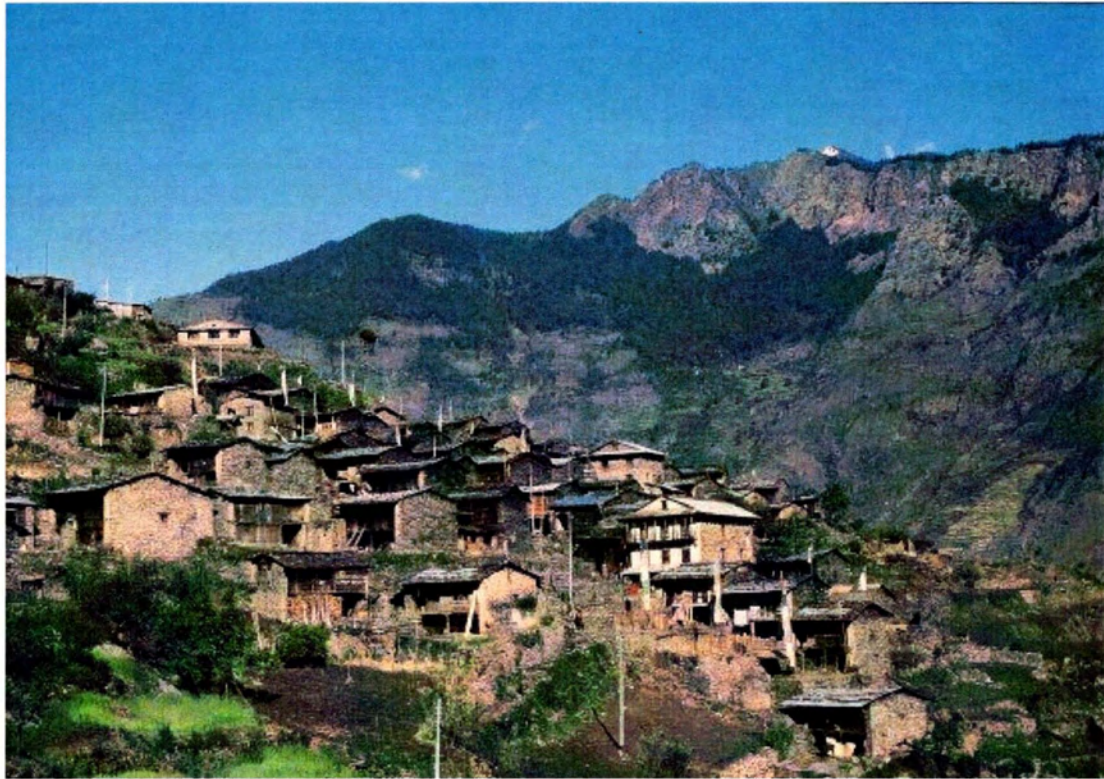




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στη
γειτονία μονοκλινών πρανών**



**Topographic aggravation of elastic response spectrum in the vicinity
of step-like slopes**

**Επιμέλεια: Κοντογιάννη Αποστολία
Επιβλέπων: Παπαδημητρίου Αχιλλέας, Επίκ.Καθηγητής**

ΒΟΛΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



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

Αριθ. Εισ.: 11394/1
Ημερ. Εισ.: 26-06-2013
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΠΜ
2013
ΚΟΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αχιλλέα Παπαδημητρίου για την ουσιαστική και πολύτιμη βοήθειά του, καθώς χωρίς αυτήν δε θα ήταν δυνατή η αποπεράτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ την οικογένειά μου για την οικονομική και ηθική υποστήριξη καθ'όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Αντικείμενο.....	1
1.2. Ιστορική αναδρομή	1
1.3. Διάρθρωση της διπλωματικής.....	3
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	6
2.1. Γενικά.....	6
2.2. Τοπογραφία πρανούς	7
2.3. Επίδραση στρωματογραφίας εδάφους.....	18
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	30
3.1. Περιγραφή μεθοδολογίας.....	30
3.2. Βαθμονόμηση μεθοδολογίας.....	33
3.3. Σεισμικές διεγέρσεις.....	43
3.4. Απόσβεση συστήματος.....	45
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΠΡΑΝΗ.....	46
4.1. Γενικά.....	46
4.2. Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης.....	47
4.3. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης.....	60
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΠΡΑΝΗ.....	73
5.1. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης σε επιλεγμένες θέσεις.....	73
5.2. Πρόταση και αξιολόγηση συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης.....	82
5.3. Ποσοτική και χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης.....	89
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΜΑΛΑΚΗΣ» ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	100
6.1. Γενικά.....	100
6.2. Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης.....	102
6.3. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης.....	108
6.4. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης.....	114
6.5. Πρόταση και αξιολόγηση παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης.....	119

6.6. Ποσοτική και χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης.....	126
6.7. Απευθείας σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς.....	139

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....153

7.1. Βασικά συμπεράσματα: Ομοιόμορφα μονοκλινή πρανή.....	153
7.2. Βασικά συμπεράσματα: Μονοκλινή πρανή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη.....	154
7.3. Επισκόπηση υπάρχουσων κανονιστικών διατάξεων.....	154

8. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....156

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έχουν ήδη υπάρξει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες μελέτης του φαινομένου της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης στη γειτονία μονοκλινών πρανών, φωτίζοντας αρκετές εκφάνσεις του φαινομένου. Για παράδειγμα, οι Bouckovalas & Paradimitriou (2005), εκτίμησαν την τοπογραφική επιδείνωση καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους (μπρος και πίσω από το πρανές) και πρότειναν προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού της επίδρασης της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς, μόνο όμως στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Στην παρούσα εργασία μελετάται αριθμητικά η τοπογραφική επιδείνωση όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, αλλά ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα. Επίσης διερευνάται προκαταρκτικά η επίδραση που μπορεί να έχει η ύπαρξη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη του πρανούς στους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης και στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, συγκριτικά μ' ένα αντίστοιχο ομοιόμορφο πρανές.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών FLAC. Το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδο-ελαστικό, ομοιόμορφο με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s = 500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu = 1/3$ και πυκνότητα $\rho = 2\text{Mg/m}^3$. Χαρακτηριστικά των αναλύσεων αποτελούν οι ιδιαίτερα πυκνοί και ευρείς κάρναβοι, σύνορα ελευθέρου πεδίου στα πλευρικά όρια του καννάβου, και επιβολή της σεισμικής διέγερσης στη βάση του καννάβου ως χρονοϊστορία διατμητικής τάσης, που σε συνδυασμό με αποσβεστές στη βάση αντιστοιχεί σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Υιοθετείται απόσβεση τύπου Rayleigh, με ελάχιστη τιμή $\xi=5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης. Ως σεισμικές διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν η καταγραφή του σεισμού του Αιγίου (1995) με έναν σημαντικό κύκλο φόρτισης, και η καταγραφή του σεισμού της Κοζάνης (1995) με τέσσερις σημαντικούς κύκλους φόρτισης, κατάλληλα προσαρμοσμένες κάθε φορά για να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης T_e . Οι αναλύσεις για κάθε μορφή χρονοϊστορίας διέγερσης πραγματοποιήθηκαν για κλίσεις $i = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ και αδιάστατα ύψη πρανούς $H/\lambda = 0.125, 0.20, 0.45$ και 1.0 ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών (H το ύψος και $\lambda = V_s T_e$ το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων). Το συνολικό πλήθος των αναλύσεων για ομοιόμορφα πρανή ανέρχεται σε 48. Στα πρανή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη (πάχους $h=10\text{m}$, ταχύτητας S κυμάτων 180m/s), οι ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις για κάθε μορφή χρονοϊστορίας διέγερσης πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά για κλίση $i = 30^\circ$ και δεσπόζουσες περιόδους διέγερσης $T_e = 0.5, 0.222$ και 0.1sec . Το συνολικό πλήθος των αναλύσεων για τη συγκεκριμένη μορφή ανομοιομορφίας του εδάφους ανέρχεται σε 12.

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

(α) η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο AS_{ah}** που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{ah} για την οριζόντια ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης

στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για την περιοχή πίσω από τη στέψη $S_{ah,c}$ και μπροστά από τον πόδα $S_{ah,t}$).

- (β) η τοπογραφική επιδείνωση του (παρασιτικού) ελαστικού φάσματος απόκρισης στην κατακόρυφη διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο** AS_{av} που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{av} για την (παρασιτική) κατακόρυφη ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, όπως ανωτέρω).

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα κάτωθι γενικά συμπεράσματα, ειδικά για το ελαστικό φάσμα απόκρισης:

- Η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης δεν είναι ενιαία, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής T . Σε κάθε περίπτωση διαφαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής, έως τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης T_e . Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση κρίνεται μη σημαντική (και πρακτικώς αμελητέα) για $T \geq 1\text{sec}$, και μόνο για ιδιαίτερα χαμηλόσυχνες διεγέρσεις το εν λόγω όριο μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες περιόδους. Το πόσο σημαντική είναι η τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής εξαρτάται κυρίως από τις κρίσιμες παράμετρους του φαινομένου, δηλαδή το αδιάστατο ύψος του πρανούς H/λ και την κλίση του i , ενώ δεν εξαρτάται ουσιαστικά από τον αριθμό κύκλων της διέγερσης. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν και τους δύο φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} .
- Εν γένει, η ύπαρξη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη αλλάζει τις επιταχύνσεις στην περιοχή πίσω από τη στέψη, αλλά δεν επηρεάζει την περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Οι επιταχύνσεις αλλάζουν, ως επί το πλείστον, με βάση τη θεωρία 1D μετάδοσης κυμάτων για «μαλακή» στρώση επί ελαστικού βράχου. Η τιμή των τοπογραφικών επιδεινώσεων διαφοροποιείται λόγω «μαλακής» στρώσης σε μικρό βαθμό και ως τιμή και ως χωρική διαφοροποίηση, συγκριτικά με ό,τι αναμένεται για ομοιόμορφο πρανές. Σε κάθε περίπτωση, όταν προκύπτουν αλλαγές στις τοπογραφικές ενισχύσεις λόγω «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη, αυτές είναι ελαφρώς ενισχυτικές (έως 10%). Στην πράξη οι αλλαγές αυτές προκύπτουν μόνο σε υψηλόσυχνες διεγέρσεις, δηλαδή όταν η δεσπόζουσα περίοδος T_e είναι μικρότερη της ιδιοπερίοδου της «μαλακής» στρώσης T_s , οπότε και υπάρχει ελαφρά ενίσχυση των τοπογραφικών ενισχύσεων, όχι μόνο για $T=0$ αλλά και τοπικά στην περιοχή περιόδων της T_e , κυρίως στην παρασιτική κατακόρυφη διεύθυνση και λιγότερο στην οριζόντια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση της επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης για την οριζόντια και την (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση στη γειτονία ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών, συγκριτικά με ό,τι προκύπτει υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης σε κάθε θέση. Η τοπογραφική, όπως ονομάζεται, επιδείνωση της σεισμικής απόκρισης εκτιμάται αριθμητικά, με χρήση ιξωδοελαστικών αναλύσεων για 2Δ ομοιόμορφα πρανή. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η τοπογραφική επιδείνωση όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, αλλά ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα. Επιπλέον εκτιμάται η επίδραση της ύπαρξης μαλακής στρώσης εδάφους στην τοπογραφική επιδείνωση, με την εκτέλεση αντίστοιχων αναλύσεων για μη-ομοιόμορφα μονοκλινή πρανή. Τελικός στόχος αυτής της διερεύνησης παραμετρικού χαρακτήρα είναι η πρόταση σχέσεων εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού και για τις δύο συνιστώσες, οι οποίες θα είναι διαφορετικές για κάθε θέση και περίοδο κατασκευής T , και θα καθορίζονται από τη γεωμετρία του πρανούς, τις γεωτεχνικές παραμέτρους, καθώς και τα χαρακτηριστικά της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης.

1.2. Ιστορική αναδρομή

Από τη δεκαετία του '70 πειραματικές παρατηρήσεις (Griffiths & Bollinger 1979, Bard & Tucker 1985) υποδείκνυαν την επιρροή που ασκεί ο τοπογραφικός παράγοντας στη σεισμική κίνηση. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν θεωρητικές μελέτες για τη εξεύρεση αριθμητικής λύσης στο πρόβλημα με αποτέλεσμα να εφαρμοσθούν όλες οι πρακτικά γνωστές αριθμητικές μέθοδοι (μέθοδοι εφαρμογής της θεωρίας των πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών, του «διακεκριμένου κυματικού αριθμού» κλπ), για τη διερεύνηση της διάδοσης διδιάστατων κυμάτων εντός ομογενούς ελαστικού ημίχωρου με απλής μορφής τοπογραφική ανωμαλία

στην επιφάνεια (Wong & Jennings 1975, Sills 1978, Wong 1982, Sánchez Sesma 1983, Ohtsuki & Harumi 1983). Με βάση πολλαπλά παραδείγματα σημαντικών σεισμών και στον Ελλαδικό χώρο (π.χ. Αίγιο 1995, Αθήνα 1999), έχει καταστεί σαφές ότι η επίδραση της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά χαρακτηριστικά της εδαφικής ταλάντωσης, όπως την ένταση και το συχνοτικό της περιεχόμενο. Ειδικώς για μονοκλινή πρανή έχουν υπάρξει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες μελέτης του φαινομένου της τοπογραφικής επιδείνωσης, φωτίζοντας αρκετές εκφάνσεις του φαινομένου. Για παράδειγμα, οι Ohtsuki and Harumi (1983) μελέτησαν την επίδραση ύπαρξης εύκαμπτης στρώσης πίσω από τη στέψη, οι Ashford et al. (1997) μελέτησαν τη σημαντικότητα του αδιάστατου ύψους H/λ (H το ύψος και λ το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων) και της κλίσης ομοιόμορφων πρανών, ενώ οι Bouckovalas & Paradimitriou (2005) πρακτικώς συνέχισαν την εν λόγω εργασία διερευνώντας επιπλέον και την επίδραση παραμέτρων, όπως η υστερητική απόσβεση του εδάφους ξ και ο αριθμός σημαντικών κύκλων της διέγερσης N . Πιο σημαντικά, εκτίμησαν την τοπογραφική επιδείνωση καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους (μπρος και πίσω από το πρανές) και πρότειναν προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού της επίδρασης της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς, μόνο όμως στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Από εκεί και πέρα, οι Assimaki et al (2005) εκτίμησαν τον καθοριστικό ρόλο της στρωματογραφίας και πρότειναν συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού.

Αντίστοιχα, στο Π.Θ. πραγματοποιήθηκαν πρόσφατα παραμετρικές διερευνήσεις της επίδρασης της τοπογραφίας μορφής λόφου και φαραγγιού στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση, μέσω παραμετρικών 2Δ αριθμητικών αναλύσεων (Τιμοθέου 2008, Μυλωνάκη 2010, Νημά 2011). Η παρούσα εργασία βασίζεται και επεκτείνει την εργασία των Bouckovalas and Paradimitriou (2005) για μονοκλινή πρανή συγκεκριμένων κλίσεων και λόγων H/λ , με την έμφαση να δίδεται στο ελαστικό φάσμα απόκρισης $S_a(T_{str})$ και όχι μόνο στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση $[S_a(T_{str}=0)]$, με στόχο τη διατύπωση απλών κριτηρίων σχεδιασμού.

1.3. Διάρθρωση της διπλωματικής

Η εργασία αυτή αποτελείται από 8 κεφάλαια, με 1^ο το παρόν εισαγωγικό που παρουσιάζει το αντικείμενο και μια σύντομη ιστορική αναδρομή, και 8^ο τη βιβλιογραφία της εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο μελετάται η επίδραση της παρουσίας ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς στη σεισμική κίνηση με βάση τη βιβλιογραφία. Γίνεται παρουσίαση των βασικών παραδοχών που υιοθετούνται ευρέως για την εν λόγω τοπογραφική ανωμαλία (γεωμετρική συμμετρία, ομογενής ελαστικός ημίχωρος, απλές γεωμετρίες κλπ) και ταυτόχρονα επισημαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου προσομοιώματος που επηρεάζουν την απόκριση στην ευρύτερη ζώνη επιρροής του πρανούς. Ακολουθεί διερεύνηση της επίδρασης των κύριων παραγόντων του προβλήματος (κλίση πρανούς κλπ) στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης, ξεχωριστά για κάθε κλίση πρανούς. Στη συνέχεια γίνεται ειδικότερη αναφορά στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για την οριζόντια και την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, γεγονός που αποτελεί το ειδικότερο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού μελετάται με βάση και πάλι τη βιβλιογραφία, η επίδραση ύπαρξης μαλακής στρώσης στη σεισμική κίνηση, όπου παρατίθεται και η ήδη υπάρχουσα πρόταση των Assimaki et al. για μη-ομοιόμορφα εδαφικά πρανή.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το υπολογιστικό πρόγραμμα (FLAC) που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση παραμετρικών αναλύσεων στην παρούσα εργασία. Δίνονται στοιχεία για τις βασικές μαθηματικές αρχές στις οποίες στηρίζεται (μεθοδολογία Lagrange κλπ). Γίνεται αναφορά στις υπολογιστικές δυνατότητες του προγράμματος (στατική και δυναμική ανάλυση κλπ) και στη γλώσσα προγραμματισμού fish και περιγράφεται ένας τυπικός υπολογιστικός κύκλος κατά την πραγματοποίηση δυναμικής ανάλυσης. Ακόμη παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι κάποιες αδυναμίες του εν λόγω κώδικα. Για την επιβεβαίωση της εγκυρότητας της υπολογιστικής μεθόδου σε προβλήματα επίδρασης τοπογραφικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση γίνεται επαλήθευση με τα αποτελέσματα διαπιστευμένης μεθοδολογίας από τη βιβλιογραφία, η οποία έχει εφαρμοσθεί για την περίπτωση φαραγγιών. Διερευνώνται διάφοροι τύποι προσπιπτόντων κυμάτων για διάφορες τιμές συχνότητας, διαφορετικής κλίμακας γεωμετρίας, ποικίλων διαστάσεων κάρναβοι με

διάφορα μεγέθη στοιχείων (elements), υπό ημιτονική φόρτιση. Σε όλες τις δοκιμαστικές αναλύσεις δόθηκε έμφαση στην τήρηση των προτεινόμενων από το εγχειρίδιο του προγράμματος αναλογιών και διαστάσεων. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γίνεται ειδική αναφορά στην εφαρμογή της εν λόγω μεθοδολογίας για την περίπτωση μονοκλινούς πρανούς και τη γενικότερη διαδικασία ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα παραμετρικών 2D ιξωδοελαστικών αναλύσεων για την επίδραση ενός μονοκλινούς πρανούς στο ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος ενός πρανούς με διάφορες γωνίες κλίσης (30°, 45°, 60°) και διαφορετικές τιμές του αδιάστατου ύψους $H/\lambda = 0.20$ και 0.45 , λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές μορφές σεισμικών διεγέρσεων ίδιας δεσπόζουσας περιόδου. Επιπλέον, χάριν σύγκρισης παρουσιάζονται αποτελέσματα για πρανές κλίσης 30° και ακραίες τιμές αδιάστατου ύψους $H/\lambda = 0.125$ και 1.0 . Η διερεύνηση αφορά την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε διάφορες χαρακτηριστικές θέσεις κατά μήκος του πρανούς για διάφορες T , σε ό,τι αφορά στην οριζόντια επιτάχυνση και στην παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα αυτής. Επίσης διερευνάται η τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης στην οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση, για κάθε περίπτωση συνδυασμού πρανούς-διέγερσης που εξετάζονται.

Της παράθεσης λεπτομερειών αποτελεσμάτων έπεται η στατιστική τους επεξεργασία και η κριτική αξιολόγησή τους στο 5^ο κεφάλαιο, κυρίως όσον αφορά την τάξη μεγέθους και το εύρος της ενίσχυσης, τον τρόπο που μεταβάλλεται χωρικά και τις θέσεις όπου παρατηρείται η μέγιστη ενίσχυση για συγκεκριμένες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών (παραμέτρων). Δίνοντας έμφαση στην περιοχή πίσω από τη στέψη μονοκλινών πρανών, προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις εκτίμησης της ενίσχυσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης που αφορά στην οριζόντια και στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση. Επιπλέον γίνεται έλεγχος ακριβείας των βιβλιογραφικών προτάσεων των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) και Assimaki et al. οι οποίες συγκρίνονται με τις προτεινόμενες.

Στο 6^ο κεφάλαιο εξετάζεται η επίδραση ύπαρξης μαλακής στρώσης στην περιοχή πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος

απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους, μέσω 2Δ ιξωδο-ελαστικών αναλύσεων. Η παρουσίαση αφορά αυτά καθ' εαυτά τα αποτελέσματα, αλλά και τη σύγκρισή τους με αποτελέσματα για ομοιόμορφα πρανή. Διερευνάται η επάρκεια των υπαρχόντων και των προτεινόμενων σχέσεων σχεδιασμού για την φασματική τοπογραφική επιδείνωση, ενώ γίνεται και κριτική στα όσα προτείνει ο EC8 σε περίπτωση ύπαρξης στρωματογραφίας εδάφους.

Τέλος στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα βάση της συσσωρευμένης πληροφορίας που παρέχουν τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων. Αναλύονται οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας και οριοθετούνται οι στόχοι πιθανών μελλοντικών προσπαθειών στο ίδιο αντικείμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1. Γενικά

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

Με τον όρο **πρανές** εννοείται κάθε κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους κλίσης i , που δημιουργεί μια διαφορά ύψους H μεταξύ δύο οριζοντίων επιπέδων του ίδιου εδάφους.



Όπου: H το ύψος του πρανού.

Φωτογραφία 1: Φυσικό πρανές (λόφος του προφήτη Ηλία, Στερεά Ελλάδα)



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

2.2. Τοπογραφία Πρανούς

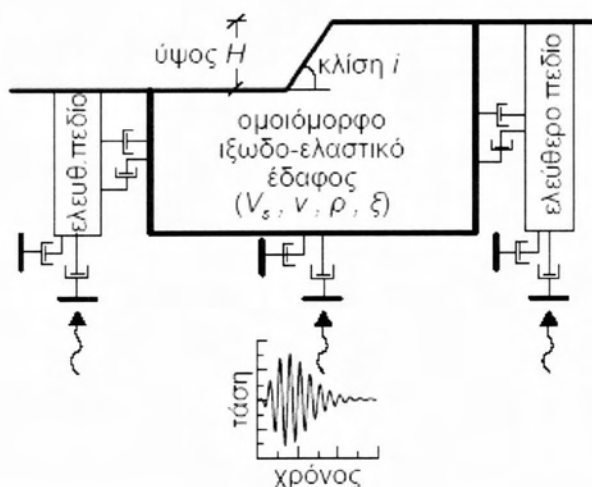
Συνοψίζοντας αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία (π.χ Ashford & Sitar 1997, Ashford et al 1997, Bouckovalas & Paradimitriou 2005) για την τοπογραφική επιδείνωση λόγω μονοκλινούς πρανούς προκύπτει ότι για τις πλείστες των περιπτώσεων η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας συνιστώσας της επιτάχυνσης (a_x) στην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

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

Οι προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckonas & Paradimitriou (2005) προέκυψαν από εκτεταμένες παραμετρικές αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca 1993). Το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδοελαστικό, ομοιόμορφο με $V_S = 500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu = 1/3$ και πυκνότητα $\rho = 2\text{Mg/m}^3$. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα 2Δ γεωμετρίας πρανούς με τις συνοριακές συνθήκες των αναλύσεων. Συγκεκριμένα, οι αναλύσεις έγιναν με:

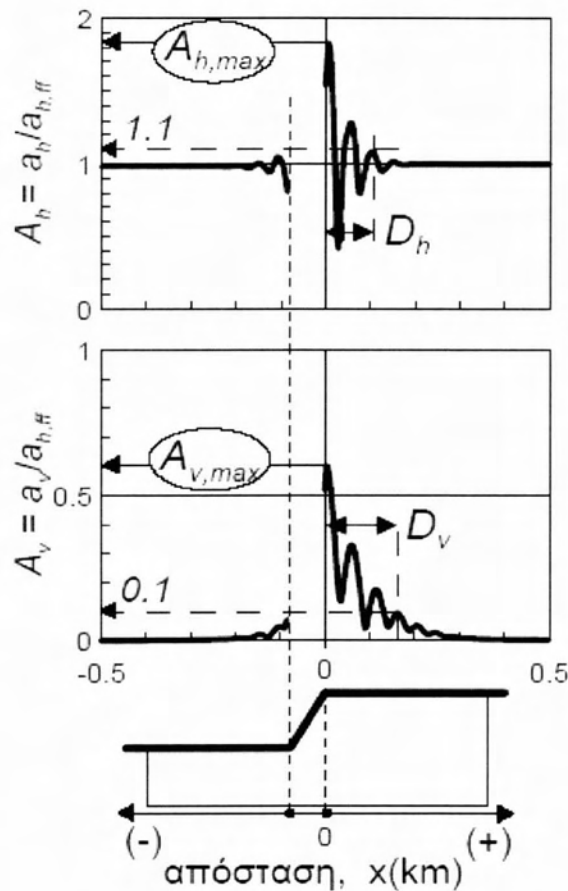
- 28000 έως 120000 τετραγωνικά στοιχεία, με μέγιστο ύψος $1/10 - 1/20$ του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ της διέγερσης,
- εύρος και ύψος του καννάβου ίσα με $20H$ και $5H$, αντίστοιχα, όπου H το ύψος του πρανούς,
- αποσβεστήρες στη βάση και σύνορα ελεύθερου πεδίου στα πλευρικά όρια του καννάβου, και
-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

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



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

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



Σχήμα 2.2. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης από αριθμητική ανάλυση για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$, $H/\lambda=2.0$, $\xi=5\%$ και $N=6$ σημαντικούς κύκλους (Μπουκοβάλας κ.α 2006).

Το σχήμα αυτό παρουσιάζει τη μεταβολή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης $A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{h,ff}$ με την απόσταση από τη στέψη x , όπου a_h και a_v είναι η μέγιστη οριζόντια και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφανείας. Η παράμετρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του ελευθέρου πεδίου, και χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση όχι μόνο της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης a_h , αλλά και της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας a_v , καθώς $a_{v,ff} = 0$ για ένα κατακόρυφα προσπίπτον κύμα SV. Επιπλέον, από το Σχήμα 2.2 προκύπτουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις:

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

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

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

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

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

- της κλίσης του πρανούς $i(^{\circ})$ ή $I=i/90^{\circ}$, με $i = 10^{\circ} - 90^{\circ}$
- του κανονικοποιημένου ύψους του πρανούς H/λ , με $H/\lambda = 0.05 - 2.0$,
- του αριθμού σημαντικών κύκλων διέγερσης N , με $N = 1 - 12$, και
- της υστερητικής απόσβεσης του εδάφους ξ , με $\xi = 0 - 20\%$

Για την ευχερέστερη χρήση των ανωτέρω αποτελεσμάτων, η έρευνα επικεντρώθηκε σε παραμέτρους σημαντικές για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, δηλαδή (βλ. Σχήμα 2.2)

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

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

$$A_{h,max} = 1 + \frac{0.225(H/\lambda)^{0.4} \left(\frac{I^2 + 2I^6}{I^3 + 0.02} \right)}{1 + 0.9\xi} \quad (2.1)$$

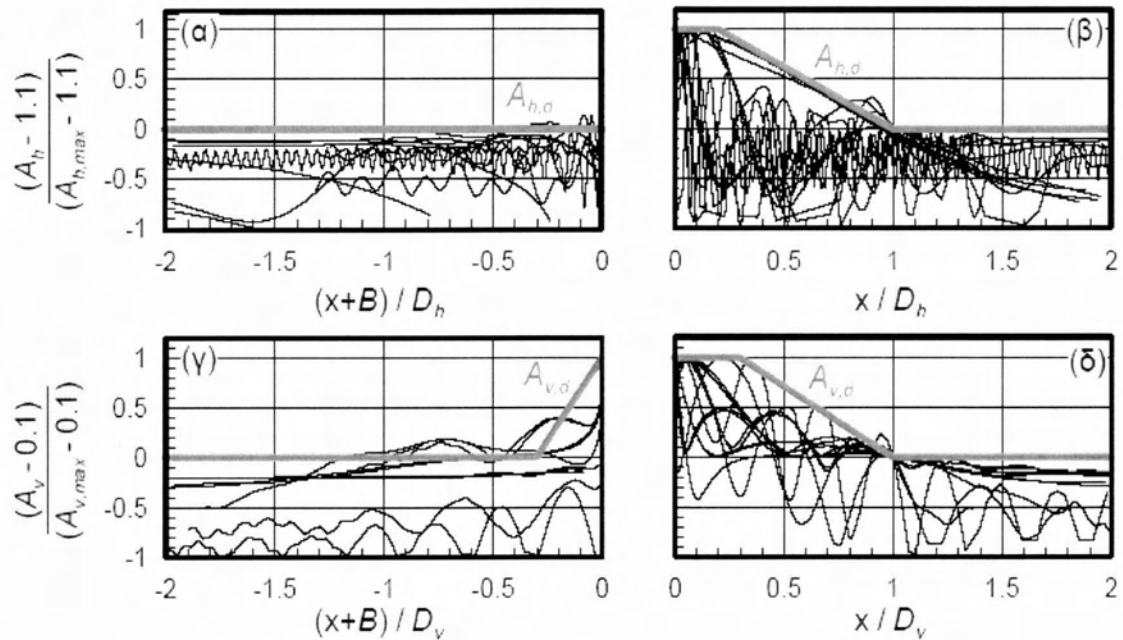
$$A_{v,max} = \frac{0.75(H/\lambda)^{0.8} (I^{0.5} + 1.5I^5)}{1 + 0.15\xi^{0.5}} \quad (2.2)$$

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

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

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

κανονικοποιήθηκαν ως προς τις εκάστοτε τιμές $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h και D_v . Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα του Σχήματος 2.3.



Σχήμα 2.3. Περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$ των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς ($B = H/\tan i$) (Μπουκοβάλας κ.α. 2006)

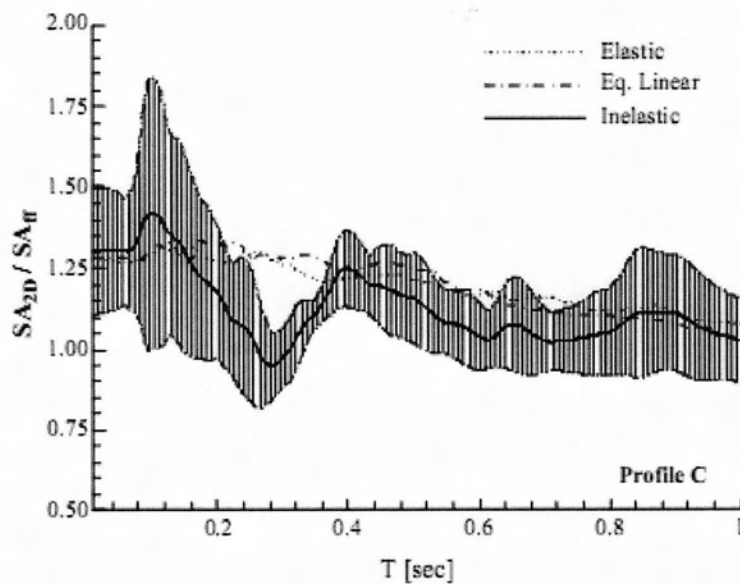
Από τα παραπάνω αποτελέσματα ορίσθηκαν οι **περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$** με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς, οι οποίες δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

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

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

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

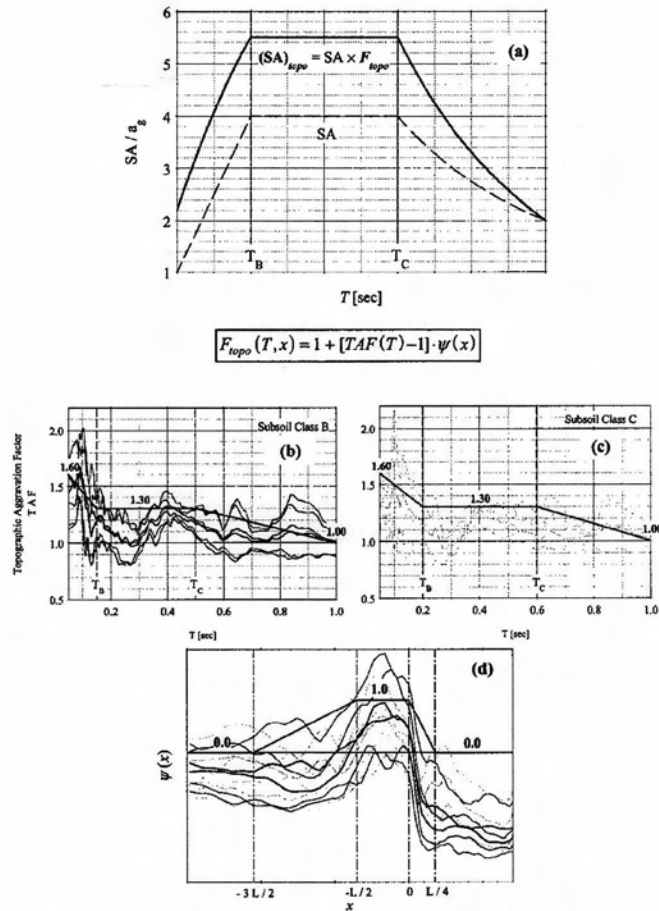
(α) Στη μελέτη των Assimaki et al (2005) για το σεισμό της Αθήνας (1999), η έμφαση δίνεται σε ένα πρανές κλίσης $i = 30^\circ$ με $H = 40\text{m}$, για το οποίο υιοθετήθηκαν διαφορετικά εδαφικά προφίλ που αντιστοιχούν σε διαφορετικά δεσπόζοντα μήκη κύματος λ . Έγιναν αναλύσεις διαφορετικών τύπων (ελαστικές, ισοδύναμα-γραμμικές, μή γραμμικές), και εκτιμώντας την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος για τη θέση μέγιστης τοπογραφικής ενίσχυσης (σε απόσταση $x=20\text{m}$ πίσω από τη στέψη του πρανού), προκύπτει η μορφή του Σχήματος 2.4.:



Σχήμα 2.4. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης στη θέση μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης της επιτάχυνσης του εδάφους ($x = 20\text{m}$ πίσω από τη στέψη του πρανού), (Assimaki et al 2005)

Από το Σχήμα 2.4 προκύπτει ότι η τοπογραφία δείχνει να ενισχύει τις μικρές περιόδους περισσότερο από τις μεγάλες, και συνεπώς η θεώρηση ομοιόμορφης επίδρασης βασισμένης στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης (όπως προτείνει ο EC-8) είναι μάλλον συντηρητική.

Διερευνώντας περαιτέρω το θέμα, οι ίδιοι συγγραφείς προτείνουν έναν συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου T_a και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται αδρά από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της κατηγορίας εδάφους κατά τον EC-8. Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 2.5 (Assimaki et al 2005):

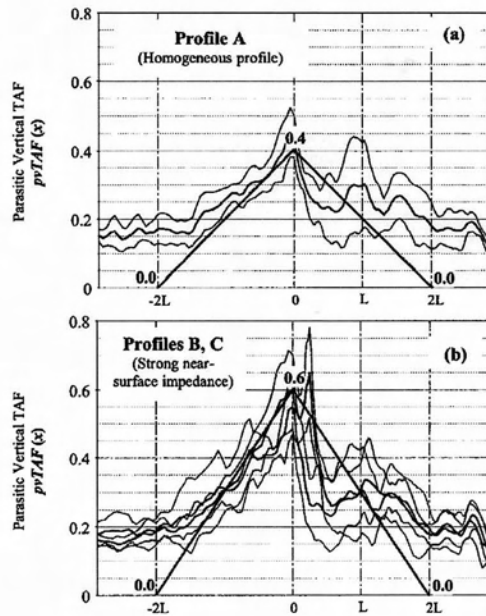


Σχήμα 2.5. (a) Προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού του συντελεστή επιδείνωσης F_{topo} .
 (b) Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του $TAF(T_{str})$, συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος, για το σύνολο των προσομοιώσεων για προφίλ κατηγορίας B (σιφρό έδαφος: EC-8).
 (c) Το ίδιο $\delta/\mu\alpha$ με το (b), για προφίλ κατηγορίας C (μέσο έδαφος: EC-8).
 (d) Χωρική διακύμανση της μέγιστης κανονικοποιημένης οριζόντιας επιτάχυνσης.

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.5 των Assimaki et al (2005), η τοπογραφία μονοκλινούς πρανούς ενισχύει κατά 60% τη μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση, κατά 30% την περιοχή σημαντικών περιόδων για την εκάστοτε κατηγορία εδάφους και δεν ενισχύει καθόλου περιόδους μεγαλύτερες ή ίσες του 1.0. Οι ίδιοι συγγραφείς, στο συνέδριο της ERTC-12 (Αθήνα 2006), αναθεώρησαν προς τα κάτω τις προαναφερθείσες τιμές ενίσχυσης των 60% και 30% σε 40% και 20%, αντίστοιχα, δίνοντας μια μάλλον πιο ρεαλιστική εικόνα των αναμενόμενων ενισχύσεων, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία (π.χ. οι Bouckovalas & Papadimitriou

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

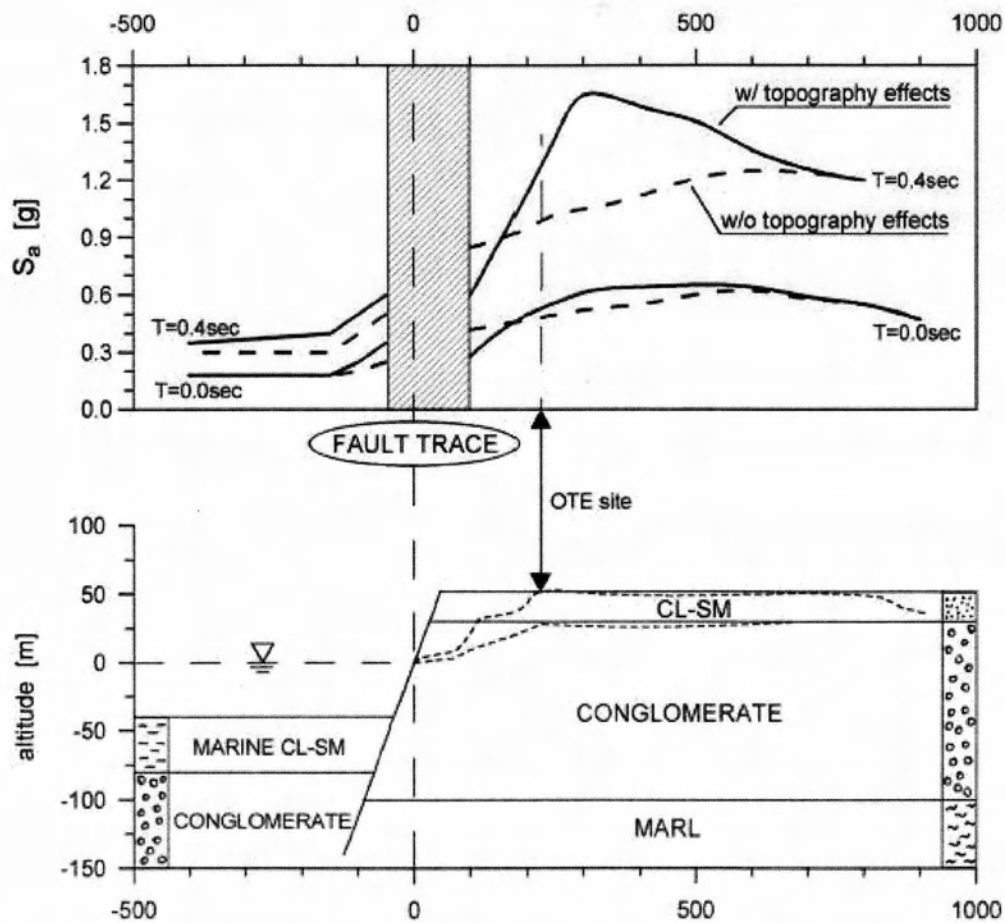
Όσον αφορά τον συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης TAF για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, υπολογίστηκε ως εξής από τους Assimaki et al. (2005) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. ως συνάρτηση της απόστασης από τον λόφο:



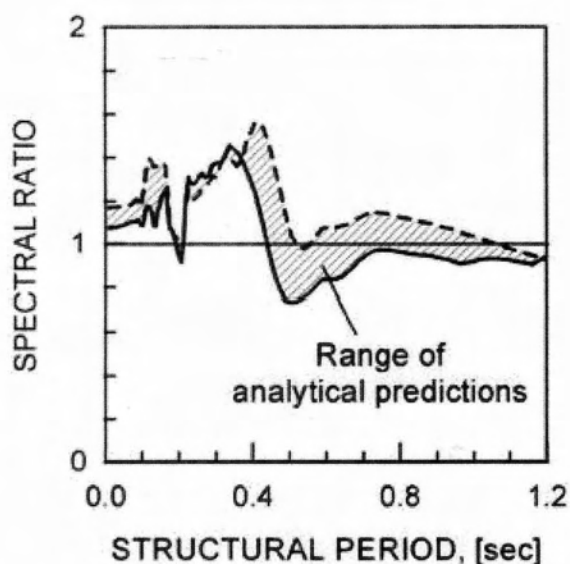
Σχήμα 2.6. (α) Χωρική διακύμανση της μέγιστης κανονικοποιημένης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης, για το σύνολο των προσομοιώσεων για προφίλ κατηγορίας A (βράχος: EC8) . Στον οριζόντιο άξονα $L=H/\tan(i^\circ)$.
 (β) Το ίδιο δ/μα με το (α), για προφίλ κατηγορίας B,C (στιφρό και μέσο έδαφος: EC-8).

Δηλαδή, σύμφωνα με το Σχήμα 2.6 των Assimaki et al (2005), η τοπογραφία μονοκλινούς πρανούς ενισχύει κατά 40% την μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση για κατηγορία εδάφους A και κατά 60% για κατηγορίες εδάφους B και C, στην θέση $x=0$ (στέψη του πρανούς), και από την τιμή αυτή μειώνεται γραμμικά μέχρι να μηδενιστεί σε αποστάσεις $2L$ εκατέρωθεν της στέψης.

(β) Στη μελέτη των Bouckovalas et al (1999) για το σεισμό του Αιγίου (1995) πραγματοποιούνται 2D και 1D αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του πρανούς στη στέψη του οποίου βρίσκεται χτισμένη η πόλη του Αιγίου. Εκ των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερη σημασία έχει το Σχήμα 2.6 που υποδεικνύει τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης με την οριζόντια απόσταση από το ίχνος του ρήγματος που δημιουργεί το πρανές του Αιγίου για δύο χαρακτηριστικές περιόδους $T_{str}=0s$ (μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και $T_{str}=0.4s$ (μέση ιδιοπερίοδος κτιρίων Αιγίου, μια τιμή λίγο μικρότερη από τη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης).



Σχήμα 2.6. Επίδραση εδάφους και τοπογραφίας σε τυπική τομή Β-Ν στις τιμές φασματικών επιταχύνσεων για 2 περιόδους: $T_{str}=0s$ (Μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και $T_{str}=0.4s$ (μέση περίοδος κτιρίων Αιγίου και περίοδος λίγο μικρότερης της δεσπόζουσας) (Bouckovalas et al 1999).



Σχήμα 2.7. Επίδραση τοπογραφίας στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, στη θέση καταγραφής (OTE site) πίσω από το πρανές του Αιγίου (Bouckovalas et al 1999).

