V_b=800 \text{ m/sec}$ και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$, υποβάλλεται στη σεισμική διέγερση του Αιγίου με δεσπόμενη συχνότητα $f=2 \text{ Hz}$.

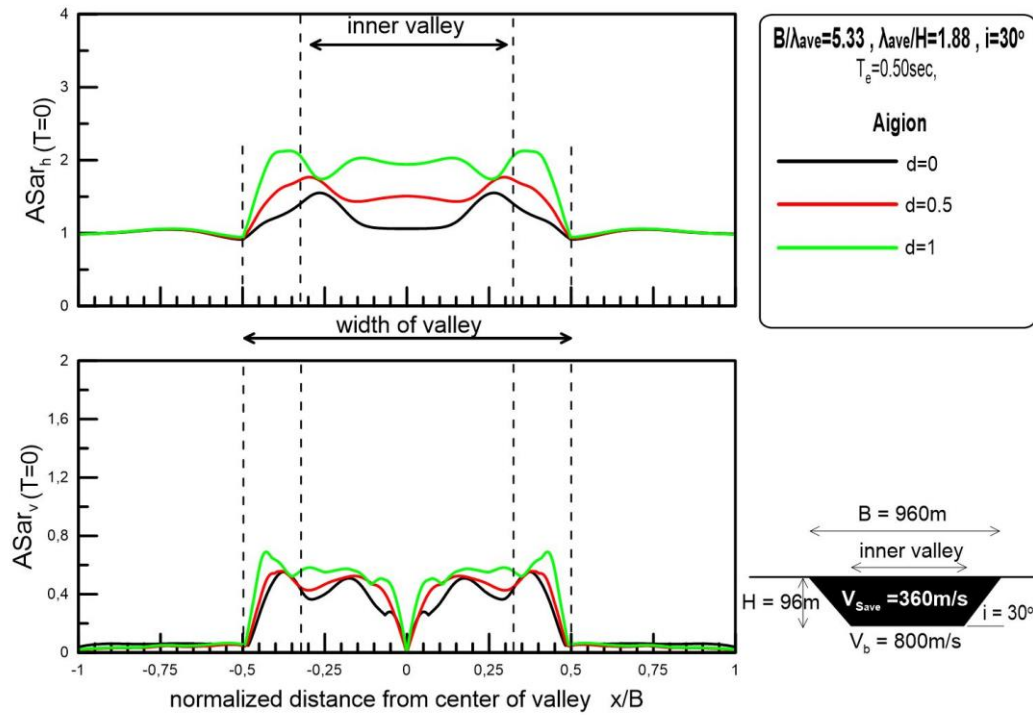
Στα Σχήματα 5.24 ως 5.29 παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την άνωθεν ανάλυση, με την σειρά που έχουν παρουσιασθεί προηγουμένως. Τα συμπεράσματα για τους συντελεστές γεωμορφικής και συνολικής επιδείνωσης γενικεύονται και σε αυτό το εδάφιο, χωρίς να παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές.



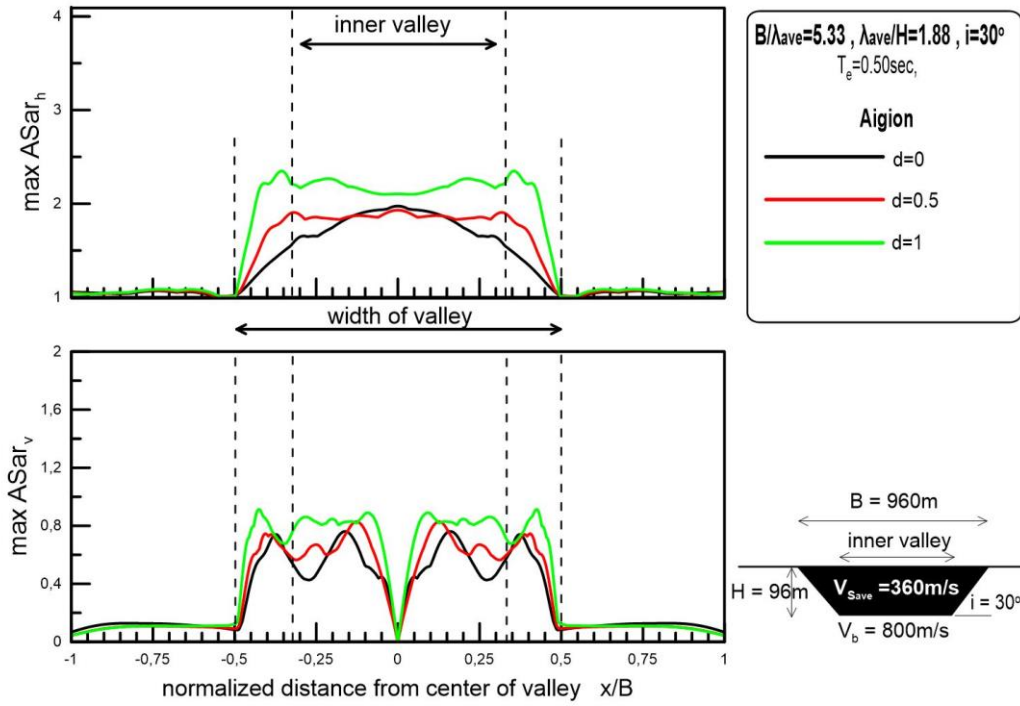
Σχήμα 5.24 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



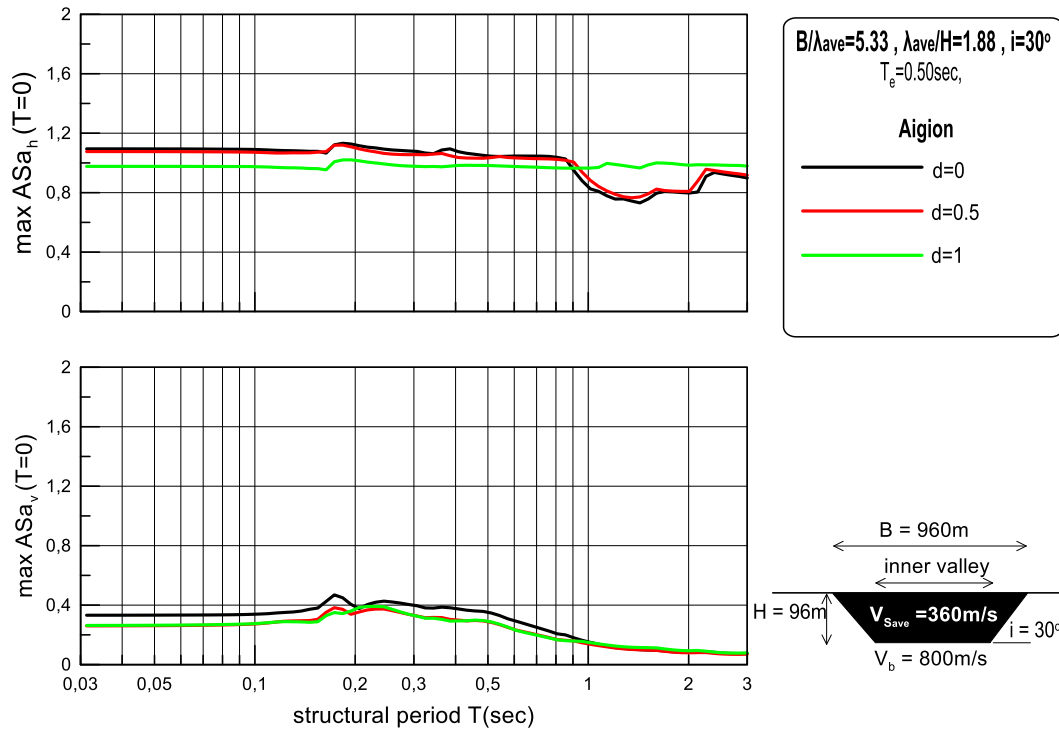
Σχήμα 5.25 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



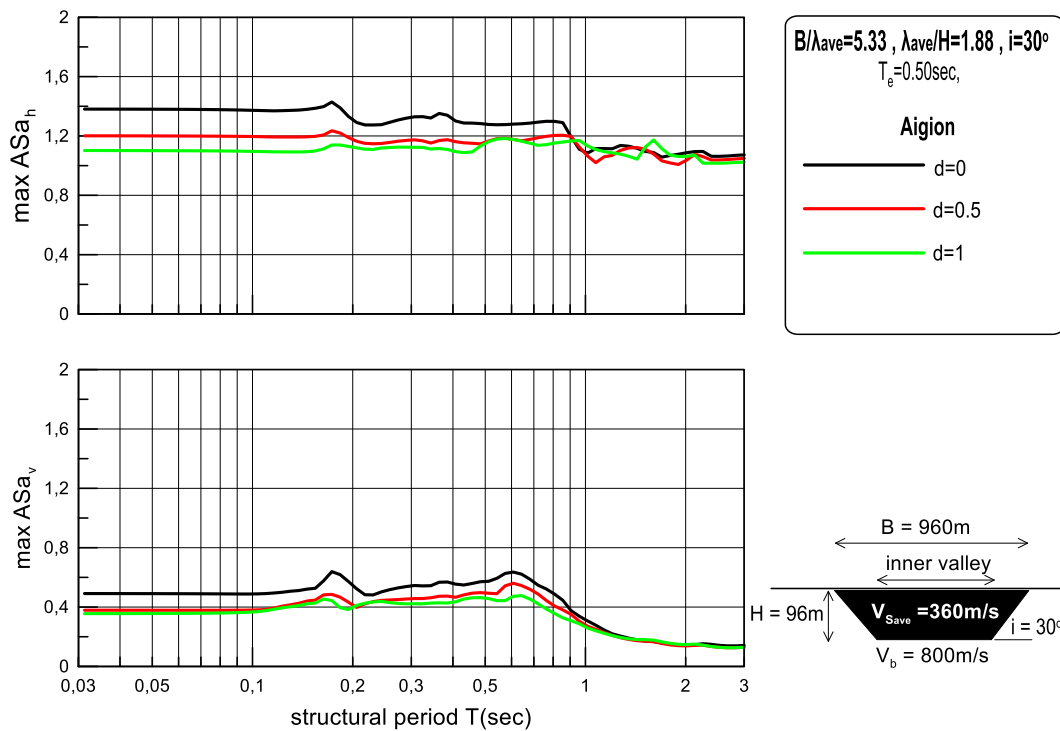
Σχήμα 5.26 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



Σχήμα 5.27 : Μέγιστες οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



Σχήμα 5.28 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες για T=0 sec, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d



Σχήμα 5.29 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της περιόδου T στη θέση όπου οι ενισχύσεις γίνονται μέγιστες, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5 \text{ sec}$) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους για 3 βαθμούς ανομοιομορφίας d

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

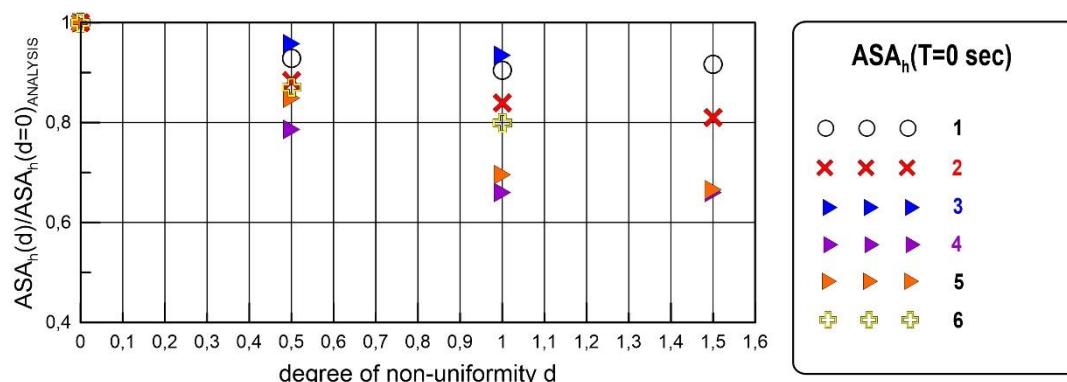
Στην παράγραφο αυτή χρησιμοποιούνται οι νέες αναλύσεις λεκανών για όλους του βαθμούς ανομοιομορφίας d που πραγματοποιήθηκαν εδώ για να συγκριθούν με τις σχέσεις εκτίμησης των A_{hmax} και A_{vmax} των Μέλλιου και Τέττα (2010), όροι που είναι αντίστοιχοι με τους ASA_h και ASA_v για περίοδο $T=0 \text{ sec}$. Έτσι, στον Πίνακα 5.3 δίνονται τα στοιχεία των 6 αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Στα Σχήματα 5.30 και 5.31 συγκρίνονται οι γεωμορφικές ενισχύσεις ASA_h και ASA_v για περίοδο $T=0 \text{ sec}$ για όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και για όλους τους βαθμούς ανομοιομορφίας d . Παρατηρείται, συνεπώς, ότι η αύξηση της εδαφικής ανομοιομορφίας επιδρά μειωτικά στις μέγιστες τιμές των γεωμορφικών ενισχύσεων. Στο Σχήμα 5.32 συγκρίνονται οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις ASA_h για περίοδο $T=0 \text{ sec}$ που προέκυψαν από τις αναλύσεις της παρούσας εργασίας με αυτές που εκτιμώνται από τη σχέση (2.1), βλ. Κεφ. 2 της βιβλιογραφίας. Αντίστοιχη σύγκριση γίνεται στο Σχήμα 5.33 και για τις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ASA_v για περίοδο $T=0 \text{ sec}$ χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.2) και τα αριθμητικά αποτελέσματα. Παρατηρείται λοιπόν πως

οι σχέσεις, οι οποίες αφορούν ομοιόμορφους εδαφικούς σχηματισμούς, υπερεκτιμούν τις τιμές των συντελεστών γεωμορφικών ενισχύσεων που προέκυψαν από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις, με αποτέλεσμα να δίνουν συντηρητικά αποτελέσματα.

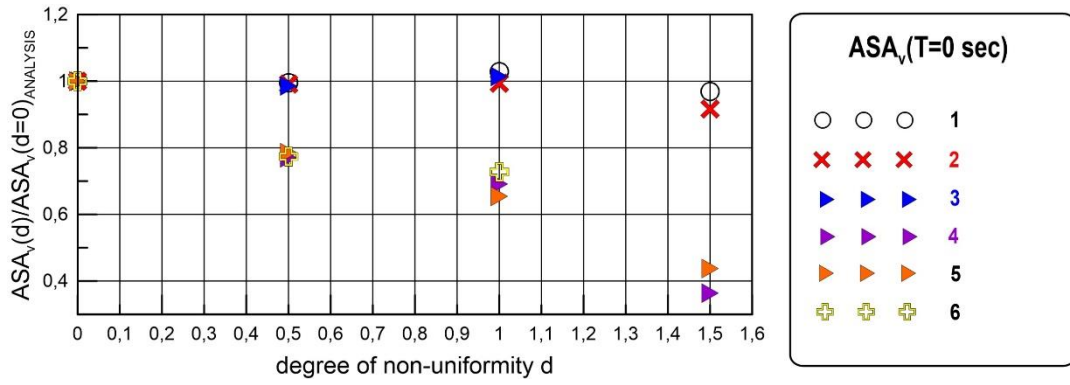
Στη συνέχεια, στα Σχήματα 5.34 και 5.35 αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων (x_{hmax}/B) και κατακόρυφων ενισχύσεων (x_{vmax}/B), συμπεριλαμβάνοντας τα στοιχεία των αναλύσεων του Πίνακα 5.3. Πιο συγκεκριμένα, αποτυπώνονται με διαφορετικό χρώμα οι αναλύσεις που διαφέρουν ως προς τον βαθμό ανομοιομορφίας, έτσι ώστε να φανεί η επίδραση της παραμέτρου d , δηλαδή η μετάβαση των μέγιστων οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων προς τα άκρα της λεκάνης καθώς αυξάνεται ο βαθμός ανομοιομορφίας. Επιπλέον, στα ίδια σχήματα δίνονται ορισμένες καμπύλες «σχεδιασμού» προς χρήση σε προκαταρκτική εκτίμηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, ενώ παρατίθενται οι αντίστοιχες από την εργασία των Μέλλιου και Τέττα (2010) χάριν σύγκρισης.

#	B(m)	H(m)	V _{save} (m/s)	V _b (m/s)	T _c (s)	λ _{ave} (m)	i(°)	ξ(%)	B/λ _{ave}	λ _{ave} /H	α _{ave}
1	432	96	360	800	0.2	72	30	5	6	0.75	0.45
2	332	96	360	800	0.2	72	30	5	4.6	0.75	0.45
3	960	96	360	800	0.2	180	30	5	13.33	1.88	0.45
4	432	96	360	800	0.5	180	30	5	2.4	1.88	0.45
5	332	96	360	800	0.5	180	30	5	1.84	1.88	0.45
6	960	96	360	800	0.5	180	30	5	5.33	1.88	0.45

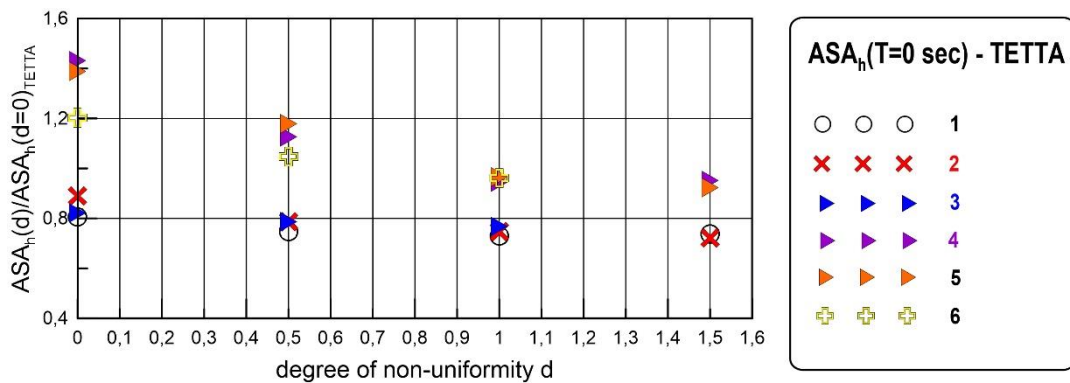
Πίνακας 5.3 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων ανομοιόμορφων εδαφικά λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της ανομοιογένειας



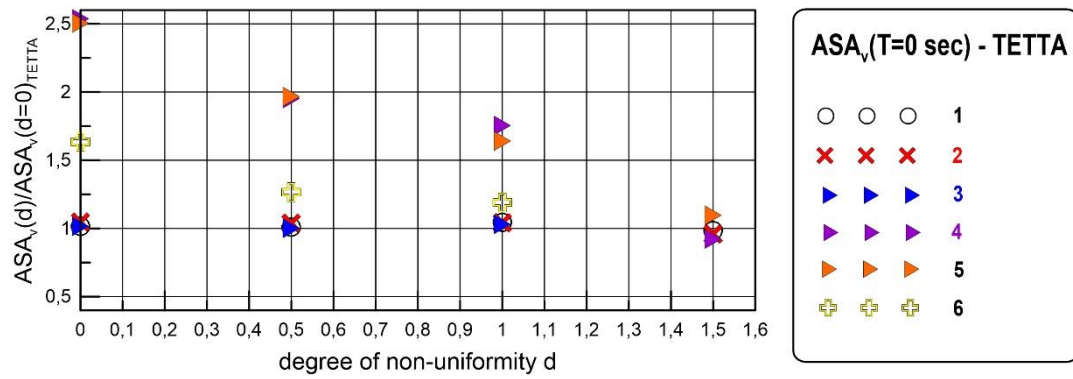
Σχήμα 5.30 : Λόγος της οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης για διάφορες τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d προς την οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση για $d=0$ στην περίοδο $T=0$ sec



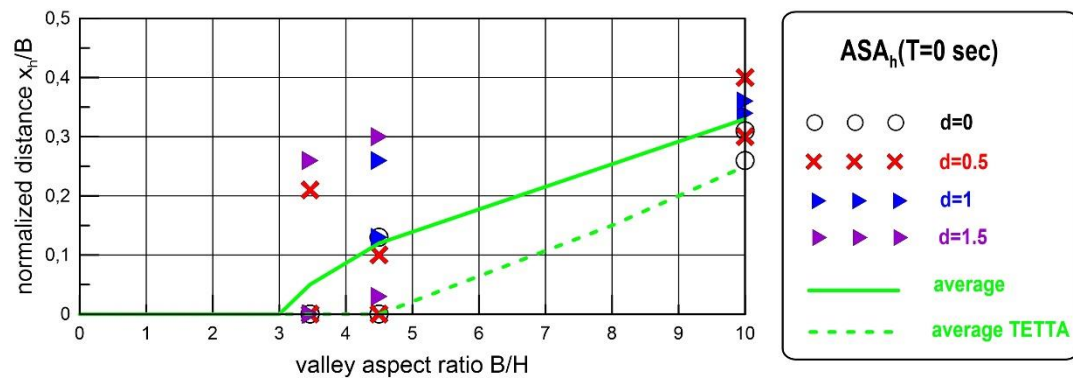
Σχήμα 5.31 : Λόγος της κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης για διάφορες τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d προς την κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση για $d=0$ στην περίοδο $T=0$ sec



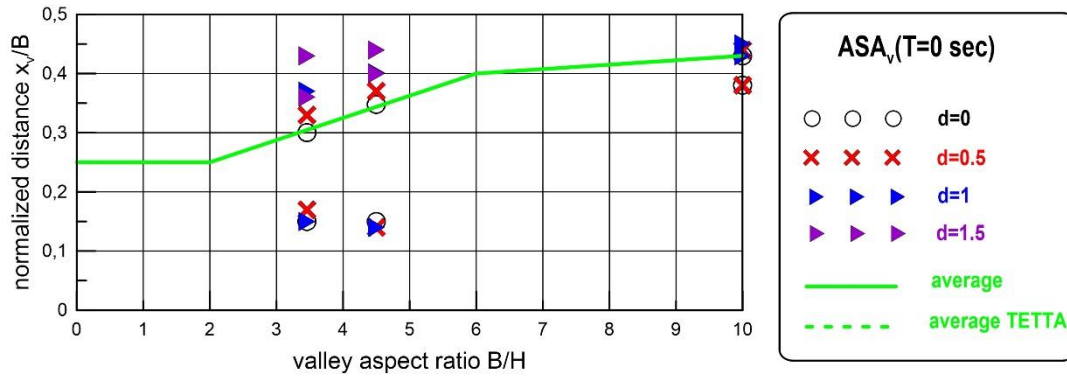
Σχήμα 5.32 : Λόγος της οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης για διάφορες τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d προς την οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση που προκύπτουν από τις σχέσεις Μελλίος-Τέττα (2010) στην περίοδο $T=0$ sec



Σχήμα 5.33 : Λόγος της κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης για διάφορες τιμές του βαθμού ανομοιομορφίας d προς την κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση που προκύπτουν από τις σχέσεις Μελλιός-Τέττα (2010) στην περίοδο T=0 sec



Σχήμα 5.34 : Επίδραση της αδιάστατης παραμέτρου B/H στις θέσεις εμφάνισης των max ASA_h για περίοδο T=0 sec αδιαστατοποιημένες ως προς το εκάστοτε πλάτος B της λεκάνης (x_{hmax}/B) και καμπύλες «σχεδιασμού»



Σχήμα 5.35 : Επίδραση της αδιάστατης παραμέτρου B/H στις θέσεις εμφάνισης των $\max ASA_v$ για περίοδο $T=0$ sec αδιαστατοποιημένες ως προς το εκάστοτε πλάτος B της λεκάνης ($x_{v\max}/B$) και καμπύλες «σχεδιασμού»

5.5 ΣΥΝΟΨΗ

Συνοπτικά, σχετικά με την εδαφική ανομοιομορφία στη σεισμική απόκριση κοιλάδων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Μείωση των σημαντικών τιμών του συντελεστή ASA_h και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, αυξανόμενη της ανομοιομορφίας. Η επίδραση αυτή είναι μικρότερη σε περιπτώσεις «πλατιών» κοιλάδων, αλλά σημαντική σε περιπτώσεις «στενών» ομοιόμορφων εδαφικά κοιλάδων όπου οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στο κέντρο τους, και παρατηρείται μετατόπιση των μεγίστων τιμών προς τα όρια της λεκάνης.
- Μείωση των σημαντικών τιμών του συντελεστή ASA_v και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της λεκάνης, κυρίως σε «στενές» κοιλάδες και λιγότερο στις «πλατιές» κοιλάδες.
- Η εδαφική λεκάνη δεν επηρεάζει τη σεισμική απόκριση στα αναδυόμενα πρηνή του υποβάθρου.
- Αύξηση των σημαντικών τιμών του συντελεστή $ASAR_h$ και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, αυξανόμενη της ανομοιομορφίας.
- Αύξηση των σημαντικών τιμών του συντελεστή $ASAR_v$ και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, αυξανόμενη της ανομοιομορφίας.

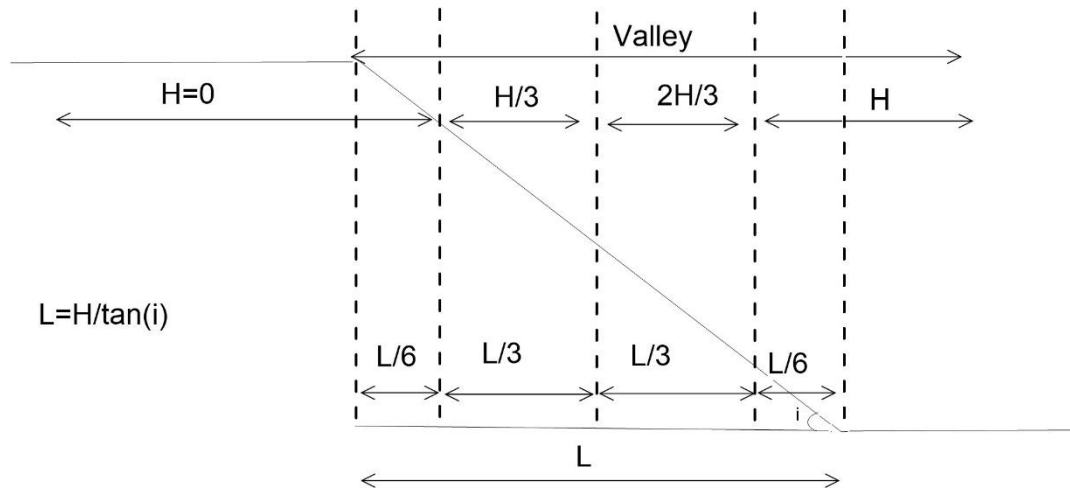
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΡΘΟΤΗΤΑ ΟΡΙΣΜΟΥ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ ΠΛΗΣΙΟΝ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Σκοπός του συγκεκριμένου Κεφαλαίου είναι η διερεύνηση της ορθότητας χρήσης των λόγων γεωμορφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους άνωθεν των κεκλιμένων άκρων μιας κοιλάδας. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 5, υπάρχει ένα εννοιολογικό πρόβλημα στον ορισμό του ASA_h (αλλά και του ASA_v). Αυτό αφορά στα σημεία της επιφάνειας της εδαφικής λεκάνης που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια. Εκεί, ο παρονομαστής S_{as} στους παραπάνω ορισμούς των ASA_h και ASA_v αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους H , ένα πάχος που έχει ισχύ μόνο στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς εδαφικής λεκάνης κι όχι στα σημεία που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα άκρα (καθώς εκεί το πάχος της εδαφικής στρώσης είναι μικρότερο από H και μειώνεται σταδιακά προς τα άκρα της λεκάνης).

Όμως, δεν υπάρχει ένας εύκολος και απολύτως ορθός τρόπος να ληφθεί υπόψη αυτή η σταδιακή μείωση του πάχους του εδάφους άνωθεν των κεκλιμένων άκρων της λεκάνης. Παρόλα αυτά, υλοποιούνται 3 διαφορετικά προσομοιώματα 1D_soil: βραχώδης υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος, το καθένα με πάχος εδαφικής στρώσης H , $2H/3$ και $H/3$ για να αντιμετωπισθεί το αναφερόμενο πρόβλημα. Συνεπώς, αντικαθίσταται στους όρους ASA_h και ASA_v ο παρονομαστής S_{as} από την αντίστοιχη επιτάχυνση S_{as} ανάλογα με το πάχος του υποκείμενου εδάφους, όπως δείχνεται στο Σχήμα 6.1. Πιο συγκεκριμένα, στην καινούρια μέθοδο σε σχέση με την συμβατική μέθοδο έχουμε τα εξής :

- Το τμήμα της κοιλάδας πάνω από τα κεκλιμένα πρανή της κοιλάδας, πλάτους L , διαιρείται σε 4 τμήματα, πλάτους $L/6$, $L/3$, $L/3$ και $L/6$ αντίστοιχα.
- Στο πρώτο τμήμα, πλησίον του αναδυόμενου βραχώδους υπόβαθρου, με πλάτος $L/6$, ο παρονομαστής S_{as} αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες βραχώδους υπόβαθρου.
- Στο δεύτερο τμήμα με πλάτος $L/3$, ο παρονομαστής S_{as} αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους $H/3$.
- Στο τρίτο τμήμα με πλάτος $L/3$, ο παρονομαστής S_{as} αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους $2H/3$.
- Στο τέταρτο τμήμα με πλάτος $L/6$, ο παρονομαστής S_{as} αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους H .



Σχήμα 6.1 : Σκαρίφημα υπολογισμού της μείωσης του πάχους H πάνω από τα κεκλιμένα όρια της εδαφικής λεκάνης

6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ «ΣΤΕΝΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της γεωμετρίας των άκρων στην γεωμορφική ενίσχυση «στενών» κοιλάδων, προσαρμόζονται οι όροι ASA_h και ASA_v όπως περιγράφεται άνωθεν για την ομοιόμορφη εδαφική κοιλάδα με πλάτος $B=432$ m, πάχος $H=96$ m, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360$ m/sec και στο βράχο $V_b=800$ m/sec και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$. Οι αναλύσεις έγιναν για την σεισμική διεγερση του Αιγίου για δύο τιμές δεσπόζουσας συχνότητας $f=2$ Hz και $f=5$ Hz. Επιπλέον, η ίδια εργασία έγινε και για την ίδια κοιλάδα με ανομοιόμορφο έδαφος, όμως με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν τη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v για την περίοδο $T=0$ sec, με την οριζόντια απόσταση x (από το μέσο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα B της εκάστοτε λεκάνης, για το μισό συμμετρικό τμήμα της λεκάνης.

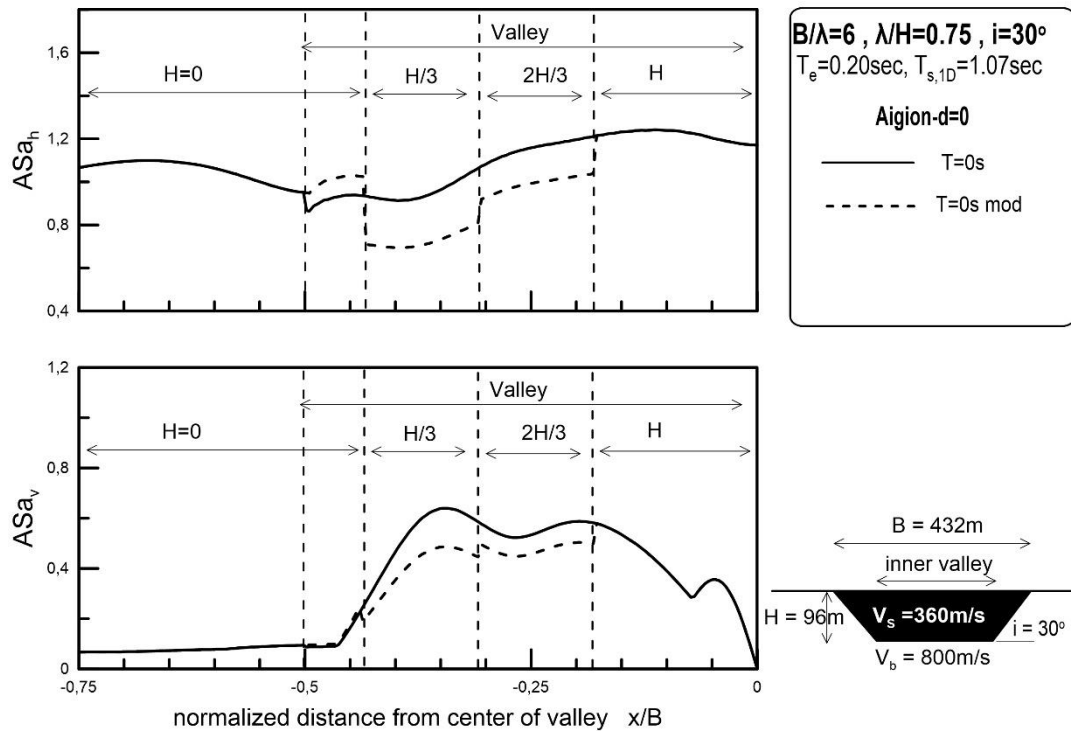
- ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Το Σχήμα 6.2 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση της προαναφερθείσας κοιλάδας για βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$ για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B για τους δύο τρόπους υπολογισμού των γεωμορφικών ενισχύσεων. Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Η καινούργια μέθοδος δίνει αυξημένες γεωμορφικές ενισχύσεις ως 10% στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο δεύτερο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν σημαντικά μικρότερες τιμές ως και 25% σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν αρκετά μικρότερες τιμές ως και 10%, αυτή τη φορά, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_h ο παρανομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις, δηλαδή έχουμε πρακτικά όμοιες ενισχύσεις της καινούργιας σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο, στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων.
- Στο δεύτερο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν μικρότερες τιμές ως και 13% σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν αρκετά μικρότερες τιμές ως και 7%, αυτή τη φορά, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_v ο παρονομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .



Σχήμα 6.2 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού

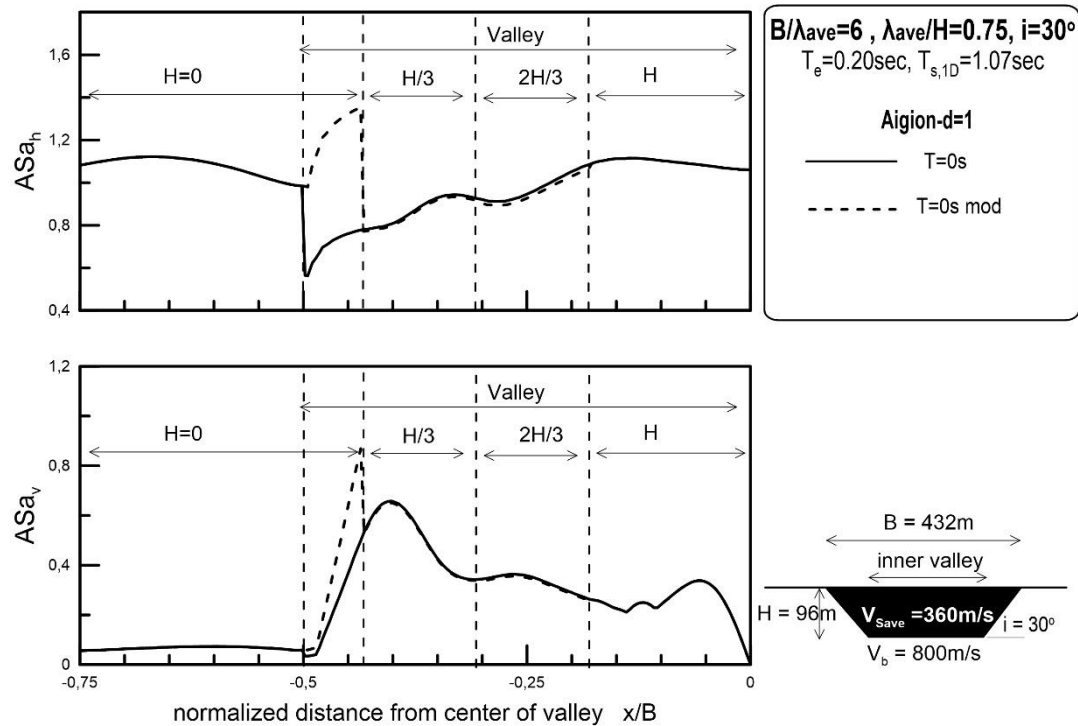
Το Σχήμα 6.3 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση της προαναφερθείσας κοιλάδας για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$ για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B για τους δύο τρόπους υπολογισμού των γεωμορφικών ενισχύσεων. Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Η καινούργια μέθοδος δίνει αξιοσημείωτες αυξημένες γεωμορφικές ενισχύσεις ως 75% στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο δεύτερο και τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο πρακτικά ταυτίζονται με αυτές από τη συμβατική μέθοδο.

- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_h ο παρανομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Παρατηρούνται αυξημένες ενισχύσεις με τη καινούρια μέθοδο ως και 70%, στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων.
- Στο δεύτερο και τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο πρακτικά ταυτίζονται με αυτές από τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_v ο παρανομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .



Σχήμα 6.3 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού

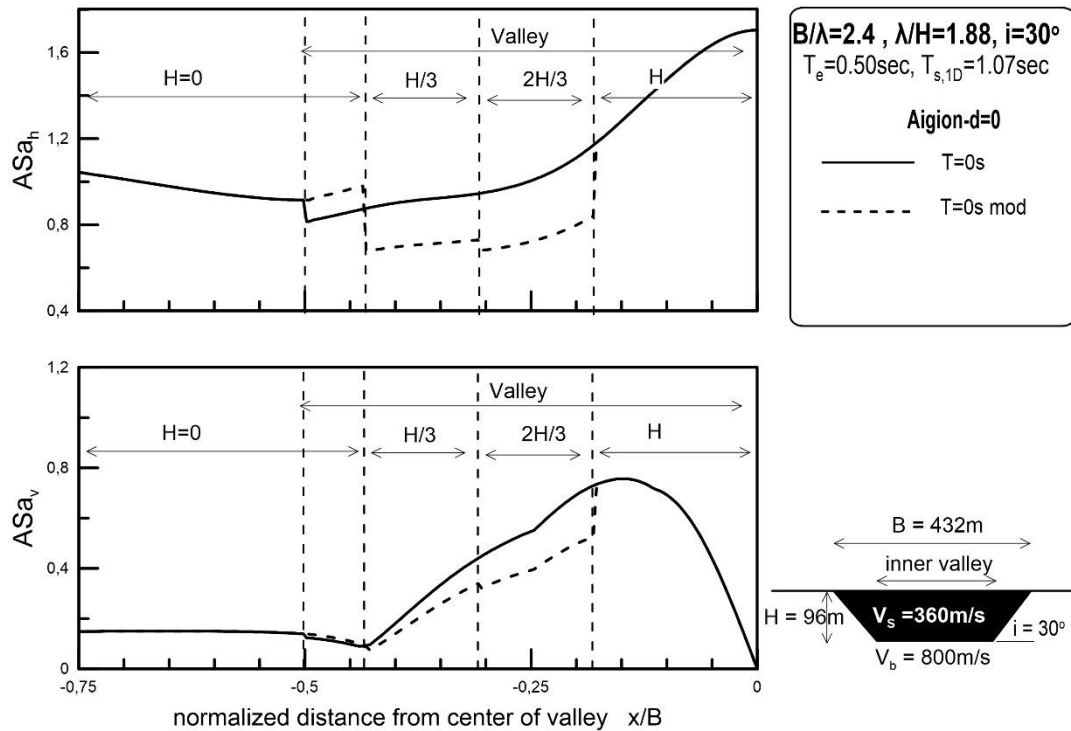
- ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Το Σχήμα 6.4 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση της προαναφερθείσας κοιλάδας για βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$ για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B για τους δύο τρόπους υπολογισμού των γεωμορφικών ενισχύσεων. Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Η καινούργια μέθοδος δίνει αυξημένες γεωμορφικές ενισχύσεις κατά 10% περίπου στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο δεύτερο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν σημαντικά μικρότερες τιμές ως και 25% σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν αρκετά μικρότερες τιμές ως και 33%, αυτή τη φορά, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_h ο παρονομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις, δηλαδή έχουμε πρακτικά όμοιες ενισχύσεις της καινούργιας σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο, στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων.
- Στο δεύτερο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν μικρότερες τιμές ως και 30% σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο δίνουν αρκετά μικρότερες τιμές ως και 30%, αυτή τη φορά, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_v ο παρονομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .



Σχήμα 6.4 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού

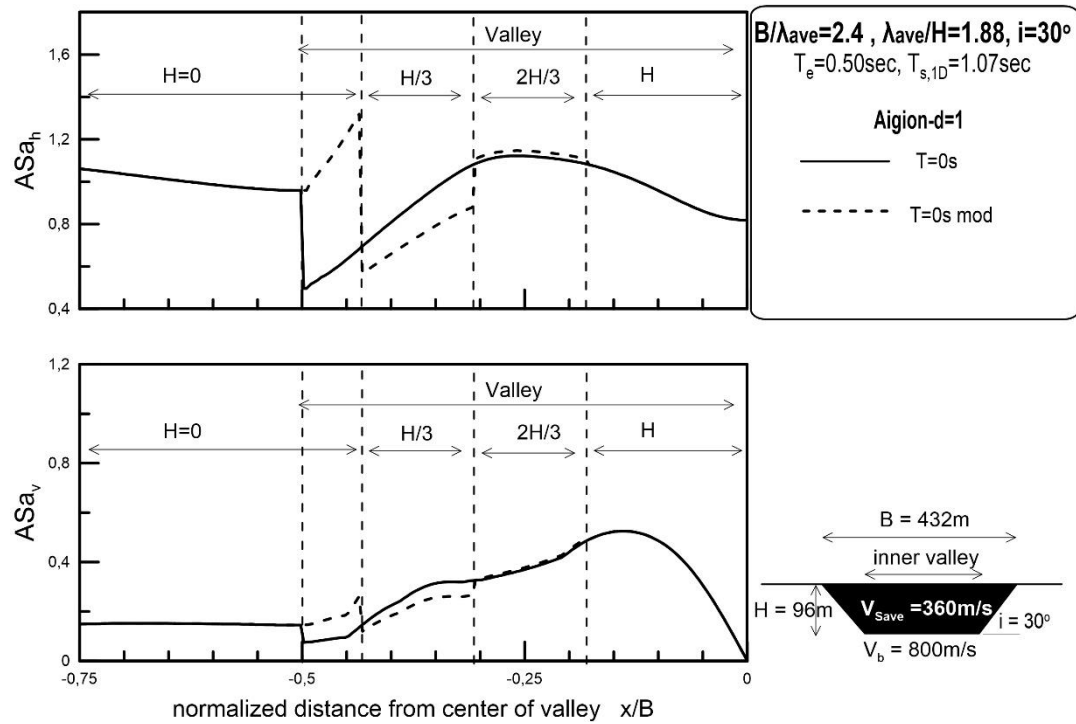
Το Σχήμα 6.5 παρουσιάζει την οριζόντια και κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση της προαναφερθείσας κοιλάδας για βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$ για την περίοδο $T=0$ sec συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B για τους δύο τρόπους υπολογισμού των γεωμορφικών ενισχύσεων. Μπορούν να εξαχθούν τα εξής για το συντελεστή ASA_h :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Η καινούργια μέθοδος δίνει αξιοσημείωτες αυξημένες γεωμορφικές ενισχύσεις ως 90% στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων, σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο.
- Στο δεύτερο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις παρουσιάζονται ελαττωμένες με τη καινούργια μέθοδο ως και 20% περίπου.

- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο πρακτικά ταυτίζονται με αυτές από τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_h ο παρονομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .

Σχετικά με το συντελεστή ASA_v , προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων, όπως είναι λογικό (S_{ar} στις δυο μεθόδους), στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.
- Παρατηρούνται αυξημένες ενισχύσεις με τη καινούργια μέθοδο ως και 85%, στο πρώτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, πλησίον των αναδυόμενων βράχων.
- Στο δεύτερο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο είναι ελαφρά μειωμένες ως και 16% σε σχέση με την συμβατική μέθοδο.
- Στο τρίτο τμήμα πάνω από τα κεκλιμένα όρια της κοιλάδας, κινούμενοι προς το κέντρο της, οι γεωμορφικές ενισχύσεις με την καινούργια μέθοδο πρακτικά ταυτίζονται με αυτές από τη συμβατική μέθοδο.
- Στο τέταρτο τμήμα, οι γεωμορφικές ενισχύσεις ταυτίζονται για τις δύο μεθόδους καθώς στον όρο ASA_v ο παρονομαστής S_a είναι για έδαφος πάχους H .