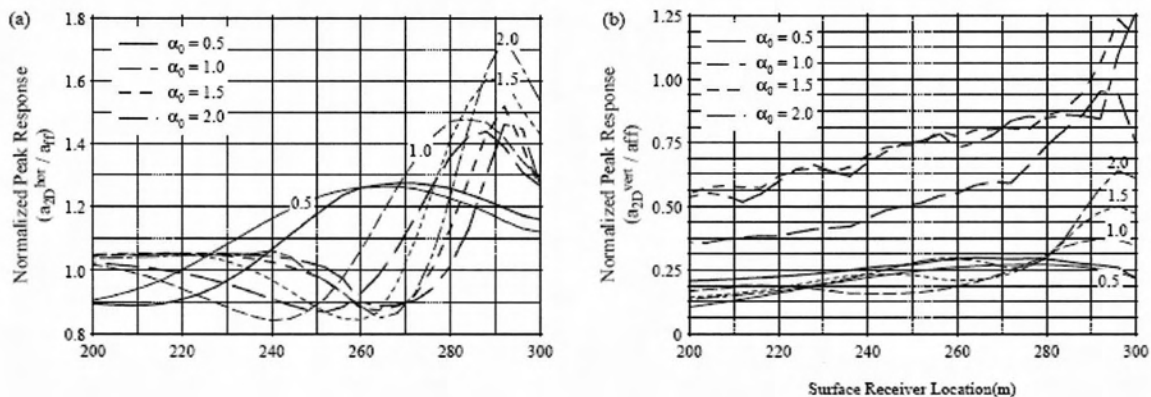
Όπως προκύπτει από το Σχήμα 2.6, η τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται με την απόσταση από το ίχνος του ρήγματος, ανεξαρτήτως περιόδου, ενώ γίνεται σαφές ότι η τοπογραφική επιδείνωση σε κάθε σημείο δεν είναι ίδια για όλες τις περιόδους (π.χ. στο Σχήμα 2.6 είναι διαφορετική η τοπογραφική επιδείνωση για $T_{str}=0.4s$ στην περιοχή πίσω από τη θέση του ΟΤΕ: θέση καταγραφής, σε σχέση με εκείνη για $T_{str}=0s$). Αυτό γίνεται σαφέστερο στο Σχήμα 2.7, όπου παρουσιάζεται το εύρος της τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης σύμφωνα με τις αναλύσεις για την περιοχή της καταγραφής (OTE site στο Σχήμα 2.6). Πιο συγκεκριμένα, η τοπογραφική επιδείνωση είναι εντονότερη στις μικρές περιόδους και μέχρι τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης ($T_{str} < T_e = 0.4-0.5sec$).

2.3. Επίδραση στρωματογραφίας εδάφους

Ήδη έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για την επίδραση της στρωματογραφίας του εδάφους στην μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση. Οι Ohtsuki & Harumi (1983) μελέτησαν παραμετρικά την επίδραση της ύπαρξης εύκαμπτης στρώσης στην περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς, ενώ άλλες μελέτες στόχευσαν σε ιστορικά

περιστατικά όπου υπήρχε στρωματογραφία πίσω από τη στέψη. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τις εργασίες των Assimaki et al (2005) και των Κάλλου et al (2002) για τον σεισμό της Αθήνας το 1999, καθώς και των Bourdeau and Havenith (2008) για τον σεισμό του 1992 στο Κιργιστάν.

Στη μελέτη των Assimaki et al. (2005), επιφανειακή μαλακή στρώση πάχους $h_1/h=0.25$ και μεταβλητής ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_{s1} , βρίσκεται πάνω από ομογενή ημιχώρο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για $V_{s1}/V_s=0.5$ όπου V_s η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του ομογενούς ημιχώρου. Αν και η διερεύνηση έγινε σε ένα τυπικό εδαφικό προφίλ στις Αδάμες, τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν και για άλλα εδάφη με ιζηματογενείς αποθέσεις. Στο Σχήμα 2.8. (Assimaki et al. 2005) φαίνεται η επίδραση μιας μαλακής επιφανειακής εδαφικής στρώσης, στην κανονικοποιημένη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, για κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV με διαφορετικές κεντρικές συχνότητες συναρτήσει της αδιάστατης συχνότητας a_0 , σε σύγκριση με την σεισμική εδαφική κίνηση του ομογενούς ημιχώρου, για την περιοχή 100-200m πίσω από τη στέψη του πρανούς όπου τα 2D φαινόμενα είναι αμελητέα. Η αδιάστατη συχνότητα a_0 ορίζεται ως εξής: $a_0=(2foh)/V_s$, όπου fo είναι η κεντρική συχνότητα διέγερσης, h το ύψος του πρανούς και V_s η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του ημιχώρου.

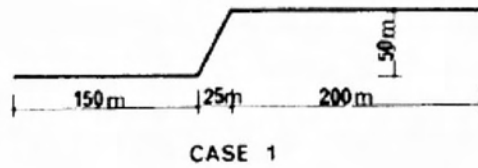


Σχήμα 2.8. (α) Κανονικοποιημένη μέγιστη επιφανειακή οριζόντια επιτάχυνση πίσω από τη στέψη, για μαλακή επιφανειακή στρώση με $V_{s1}/V_s=0.5$, συναρτήσει της αδιάστατης συχνότητας a_0 .
 (β) Κανονικοποιημένη μέγιστη επιφανειακή παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση πίσω από τη στέψη, για μαλακή επιφανειακή στρώση με $V_{s1}/V_s=0.5$, συναρτήσει της αδιάστατης συχνότητας a_0 .

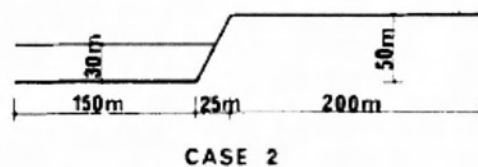
Από το σύνολο των παραμετρικών αναλύσεων των Assimaki et al (2005) προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα (που είναι συμβατά και με το Σχήμα 2.8):

- Η ενέργεια του προσπίπτοντος κύματος παγιδεύεται εντός της μαλακής στρώσης πραγματοποιώντας έτσι πολλαπλές ανακλάσεις οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα κύματα που προέρχονται από την κατώτερη γωνία του λόφου και διαδίδονται προς τα πάνω. Τα κύματα στην επιφάνεια του εδάφους περιλαμβάνουν κύματα τύπου Rayleigh που δημιουργούνται στη στέψη και έχουν την ταχύτητα των κυμάτων Rayleigh της επιφανειακής στρώσης V_{R1} , καθώς και τις ανακλάσεις των κυμάτων που κατευθύνονται κατά μήκος της επιφανειακής στρώσης.
- Για τυχαία κύματα υψηλής συχνότητας, η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση του στρωματοποιημένου εδάφους είναι μικρότερη από αυτή του ομογενούς. Ωστόσο, η απόλυτη ενίσχυση της σεισμικής κίνησης είναι αξιοσημείωτη στην περίπτωση ύπαρξης μαλακής εδαφικής στρώσης, γεγονός που δείχνει τον καθοριστικό ρόλο της στρωματογραφίας εδάφους του ελεύθερου πεδίου στον μηχανισμό ενίσχυσης πίσω από τη στέψη.
- Η (παρασιτική) κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης ενισχύεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει κυρίως για διεγέρσεις με μήκος κύματος αρκετά μικρό σε σχέση με το πάχος της επιφανειακής στρώσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν να εμφανιστεί κατακόρυφη επιτάχυνση κατά 25% αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη οριζόντια στο ελεύθερο πεδίο.

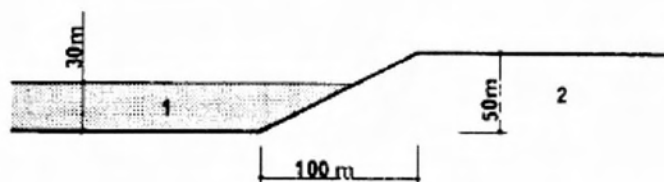
Οι Ohtsuki & Harumi (1983) προκειμένου να διερευνήσουν τον μηχανισμό των αναπαραγόμενων κυμάτων σε ένα πρανές και την επίδραση της εύκαμπτης στρώσης στην μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση χρησιμοποίησαν αρχικά το μοντέλο 1 του Σχήματος 2.9 όπου έχουμε πρανές κλίσης $i=63.43^\circ$ με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος το οποίο συνέκριναν στη συνέχεια με το μοντέλο 2 του σχήματος 2.10. Το μοντέλο 2 αφορά πρανές ίδιας κλίσης με αυτή του μοντέλου 1, του οποίου όμως ο πόδας βρίσκεται κάτω από μαλακή στρώση εδάφους με πάχος 30m. Η αναλογία των διατμητικών κυμάτων στα δύο μέσα είναι $V_{s1}/V_{s2}=2$. Σε μια τέτοια περίπτωση έχουμε ημιτονοειδή κύματα κάθετα προς την επιφάνεια. Τέλος, γίνεται η εισαγωγή και ενός τρίτου μοντέλου με τις ίδιες ιδιότητες υλικών, πάχους μαλακού στρώματος και ύψος λόφου αλλά με μικρότερη κλίση όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.9. Σκαρίφημα πρανούς κλίσης $i=63.43^\circ$ με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος (μοντέλο 1)

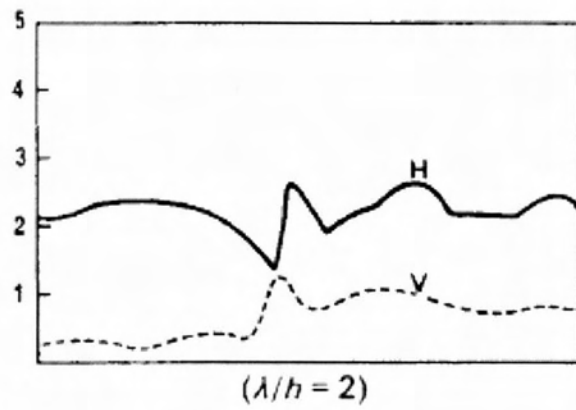


Σχήμα 2.10. Σκαρίφημα πρανούς κλίσης $i=63.43^\circ$ με βραχώδες έδαφος που καλύπτεται στον πόδα του από μαλακή στρώση πάχους 30m. ($V_{s2}/V_{s1}=2$) (μοντέλο 2).

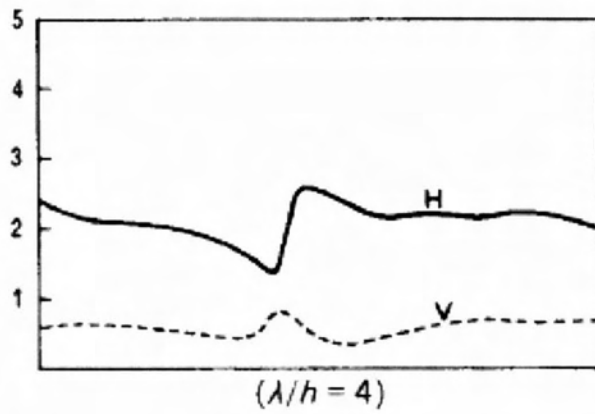


Σχήμα 2.11. Σκαρίφημα λόφου κλίσης $i=26.56^\circ$ με βραχώδες έδαφος, που καλύπτεται στον πόδα του από μαλακή στρώση πάχους 30m. ($V_{s2}/V_{s1}=2$) (μοντέλο 3)

Σύμφωνα λοιπόν και με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις για τα μοντέλα 1 και 2, στα Σχήματα 2.12 και 2.13 φαίνεται με συμπαγή γραμμή η κατανομή της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης, ενώ με διακεκομμένη η κατανομή της μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης, για πρανές με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος (μοντέλο 1), και λόγους $\lambda/H=2$ και $\lambda/H=4$. Στα Σχήματα 2.14. και 2.15 φαίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για πρανές του οποίου ο πόδας καλύπτεται από μαλακή στρώση εδάφους (μοντέλο 2).

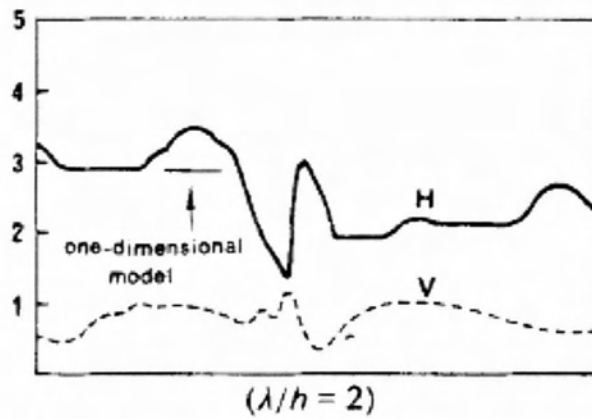


Σχήμα 2.12. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=2$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος κλίσης $i=63.43^\circ$.

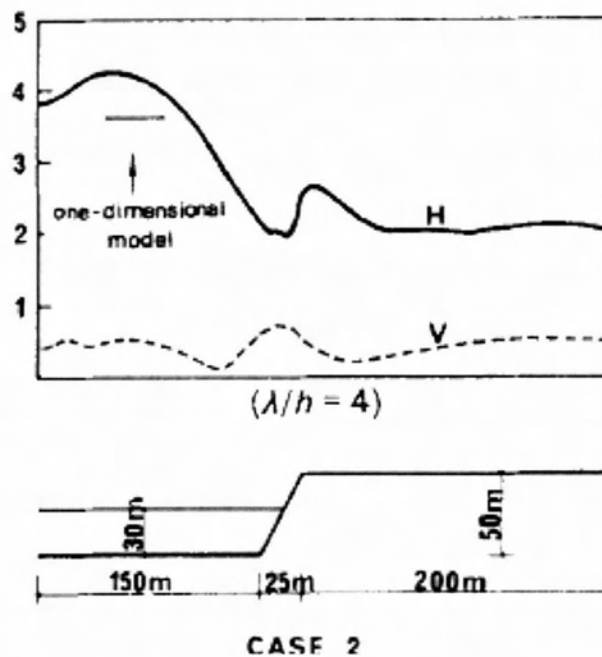


CASE 1

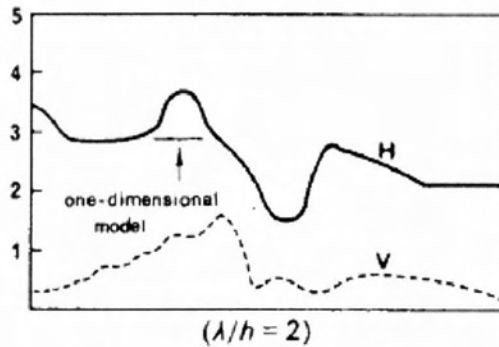
Σχήμα 2.13. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=4$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος, κλίσης $i=63.43^\circ$.



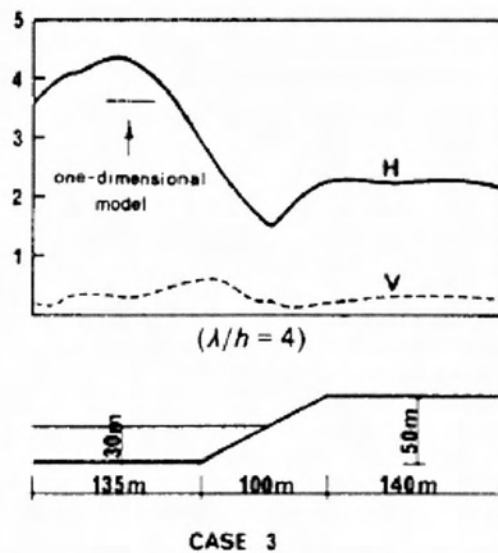
Σχήμα 2.14. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=2$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο το οποίο καλύπτεται στον πόδα του από μαλακή επιφανειακή στρώση πάχους 30m($i=63.43^\circ$).



Σχήμα 2.15. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=4$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο το οποίο καλύπτεται στον πόδα του από μαλακή επιφανειακή στρώση πάχους 30m($i=63.43^\circ$).



Σχήμα 2.16. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=2$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο του οποίου ο πόδας καλύπτεται από μαλακή επιφανειακή στρώση πάχους 30m($i=26.56^\circ$).



Σχήμα 2.17. Κατανομές της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για $\lambda/H=4$, σύμφωνα με αποτελέσματα που προέκυψαν για μονοδιάστατο μοντέλο του οποίου ο πόδας καλύπτεται από μαλακή επιφανειακή στρώση πάχους 30m($i=26.56^\circ$).

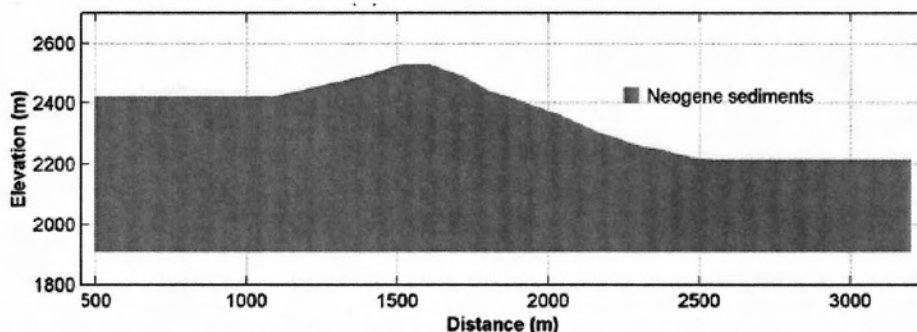
Από τα Σχήματα 2.12 έως 2.17 προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Για την περίπτωση όπου $\lambda/H=4$, ενώ η ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη όταν υπάρχει μαλακή στρώση εδάφους (μοντέλο 2) είναι ίδια με εκείνη του αποκλειστικά βραχώδους εδάφους (μοντέλο 1), το πλάτος της μέγιστης επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα του μοντέλου 2 είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του μοντέλου 1.
- Στην περίπτωση όπου $\lambda/H=2$, διαπιστώθηκε ότι όταν υπάρχει μαλακή στρώση τα πλάτη της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης μπροστά από τον πόδα είναι πολύ μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για το αποκλειστικά βραχώδες έδαφος. Ωστόσο,

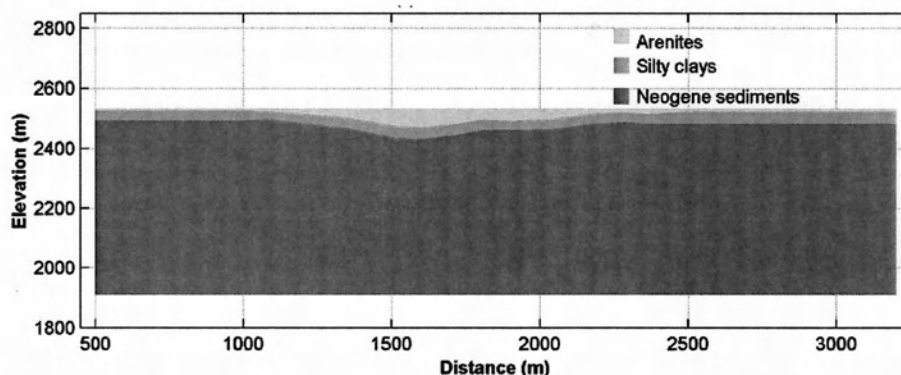
και σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη επιτάχυνση πίσω από τη στέψη παραμένει περίπου η ίδια και για τα δύο μοντέλα. Δηλαδή και για τις δύο περιπτώσεις λ/H καταλήγουμε περίπου στα ίδια αποτελέσματα.

- Για $\lambda/H=4$ η οριζόντια επιτάχυνση πίσω από τη στέψη για $i=26.56^\circ$ (μοντέλο 3) είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του μοντέλου 2 με μεγαλύτερη κλίση $i=63.43^\circ$ (μοντέλο 2). Η (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση είναι επίσης μικρότερη για το μοντέλο μικρότερης κλίσης i . Για $\lambda/H=2$, οι (παρασιτικές) κατακόρυφες επιταχύνσεις στο μοντέλο 3 έχουν μεγάλα πλάτη μπροστά από τον πόδα.
- Τέλος, οι μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις για $\lambda/H=2$ και $\lambda/H=4$ στα μοντέλα 2 και 3 (πρανές με επιφανειακή μαλακή στρώση στον πόδα) είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του μοντέλου 1 (πρανές με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος).

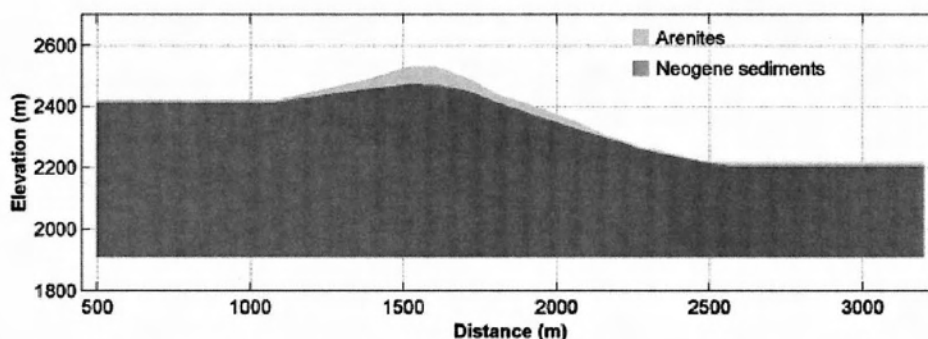
Η μελέτη των Bourdeau and Havenith (2008) επικεντρώνεται στις επιδράσεις της τοπογραφίας στο πλαίσιο μιας κατολίσθησης που έγινε το 1992 στον λόφο Suusamyg στο Κιργιστάν, μια χώρα με τοπογραφία επιρρεπή σε κατολισθήσεις. Παρότι δεν αφορά πρανές αλλά λόφο, η συγκεκριμένη εργασία οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται εδώ. Ο λόφος του Suusamyg έχει ύψος $H=314\text{m}$ και κλίση $i=30^\circ$ ακριβώς κάτω από την στέψη η οποία μειώνεται σταδιακά και φτάνει τις 18° στον πόδα. Αποτελείται από τρεις γεωλογικές ενότητες: ένα επιφανειακό στρώμα από ψαμμίτη (μαλακό ιζηματογενές πέτρωμα) του οποίου το πάχος είναι 70m κάτω από την στέψη και γίνεται μόλις 2m στον πόδα του λόφου. Το ιζηματογενές αυτό στρώμα βρίσκεται πάνω από ένα μαλακό αργιλικό στρώμα και ένα υπόβαθρο που αποτελείται από ομοιογενή βράχο του Νεογενούς. Για να αξιολογήσουν τις επιδράσεις της τοπογραφίας, της στρωματογραφίας του εδάφους και ειδικότερα της ύπαρξης μαλακής στρώσης στις μέγιστες επιταχύνσεις, χρησιμοποίησαν τρία 2-D μοντέλα, διαφορετικής γεωλογίας το καθένα. Το πιο απλό μοντέλο που σχεδιάστηκε είναι ένα ομογενές μοντέλο μόνο από Νεογενή βράχο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.18(a). Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μοντέλο με την ίδια γεωλογική δομή του λόφου αλλά χωρίς κλίση, ώστε να αξιολογηθούν οι καθαρά 2-D γεωλογικές επιδράσεις (Σχήμα 2.18(b)), και τέλος στο Σχήμα 2.18(c) φαίνεται μοντέλο το οποίο αποτελείται από μια μαλακή ιζηματογενής στρώση η οποία βρίσκεται πάνω από ομογενή Νεογενή βράχο και δημιουργήθηκε για να διερευνηθεί η επίδραση της ενδιάμεσης αργιλικής στρώσης.



Σχήμα 2.18(a) Μοντέλο ομογενούς πρανούς με αποκλειστικά βραχώδες έδαφος, ίδιας τοπογραφίας με αυτή του εξεταζόμενου λόφου (μοντέλο 1)

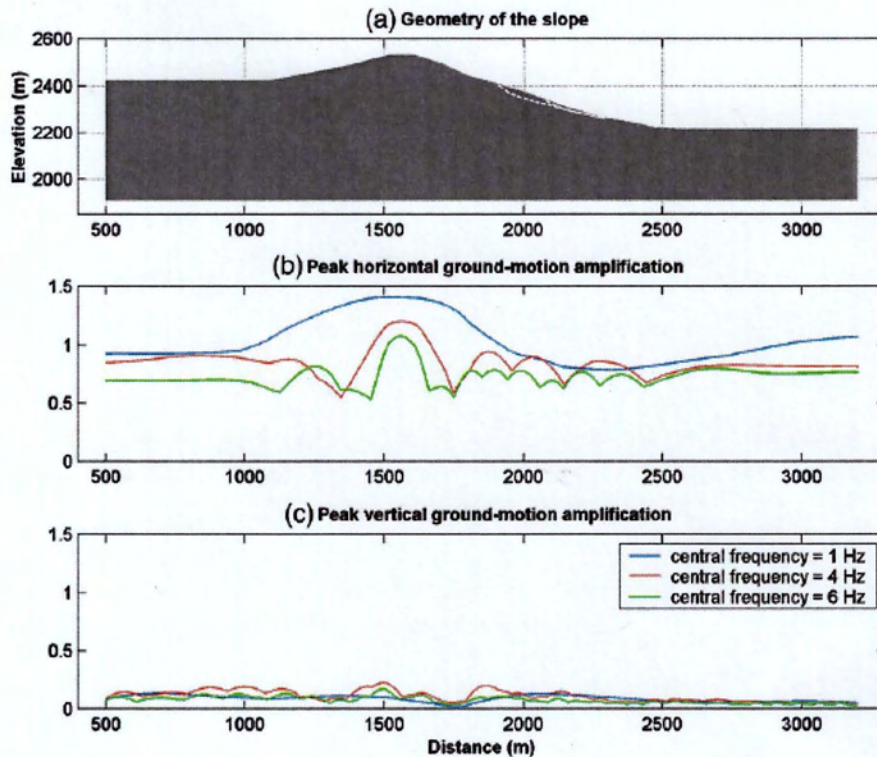


Σχήμα 2.18(b) Επίπεδο μοντέλο ίδιας γεωλογικής δομής με αυτή του εξεταζόμενου λόφου (με μαλακή αργιλική στρώση) (μοντέλο 2)



Σχήμα 2.18(c) Μοντέλο δύο στρώσεων (σαθρού και συμπαγούς βράχου), ίδιας τοπογραφίας με αυτή του εξεταζόμενου λόφου (μοντέλο 3).

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν στο ομογενές μοντέλο 1 (Σχήμα 2.18(a)), κύματα με χρονοϊστορία μορφής παλμού Ricker πέντε διαφορετικών κεντρικών συχνοτήτων: 0.5Hz, 1Hz, 2Hz, 4Hz και 6Hz. Τα αποτελέσματα της ενίσχυσης της μέγιστης οριζόντιας και της (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης φαίνονται στο Σχήμα 2.19 για τις συχνότητες 1, 4 και 6Hz.

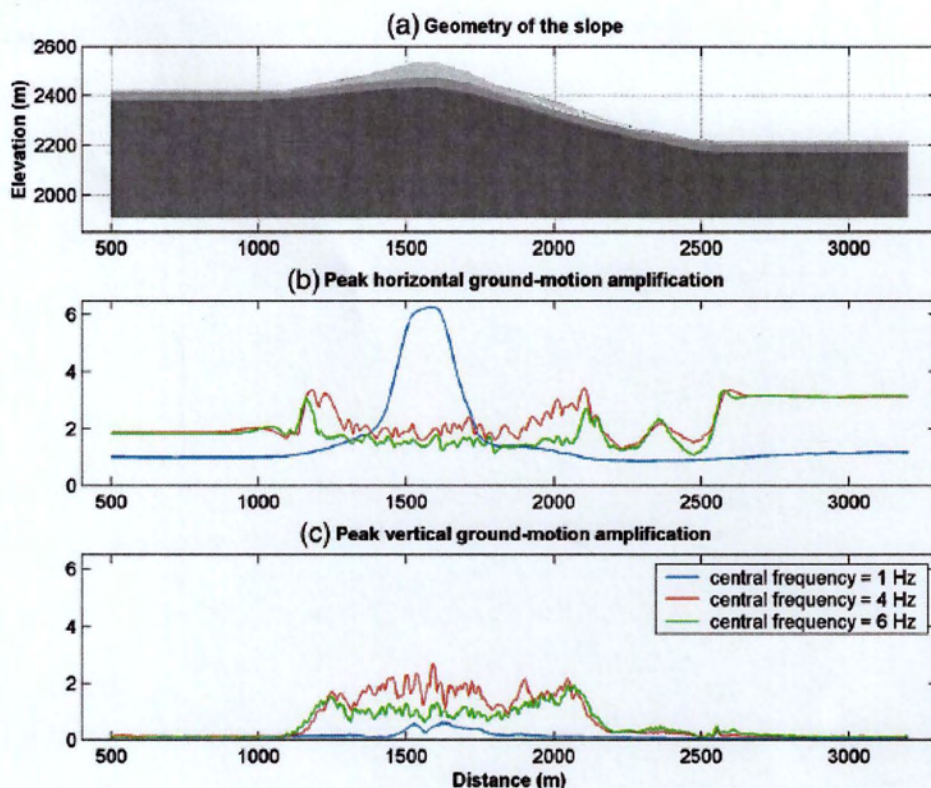


Σχήμα 2.19. Ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας(b) και παρασιτικής κατακόρυφης(c) επιτάχυνσης κατά μήκος της επιφάνειας του ομογενούς μοντέλου 1 για επιβαλλόμενες διεγέρσεις συχνοτήτων 1,4, και 6Hz.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν (και από το παραπάνω σχήμα) για το μοντέλο 1 είναι:

- Για όλες σχεδόν τις τιμές των συχνοτήτων η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης είναι μέτρια στην περιοχή γύρω από τη στέψη. Είναι ελαφρώς μεγαλύτερες για τις μικρές συχνότητες ($f=1\text{Hz}$).
- Ο πόδας του λόφου χαρακτηρίζεται από μικρές ενισχύσεις της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (από 0.8 έως 1).
- Κατά μήκος της πλαγιάς οι ενισχύσεις είναι επίσης σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Η (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση ενισχύεται ελάχιστα σε όλο το μήκος της επιφάνειας του λόφου.

Στο Σχήμα 2.20. φαίνεται η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης για το μοντέλο 3 υπό την ίδια επιβαλλόμενη διεγέρση που εφαρμόστηκε και στο ομογενές μοντέλο 1, για τις συχνότητες 1, 4 και 6Hz.



Σχήμα 2.20. Ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας(b) και παρασιτικής κατακόρυφης(c) επιτάχυνσης κατά μήκος της επιφάνειας της πραγματικής πλαγιάς για επιβαλλόμενες διεγέρσεις συχνοτήτων 1,4, και 6Hz.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν για το μοντέλο 3 (και από το Σχήμα 2.20) είναι:

- Όπως και στην περίπτωση του ομογενούς μοντέλου 1 οι μεγαλύτερες ενισχύσεις συμβαίνουν στην περιοχή γύρω από την στέψη του λόφου, κυρίως για τις μικρές συχνότητες υποδεικνύοντας έτσι ότι αυτό είναι ένα σταθερό χαρακτηριστικό της επίδρασης της διέγερσης, ανεξαρτήτως της τοπογραφίας και της γεωλογίας του λόφου.
- Ανεξάρτητα από την συχνότητα της επιβαλλόμενης διέγερσης οι ενισχύσεις περιορίζονται στην περιοχή του ανώτερου εδαφικού στρώματος (σαθρός βράχος).
- Συγκρίνοντας την ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης στη στέψη του ομογενούς μοντέλου σε σχέση με την αντίστοιχη του πραγματικού, αποδεικνύεται ότι οι καθαρά τοπογραφικές επιδράσεις είναι σημαντικά μικρότερες από τις συνδυασμένες γεωλογικές και τοπογραφικές. Στην στέψη του λόφου μάλιστα, οι επιδράσεις που προκύπτουν από τον συνδυασμό γεωλογίας και τοπογραφίας γίνονται μέχρι και τέσσερις φορές μεγαλύτερες από τις καθαρά τοπογραφικές, για επιβαλλόμενη διέγερση συχνότητας 1Hz. Η επίδραση αυτή μικραίνει με την αύξηση της συχνότητας της διέγερσης.

- Σε αντίθεση με ότι παρατηρήθηκε στο ομογενές μοντέλο 1, η ενίσχυση της μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης μεταβάλλεται έντονα κατά μήκος της επιφάνειας του πραγματικού λόφου (μοντέλο 3). Για τις περισσότερες από τις συχνότητες που διερευνήθηκαν οι ενισχύσεις φθάνουν τις μέγιστες τιμές τους γύρω από τη στέψη του λόφου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας

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

- Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της πλήρους διαφορικής εξίσωσης κίνησης και η διαδικασία επίλυσης εξελίσσεται με υπολογιστικά βήματα.
- Το υλικό προσομοιώνεται με ζώνες (ή στοιχεία) που μορφώνουν έναν κάνναβο, ο οποίος έχει καθοριστεί από το χρήστη για να ταιριάζει με τη γεωμετρία του προβλήματος.
- Ο κάνναβος έχει την ικανότητα να κινείται και να παραμορφώνεται «ακολουθώντας» το εδαφικό υλικό, κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας Lagrange («του κινούμενου παρατηρητή»), αν χρειάζεται από τη φύση του προβλήματος.
- Μέσω της εξίσωσης κίνησης υπολογίζονται σε κάθε βήμα αρχικά οι ταχύτητες των κόμβων του δικτύου (ή, αλλιώς, η προσαύξηση των μετατοπίσεων ανά βήμα) από τις τάσεις και δυνάμεις του προηγούμενου βήματος.
- Από αυτές προκύπτουν ο ρυθμοί των παραμορφώσεων σε κάθε κόμβο και από αυτούς οι νέες τάσεις στις ζώνες του δικτύου βάσει της καταστατικής σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων που καθορίζεται από το χρήστη.
- Από τις τάσεις στις ζώνες (στις οποίες περιλαμβάνονται και οι τάσεις του προηγούμενου βήματος) προκύπτουν οι ισοδύναμες δυνάμεις στους κόμβους του δικτύου, που οφείλονται στην εντατική κατάσταση του μέσου.

- Η επαλληλία αυτών με τη δύναμη λόγω αποσβέσεως αλλά και τις εξωτερικές δυνάμεις δίνει τη μη ισορροπούσα δύναμη ΣF σε κάθε κόμβο. Η δύναμη αυτή θα πρέπει σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση κίνησης να είναι ίση με την αδρανειακή δύναμη.
- Έτσι διαιρώντας με την ισοδύναμη μάζα m κάθε κόμβου και πολλαπλασιάζοντας το πηλίκο επί κάποιο μικρό χρονικό βήμα Δt, προκύπτει η προσαύξηση την ταχύτητας κάθε κόμβου σύμφωνα με τη σχέση:

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

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

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

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

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

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 στο ελάχιστο λόγο $A/(V_p d_{\max})$ που απαντάται σε όλο το δίκτυο πεπερασμένων διαφορών.

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

Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος επιλέγονται με γνώμονα

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

Με βάση τα παραπάνω δεν υπάρχει ανάγκη για πολύ μεγάλους καννάβους προσομοίωσης για να επιτυγχάνεται ο στόχος μη επηρεασμού της περιοχής ενδιαφέροντος από τις συνοριακές συνθήκες. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται ένας λογικής τάξης μεγέθους κάνναβος στο κάτω όριο του οποίου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που θα ελάμβανε χώρα εάν επρόκειτο για ημιχώρο. Επίσης, στα πλευρικά όρια του καννάβου εφαρμόζονται συνθήκες ελεύθερου πεδίου οι οποίες εξασφαλίζονται με ειδικές διατάξεις που πρακτικώς "επιβάλλουν" συνθήκη ελεύθερου πεδίου στο όριο. Ακόμη επισημαίνεται ότι η κίνηση επιβάλλεται στο κάτω όριο του καννάβου ως χρονοϊστορία τάσης και όχι μετατόπισης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης οπότε θα δημιουργούνταν τεχνητές ανακλάσεις στο εν λόγω όριο.

Πλεονεκτήματα του προγράμματος FLAC:

- Το FLAC αντιμετωπίζει την ανελαστικότητα στη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων με διάφορα ελαστο-πλαστικά καταστατικά μοντέλα (π.χ. το μοντέλο Mohr-Coulomb, Drucker-Prager) και μάλιστα σχεδόν με τις ίδιες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ που προβλέπονται για το απλό ελαστικό μοντέλο. Αντίθετα, προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο.

- Δε γίνεται μόρφωση και αποθήκευση μητρώων ακαμψίας οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός στοιχείων κατά την προσομοίωση με μέτριες απαιτήσεις σε μνήμη, ενώ προβλήματα με μεγάλες μετατοπίσεις και παραμορφώσεις αντιμετωπίζονται επίσης χωρίς πρόσθετη υπολογιστική προσπάθεια.
- Διαθέτει μια ενσωματωμένη γλώσσα, τη Fish που μοιάζει με τη FORTRAN, αλλά που είναι προσαρμοσμένη στις δυνατότητες, απαιτήσεις και ανάγκες του FLAC. Η Fish δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εφοδιάζει τα αρχεία εισόδου του με υπορουτίνες και κώδικες που μπορούν να μετατρέπουν ή να συμπληρώνουν καταστατικά προσομοιώματα ή να εισάγουν στην υπολογιστική διαδικασία νέες μεταβλητές και παραμέτρους.

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

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

3.2. Βαθμονόμηση Μεθοδολογίας

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

δευτερευόντως με αναλυτικές λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας των αναλυτικών λύσεων και κυρίως εξαιτίας της δυσκολίας στην εύρεση-προσδιορισμό τους.

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

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

Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ο Wong (1982) εφάρμοσε τη μεθοδολογία του για ημικυκλικό φαράγγι χάριν απλότητας και παρουσίασε αποτελέσματα για πρόσπτωση κυμάτων P και SV. Στις αναλύσεις με το FLAC, η διέγερση επιβάλλεται στην κάτω επιφάνεια του καννάβου ως χρονοιστορία τάσης και εξετάζεται η απόκριση των σημείων της ελεύθερης επιφάνειας. Η μέγιστη απόκριση των σημείων αυτών στην ευρύτερη ζώνη της ανωμαλίας απεικονίζεται συναρτήσει της απόστασης

από τον άξονα συμμετρίας της ανωμαλίας σε διαγράμματα που αφορούν σε συγκεκριμένη τιμή της αδιάστατης συχνότητας:

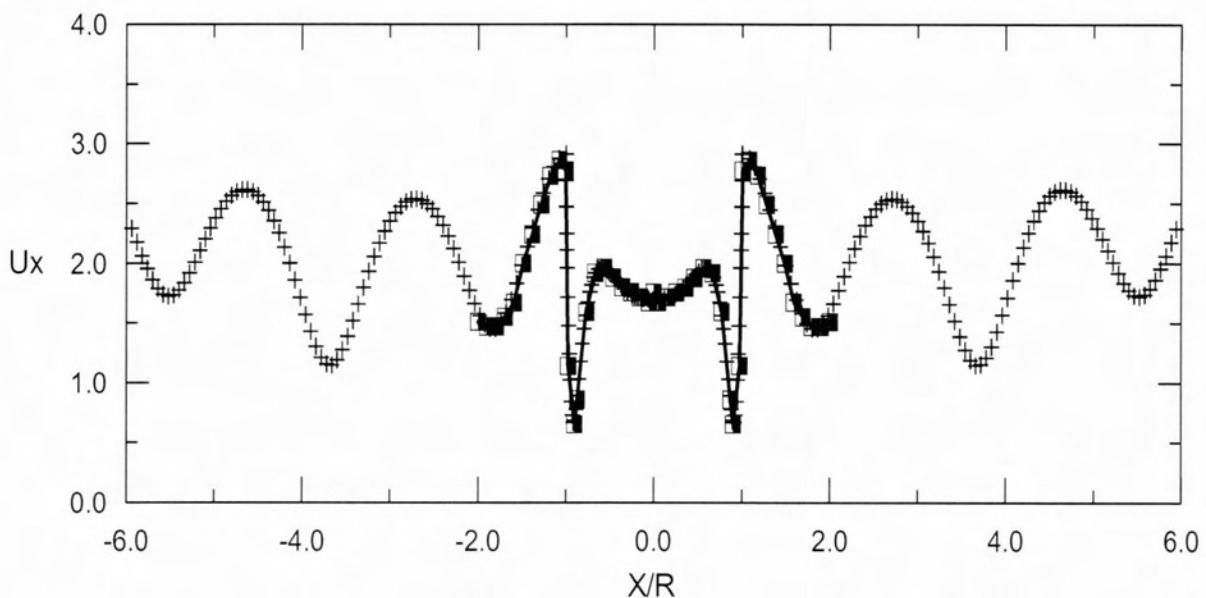
$$\eta = \frac{\omega \cdot R}{\pi \cdot V}$$

όπου: R η ακτίνα του ημικυκλίου,

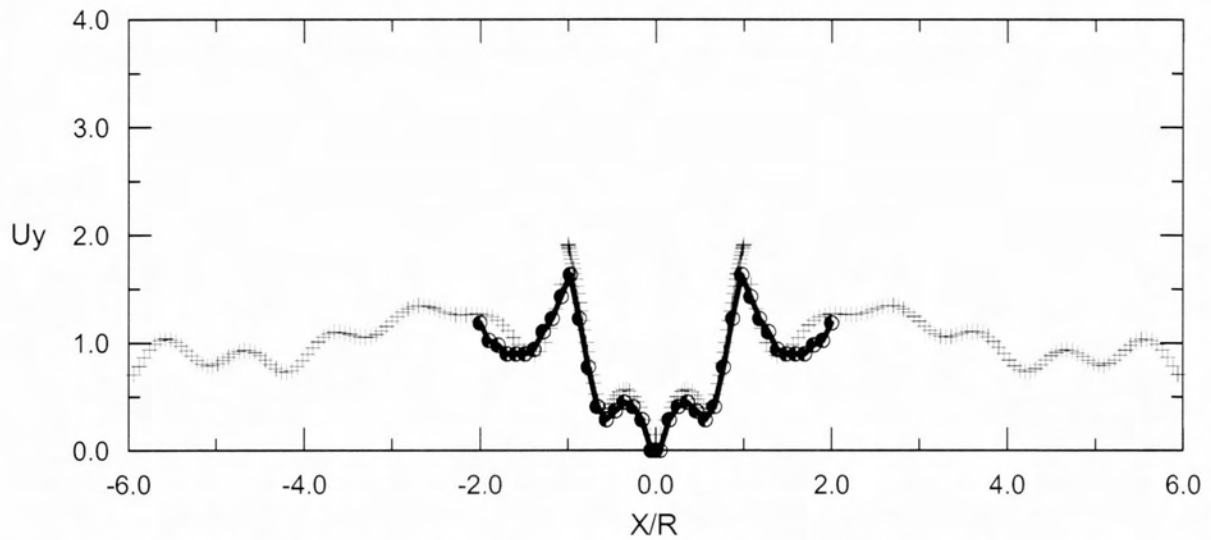
ω η κυκλική συχνότητα και

V η κυματική ταχύτητα του προσπίπτοντος σεισμικού κύματος

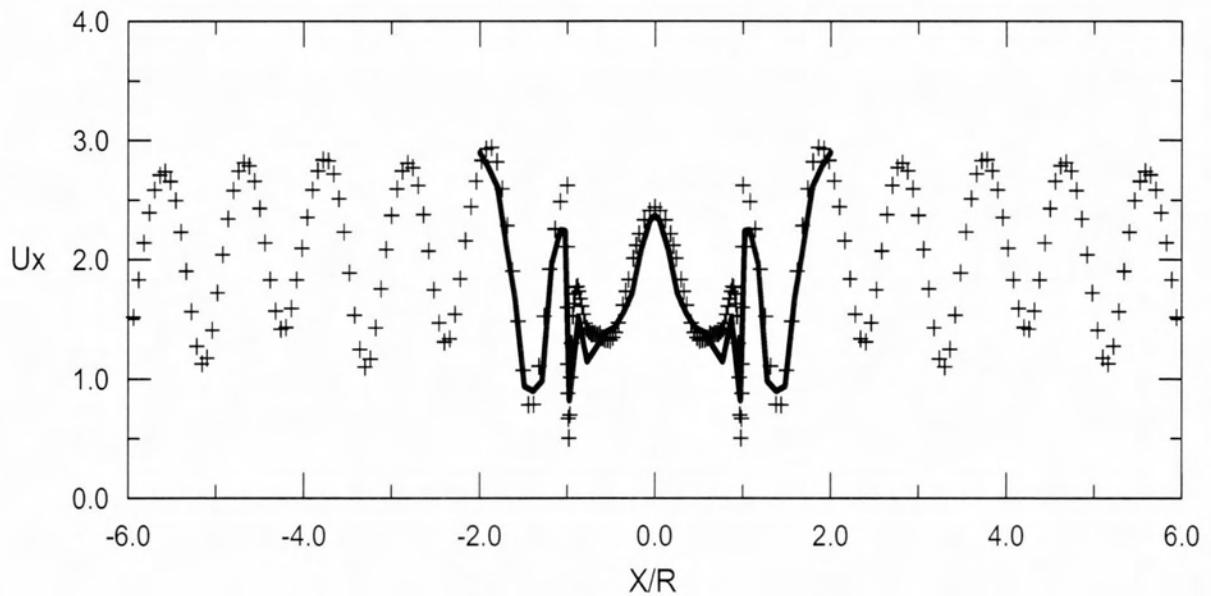
Το αρχικό πρόβλημα που ελέγχθηκε αναφέρεται στο εν λόγω προσομοίωμα με ακτίνα R=25m και για κατακόρυφη πρόσπτωση κύματος SV. Επιλέχθηκε κάνναβος διαστάσεων 300m x 150m που αποτελείται από 200 x 150 στοιχεία. Δοκιμάστηκαν οι τιμές αδιάστατης συχνότητας $\eta=1$ και $\eta=2$ (Σχήμα 3.1, 3.2).