Σχήμα 6.5 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «στενή» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού

6.3 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΑ ΑΚΡΑ «ΠΛΑΤΙΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ

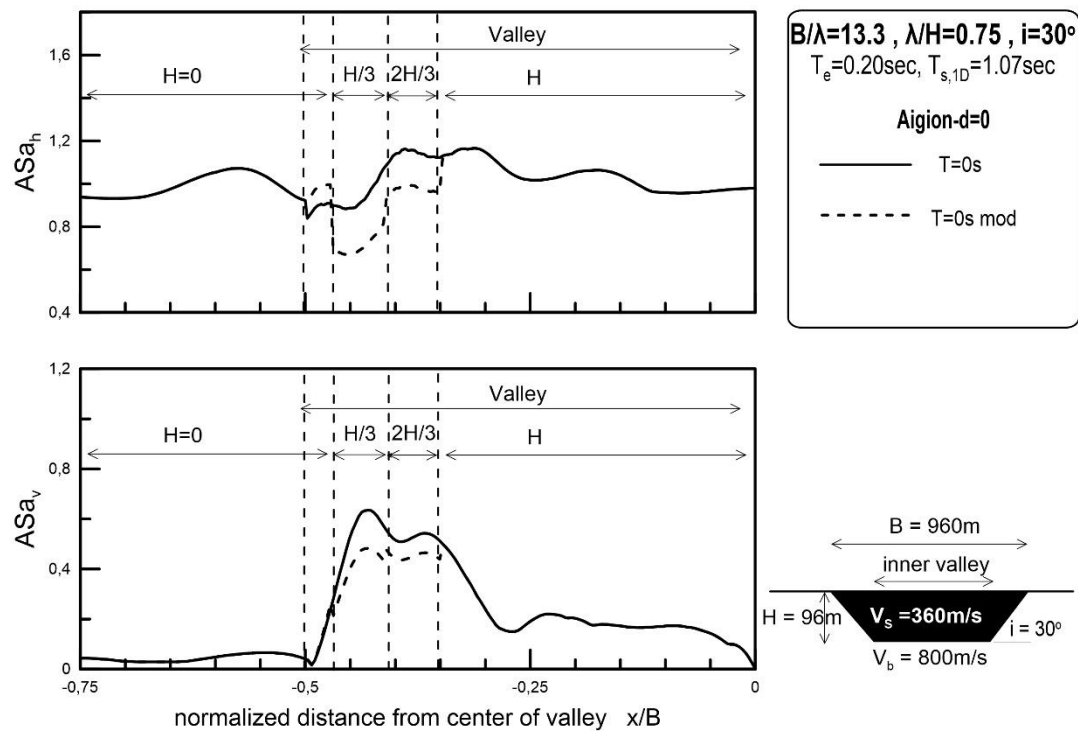
Με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της γεωμετρίας των άκρων στην γεωμορφική ενίσχυση «πλατιών» κοιλάδων, προσαρμόζονται οι όροι ASA_h και ASA_v όπως περιγράφεται άνωθεν για την ομοιόμορφη εδαφική κοιλάδα με πλάτος $B=960$ m, πάχος $H=96$ m, γωνία κλίσης πρανών $i=30^\circ$, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος $V_s=360$ m/sec και στο βράχο $V_b=800$ m/sec και λόγο απόσβεσης $\xi=5\%$. Οι αναλύσεις έγιναν για την σεισμική διέγερση του Αιγίου για δύο τιμές δεσπόζουσας συχνότητας $f=2$ Hz και $f=5$ Hz. Επιπλέον, η ίδια εργασία έγινε και για την ίδια κοιλάδα με ανομοιόμορφο έδαφος, όμως με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν τη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v για την περίοδο $T=0$ sec, με την οριζόντια απόσταση

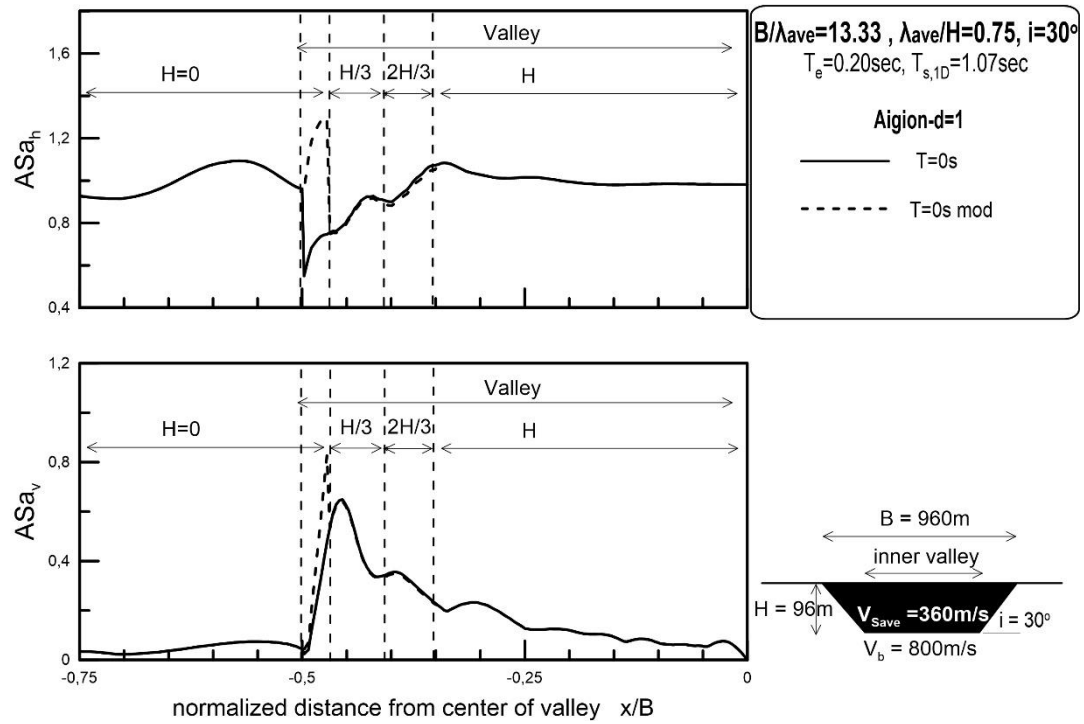
x (από το μέσο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα B της εκάστοτε λεκάνης, για το μισό συμμετρικό τμήμα της λεκάνης.

Στα Σχήματα 6.6-6.9 παρουσιάζονται, με την ίδια σειρά όπως προηγουμένως, οι γεωμορφικές ενισχύσεις για την περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου με 2 συχνότητες ($f=5$ Hz, $f=2$ Hz) με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$ και $d=1$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού.

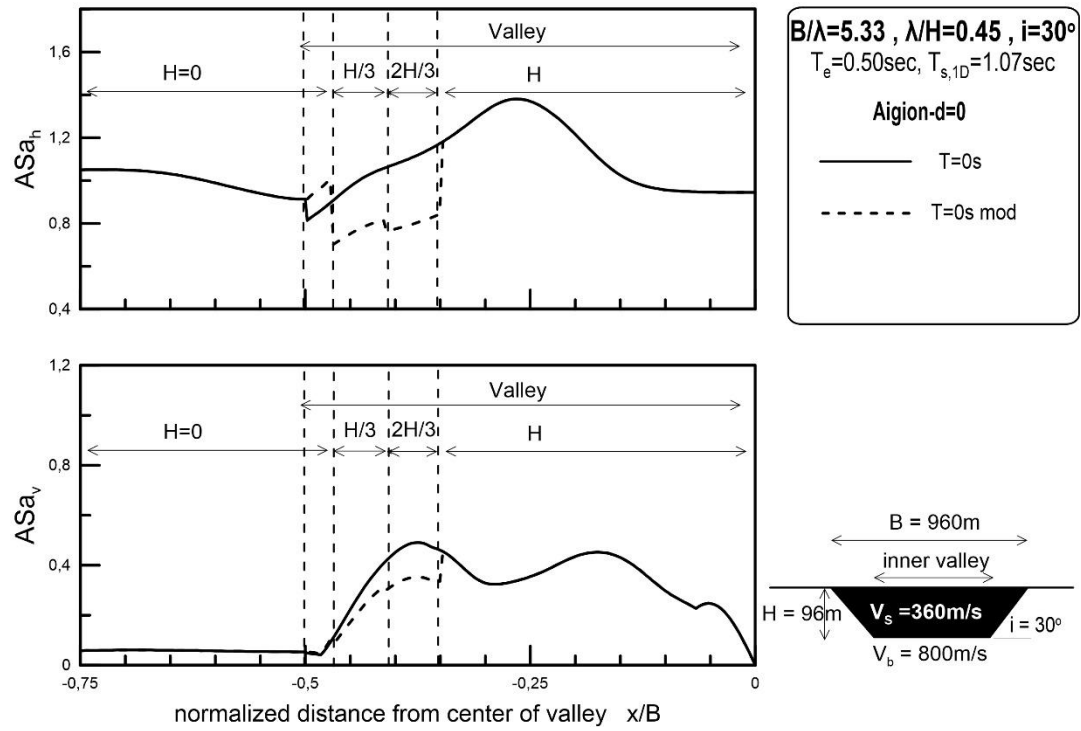
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τους συντελεστές ASA_h και ASA_v για τις «στενές» κοιλάδες γενικεύονται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά με ελάχιστες διαφοροποιήσεις για τις «πλατιές» κοιλάδες.



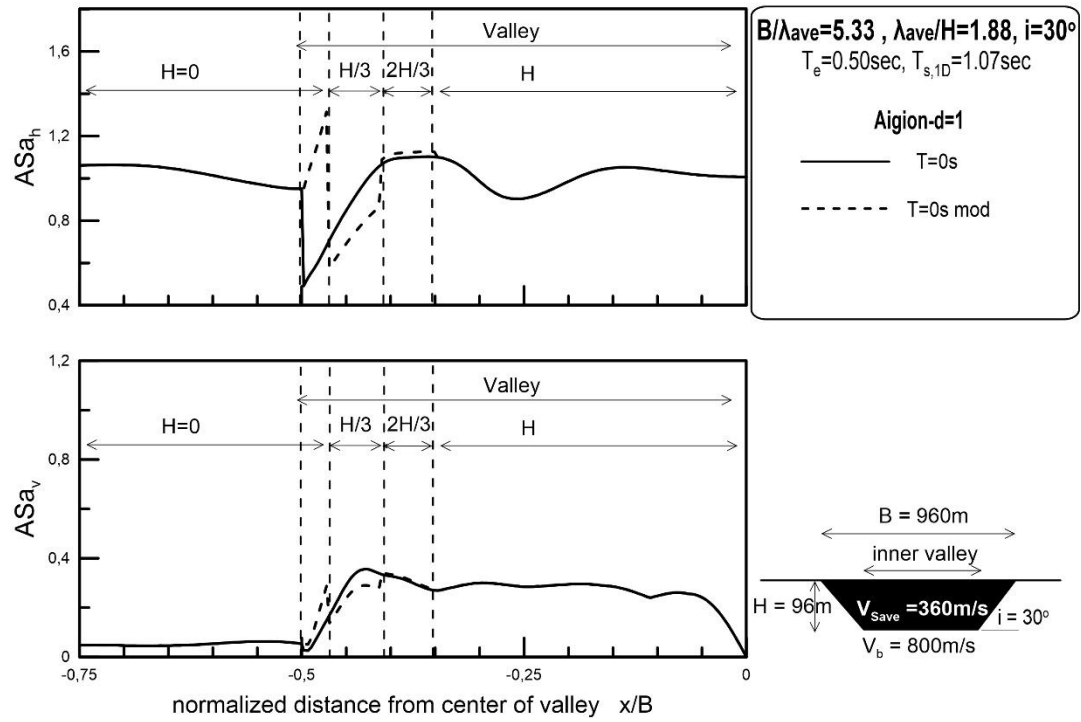
Σχήμα 6.6 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «πλατιά» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού



Σχήμα 6.7 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.2$ sec) και για «πλατιά» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού



Σχήμα 6.8 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «πλατιά» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=0$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού



Σχήμα 6.9 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για περίοδο $T=0$ sec, ως συνάρτηση της απόστασης x/B από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου ($T_e=0.5$ sec) και για «πλατιά» κοιλάδα εδάφους με βαθμό ανομοιομορφίας $d=1$, με συμβατικό και καινούριο τρόπο υπολογισμού

6.4 ΣΥΝΟΨΗ

Συνοπτικά, σχετικά με την ορθότητα χρήσης των λόγων γεωμορφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους άνωθεν των κεκλιμένων άκρων μιας κοιλάδας, παρατηρούνται τα εξής:

- Ως προς τον συντελεστή ASA_h , η συμβατική μέθοδος για ομοιόμορφες εδαφικές λεκάνες δίνει συντηρητικά αποτελέσματα, καθώς οι γεωμορφικές ενισχύσεις σύμφωνα με την καινούρια μέθοδο παρουσιάζονται ελαττωμένες, εκτός από το τμήμα της λεκάνης πλησίον του αναδυόμενου βράχου όπου είναι ελαφρώς ενισχυμένες.
- Ως προς τον συντελεστή ASA_v , η συμβατική μέθοδος για ομοιόμορφες εδαφικές λεκάνες δίνει συντηρητικά αποτελέσματα, καθώς οι γεωμορφικές ενισχύσεις σύμφωνα με την καινούρια μέθοδο παρουσιάζονται ελαττωμένες σε όλο το εύρος της κοιλάδας όπου εφαρμόζεται η καινούρια μέθοδος.
- Ως προς τον συντελεστή ASA_h , η συμβατική μέθοδος για ανομοιόμορφες εδαφικές λεκάνες, αντιθέτως δεν παρουσιάζει μονοσήμαντες διαφοροποιήσεις σε σχέση με την καινούρια μέθοδο. Στο τμήμα πλησίον του αναδυόμενου βράχου της λεκάνης, η καινούρια μέθοδος εμφανίζει εντόνως ενισχυμένες γεωμορφικές ενισχύσεις, ενώ στα υπόλοιπα τμήματα οι γεωμορφικές ενισχύσεις παρουσιάζονται ταυτόσημες για τις δύο μεθόδους.
- Ως προς τον συντελεστή ASA_v , η συμβατική μέθοδος για ανομοιόμορφες εδαφικές λεκάνες, ομοίως με τον συντελεστή ASA_h , δεν παρουσιάζει μονοσήμαντες διαφοροποιήσεις σε σχέση με την καινούρια μέθοδο. Στο τμήμα πλησίον του αναδυόμενου βράχου της λεκάνης, η καινούρια μέθοδος εμφανίζει εντόνως ενισχυμένες γεωμορφικές ενισχύσεις, ενώ στα υπόλοιπα τμήματα οι γεωμορφικές ενισχύσεις παρουσιάζονται ταυτόσημες για τις δύο μεθόδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εργασία αφορά στην αριθμητική διερεύνηση της γεωμορφικής επιδείνωσης της φασματικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους ανομοιόμορφων (αλλουβιακών) κοιλάδων. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης (με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών) για ομοιόμορφες και ανομοιόμορφες συμμετρικές τραπεζοειδείς κοιλάδες ιξωδο-ελαστικού εδάφους επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου, με μη-αρμονικές διεγέρσεις που επιβάλλονται ως κατακόρυφος προσπίπτοντα κύματα SV.

Αφορμή για την εργασία είναι ότι η πλειονότητα της σχετικής βιβλιογραφίας επικεντρώνεται στη δυναμική απόκριση ομοιόμορφων κοιλάδων, και έτσι η διερεύνηση εδώ γίνεται συγκρίνοντας την απόκριση γεωμετρικά ίδιων κοιλάδων με ανομοιόμορφο έδαφος ίδιας μέσης δυσστησίας με το ομοιόμορφο έδαφος αναφοράς. Η ανομοιομορφία εισάγεται ως γραμμική αύξηση (κλίσης d) της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων V_s με προς το βάθος, χωρίς οριζόντια διαφοροποίηση. Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης στην οριζόντια επιτάχυνση ορίζεται ο λόγος ASA_h της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης σε κάθε θέση, προς την αντίστοιχη επιτάχυνση υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης στην ίδια θέση, και όχι ως προς τον αναδυόμενο βράχο. Αντίστοιχα, ορίζεται ο λόγος ASA_v σε κάθε θέση, με τον αριθμητή να έχει ως τιμή την (παρασιτική) κατακόρυφη φασματική επιτάχυνση σε κάθε θέση, και τον παρονομαστή να είναι και πάλι εκείνος του λόγου ASA_h , δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη ταλάντωση υπό 1Δ συνθήκες.

Στο Κεφάλαιο 4 η έμφαση δόθηκε στη 1Δ σεισμική απόκριση ανομοιόμορφων εδαφών, για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών διάδοσης των κυμάτων σε 2Δ ανομοιόμορφες κοιλάδες, που αποτελούν το στόχο του Κεφαλαίου 5. Παραμετρικές αναλύσεις οδήγησαν σε συμπεράσματα για τη γεωμορφική φασματική ενίσχυση, για τις μέγιστες τιμές των λόγων ASA_h και ASA_v και τις θέσεις εμφάνισης αυτών κατά μήκος ανομοιόμορφων κοιλάδων. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 διερευνήθηκε το πόσο σωστή είναι η χρήση των λόγων ASA_h και ASA_v κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων του υποβάθρου, όπου το κατακόρυφο πάχος της κοιλάδας είναι μικρότερο του H που αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς κοιλάδας, και για το οποίο εκτιμάται ο κοινός παρονομαστής των ανωτέρω λόγων κατά μήκος ολόκληρης της κοιλάδας. Στην επόμενη παράγραφο 7.2 συνοψίζονται τα συμπεράσματα από όλη την εργασία, ενώ στην παράγραφο 7.3 δίνονται προτάσεις για τη μελλοντική έρευνα στο αντικείμενο.

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά, σχετικώς με τη 1Δ σεισμική απόκριση ανομοιομορφων εδαφών, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η φασματική επιτάχυνση, για όλες τις περιόδους κατασκευής, στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνει όσο αυξάνεται ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Για δείκτες ανομοιομορφίας $d > 1$, δηλαδή για μετρίως και έντονα ανομοιομορφα εδάφη, οι φασματικές επιταχύνσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες απ' ότι στα ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια μέση ταχύτητα διάδοσης S κυμάτων, V_{Save} . Αντίθετα, σε ασθενώς ανομοιομορφα εδάφη με $d < 1$, οι φασματικές επιταχύνσεις δεν διαφέρουν αισθητά από αυτές για ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια μέση V_{Save} , αλλά πάντα είναι μεγαλύτερες αυτών.
- Οι ενισχύσεις της μέγιστης επιτάχυνσης (κορυφή προς βάση) των ανομοιομορφων εδαφών είναι ποιοτικά και ποσοτικά διαφορετικές από αυτές των ομοιόμορφων εδαφών με την ίδια μέση V_{Save} . Συγκεκριμένα, για περίοδο διέγερσης ίση με την 1^η ιδιοπερίοδο του ομοιόμορφου εδάφους, η ενίσχυση σταδιακά αυξάνεται όσο μεγαλώνει ο βαθμός ανομοιομορφίας d . Επιπλέον, οι μεγαλύτερες ιδιομορφές των ανομοιομορφων εδαφών εμφανίζονται σε μικρότερες συχνότητες απ' ότι των ομοιόμορφων, και εμφανίζουν συγκριτικά αυξημένη ενίσχυση.
- Η πρώτη ιδιοπερίοδος T_s των ανομοιομορφων εδαφών είναι λίγο διαφορετική σε σχέση με τα ομοιόμορφα εδάφη με την ίδια V_{Save} . Συγκριτικά με την τιμή για ομοιόμορφο έδαφος ($d = 0$), για αναμενόμενους έως και μεγάλους βαθμούς ανομοιομορφίας ($d \leq 1.7$) οι τιμές της T_s είναι μικρότερες ή ίσες αυτής, ενώ μόνο για εξαιρετικά έντονη ανομοιομορφία ($d \geq 1.7$) προκύπτουν τιμές T_s μεγαλύτερες εκείνης για $d = 0$.

Στη συνέχεια, σχετικώς με την επίδραση της εδαφικής ανομοιομορφίας στη σεισμική απόκριση 2Δ συμμετρικών τραπεζοειδών κοιλάδων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Μείωση του λόγου ASA_h (ειδικά σε χαμηλόσυχνες διεγέρσεις) και εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της λεκάνης, αυξανομένης της ανομοιομορφίας. Η επίδραση αυτή είναι μικρότερη σε περιπτώσεις «πλατιών» κοιλάδων, αλλά σημαντική σε περιπτώσεις «στενών» κοιλάδων όπου οι μέγιστες τιμές του λόγου ASA_h παύουν να εμφανίζονται στο κέντρο τους (όπως συμβαίνει για $d = 0$). Στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, οι μέγιστες φασματικές ενισχύσεις ASA_h προκύπτουν για περιόδους κατασκευής T μικρότερες από την 1^η ιδιοπερίοδο της εδαφικής στρώσης.
- Όπως και για το συντελεστή ASA_h , προκύπτει μείωση του λόγου ASA_v (ειδικά σε χαμηλόσυχνες διεγέρσεις) και εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση

από το κέντρο της λεκάνης, αυξανομένης της ανομοιομορφίας. Και πάλι, η επίδραση αυτή είναι σημαντικότερη σε «στενές» κοιλάδες, μα παρατηρείται και στις «πλατιές». Στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, οι μέγιστες φασματικές ενισχύσεις ASA_v προκύπτουν για περιόδους κατασκευής T μικρότερες από τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης.

- Λόγω ανομοιομορφίας προκύπτει αξιοσημείωτη ενίσχυση $ASAR_h$ της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης συγκριτικά με τον αναδύμενο βράχο. Αυτή προκύπτει λόγω της ιδιαίτερα έντονης 1Δ ενίσχυσης στην οριζόντια φασματική επιτάχυνση λόγω ανομοιομορφίας, καθώς η γεωμορφική επιδείνωση ASA_h είναι ελαφρά μειωτική. Οι μέγιστες τιμές της ενίσχυσης $ASAR_h$ μετατοπίζονται προς τα άκρα της κοιλάδας, λόγω ανομοιομορφίας, στις ίδιες θέσεις όπου εμφανίζονται στις γεωμορφικές ενισχύσεις ASA_h . Τα ίδια προκύπτουν και για τον λόγο ενίσχυσης $ASAR_v$ της παρασιτικής κατακόρυφης φασματικής επιτάχυνσης συγκριτικά με τον αναδύμενο βράχο.

Σχετικώς με την ορθότητα χρήσης των λόγων γεωμορφικής ενίσχυσης ASA_h και ASA_v κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων της κοιλάδας, παρατηρούνται τα εξής:

- Η χρήση ως παρονομαστή της φασματικής επιτάχυνσης για 1Δ απόκριση στρώσης πάχους H , και κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων (όπου το πάχος είναι μικρότερο από H) οδηγεί σε ελαφρώς συντηρητικές εκτιμήσεις (μεγαλύτερες τιμές) του λόγου ASA_h . Εξαιρεση αποτελεί η πλέον ακραία περιοχή της λεκάνης, εκεί όπου αναδύεται το υπόβαθρο στην επιφάνεια, και η χρήση της φασματικής επιτάχυνσης για πάχος στρώσης H οδηγεί σε ελαφρά υποεκτίμηση του ASA_h . Οι ανωτέρω παρατηρήσεις ισχύουν και για το συντελεστή ASA_v .
- Για ανομοιόμορφες κοιλάδες, η χρήση ως παρονομαστή της φασματικής επιτάχυνσης για 1Δ απόκριση στρώσης πάχους H , και κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων (όπου το πάχος είναι μικρότερο από H) οδηγεί σε ακριβείς, εν γένει, εκτιμήσεις του λόγου ASA_h . Εξαιρεση αποτελεί η πλέον ακραία περιοχή της λεκάνης, εκεί όπου αναδύεται το υπόβαθρο στην επιφάνεια, και η χρήση της φασματικής επιτάχυνσης για πάχος στρώσης H οδηγεί σε σημαντική υποεκτίμηση του ASA_h . Οι ανωτέρω παρατηρήσεις ισχύουν και για το συντελεστή ASA_v .

7.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η εργασία αφορά στην αριθμητική διερεύνηση της γεωμορφικής επιδείνωσης της φασματικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους ανομοιόμορφων (αλλουβιακών) κοιλάδων. Για το

σκοπό αυτό εκτελέστηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης (με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών) για ομοιόμορφες και ανομοιόμορφες συμμετρικές τραπεζοειδείς κοιλάδες ιξωδο-ελαστικού εδάφους επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου, με μη-αρμονικές διεγέρσεις που επιβάλλονται ως κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα SV.

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει αρχικώς να αναιρέσει τους περιορισμούς της έρευνας αυτής. Σημαντικό θέμα προς διερεύνηση είναι οι άλλες μορφές ανομοιομορφίας (μη-γραμμική αύξηση της V_s με το βάθος, οριζόντια ανομοιομορφία ειδικά πλησίον των κεκλιμένων άκρων) και η επίδρασή τους στη γεωμορφική επιδείνωση. Επιπλέον θέμα ενδιαφέροντος είναι η πιο λεπτομερής διερεύνηση της επίδρασης του τρόπου ορισμού των ASA_h και ASA_v κατά μήκος των κεκλιμένων άκρων, με την εκτέλεση περισσότερων 1Δ αναλύσεων για πολλά διαφορετικά πάχη εδάφους μεταξύ 0 και H (πέραν των $H/3$ και $2H/3$). Το θέμα ορισμού των ASA_h και ASA_v διαφαίνεται πιο σημαντικό για τις ανομοιόμορφες κοιλάδες, οπότε οι επιπλέον αναλύσεις θα πρέπει να επικεντρωθούν σε αυτές.

Επιπλέον, θα πρέπει να διακριβώσει παραπάνω την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να εκτελεστούν αναλύσεις για πολλές διαφορετικές διεγέρσεις (διερευνώντας την επίδραση της μορφής της χρονοϊστορίας στα αποτελέσματα), καθώς επίσης και να εκτελεστούν μη-γραμμικές αναλύσεις για να ληφθεί ορθότερα υπόψη η απόκριση των «εύτμητων» εδαφών συγκριτικά με τους «δύστημτους» βράχους (για τους οποίους η ιξωδο-ελαστική θεώρηση είναι σαφώς πιο εύλογη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. UNISDR, 2006. “Disaster statistics 1991-2005”. <http://www.unisdr.org/disaster-statistics/occurrence-disas.htm> . 31 July 2009: 31 July 2009
2. Yegian, M. K., V. G. Ghahraman, and G. Gazetas (1994). “Seismological, soil and valley effects in Kirovakan, 1988 Armenia earthquake”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 120, No. 2, 349–365
3. Seed, H.B, J.L Alonso (1972). “Soil-structure interaction effects in the Caracas earthquake of 1967”
4. Graves, R.W (1993). “Modeling three-dimensional site response effects in the Marina District basin, San Francisco, California”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 83, No. 4, 1042-1063
5. Zhang, B., and A. S. Papageorgiou (1996). “Simulation of the response of the Marina District basin, San Francisco, California, to the 1989 Loma Prieta earthquake”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 86, No. 5, 1382–1400
6. Herrera, I. (1964). “A perturbation method for elastic wave propagation I. Nonparallel boundaries”, Journal of Geophysical Research, Vol. 69, 3845–3851
7. Tsai, N. C. (1969). “Influence of local geology on earthquake ground motion, California Institute of Technology, Pasadena, California”, <http://resolver.caltech.edu/CaltechEERL:1969.EERL.1969.002>
8. Aki, K., and K. L. Larner (1970). “Surface motion of layered medium having an irregular interface due to incident plane SH waves”, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, 933–954
9. Boore, D. (1970). “Love waves in non-uniform wave guides: Finite difference calculation”, Journal of Geophysical Research, Vol. 75, 1512–1527
10. Dezfulian, H. and Seed, H.B. “Seismic response of soil deposits underlain by sloping rock boundaries”, UCB/EERC-69/09, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1969-08, 43 pages, <http://nisee.berkeley.edu/documents/EERC/EERC-69-09.pdf>
11. Trifunac M.D. “Surface motion of a semi-cylindrical alluvial valley for incident plane SH waves”, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 61, No. 6, pp. 1755-1770
12. Wong H.L. And Trifunac M.D. “Surface motion of a semi-elliptical alluvial valley for incident plane SH waves”, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 64, No. 5, pp. 1389-1408

13. Sánchez-Sesma, F. J., and F. Luzón (1995). “Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 85, No. 1, 269–284.
14. Sánchez-Sesma, F. J., J. Ramos-Martinez, and M. Campillo (1993). “An indirect boundary element method applied to simulate the seismic response of alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. Vol 22, 279–295
15. Bard, P.-Y., and M. Bouchon (1980a). “The seismic response of sedimentfilled valleys. Part 1. The case of incident SH waves”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 70, 1263–1286
16. Bard, P. Y., and M. Bouchon (1980b). “The seismic response of sedimentfilled valleys. Part 2. The case of incident P and SV waves”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 70, No. 5, 1921–1941
17. Hill, J., H. Benz, M. Murphy, and G. Schuster (1990). “Propagation and Resonance of the SH waves in the Salt Lake Valley”, *Utah, Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 80, No. 1, 23–42
18. Gelagoti, F., R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, T. Tazoh, and G. Gazetas (2010). “Seismic wave propagation in a very soft alluvial valley: Sensitivity to ground-motion details and soil nonlinearity, and generation of a parasitic vertical component”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 100, No. 6, 3035–3054
19. CEN, European Committee for Standardisation TC250/SC8/ (2003) Eurocode 8 “Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1.1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, PrEN1998-1
20. Μέλλιος και Τέττα (2010) “Γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους υπό πραγματικές σεισμικές διεγέρσεις” Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Π.Θ
21. Rovithis E.N., Parashakis H. and Mylonakis G.E. (2010). “1D harmonic response of layered inhomogeneous soil: Analytical investigation”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31 879–890
22. Zengxi Ge (2010). “Simulation of the seismic response of sedimentary basins with constant-gradient velocity along arbitrary direction using boundary element method: SH case”, *Earthquake Science*, Volume 23, Issue 2, pp 149-155
23. Luzon F., Ramirez L., Sanchez-Sesma F. J. and Posadas A. (2004). “Simulation of the Seismic Response of Sedimentary Basins with Vertical Constant-Gradient Velocity for Incident SH Waves”, *Pure and Applied Geophysics*, Volume 161, Issue 7, pp 1533-1547

24. Luzon F., Sanchez-Sesma F. J., Perez-Ruiz J.A, Ramirez-Guzman L. and Pech A. (2008). “In-plane seismic response of inhomogeneous alluvial valleys with vertical gradients of velocities and constant Poisson ratio”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29 994–1004
25. Bard P-Y, Gariel J-C (1986). “The seismic response of two-dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradients. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 76, No. 2, pp. 343-346
26. Wang Y, Takenaka H, Furumura T (2000). “Effect of vertical gradient on groundmotion in a sediment-filled basin due to incident SV wave. *Earth, Planets and Space* 52, 13–24
27. Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>
28. Dobry R., Oweis I. and Urzua A. (1976), “Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.66, No.4, pp. 1293 1321

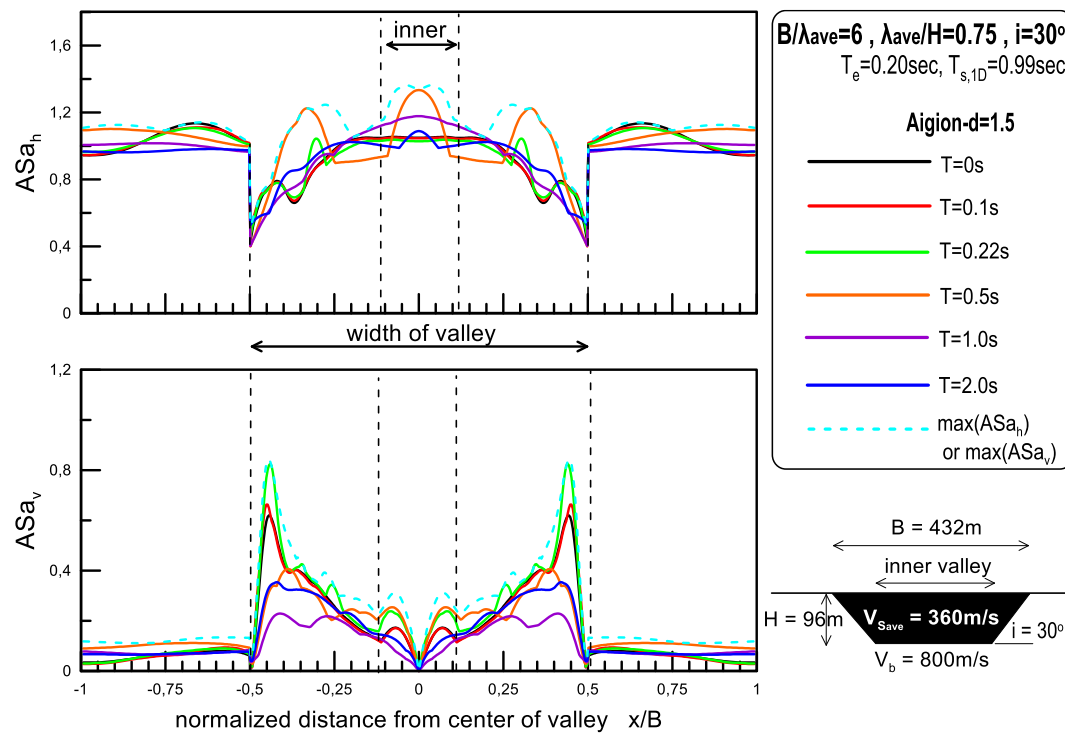
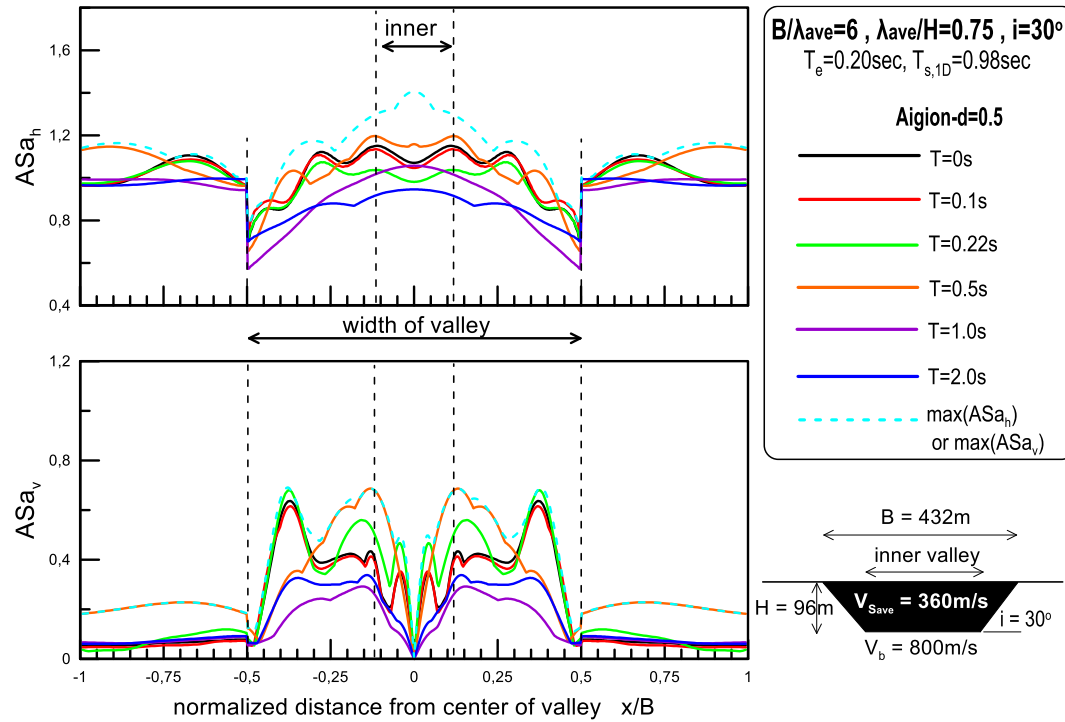
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΩΝ ΕΔΑΦΙΚΑ ΛΕΚΑΝΩΝ

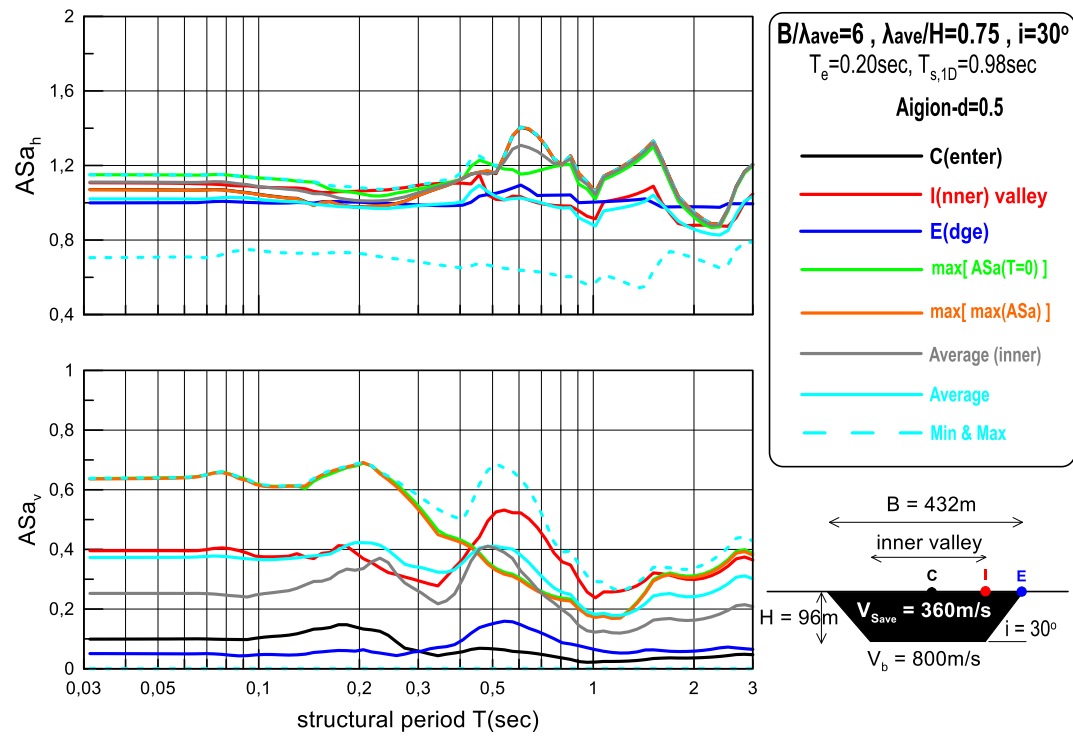
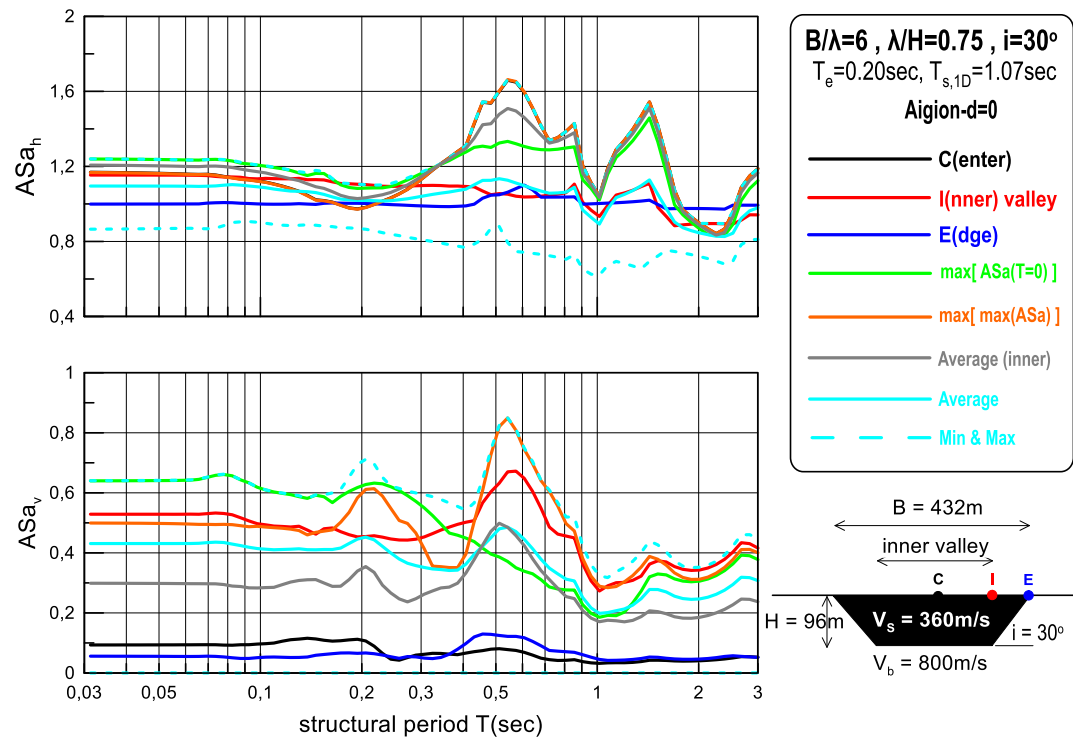
ΣΤΕΝΗ ΚΟΙΛΑΔΑ (B/H=4.5)

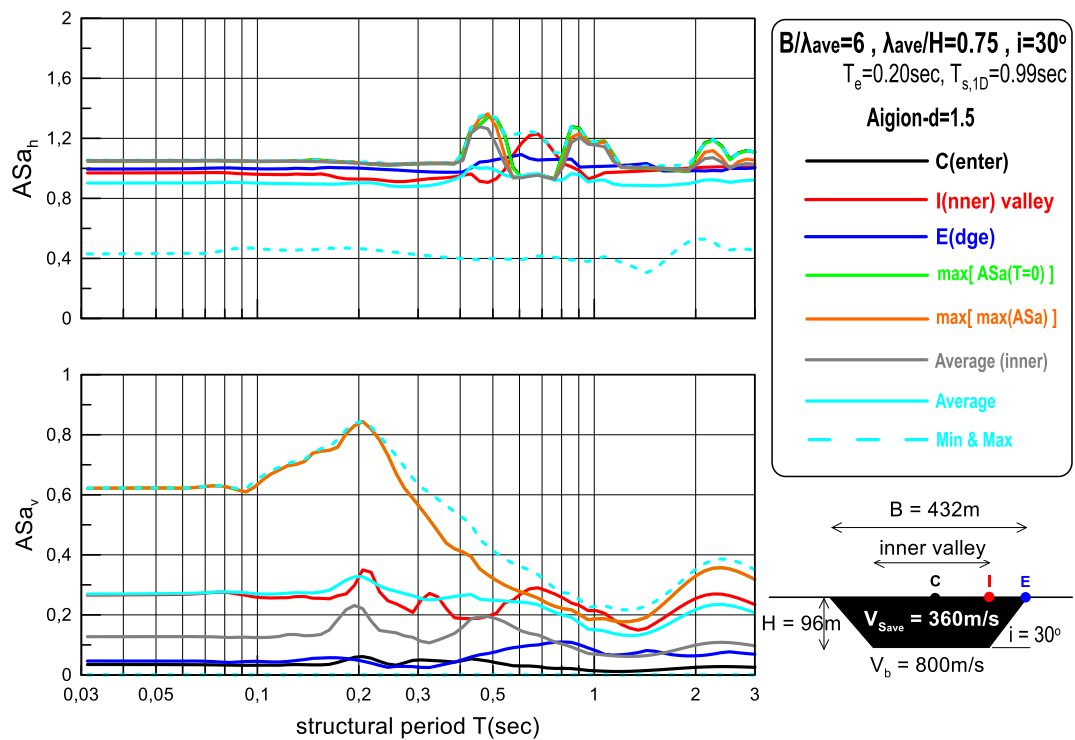
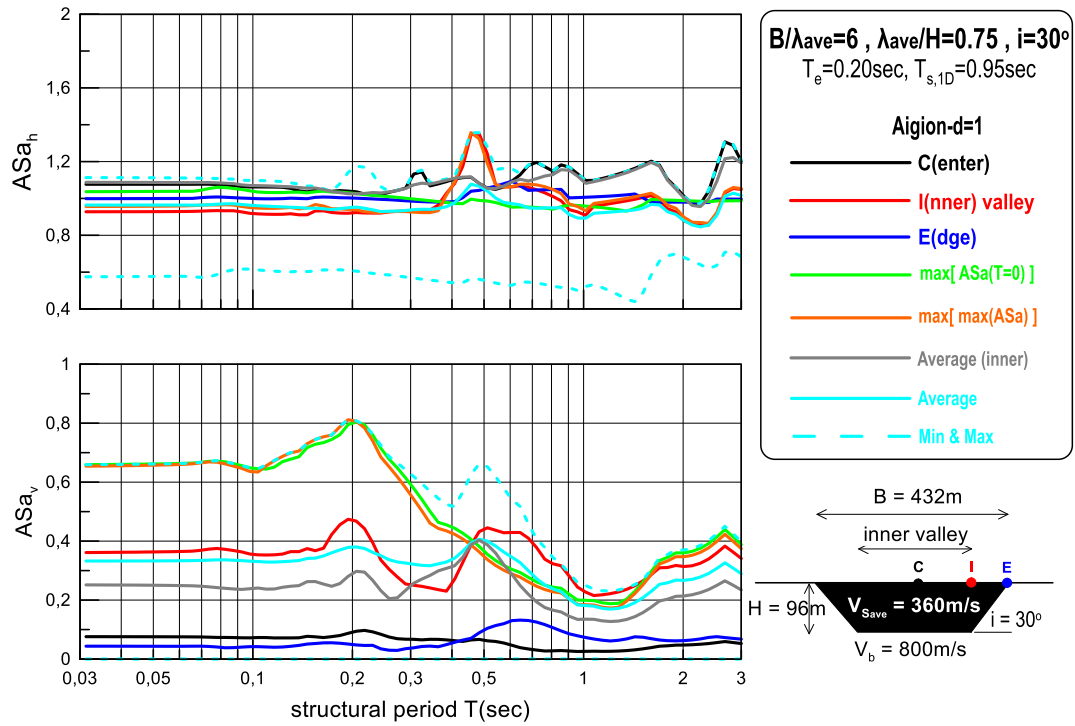
- **ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.2$ sec)**

Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης

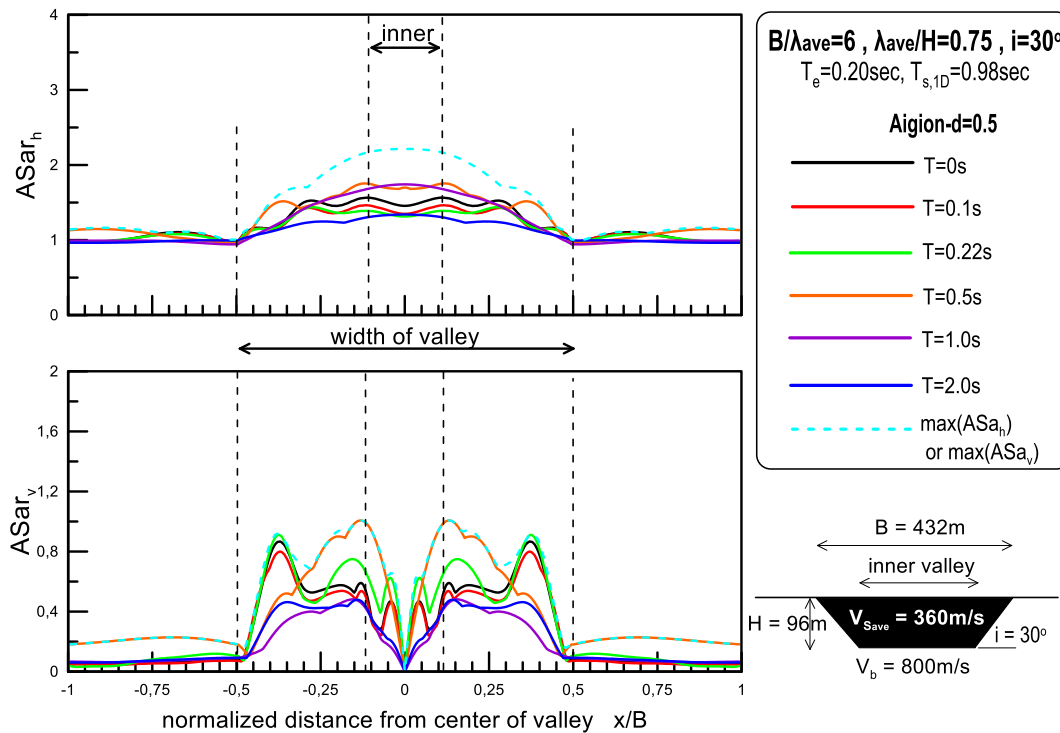
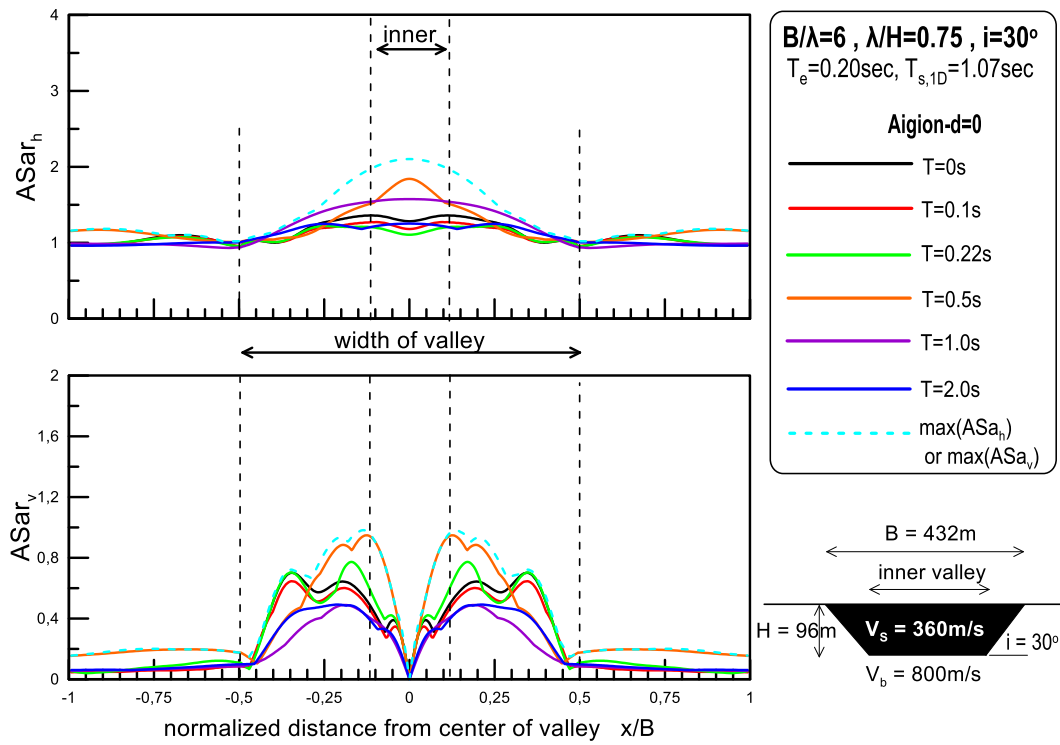


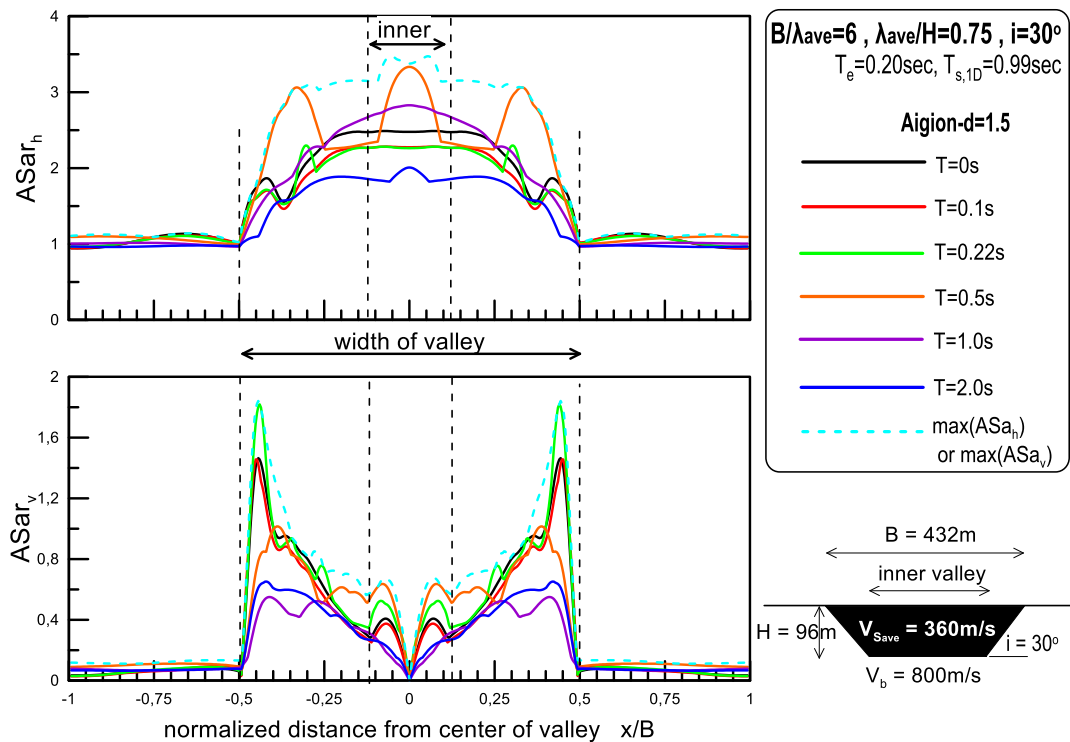
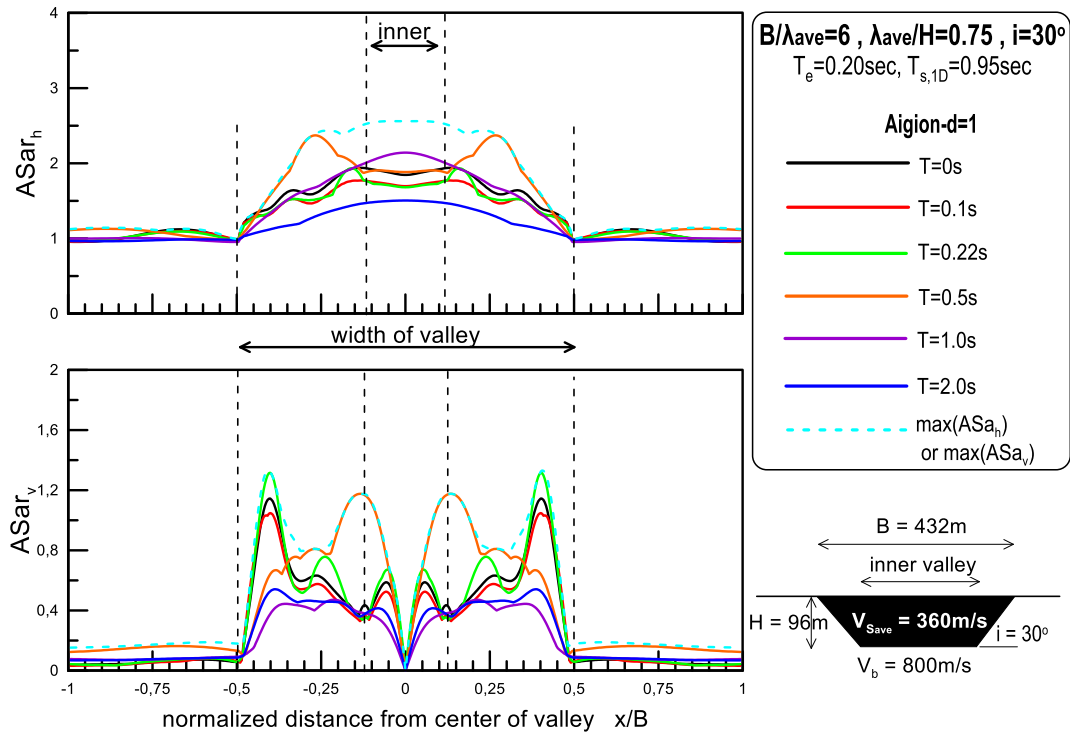
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης



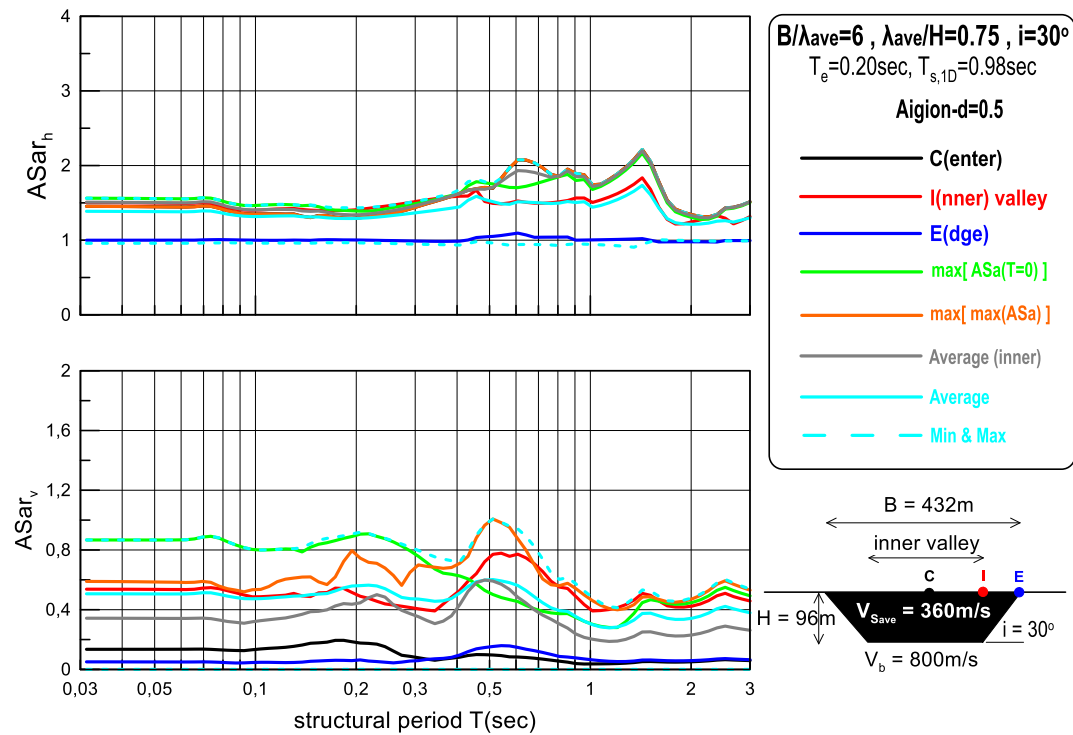
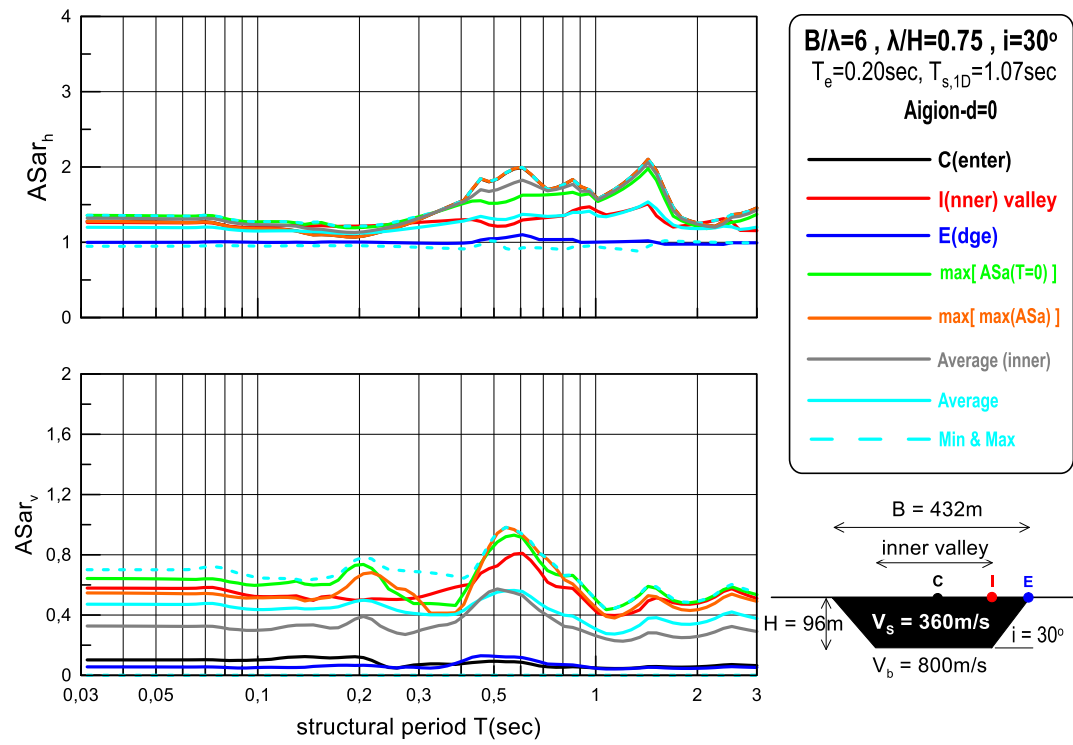


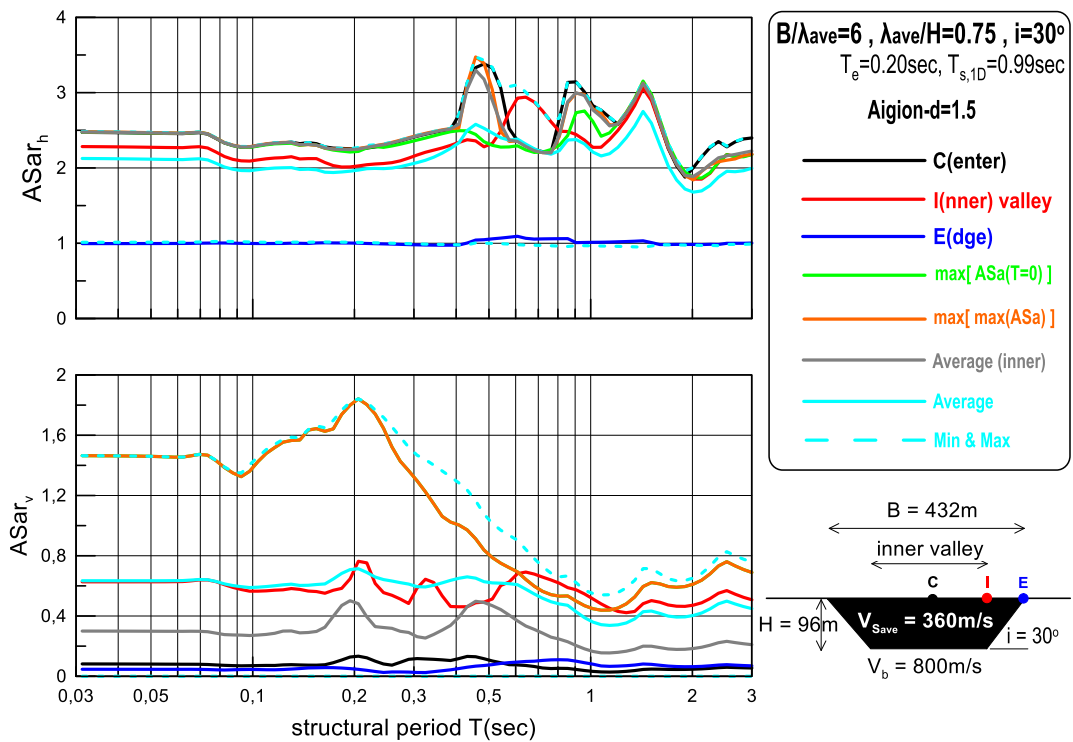
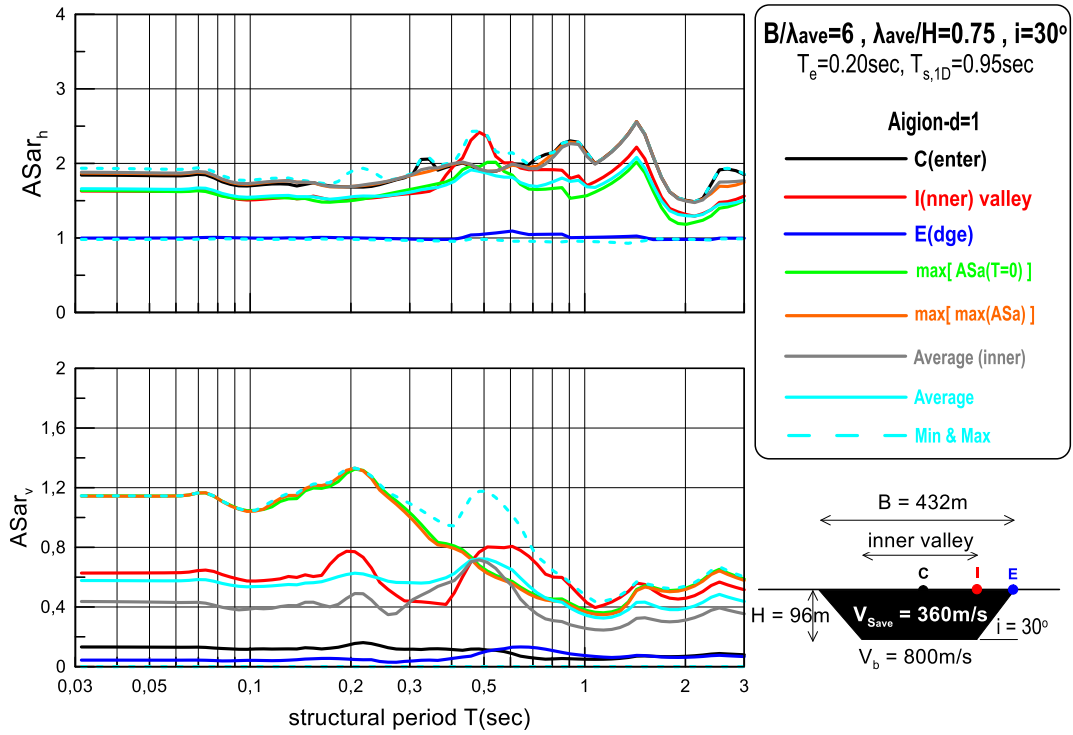
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο





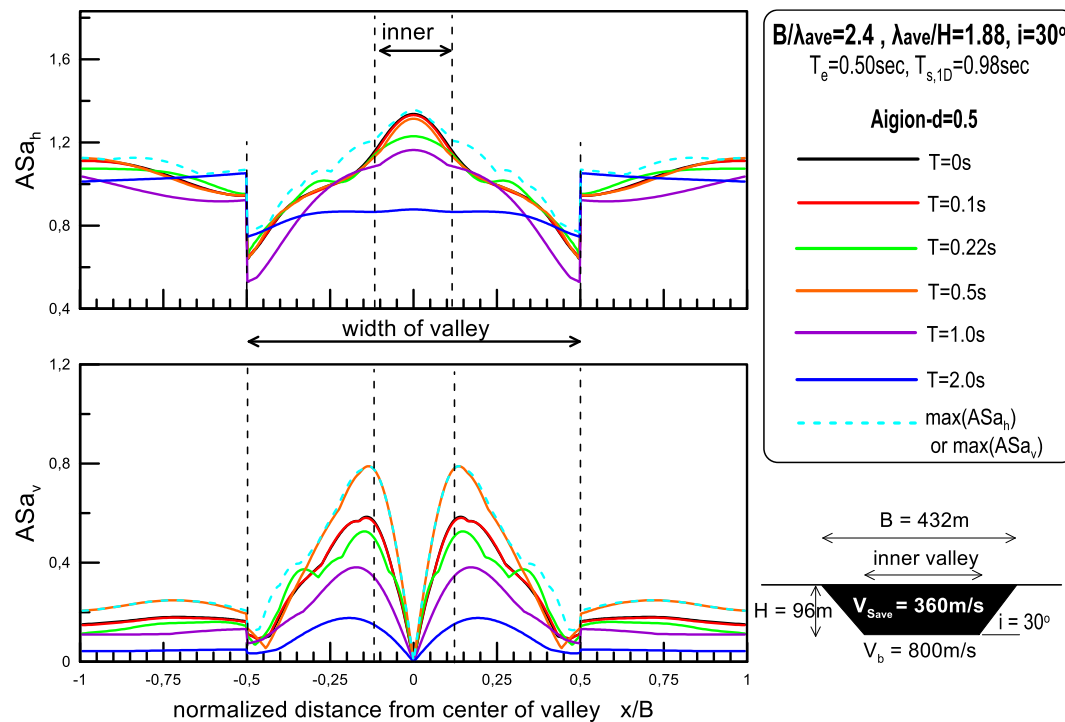
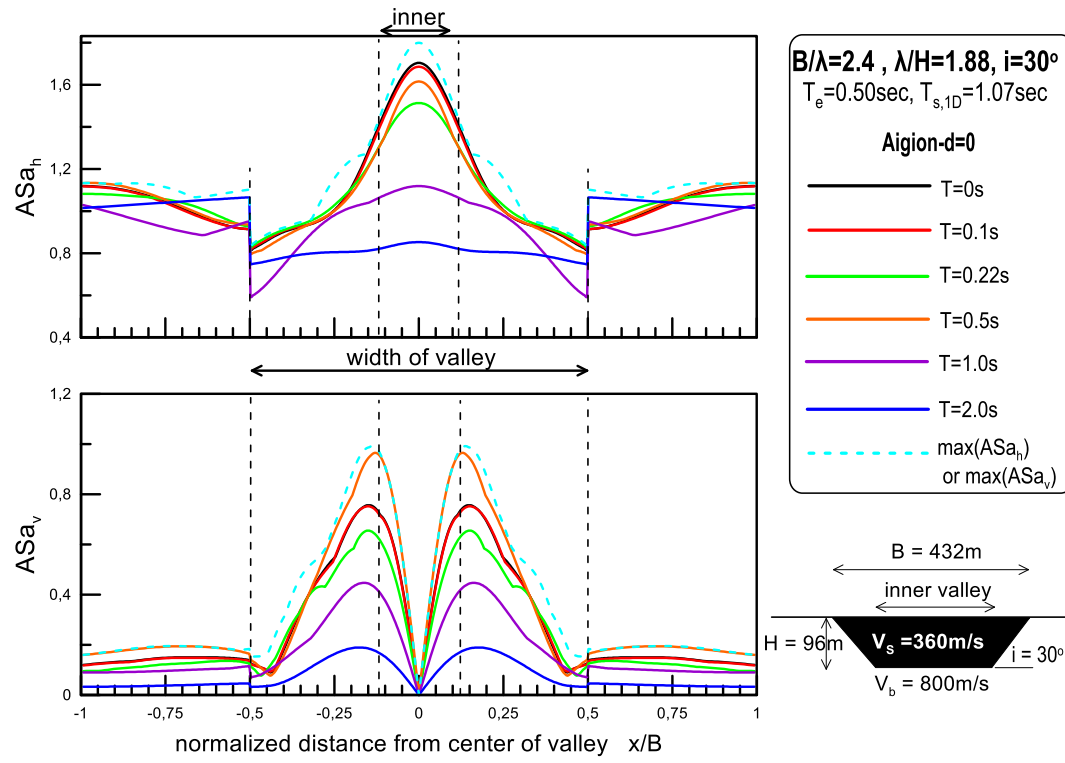
Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο

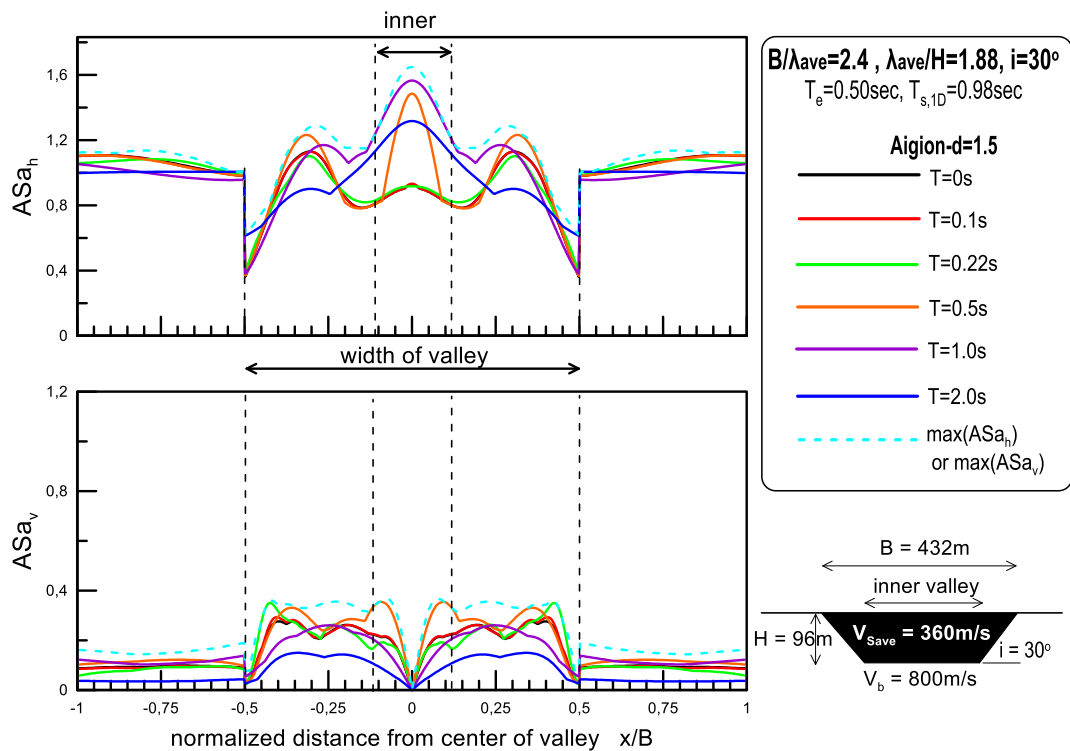
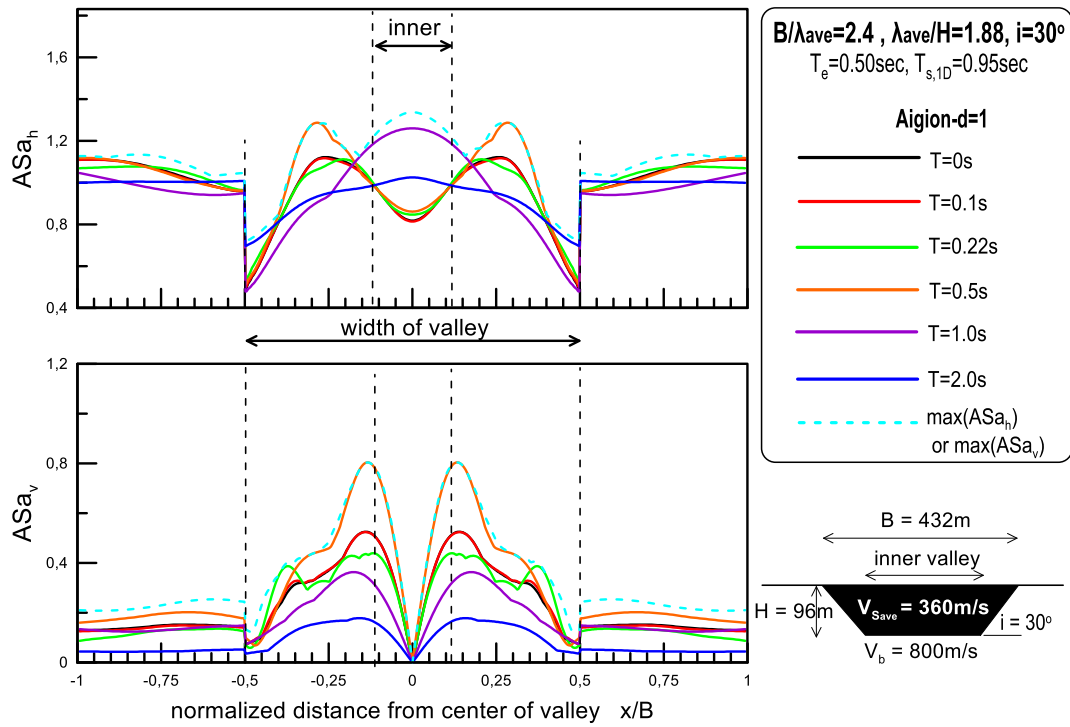




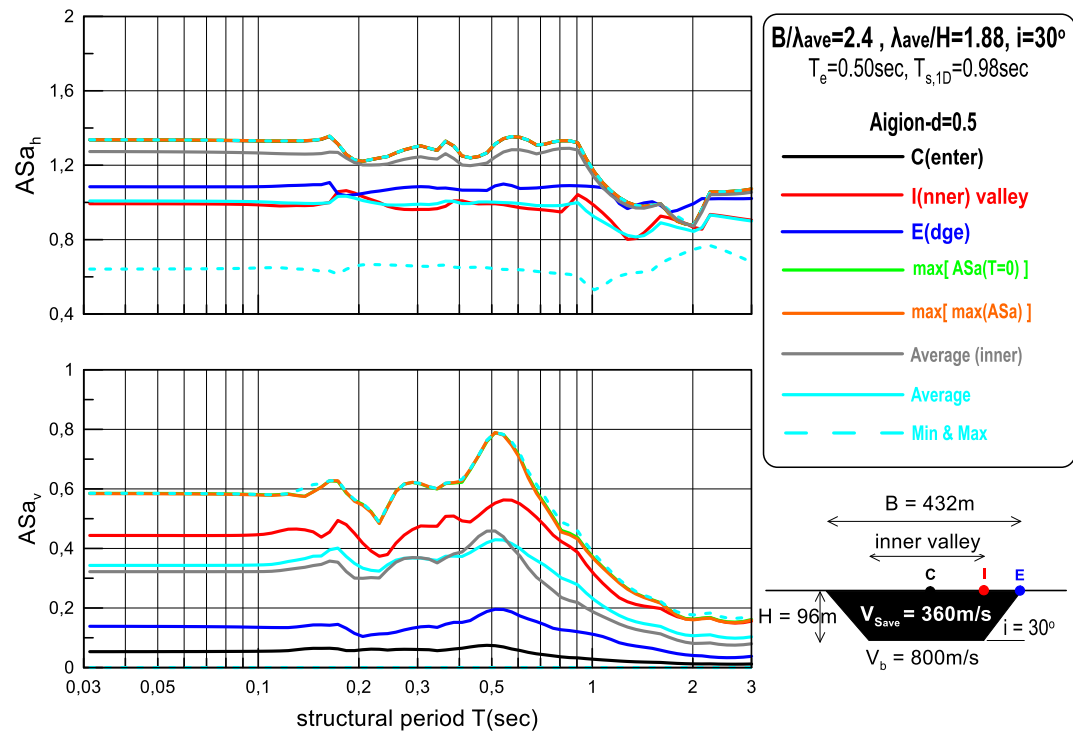
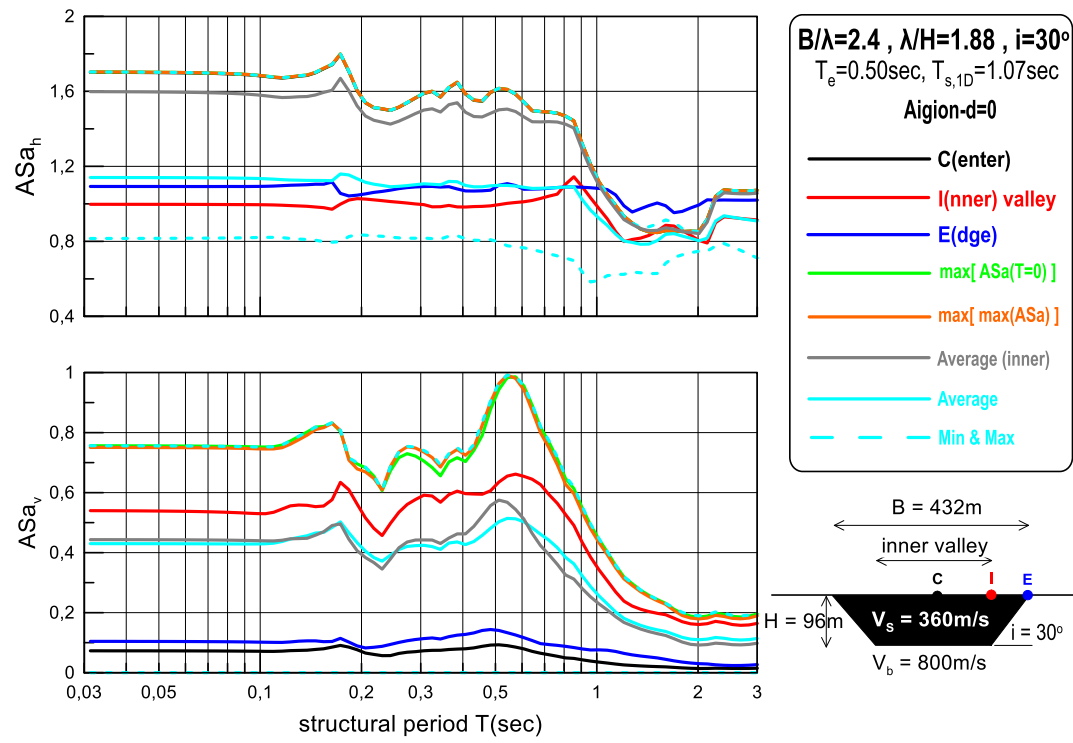
• **ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.5$ sec)**

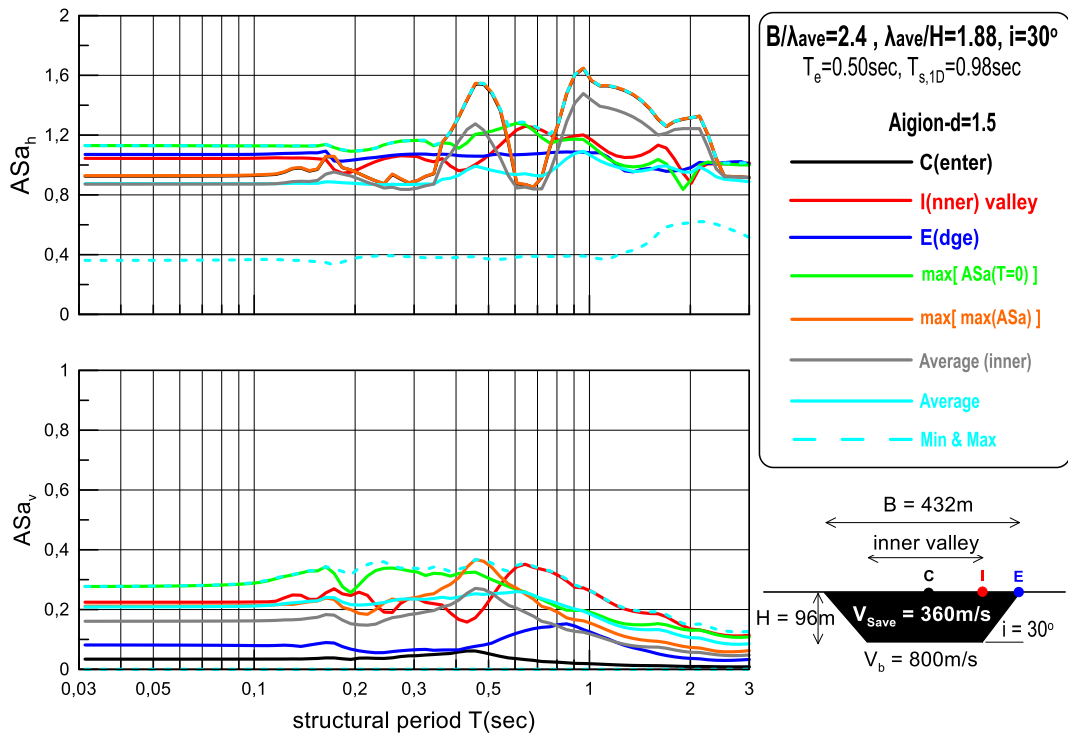
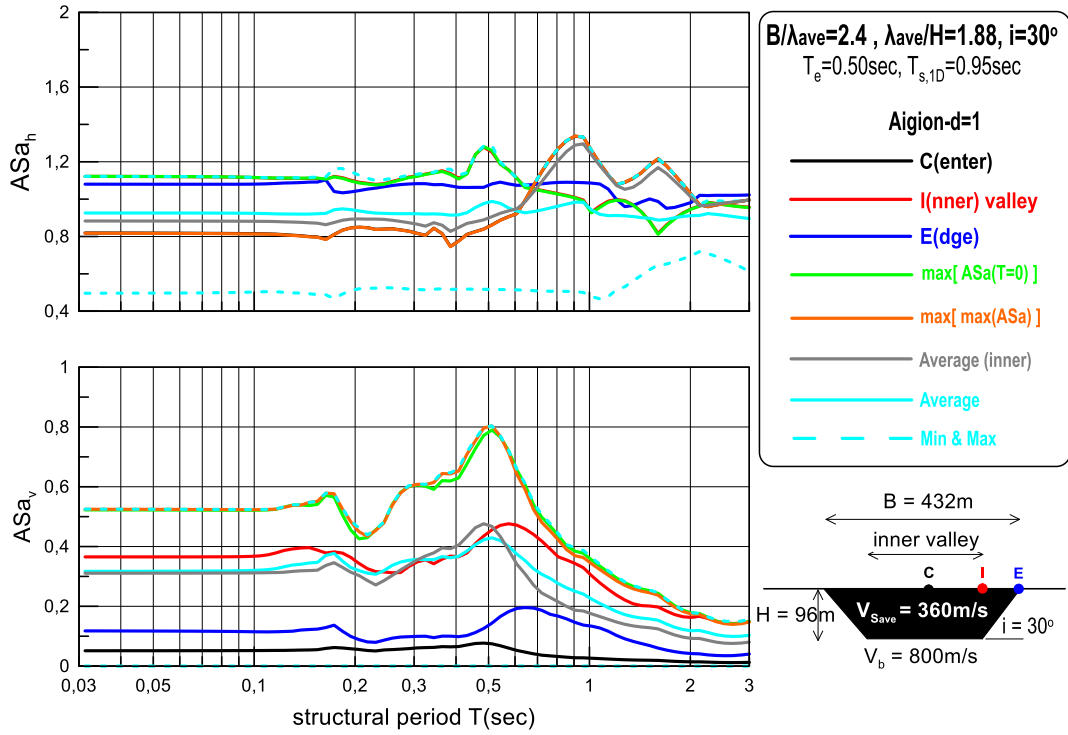
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης



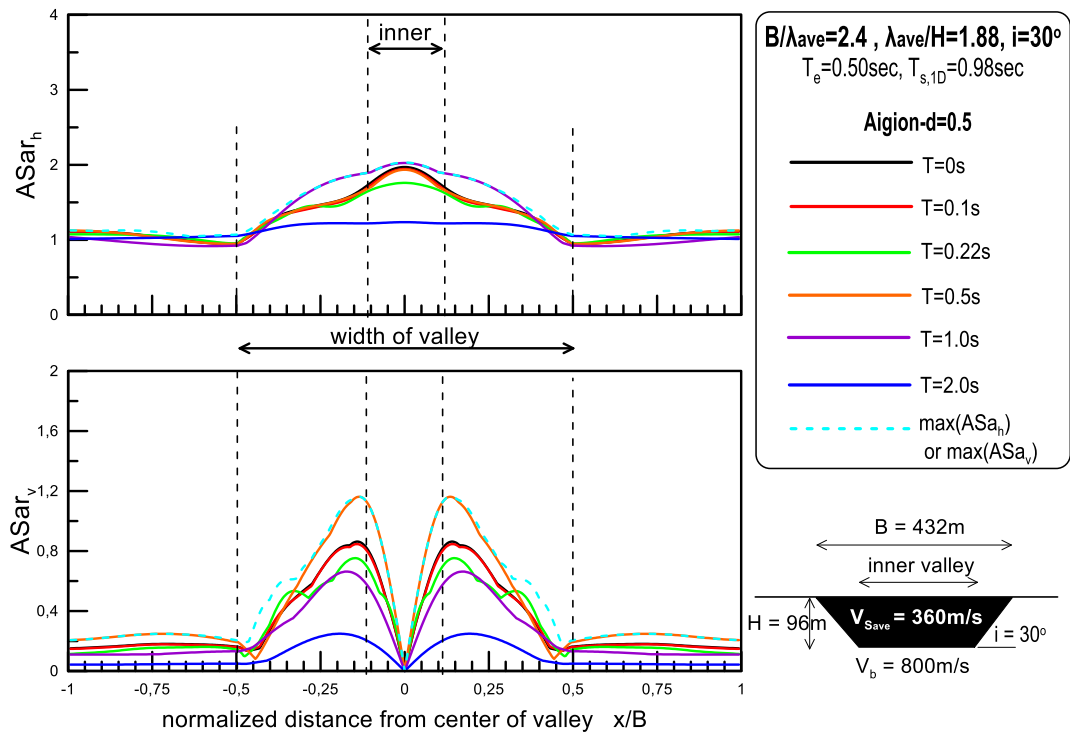
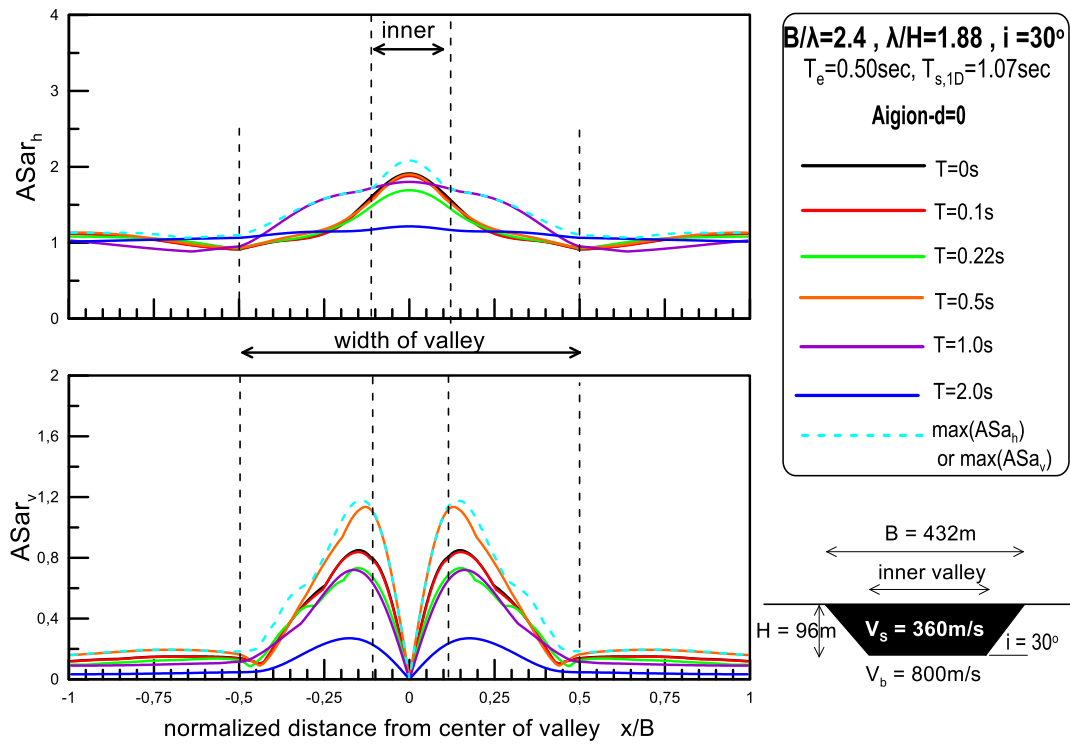


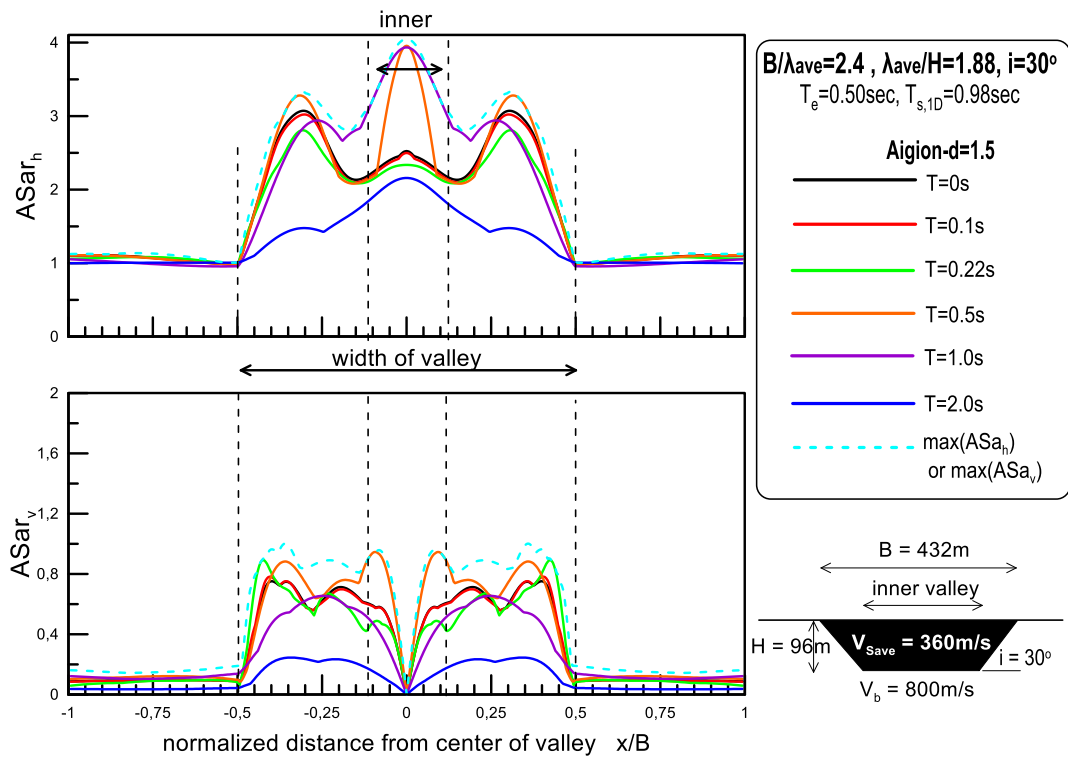
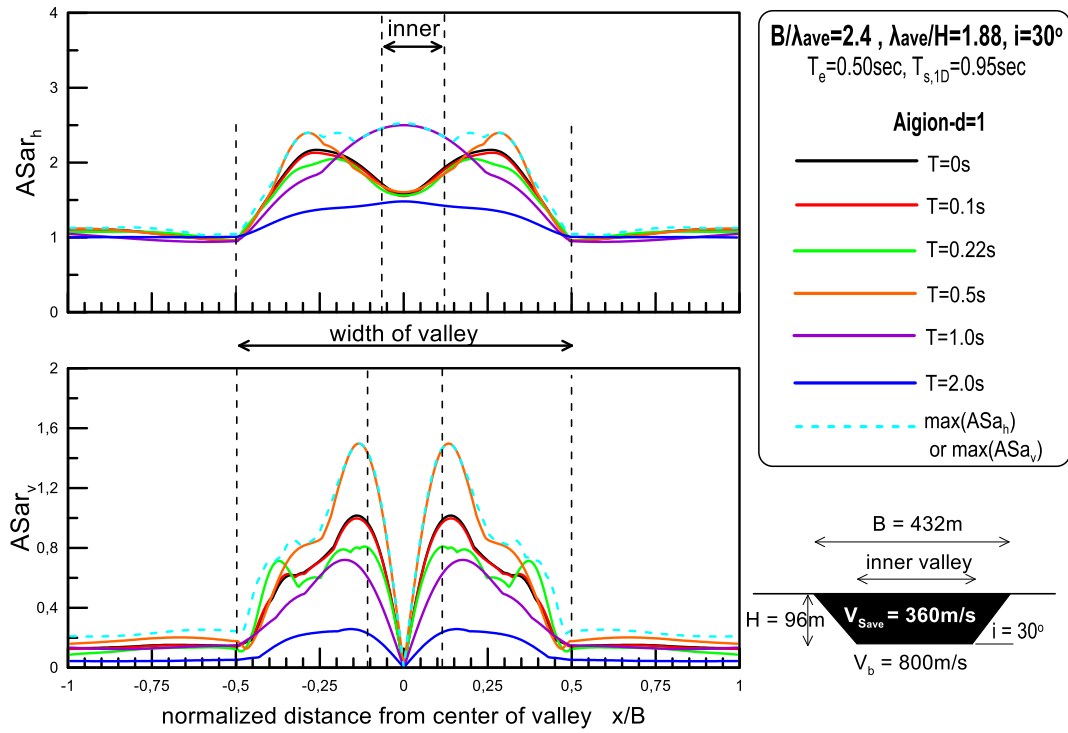
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης