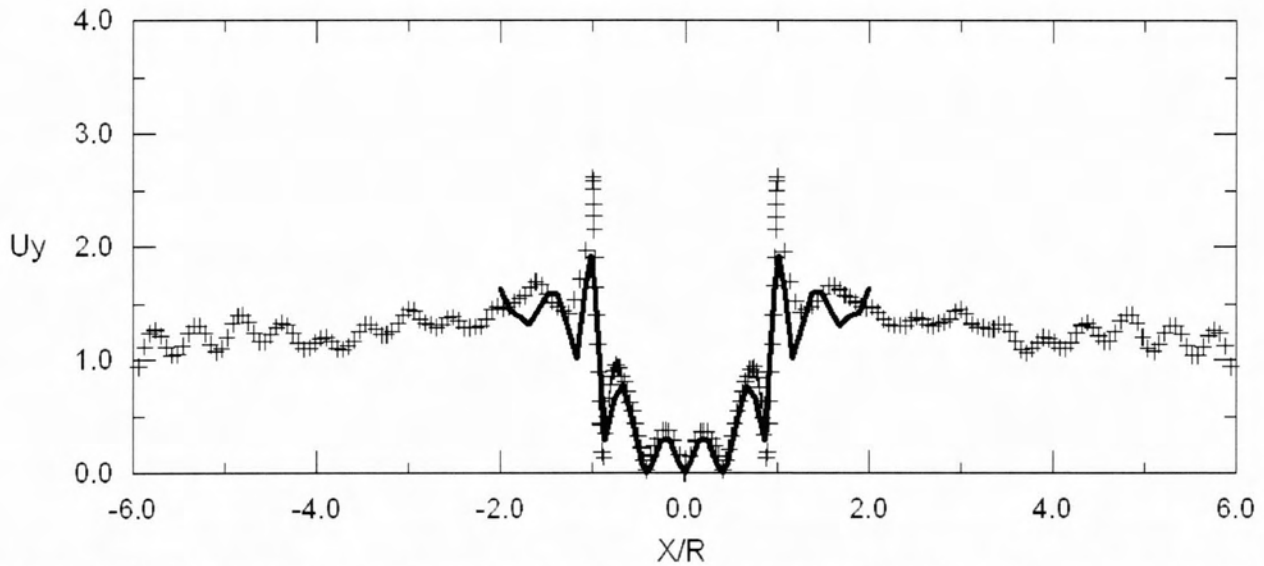
Σχήμα 3.1α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακόρυφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=1$ και ακτίνα φαραγγιού R=25m (+FLAC, ■ Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου 300m x 150m, στοιχεία 200 x 150.



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



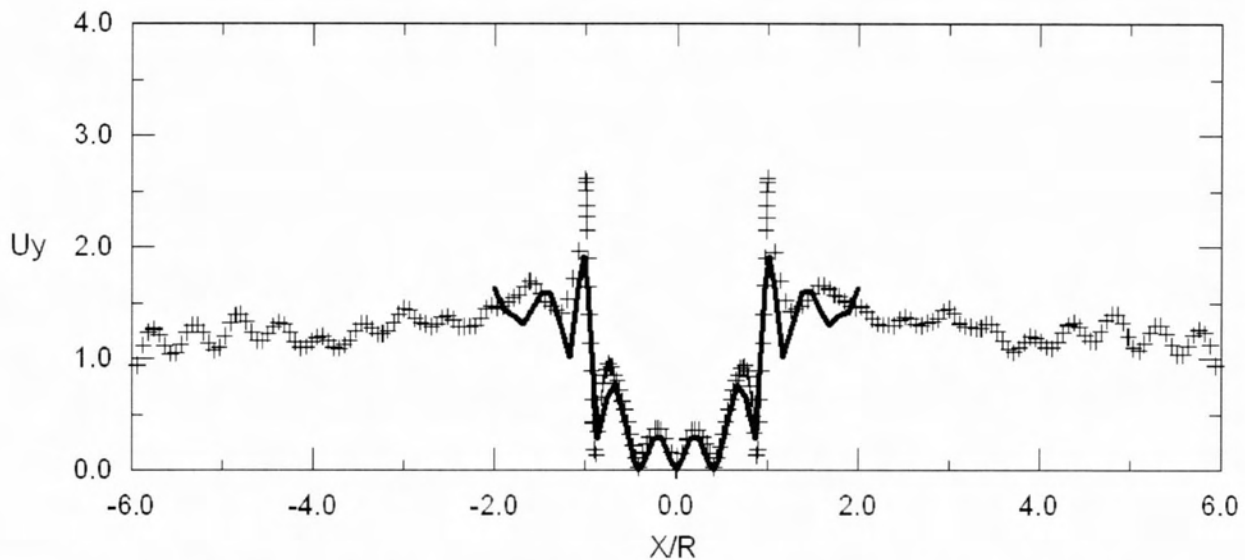
Σχήμα 3.2α Τοπογραφική ενίσχυση οριζόντιας κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta=2$ και ακτίνα φαραγγιού $R=25m$ (+ FLAC, ■ Wong (1982)). Διαστάσεις καννάβου $300m \times 150m$, στοιχεία 200×150 .



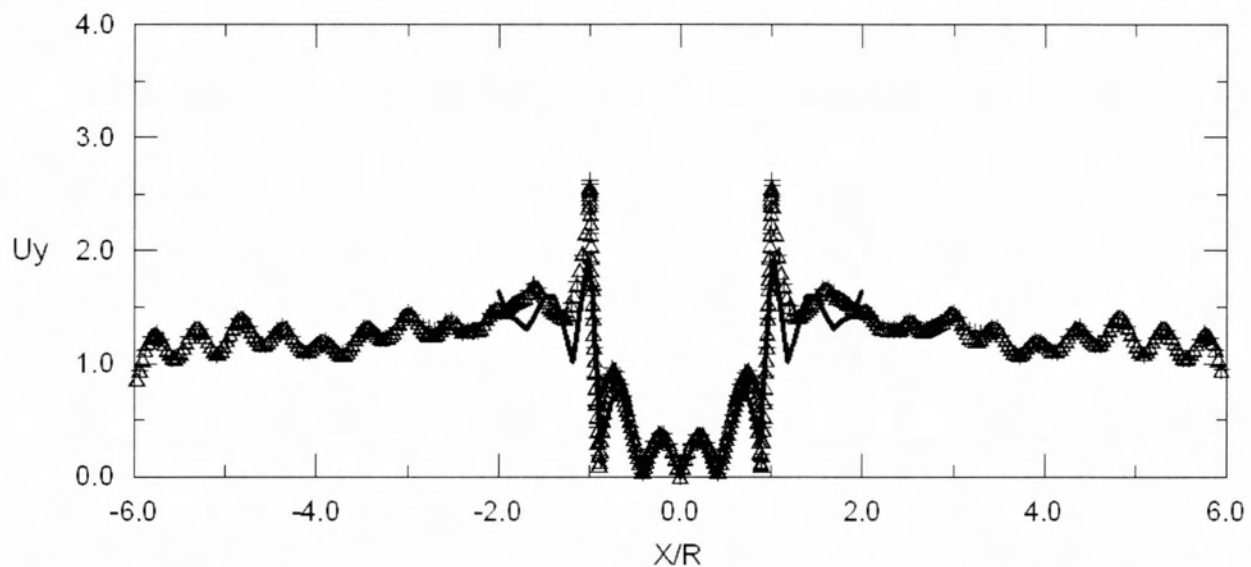
Σχήμα 3.2β Τοπογραφική ενίσχυση κατακόρυφης κίνησης κατά μήκος ζώνης τοπογραφίας φαραγγιού υπό κατακορύφως προσπίπτον κύμα SV για αδιάστατη συχνότητα $\eta = 2$ και ακτίνα φαραγγιού $R = 25\text{m}$ (+ FLAC, \square Wong(1982)). Διαστάσεις καννάβου $300\text{m} \times 150\text{m}$, στοιχεία 200×150 .

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

$dh/\lambda=1/25$ δε θεωρείται αναγκαία. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί και με όσα αναγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του FLAC, όπου μια τιμή $dh/\lambda=1/10$ θεωρείται επαρκής.



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



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

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

Οι κάνναβοι που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής κατασκευάστηκαν υιοθετώντας τις αρχές που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Ενδεικτικά στο Σχήμα 3.4 δίνεται ένα παράδειγμα καννάβου για την ανάλυση σεισμικής απόκρισης μονοκλινούς ομοιόμορφου πρανούς ($H/\lambda = 0.20$, κλίσης $i = 60^\circ$). Για να εκτιμηθεί η τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης στην περίπτωση μονοκλινούς πρανούς, πέραν της ανάλυσης με κάνναβο σαν αυτό του σχήματος 3.4, έγιναν και δύο αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», μία για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μία για την περιοχή μπροστά από τον πόδα, οι οποίες υποβάλλονται στην ίδια σεισμική διέγερση στη βάση. Οι αντίστοιχοι κάνναβοι των αναλύσεων «ελευθέρου πεδίου» στέψης και πόδα δίνονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6. Επισημαίνεται ότι για τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 6 χρησιμοποιήθηκαν ακόμη πιο πυκνοί κάνναβοι για τις αναλύσεις μονοκλινούς πρανούς και «ελευθέρου πεδίου» πίσω από τη στέψη, καθώς η ταχύτητα μετάδοσης διατμητικών κυμάτων στη «μαλακή» στρώση ήταν αρκετά μικρότερη.

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

JOB TITLE : (*10^3)

FLAC (Version 4.00)

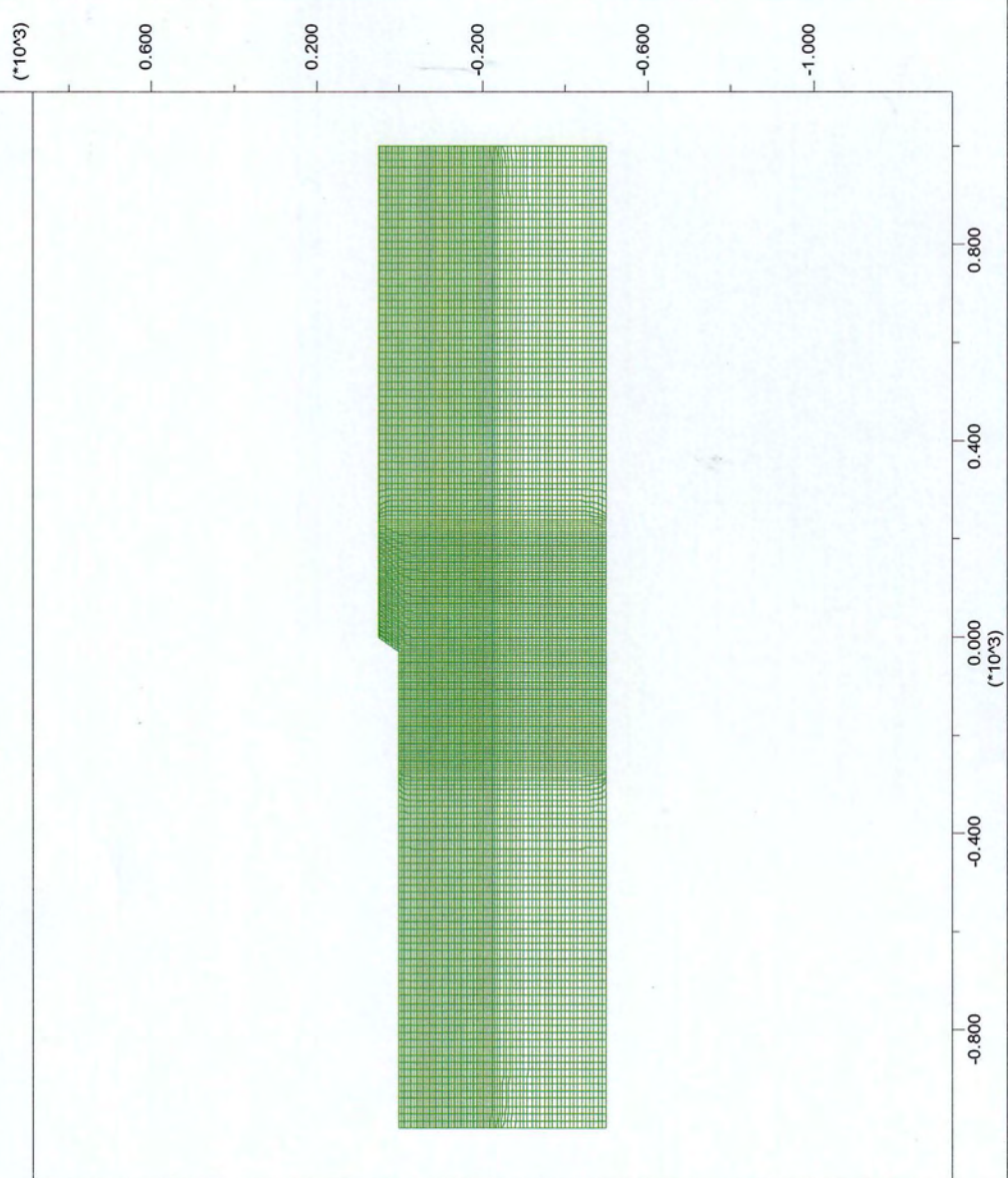
LEGEND

23-Apr-07 2:28
step 11590
-1.111E+03 <x< 1.111E+03
-1.336E+03 <y< 8.861E+02

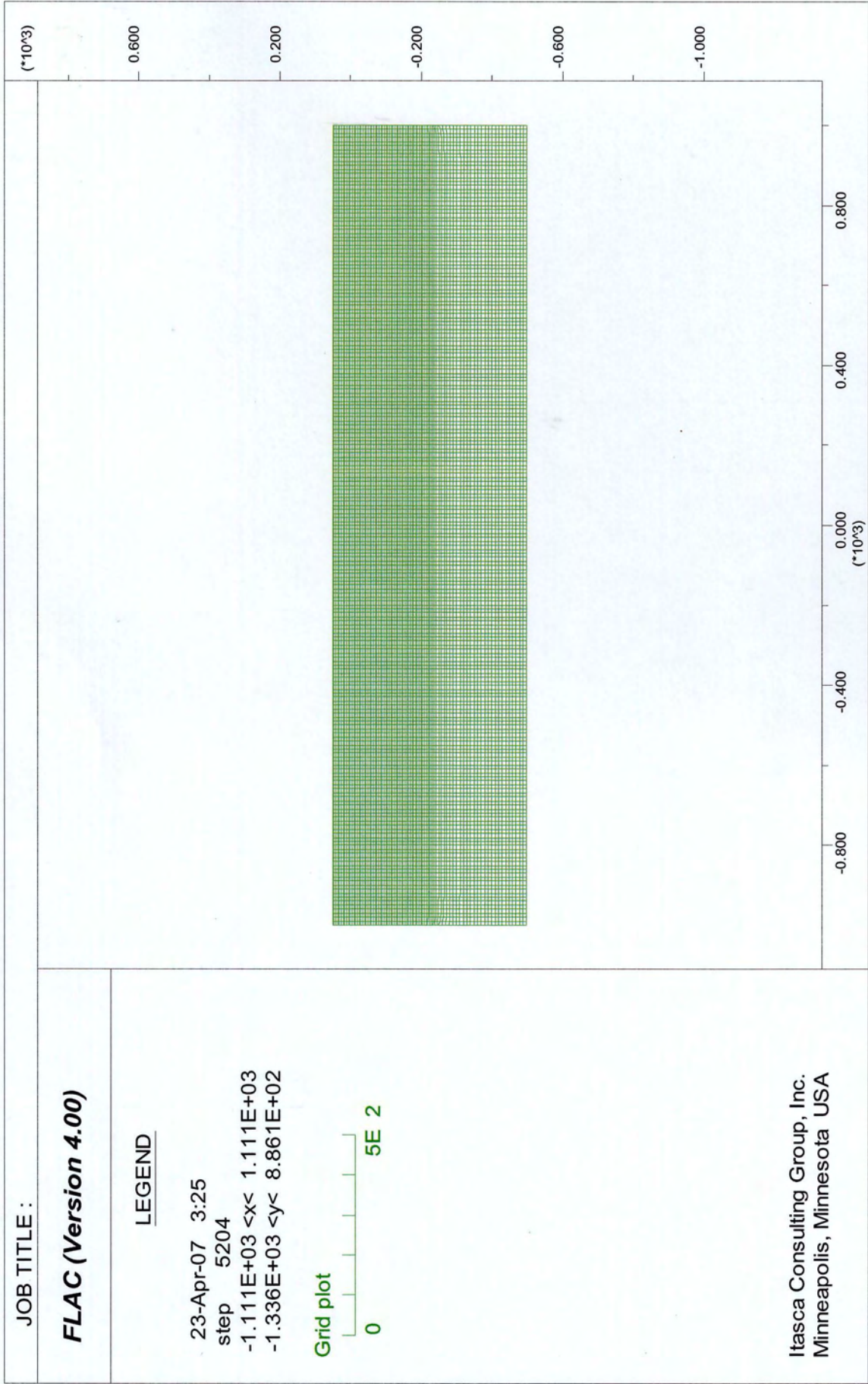
Grid plot



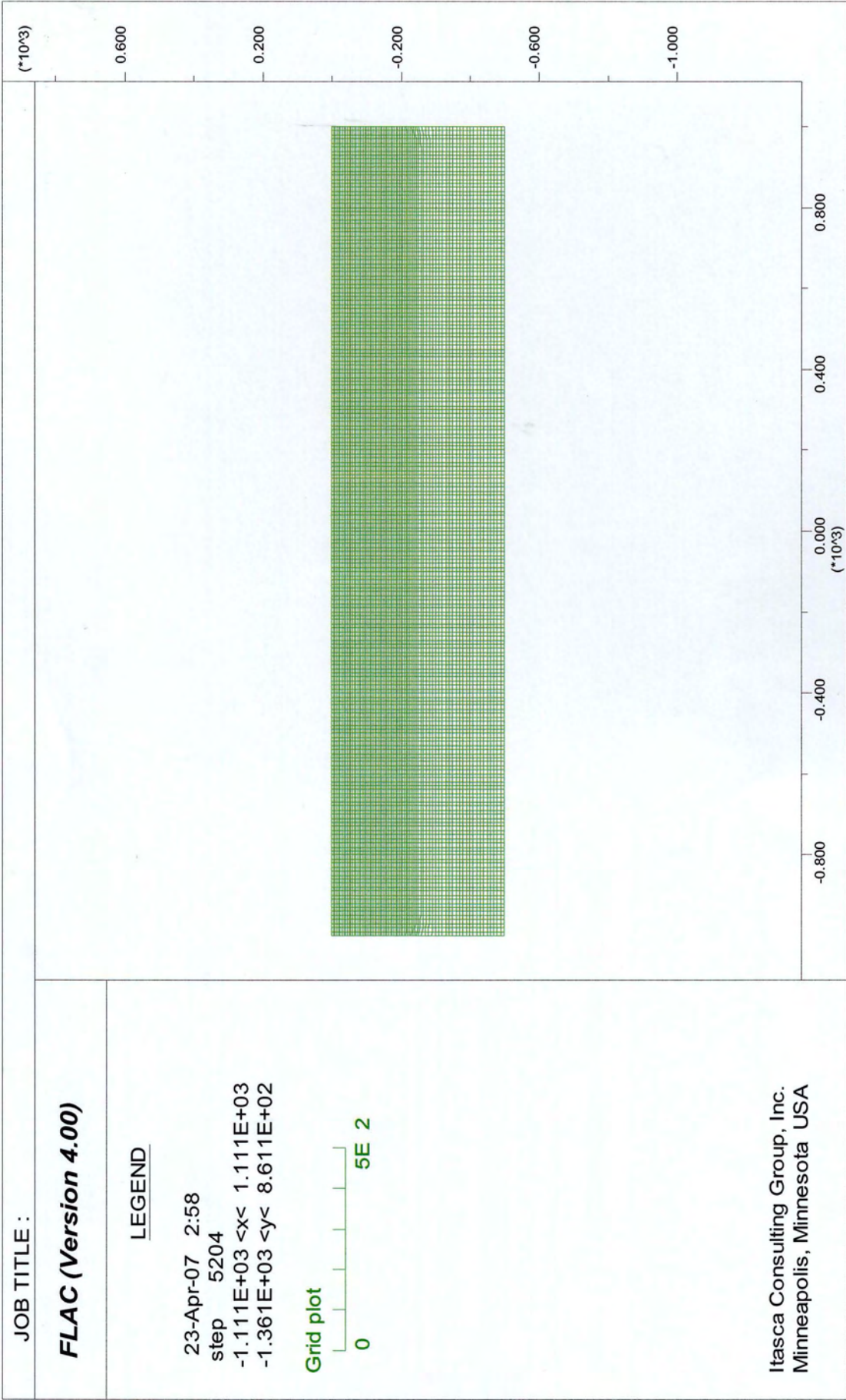
Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, Minnesota USA



Σχήμα 3.4: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος μονοκλινούς πρανούς



Σχήμα 3.5: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (πίσω από τη στέψη μονοκλινούς πρανούς).



Σχήμα 3.6: Εφαρμογή προγράμματος FLAC: τυπικός κάρναβος ελεύθερου πεδίου (μπροστά από τον πόδα μονοκλινούς πρανούς).

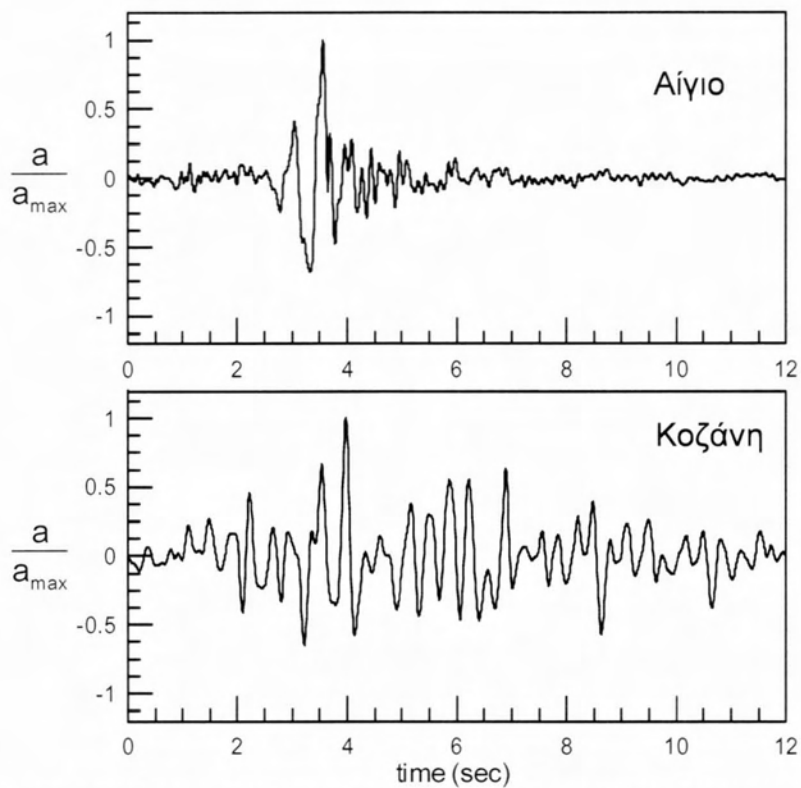
3.3. Σεισμικές διεγέρσεις

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

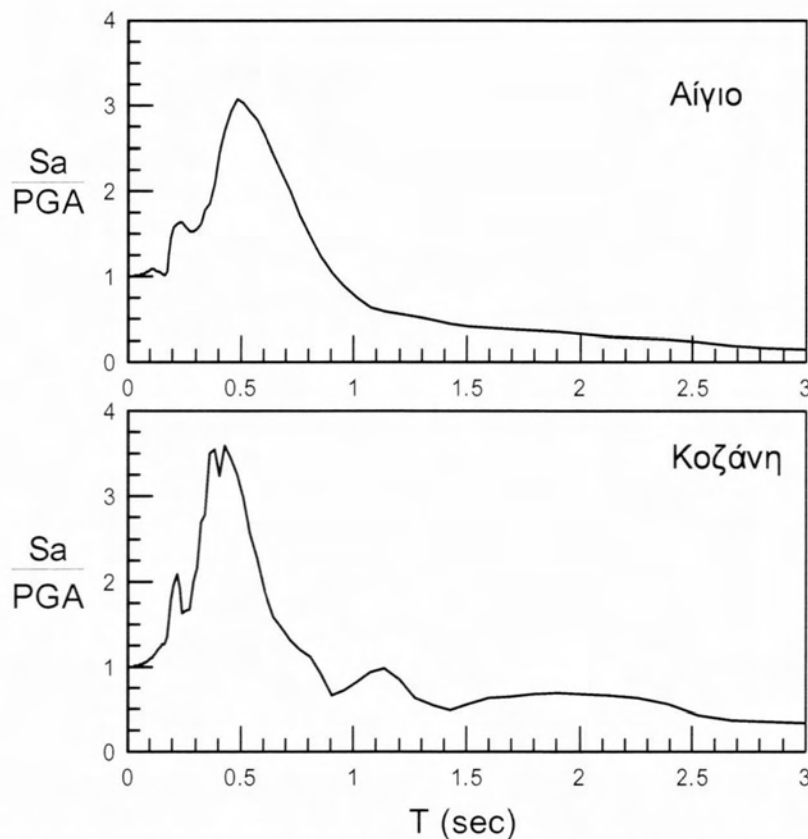
(α) του σεισμού του Αιγίου 1995 με 1 σημαντικό κύκλο φόρτισης, και

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

Κάθε μία από τις χρονοϊστορίες είναι διαβαθμισμένη στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda=V_s/f$, ή γενικότερα στην επιθυμητή τιμή δεσπόζουσας συχνότητας f ή περιόδου T_e , μεταβάλλοντας το χρονικό βήμα ολοκλήρωσής τους. Το εύρος των δεσπόζουσων συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι $f = 1.25$ έως 10 Hz με στόχο να καλυφθεί όλο το πιθανό εύρος δεσπόζουσων συχνοτήτων που αναμένονται στην πράξη. Η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων ήταν χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων. Στο Σχήμα 3.7 δίνονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης για δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, ενώ στο Σχήμα 3.8 τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των σεισμών Αιγίου και Κοζάνης 1995 (για την ίδια τιμή δεσπόζουσας περιόδου).



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



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

3.4. Απόσβεση συστήματος

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

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

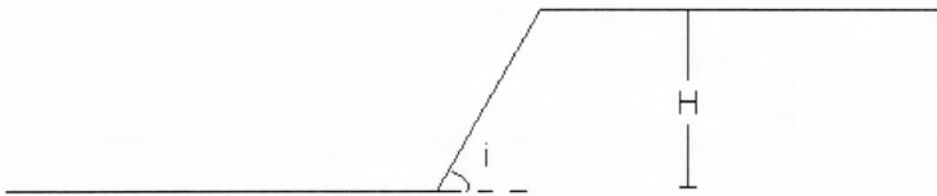
Να σημειωθεί ότι ακόμη και στο Κεφάλαιο 6 όπου υπάρχει «μαλακή» στρώση επί βράχου, η τιμή του ξ ελήφθη κοινή τόσο για την εδαφική απόθεση όσο και για τον βράχο, χάριν απλότητας, ενώ δε μεταβλήθηκε η τιμή της ω_{\min} . Αυτές οι παραδοχές έγιναν χάριν απλότητας, αλλά επίσης για να είναι απευθείας συγκρίσιμες οι αναλύσεις για ομοιόμορφο βράχο με εκείνες για πρανές με «μαλακή» στρώση. Προφανώς οι εν λόγω παραδοχές δεν είναι απολύτως ορθές, μα πιο ρεαλιστική θεώρηση για το πρόβλημα του πρανούς με «μαλακή» στρώση μπορεί να προκύψει μόνο με μη-γραμμικές αναλύσεις που εκφεύγουν του στόχου της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΠΡΑΝΗ

4.1. Γενικά

Στην εργασία αυτή, το εκάστοτε ομοιόμορφο πρανές, έχει κλίση (i), ύψος (H), και οιονεί άπειρο εύρος πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα (βλ. Σχ. 4.1). Οι αναλύσεις που έγιναν διερευνούν παραμετρικά την επίδραση της κλίσης i και του αδιάστατου ύψους (H/λ) στη σεισμική κίνηση, όπου λ το δεσπόζον μήκος κύματος διατμητικών κυμάτων ($\lambda = V_s T_e$, με T_e τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης).

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



Σχήμα 4.1. Σκαρίφημα μονοκλινούς πρανούς

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τρεις (3) διαφορετικές κλίσεις πρανούς i ύψους H , κάθε μια από τις οποίες επαναλήφθηκε για διεγέρσεις τουλάχιστον 2 διαφορετικών τιμών δεσπόζοντος μήκους κύματος λ (δεδομένου ότι σε όλες τις αναλύσεις $H=50\text{m}$). Καθώς το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ μπορεί να προέρχεται από εντελώς διαφορετικές μορφές διέγερσης, κάθε πρανές κλίσης i και αδιάστατου ύψους H/λ υποβλήθηκε σε δύο (2) διαφορετικές διεγέρσεις (που έχουν αμφότερες το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ).

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

- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.125$
- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.20$
- $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.45$
- $i=30^\circ$, $H/\lambda=1.00$
- $i=45^\circ$, $H/\lambda=0.20$
- $i=45^\circ$, $H/\lambda=0.45$
- $i=60^\circ$, $H/\lambda=0.20$
- $i=60^\circ$, $H/\lambda=0.45$

Οι σεισμικές διεγέρσεις που εφαρμόστηκαν σε κάθε προηγούμενο συνδιασμό (i , H/λ) είναι:

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

Επιπλέον αυτών, για τις αναλύσεις με ($i=30^\circ$, $H/\lambda=1.0$) και ($i=30^\circ$, $H/\lambda=0.125$) χρησιμοποιήθηκαν δύο ακραίες τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ , οι οποίες αντιστοιχούν σε πολύ υψίσυχνες και σε πολύ χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($T=0.1\text{sec}$ για $H/\lambda=1.00$ και $T=0.8\text{sec}$ για $H/\lambda=0.125$), χάριν σύγκρισης με τα αποτελέσματα των υπολοίπων αναλύσεων.

Στο σύνολό τους οι ανωτέρω αναλύσεις ανήλθαν σε πλήθος των δέκα έξι (16). Αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι κάθε ανάλυση πρηνούς συνοδευόταν και από 2 αναλύσεις «ελευθέρου πεδίου», το απόλυτο σύνολο των αναλύσεων που εκτελέστηκαν στην παρούσα εργασία είναι σαράντα οχτώ (48).

4.2. Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης

Αρχικά, διερευνάται η επίδραση της κλίσης i και του αδιάστατου ύψους πρηνούς H/λ , σε συνάρτηση με την σεισμική διέγερση που επιβάλλεται, στην μέγιστη οριζόντια και στην

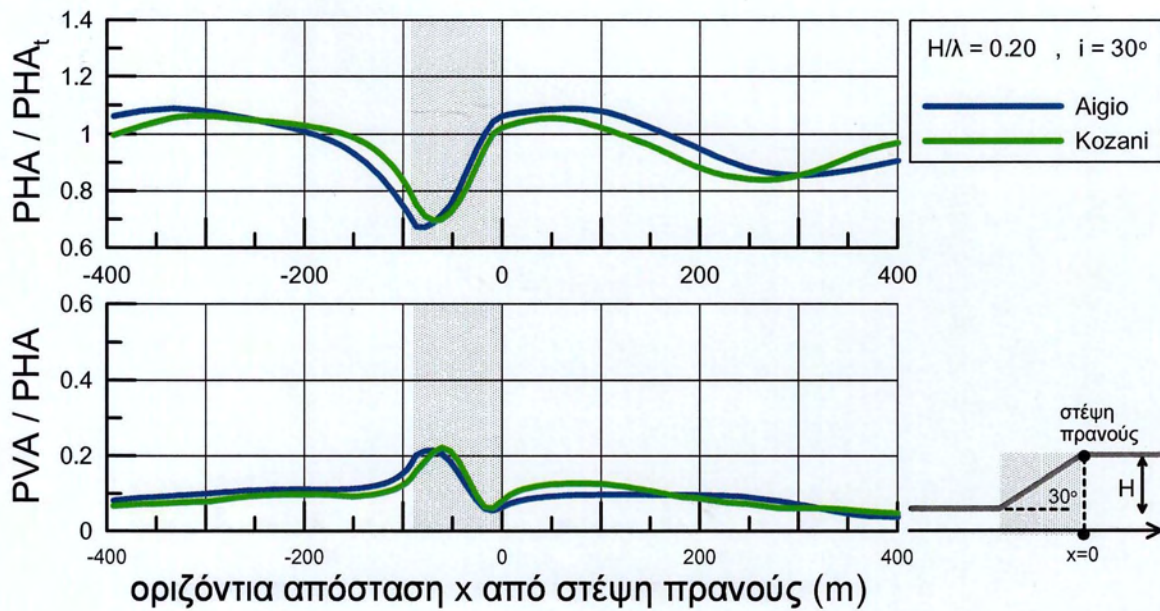
(παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, κατά μήκος όλης της επιφάνειας του ομοιόμορφου πρανούς.

Στην παρούσα εργασία, για να απεικονιστούν έστω προσεγγιστικά κάποια αποτελέσματα των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης τα οποία να αντιστοιχούν στην κεκλιμένη επιφάνεια, κανονικοποιήθηκε η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση κατά μήκος ολόκληρης της επιφάνειας του πρανούς ως προς την μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που εμφανίζεται στο ελεύθερο πεδίο της περιοχής μπροστά από τον πόδα του (PHA/PHA,t). Επίσης, η μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση κανονικοποιήθηκε ως προς την αντίστοιχη μέγιστη οριζόντια σε κάθε θέση της επιφάνειας του πρανούς (PVA/PHA), αφού δε μπορούσε να υιοθετηθεί η κανονικοποίηση της οριζόντιας συνιστώσας καθώς $PVA,t=0$. Για να επιτευχθεί αυτό δόθηκε έμφαση σε μία περιορισμένη περιοχή (από -400m έως 400m) όπου γίνεται και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, εστιάζοντας έτσι και στην κεκλιμένη περιοχή του πρανούς.

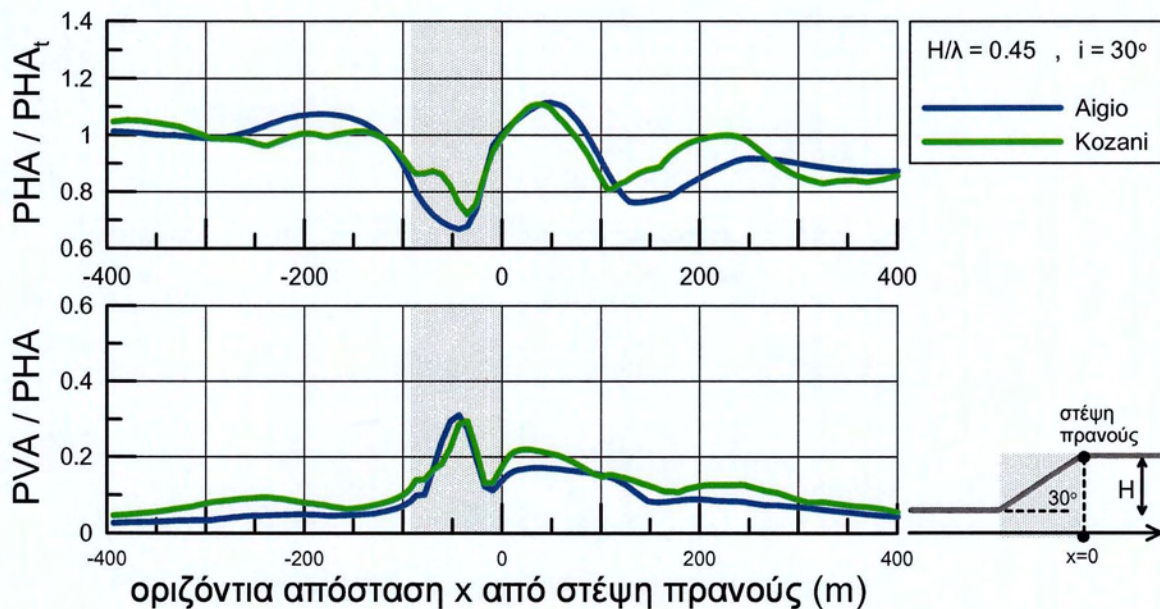
Στην πρώτη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.2 έως 4.9) φαίνεται η κανονικοποιημένη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση καθ' όλο το μήκος του πρανούς (και στην κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδιασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

- i) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.20$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.2)
- ii) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.45$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.3)
- iii) $i=45^\circ$ $H/\lambda=0.20$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.4)
- iv) $i=45^\circ$ $H/\lambda=0.45$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.5)
- vi) $i=60^\circ$ $H/\lambda=0.20$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.6)
- v) $i=60^\circ$ $H/\lambda=0.45$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.7)
- vi) $i=30^\circ$ $H/\lambda=1.00$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.8)
- vii) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.125$ PHA/PHA_t και PVA/PHA (Σχήμα 4.9)

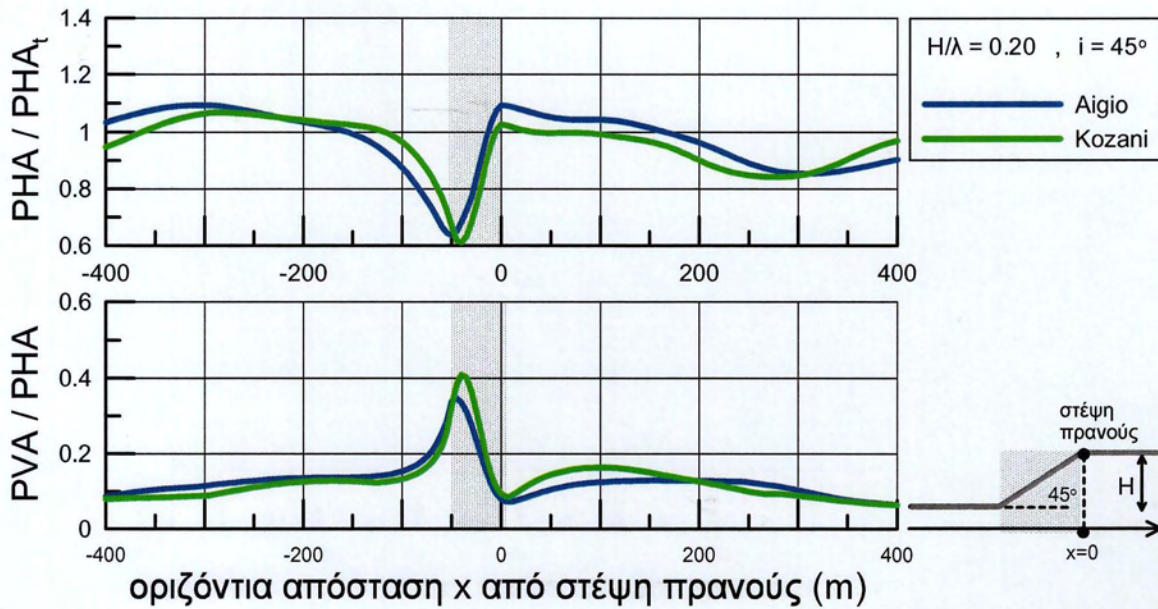
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



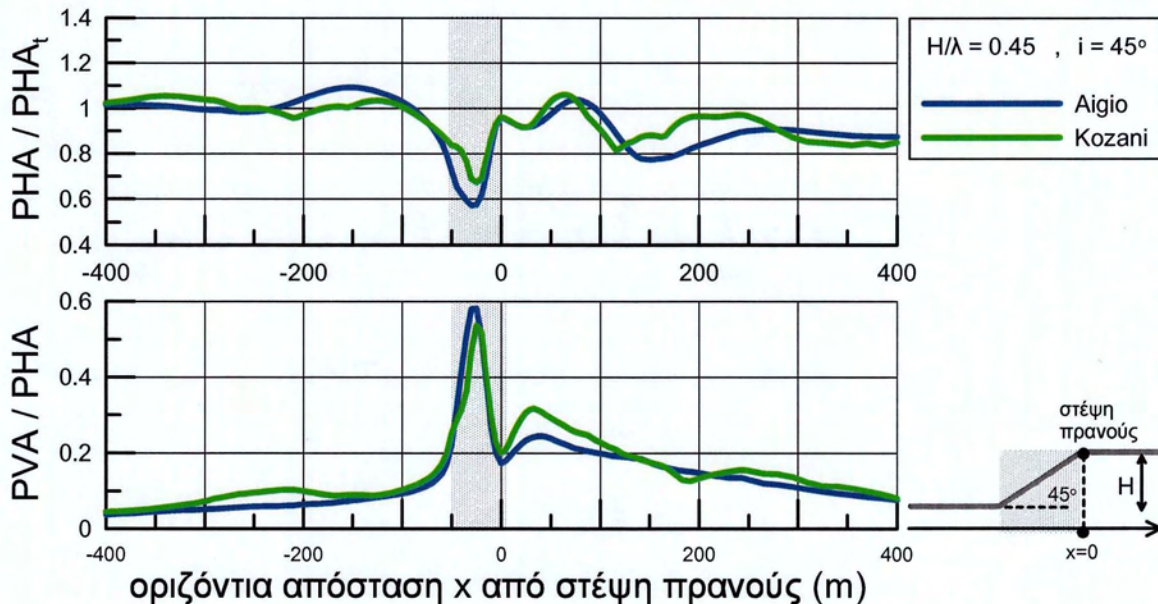
Σχήμα 4.2. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$ ($H/\lambda=0.20$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



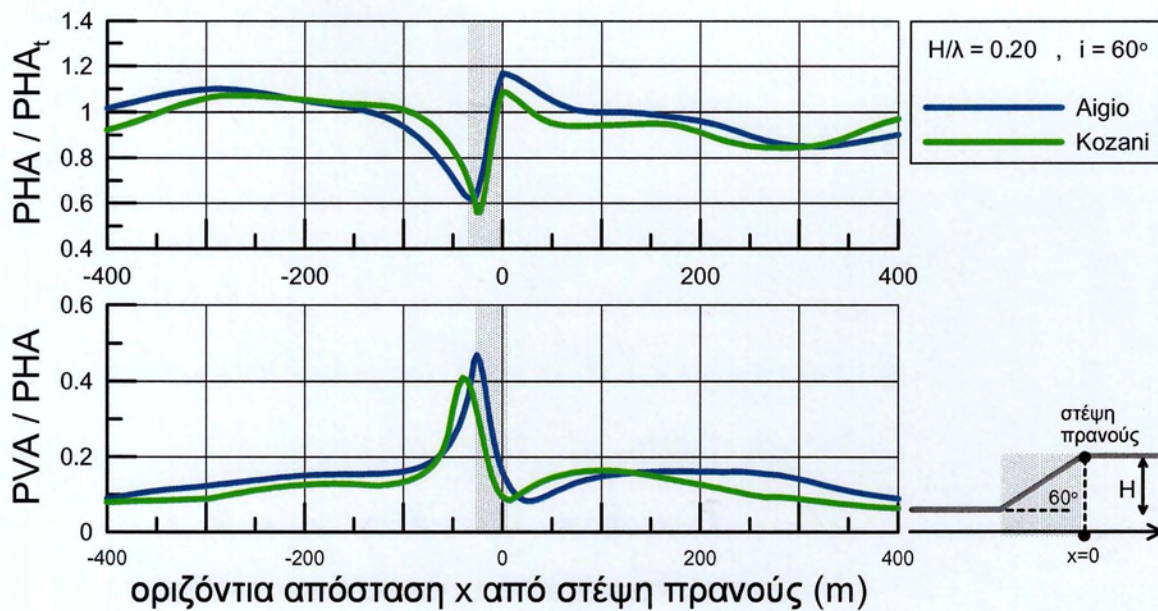
Σχήμα 4.3. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$ ($H/\lambda=0.45$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



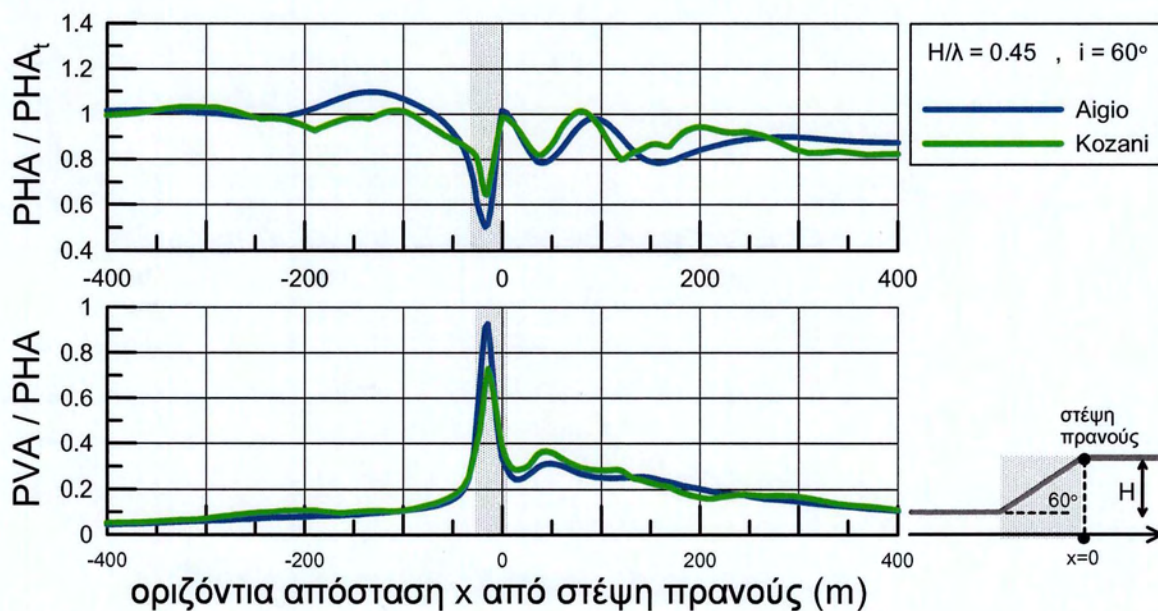
Σχήμα 4.4. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=45^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$ ($H/\lambda=0.20$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