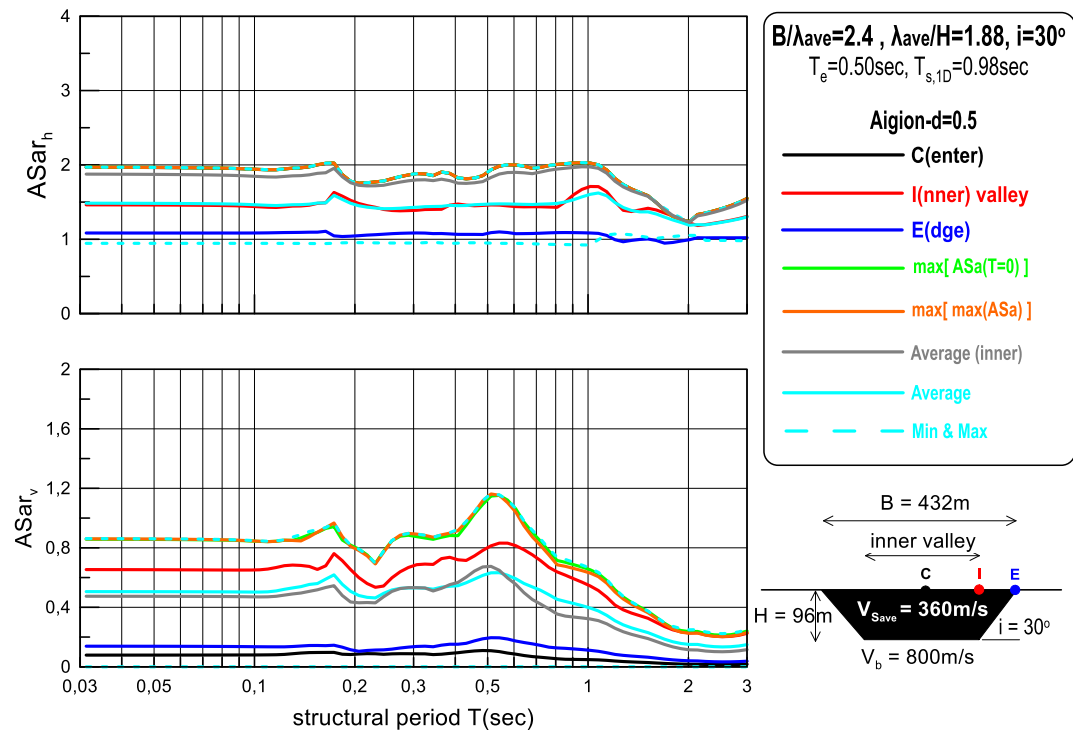
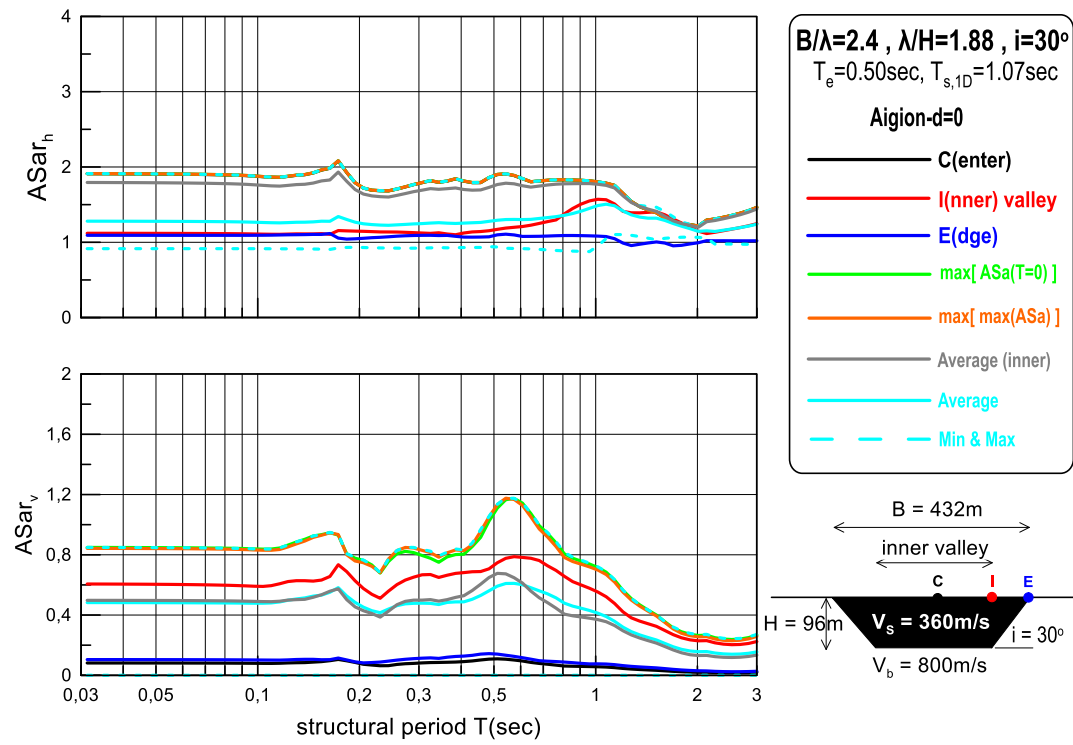


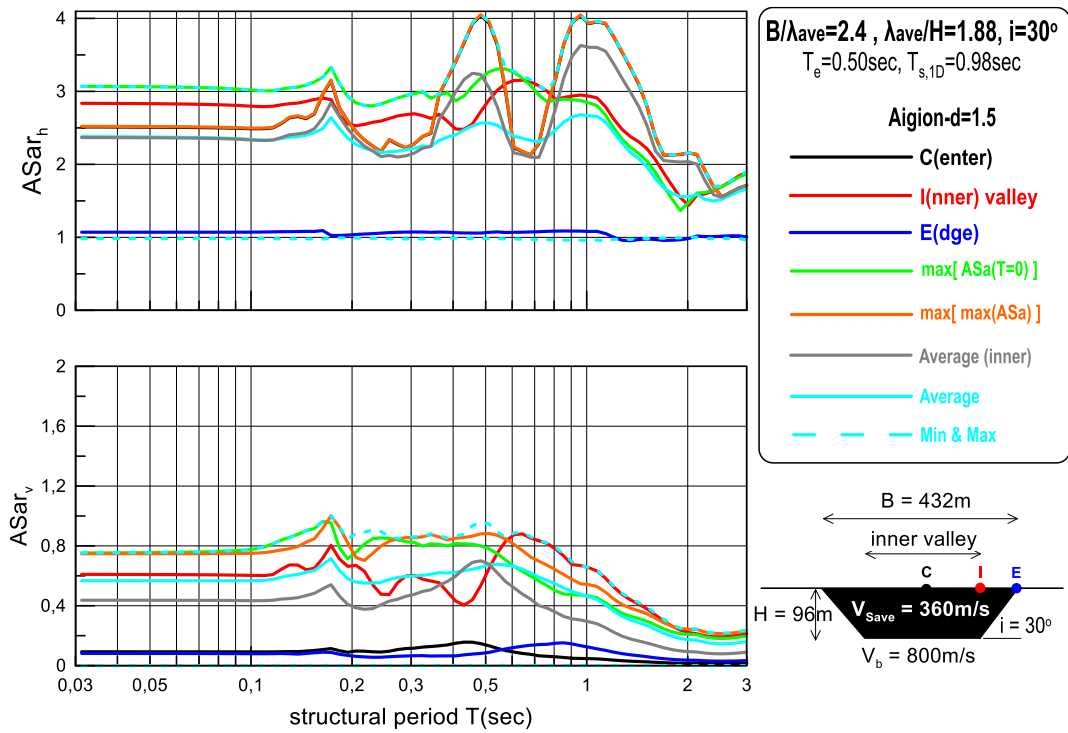
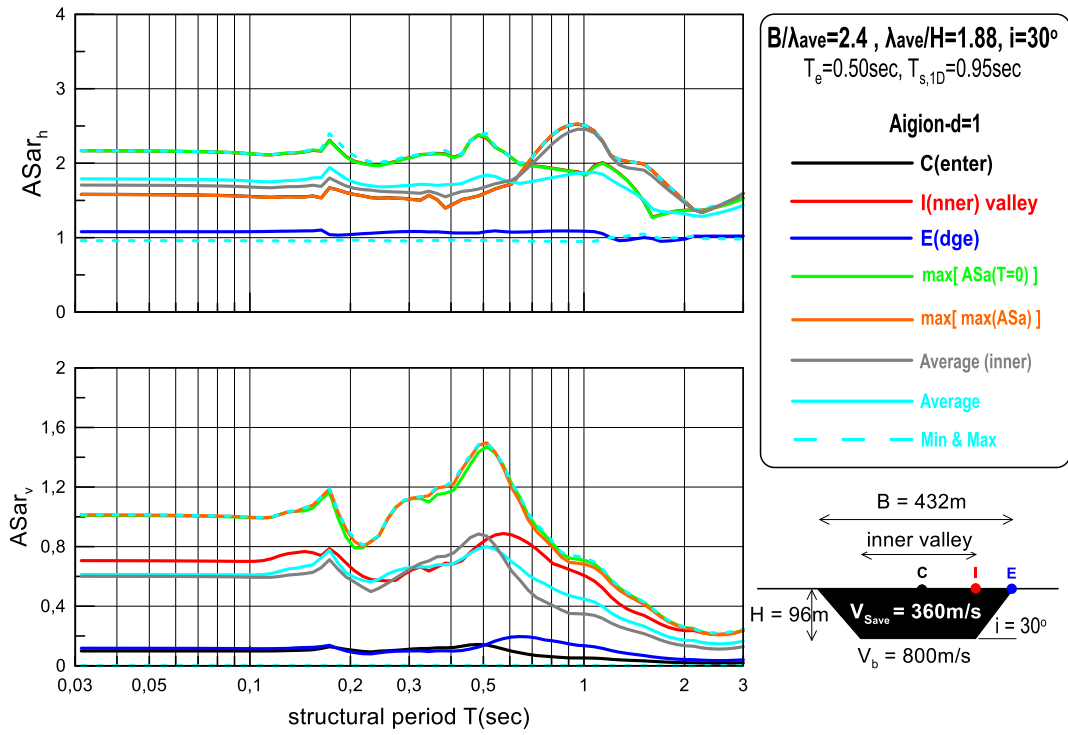
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο





Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο

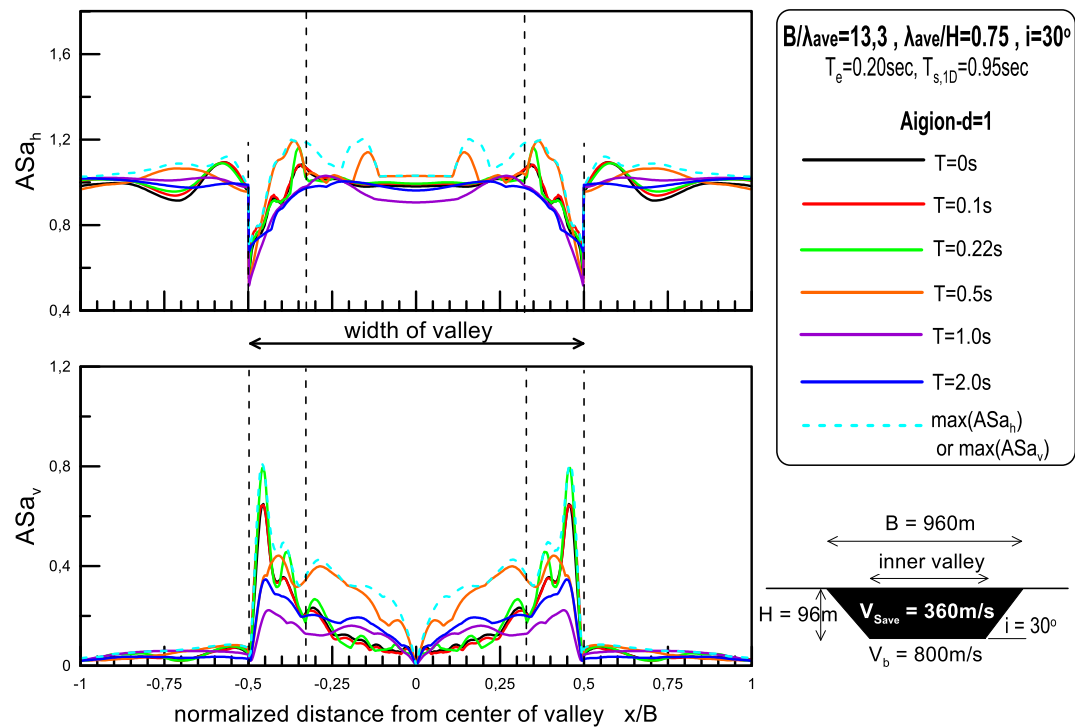
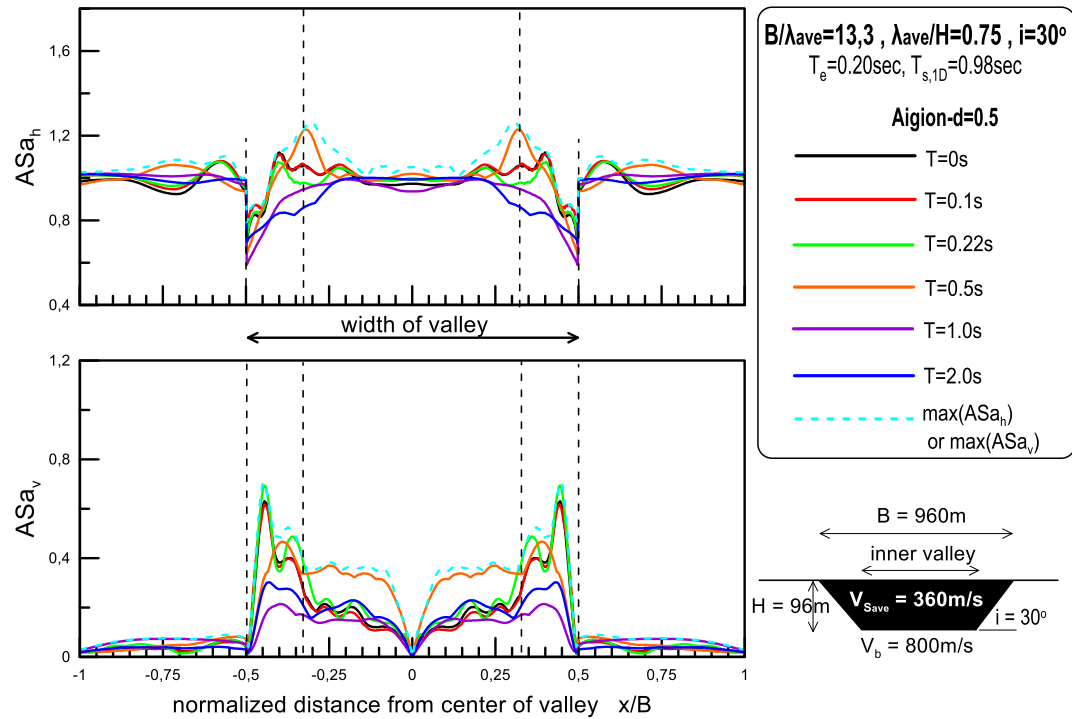




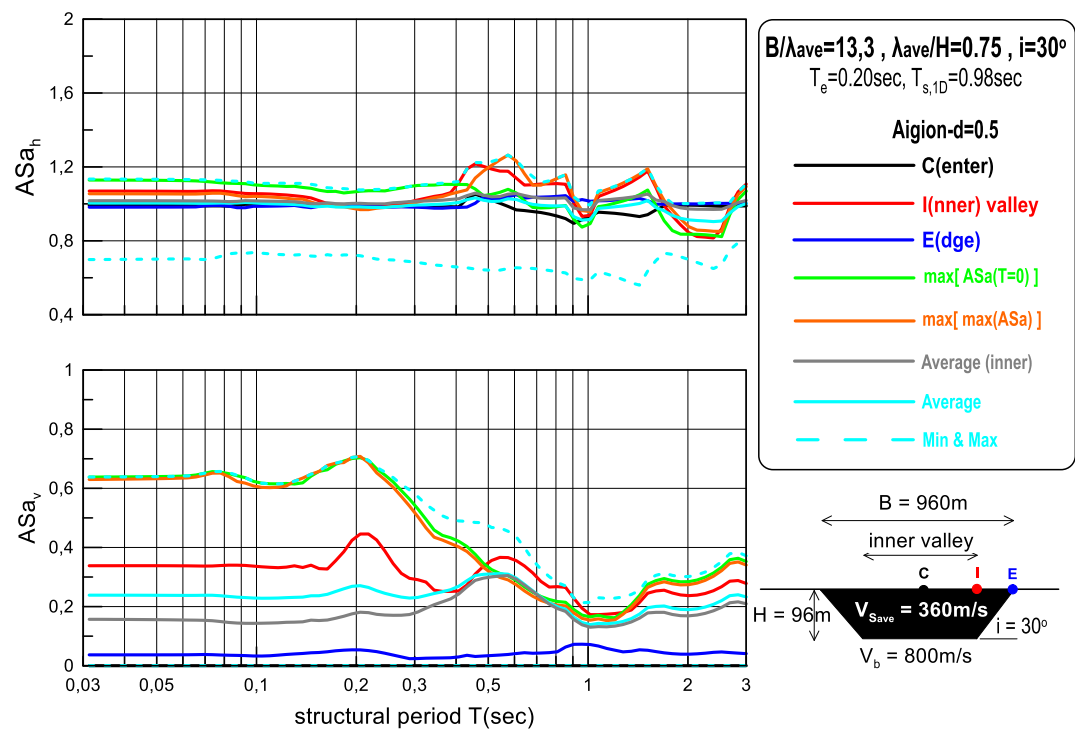
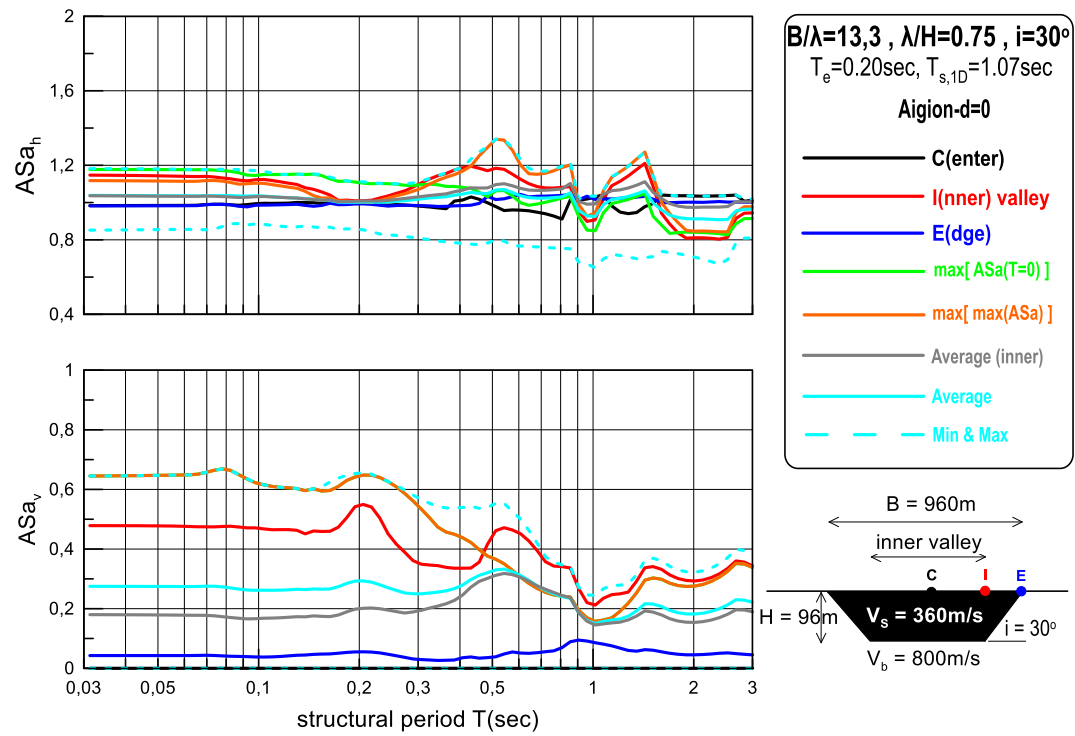
ΠΛΑΤΙΑ ΚΟΙΛΑΔΑ

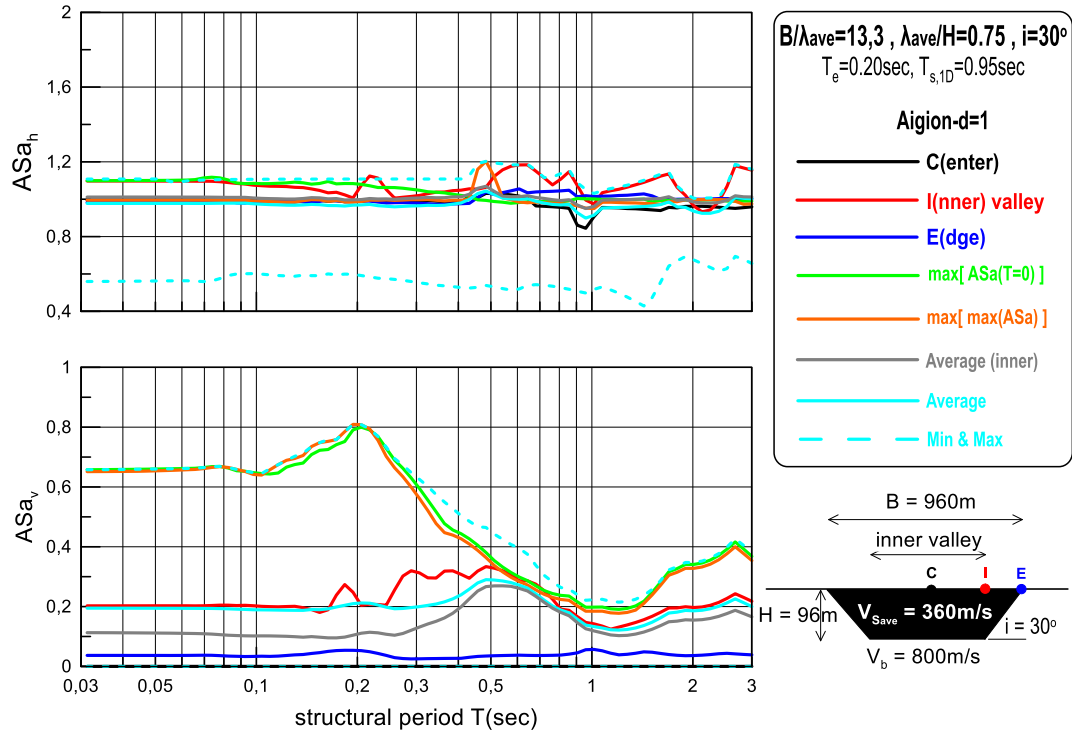
- **ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.2$ sec)**

Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης

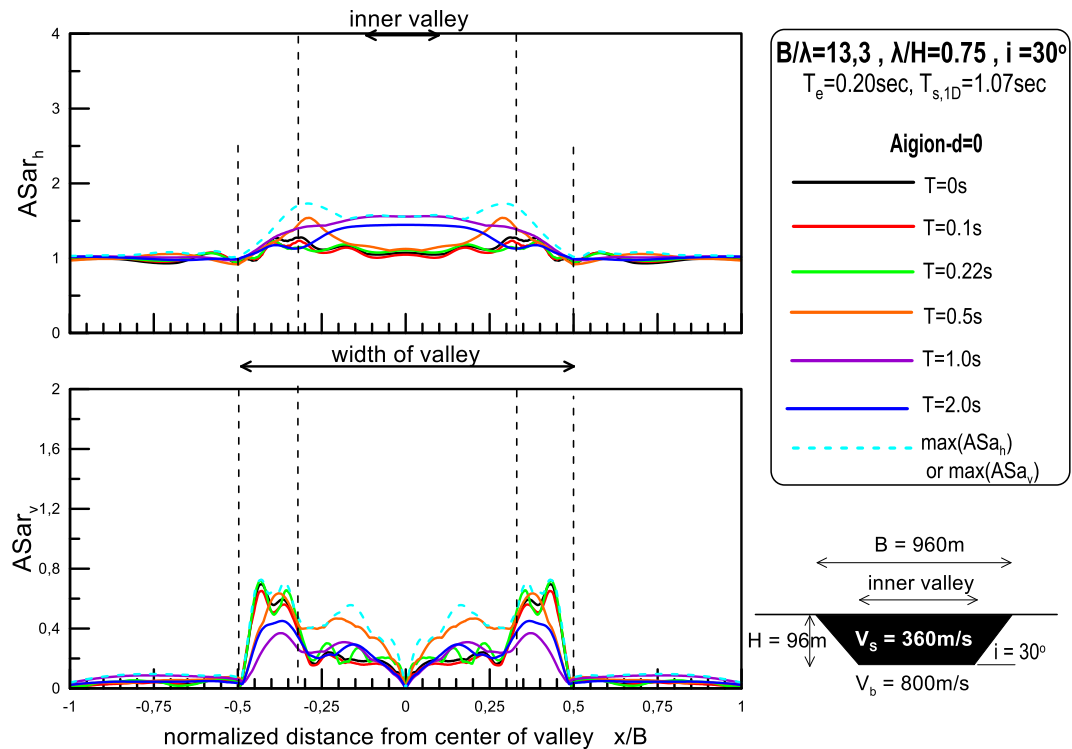


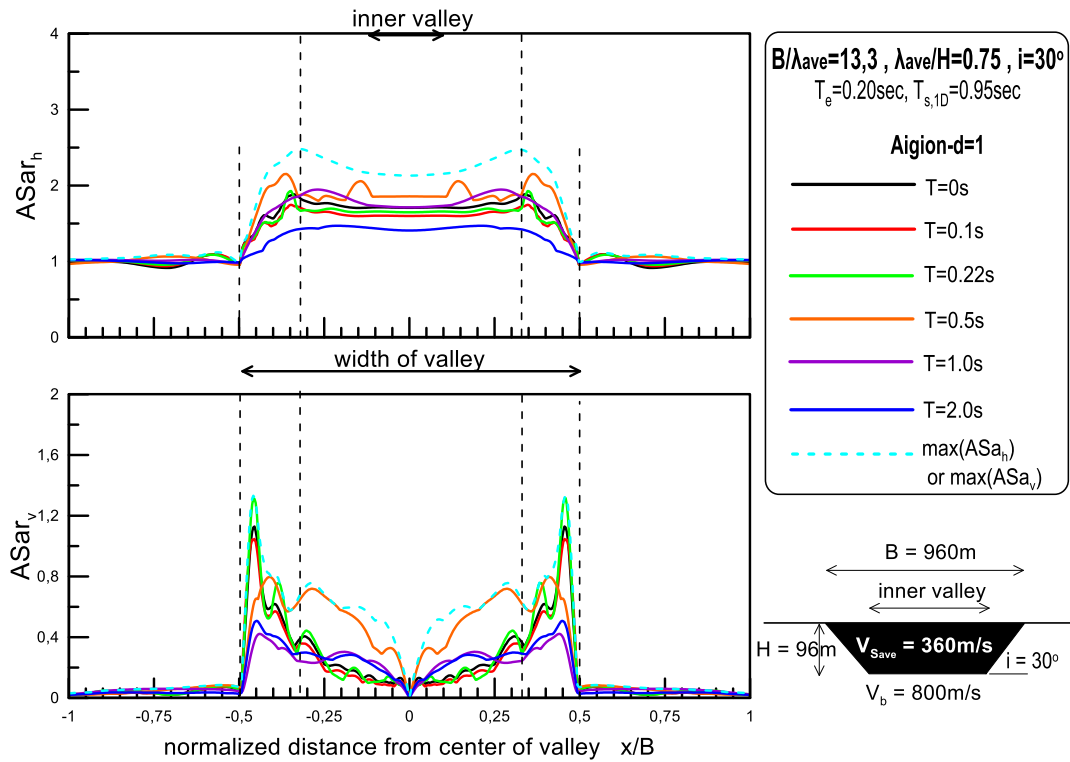
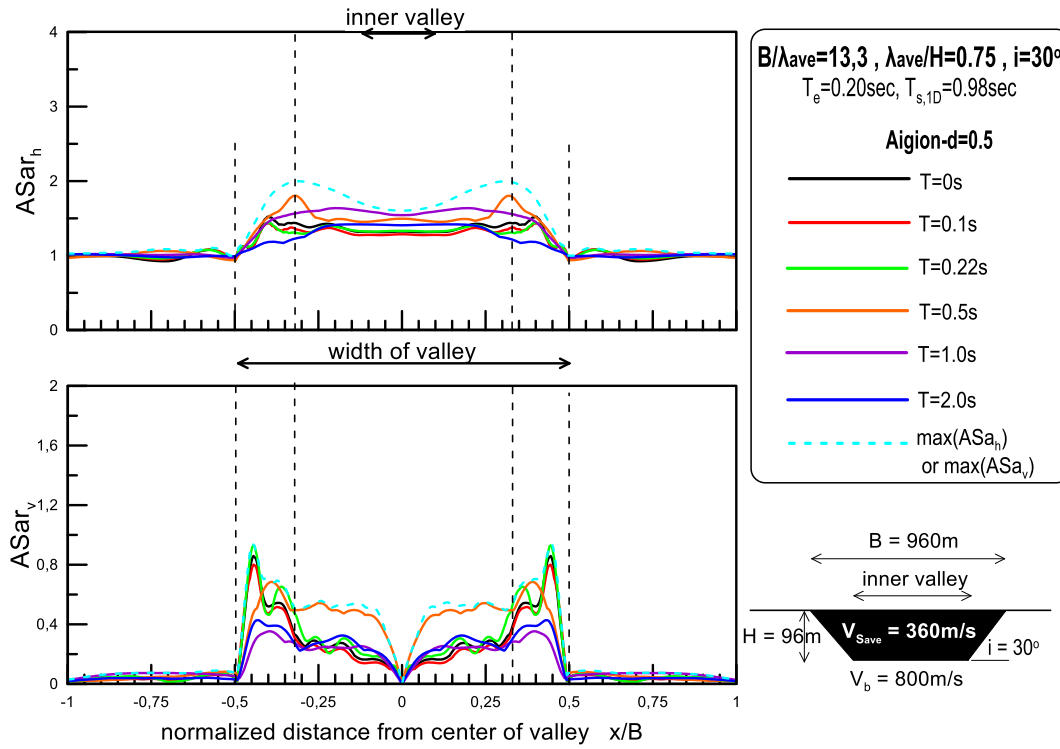
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης



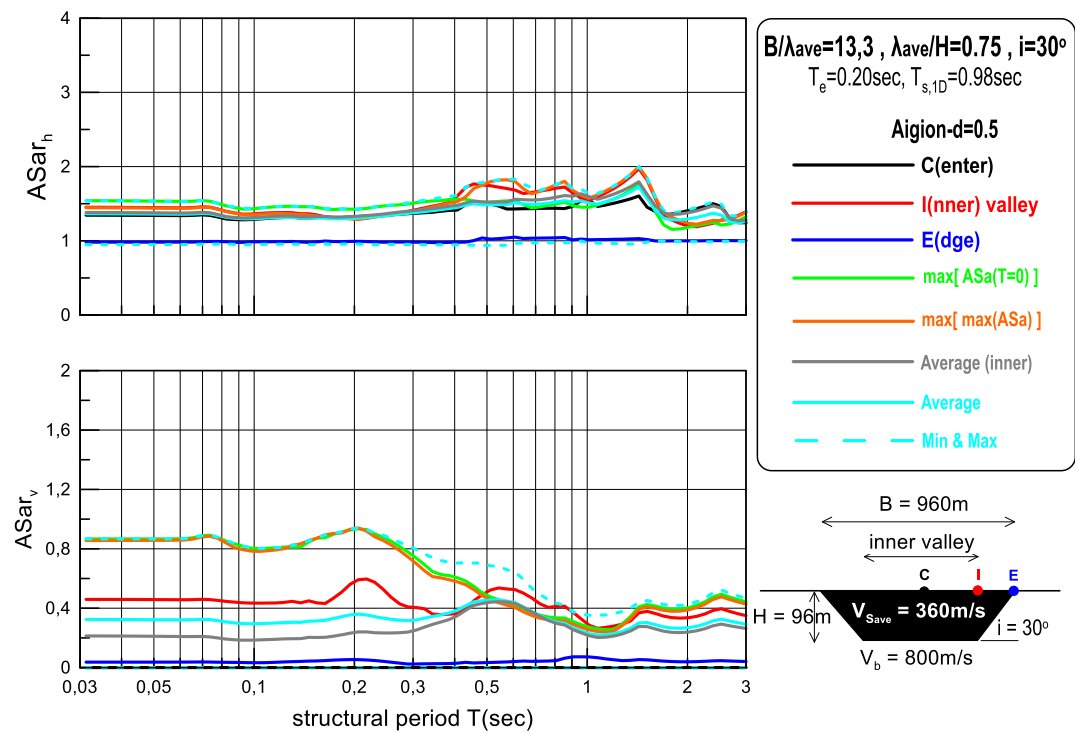
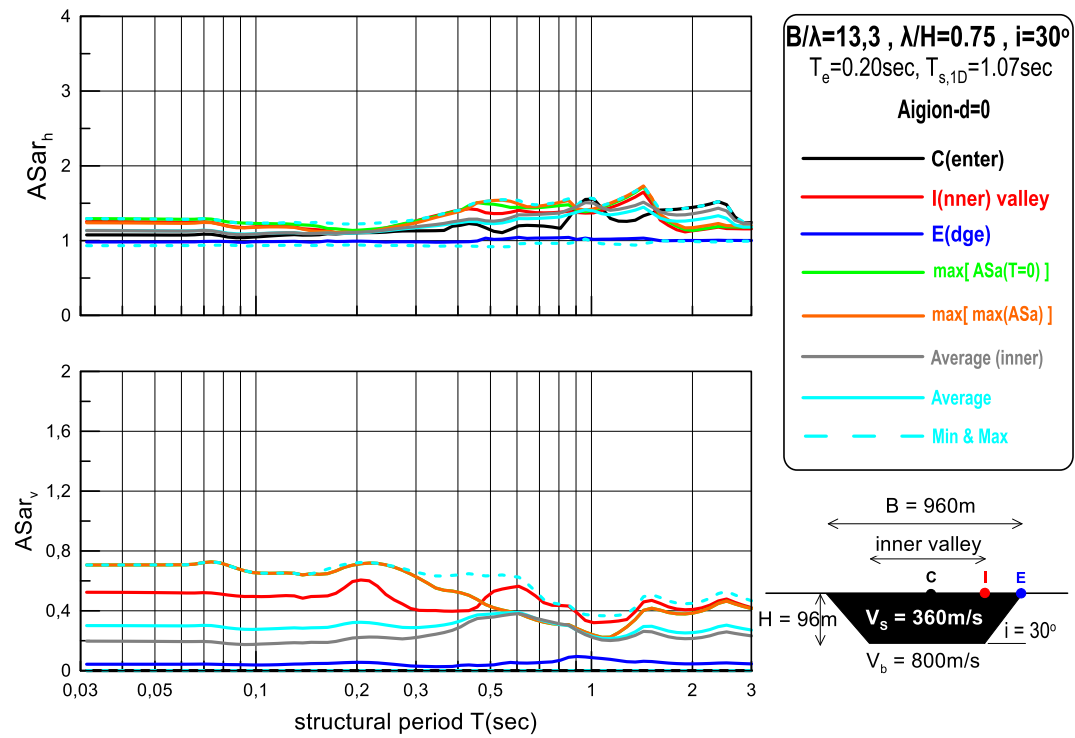


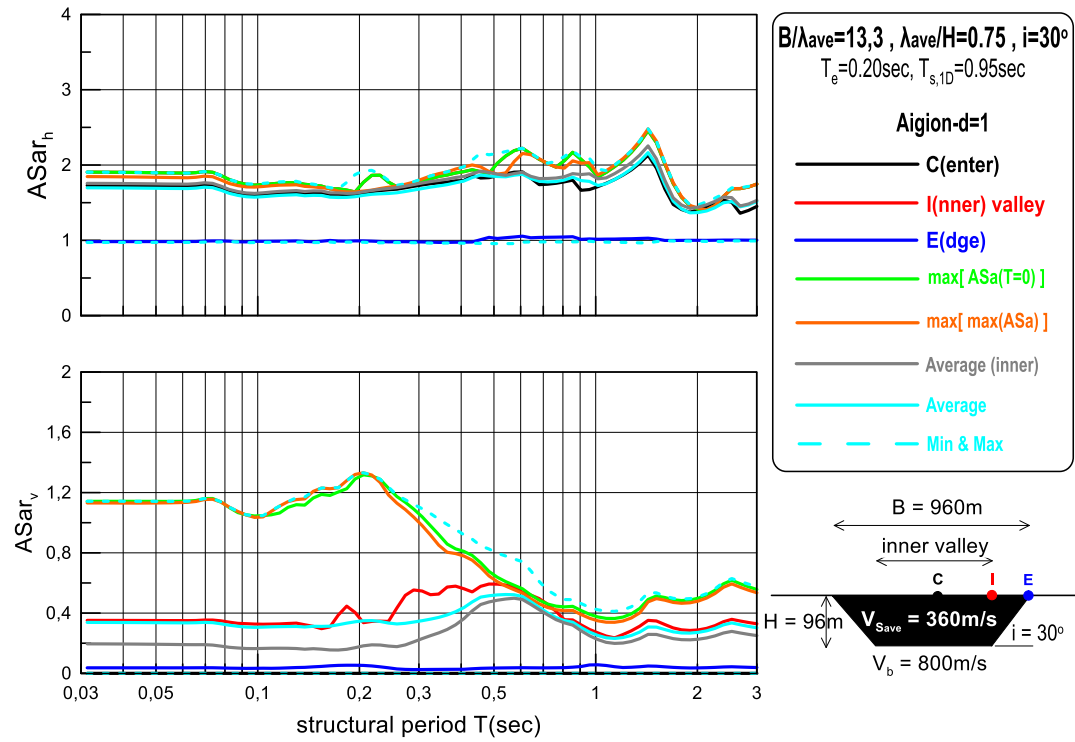
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο





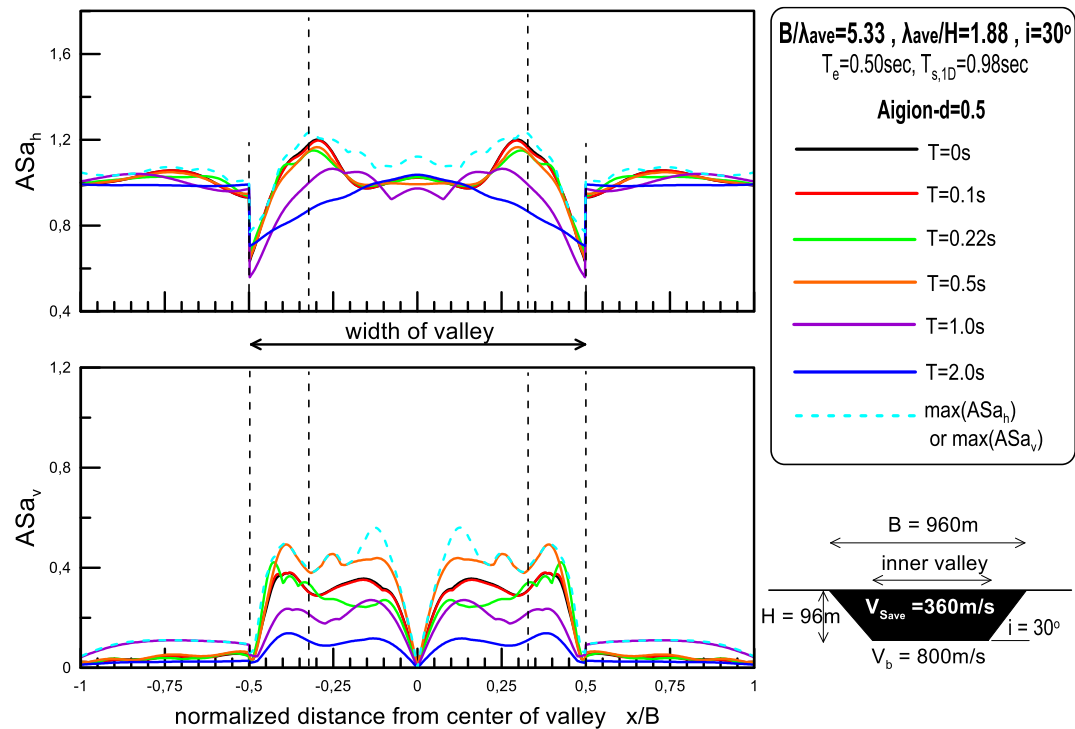
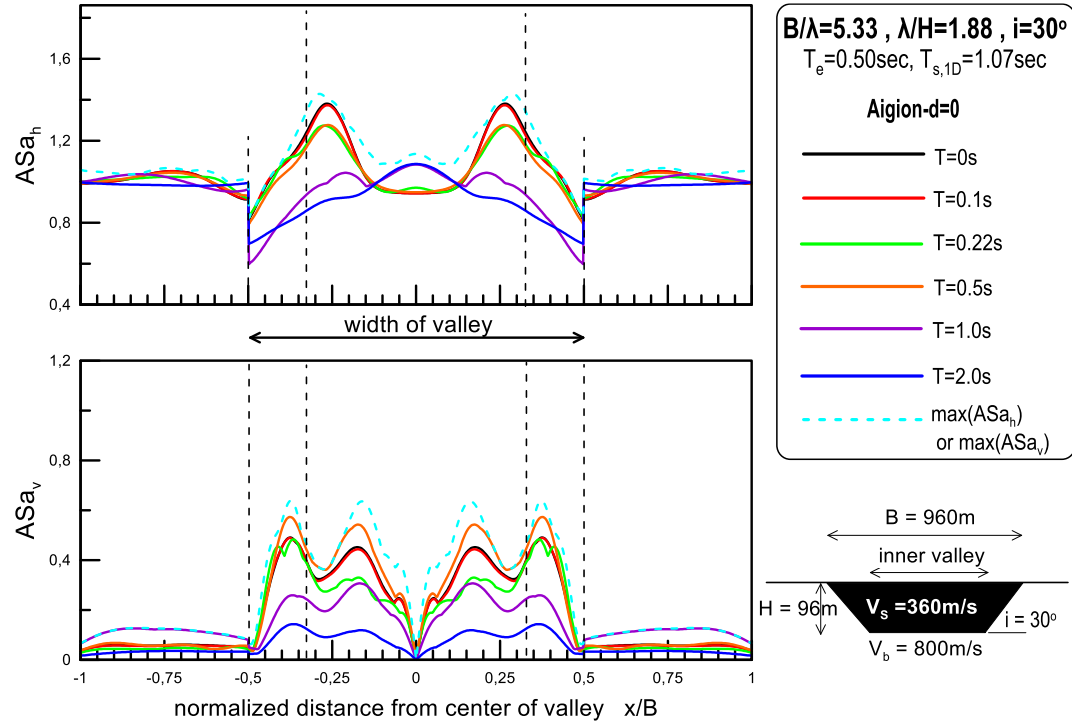
Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο

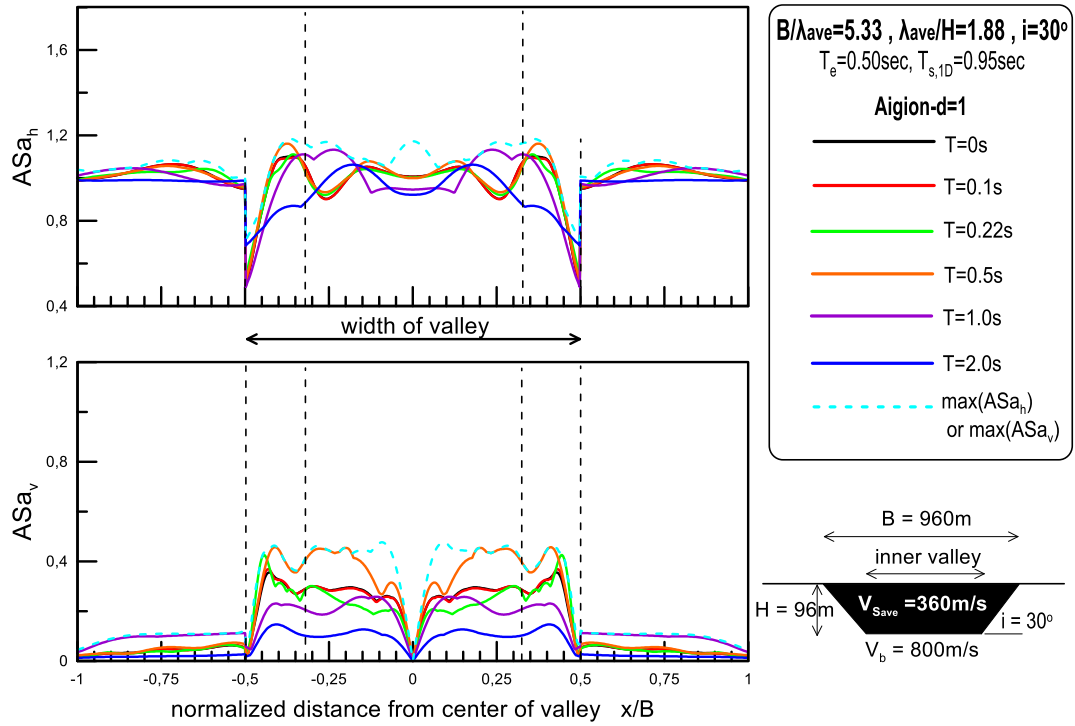




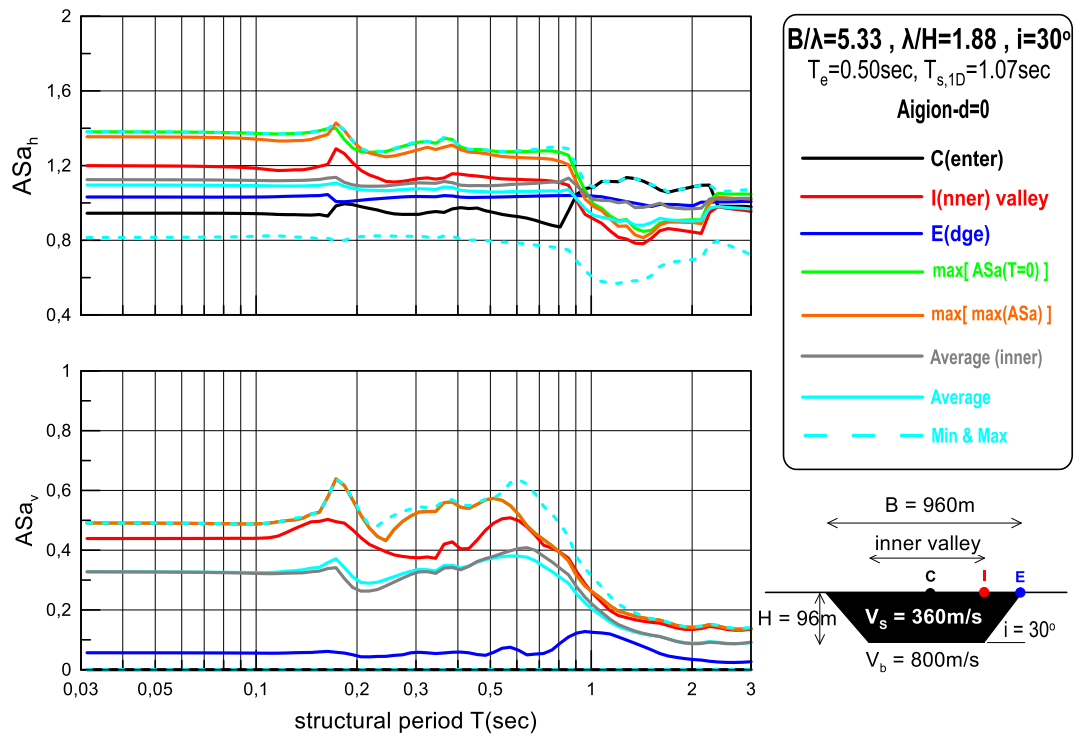
• **ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.5$ sec)**

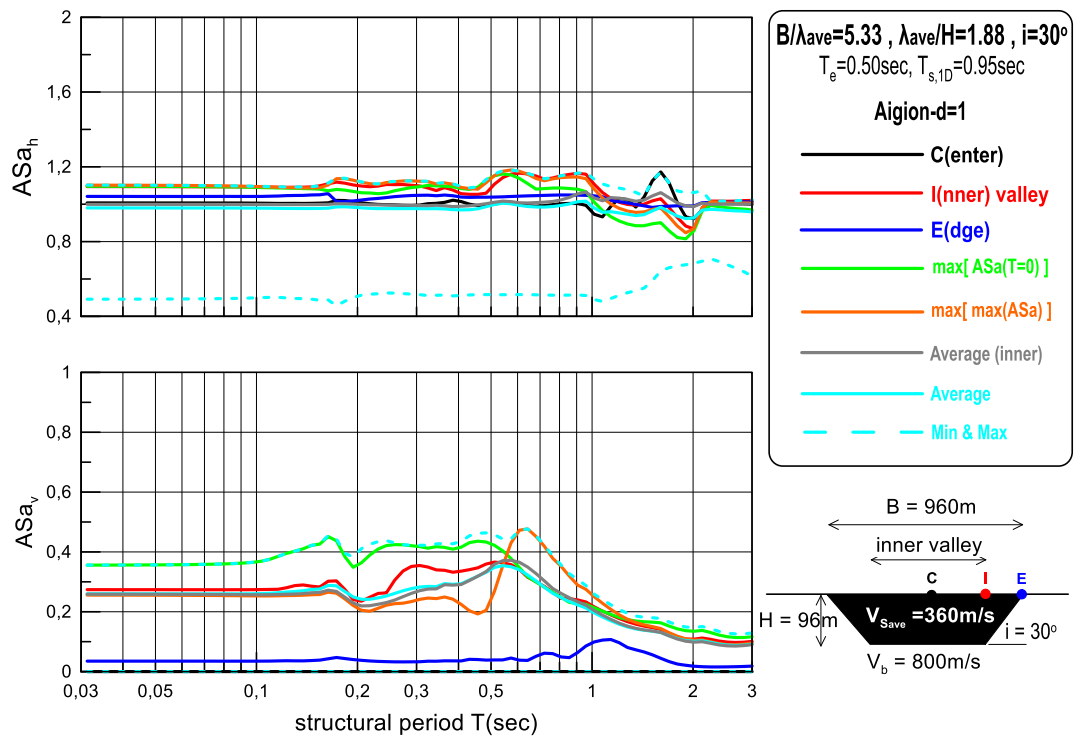
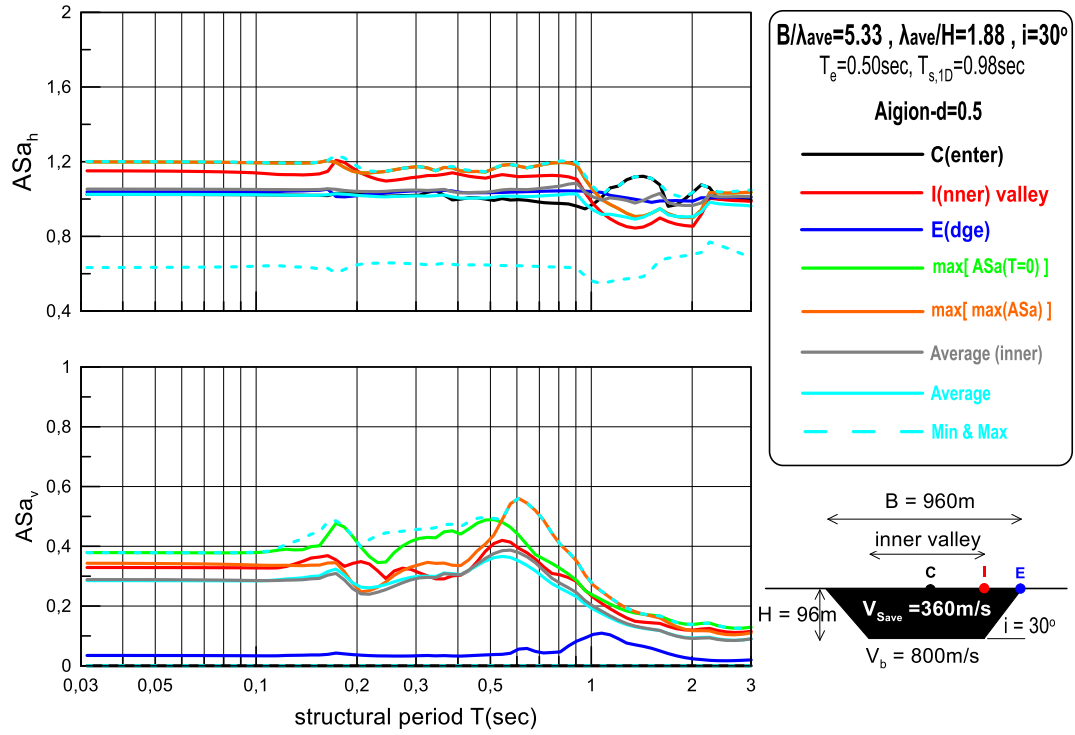
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης



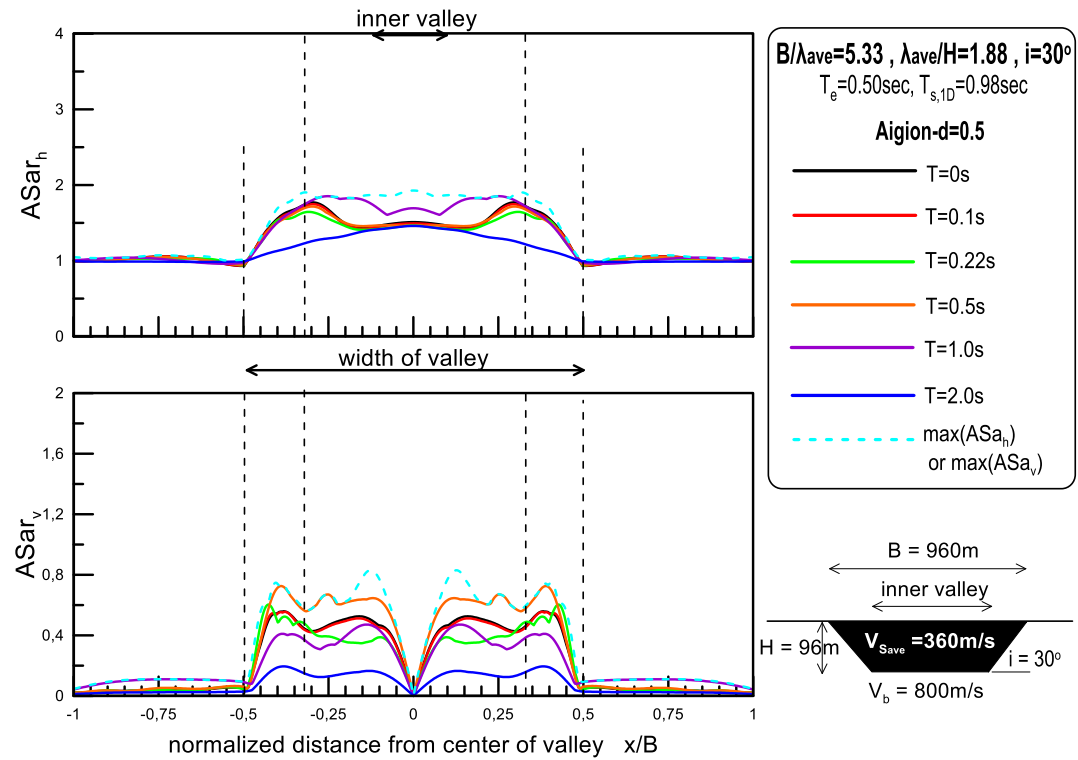
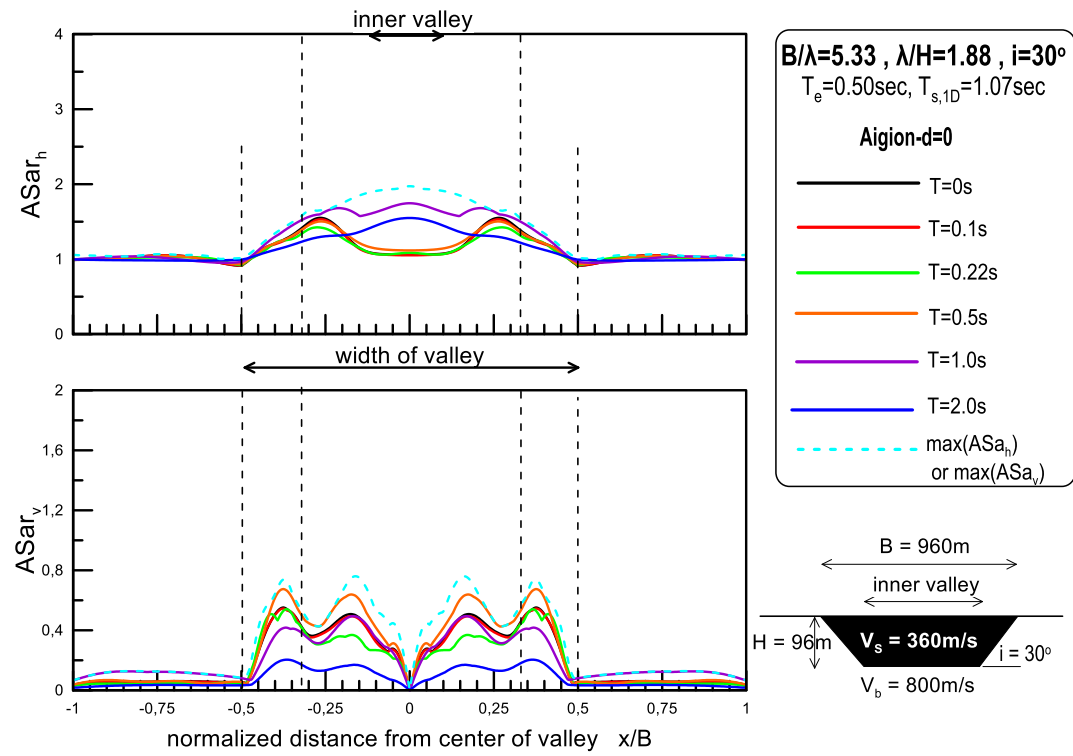


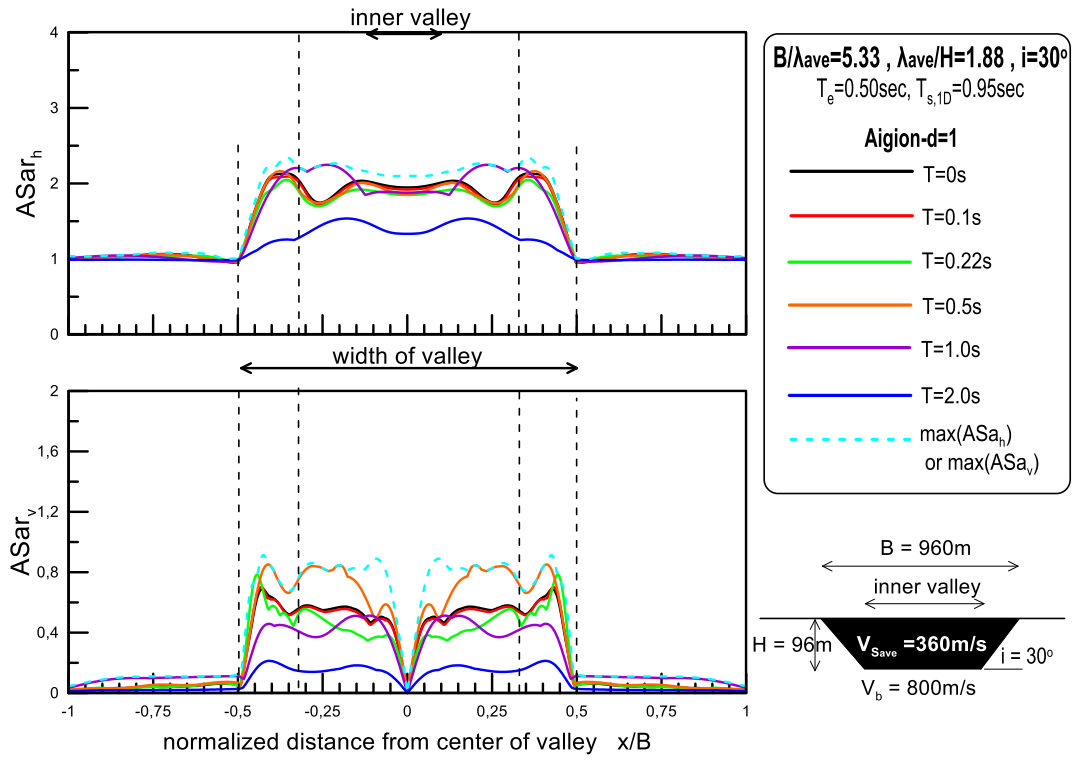
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης



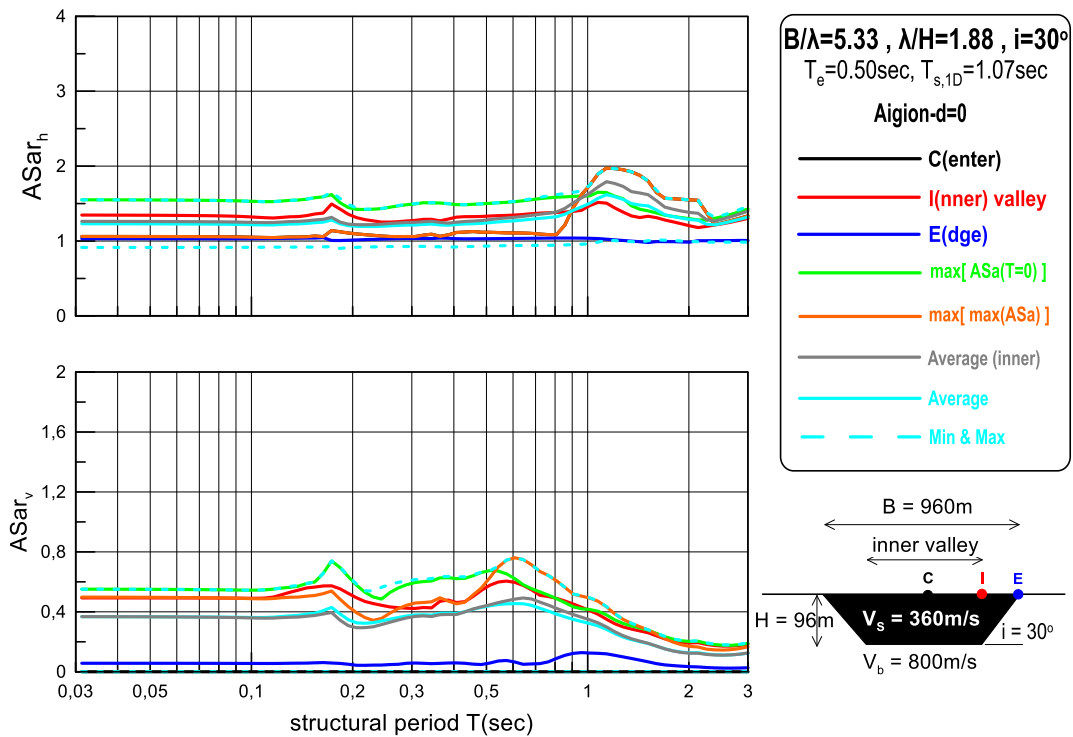


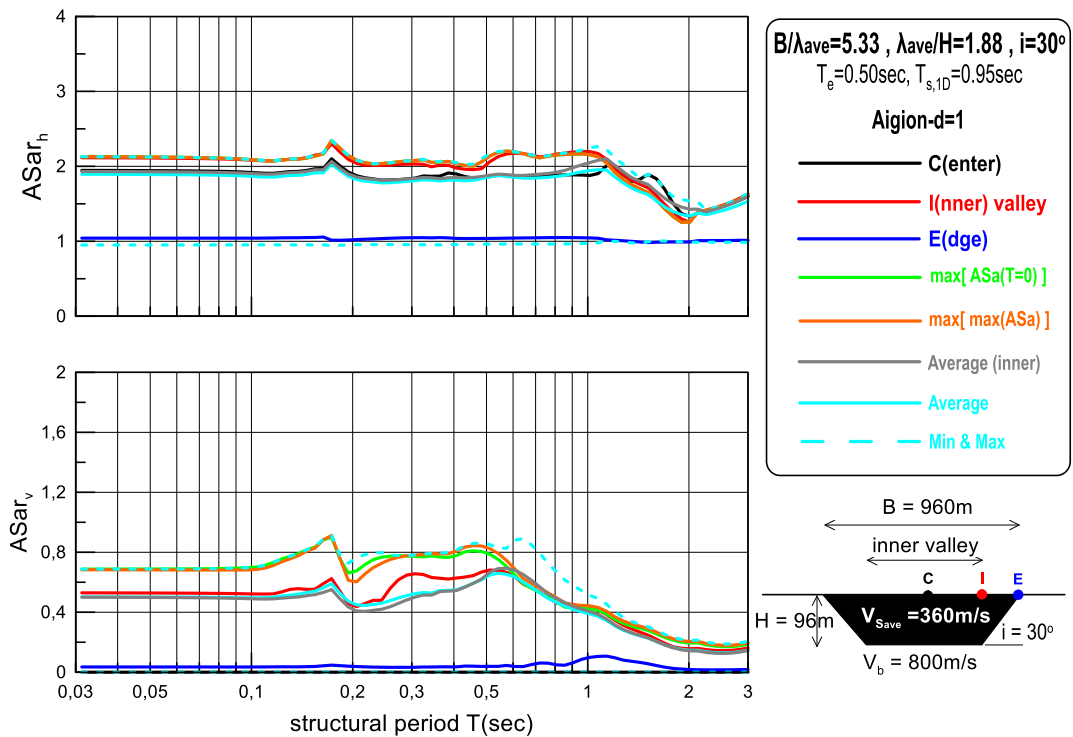
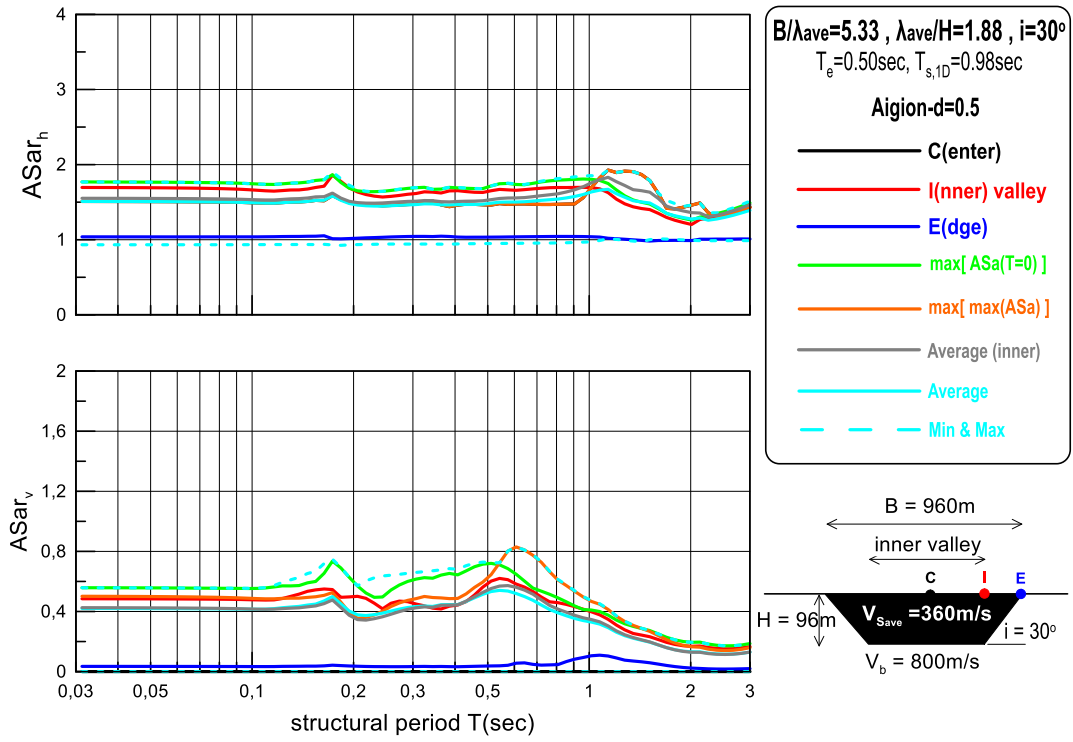
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο





Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο

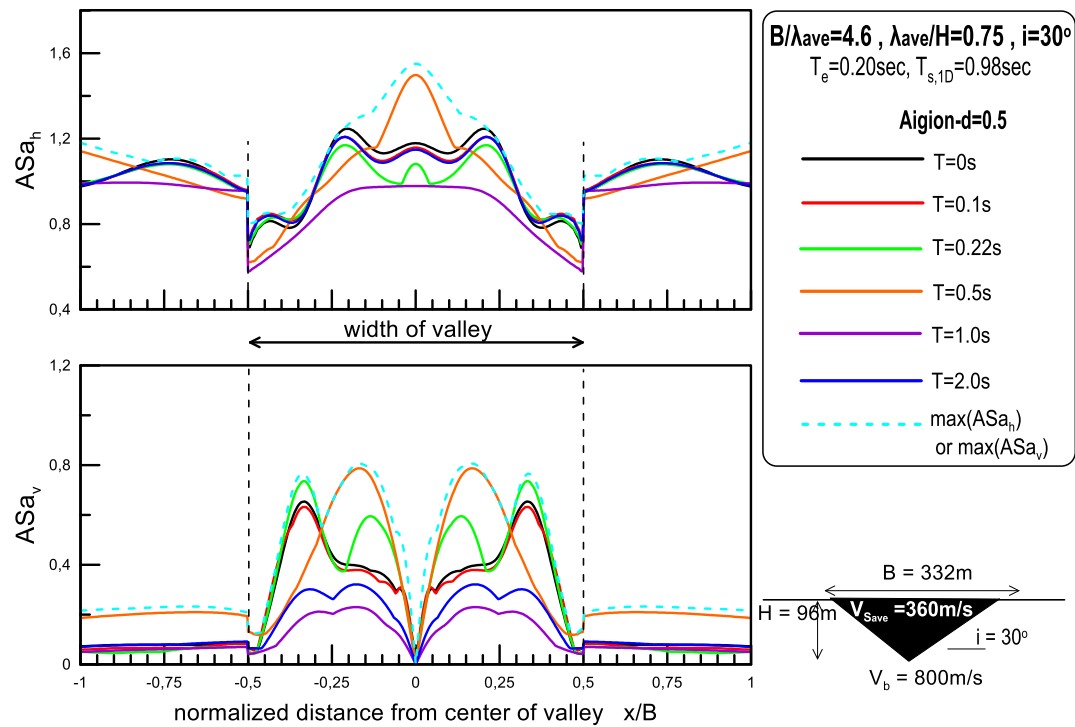
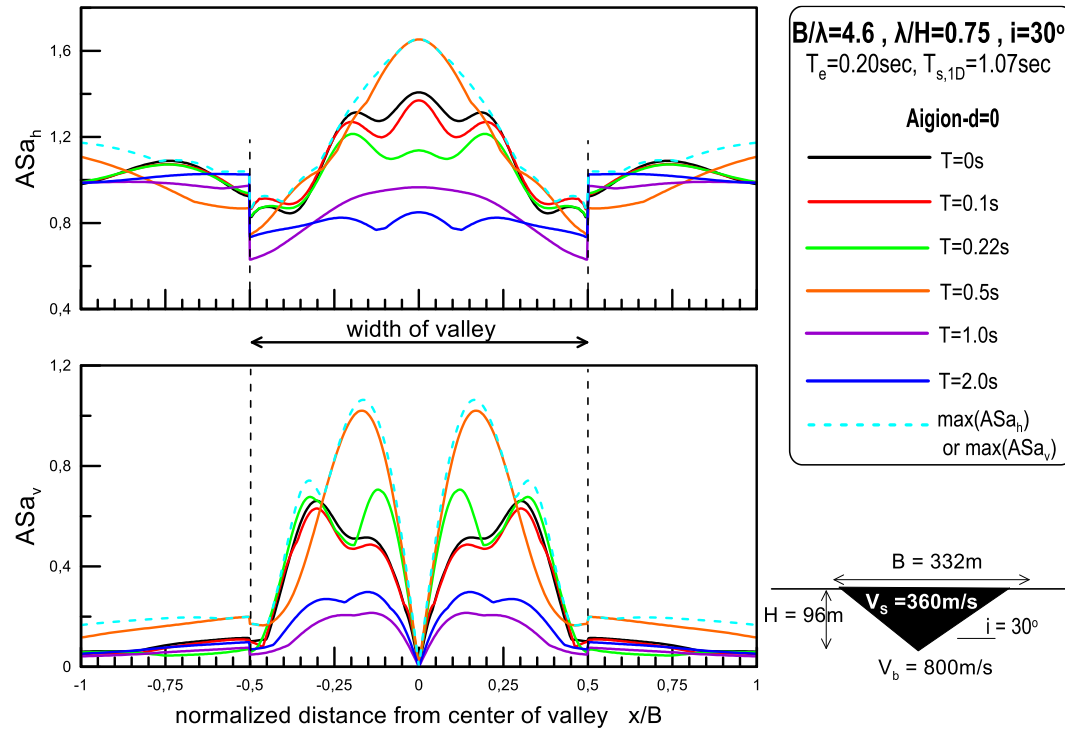


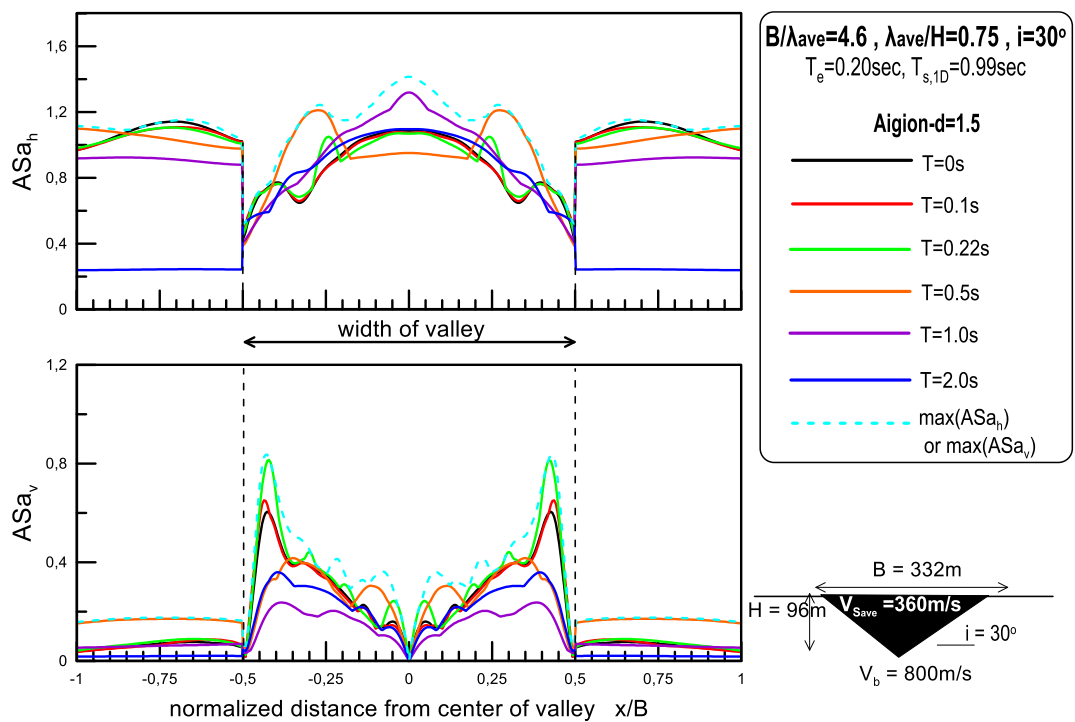
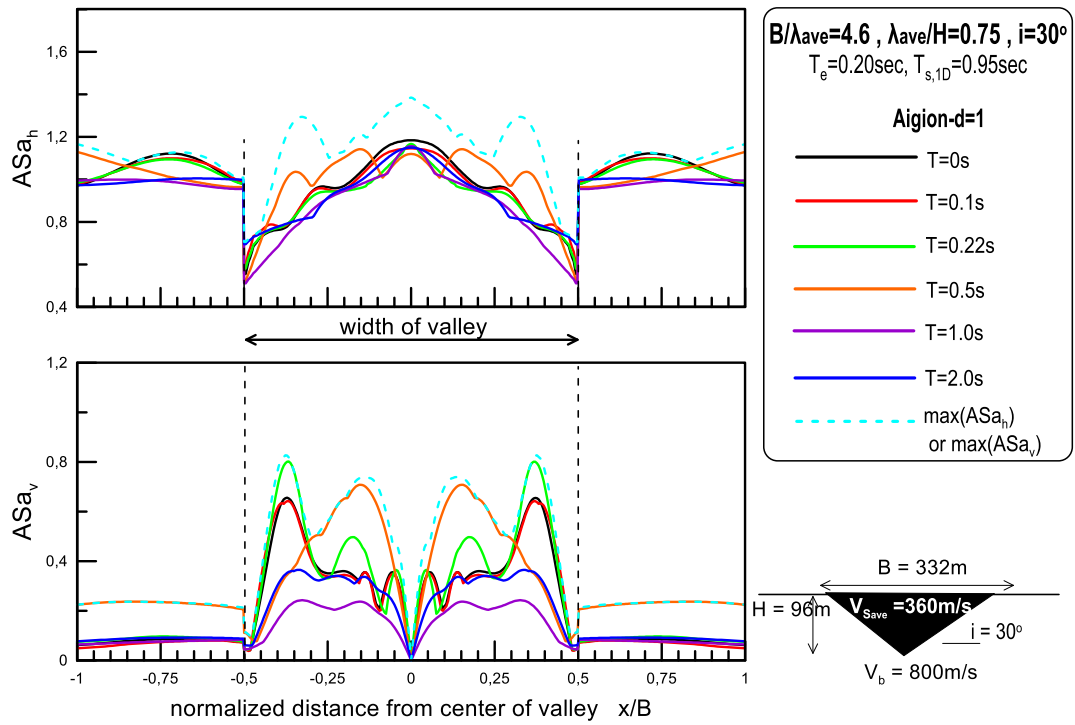


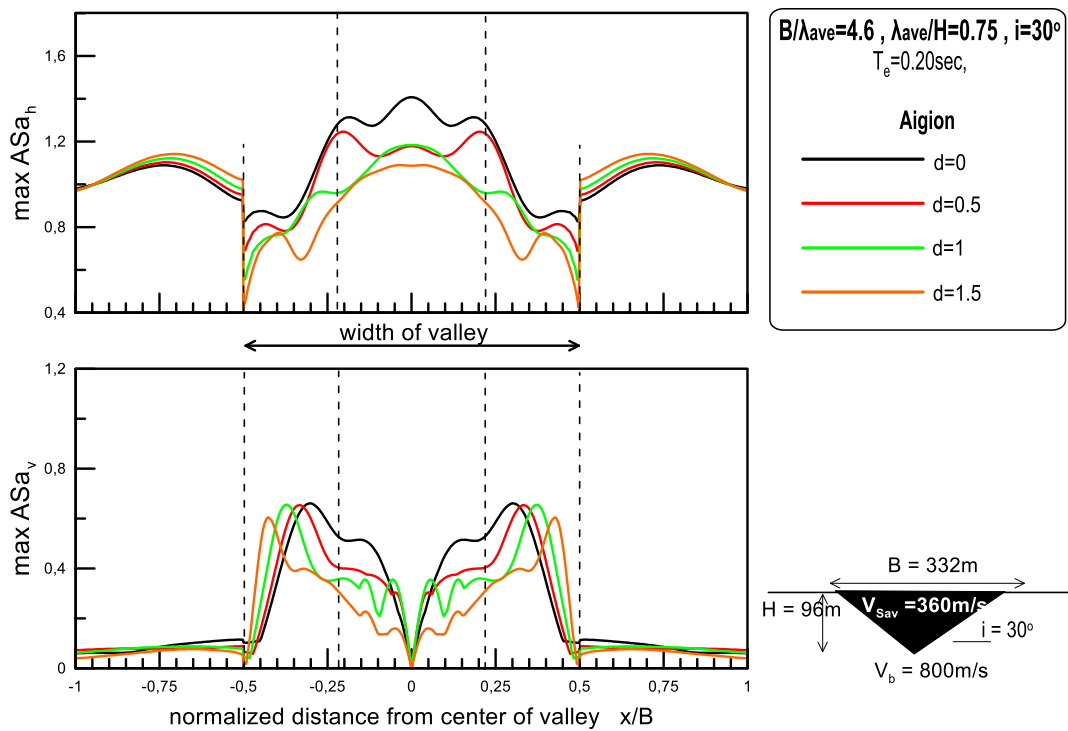
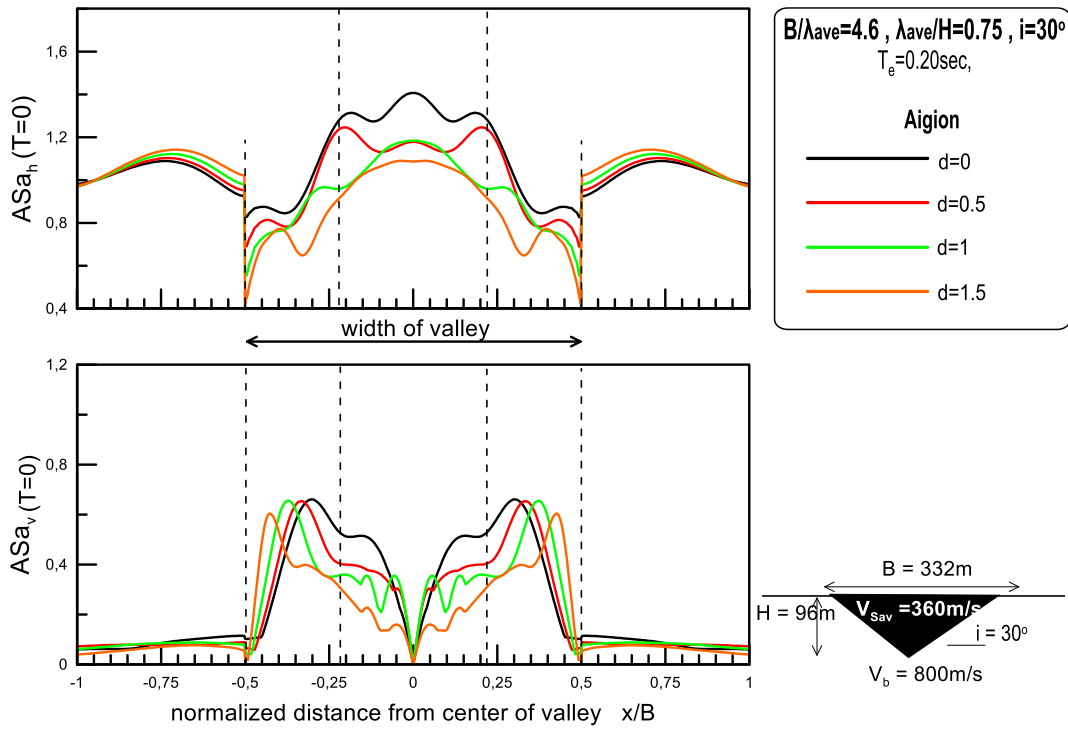
ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΚΟΙΛΑΔΑ (B/H=3.46)

- **ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ (T_e=0.2 sec)**

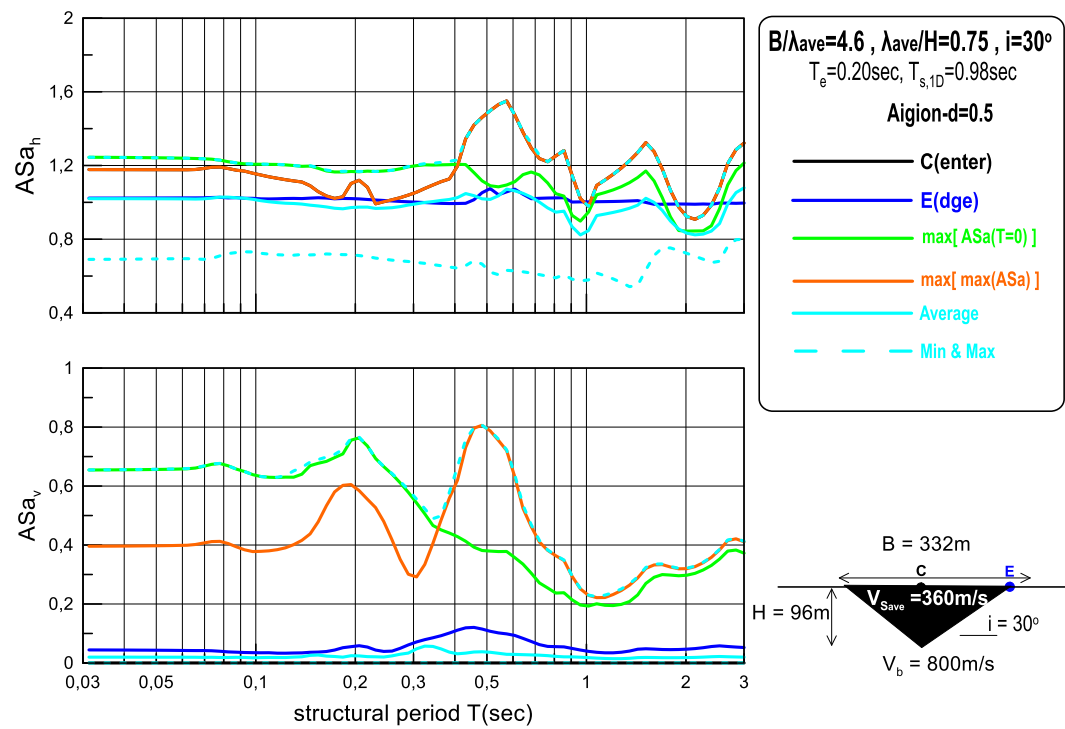
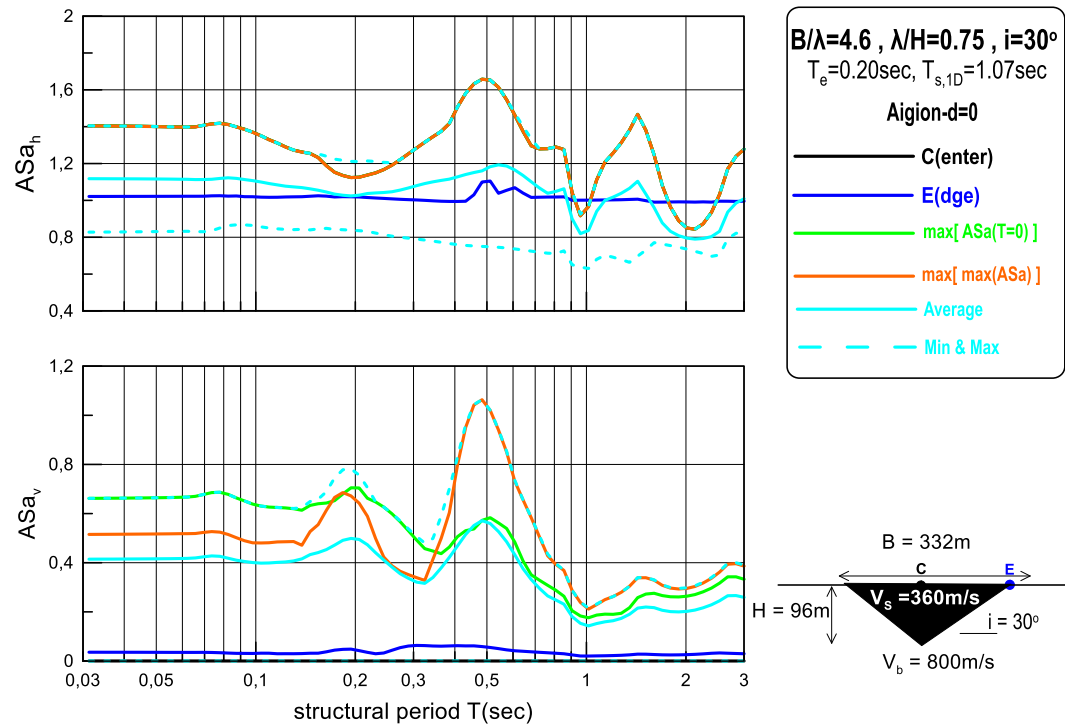
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης

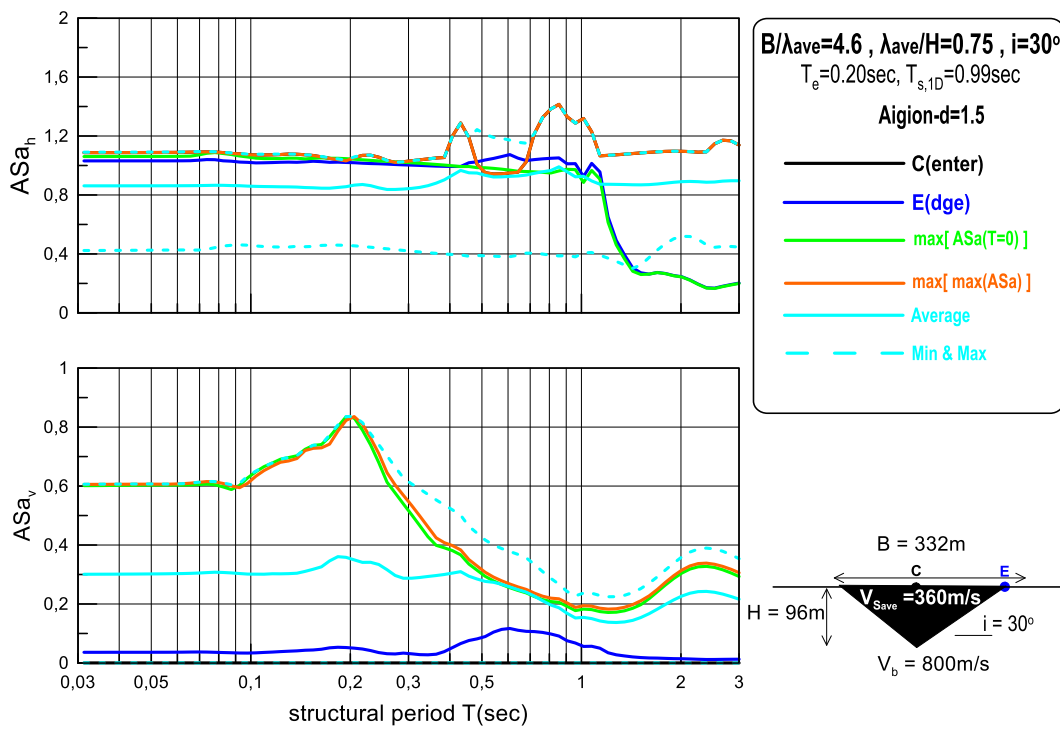
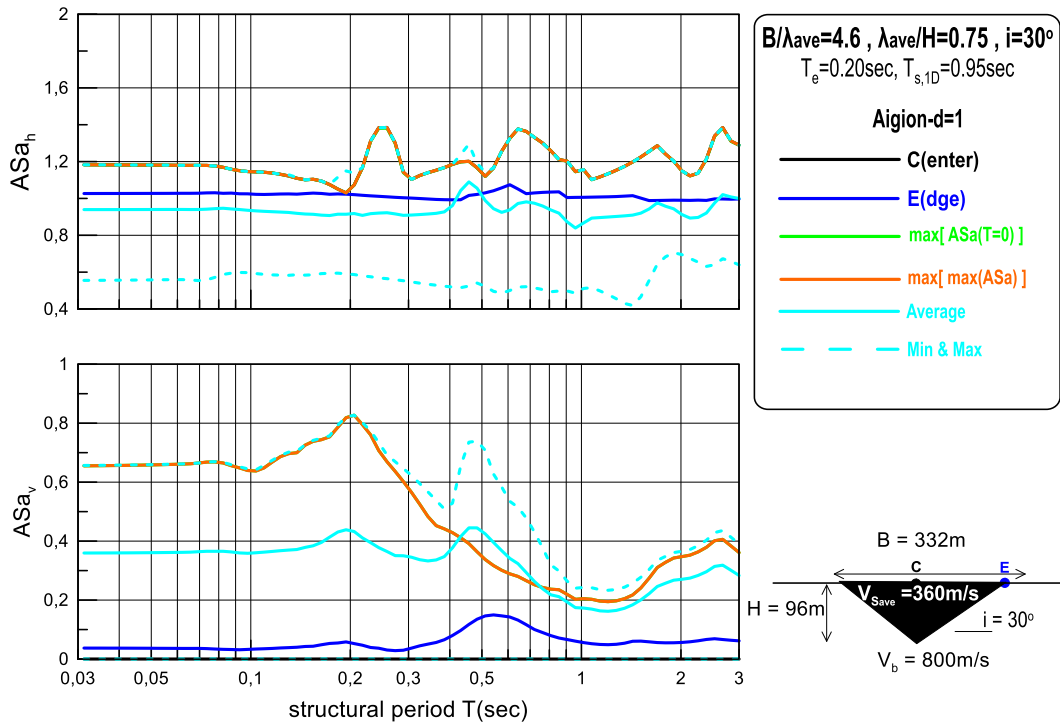




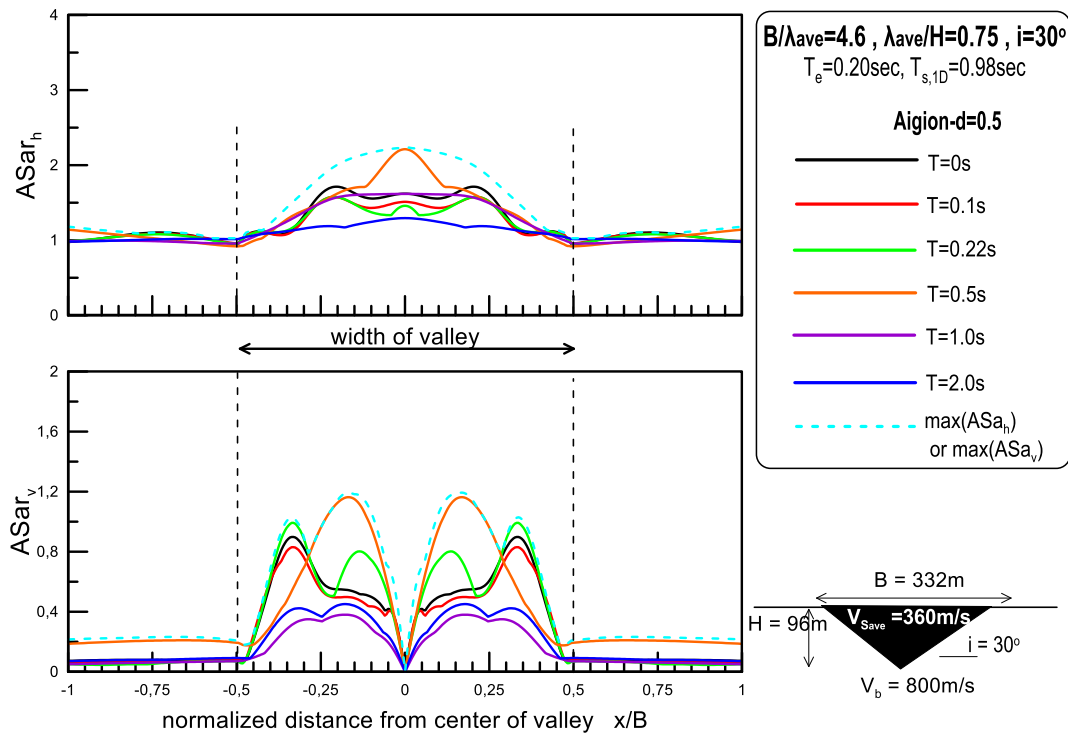
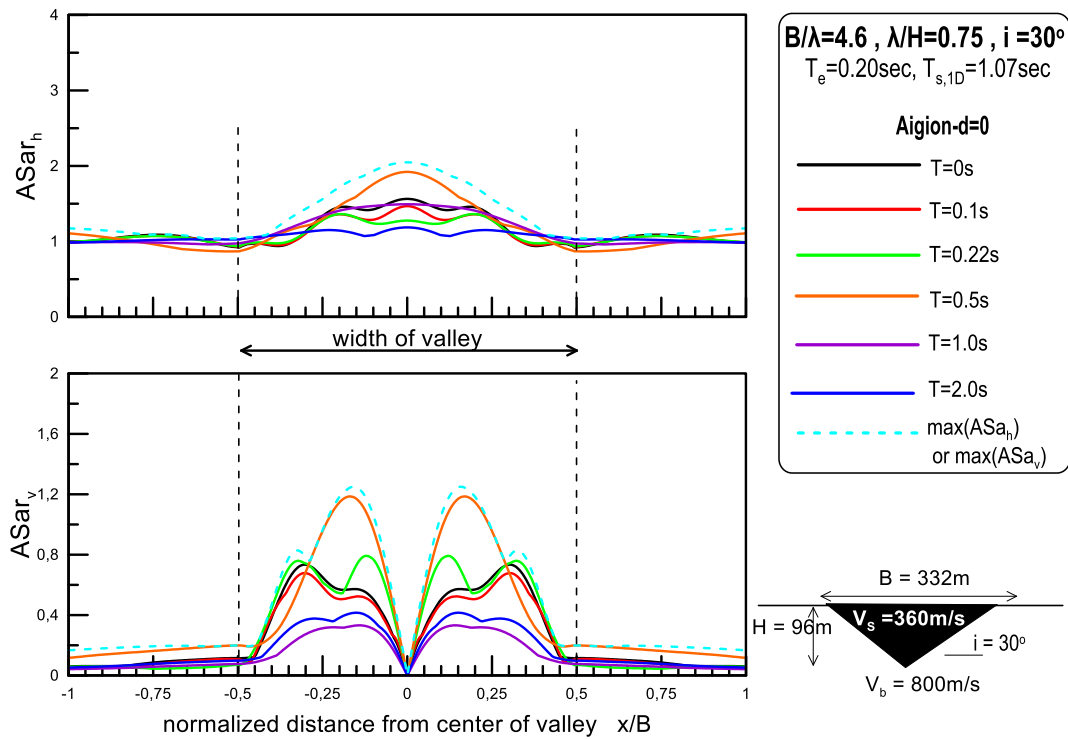