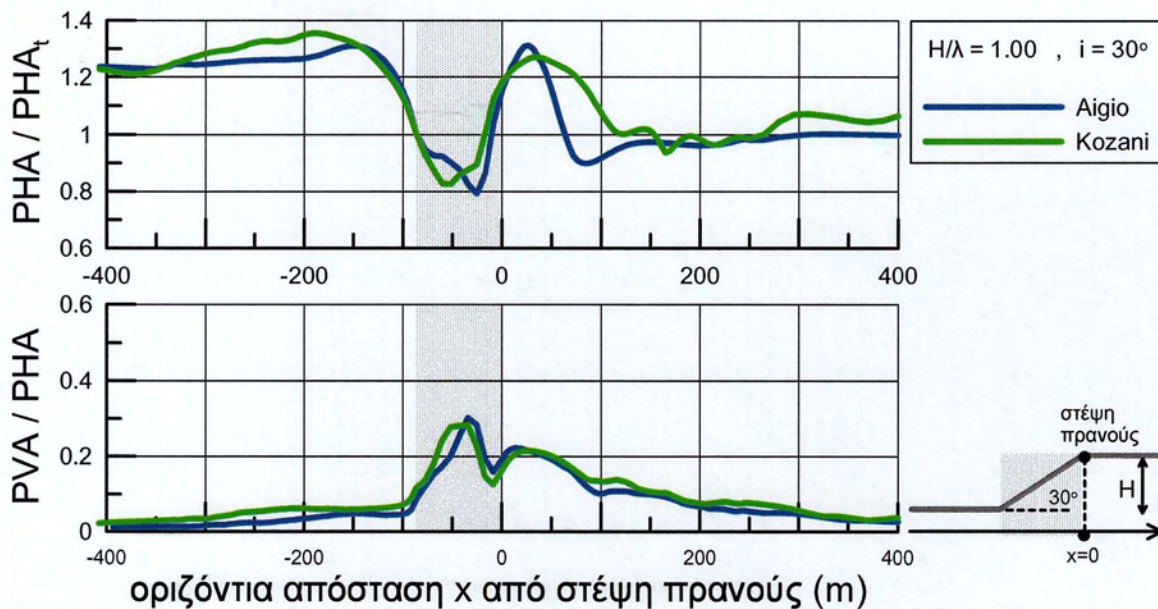
Σχήμα 4.5. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=45^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$ ($H/\lambda=0.45$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



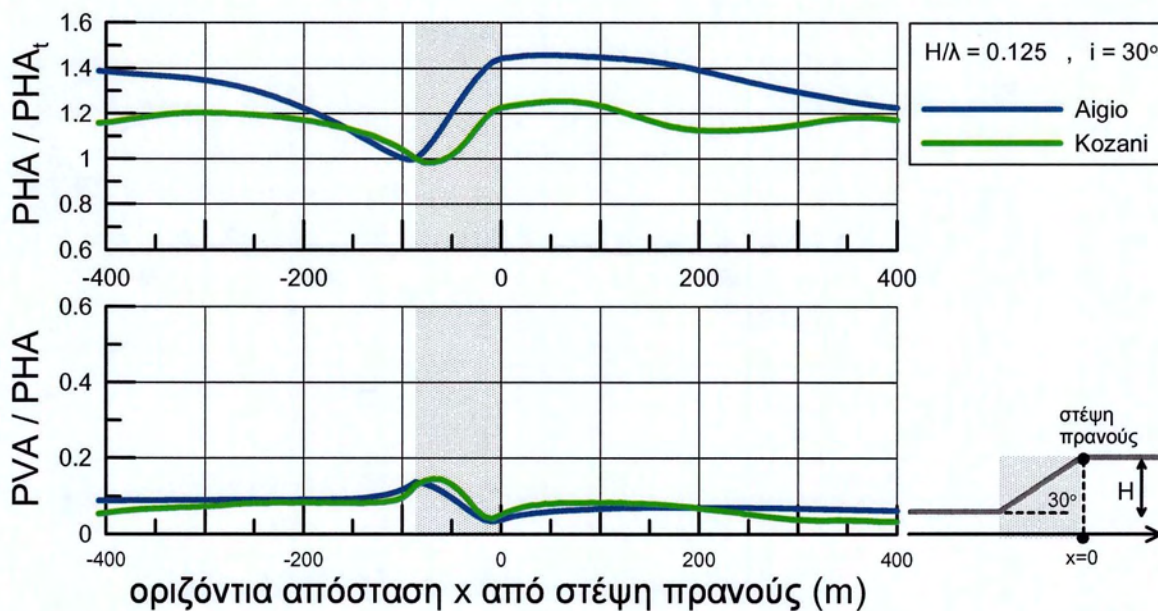
Σχήμα 4.6. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=60^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$ ($H/\lambda=0.20$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.7. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=60^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$ ($H/\lambda=0.45$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.8. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.1\text{sec}$ ($H/\lambda=1.00$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 4.9. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του ομοιόμορφου πρανούς, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.8\text{sec}$ ($H/\lambda=0.125$), για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)

Από την πρώτη ομάδα Σχημάτων 4.2 έως 4.9 προκύπτουν τα εξής για την κεκλιμένη επιφάνεια του πρανούς:

- Για κάθε συνδυασμό κλίσης i και αδιάστατου ύψους H/λ , παρατηρείται απομείωση της μέγιστης οριζόντιας κίνησης και ενίσχυση της (παρασιτικής) κατακόρυφης κίνησης, κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς. Από εκεί και πέρα, για την οριζόντια επιτάχυνση, πίσω από τη στέψη έχουμε ενίσχυση της κίνησης, η οποία με την απόσταση αποσβένεται, ενώ μπροστά από τον πόδα έχουμε σχετική προσαύξηση της κίνησης, σε σχέση με την απομειωμένη τιμή στον πόδα του πρανούς. Για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, πίσω από τη στέψη έχουμε σχετική ενίσχυση της κίνησης, ενώ μπροστά από τον πόδα η κίνηση απομειώνεται σχετικώς με ό,τι παρατηρείται στον πόδα.
- Οι διαφορές στην απόκριση μεταξύ των δύο μορφών χρονοϊστορίας διέγερσης είναι μικρές, και όχι συστηματικές. Συνεπώς, η τιμή της δεσπόζουσας περιόδου που καθορίζει την τιμή του αδιάστατου ύψους H/λ είναι πιο σημαντική παράμετρος συγκριτικά με την ακριβή μορφή της χρονοϊστορίας διέγερσης.

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

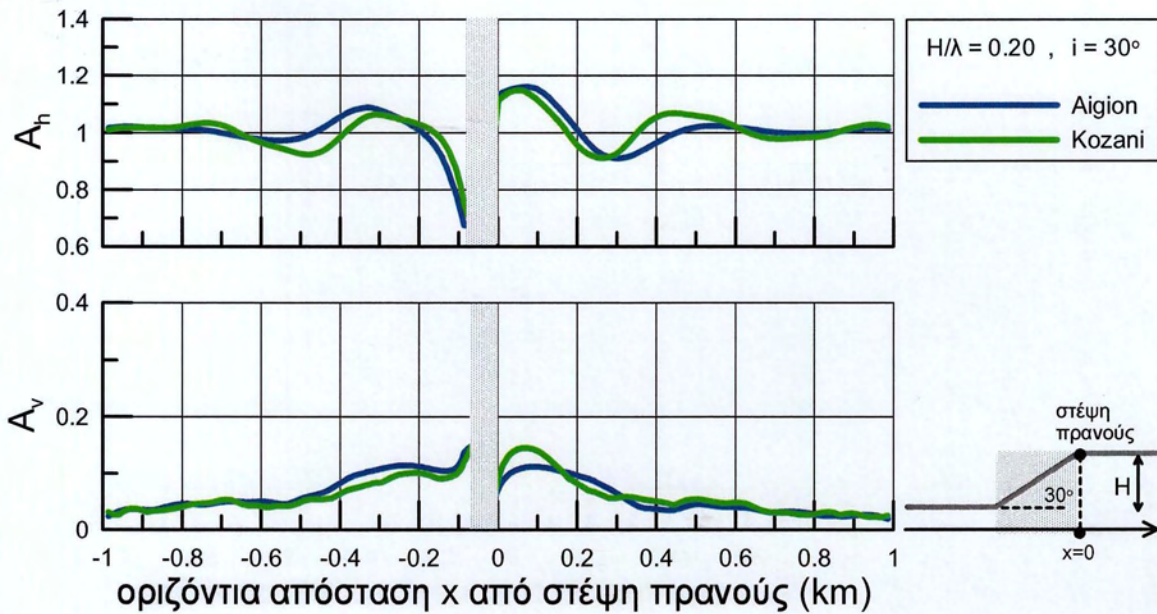
Για να γίνει η εξαγωγή κάποιων γενικών συμπερασμάτων για την περιοχή με την «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, εισάγεται μια δεύτερη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 4.10 έως 4.17) στα οποία φαίνεται η επίδραση του μονοκλινούς πρανούς στους παράγοντες τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης A_h και A_v , όπου $A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{v,ff}$ με την απόσταση από τη στέψη x , όπου $a_h = \text{PHA}$ και $a_v = \text{PVA}$ είναι η μέγιστη οριζόντια και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφανείας. Η παράμετρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου (π.χ. $a_{h,ff} = \text{PHA}_{,t}$ για την περιοχή μπροστά από τον πόδα), και χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση όχι μόνο της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης a_h , αλλά και της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας a_v , καθώς $a_{v,ff} = 0$ για ένα κατακόρυφα προσπίπτον κύμα SV.

Εδώ παρουσιάζονται αποτελέσματα για την περιοχή του πρανούς από -1km έως 1km και η κανονικοποίηση γίνεται ως προς τις εκάστοτε μονοδιάστατες (1D) συνθήκες ταλάντωσης. Για τον λόγο αυτό, δημιουργείται πρόβλημα έλλειψης σημείου αναφοράς μονοδιάστατων (1D) συνθηκών κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση από τη 1D ανάλυση που πρέπει να εισαχθεί στους παρονομαστές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης. Έτσι, υπάρχει δυσχέρεια ορισμού των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς και για αυτό σε όλα τα παρακάτω σχήματα δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για την κεκλιμένη επιφάνεια (γραμμοσκιασμένη περιοχή).

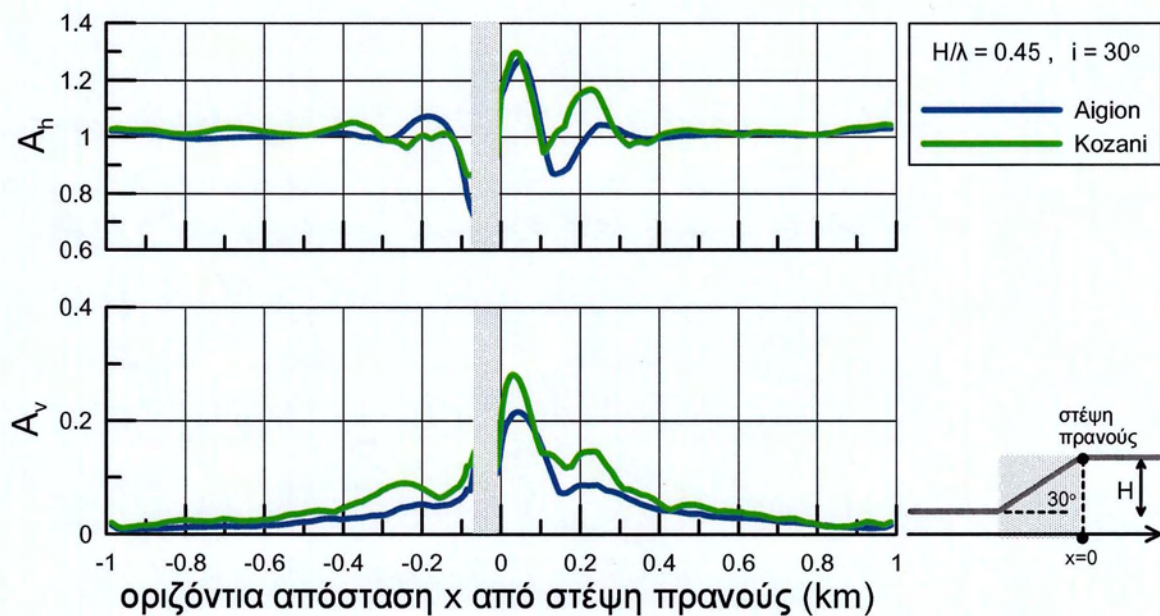
Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 4.10 έως 4.17 παρουσιάζονται διαγράμματα της χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης στις δύο διευθύνσεις (A_h και A_v), για συνδυασμούς πρανών-διέγερσης με τα εξής χαρακτηριστικά κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης T_e :

- i) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.20$ A_h και A_v (Σχήμα 4.10)
- ii) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.45$ A_h και A_v (Σχήμα 4.11)
- iii) $i=45^\circ$ $H/\lambda=0.20$ A_h και A_v (Σχήμα 4.12)
- iv) $i=45^\circ$ $H/\lambda=0.45$ A_h και A_v (Σχήμα 4.13)
- vi) $i=60^\circ$ $H/\lambda=0.20$ A_h και A_v (Σχήμα 4.14)
- v) $i=60^\circ$ $H/\lambda=0.45$ A_h και A_v (Σχήμα 4.15)
- vi) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.100$ A_h και A_v (Σχήμα 4.16)
- vii) $i=30^\circ$ $H/\lambda=0.125$ A_h και A_v (Σχήμα 4.17)

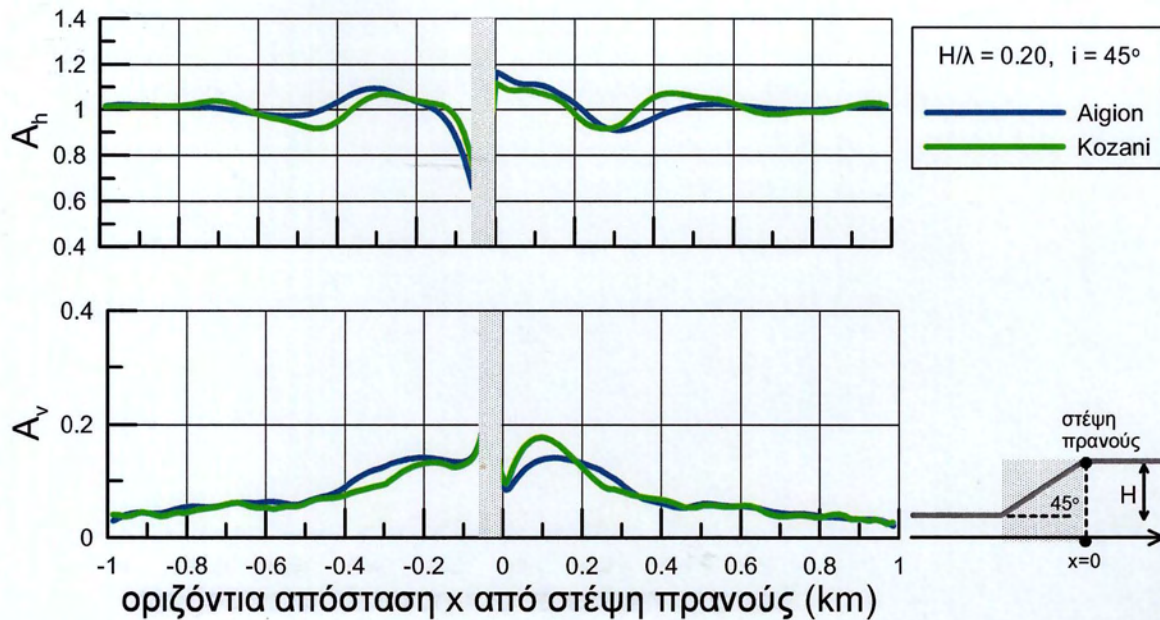
Τα αποτελέσματα για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις εμφανίζονται με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



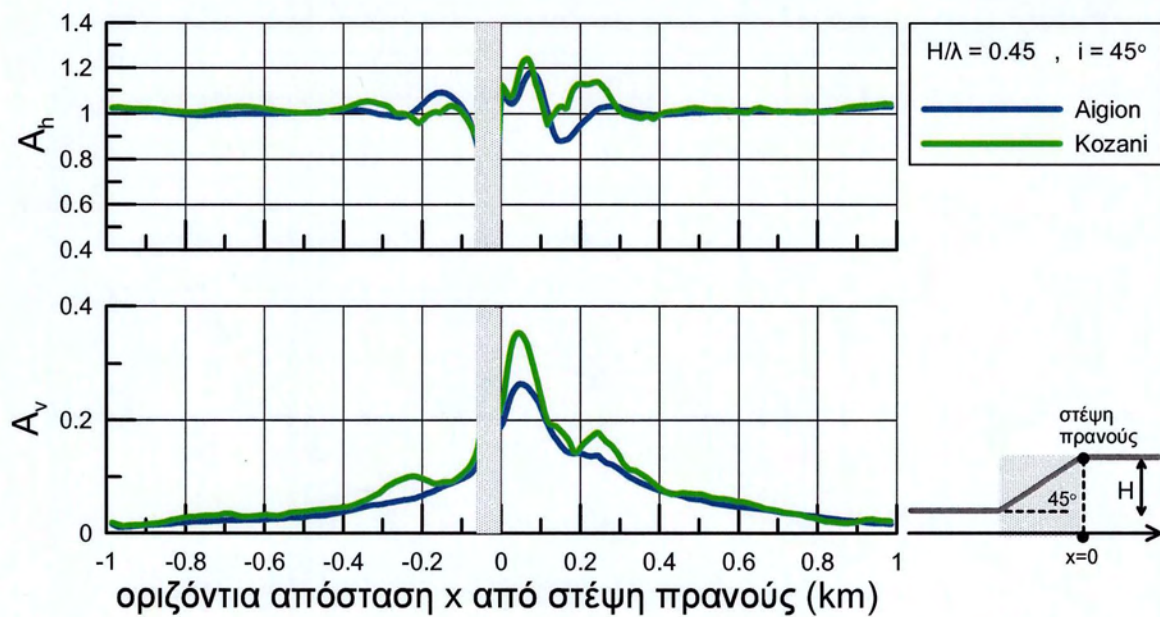
Σχήμα 4.10. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



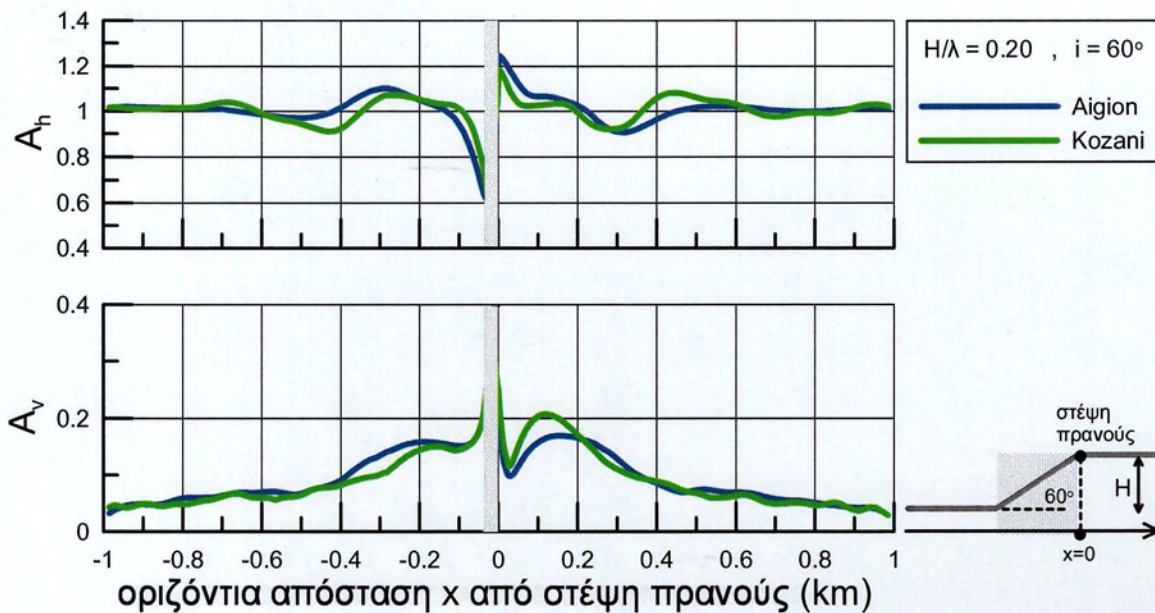
Σχήμα 4.11. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



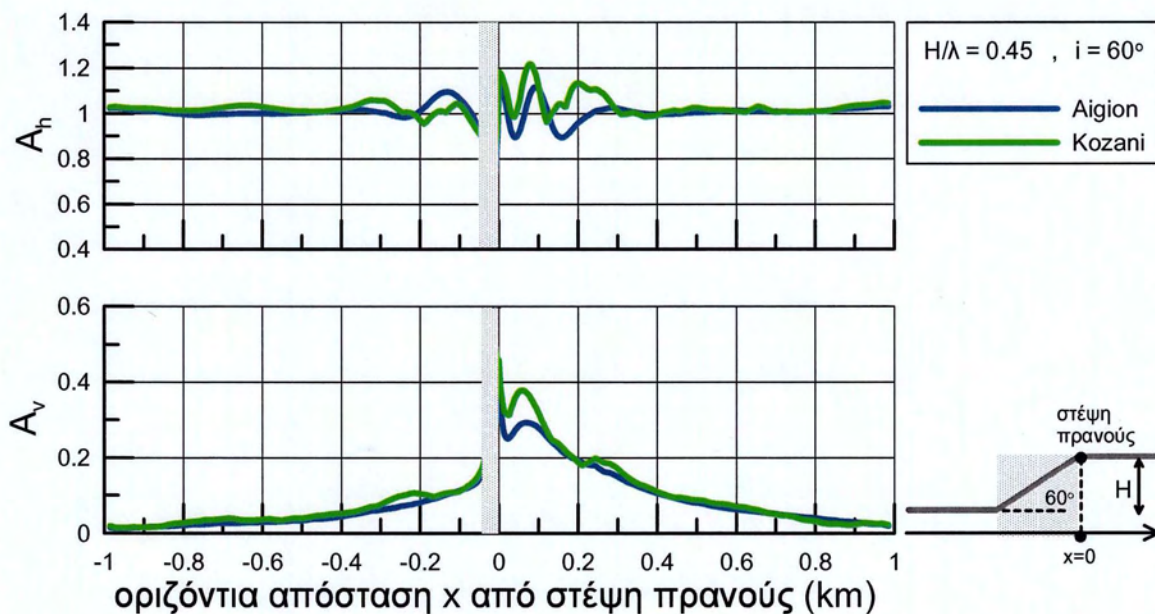
Σχήμα 4.12. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



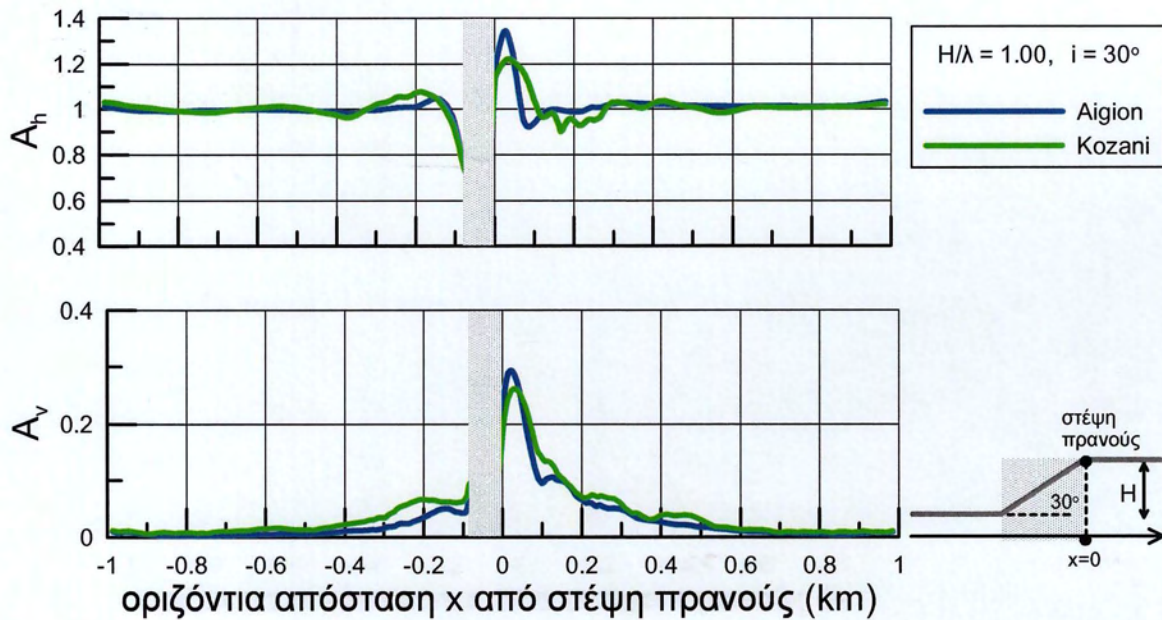
Σχήμα 4.13. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



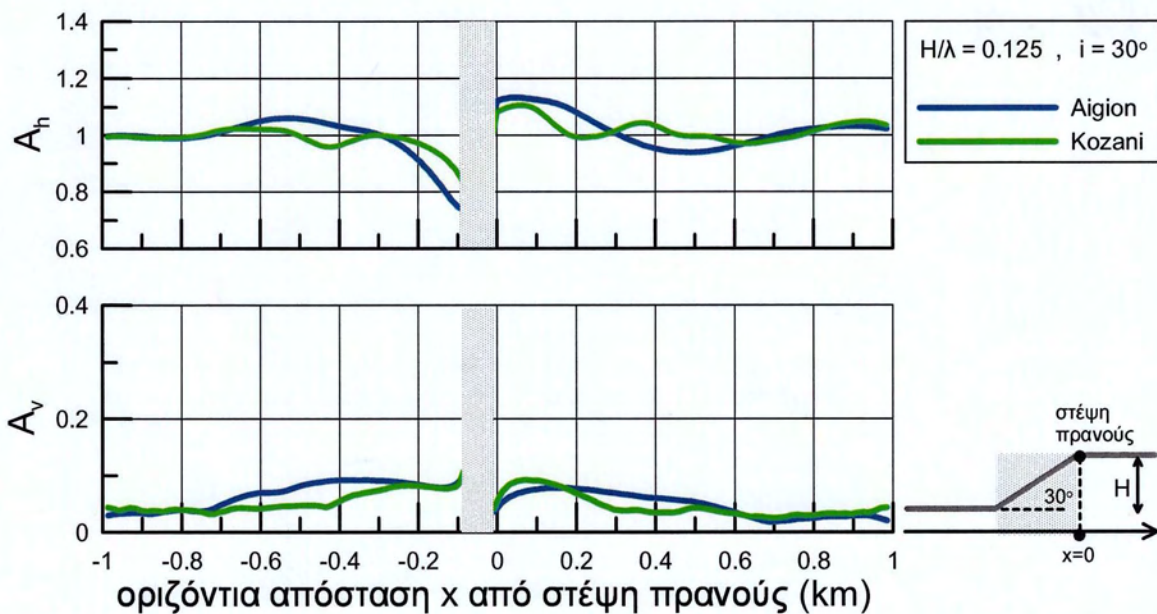
Σχήμα 4.14. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



Σχήμα 4.15. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



Σχήμα 4.16. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.00$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



Σχήμα 4.17. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$) υπό δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$) για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.

Από τα Σχήματα 4.10 έως 4.17 προκύπτουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις όπως τις διατύπωσαν και οι Bouckovalas & Paradimitriou (2005) στην εργασία τους για ομοιόμορφα μονοκλινή πρηνή, όμως μόνο για αρμονικές ή σχεδόν αρμονικές διεγέρσεις:

- Αναμένεται εν γένει ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρηνούς. Οι επιδράσεις αυτές απομειώνονται με την απόσταση από το πρηνές, έως ότου η απόκριση γίνει ίση με αυτή στο ελεύθερο πεδίο.
- Ακόμη και μια αμιγώς οριζόντια διέγερση, προκαλεί σημαντική παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στη γειτονία του πρηνούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης.
- Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας κίνησης παρουσιάζει έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση πίσω από τη στέψη, που μπορεί να χαρακτηρίζεται και από μεταβολή μεταξύ ενίσχυσης ($Ah > 1.0$) και απομείωσης ($Ah < 1.0$) σε μικρές οριζόντιες αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος λ των κυμάτων SV. Αντίστοιχα έντονη διαφοροποίηση εμφανίζεται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση.

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

Επιπλέον παρατηρήσεις που προκύπτουν ειδικώς από τα ανωτέρω σχήματα είναι:

- Η ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης παραμένει σταθερή με την αύξηση της κλίσης i του πρηνούς, μεταξύ 30° και 60° . Μόνο για πολύ μεγάλες τιμές της κλίσης ($i=60^\circ$) παρατηρείται μια μικρή αύξηση της ενίσχυσης πίσω από την στέψη. Αντίθετα η (παρασιτική) κατακόρυφη κίνηση ενισχύεται όπως αυξάνει η κλίση από 30° στις 60° .

- Η ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης πίσω από τη στέψη είναι μεγαλύτερη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση, και το ίδιο ισχύει πιο έντονα και για την παρασιτική κατακόρυφη κίνηση.
- Οι διαφορές στην τοπογραφική επιδείνωση μεταξύ των δύο μορφών χρονοϊστορίας διέγερσης είναι μικρές, και όχι συστηματικές. Συνεπώς, η τιμή της δεσπόζουσας περιόδου (που καθορίζει την τιμή του αδιάστατου ύψους H/λ) είναι πιο σημαντική παράμετρος συγκριτικά με την ακριβή μορφή της χρονοϊστορίας διέγερσης.

Με συγκερασμό των αποτελεσμάτων και από τις δύο ομάδες σχημάτων προκύπτει ότι η τοπογραφική επιδείνωση A_v της παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης (και όχι η ίδια η PVA) κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας μπορεί να θεωρηθεί συντηρητικά ίση με τη μέγιστη επιδείνωση στην περιοχή αμέσως πίσω από τη στέψη. Μια τέτοια παραδοχή είναι ιδιαίτερα συντηρητική για την τοπογραφική επιδείνωση A_h της οριζόντιας κίνησης, και γι' αυτό μια, έστω γραμμική, απομείωση προς την περιοχή του πόδα είναι πιο ρεαλιστική. Οι δύο αυτές παραδοχές είναι συμβατές με ό,τι θεωρήθηκε από τους Bouckovalas & Paradimitriou (2005) ως χωρικές περιβάλλουσες για αρμονικές ή σχεδόν αρμονικές διεγέρσεις. Επιπλέον, η γραμμική παρεμβολή είναι συμβατή και με τον EC8, σε ό,τι αφορά τους σεισμικούς συντελεστές για ευστάθεια πρανών.

4.3. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης

Η έμφαση στην παρούσα εργασία, στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (απόσβεση 5%) καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα:

- η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο AS_{ah}** που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{ah} για την οριζόντια ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για την περιοχή πίσω από τη στέψη $S_{ah,c}$ και μπροστά από τον πόδα $S_{ah,t}$).
- η τοπογραφική επιδείνωση του (παρασιτικού) ελαστικού φάσματος απόκρισης στην κατακόρυφη διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο AS_{av}** που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{av} για την (παρασιτική) κατακόρυφη ταλάντωση

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

Οι ανωτέρω φασματικοί λόγοι AS_{ah} και AS_{av} είναι συναρτήσεις της θέσης του σημείου (συντεταγμένη x) και της περιόδου κατασκευής T , και αφορούν λόγο κρίσιμης απόσβεσης ίσο με 5%. Δεδομένου του ότι υπάρχει δυσχέρεια ορισμού των λόγων $AS_{ah}(T)$ και $AS_{av}(T)$ κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα 1Δ απόκριση που πρέπει να εισαχθεί στους παρονομαστές των σχέσεων ορισμού, στην εργασία αυτή δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς, όπως ακριβώς δεν παρουσιάστηκαν αποτελέσματα ούτε για τους λόγους A_h και A_v . Επισημαίνεται, ότι ο λόγος AS_{av} σχετίζεται με αμιγώς παρασιτική κατακόρυφη ταλάντωση, καθώς η εισερχόμενη διέγερση είναι κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV που δεν εισάγουν πρωτογενώς κατακόρυφη ταλάντωση. Αυτός είναι και ο λόγος που ο ορισμός του AS_{av} γίνεται ως συνάρτηση της $S_{ah,ff}$, καθώς $S_{av,ff}=0$. Επισημαίνεται επίσης, ότι $AS_{ah} > 1$ απεικονίζει ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης, ενώ $AS_{ah} < 1$ απομείωση αυτής. Τέλος αναφέρεται ότι μηδενισμός της τοπογραφικής επίδρασης (με ακρίβεια μηχανικού) συνδέεται με τιμές $AS_{ah} \leq 1.1$ και $AS_{av} \leq 0.1$.

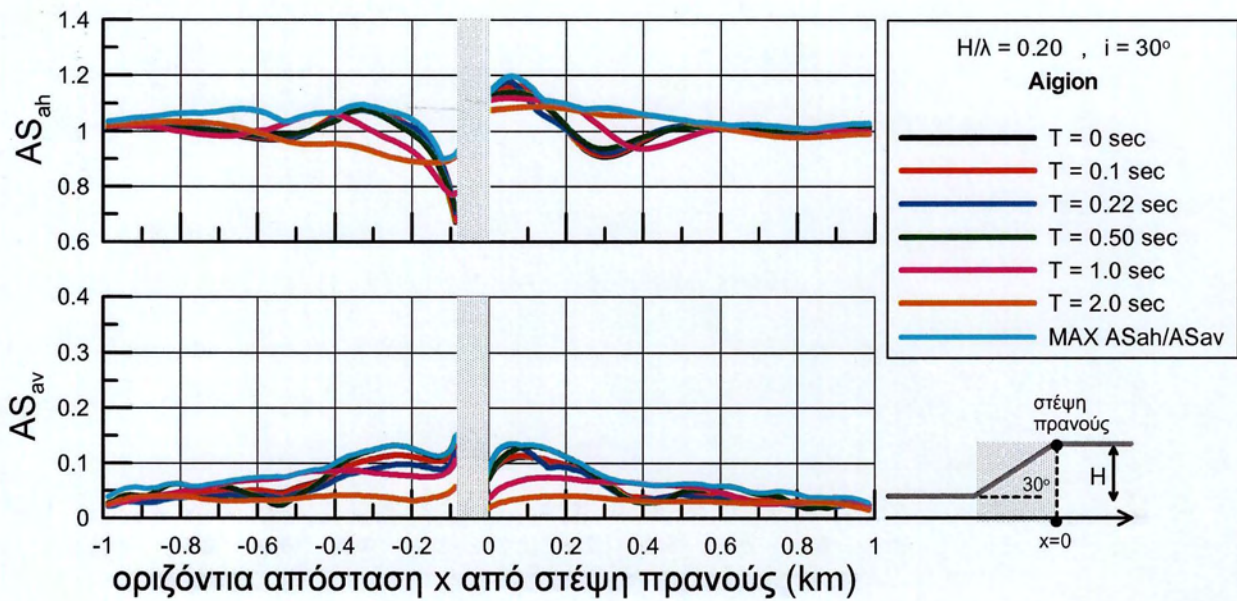
Όπως παρουσιάζεται ανωτέρω, ο στόχος των αναλύσεων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της κλίσης i και του αδιάστατου ύψους πρανούς H/λ , σε συνάρτηση με την σεισμική διέγερση που επιβάλλεται, στους προαναφερθέντες φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} , κατά μήκος όλης της επιφάνειας του εδάφους. Ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι προφανώς τεράστιος, κι έτσι στην παρούσα εργασία γίνεται επιλογή χαρακτηριστικών αποτελεσμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων γενικής εφαρμογής.

Έτσι, στην πρώτη ομάδα σχημάτων παρουσιάζεται η επίδραση του μονοκλινούς πρανούς στους φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους και για επιλεγμένες περιόδους κατασκευής $T = 0, 0.1, 0.22, 0.5, 1.0$ και 2.0 sec. Καθώς δεν ήταν δυνατόν να απεικονιστούν τα αποτελέσματα για όλες τις πιθανές περιόδους κατασκευής T , στα σχήματα αυτά εμπεριέχεται και μια (κυανή) καμπύλη «περιβάλλουσας» που δείχνει τη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης ανά θέση τοπογραφικής επιδείνωσης ανεξαρτήτως της

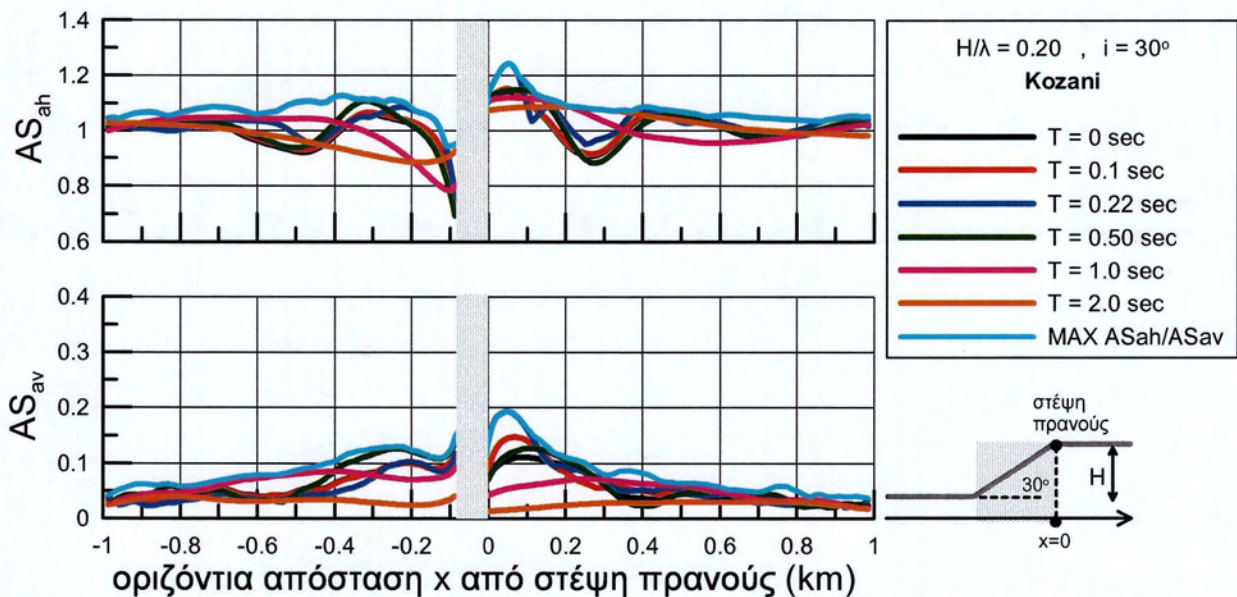
περιόδου κατασκευής για την οποία αυτή προκύπτει. Κάθε σχήμα παρουσιάζει μια περίπτωση πρηνούς (i , H/λ) και έναν φασματικό λόγο (AS_{ah} ή AS_{av}), και συγκρίνει την τοπογραφική επιδείνωση που προκύπτει κατά περίπτωση και για τις 2 διεγέρσεις (Αιγίου, Κοζάνης) ίδιου δεσπόζοντος μήκους κύματος λ που χρησιμοποιήθηκαν, αναγκαστικά σε ξεχωριστά σχήματα, χάριν ευκρίνειας.

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 4.18 έως 4.33 παρουσιάζεται η μεταβολή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης AS_{ah} και AS_{av} με την απόσταση x από τη στέψη (χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης), για τους εξής συνδυασμούς πρηνούς – διέγερσης:

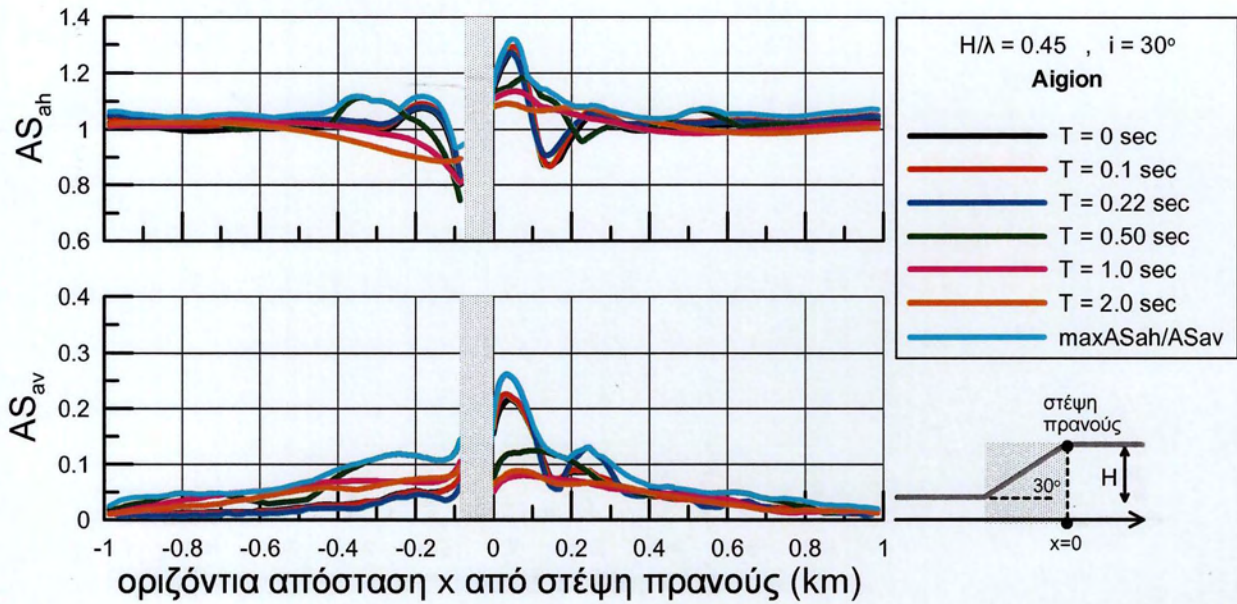
- i) $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.20$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.18) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.19)
- ii) $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.45$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.20) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.21)
- iii) $i=45^\circ$, $H/\lambda=0.20$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.22) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.23)
- iv) $i=45^\circ$, $H/\lambda=0.45$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.24) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.25)
- v) $i=60^\circ$, $H/\lambda=0.20$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.26) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.27)
- vi) $i=60^\circ$, $H/\lambda=0.45$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.28) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.29)
- vii) $i=30^\circ$, $H/\lambda=1.0$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.30) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.31)
- viii) $i=30^\circ$, $H/\lambda=0.125$: για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 4.32) και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 4.33)



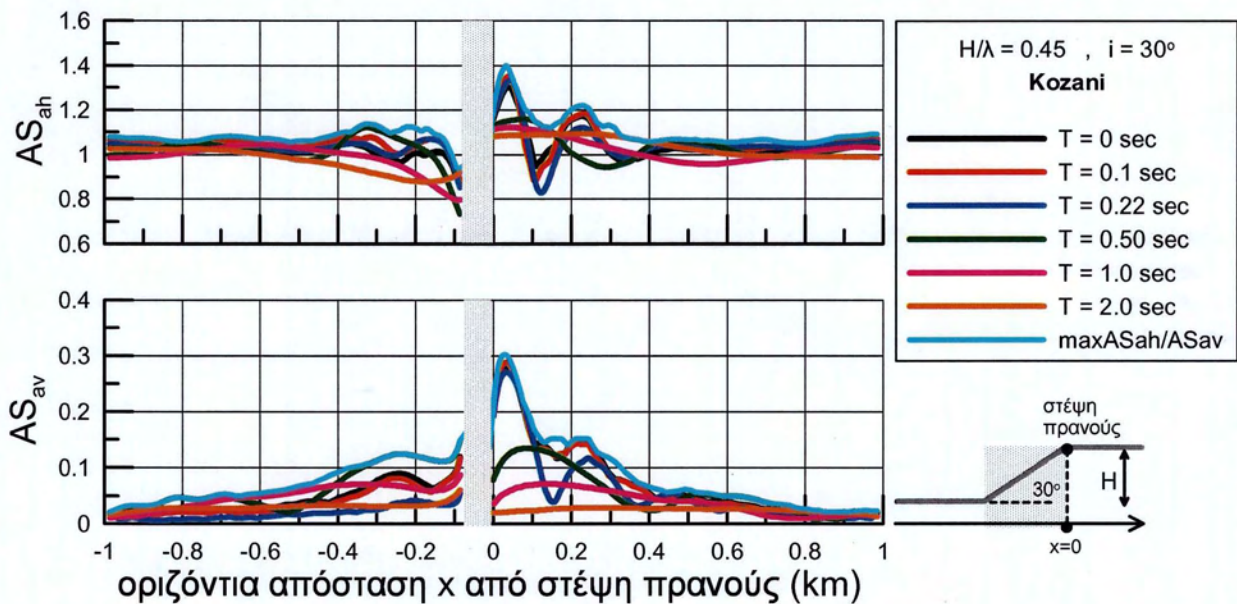
Σχήμα 4.18. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



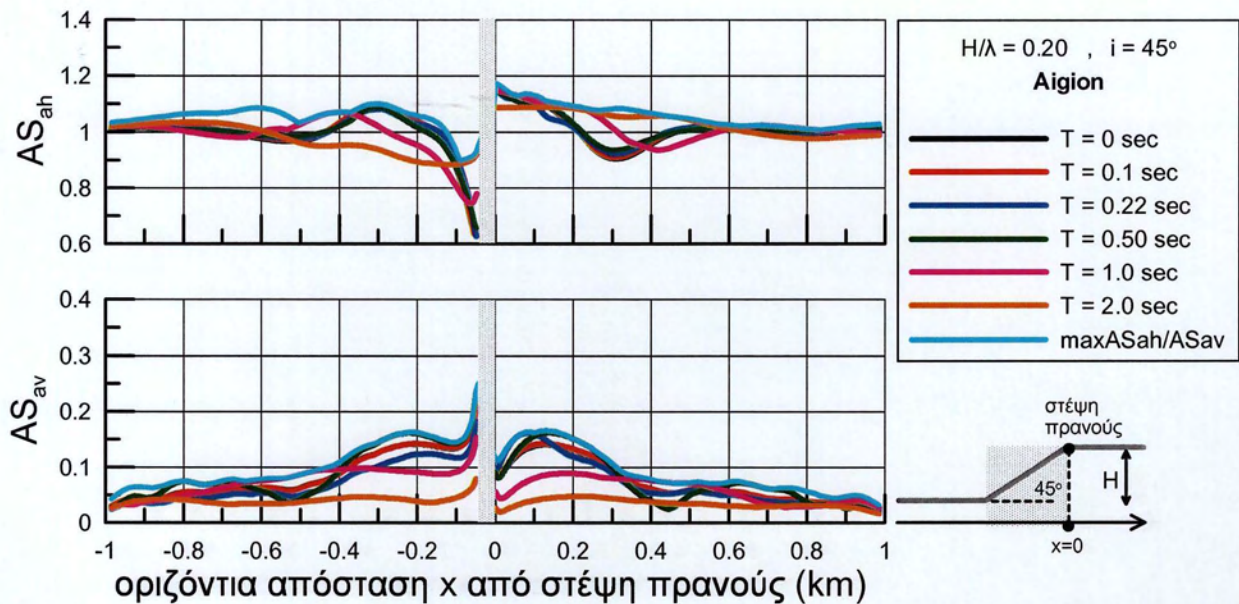
Σχήμα 4.19. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



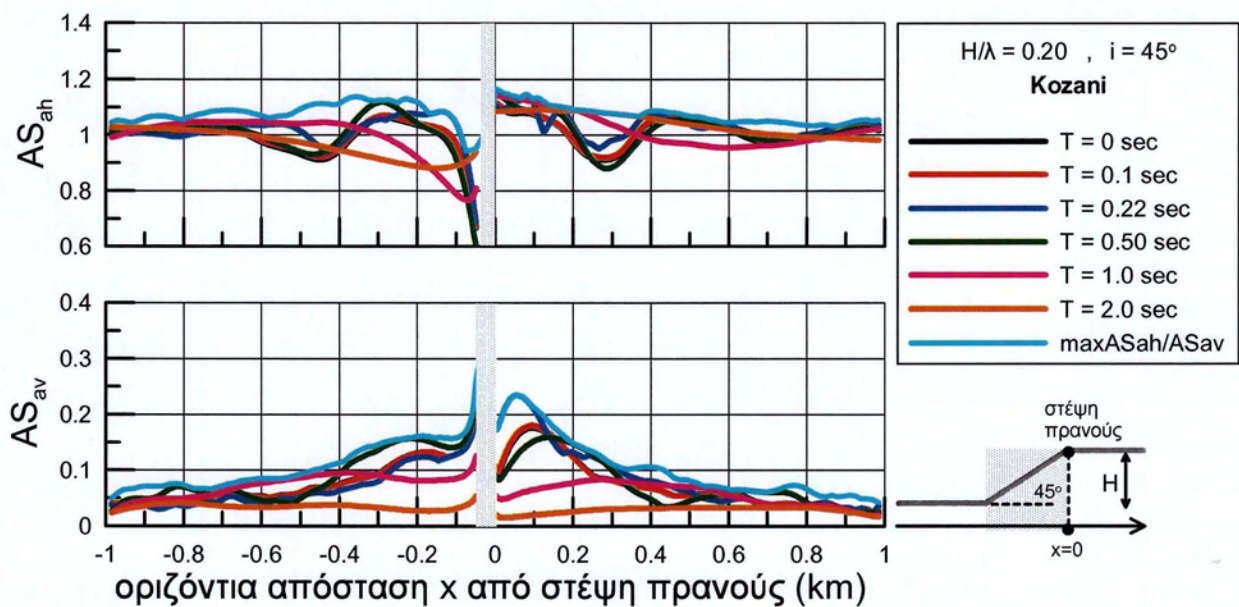
Σχήμα 4.20. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



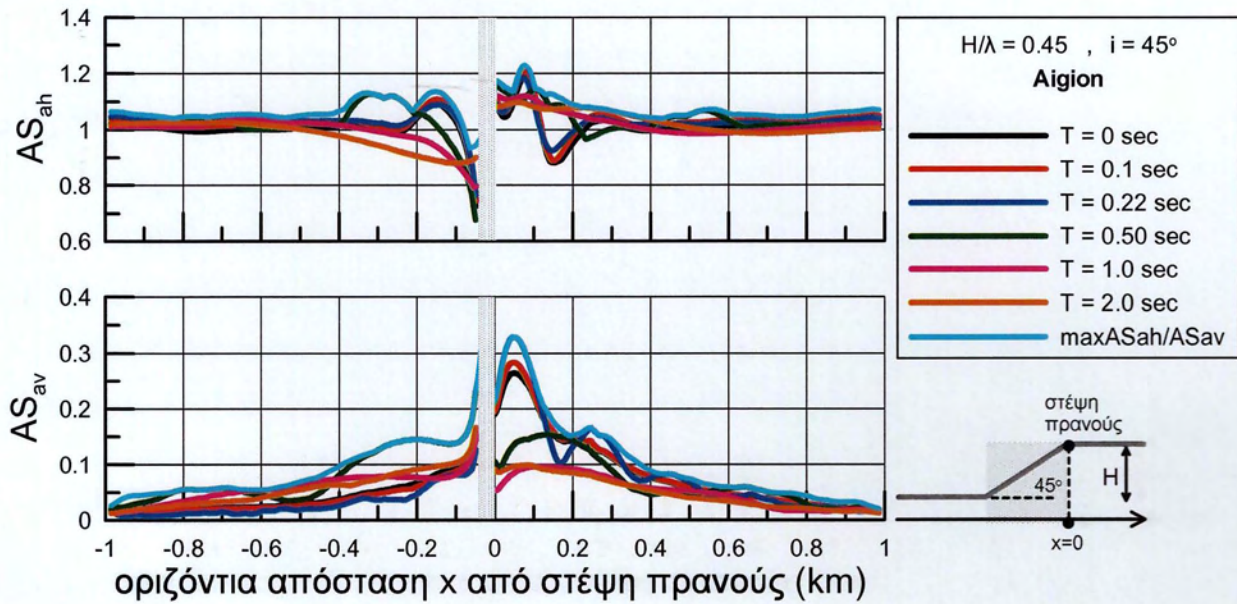
Σχήμα 4.21. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



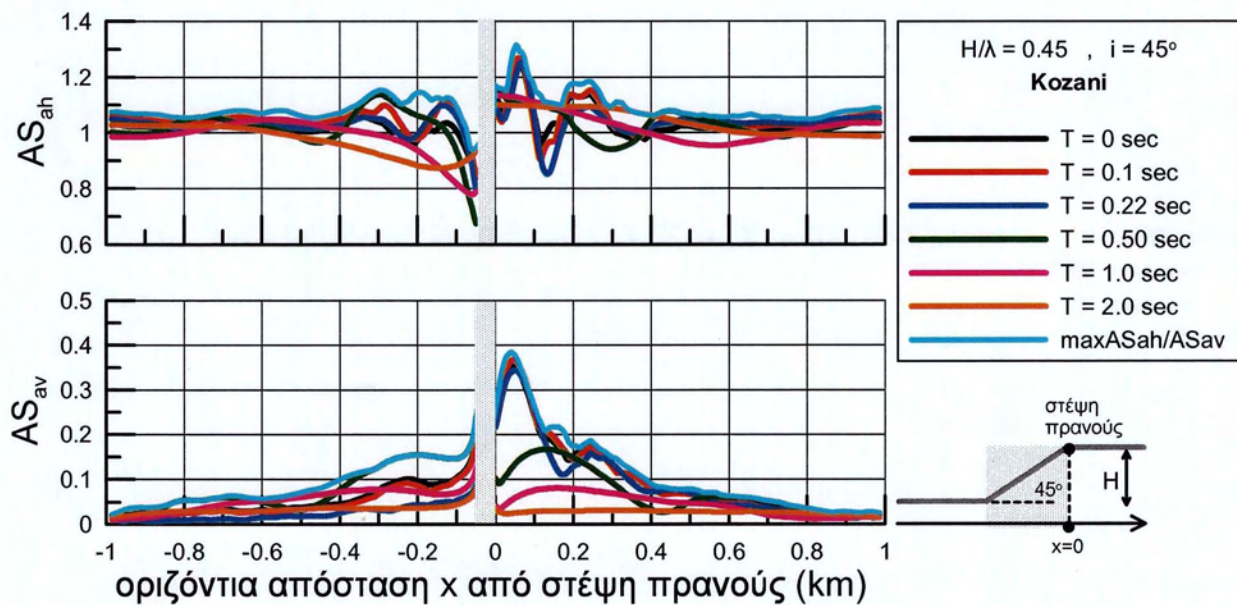
Σχήμα 4.22. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρानούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



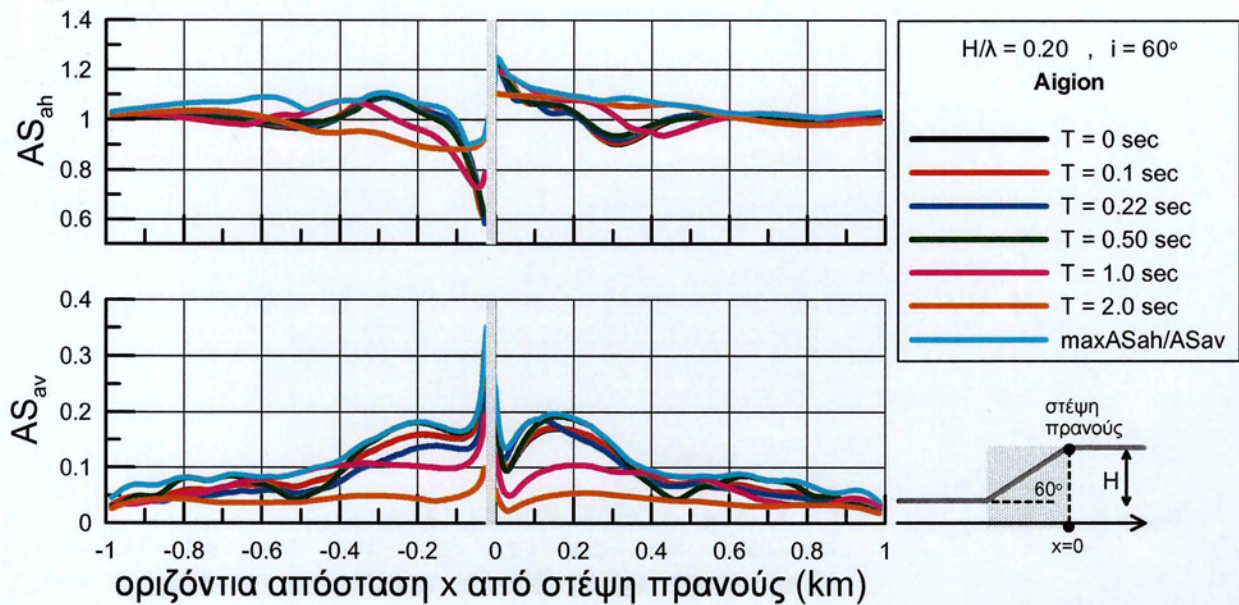
Σχήμα 4.23. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρानούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



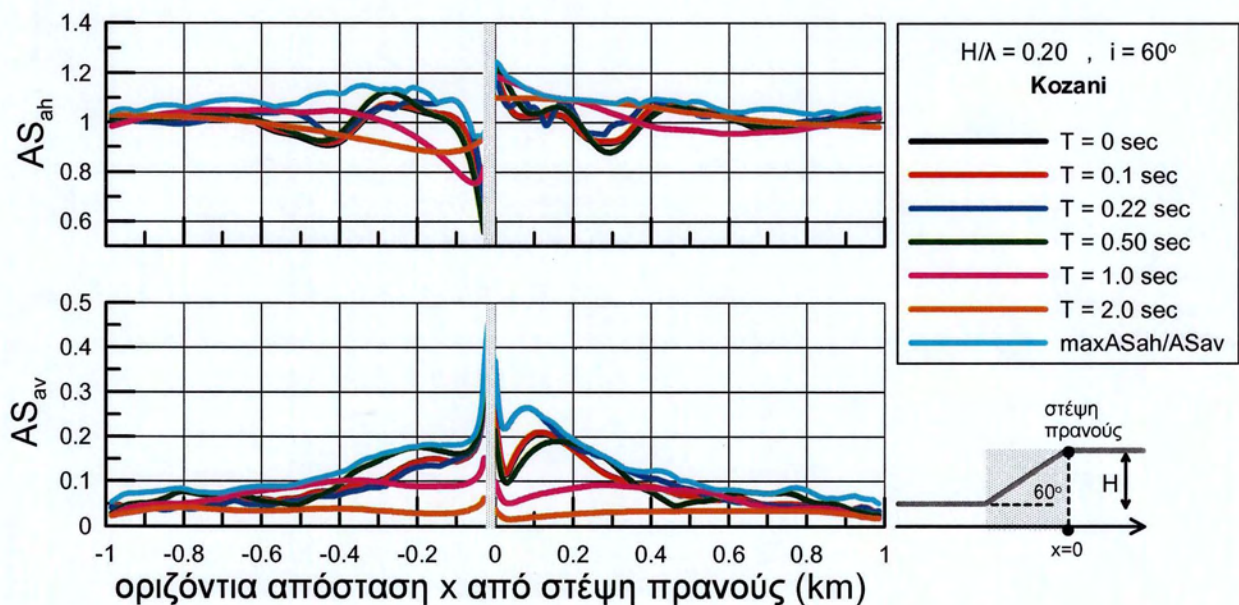
Σχήμα 4.24. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρηνούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



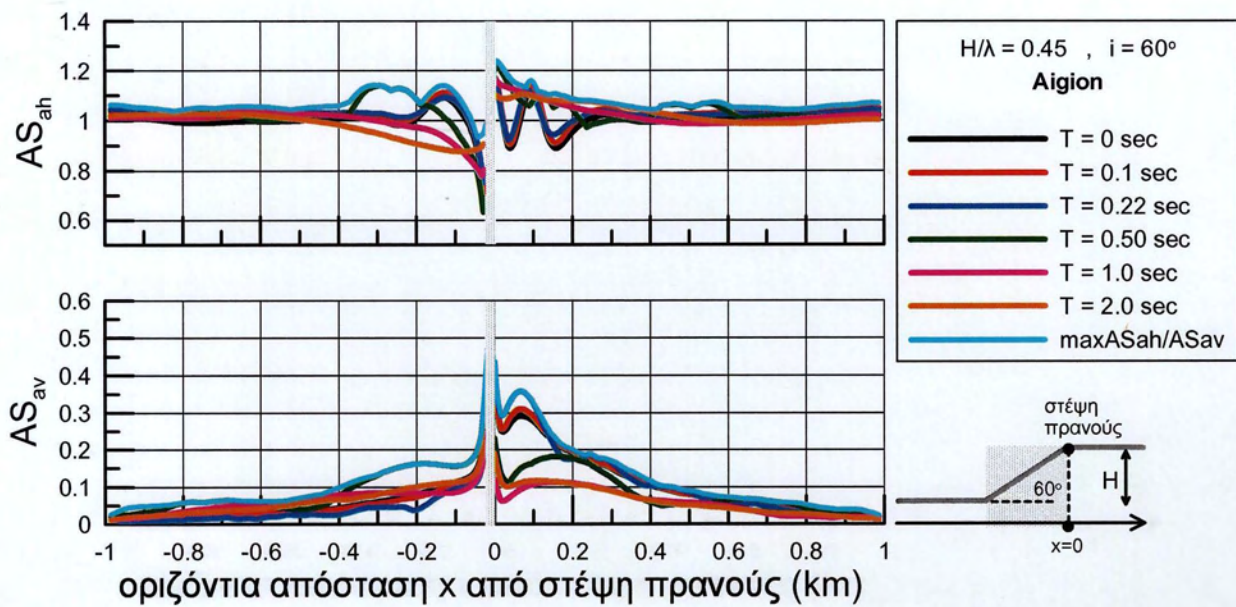
Σχήμα 4.25. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρηνούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



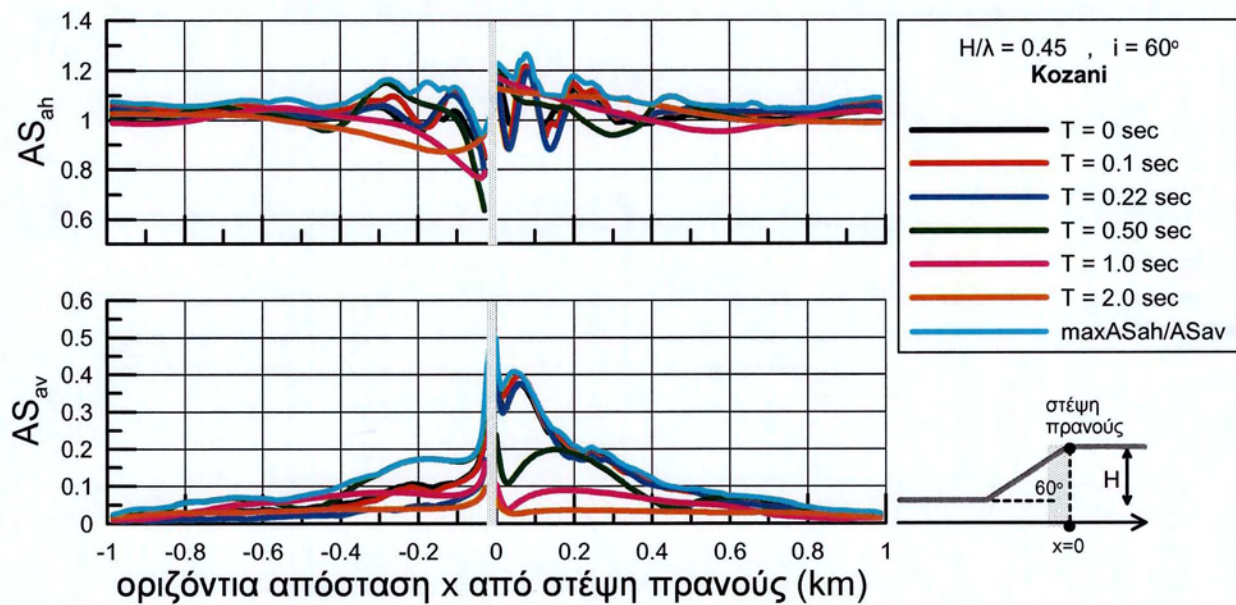
Σχήμα 4.26. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρηνούς (με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



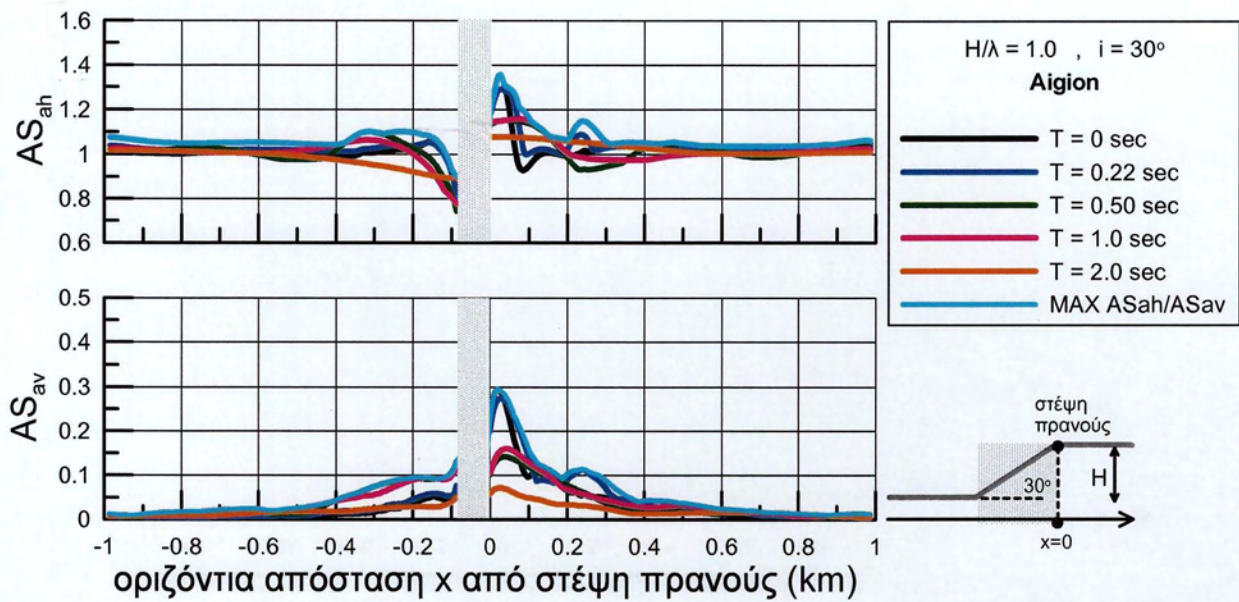
Σχήμα 4.27. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρηνούς (με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$, και απόσβεση $\xi=5\%$



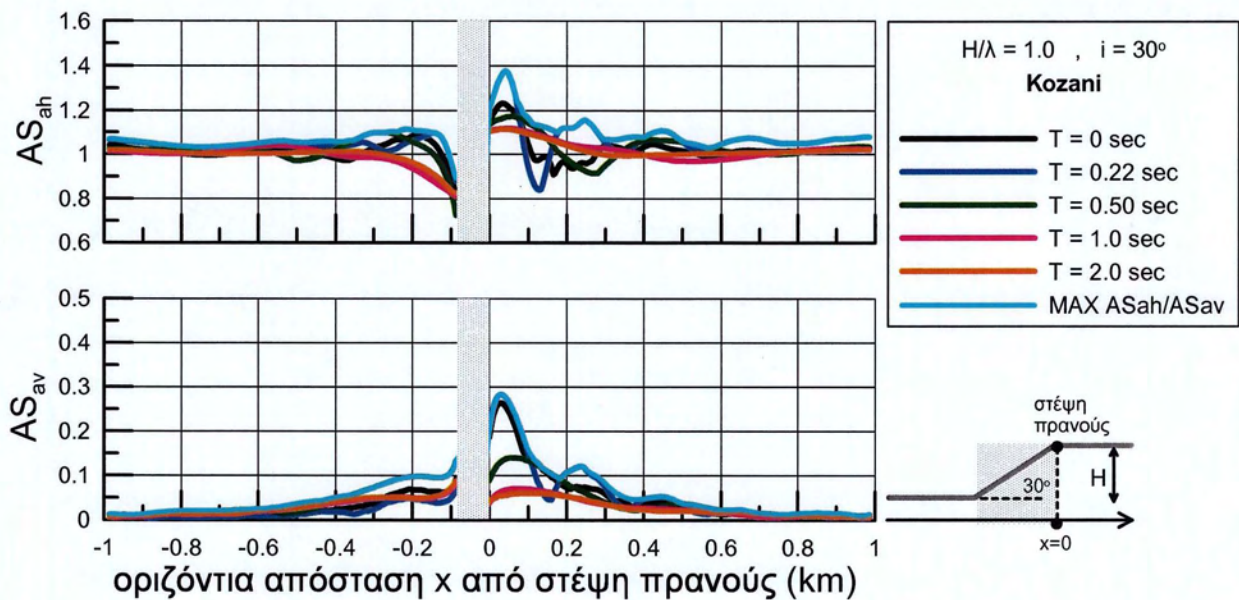
Σχήμα 4.28. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



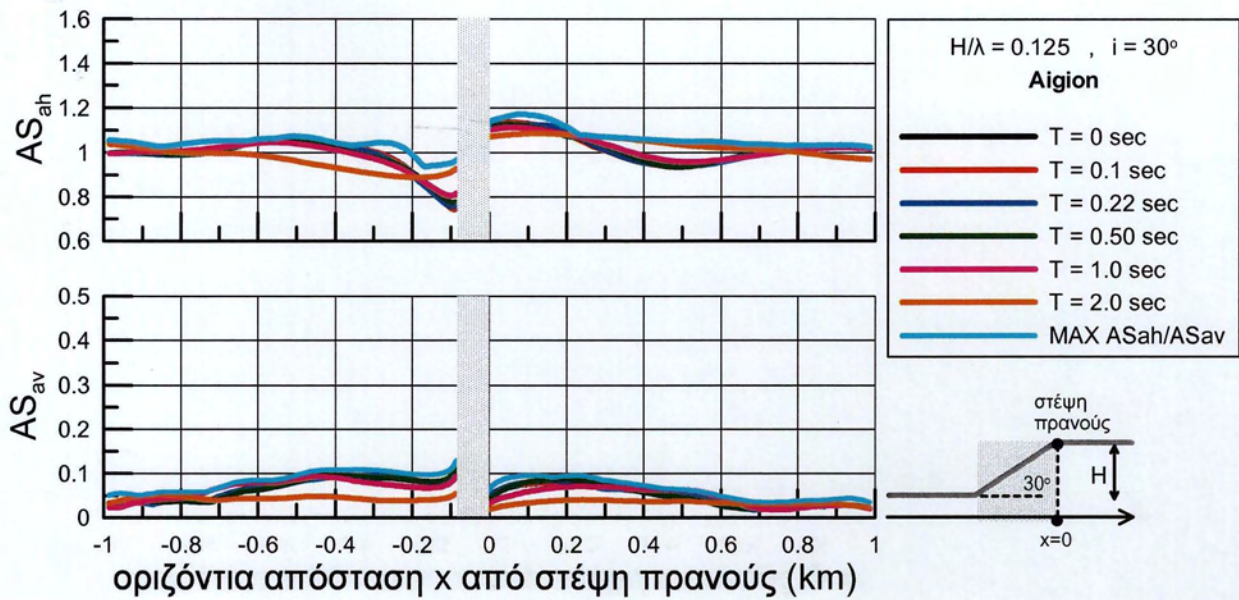
Σχήμα 4.29. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, και απόσβεση $\xi=5\%$



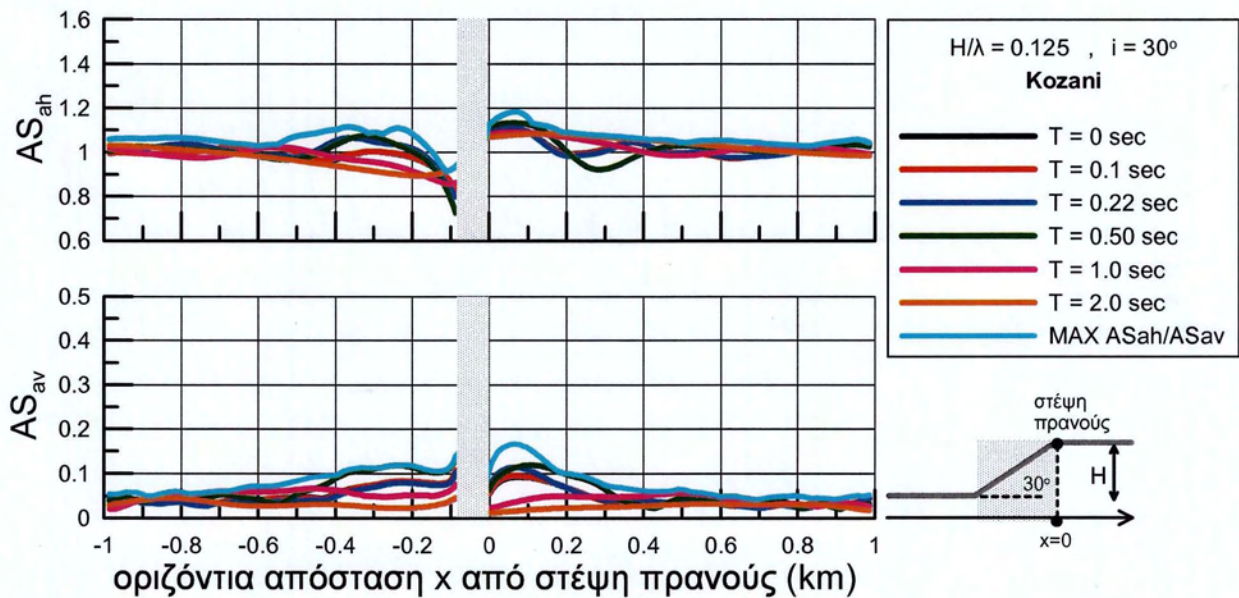
Σχήμα 4.30. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.0$, και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.31. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρσανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.0$, και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.32. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8sec$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$, και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 4.33. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία ομοιόμορφου πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8sec$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$, και απόσβεση $\xi=5\%$

Θεωρώντας τα αποτελέσματα αυτά ως μια τυπική απεικόνιση του φαινομένου, από τα σχήματα αυτά προκύπτει:

- Ανεξαρτήτως περιόδου κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης είναι ποιοτικά αντίστοιχη με εκείνης στην επιφάνεια του εδάφους (για $T=0$), δηλαδή εμφανίζεται ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανούς, εμφάνιση σημαντικής παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης στη γειτονία του πρανούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης.
- Ποσοτικά, η τοπογραφική επιδείνωση διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής T . Σε κάθε περίπτωση διαφαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής. Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση είναι μη σημαντική (και πρακτικώς αμελητέα) για $T=1$ και 2sec , και στις τρεις περιπτώσεις διέγερσης, ενώ είναι μη σημαντική ακόμη και για $T=0.5\text{sec}$ στην περίπτωση της υψίσυχνης διέγερσης ($T_e=0.1\text{sec}$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση για $T=0\text{sec}$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) σε ένα μεγάλο βαθμό συμπίπτει ή υπολείπεται λίγο από την (κυανή) καμπύλη «περιβάλλουσας», και αυτό ισχύει για όλες τις θέσεις κατά μήκος του πρανούς, ανεξαρτήτως κλίσης πρανούς i , αδιάστατου ύψους H/λ ή χρονοϊστορίας διέγερσης.
- Η τοπογραφική επιδείνωση παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση, με τις μέγιστες ενισχύσεις να εμφανίζονται συνήθως πίσω από τη στέψη, και σε αποστάσεις έως $\lambda/2$ από την ίδια τη στέψη. Η διαφοροποίηση αυτή γίνεται πιο έντονη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση (π.χ. πιο έντονη για $H/\lambda=0.45$ σχετικά με το $H/\lambda=0.2$).
- Για πολύ χαμηλόσυχνες διεγέρσεις ($H/\lambda=0.125$), η τοπογραφική φασματική επιδείνωση είναι πρακτικώς αμελητέα για όλες τις περιόδους κατασκευής T . Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει, αφού στην περίπτωση αυτή το ύψος H του πρανούς είναι πολύ μικρό συγκριτικά με το μήκος κύματος της επιβαλλόμενης διέγερσης, συνεπώς η σεισμική ταλάντωση είναι πρακτικώς αντίστοιχη εκείνης υπό 1Δ συνθήκες.

Σημειώνεται ότι, στην περίπτωση της έντονα υψίσυχνης διέγερσης με $T_e=0.1\text{sec}$ και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις (Αιγίου, Κοζάνης), για τον υπολογισμό της κυανής καμπύλη «περιβάλλουσας» δεν ελήφθησαν υπ' όψιν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το

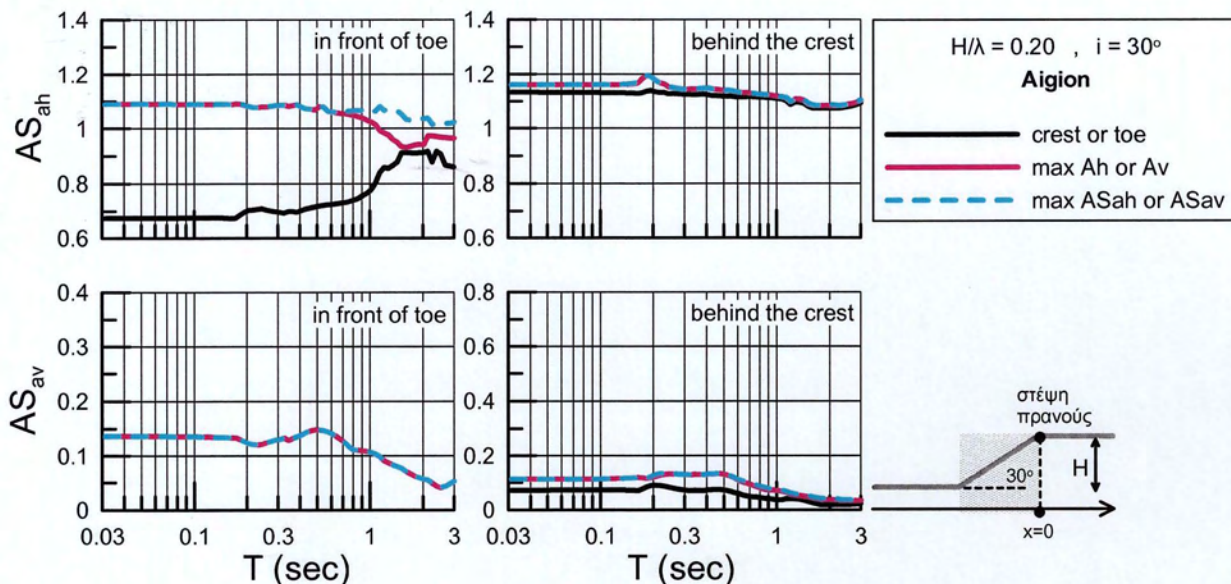
εύρος περιόδων κατασκευής $T=0-0.218\text{sec}$. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο καθώς οι τιμές των AS_{ah} και AS_{av} στις πολύ μικρές περιόδους είναι σχετικά αυξημένες, μάλλον λόγω μικροταλαντώσεων αριθμητικής φύσης (π.χ. οι εν λόγω ταλαντώσεις εξακολουθούν να υπάρχουν και σε τεράστιες αποστάσεις από το πρανές, υποδεικνύοντας ότι δεν οφείλονται σε ανακλάσεις κυμάτων στο πρανές).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΠΡΑΝΗ

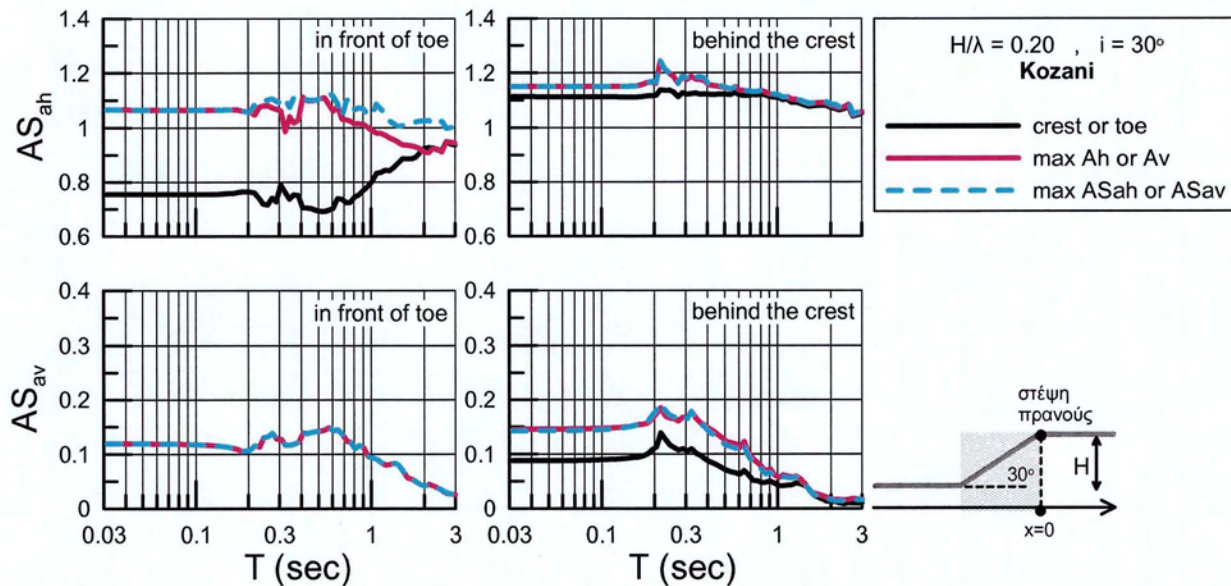
5.1. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης σε επιλεγμένες θέσεις

Για να εκτιμηθεί το πώς επηρεάζει ένα ομοιόμορφο πρανές ολόκληρο το ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων, εντοπίζονται σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος κατά μήκος του πρανούς. Για παράδειγμα, μια τέτοια θέση πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα είναι εκείνη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή των παραγόντων τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης ($\max AS_{ah}$ και $\max AS_{av}$), για το εύρος περιόδων $T=0-3\text{sec}$, και η θέση αυτή είναι διαφορετική ανά συνδυασμό πρανούς – διέγερσης, και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα. Κάποιες άλλες σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος είναι οι αντίστοιχες θέσεις πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα για την περίοδο κατασκευής $T=0\text{sec}$ ($\max A_h$ και $\max A_v$), καθώς γι' αυτές υπάρχει σημαντικά περισσότερη έρευνα στη βιβλιογραφία. Ταυτόχρονα, πέρα από τις δύο προαναφερθείσες θέσεις, εκτιμάται η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων ακριβώς στην θέση της στέψης ή του πόδα του πρανούς, ως χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του πρανούς.