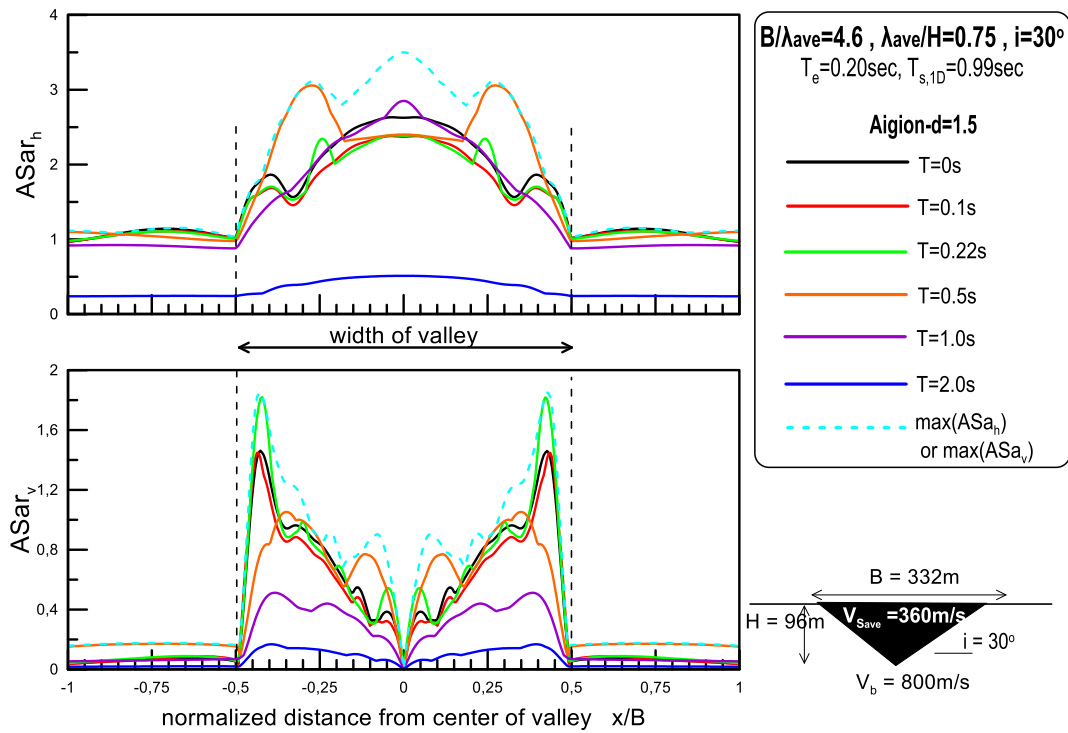
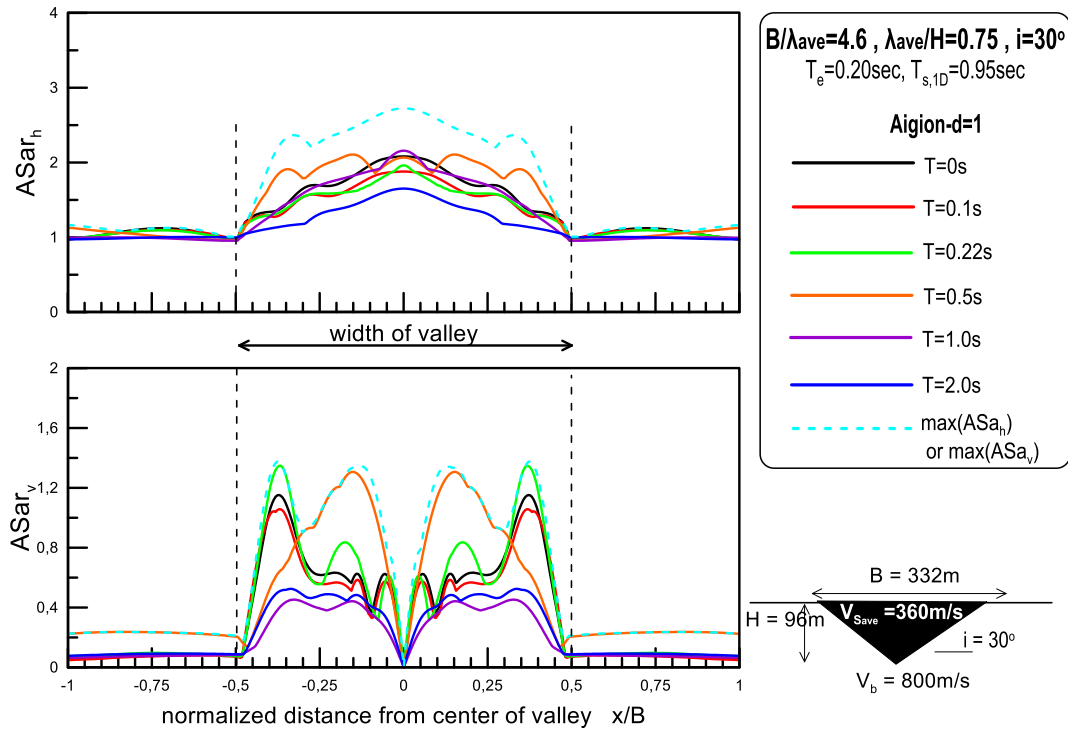
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης

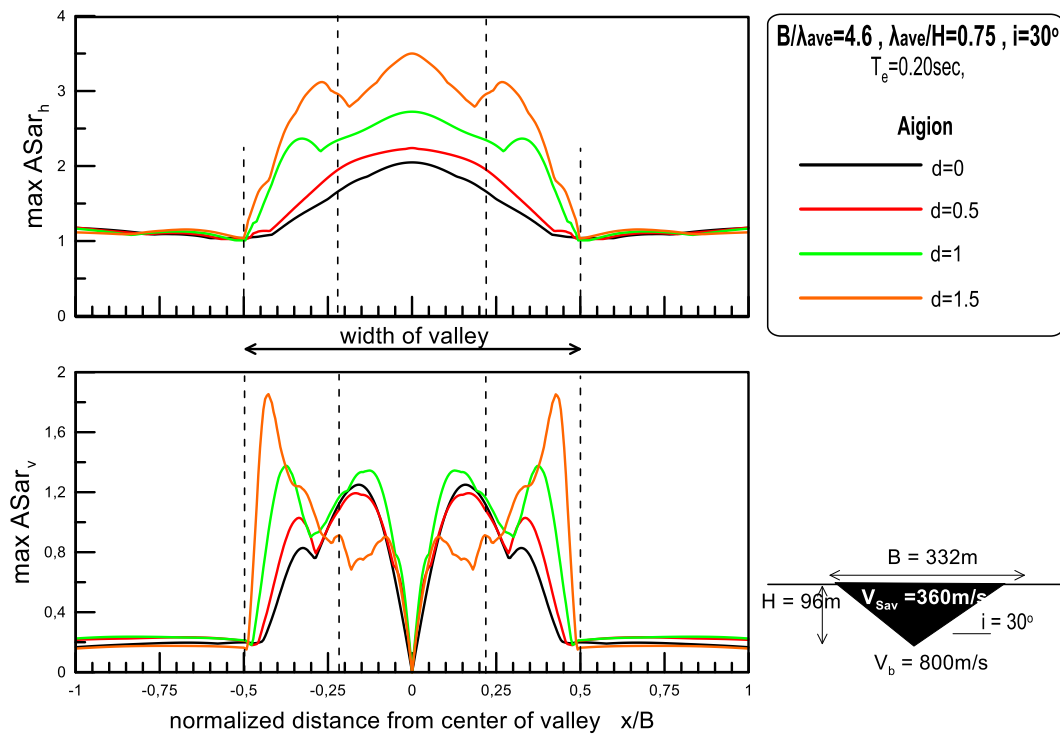
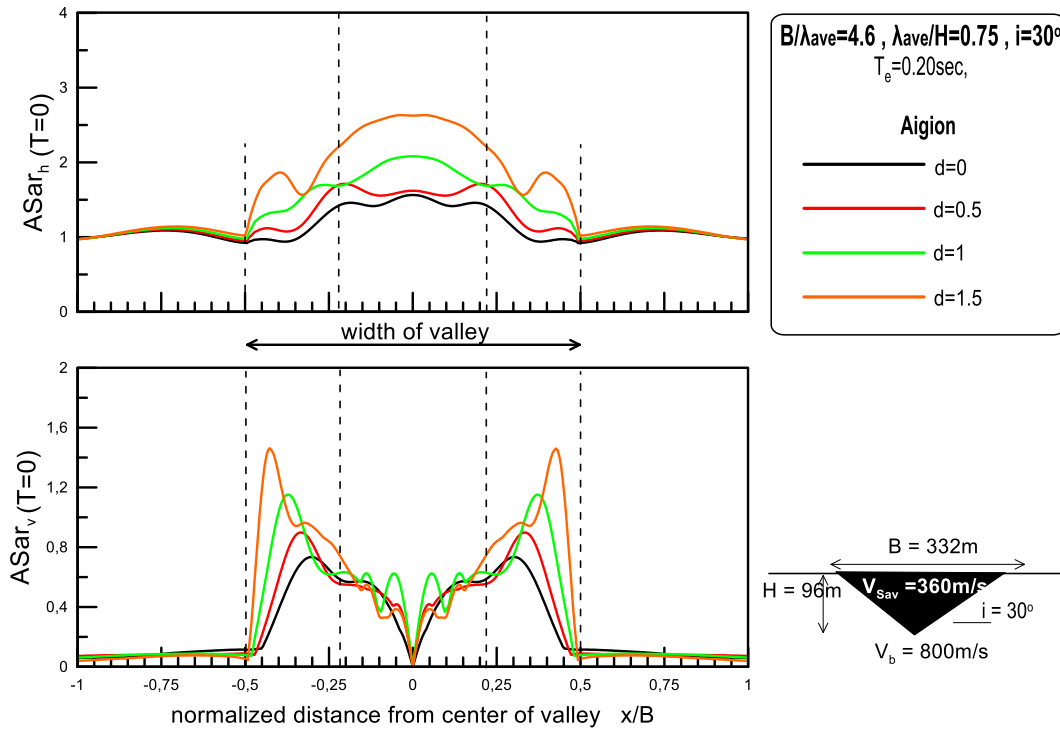




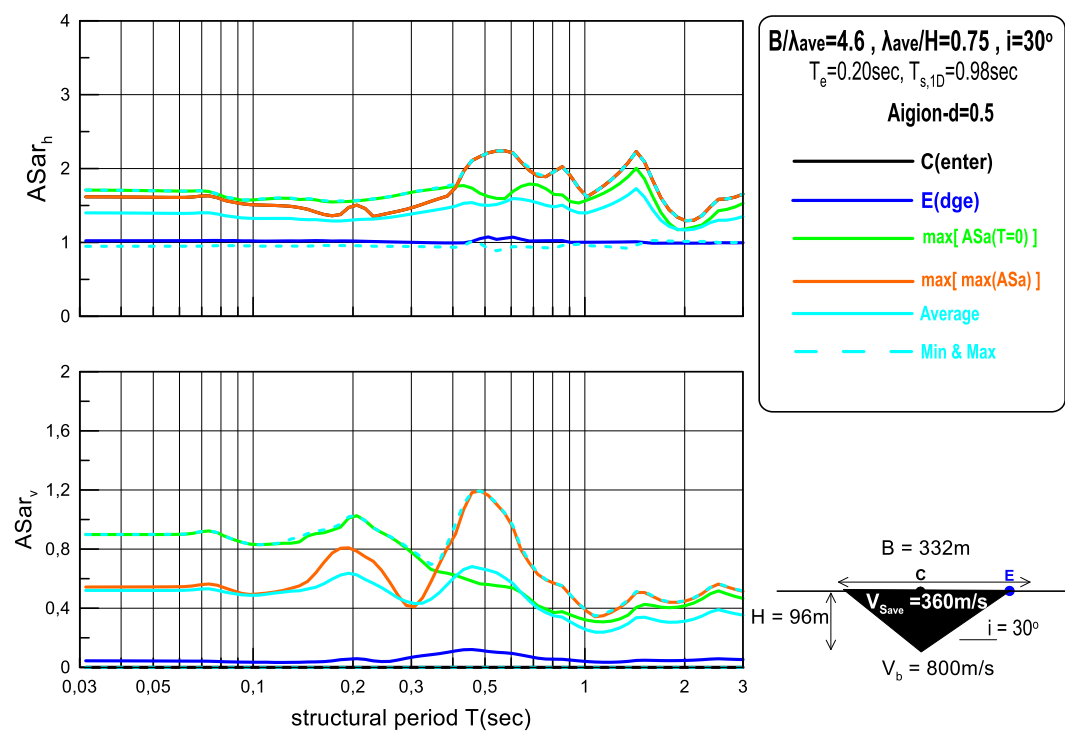
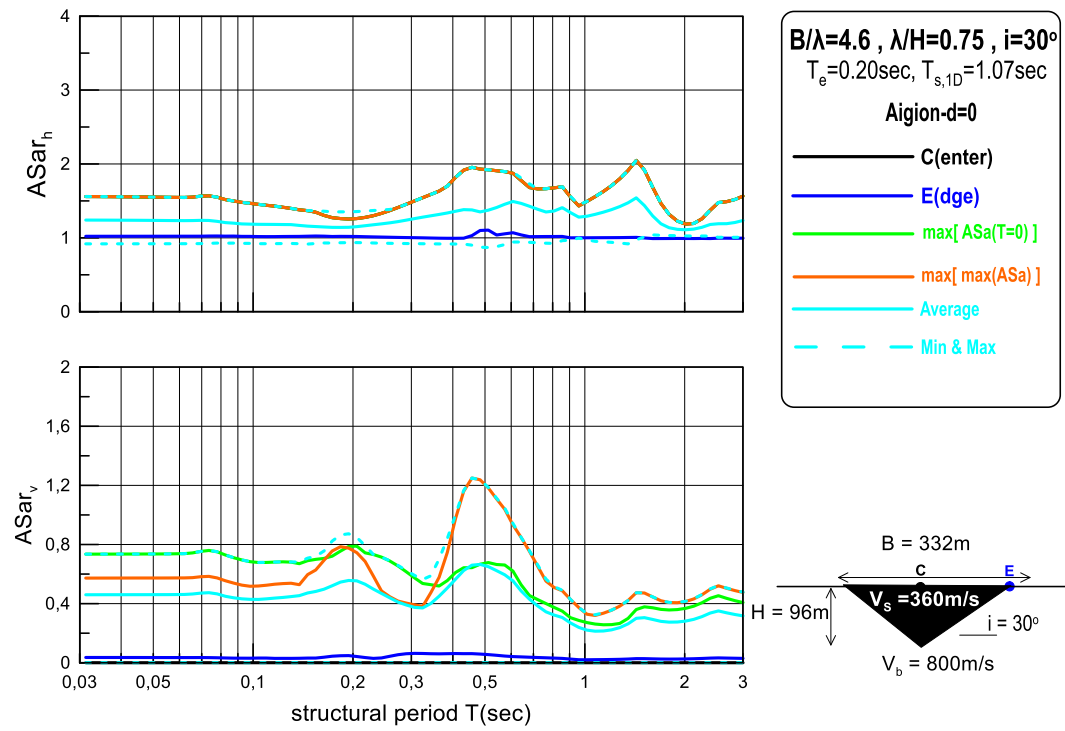
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο

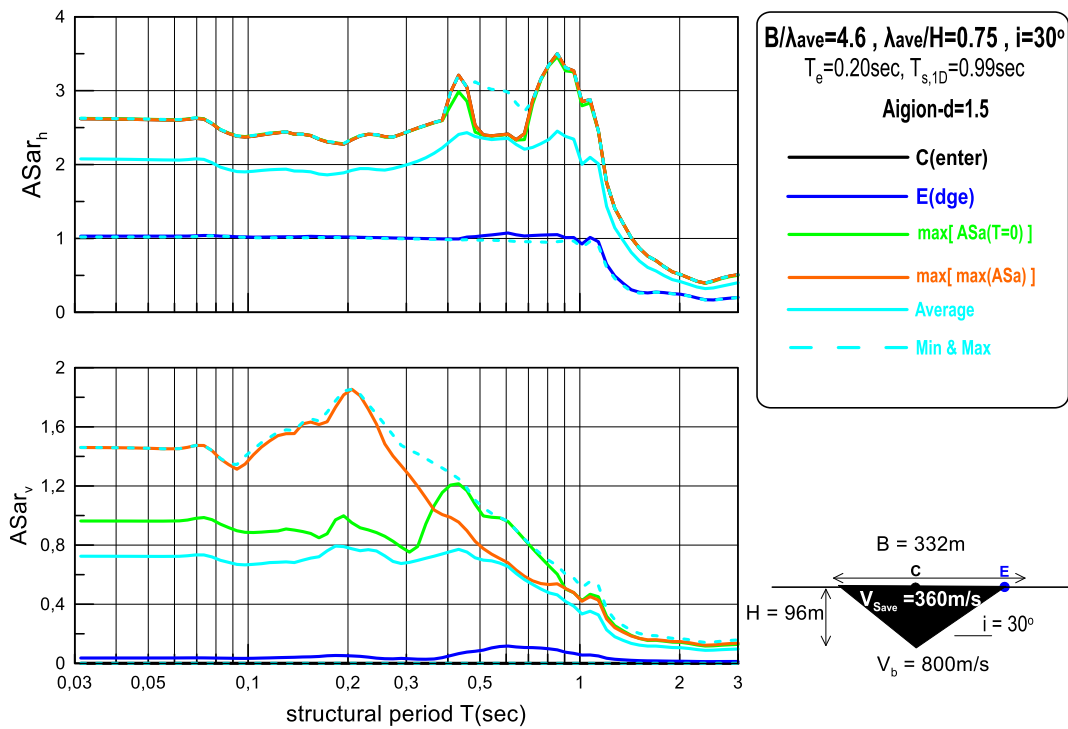
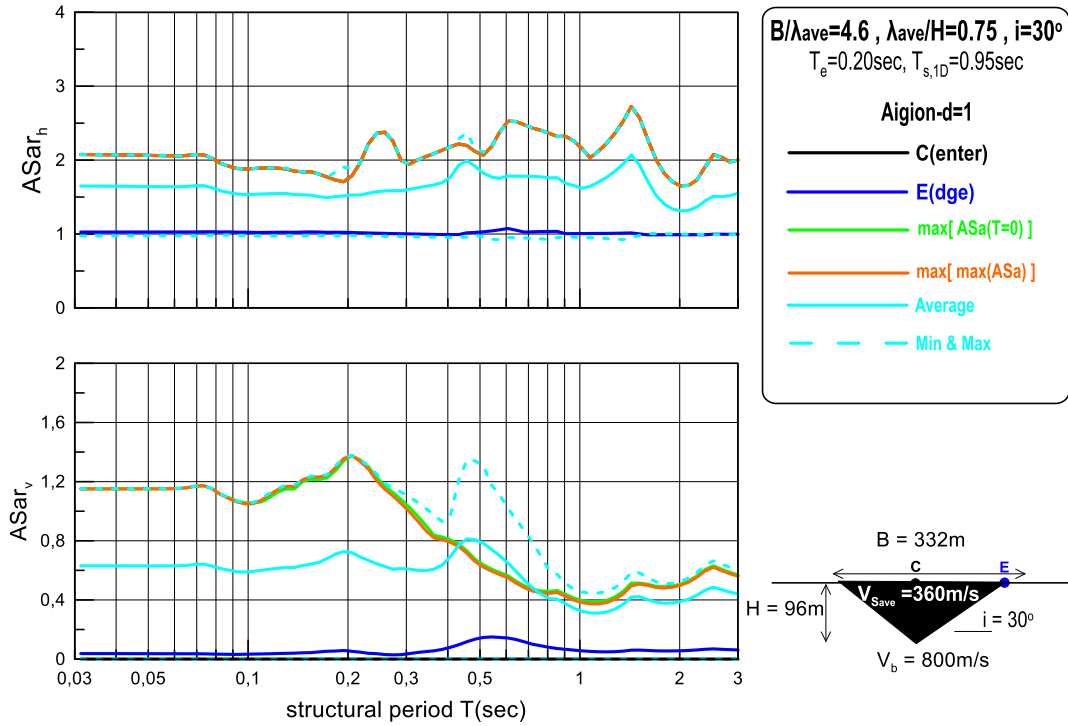






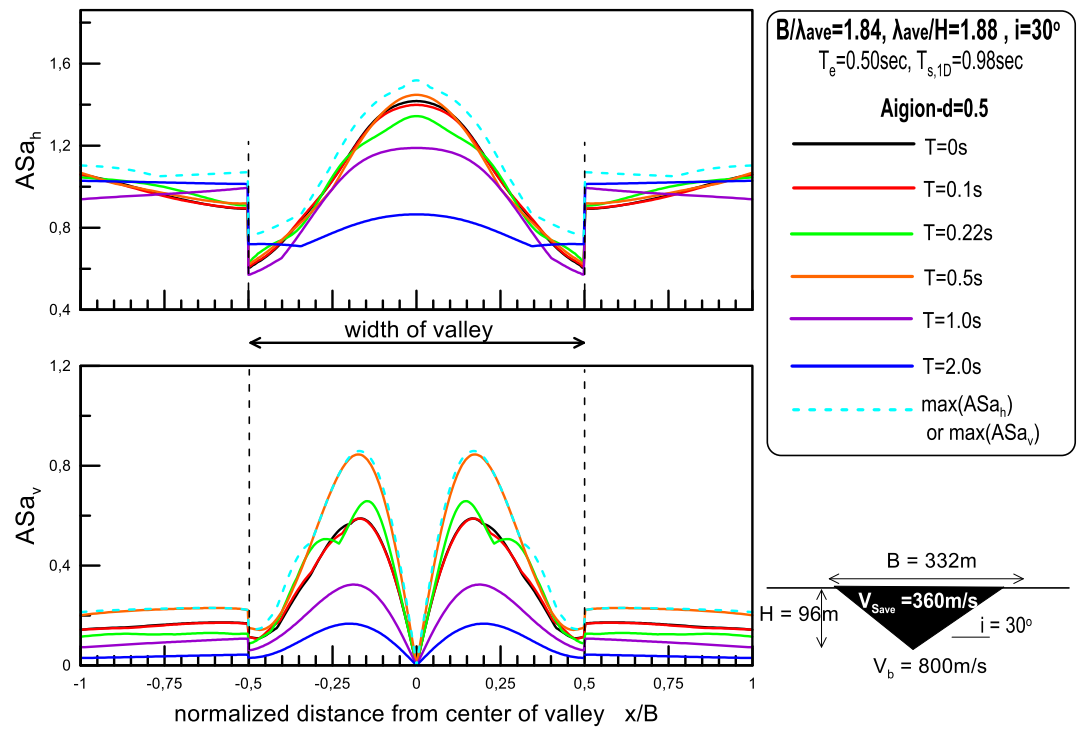
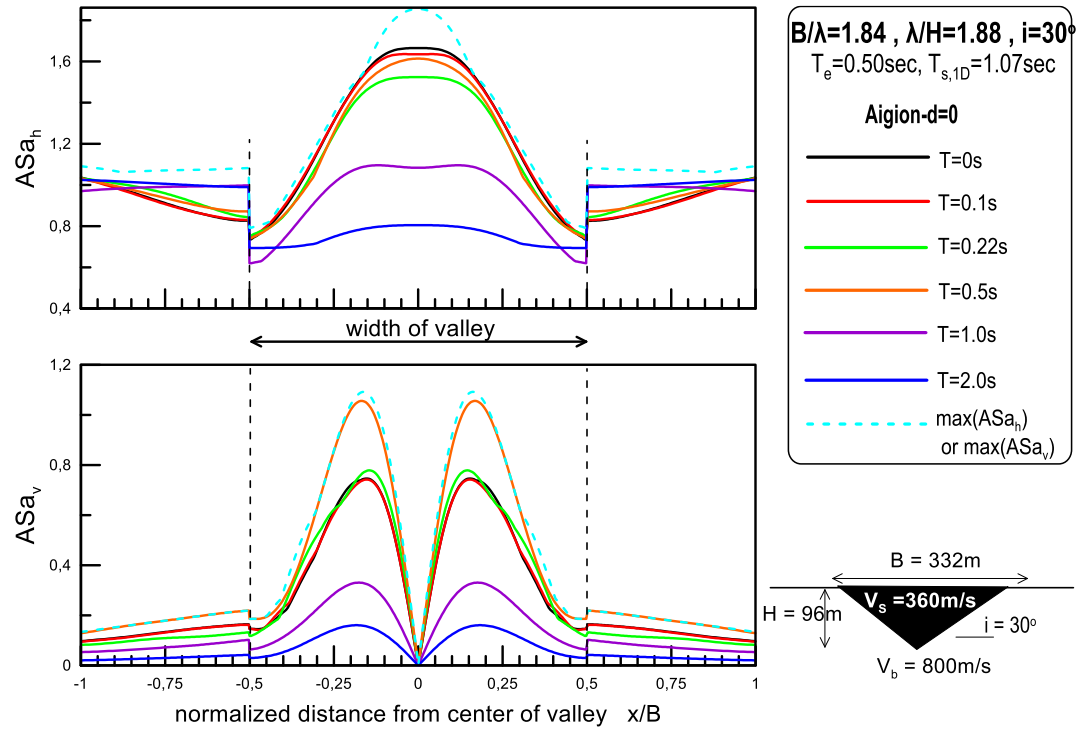
Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο

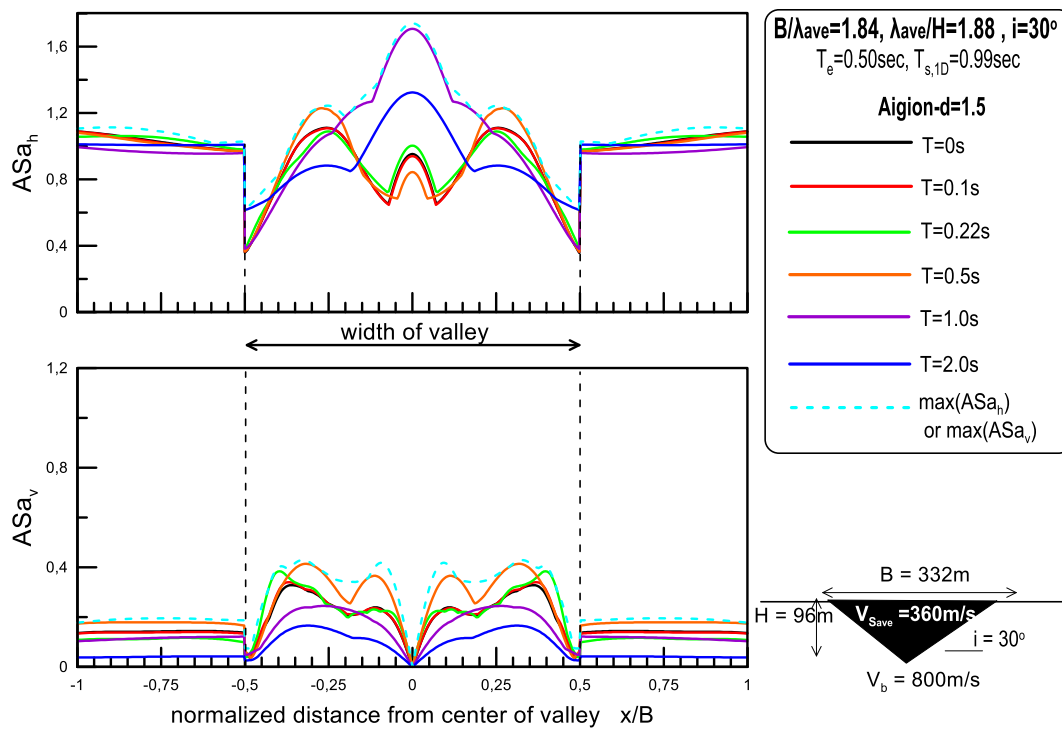
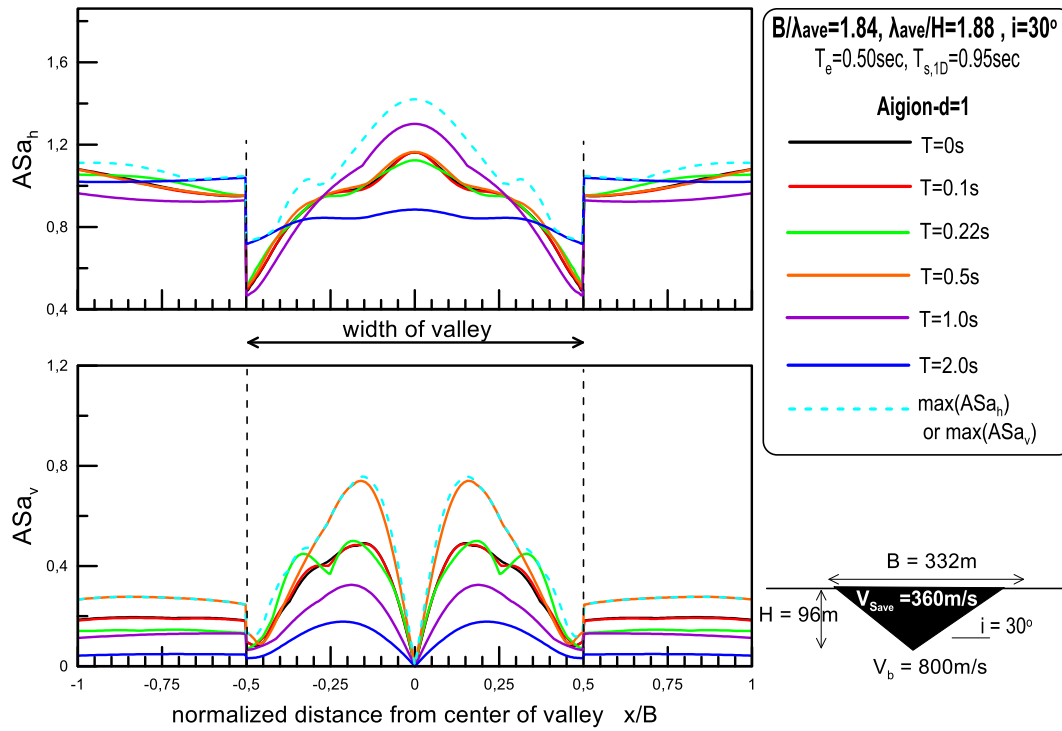


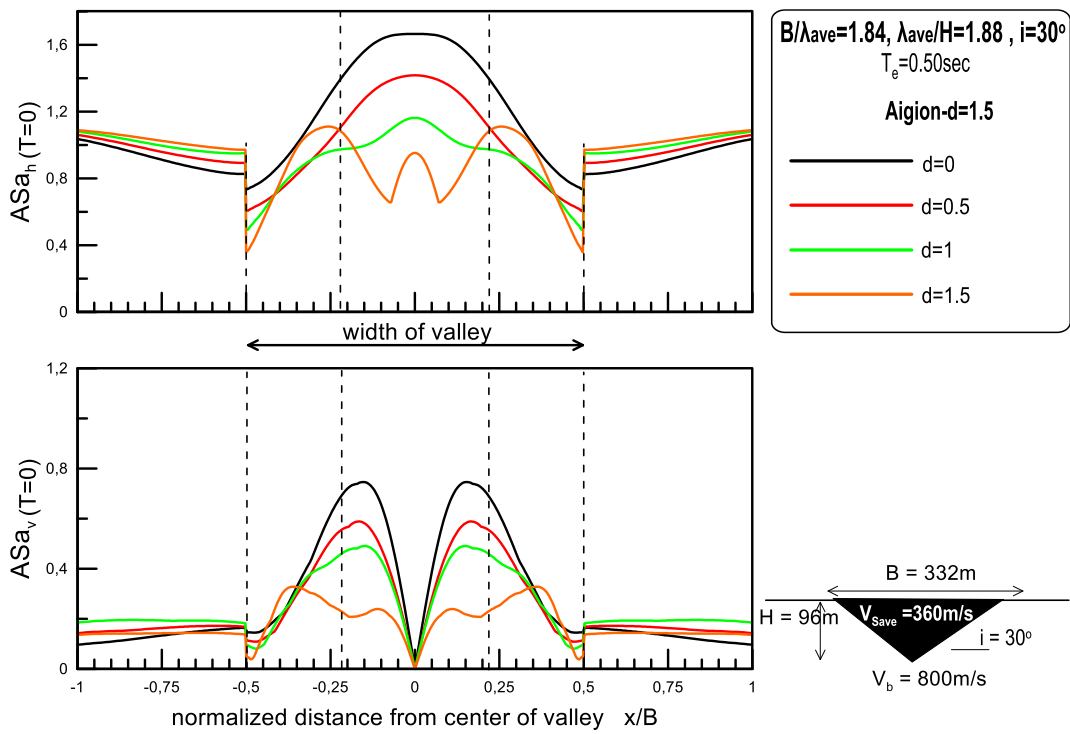
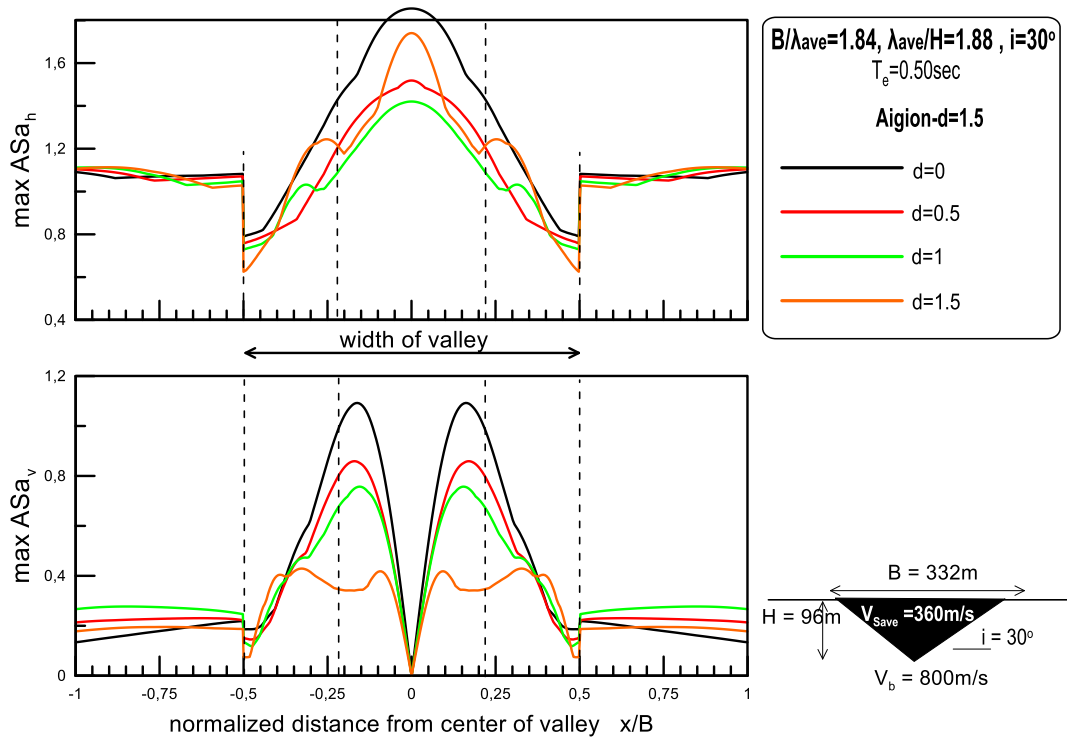


• **ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.5$ sec)**

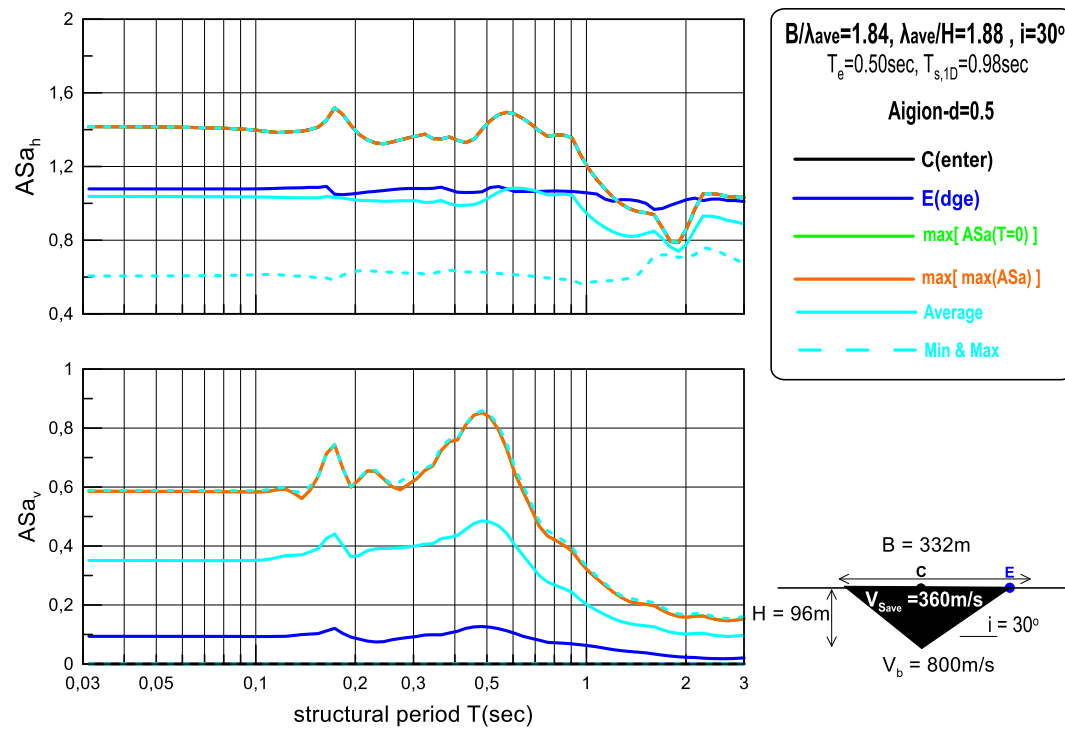
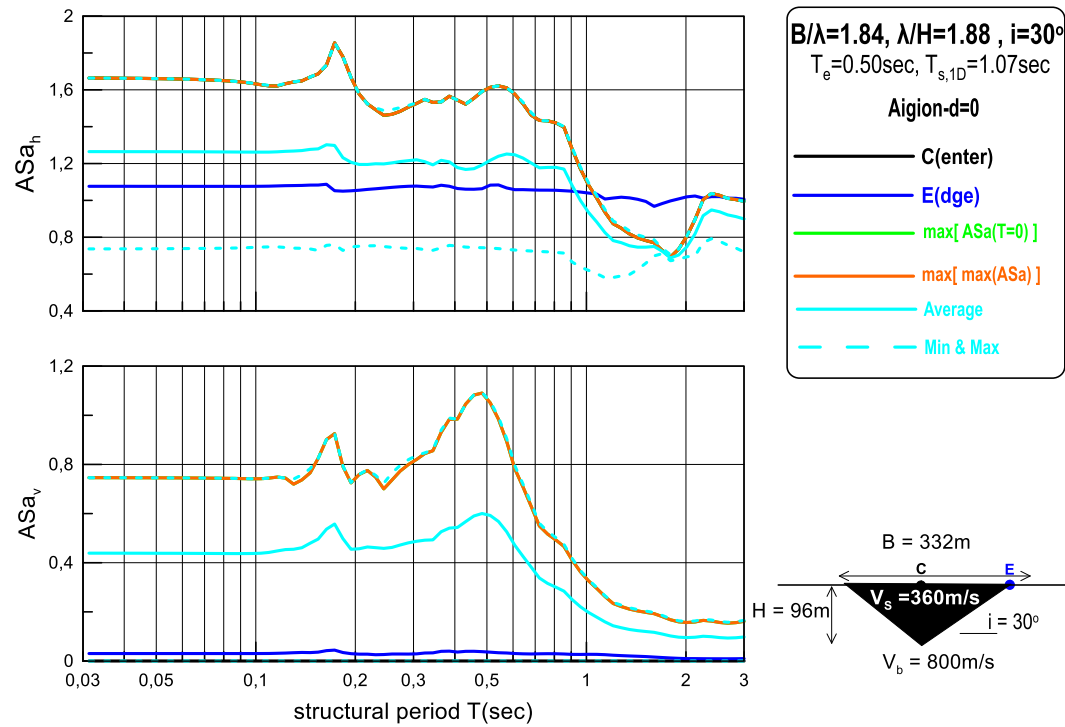
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Γεωμορφικής Επιδείνωσης

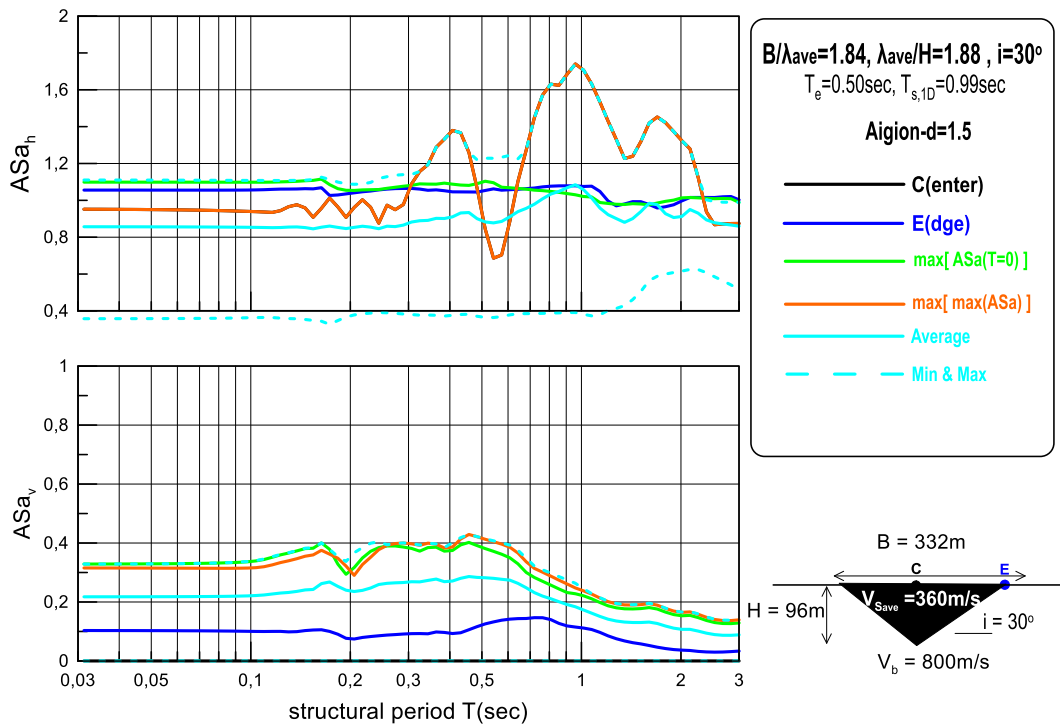
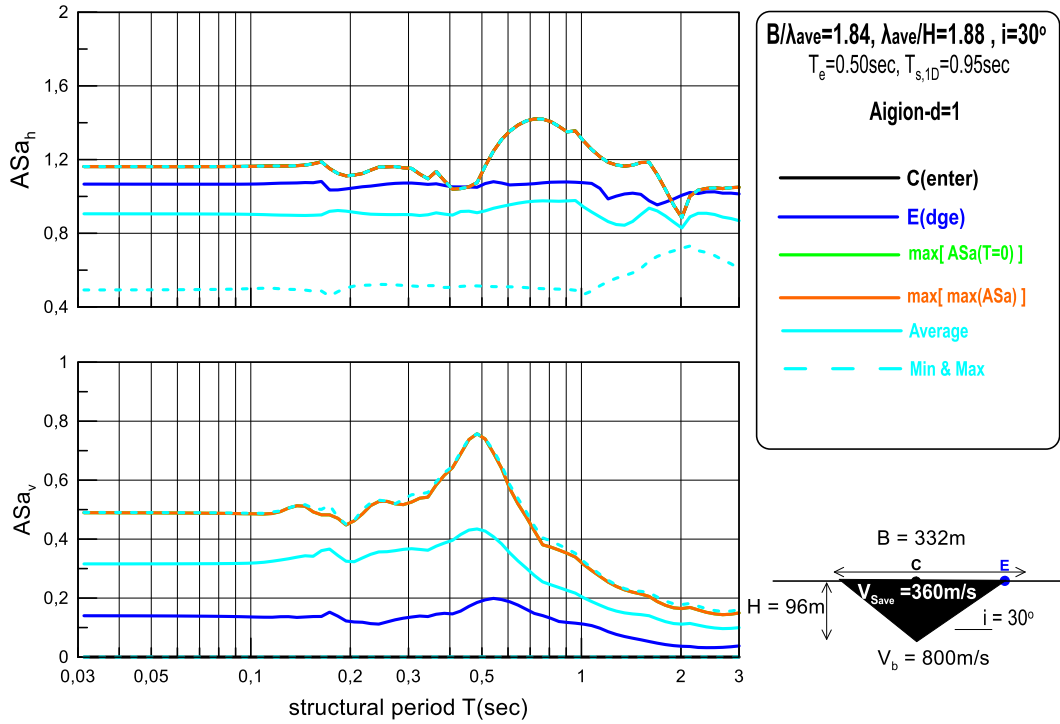