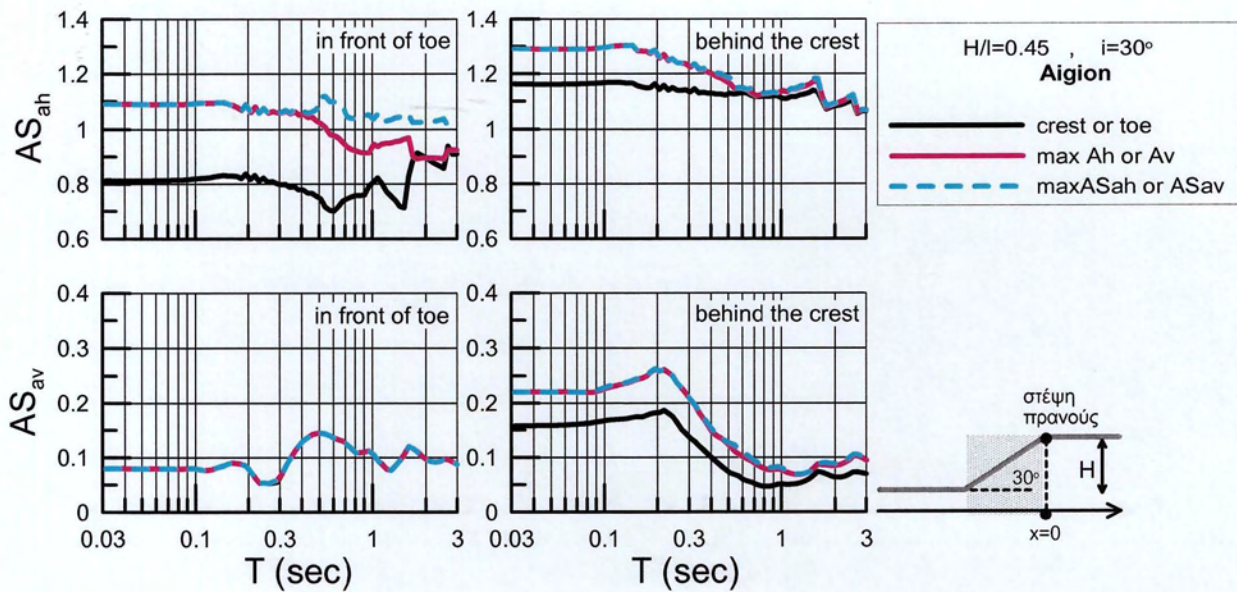
Έτσι, στα Σχήματα 5.1 έως 5.16 παρουσιάζεται για τις σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος κατά μήκος του πρανούς και ξεχωριστά για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης διεύθυνσης, για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς – διέγερσης που εξετάζονται:



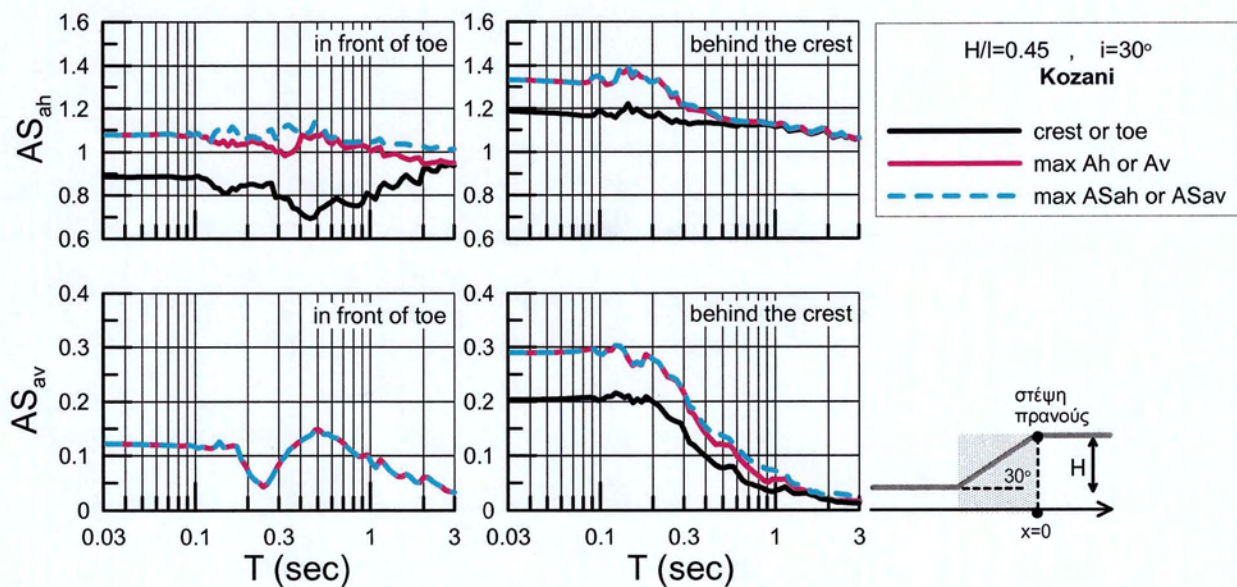
Σχήμα 5.1. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



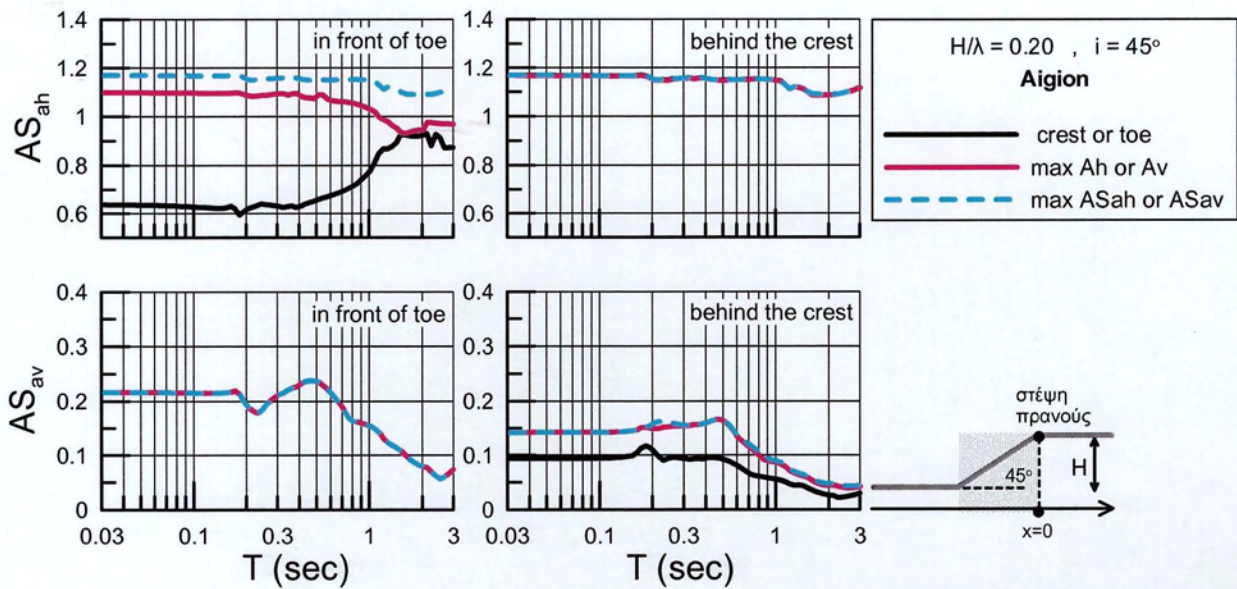
Σχήμα 5.2. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



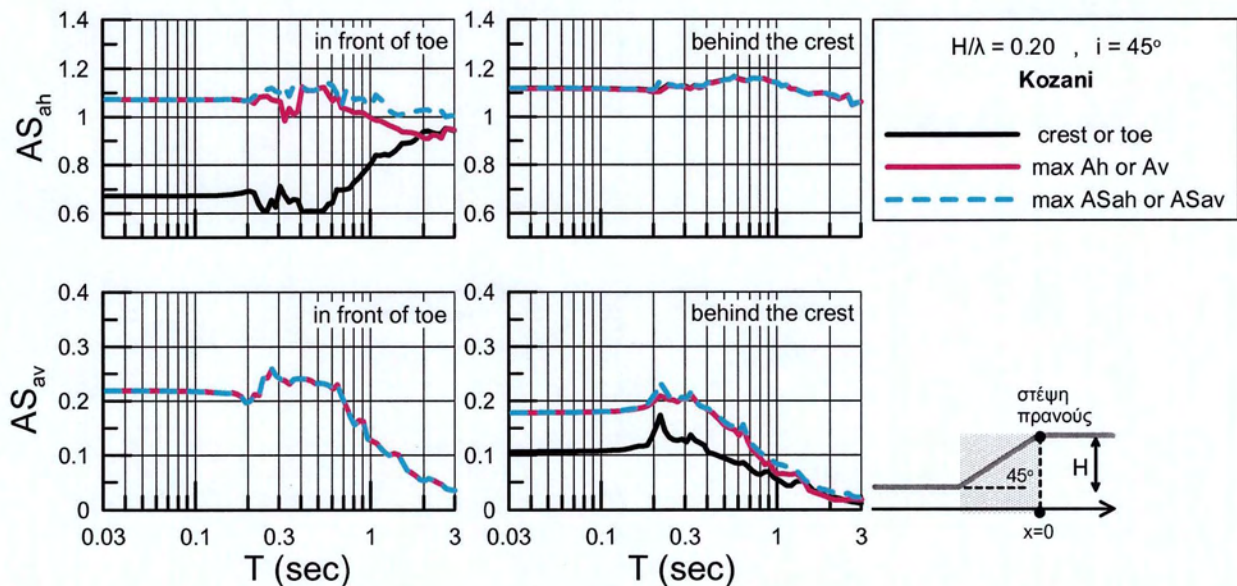
Σχήμα 5.3. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



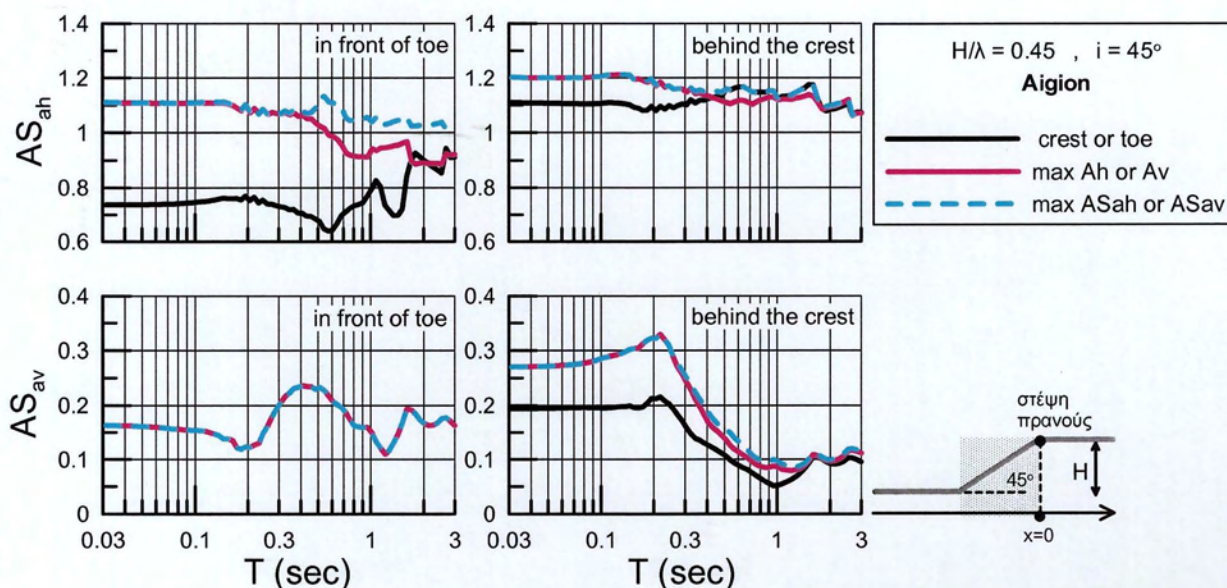
Σχήμα 5.4. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



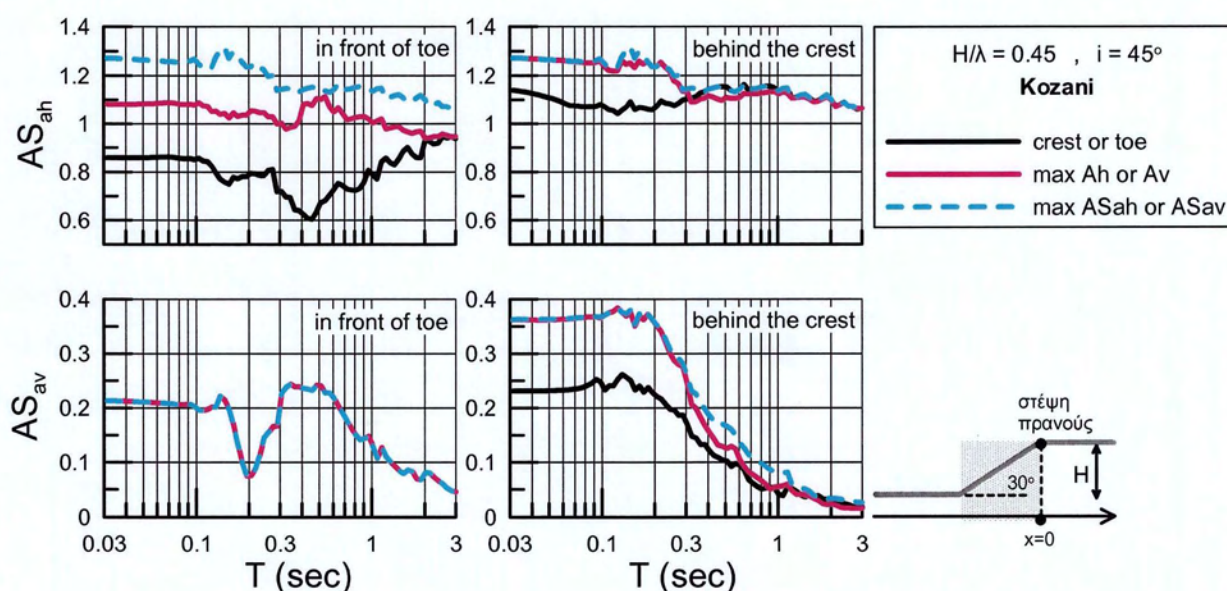
Σχήμα 5.5. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



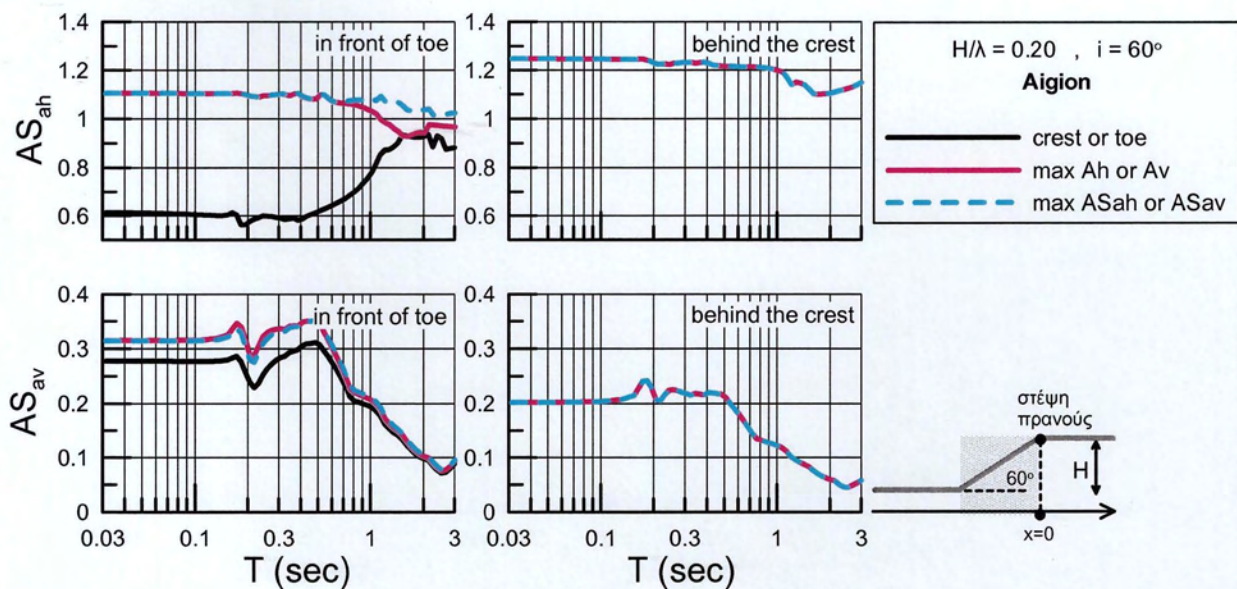
Σχήμα 5.6. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



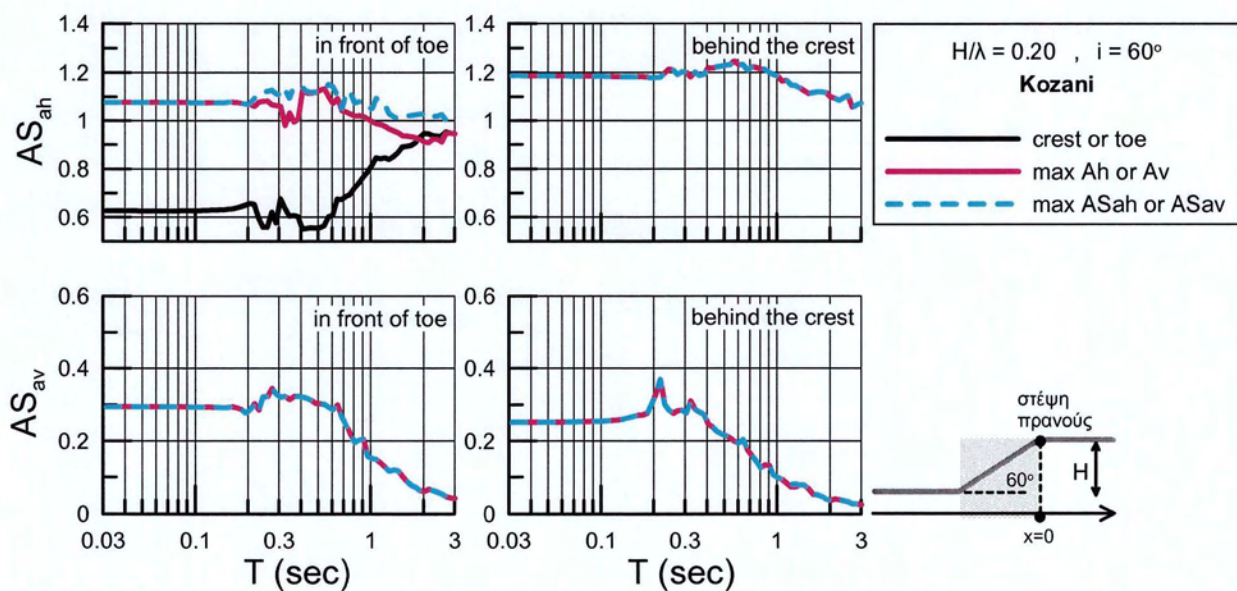
Σχήμα 5.7. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



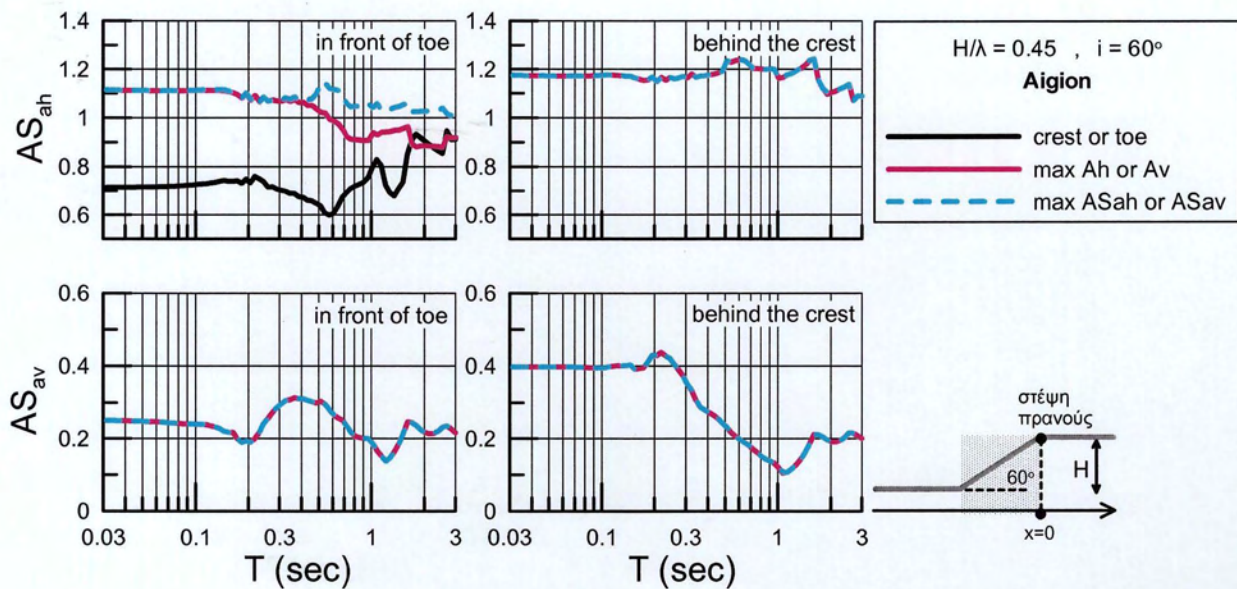
Σχήμα 5.8. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



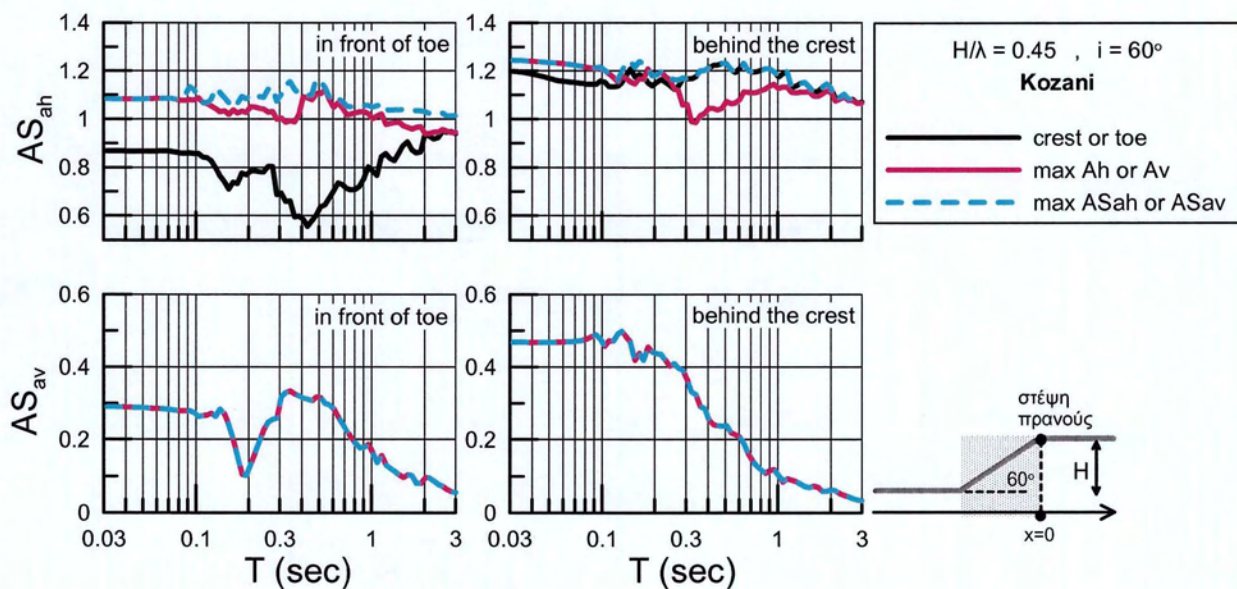
Σχήμα 5.9. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



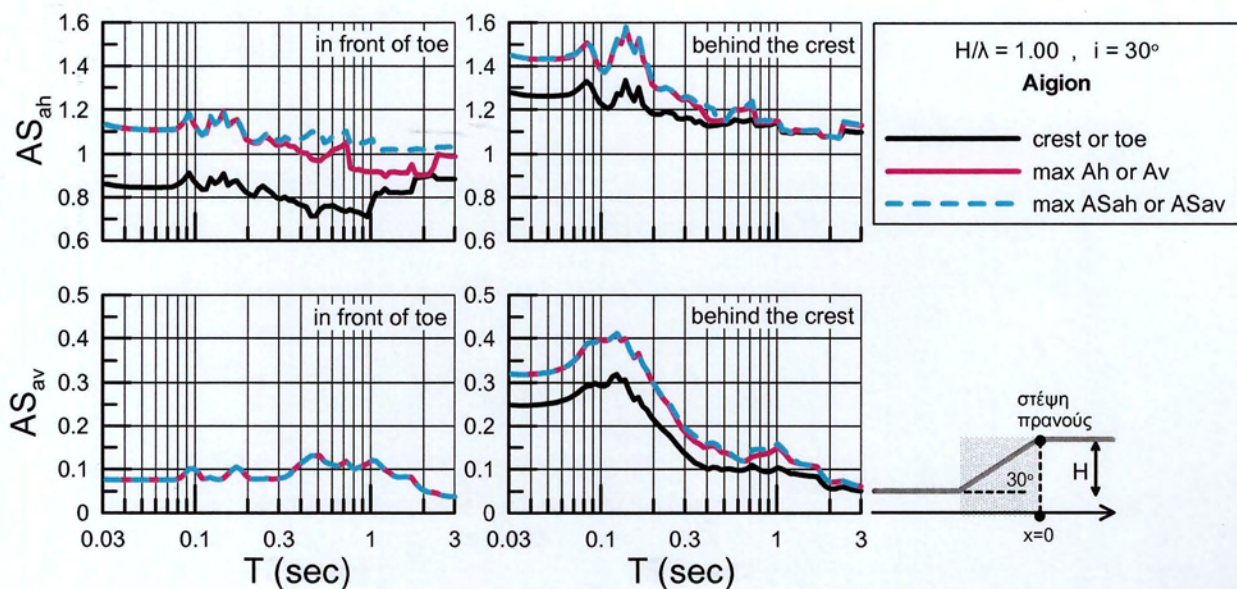
Σχήμα 5.10. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρηνές με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



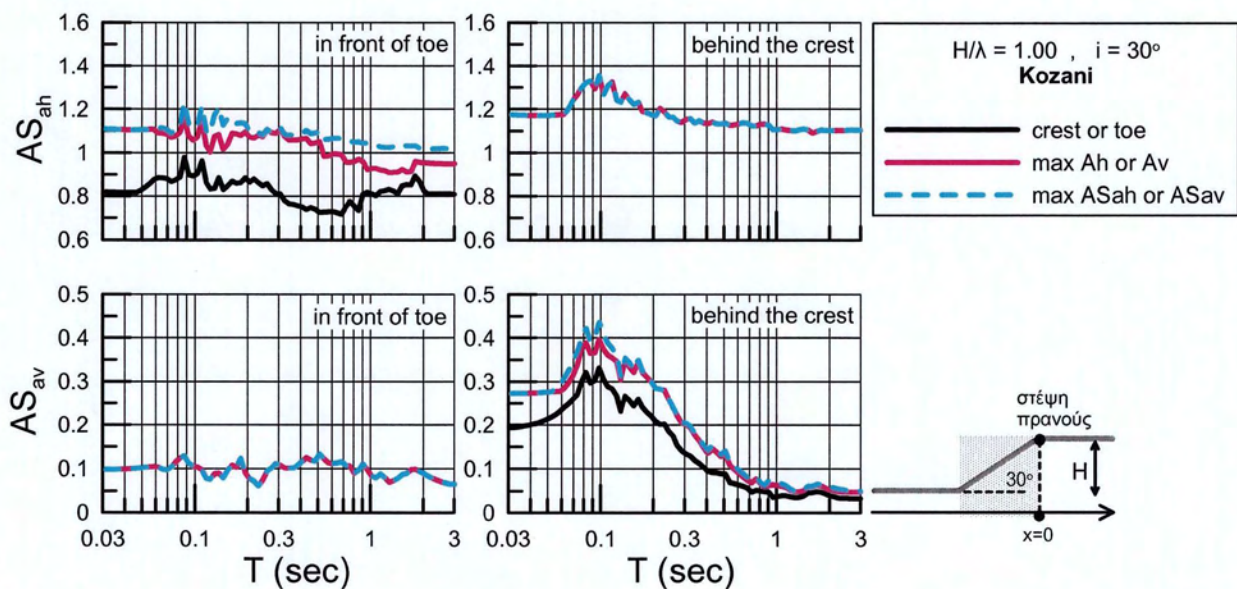
Σχήμα 5.11. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



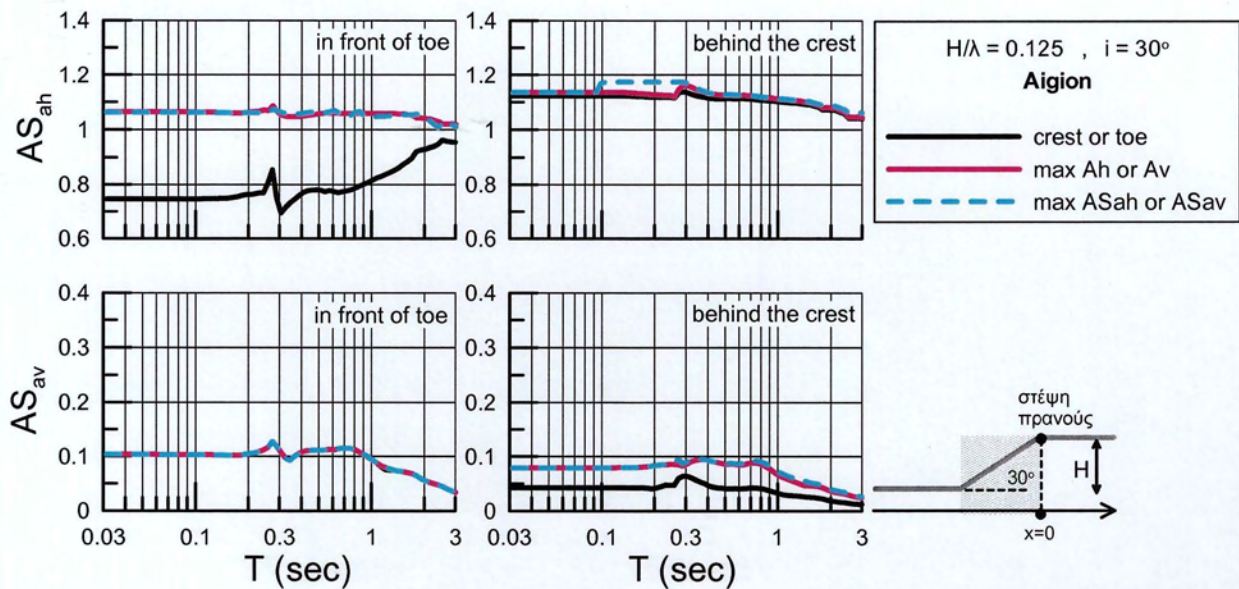
Σχήμα 5.12. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



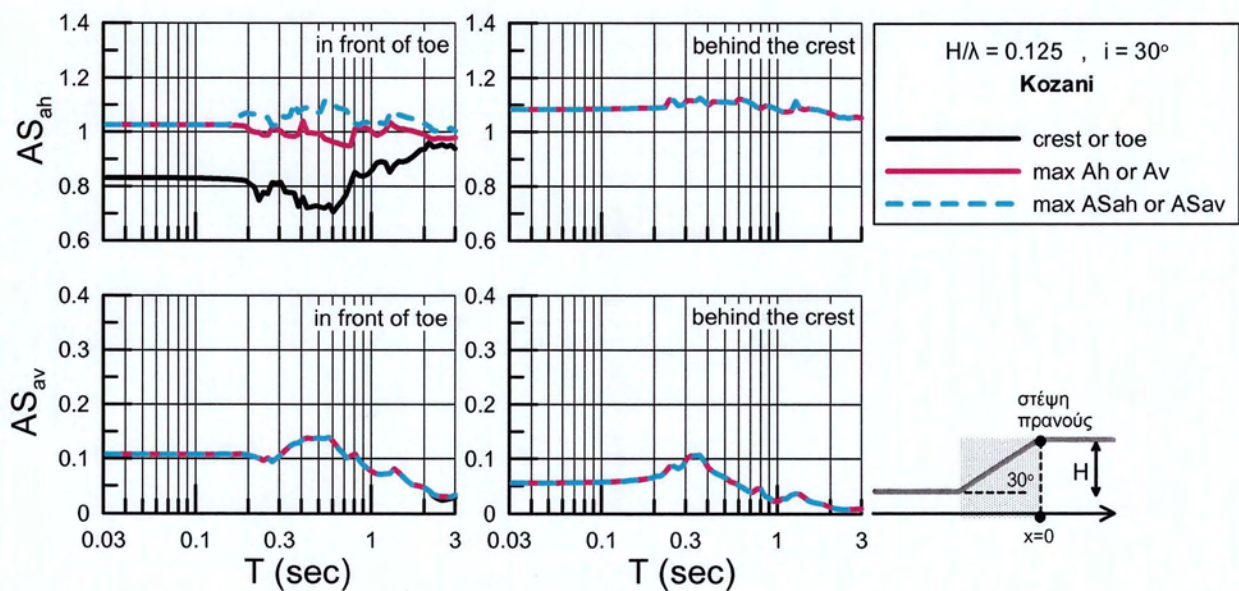
Σχήμα 5.13. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.0$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



Σχήμα 5.14. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$ και $V_b=500m/s$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.0$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



Σχήμα 5.15. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.80\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



Σχήμα 5.16. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση κατασκευής $\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για ομοιόμορφο πρανές με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.80\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.

Από τα Σχήματα 5.1 έως 5.16 παρατηρείται ότι:

- Για όλους τους συνδυασμούς πρανούς – διέγερσης που εξετάστηκαν, η τοπογραφική φασματική επιτάχυνση AS_{ah} στη θέση όπου εμφανίζεται η $maxA_h$ πίσω από την στέψη (μώβ καμπύλη) συμπίπτει απόλυτα ή είναι πολύ κοντά με την μέγιστη οριζόντια τοπογραφική επιδείνωση ανεξάρτητα από την θέση στην οποία αυτή εμφανίζεται (γαλάζια καμπύλη), κι αυτό αφορά όλες τις περιόδους κατασκευής T . Το ίδιο ισχύει και για την τοπογραφική φασματική επιτάχυνση AS_{av} , τόσο για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα του πρανούς.
- Αντιθέτως, οι τοπογραφικές φασματικές επιτάχυνσεις AS_{ah} και AS_{av} ακριβώς στη στέψη και στον πόδα του πρανούς (μαύρες καμπύλες) υπολείπονται συνήθως συστηματικά, με εξαίρεση την περίπτωση της AS_{av} όπου στον πόδα του πρανούς εμφανίζεται η μέγιστη φασματική τοπογραφική επιδείνωση (και οι τρεις καμπύλες συμπίπτουν).

5.2. Πρόταση και αξιολόγηση συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης

Με βάση λοιπόν τις παραγράφους 4.3 και 5.1 και στοχεύοντας σε μια συντηρητική προσέγγιση του φαινομένου, η θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0sec$ αποτελεί το πιο σημαντικό σημείο αναφοράς. Συνεπώς, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε αυτή τη θέση (διαφορετική ανά συνδυασμό πρανούς – διέγερσης, και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα) αποτελεί μια εύλογα συντηρητική εκτίμηση του πως επηρεάζει το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους ενός ομοιόμορφου πρανούς.

Με αυτό το σκεπτικό, η έμφαση δίνεται στην εκάστοτε θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0sec$, και για την οποία παρουσιάζεται η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια (AS_{ah}) και (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς – διέγερσης που εξετάζονται. Ειδικότερα, στα Σχήματα 5.17 έως 5.24 συμπεριλαμβάνεται η πρόταση των Assimaki et al. (2005) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (για κατηγορία εδάφους B κατά EC8, η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος αρκετά

δύστημο ώστε να μπορεί να διαμορφώσει ομοιόμορφο πρηνές ύψους $H=50m$), και το οποίο είναι ομοιόμορφο ($V_b = 500m/s$). Η περιβάλλουσα αυτή (Assimaki et al. 2005) προκύπτει από τις αναλυτικές σχέσεις για τον προτεινόμενο συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης $F_{τοπο}$ του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου κατασκευής T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται αδρά από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της επιλεγείσας κατηγορίας εδάφους κατά τον EC-8 ($T_B=0.15sec$, $T_C=0.5sec$). Πιο συγκεκριμένα για $T=0sec$, προτείνεται $AS_{ah}=1.6$ για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρηνούς – διέγερσης που εξετάζονται. Στη συνέχεια η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1.3 για $T_B \leq T \leq T_C$ όπου διατηρείται σταθερή μέχρι την περίοδο $T=T_C$. Τέλος, για $T_C \leq T \leq 1sec$ η τιμή του AS_{ah} μειώνεται ξανά μέχρι το 1.0 και παραμένει σταθερά ίση με 1.0 για κάθε $T \geq 1sec$. Οι αναλυτικές σχέσεις και το προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού για τον συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης $F_{τοπο}$ έχουν ήδη αναφερθεί με λεπτομέρεια στην παράγραφο 2.2 (Σχήμα 2.5).

Επιπλέον, παρατίθεται και η πρόταση της παρούσας εργασίας, η οποία εκτιμά την τιμή σχεδιασμού της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης για $T=0sec$ (Ah_{max} , Av_{max}) από τις πολυ-παραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005) για ομοιόμορφο πρηνές, και την οποία διατηρεί ως ισχύουσα για όλες τις περιόδους κατασκευής T που είναι μικρότερες ή ίσες της εκάστοτε δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης T_e (ίσης με 0.1, 0.222, 0.5 και 0.8sec στις εν λόγω αναλύσεις). Για μεγαλύτερες περιόδους κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται (έστω) γραμμικά, και εξαλείφεται για τιμές περιόδου κατασκευής μεγαλύτερες ή ίσες μιας χαρακτηριστικά «μεγάλης» τιμής περιόδου κατασκευής T_0 .

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

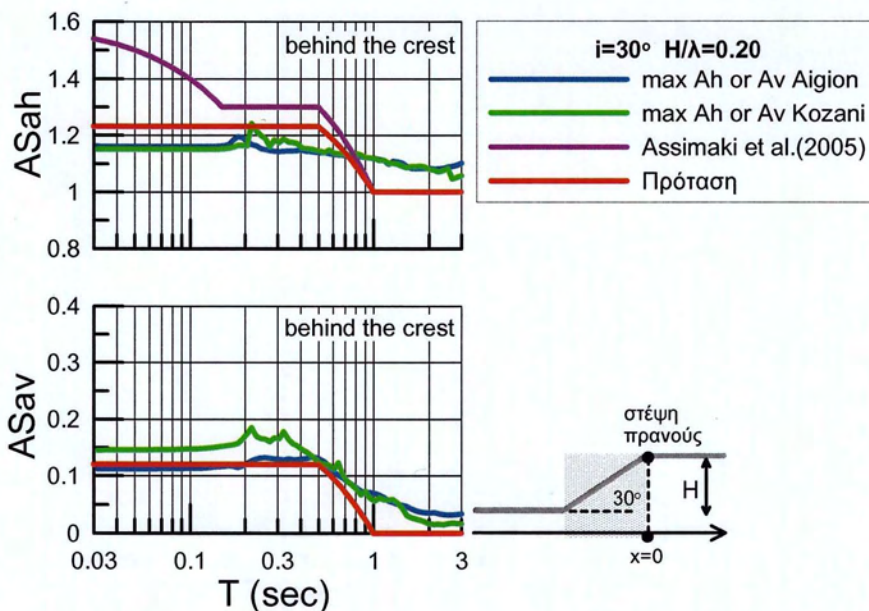
$$AS_{ah,d} = \begin{cases} Ah_{max} , & T \leq T_e \\ Ah_{max} - \frac{(Ah_{max} - 1)}{(T_0 - T_e)}(T - T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 1.0 , & T_0 \leq T \end{cases} \quad (1)$$

όπου T_0 είναι η χαρακτηριστικά «μεγάλη» τιμή της περιόδου κατασκευής για την οποία η τοπογραφική επιδείνωση είναι πρακτικώς αμελητέα, και η οποία παίρνει τιμές $T_0=2T_e$, αλλά με ελάχιστη τιμή ίση με 1.0sec (δηλαδή $T_0=2T_e$ για ιδιαίτερα χαμηλόσυχνες διεγέρσεις με $T_e > 0.5sec$, και $T_0 = 1sec$ για τις πιο συνήθεις περιπτώσεις όπου $T_e \leq 0.5sec$). Εντελώς αντίστοιχα,

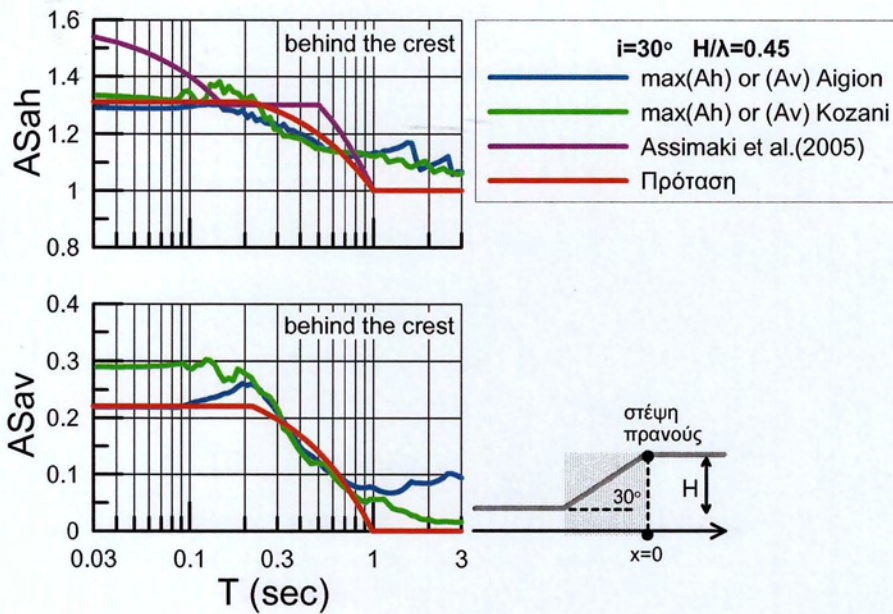
για την κατακόρυφη διεύθυνση, η (μέγιστη) τοπογραφική φασματική επιδείνωση $AS_{av,d}$ δίνεται από τη σχέση:

$$AS_{av,d} = \begin{cases} A_{v_{max}}, & T \leq T_e \\ A_{v_{max}} - \frac{A_{v_{max}}}{(T_0 - T_e)}(T - T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 0.0, & T_0 \leq T \end{cases} \quad (2)$$

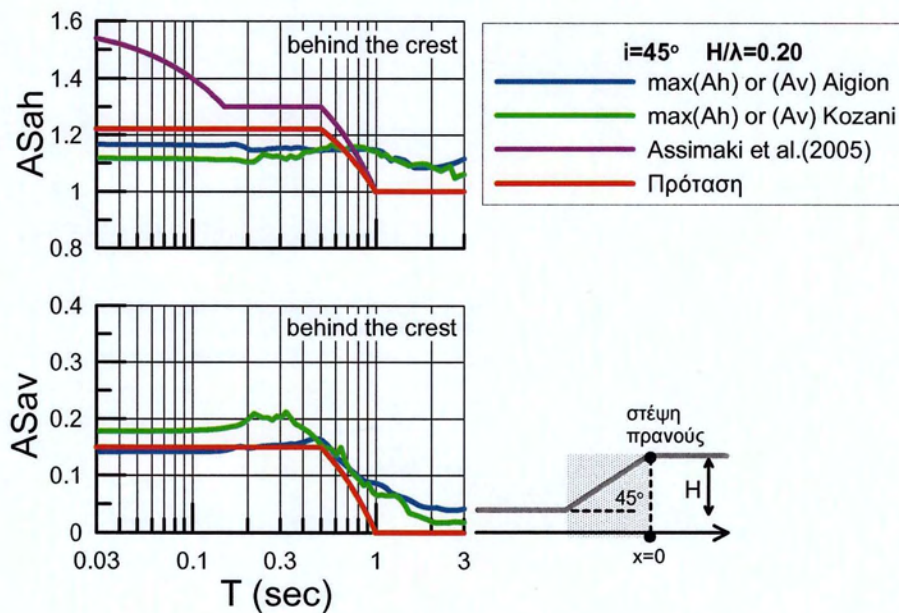
όπου T_0 είναι η ίδια χαρακτηριστικά «μεγάλη» τιμή της περιόδου κατασκευής που θεωρείται και για την οριζόντια διεύθυνση. Επισημαίνεται, ότι για περιπτώσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e \leq 0.5\text{sec}$, η τιμή της χαρακτηριστικά «μεγάλης» τιμής της περιόδου κατασκευής T_0 είναι ίση με 1.0sec , ενώ για την ιδιαίτερα χαμηλόσυχνη διέγερση με $T_e = 0.8\text{sec}$ που εξετάστηκε, η εν λόγω τιμή T_0 αυξάνει σε 1.6sec .