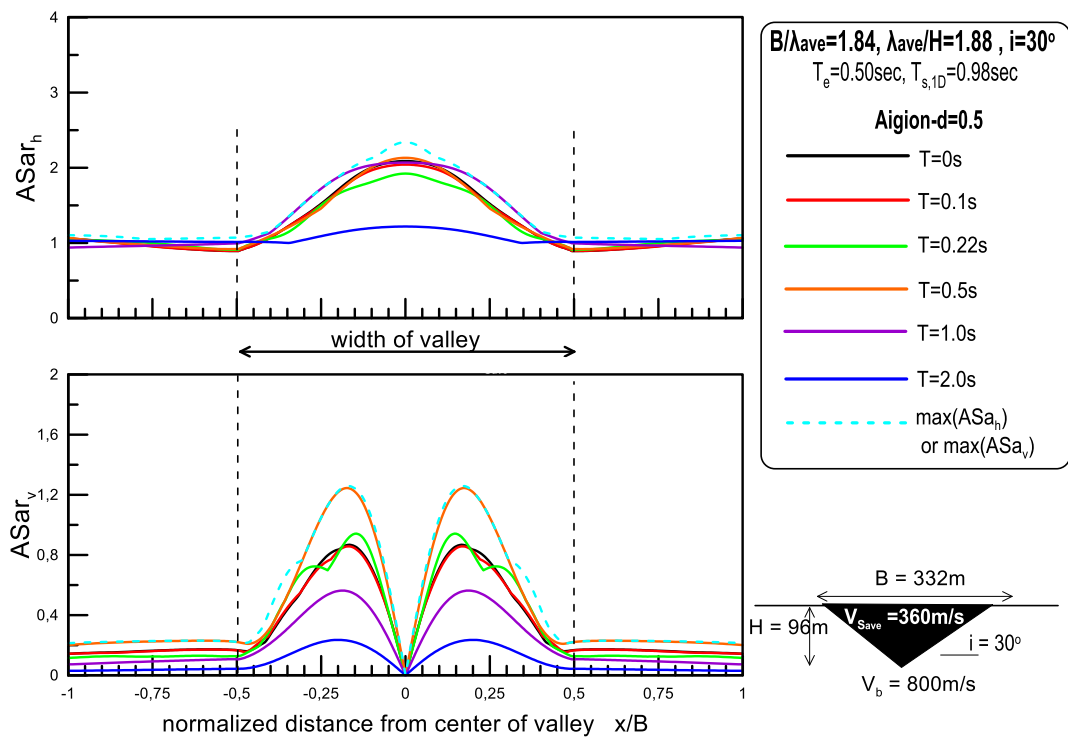
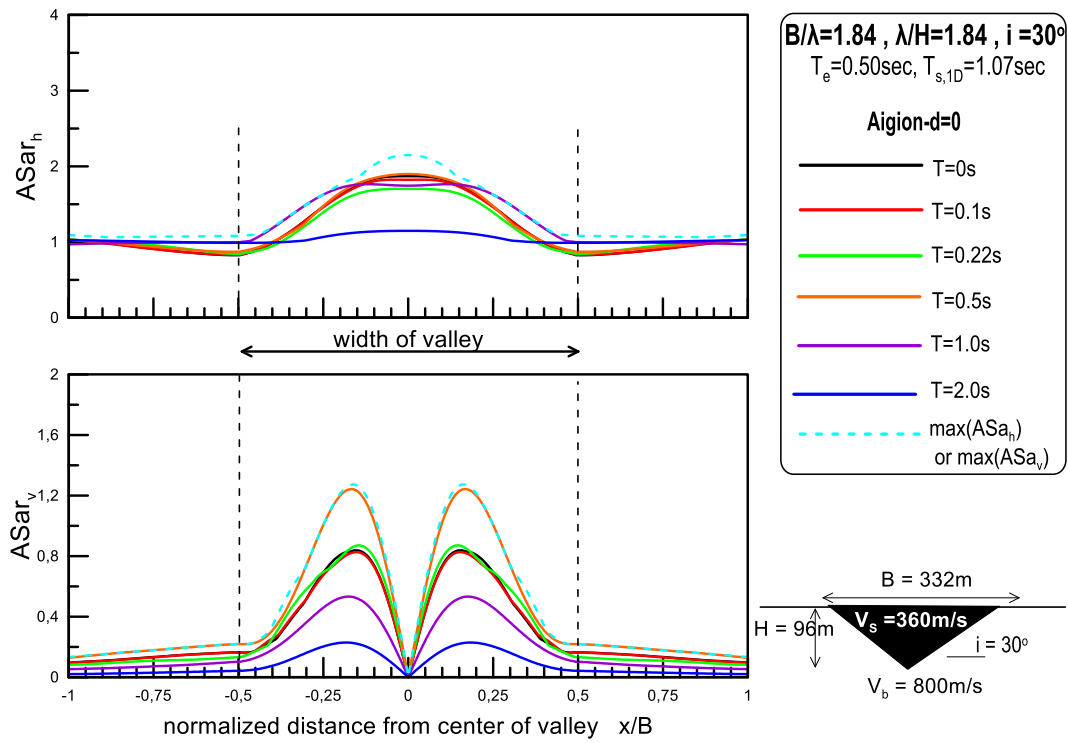


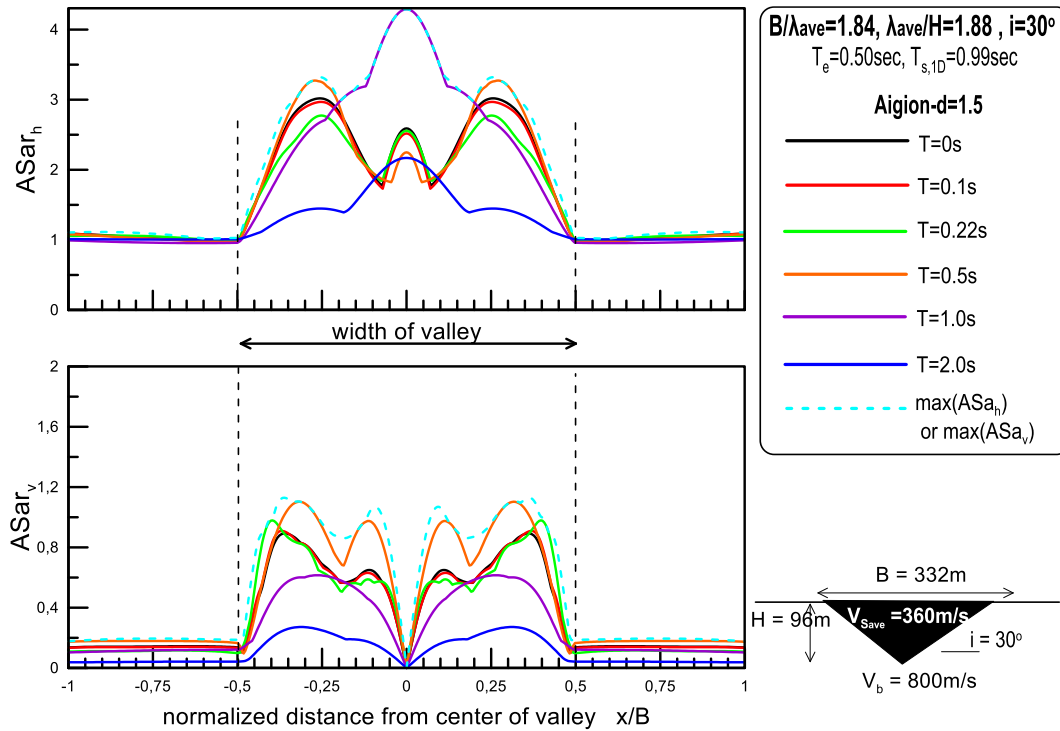
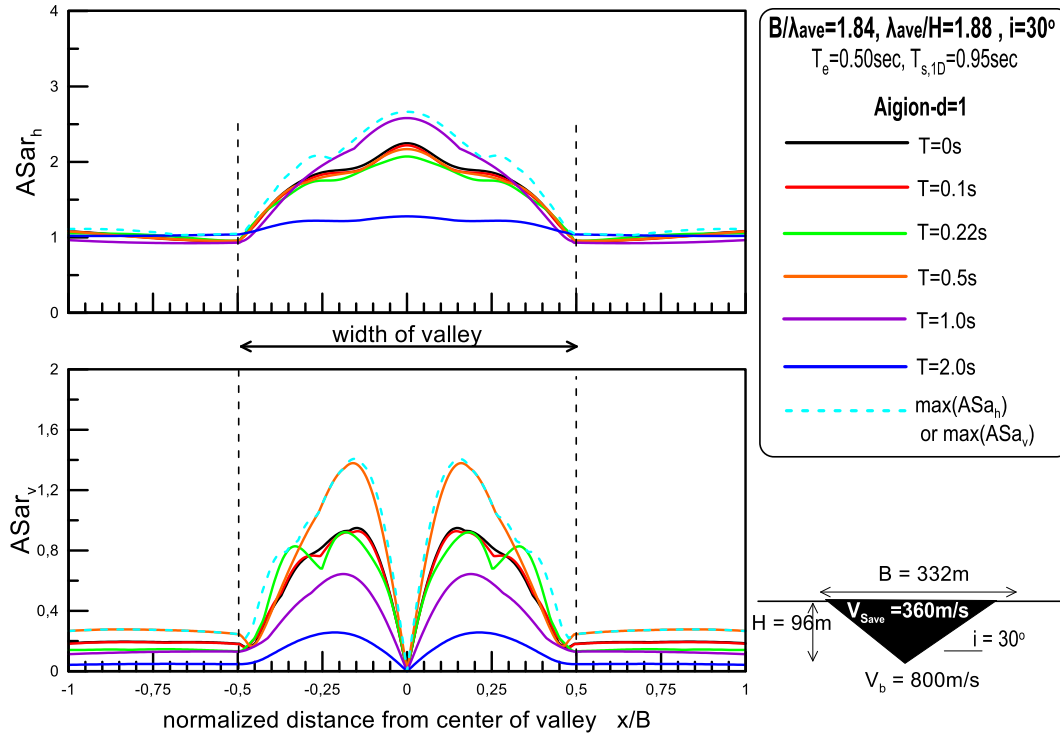
Φάσματα Γεωμορφικής Επιδείνωσης

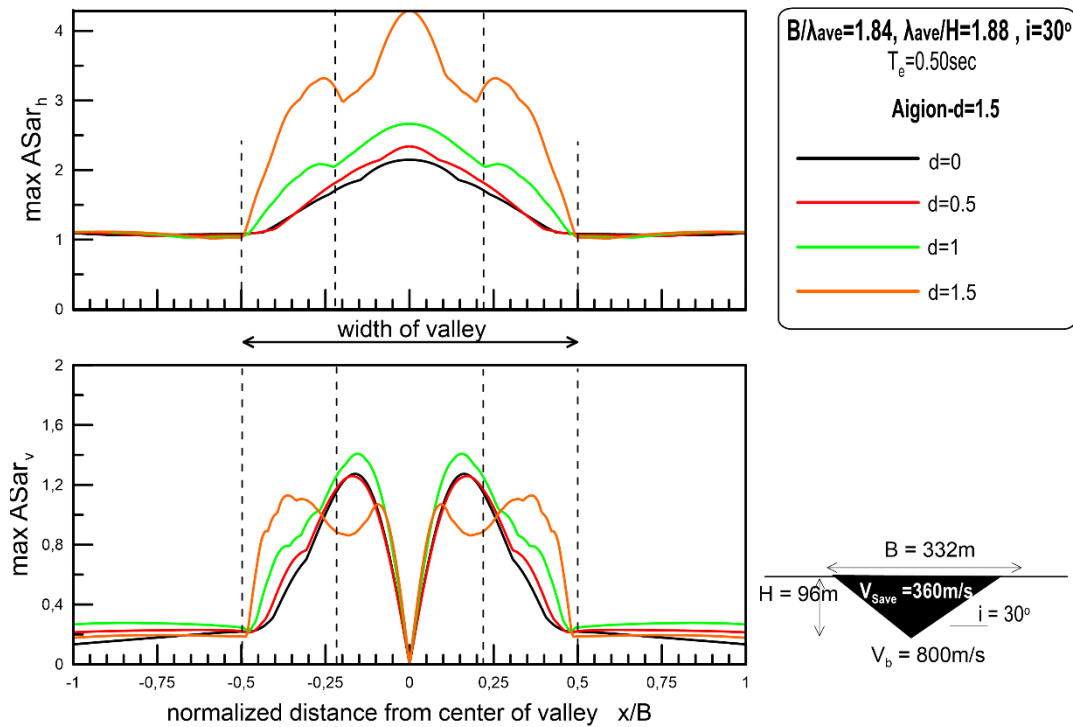
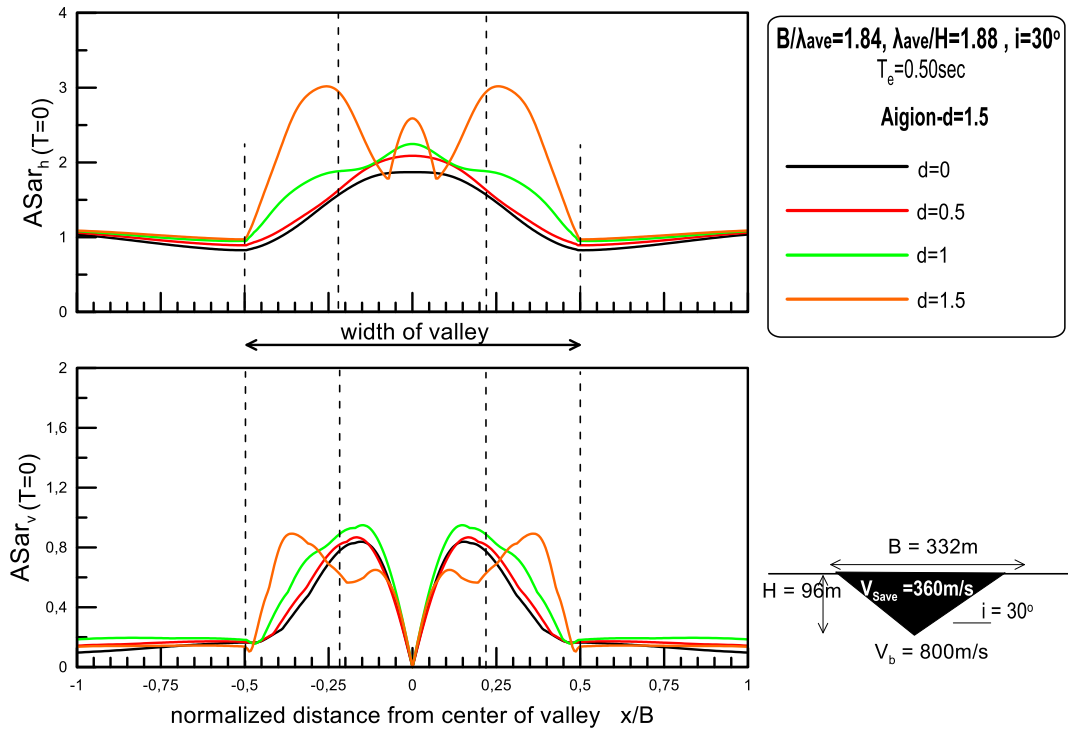




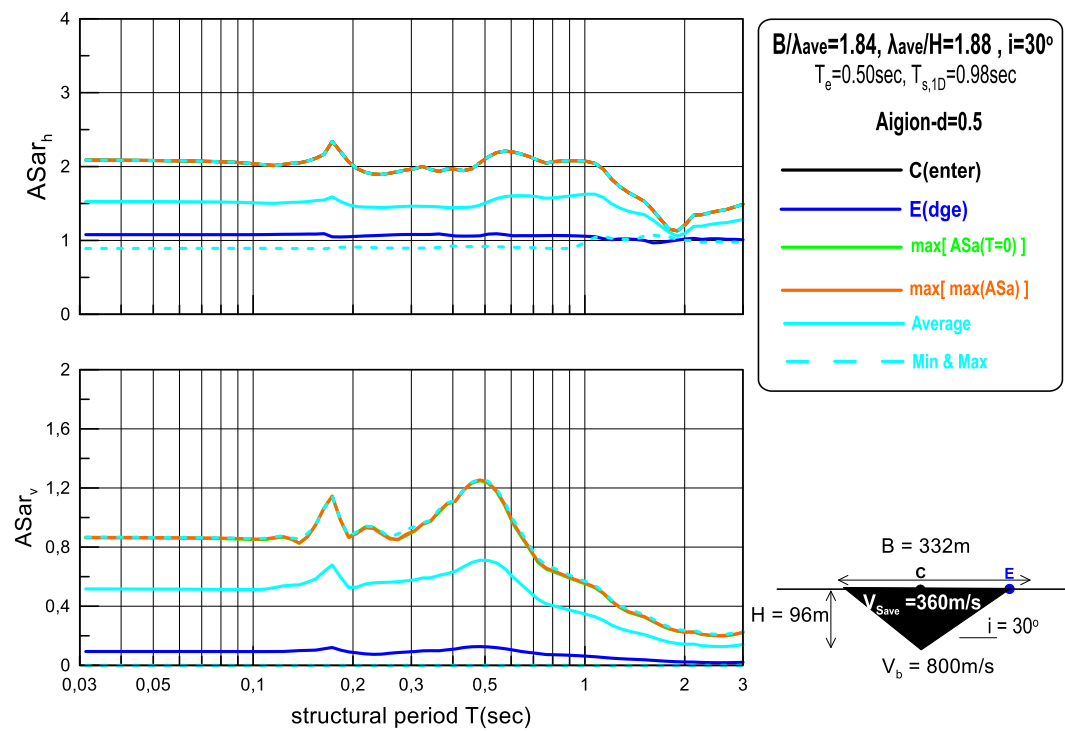
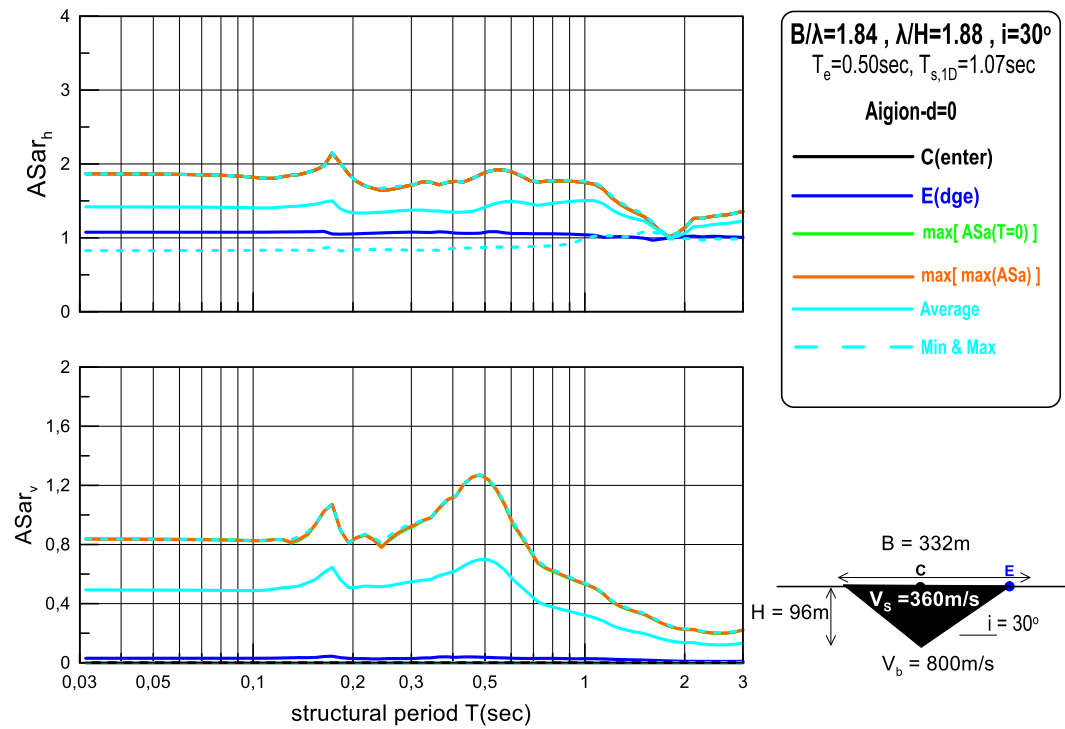
Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής της Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύομενο Βράχο

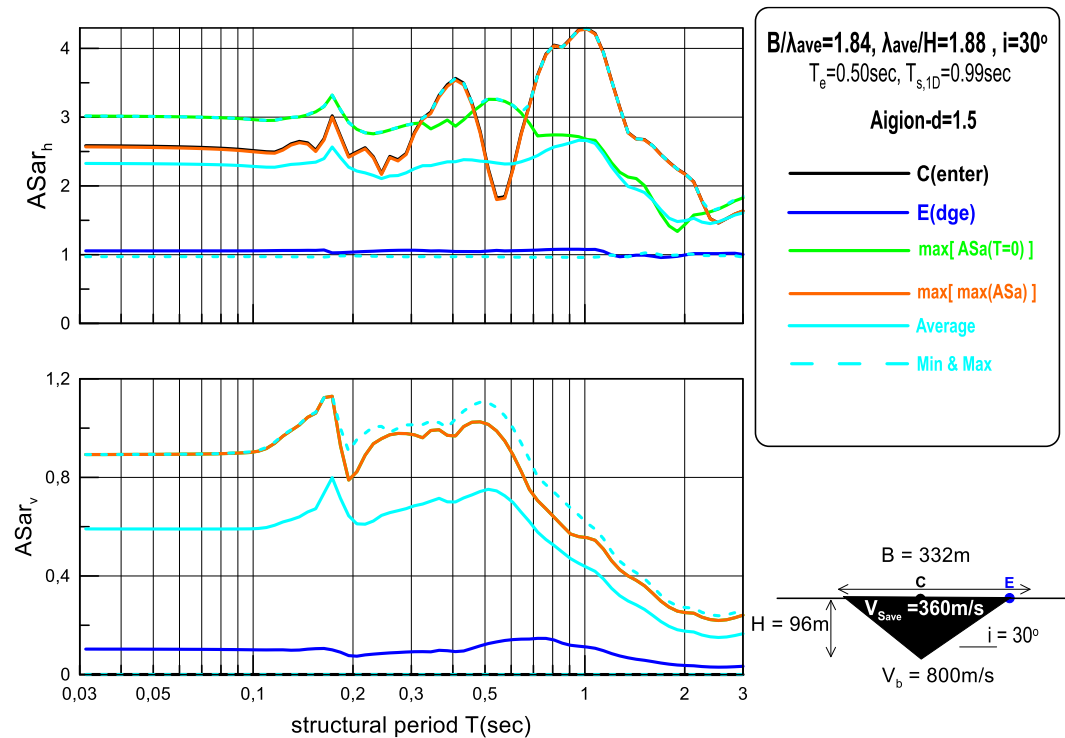
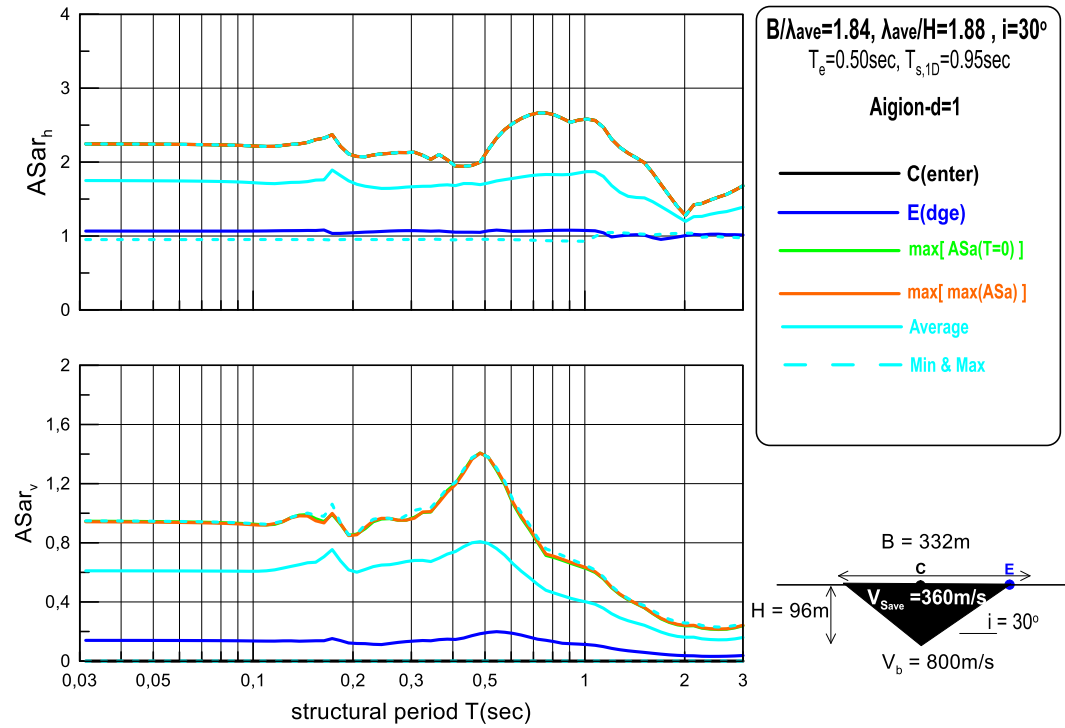






Φάσματα Επιδείνωσης ως προς τον Αναδύμενο Βράχο





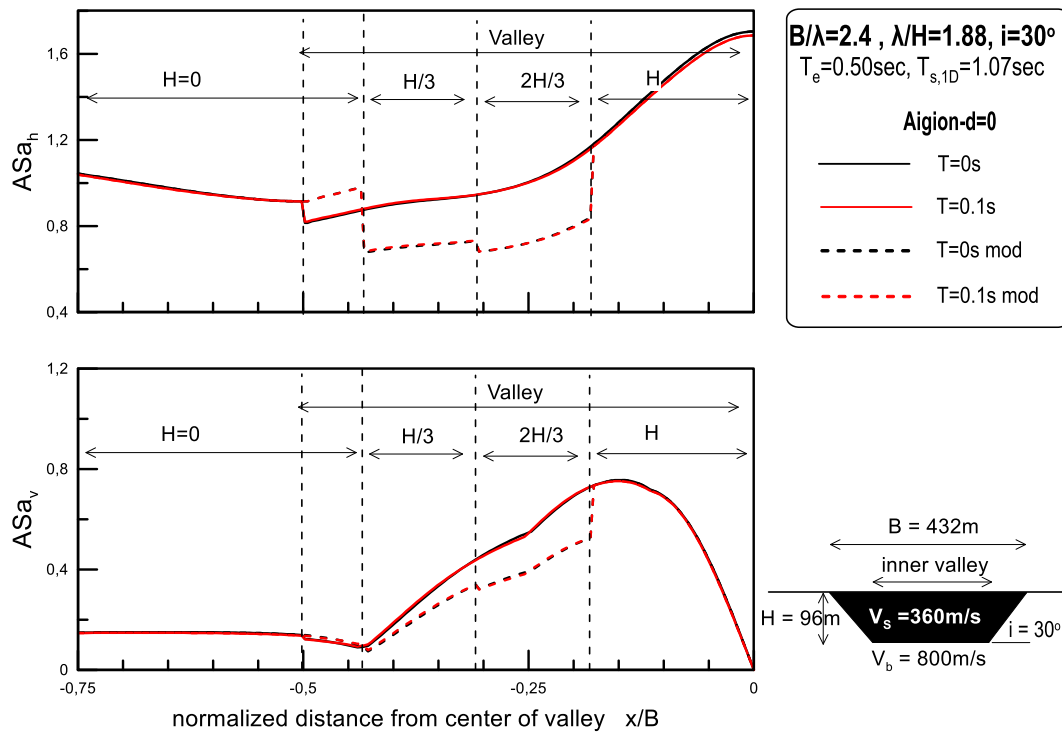
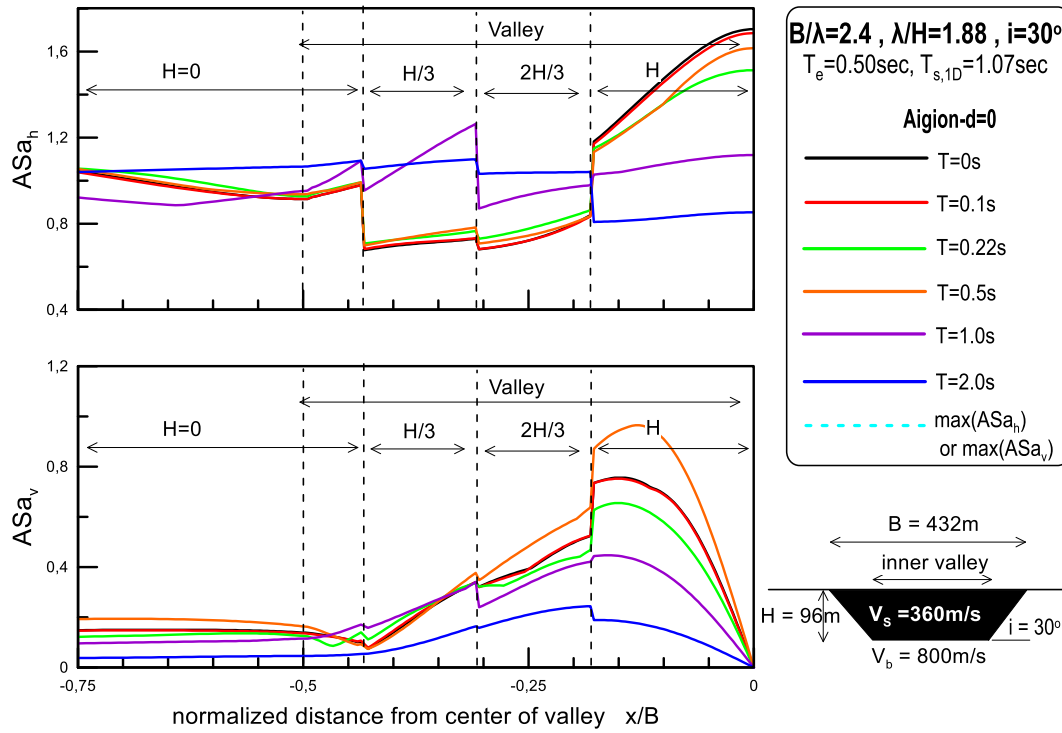
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

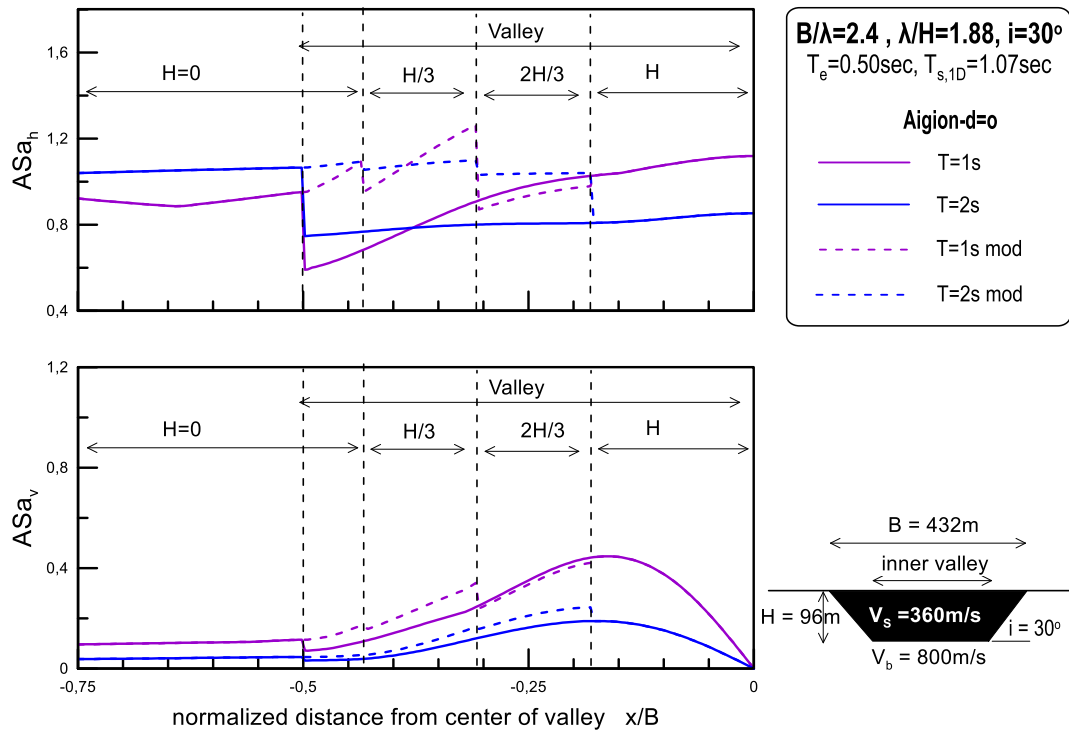
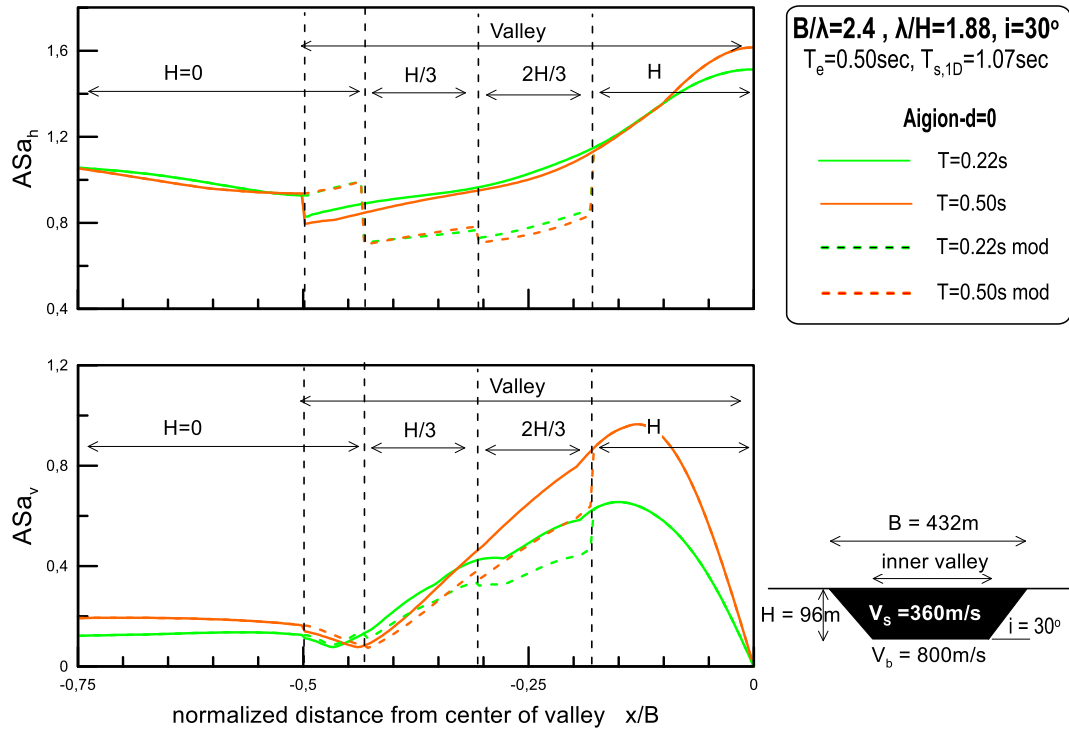
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΡΩΝ ΣΤΙΣ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

(Διαγράμματα Χωρικής Κατανομής)

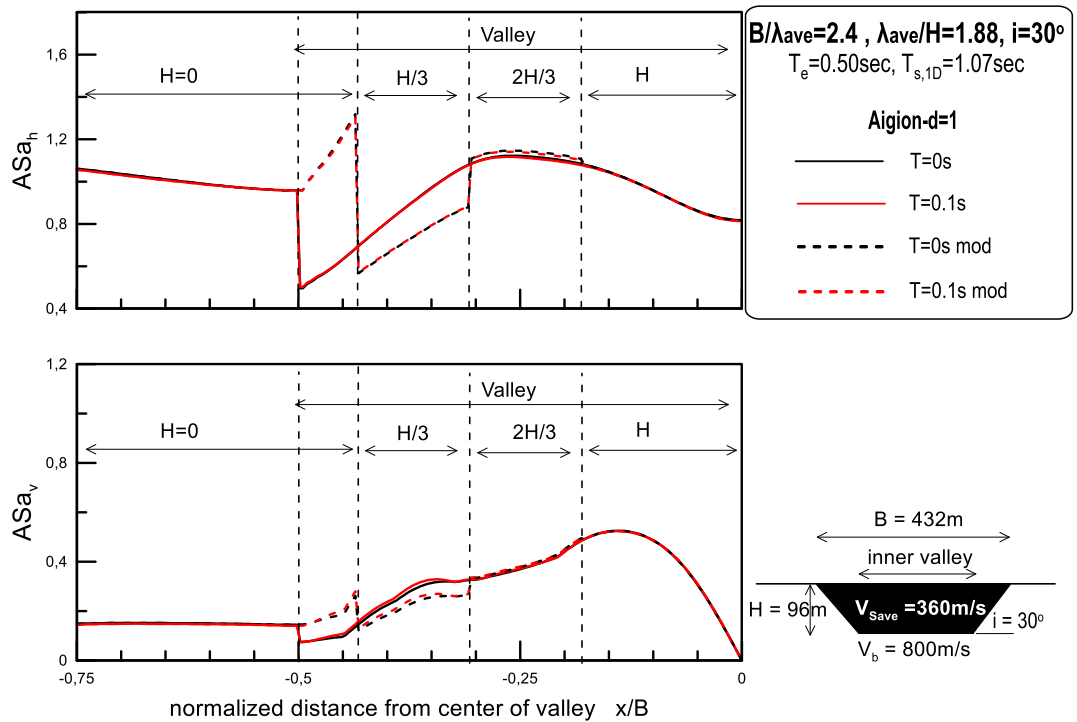
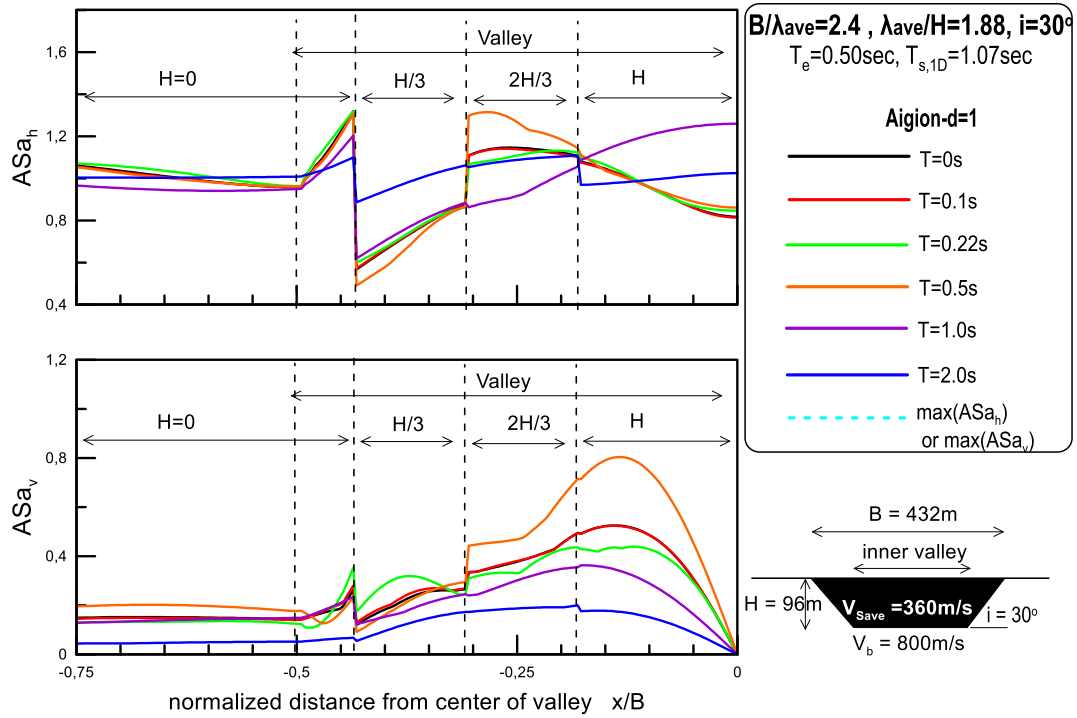
ΣΤΕΝΗ ΚΟΙΛΑΔΑ (B/H=4.5)

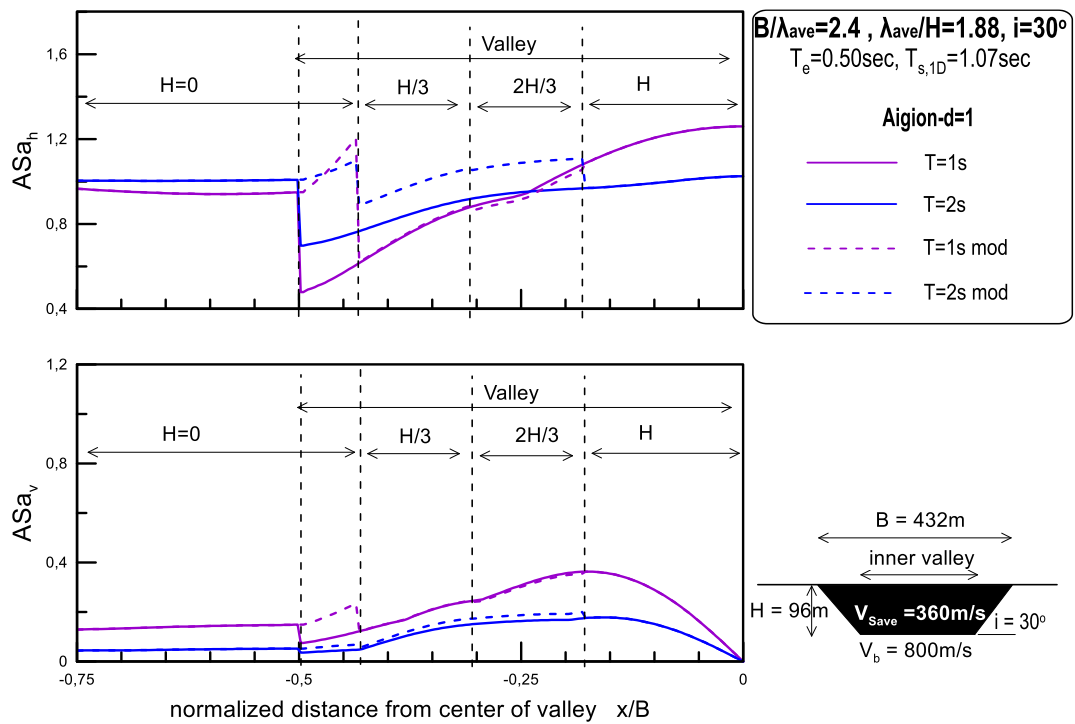
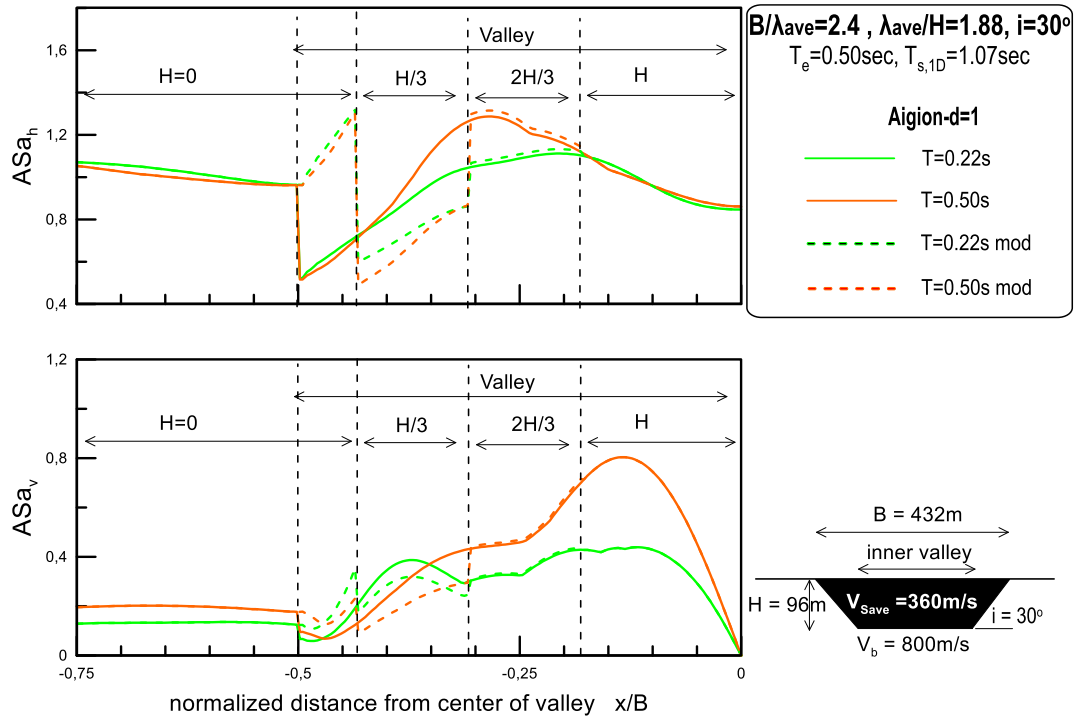
- **ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ (T_e=0.5 sec)**
 - **ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ d=0**





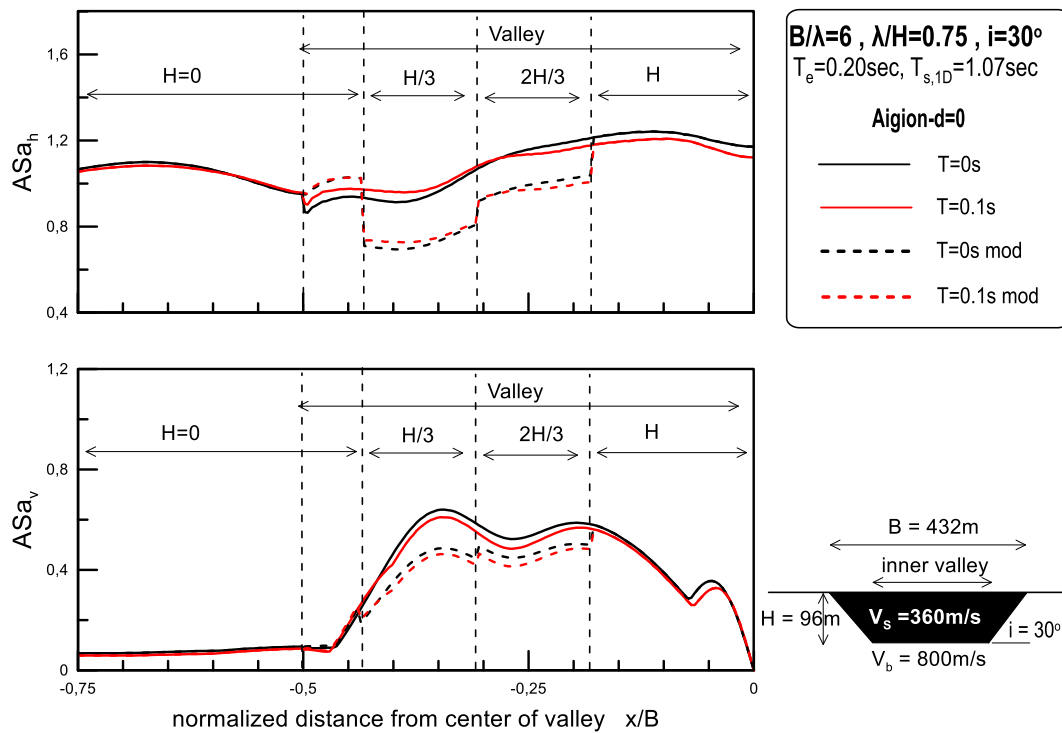
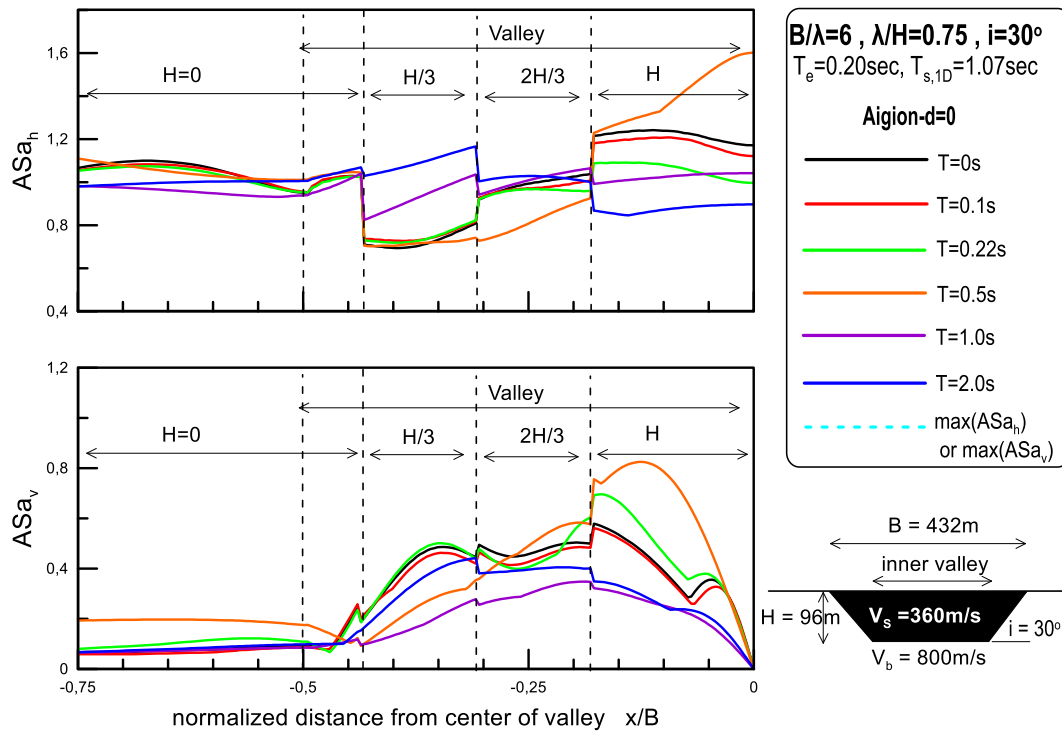
ο ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ $d=1$