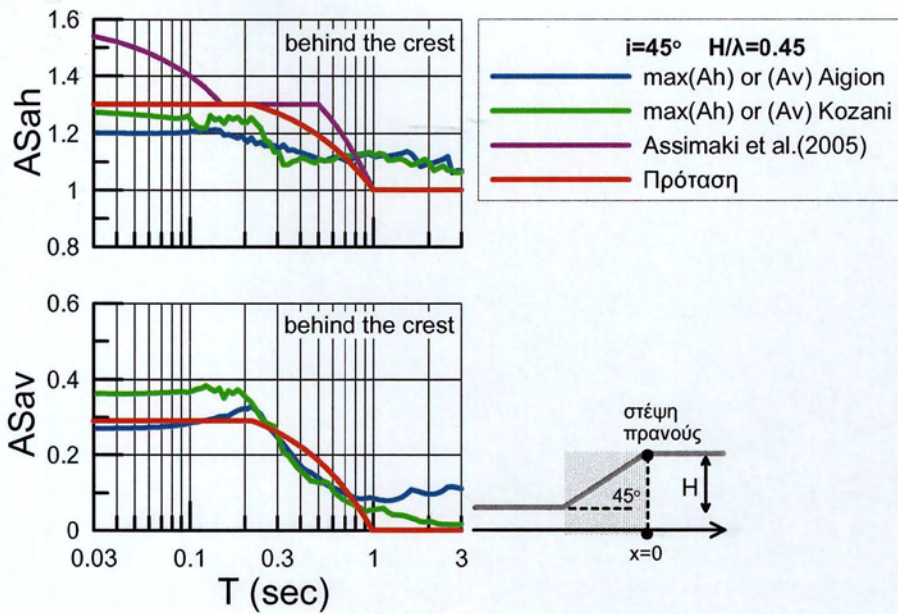
Σχήμα 5.17. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την AS_{ah} , και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



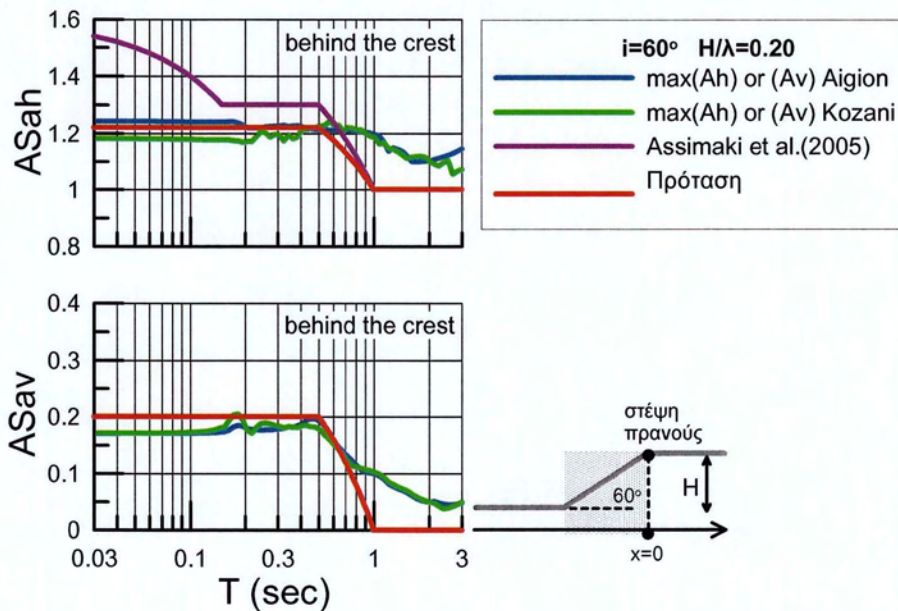
Σχήμα 5.18. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την ASah, και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



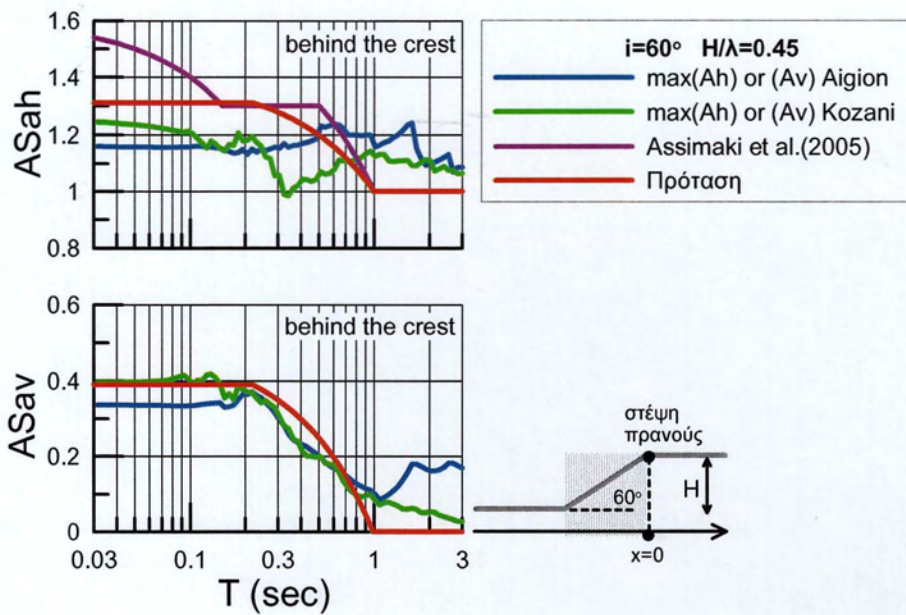
Σχήμα 5.19. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.20$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την ASah, και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



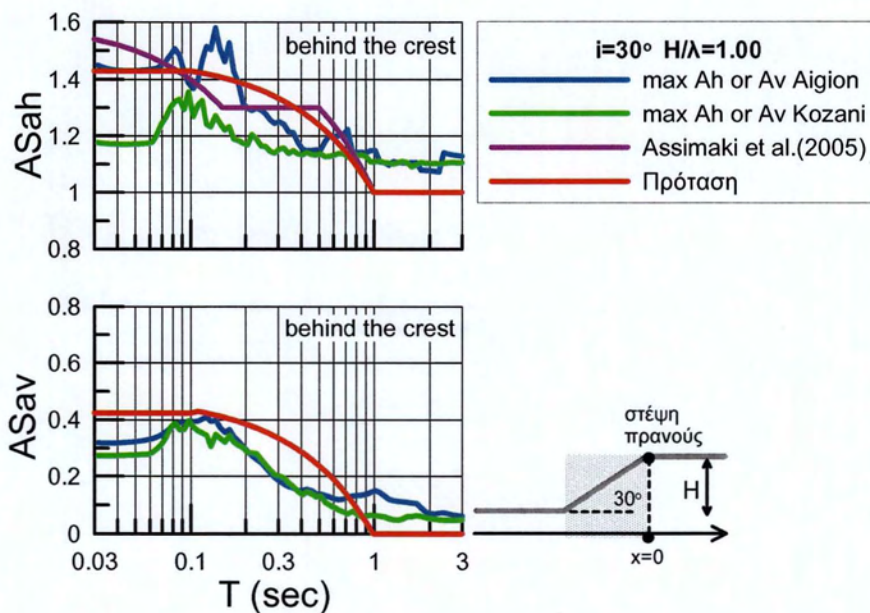
Σχήμα 5.20. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την AS_{ah} , και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



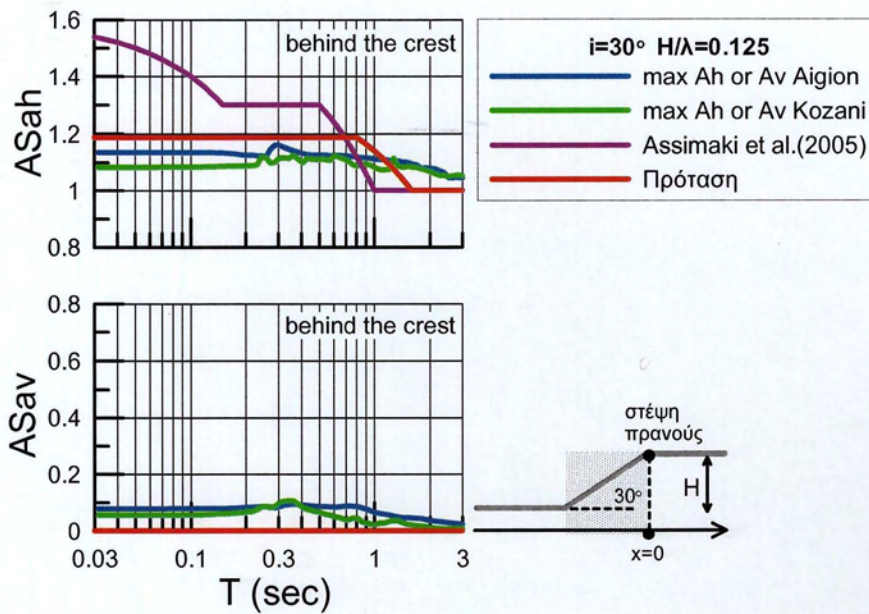
Σχήμα 5.21. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την AS_{ah} , και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



Σχήμα 5.22. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=60^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την ASah, και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



Σχήμα 5.23. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1.0$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την ASah, και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης



Σχήμα 5.24. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς με κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$ και $V_b=500\text{m/s}$, υπό διεγέρσεις Αιγίου και Κοζάνης με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.8\text{sec}$ (που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.125$), και σύγκρισή τους με φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) για την AS_{ah} , και της πρότασης και για τις δύο συνιστώσες κίνησης

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι:

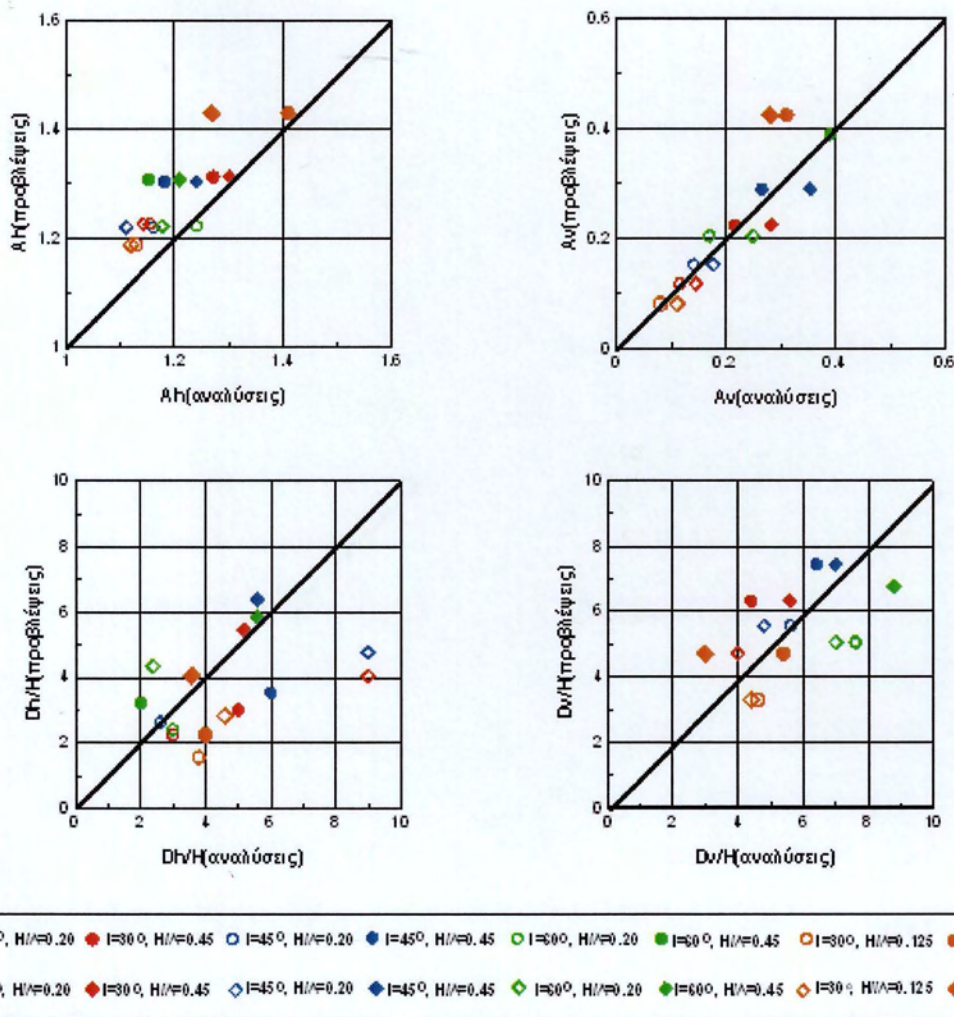
- Η τοπογραφική επιδείνωση είναι σχετικώς σημαντική (π.χ. $AS_{ah} > 1.1$, $AS_{av} > 0.1$) μόνο για μικρές περιόδους κατασκευής, πιθανώς μικρότερες ή ίσες της εκάστοτε δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης T_e . Για $T > 1\text{sec}$, η τοπογραφική επιδείνωση είναι πάντα μικρή ($AS_{ah} < 1.1$, $AS_{av} < 0.1$), εκτός από περιπτώσεις ιδιαίτερα χαμηλόσυχων διεγέρσεων (π.χ. $T_e = 0.8\text{sec}$) όπου η τοπογραφική επιδείνωση παραμένει σχετικώς σημαντική και για μεγαλύτερες περιόδους κατασκευής.
- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005) για το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού στην οριζόντια διεύθυνση είναι ποιοτικώς ορθή, μα μάλλον υπερεκτιμά τις ενισχύσεις σε μικρές περιόδους κατασκευής ($T < T_B$ του φάσματος σχεδιασμού του EC8).
- Η πρόταση της παρούσας εργασίας είναι της ίδιας λογικής με εκείνης των Assimaki et al. (2005), την οποία όμως επεκτείνει και στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, και της προσδίδει αυξημένη ποσοτική ακρίβεια με χρήση πολυ-παραμετρικών σχέσεων από τη βιβλιογραφία (μη σταθερή τιμή $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, συμφώνως με τα αριθμητικά αποτελέσματα).

5.3. Ποσοτική και χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης

Όπως αναφέρθηκε με λεπτομέρεια στην βιβλιογραφική αναδρομή, στο άρθρο των Bouckoualas & Paradimitriou (2005) γίνεται διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους (μπρος και πίσω από το πρηνές) και προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού για: α) την επίδραση της τοπογραφίας μονοκλινούς πρηνούς στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στις 2 συνιστώσες ($A_{h,max}$, $A_{v,max}$) και β) στην κανονικοποιημένη απόσταση μέχρι το ελεύθερο πεδίο, και πάλι στις 2 συνιστώσες (D_h/H , D_v/H). Με βάση τα προταθέντα μεγέθη, γίνεται δυνατός ο ορισμός **χωρικών περιβαλλουσών σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$** με την απόσταση x από το πρηνές, οι οποίες όμως παρουσιάζονται στο άρθρο των Bouckoualas & Paradimitriou (2006). Αντίστοιχες σχέσεις σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση έχουν προταθεί επίσης από τους Assimaki et al. (2005).

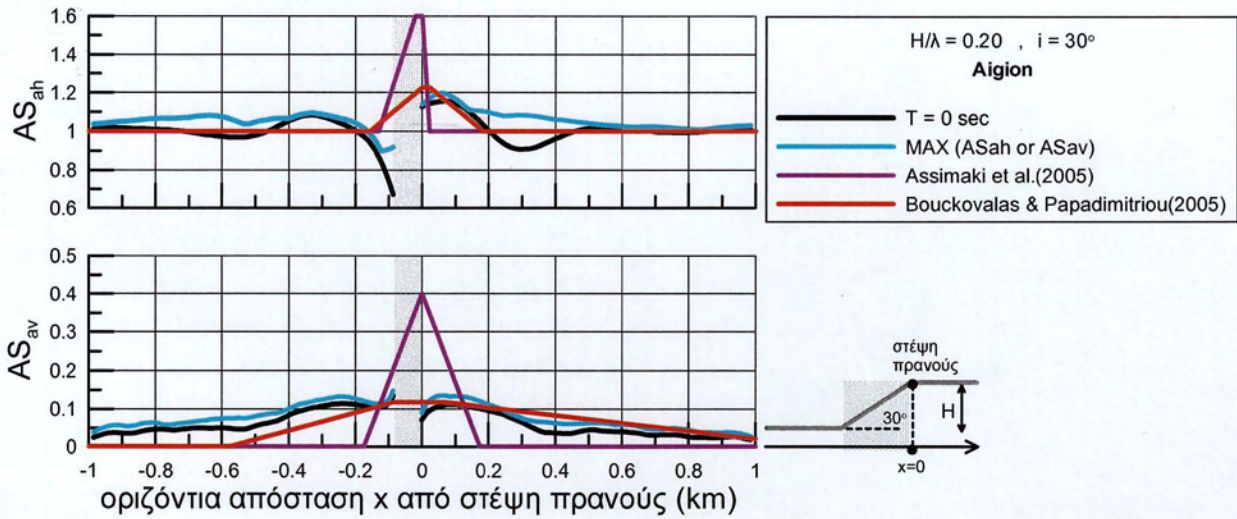
Έτσι, αρχικά γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραγράφου 4.2 για την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις για ομοιόμορφα πρηνή και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις (Αιγίου με $N=1$ και Κοζάνης με $N=4$), με τα αντίστοιχες προβλέψεις χρησιμοποιώντας τις προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckoualas & Paradimitriou (2005).

Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 5.25 γίνεται σύγκριση των μεγεθών $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h/H και D_v/H με βάση τις αναλύσεις με τις εκτιμήσεις των μεγεθών αυτών από τις προαναφερθείσες σχέσεις. Σημειώνεται ότι ως αποστάσεις D_h και D_v έως το ελεύθερο πεδίο, θεωρήθηκαν οι αποστάσεις για τις οποίες οι τιμές της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης γίνονται για πρώτη φορά μικρότερες από 10%, δηλαδή $AS_h(T=0) < 1.1$ και $AS_v(T=0) < 0.1$ στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα. Η εκτίμηση των αποστάσεων αυτών με βάση τις αναλύσεις ενέχει κάποια υποκειμενικότητα, καθώς δε γίνεται με μαθηματική ακρίβεια αλλά με εκτίμηση της συνολικής εικόνας της χωρικής διαφοροποίησης. Από το εν λόγω σχήμα παρατηρείται μια σαφής υπερεκτίμηση της $A_{h,max}$, και μια σχετική υποεκτίμηση της D_h . Αντιθέτως, τόσο για την $A_{v,max}$ όσο και για την D_v προκύπτει συμφωνία προβλέψεων με τις αριθμητικές αναλύσεις. Σε κάθε περίπτωση, συνολικά, προκύπτει μια ικανοποιητική ικανότητα πρόβλεψης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης με τις προαναφερθείσες σχέσεις.

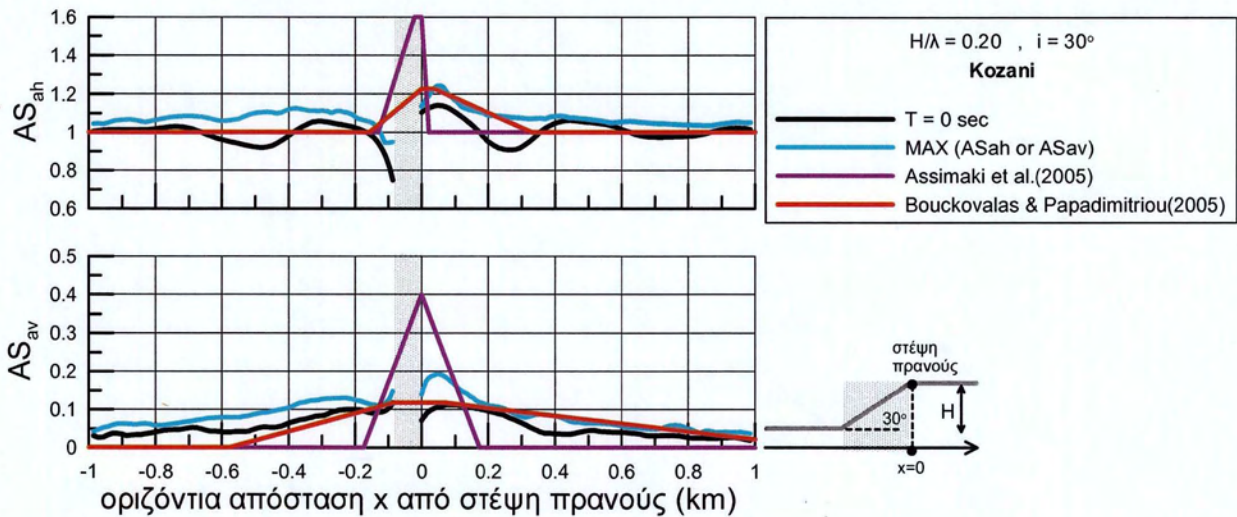


Σχήμα 5.25. Σύγκριση αριθμητικών τιμών τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους A_h max, A_v max, D_h/H και D_v/H από αναλύσεις ομοιόμορφου πρηνούς (κλίσης i , αδιάστατου ύψους H/λ , απόσβεσης $\xi=5\%$) υπό σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$), με προβλέψεις από προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005).

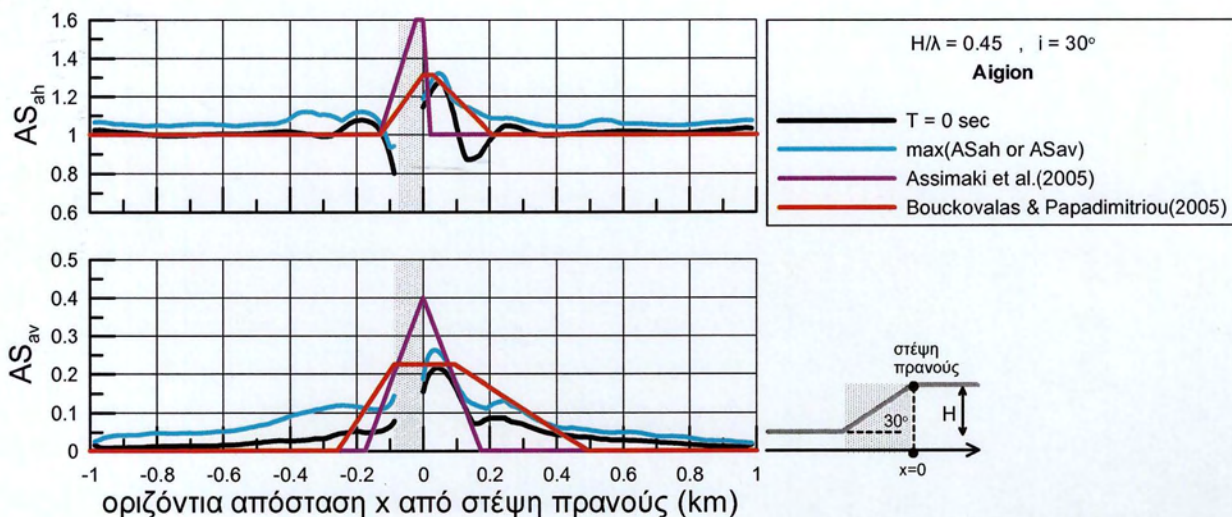
Στη συνέχεια, στα Σχήματα 5.26 έως 5.41 η σύγκριση προβλέψεων – αναλύσεων επεκτείνεται και στη χωρική διαφοροποίηση, δίνοντας έμφαση στις προαναφερθείσες χωρικές περιβάλλουσες των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), κόκκινη καμπύλη, και Assimaki et al. (2005), μωβ καμπύλη, για ομοιόμορφα πρηνή. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν τη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης (AS_h και AS_v για $T=0$, με μαύρη καμπύλη), καθώς και η «περιβάλλουσα» της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης ανεξαρτήτως της περιόδου κατασκευής T για την οποία προκύπτει ($\max AS_h$ or AS_v , με γαλάζια καμπύλη).



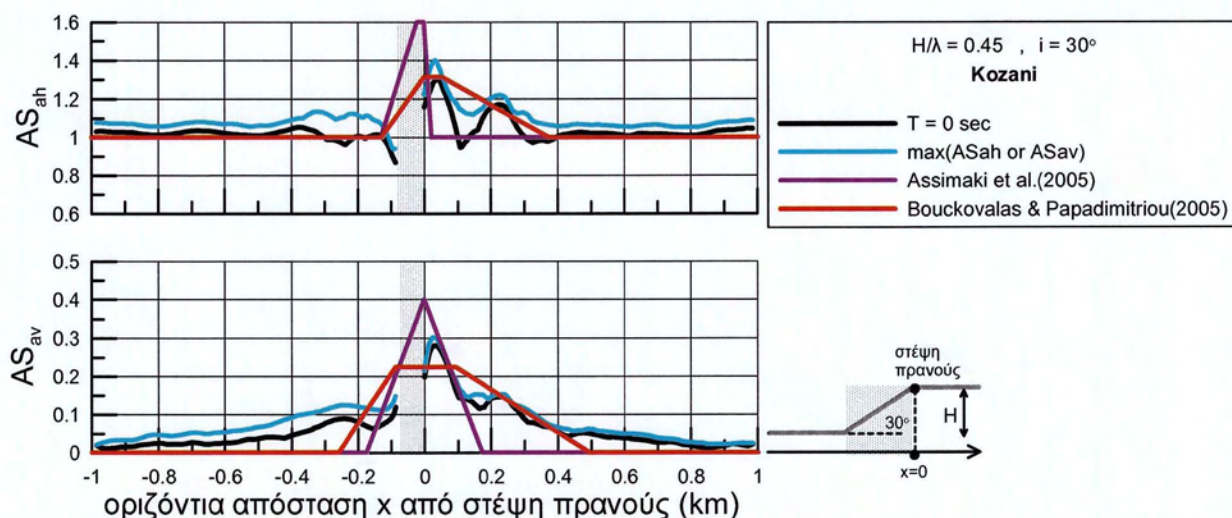
Σχήμα 5.26. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



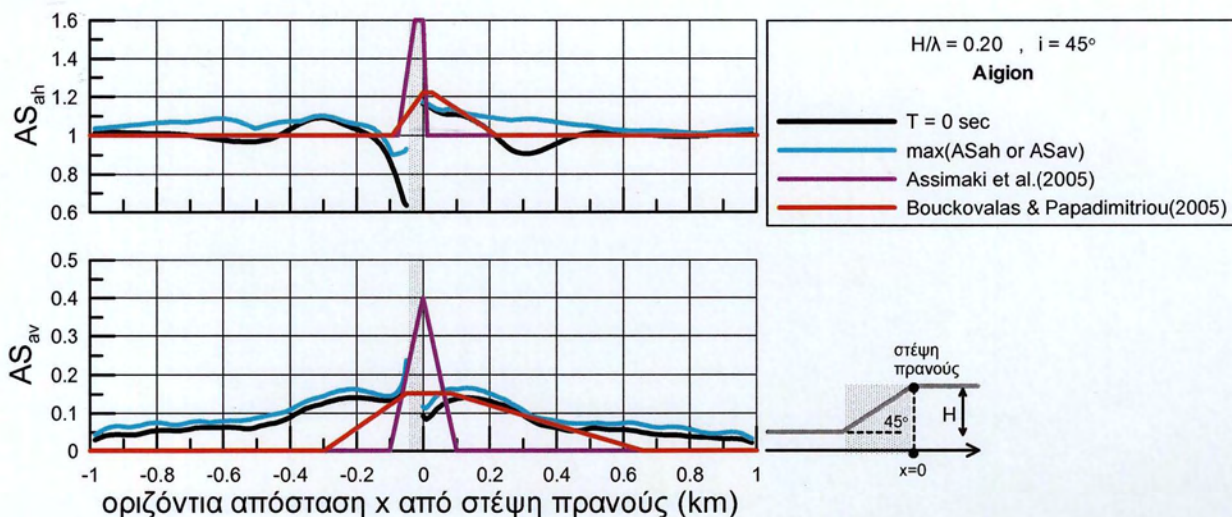
Σχήμα 5.27. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



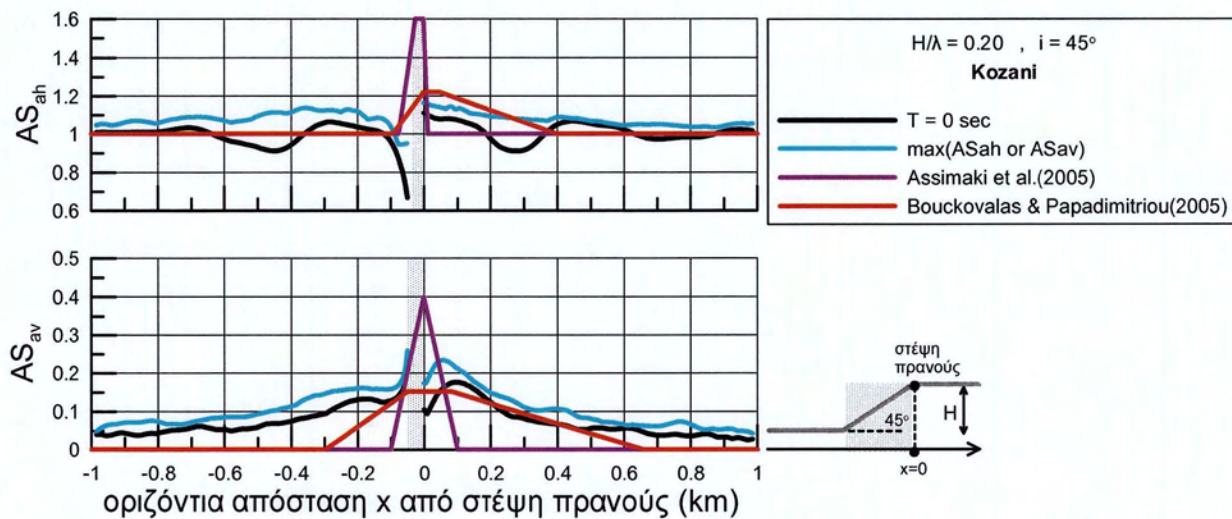
Σχήμα 5.28. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



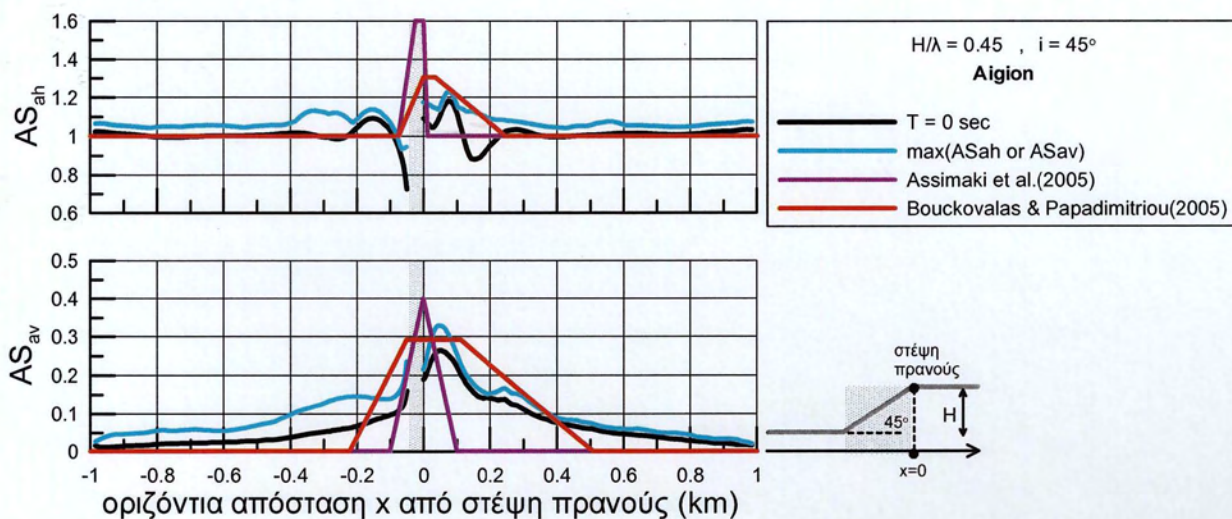
Σχήμα 5.29. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



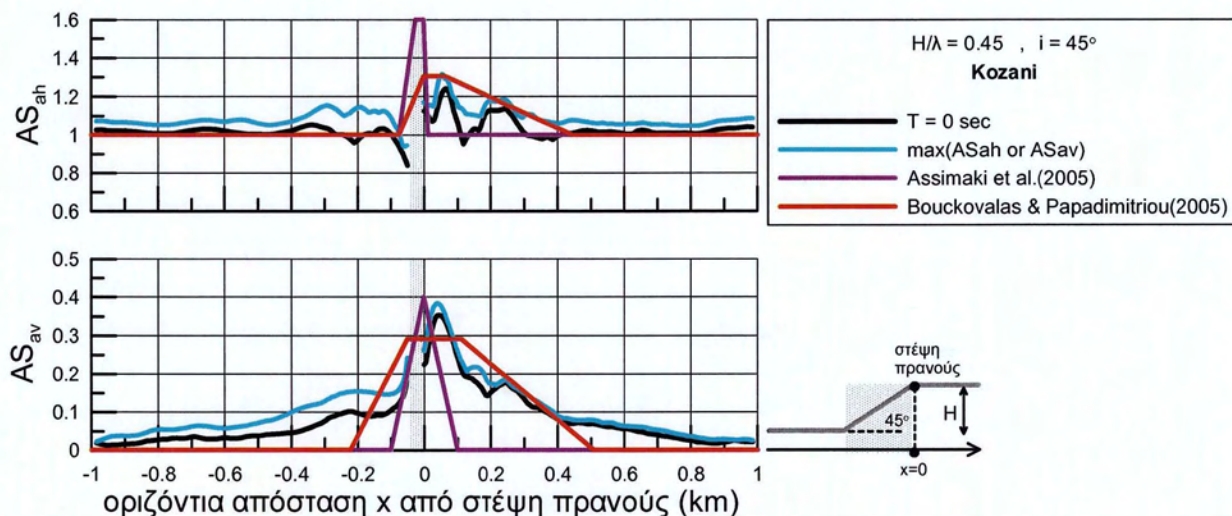
Σχήμα 5.30. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=45^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimakis et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



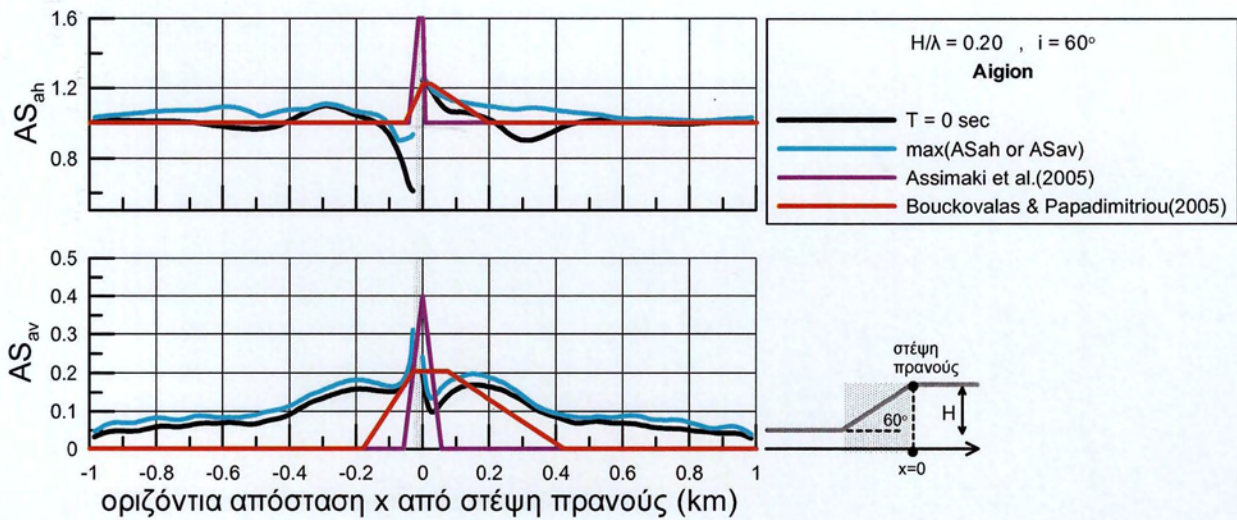
Σχήμα 5.31. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=45^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimakis et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



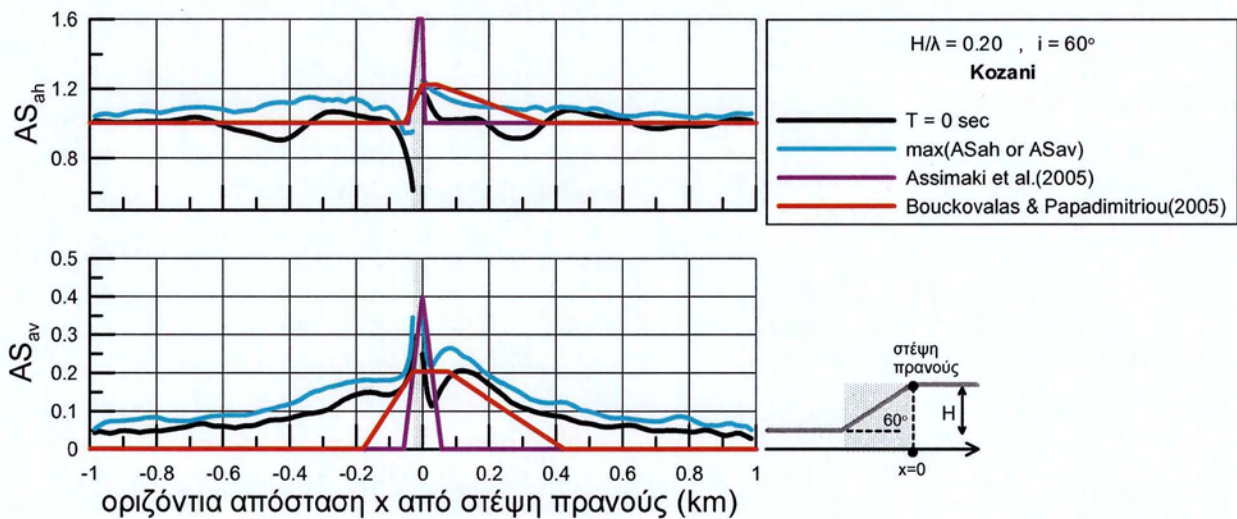
Σχήμα 5.32. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=45^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



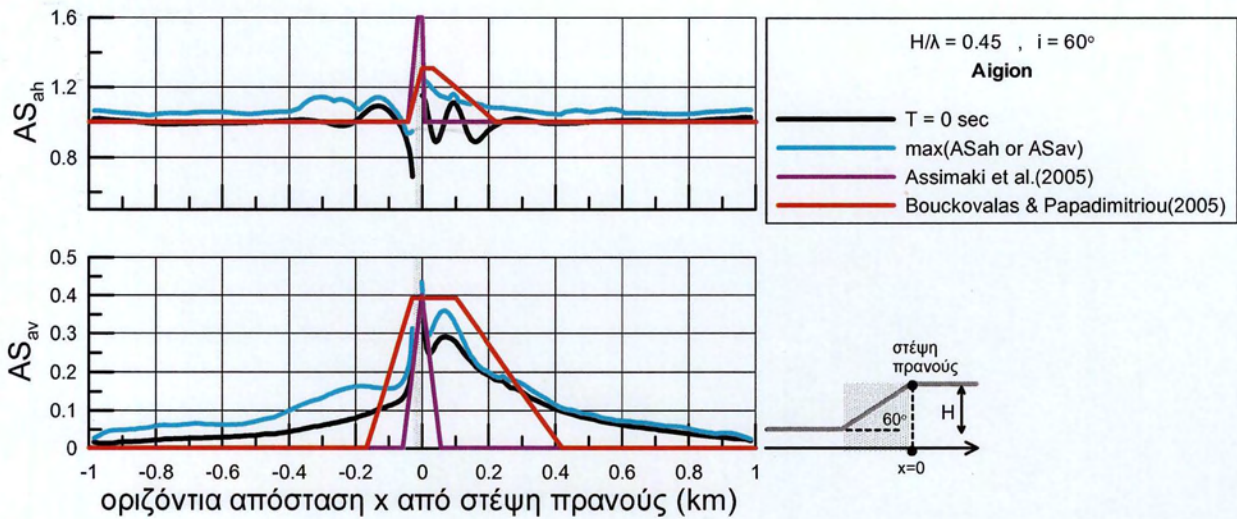
Σχήμα 5.33. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=45^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



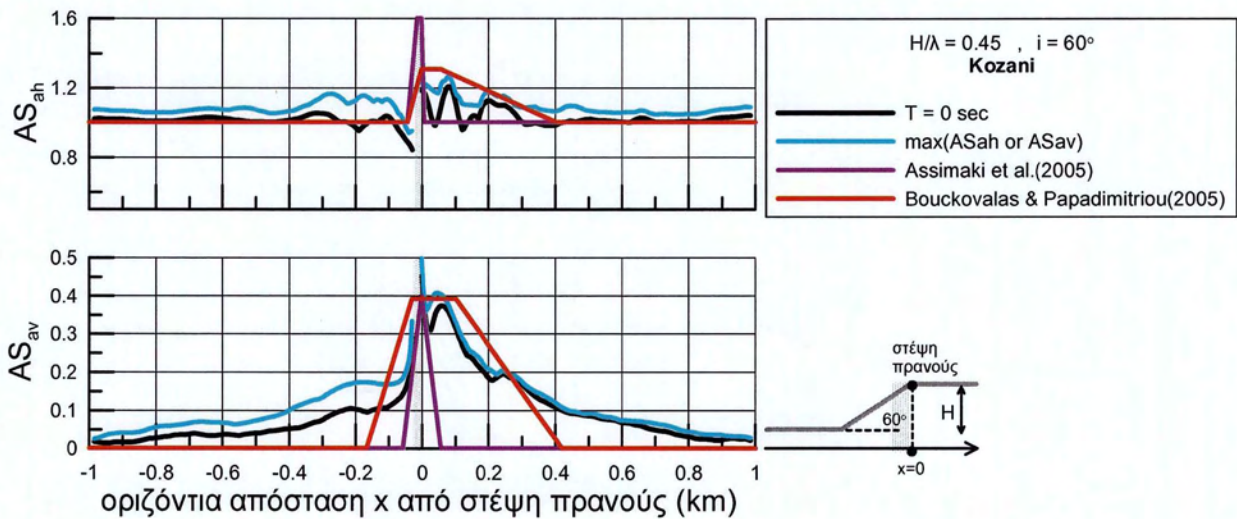
Σχήμα 5.34. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=60^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



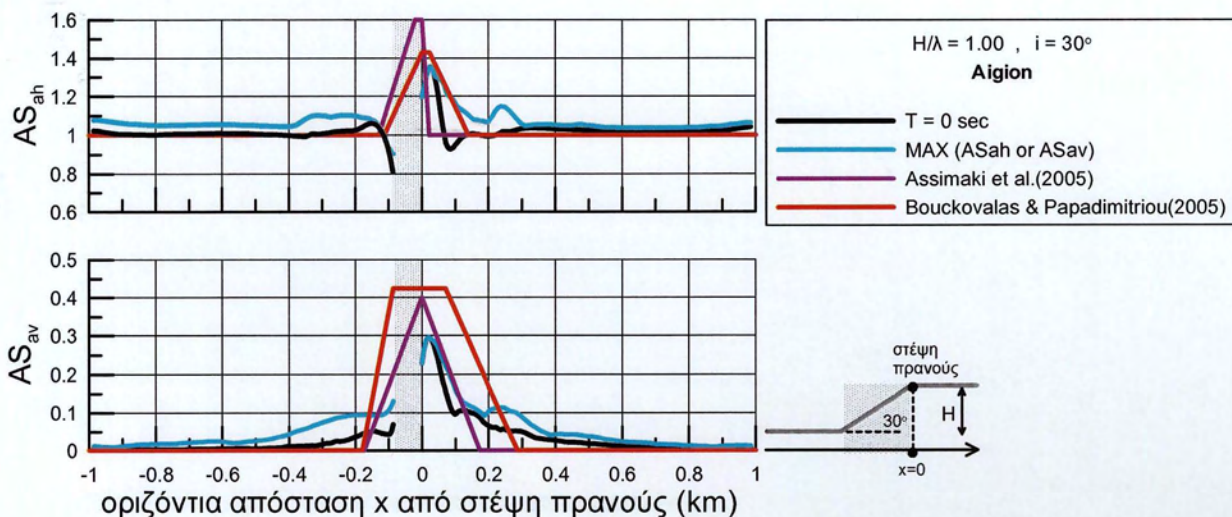
Σχήμα 5.35. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρσανούς (κλίσης $i=60^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



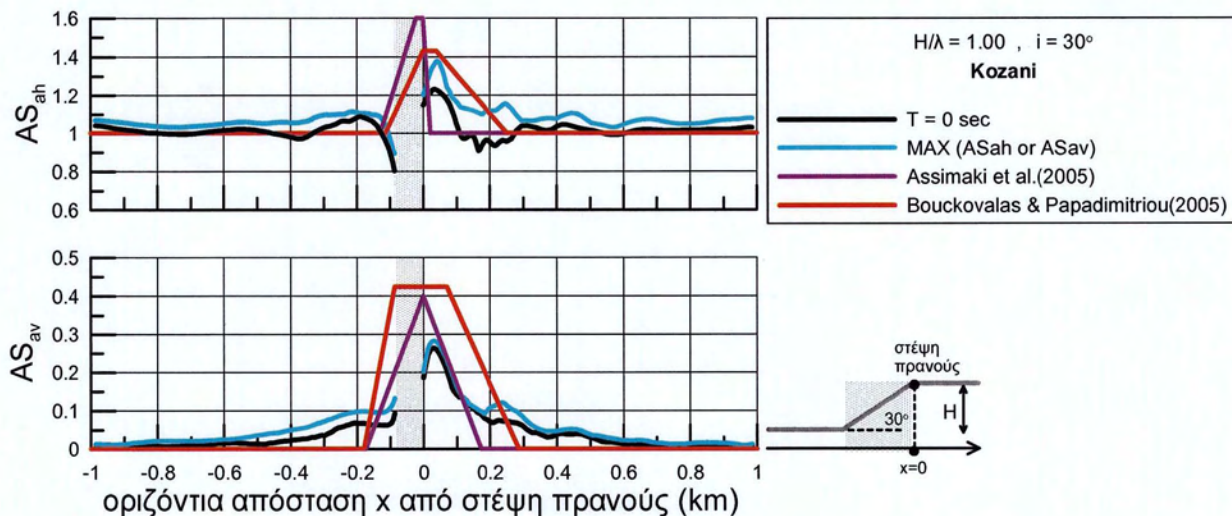
Σχήμα 5.36. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=60^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



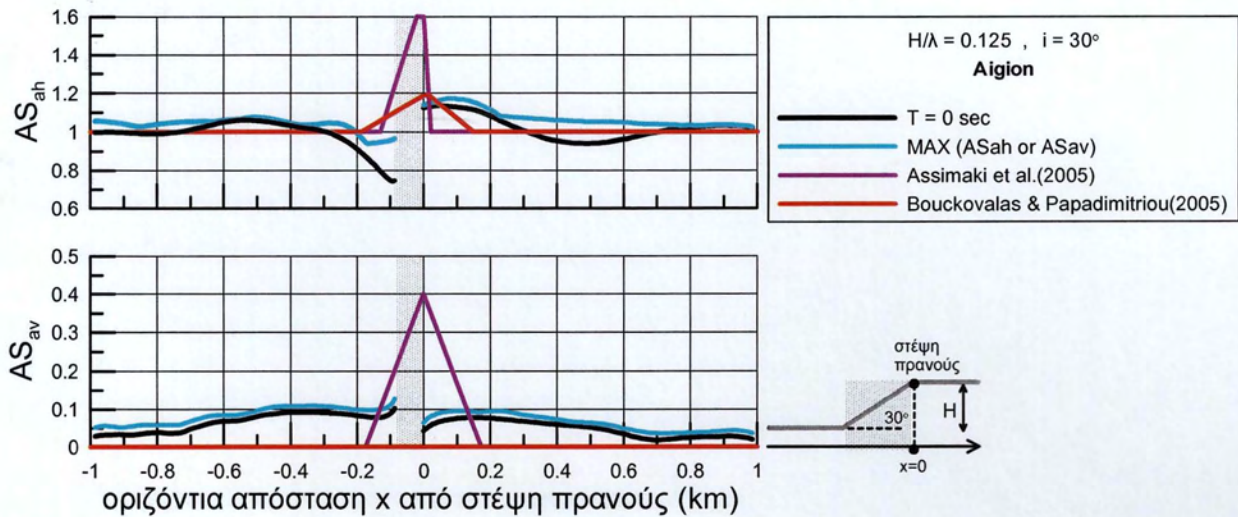
Σχήμα 5.37. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=60^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



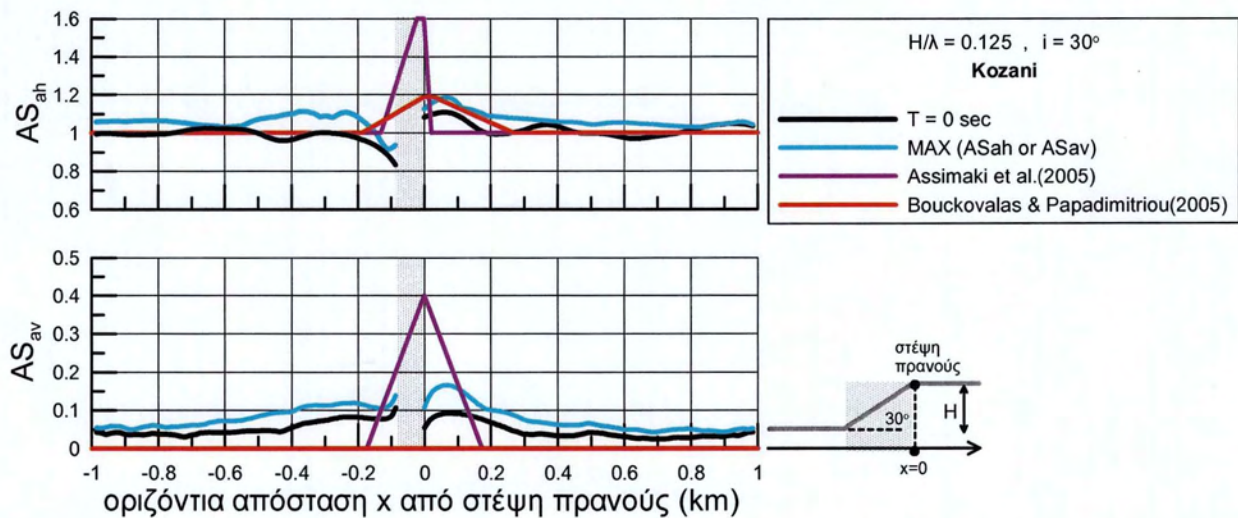
Σχήμα 5.38. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.39. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.40. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.80\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



Σχήμα 5.41. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του ομοιόμορφου πρανούς (κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, $V_b=500\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.80\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)

Από τα Σχήματα 5.26 έως 5.41 συμπεραίνεται ότι:

- Σε ό,τι αφορά στις μέγιστες τοπογραφικές ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης ($T=0$) πλησίον της κεκλιμμένης επιφάνειας του ομοιόμορφου πρανούς, οι σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006) φαίνεται να τις προβλέπουν ικανοποιητικά, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν, ειδικά στην οριζόντια συνιστώσα.
- Αντίστοιχα, οι μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης ($\max AS_{ah}$, AS_{av}) κατά μήκος του πρανούς, οι σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) φαίνεται να τις υποεκτιμούν ελαφρώς, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν ελαφρώς.
- Τα αριθμητικά αποτελέσματα για την οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση συγκλίνουν ικανοποιητικά, με τις προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού των Bouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006).
- Οι αντίστοιχες προτεινόμενες τιμές σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) υπερεκτιμούν αρκετά την τοπογραφική επιδείνωση στην οριζόντια διεύθυνση ($\max AS_{ah}$) ενώ στην (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) τα αποτελέσματα συγκλίνουν περισσότερο.
- Στην περίπτωση της πολύ χαμηλόσυχνης διέγερσης ($H/\lambda=0.125$), οι προτεινόμενες σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) δίνουν μηδενική τοπογραφική επιδείνωση στην κατακόρυφη διεύθυνση κάτι που όντως ισχύει, σε αντίθεση με τις σχέσεις των Assimaki et al. (2005) οι οποίες δεν φαίνεται να μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για πολύ μικρές τιμές του H/λ .
- Επιπλέον, προκύπτει ότι η τοπογραφία φαίνεται να επιδρά κυρίως στη μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης και λιγότερο στο συχνοτικό περιεχόμενο αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΕΠΙΔΡΑΣΗ “ΜΑΛΑΚΗΣ” ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΛΙΝΗ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

6.1. Γενικά

Με σκοπό την επαλήθευση των όσων προτάθηκαν ως τώρα στη παρούσα εργασία για τα ομοιόμορφα πρανή, αλλά και τη σύγκριση με τις κανονιστικές διατάξεις του EC8 σχετικά με την προσαύξηση των ενισχύσεων λόγω επίδρασης της τοπογραφίας, έγιναν επιπλέον 2Δ ιξωδοελαστικές αναλύσεις για βραχώδεις πρανές κλίσεως $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$, και ταχύτητας διατμητικών κυμάτων $V_b=500\text{m/s}$ και πάλι, όμως με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, με τα εξής χαρακτηριστικά: πάχος $h=10\text{m}$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=180\text{m/s}$. Δηλαδή υπάρχει «μαλακή» στρώση η οποία σε μονοδιάστατη θεώρηση έχει $T_s=4h/V_s=0.222\text{sec}$ και δημιουργεί έναν λόγο εμπέδησης $a=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)=180/500=0.36$ με τον υποκείμενο ελαστικό βράχο (βλ. Σχήμα 6.1).