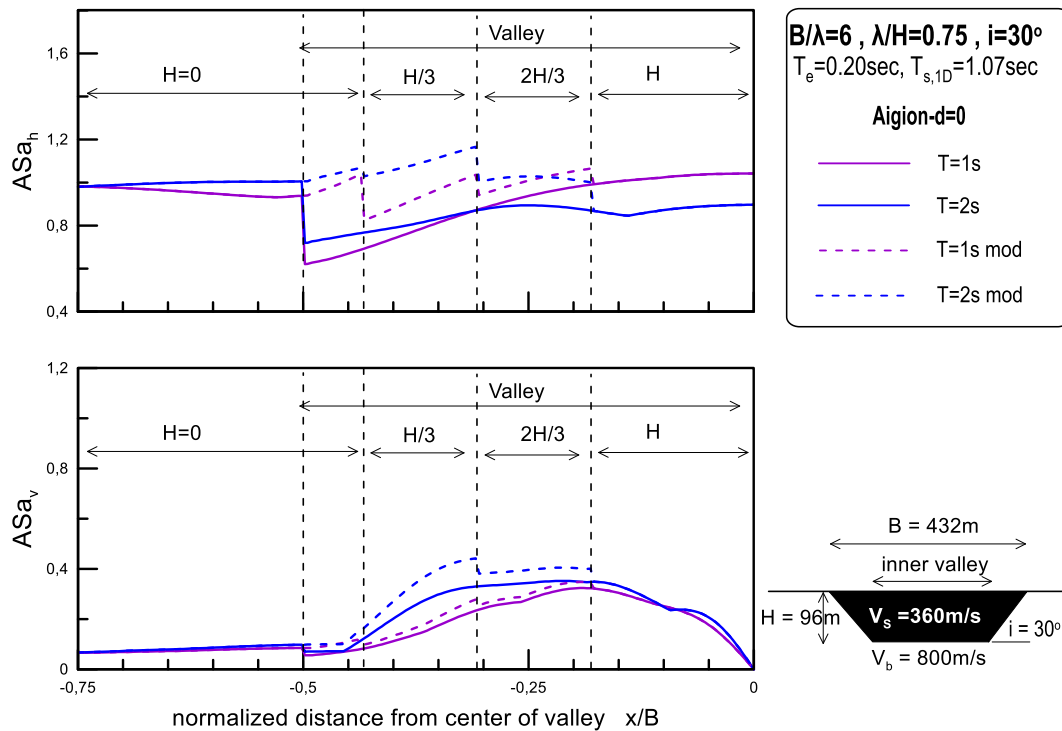
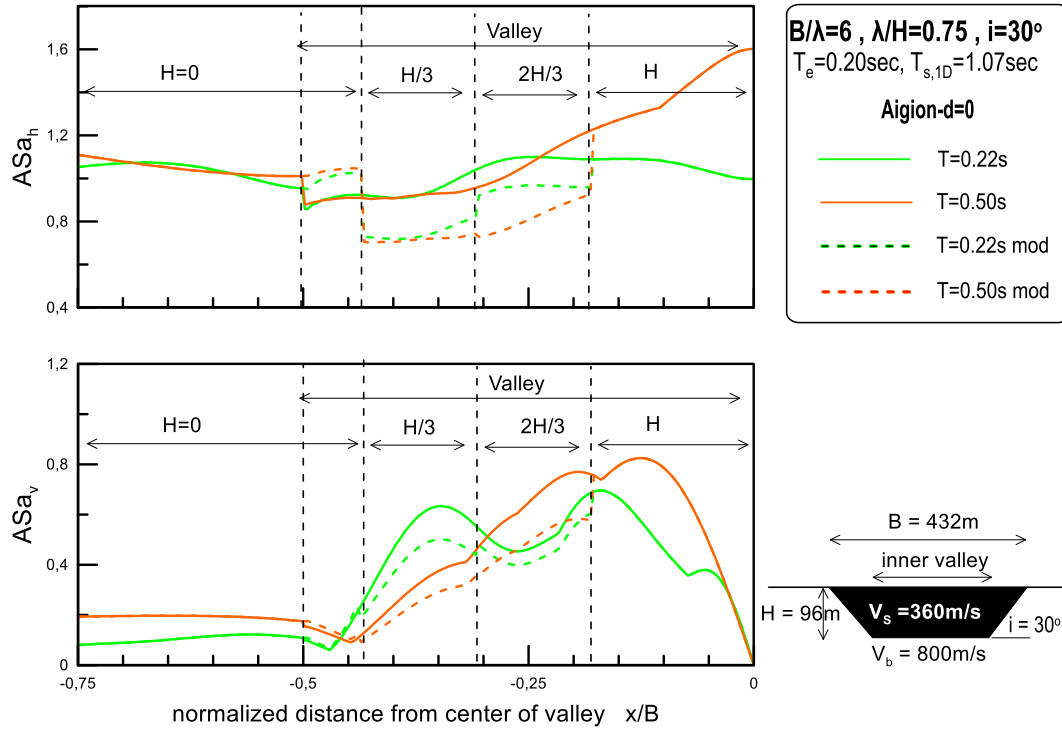




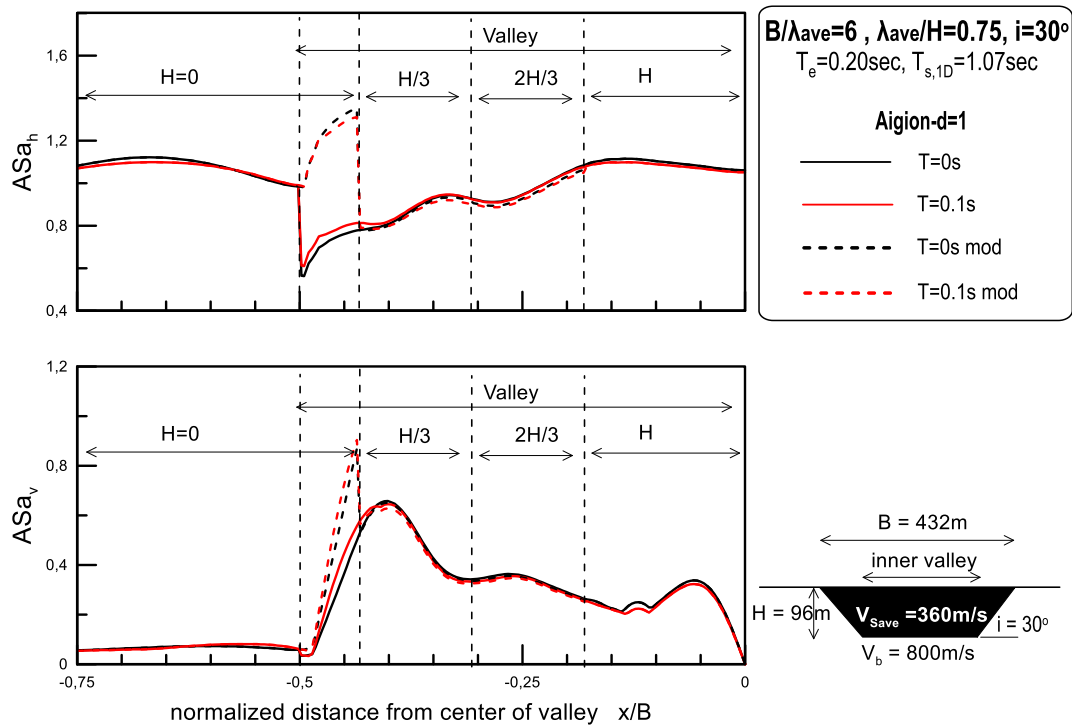
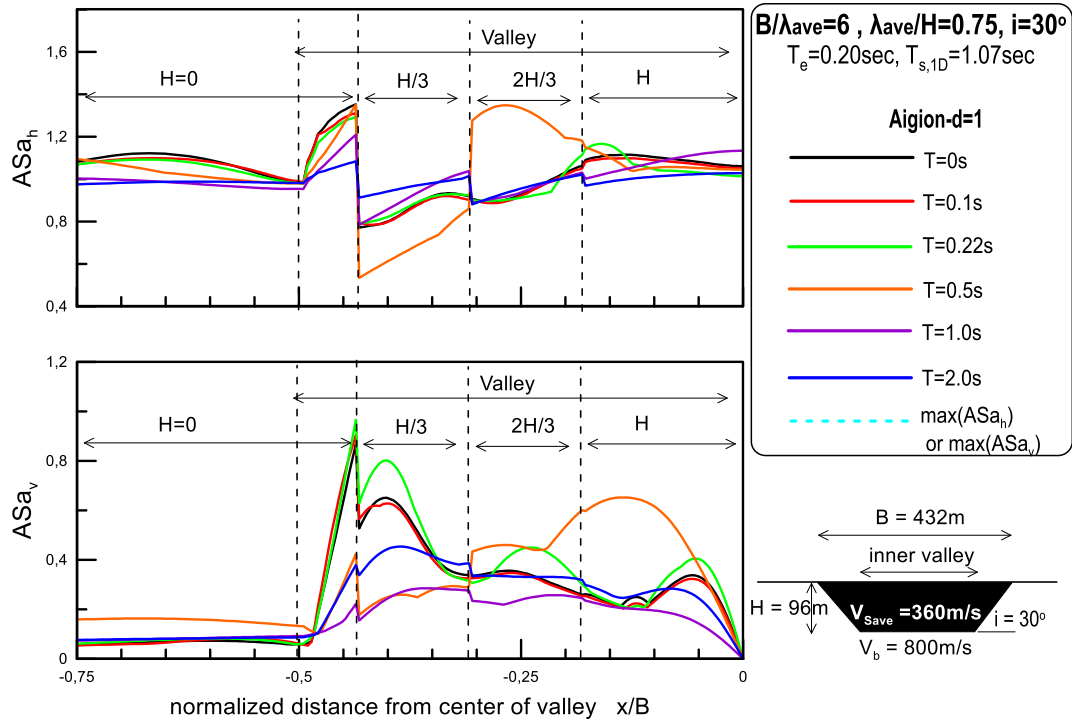
• ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.2$ sec)

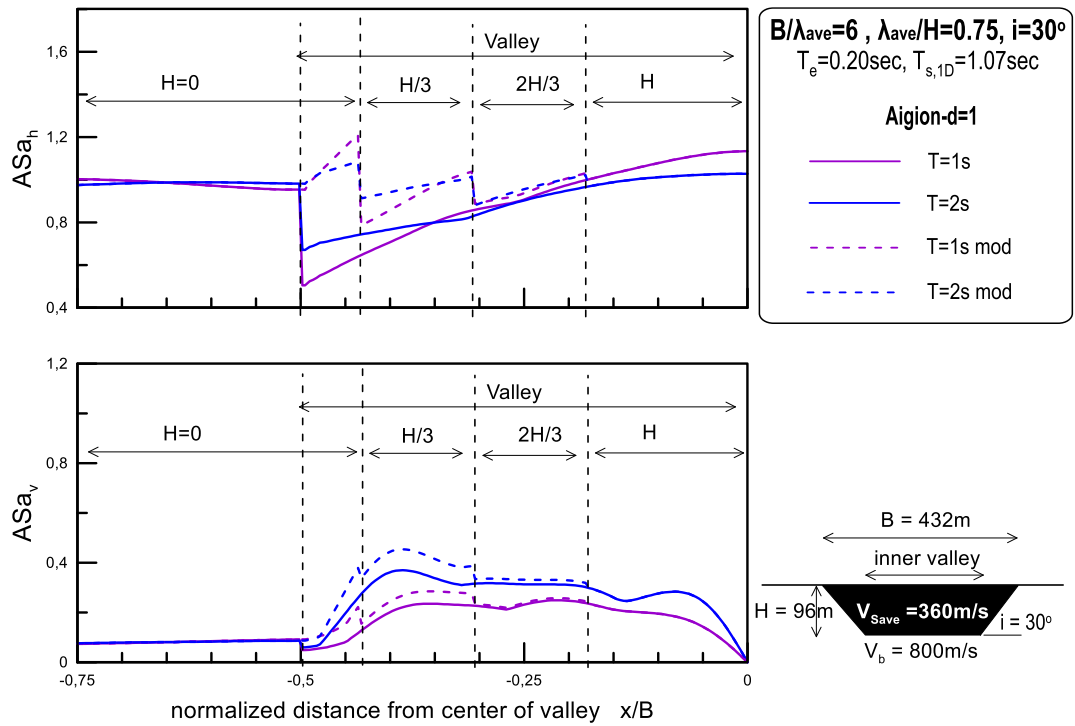
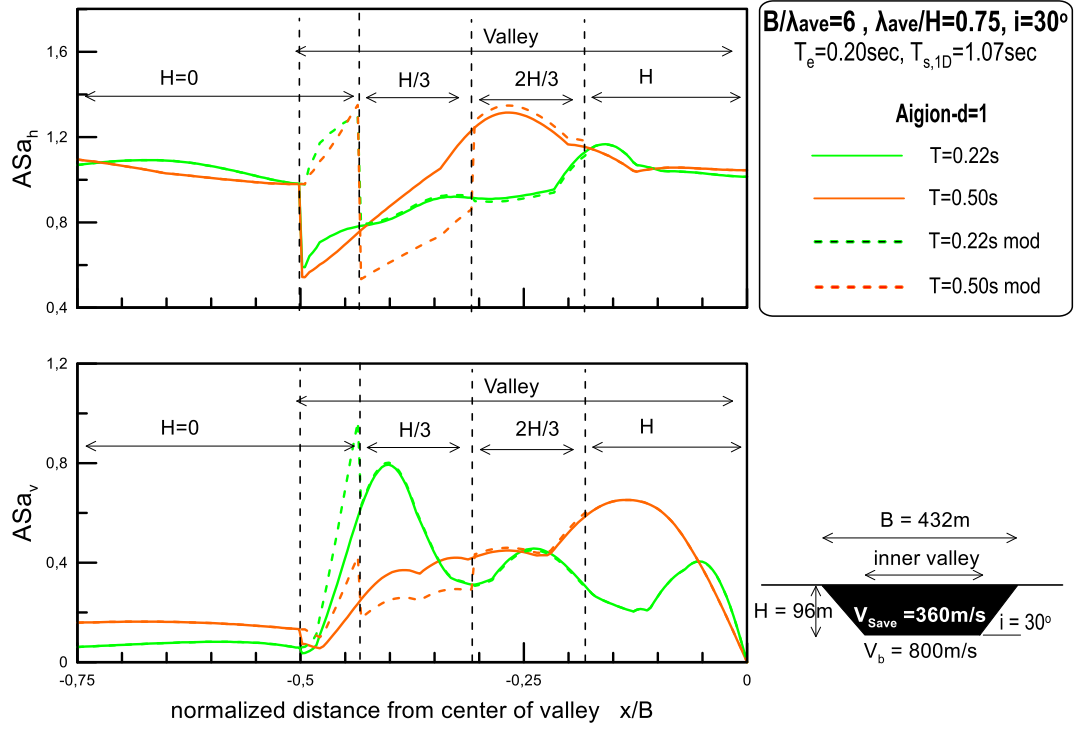
○ ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ $d=0$





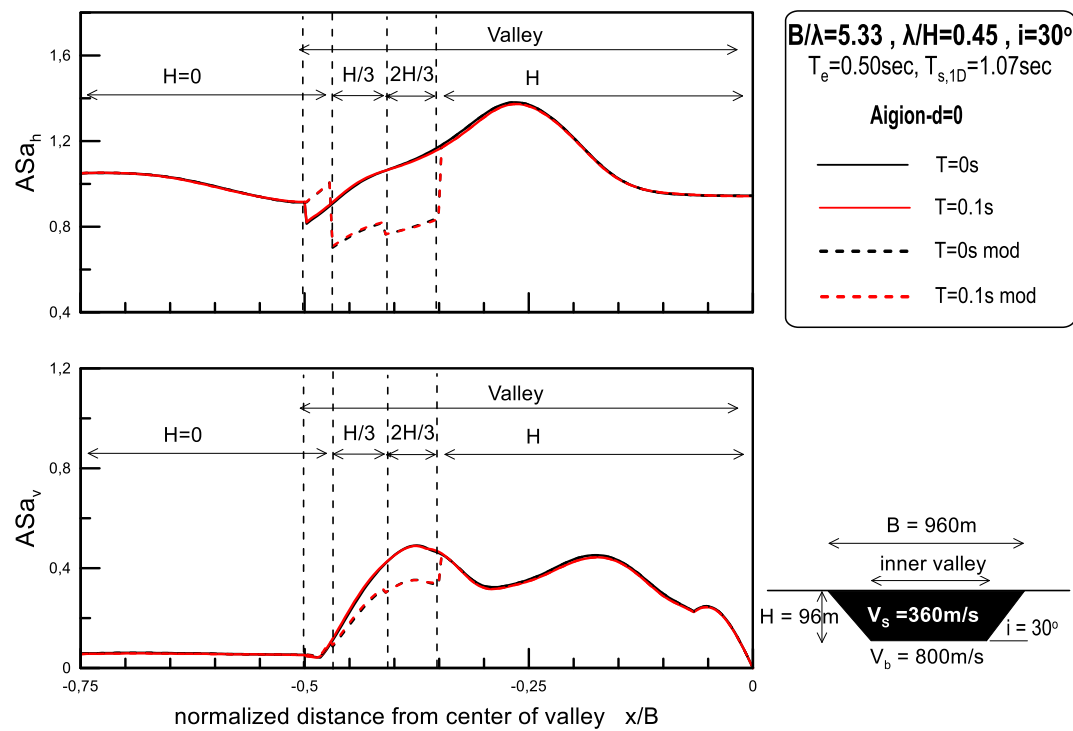
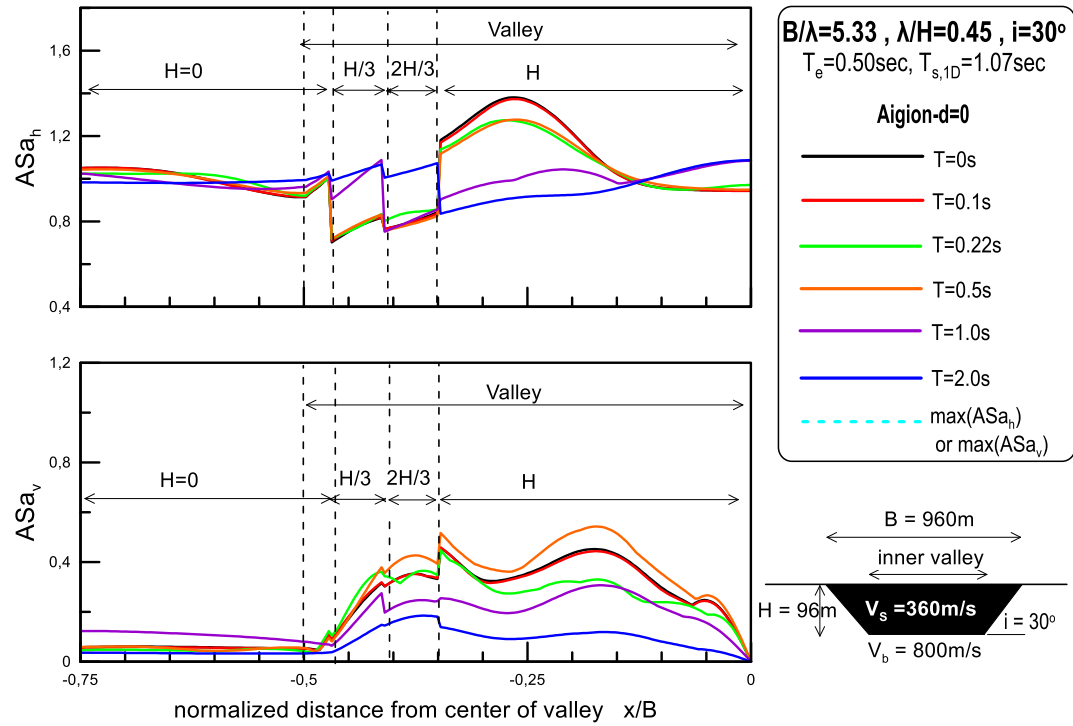
○ ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ $d=1$

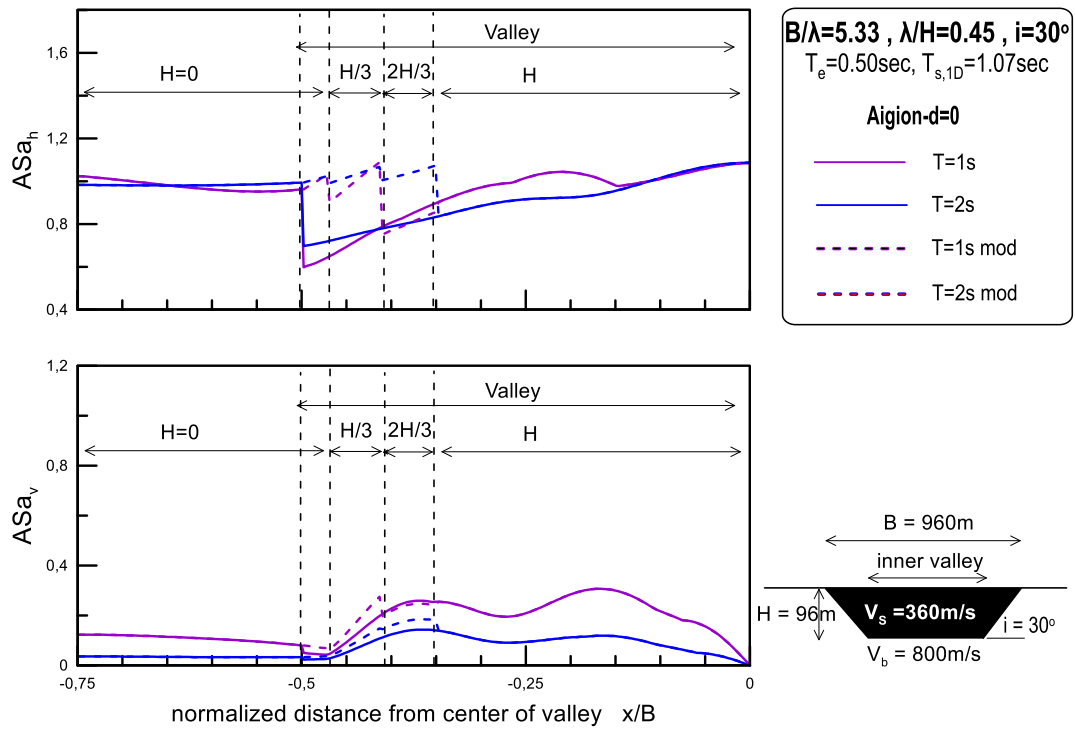
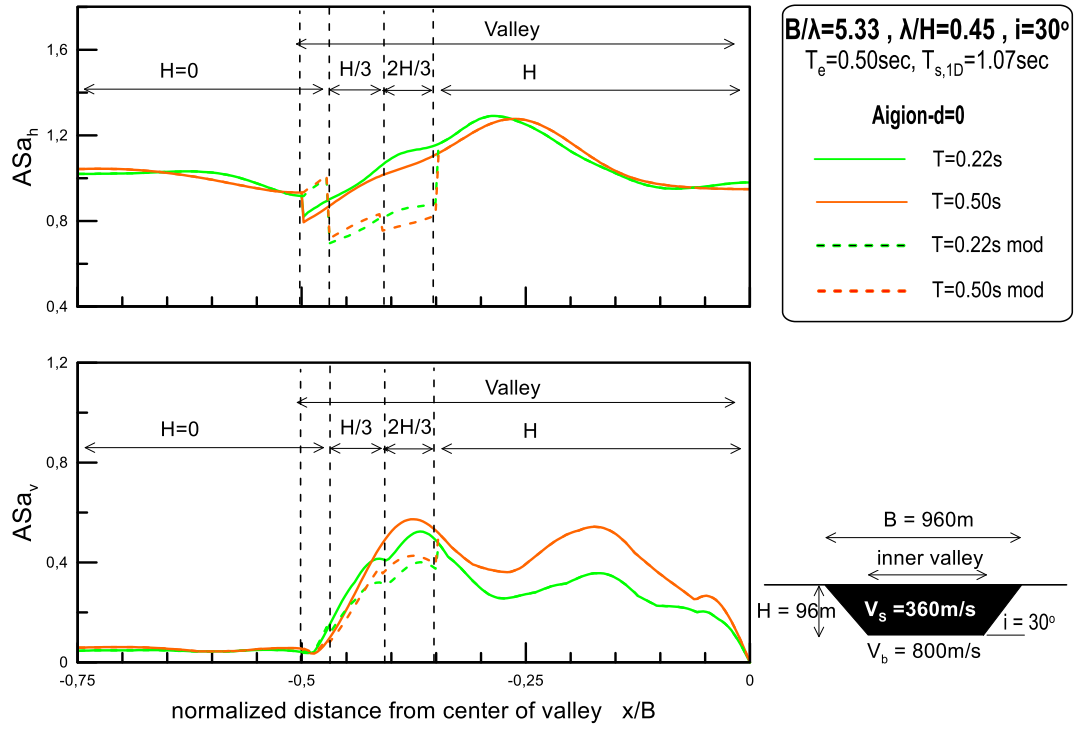




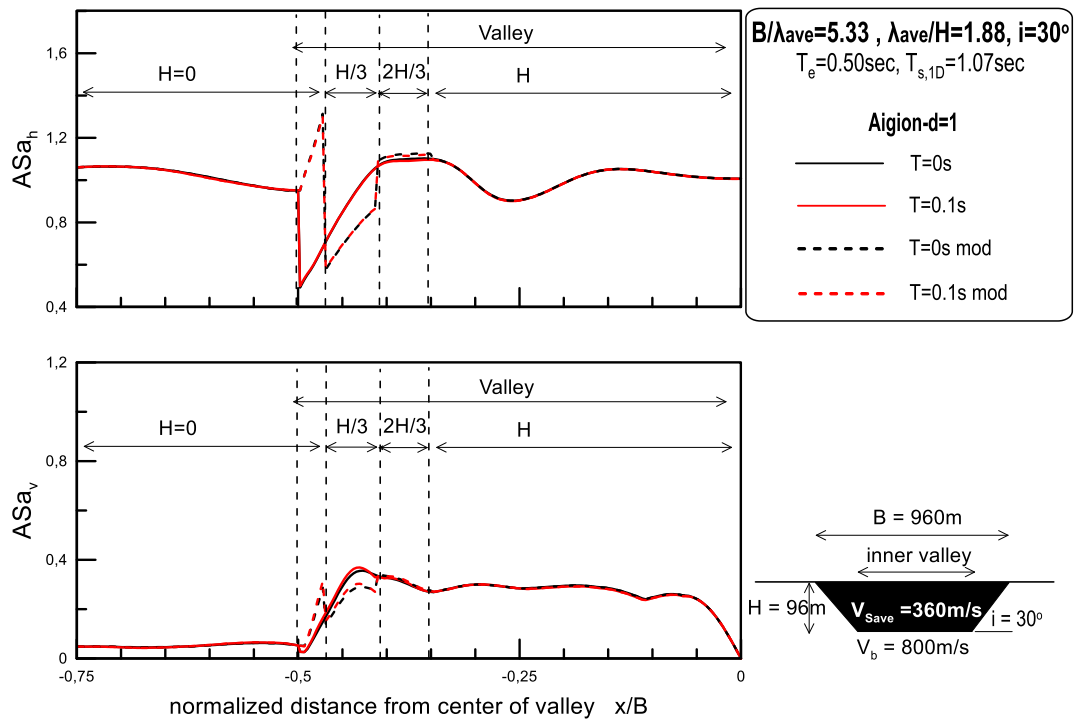
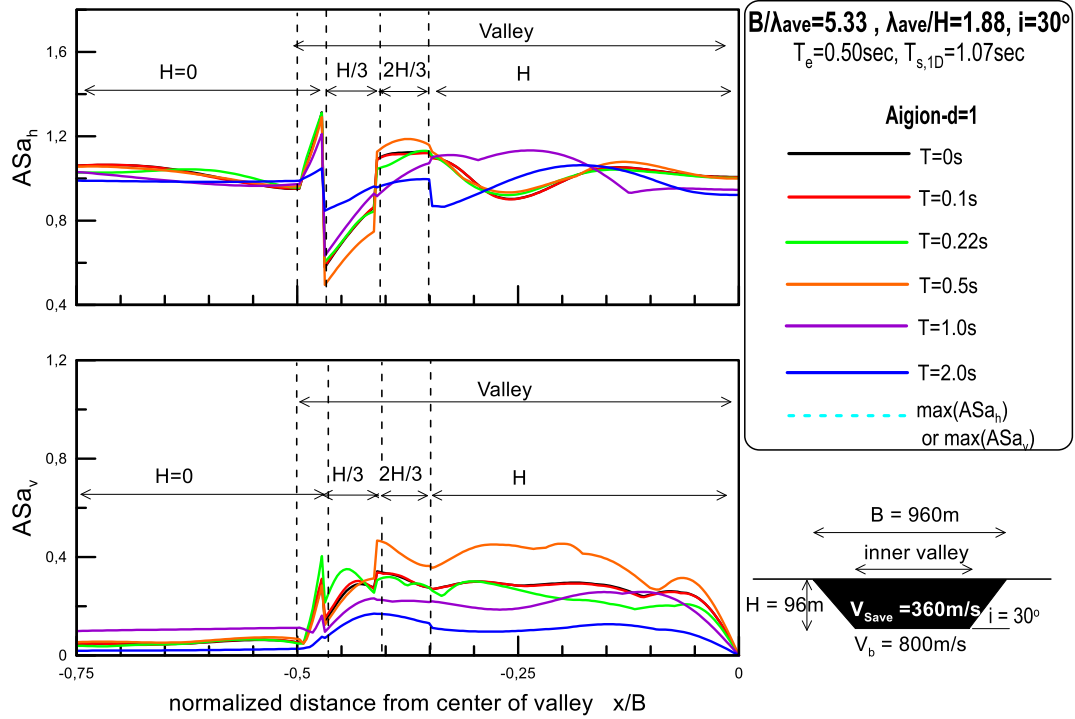
ΠΛΑΤΙΑ ΚΟΙΛΑΔΑ (B/H=10)

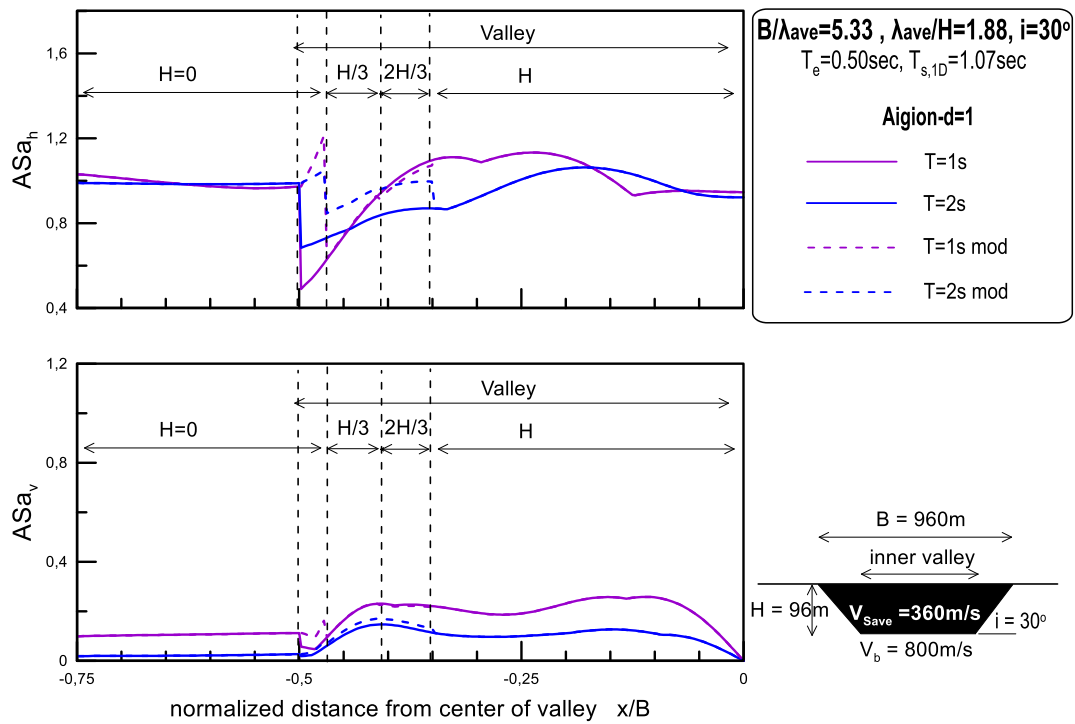
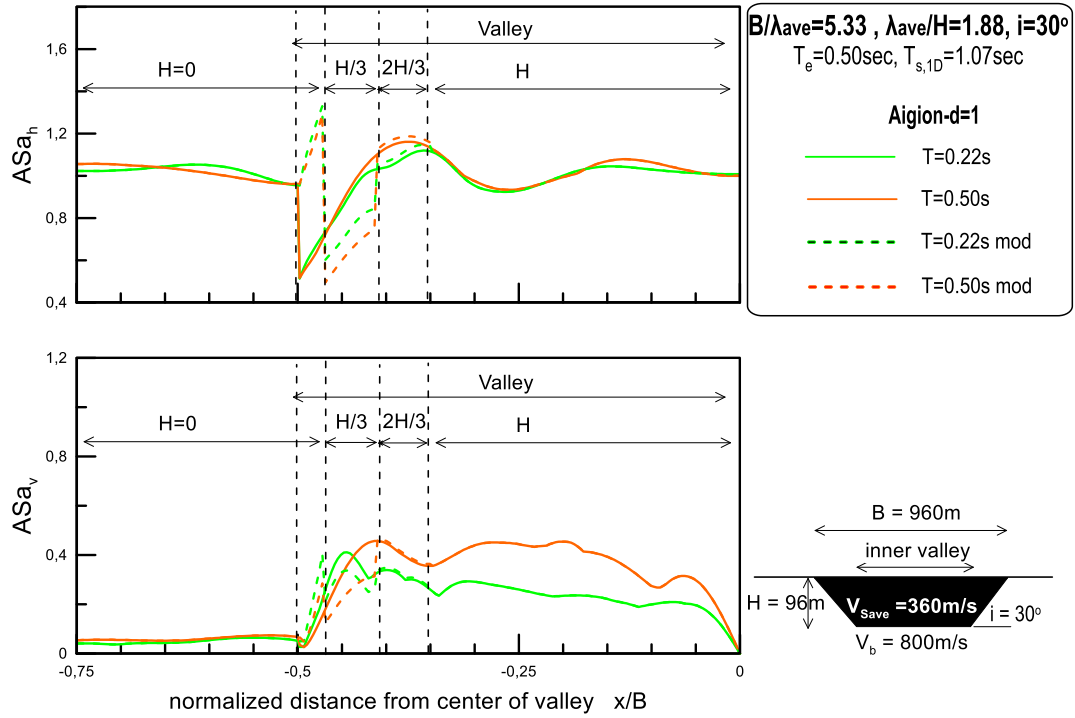
- **ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.5 \text{ sec}$)**
 - **ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ $d=0$**





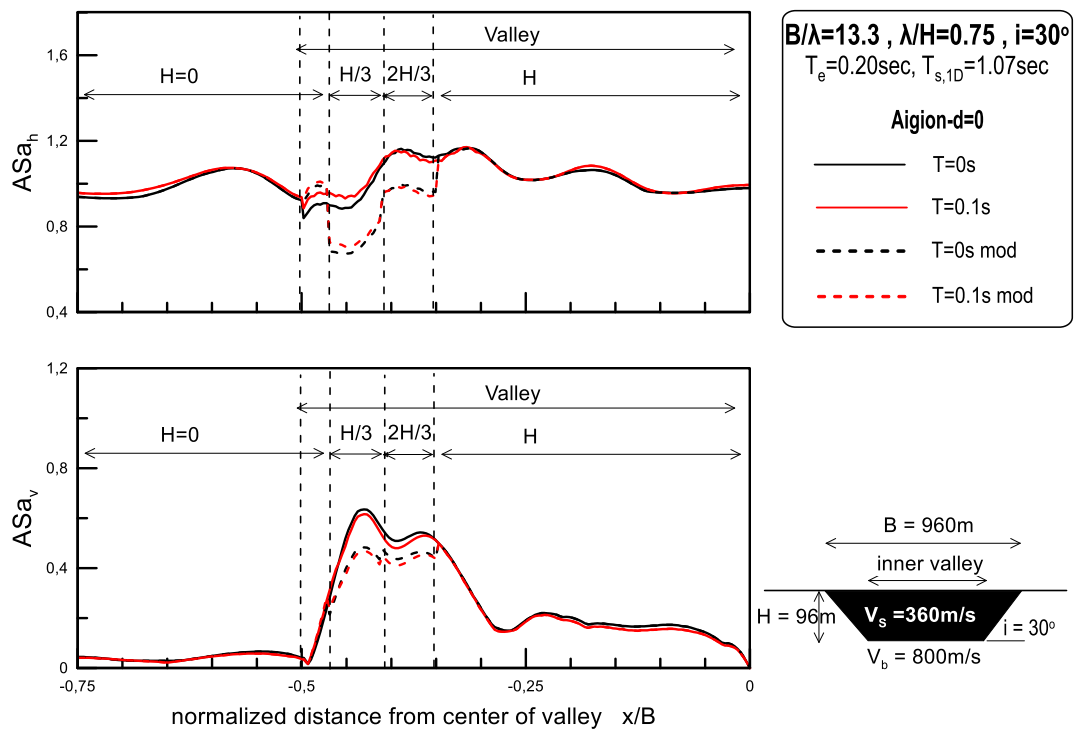
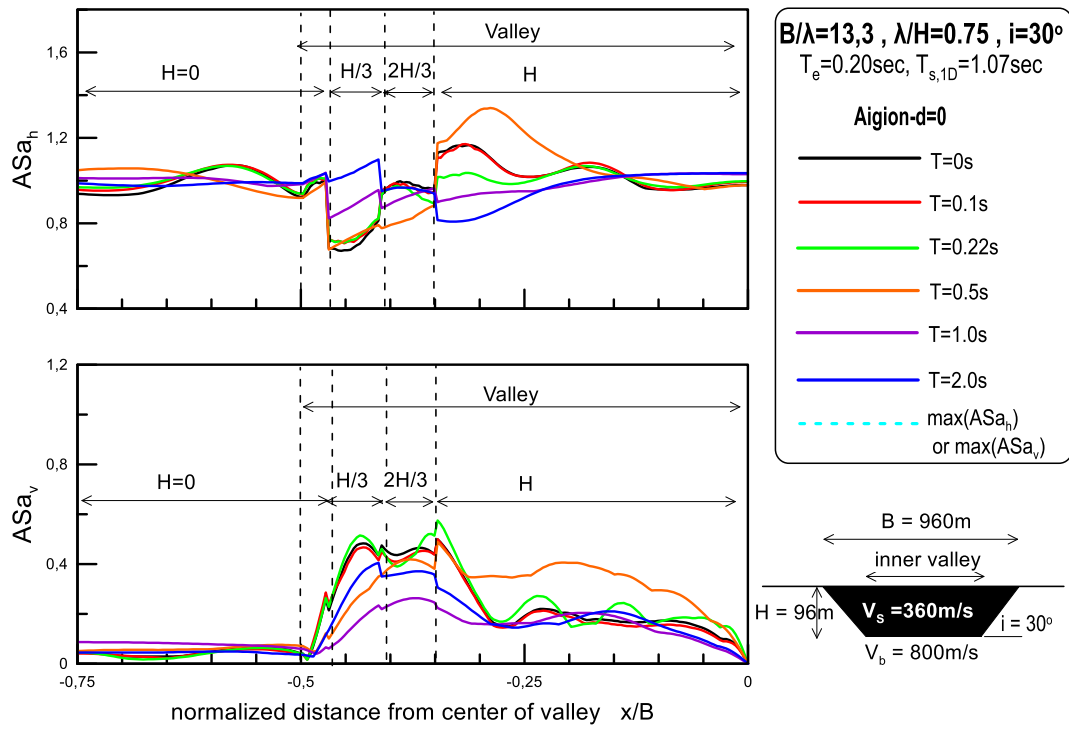
○ ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ d=1

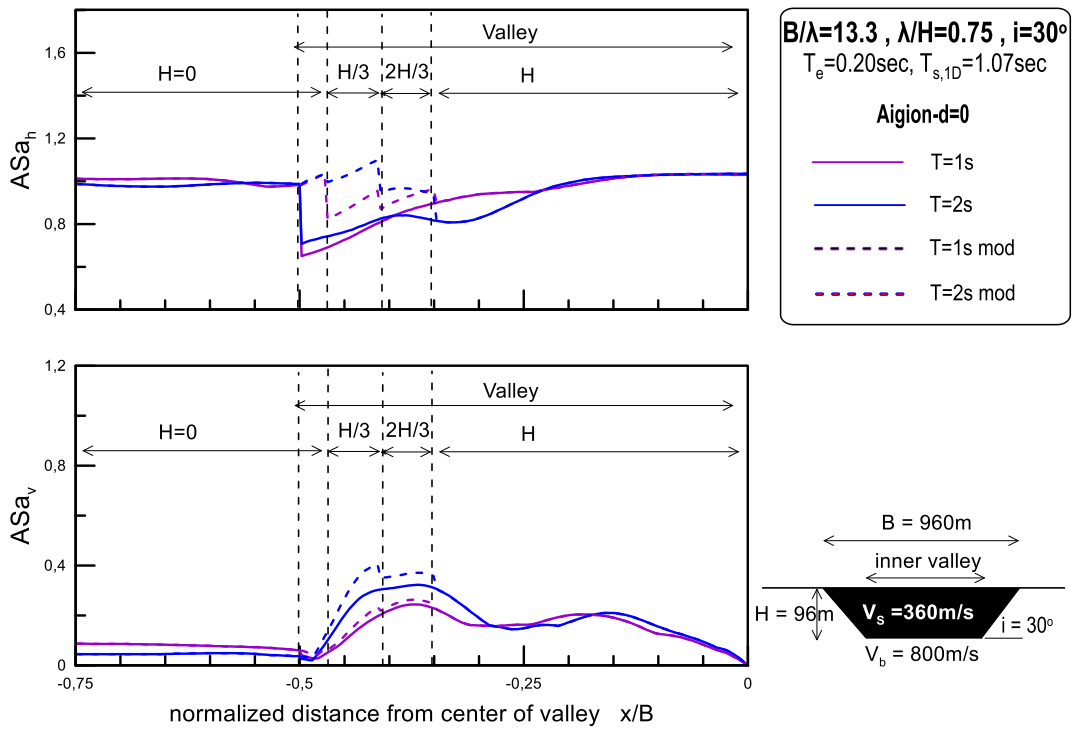
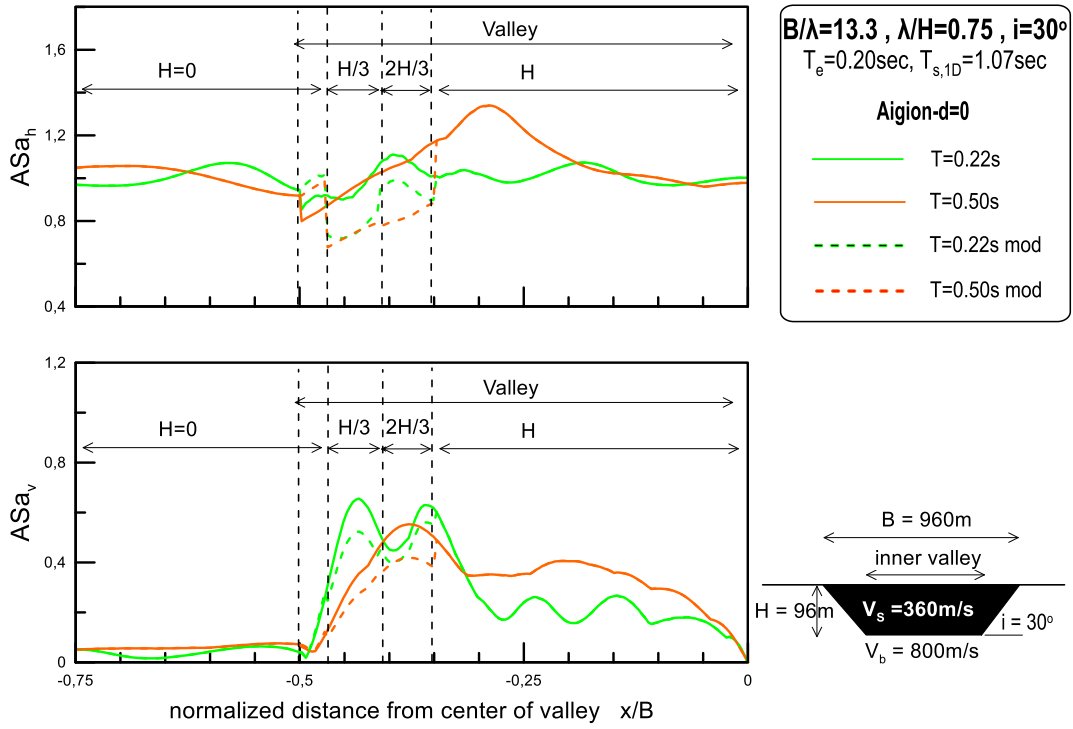




• ΥΨΙΣΥΧΝΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ($T_e=0.2$ sec)

○ ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ $d=0$





○ ΒΑΘΜΟΣ ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ d=1