Στο κεφάλαιο αυτό, όπως και στα προηγούμενα, η έμφαση δίνεται στη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής ταλάντωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T .



Σχήμα 6.1. Σκαρίφημα μονοκλινούς πρανούς

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για πρανές κλίσης i και ύψους H , κάθε μια από τις οποίες επαναλήφθηκε για διεγέρσεις τουλάχιστον 3 διαφορετικών τιμών δεσπίζουσας περιόδου T_e και δεσπίζοντος μήκους κύματος λ (δεδομένου ότι σε όλες τις αναλύσεις, $i=30^\circ$

και $H=50\text{m}$). Καθώς το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ μπορεί να προέρχεται από εντελώς διαφορετικές μορφές διέγερσης, κάθε πρανές κλίσης i και ύψους H υποβλήθηκε σε δύο (2) διαφορετικές διεγέρσεις (που έχουν αμφότερες το ίδιο δεσπόζον μήκος κύματος λ), ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της ακριβούς μορφής της χρονοϊστορίας, ή πιο απλά του αριθμού σημαντικών κύκλων διέγερσης.

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

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

Οι σεισμικές διεγέρσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν είναι:

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

Στο σύνολό τους οι ανωτέρω αναλύσεις ανήλθαν σε πλήθος των έξι (6). Κάθε ανάλυση πρανούς συνοδευόταν και από 1 ανάλυση «ελευθέρου πεδίου» για την περιοχή πίσω από την στέψη. Η περιοχή μπροστά από τον πόδα είναι ομοιόμορφη, και συνεπώς η αντιστοιχούσα ανάλυση «ελευθέρου πεδίου» είναι ίδια με εκείνη του αντίστοιχου ομοιόμορφου πρανούς και

έχει ήδη εκτελεστεί. Έτσι το απόλυτο σύνολο των αναλύσεων που εκτελέσθηκαν και παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο είναι δώδεκα (12).

6.2. Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης επιτάχυνσης

Αρχικά, διερευνάται η επίδραση της δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης T_e στην μέγιστη οριζόντια και στην (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση, κατά μήκος όλης της επιφάνειας του πρανούς που ενσωματώνει «μαλακή» στρώση.

Στην παρούσα εργασία, για να απεικονιστούν έστω προσεγγιστικά κάποια αποτελέσματα των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης τα οποία να αντιστοιχούν στην κεκλιμένη επιφάνεια, κανονικοποιήθηκε η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση κατά μήκος ολόκληρης της επιφάνειας του πρανούς ως προς την μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που εμφανίζεται στο ελεύθερο πεδίο της περιοχής μπροστά από τον πόδα του (PHA/PHA,t). Επίσης, η μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση κανονικοποιήθηκε ως προς την αντίστοιχη μέγιστη οριζόντια σε κάθε θέση της επιφάνειας του πρανούς (PVA/PHA), αφού δε μπορούσε να υιοθετηθεί η κανονικοποίηση της οριζόντιας συνιστώσας καθώς $PVA,t=0$. Για να επιτευχθεί αυτό δόθηκε έμφαση σε μία περιορισμένη περιοχή (από -400m έως 400m) όπου γίνεται και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, εστιάζοντας έτσι και στην κεκλιμένη περιοχή του πρανούς.

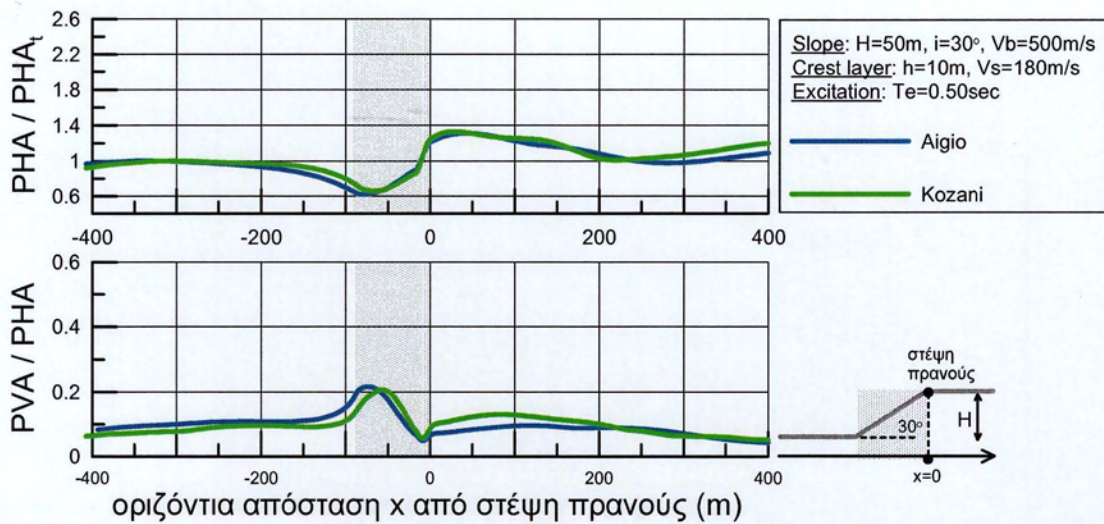
Στην πρώτη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 6.2 έως 6.4) φαίνεται η κανονικοποιημένη μέγιστη οριζόντια και (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση καθ' όλο το μήκος του πρανούς (και στην κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδιασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

i) $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.2)

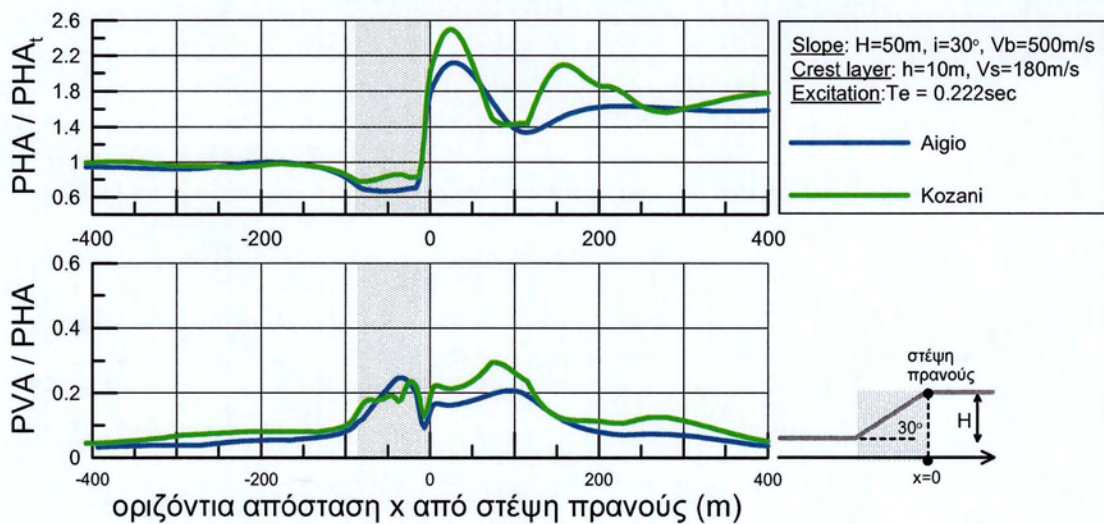
ii) $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.3)

iii) $i=30^\circ$ $T_e=0.10\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.4)

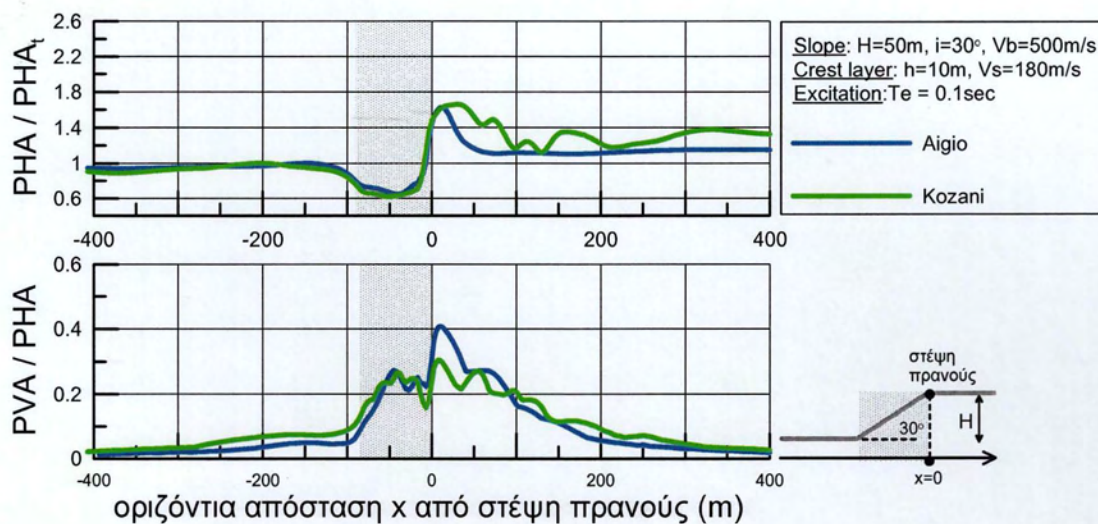
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



Σχήμα 6.2. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του πρανούς με «μαλακή» στρώση, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.5\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 6.3. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του πρανούς με «μαλακή» στρώση, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)



Σχήμα 6.4. Χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην περιοχή του πρανούς με «μαλακή» στρώση, στην περιοχή από -400 έως 400m από τη στέψη του, για μονοκλινές πρανές με κλίση $i=30^\circ$ και $T_e=0.1\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους ($\xi=5\%$)

Από την πρώτη ομάδα Σχημάτων 6.2 έως 6.4 προκύπτει ότι οι σημαντικές οριζόντιες επιταχύνσεις εμφανίζονται πλησίον της κεκλιμένης επιφάνειας, αλλά πίσω από τη στέψη του πρανούς, ενώ οι αντίστοιχες σημαντικές παρασιτικές κατακόρυφες επιταχύνσεις εμφανίζονται στην ίδια περιοχή αλλά πιθανώς και κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας. Επιπλέον προκύπτει ότι για $T_e = 0.222 = 4h/V_s = T_s$ εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές οριζοντίων επιταχύνσεων πίσω από τη στέψη, και αντίστοιχα οι ελάχιστες τιμές του λόγου PVA/RHA λόγω της αντιστοιχούσας προσαύξησης του εν λόγω παρονομαστή. Για τιμές T_e μικρότερες ή μεγαλύτερες της T_s , οι οριζόντιες επιταχύνσεις είναι μικρότερες, αποτυπώνοντας συνθήκες συντονισμού υπό 1Δ ταλάντωσης στην περιοχή της «μαλακής» στρώσης.

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

Για να γίνει η εξαγωγή κάποιων γενικών συμπερασμάτων για την περιοχή με την «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, εισάγουμε μια δεύτερη ομάδα σχημάτων (Σχήματα 6.5 έως 6.7) στα οποία φαίνεται η επίδραση του μονοκλινούς πρανούς στους παράγοντες τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης A_h και A_v , όπου $A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{v,ff}$ με

την απόσταση από τη στέψη x , όπου a_h =PHA και a_v =PVA είναι η μέγιστη οριζόντια και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφάνειας. Η παράμετρος $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου (π.χ. $a_{h,ff} = PHA_t$ για την περιοχή μπροστά από τον πόδα), και χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση όχι μόνο της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης a_h , αλλά και της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας a_v , καθώς $a_{v,ff} = 0$ για ένα κατακόρυφα προσπίπτον κύμα SV.

Εδώ παρουσιάζονται αποτελέσματα για την περιοχή του πρηνούς από -1km έως 1km και η κανονικοποίηση γίνεται ως προς τις εκάστοτε μονοδιάστατες (1D) συνθήκες ταλάντωσης. Για τον λόγο αυτό, δημιουργείται πρόβλημα έλλειψης σημείου αναφοράς μονοδιάστατων (1D) συνθηκών κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση από τη 1D ανάλυση που πρέπει να εισαχθεί στους παρονομαστές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης. Έτσι, υπάρχει δυσχέρεια ορισμού των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρηνούς και για αυτό σε όλα τα παρακάτω σχήματα δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για την κεκλιμένη επιφάνεια (γραμμοσκιασμένη περιοχή).

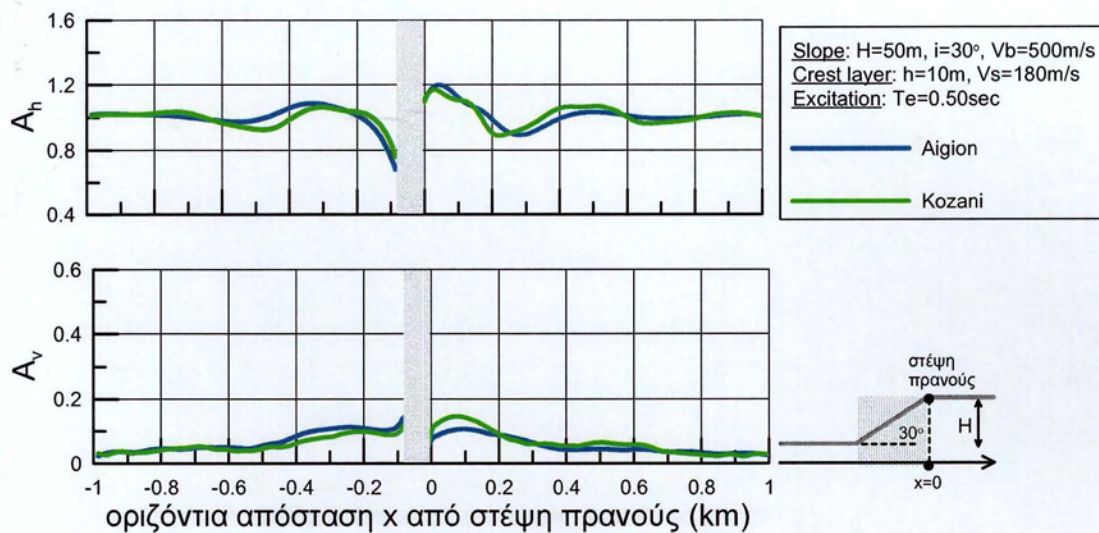
Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 6.5 έως 6.7 παρουσιάζονται διαγράμματα της χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης στις δύο διευθύνσεις (A_h και A_v), για συνδυασμούς πρηνών-διέγερσης με τα εξής χαρακτηριστικά κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης T_e :

i) $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.5)

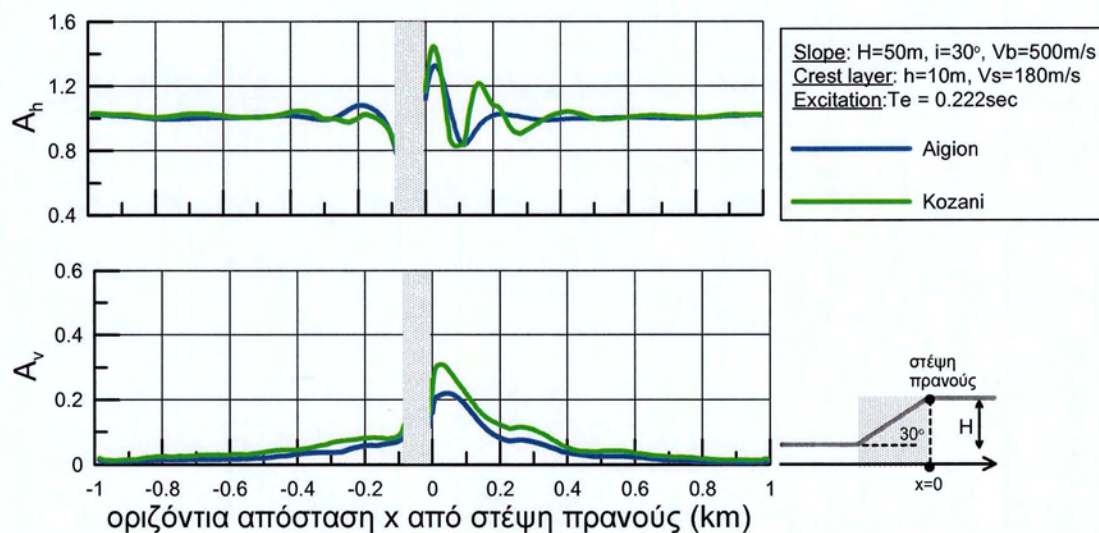
ii) $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.6)

iii) $i=45^\circ$ $T_e=0.10\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.7)

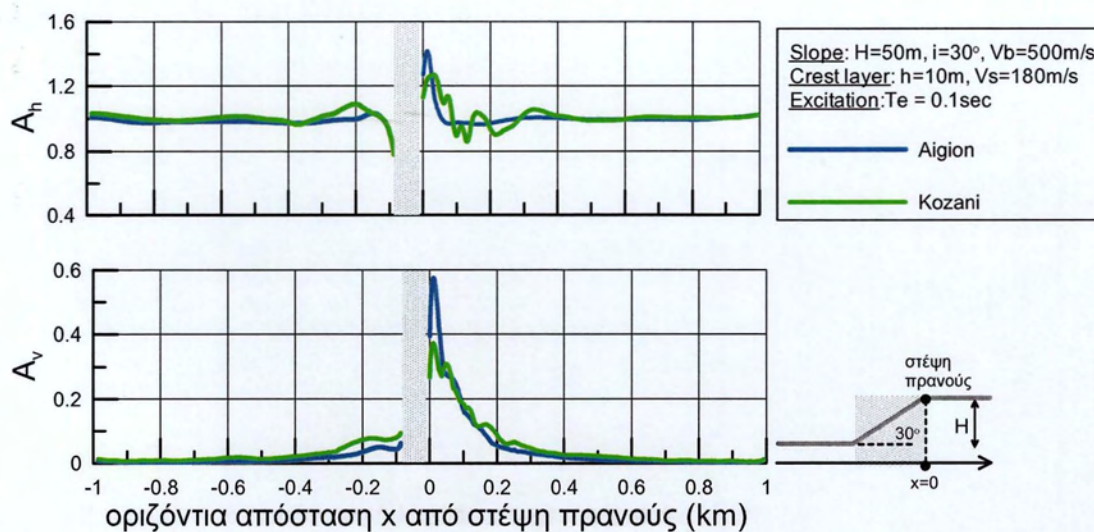
Τα αποτελέσματα για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις εμφανίζονται με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



Σχήμα 6.5. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία μονοκλινούς πρανούς με «μαλακή» στρώση (πάχους 10m, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη (πρανές με κλίση $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$, υπό $T_e=0.5\text{sec}$ για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους)



Σχήμα 6.6. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία μονοκλινούς πρανούς με «μαλακή» στρώση (πάχους 10m, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη (πρανές με κλίση $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$, υπό $T_e=0.222\text{sec}$ για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους)



Σχήμα 6.7. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία μονοκλινούς πρανούς με «μαλακή» στρώση (πάχους 10m, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη (πρανές με κλίση $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$, $\xi=5\%$, υπό $T_e=0.1\text{sec}$ για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους)

Από τα Σχήματα 6.5 έως 6.7 προκύπτουν οι εξής γενικές παρατηρήσεις:

- Αναμένεται εν γένει ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Οι επιδράσεις αυτές απομειώνονται με την απόσταση από το πρανές, έως ότου η απόκριση γίνει ίση με αυτή στο εκάστοτε ελεύθερο πεδίο. Ακόμη και μια αμιγώς οριζόντια διέγερση, προκαλεί σημαντική παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στη γειτονία του πρανούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης.
- Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας κίνησης παρουσιάζει έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση πίσω από τη στέψη, που μπορεί να χαρακτηρίζεται και από μεταβολή μεταξύ ενίσχυσης ($A_h > 1.0$) και απομείωσης ($A_h < 1.0$) σε μικρές οριζόντιες αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος λ των κυμάτων SV. Αντίστοιχα έντονη διαφοροποίηση εμφανίζεται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση. Το φαινόμενο είναι σχετικά πιο έντονο για τη διέγερση με πολλούς σημαντικούς κύκλους (Κοζάνη), αν και οι διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των 2 διεγέρσεων δεν είναι σημαντικές.

- Η ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης πίσω από τη στέψη είναι εντονότερη στον συντονισμό ($T_e=0.222\text{sec}$), ενώ για την πιο υψίσυχνη διέγερση ($T_e=0.1\text{sec}$) οι ενισχύσεις είναι εντονότερες και για την (παρασιτική) κατακόρυφη κίνηση.

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

Τέλος, από τη σύγκριση της 1^{ης} και 2^{ης} ομάδας σχημάτων επισημαίνεται ότι η τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης κίνησης στην κεκλιμένη επιφάνεια του πρανούς είναι αντίστοιχη όσων παρατηρούνται στις περιοχές πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα του πρανούς, και συνεπώς η μη-παρουσίαση αποτελεσμάτων για τους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης για την κεκλιμένη επιφάνεια (ελλείπει σαφούς σημείου αναφοράς 1Δ συνθηκών) δεν υποκρύπτει πρακτικό πρόβλημα για το σχεδιασμό έργων Πολιτικού Μηχανικού.

6.3. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης

Η έμφαση στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε και σε αυτό το κεφάλαιο στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (απόσβεση 5%) καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα:

- (α) η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο** AS_{ah} που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{ah} για την οριζόντια ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης

στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για την περιοχή πίσω από τη στέψη $S_{ah,c}$ και μπροστά από τον πόδα $S_{ah,t}$).

- (β) η τοπογραφική επιδείνωση του (παρασιτικού) ελαστικού φάσματος απόκρισης στην κατακόρυφη διεύθυνση ορίζεται με τον **φασματικό λόγο** AS_{av} που ορίζεται ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης S_{av} για την (παρασιτική) κατακόρυφη ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελευθέρου πεδίου $S_{ah,ff}$ (διαφορετικό για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, όπως ανωτέρω).

Οι ανωτέρω φασματικοί λόγοι AS_{ah} και AS_{av} είναι συναρτήσεις της θέσης του σημείου (συντεταγμένη x) και της περιόδου κατασκευής T , και αφορούν λόγο κρίσιμης απόσβεσης ίσο με 5%. Δεδομένου του ότι υπάρχει δυσχέρεια ορισμού των λόγων $AS_{ah}(T)$ και $AS_{av}(T)$ κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα 1Δ απόκριση που πρέπει να εισαχθεί στους παρονομαστές των σχέσεων ορισμού, στην εργασία αυτή δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς, όπως ακριβώς δεν παρουσιάστηκαν αποτελέσματα ούτε για τους λόγους A_h και A_v . Επισημαίνεται, ότι ο λόγος AS_{av} σχετίζεται με αμιγώς παρασιτική κατακόρυφη ταλάντωση, καθώς η εισερχόμενη διέγερση είναι κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV που δεν εισάγουν πρωτογενώς κατακόρυφη ταλάντωση των υλικών σημείων. Αυτός είναι και ο λόγος που ο ορισμός του AS_{av} γίνεται ως συνάρτηση της $S_{ah,ff}$, καθώς $S_{av,ff}=0$. Επισημαίνεται επίσης, ότι $AS_{ah} > 1$ απεικονίζει ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης, ενώ $AS_{ah} < 1$ απομείωση αυτής. Τέλος αναφέρεται ότι μηδενισμός της τοπογραφικής επίδρασης (με ακρίβεια μηχανικού) συνδέεται με τιμές $AS_{ah} \leq 1.1$ και $AS_{av} \leq 0.1$.

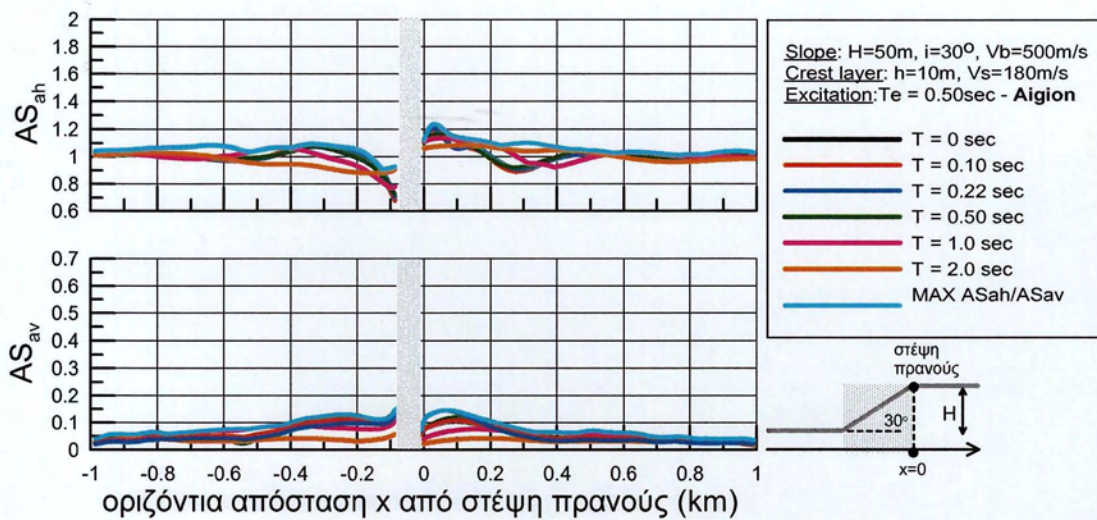
Όπως παρουσιάζεται ανωτέρω, ο στόχος των αναλύσεων ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης T_e στους προαναφερθέντες φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} , κατά μήκος όλης της επιφάνειας του εδάφους. Ο όγκος των αποτελεσμάτων είναι προφανώς τεράστιος, κι έτσι στην παρούσα εργασία γίνεται επιλογή χαρακτηριστικών

αποτελεσμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων γενικής εφαρμογής.

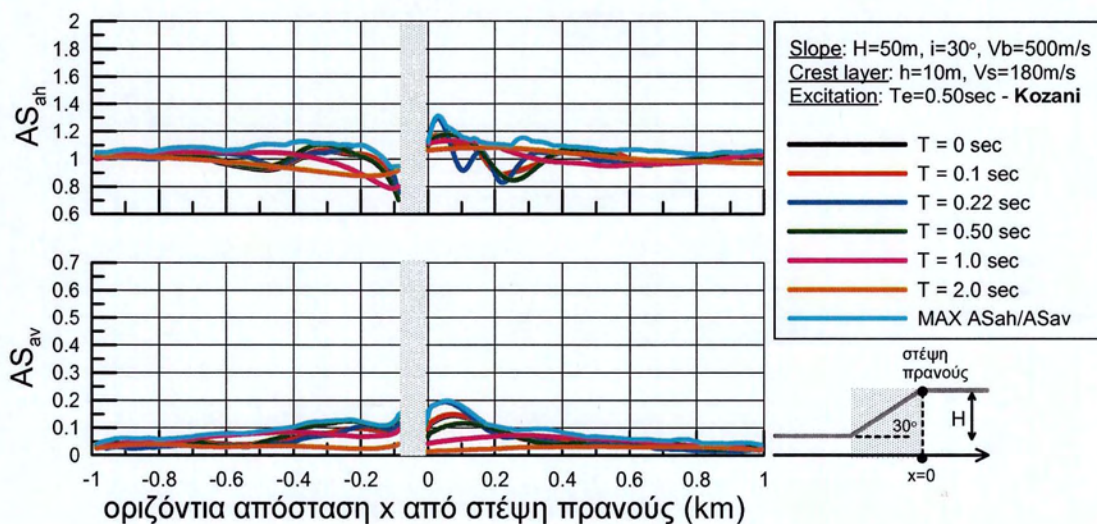
Έτσι, στην πρώτη ομάδα σχημάτων παρουσιάζεται η επίδραση του μονοκλινούς πρανούς στους φασματικούς λόγους AS_{sh} και AS_{sv} κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους και για επιλεγμένες περιόδους κατασκευής $T = 0, 0.1, 0.22, 0.5, 1.0$ και 2.0sec . Καθώς δεν ήταν δυνατόν να απεικονιστούν τα αποτελέσματα για όλες τις πιθανές περιόδους κατασκευής T , στα σχήματα αυτά εμπεριέχεται και μια (κυανή) καμπύλη «περιβάλλουσας» που δείχνει τη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης ανά θέση τοπογραφικής επιδείνωσης ανεξαρτήτως της περιόδου κατασκευής T για την οποία αυτή προκύπτει. Κάθε σχήμα παρουσιάζει μια περίπτωση δεσπόζουσας περιόδου T_e και έναν φασματικό λόγο (AS_{sh} ή AS_{sv}), και συγκρίνει την τοπογραφική επιδείνωση που προκύπτει κατά περίπτωση και για τις 2 διεγέρσεις ίδιου δεσπόζοντος μήκους κύματος λ που χρησιμοποιήθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 6.8 έως 6.13 παρουσιάζεται η μεταβολή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης AS_{sh} και AS_{sv} με την απόσταση από τη στέψη x (χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης), για τους εξής συνδυασμούς πρανούς – διέγερσης:

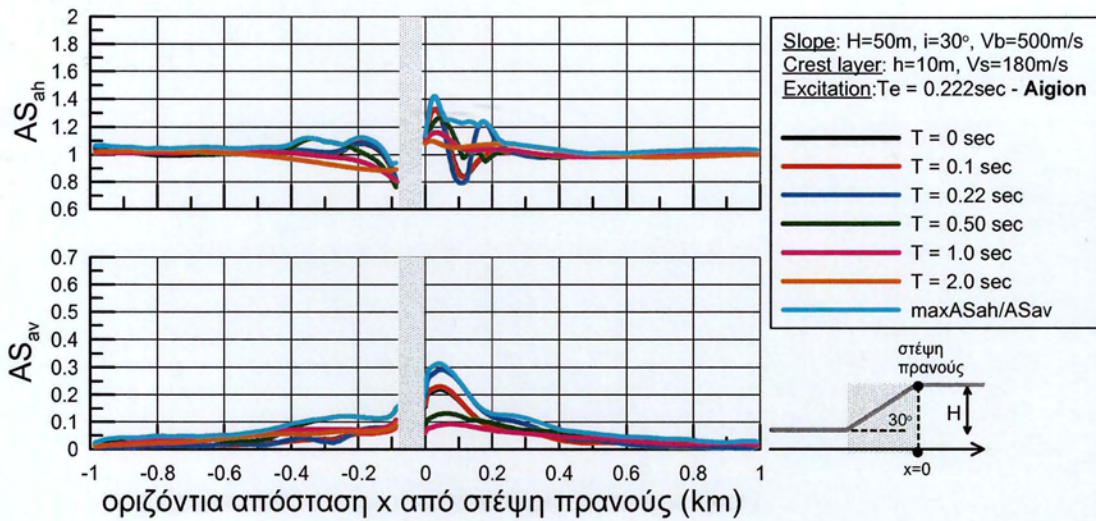
- i) πρανές κλίσης $i=30^\circ$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, τιμές του AS_{sh} και του AS_{sv} για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 6.8), και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 6.9)
- ii) πρανές κλίσης $i=30^\circ$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, τιμές του AS_{sh} και του AS_{sv} για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 6.10), και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 6.11)
- iii) πρανές κλίσης $i=30^\circ$, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, τιμές του AS_{sh} και του AS_{sv} για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση του Αιγίου (Σχήμα 6.12), και για την επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση της Κοζάνης (Σχήμα 6.13)



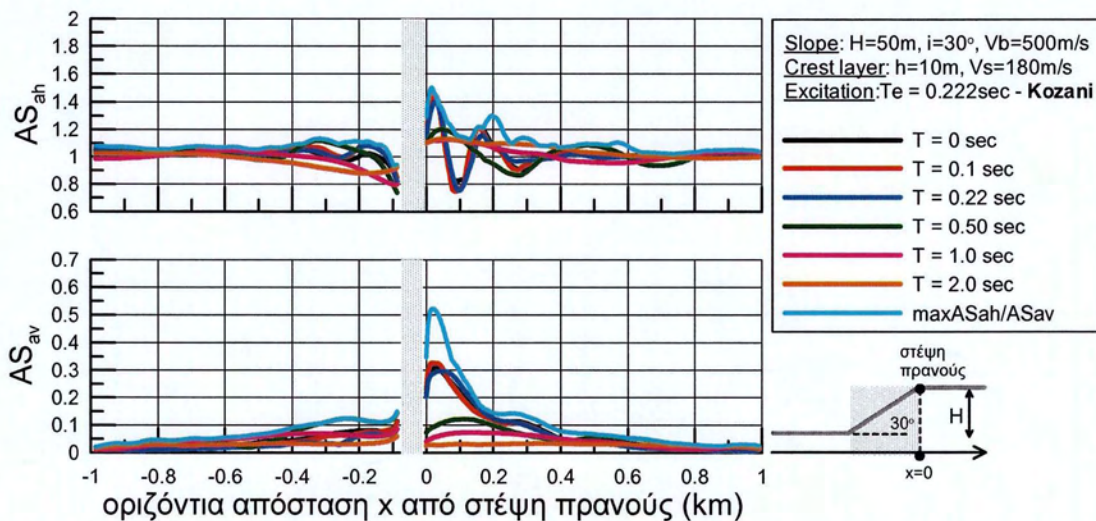
Σχήμα 6.8. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$



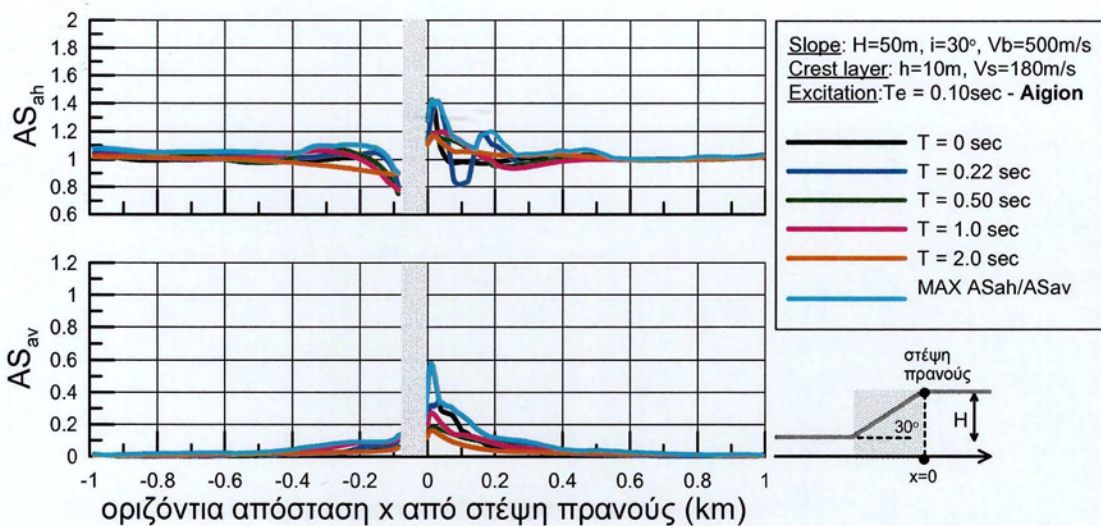
Σχήμα 6.9. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$



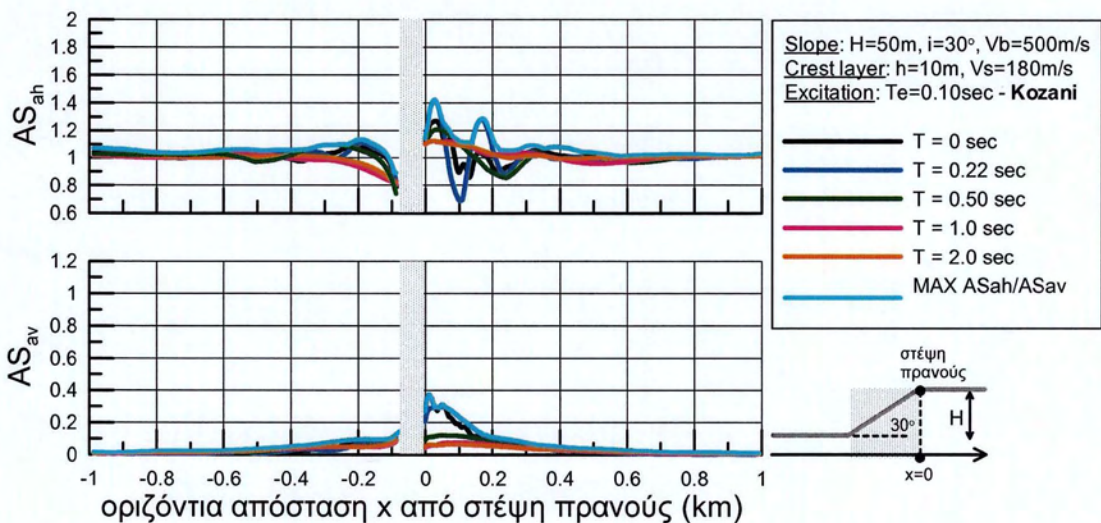
Σχήμα 6.10. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 6.11. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 6.12. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 6.13. Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια (AS_{ah}) και κατακόρυφη διεύθυνση (AS_{av}), στη γειτονία πρανούς (με κλίση $i=30^\circ$ και $V_b=500\text{m/s}$), με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) στην περιοχή πίσω από τη στέψη, υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.

Θεωρώντας τα ενδεικτικά αποτελέσματα αυτά ως μια τυπική απεικόνιση του φαινομένου, προκύπτει:

- Τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης ποιοτικά αντίστοιχη με εκείνη των ομοιόμορφων πρυνών (π.χ. ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρυνού, εμφάνιση σημαντικής παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης στη γειτονία του πρυνού, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης).
- Η τοπογραφική επιδείνωση διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής T . Σε κάθε περίπτωση διαφαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής. Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση είναι μη σημαντική (και πρακτικώς αμελητέα) για $T=1$ και 2sec , και στις τρεις περιπτώσεις διέγερσης, ενώ είναι μη σημαντική και για $T=0.5\text{sec}$ στην περίπτωση της υψίσυχνης διέγερσης ($T_e=0.1\text{sec}$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση για $T=0\text{sec}$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) σε ένα μεγάλο βαθμό συμπίπτει ή υπολείπεται λίγο από την (κυανή) καμπύλη «περιβάλλουσας», και αυτό ισχύει για όλες τις θέσεις κατά μήκος του πρυνού και για τις τρεις περιπτώσεις διεγέρσεων.

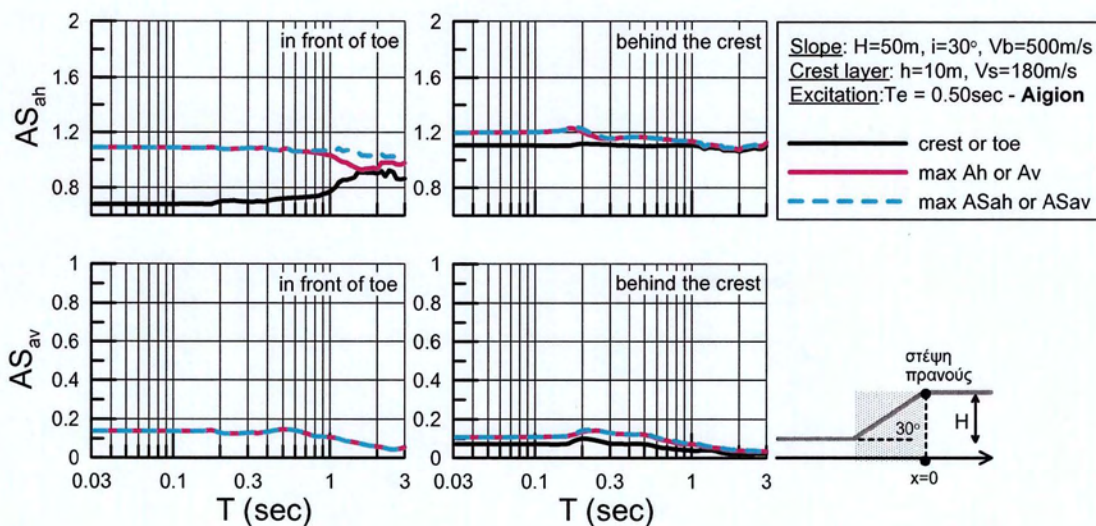
Σημειώνεται ότι, στην περίπτωση της έντονα υψίσυχνης διέγερσης με $T_e=0.1\text{sec}$ και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις (Αιγίου, Κοζάνης), για τον υπολογισμό της κυανής καμπύλη «περιβάλλουσας» δεν ελήφθησαν υπ' όψιν τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το εύρος περιόδων κατασκευής $T=0-0.218\text{sec}$. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο καθώς οι τιμές των AS_{ah} και AS_{av} στις πολύ μικρές περιόδους είναι σχετικά αυξημένες, μάλλον λόγω μικροταλαντώσεων αριθμητικής φύσης (π.χ. οι εν λόγω ταλαντώσεις εξακολουθούν να υπάρχουν και σε τεράστιες αποστάσεις από το πρυνές, υποδεικνύοντας ότι δεν οφείλονται σε ανακλάσεις κυμάτων στο πρυνές).

6.4. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης

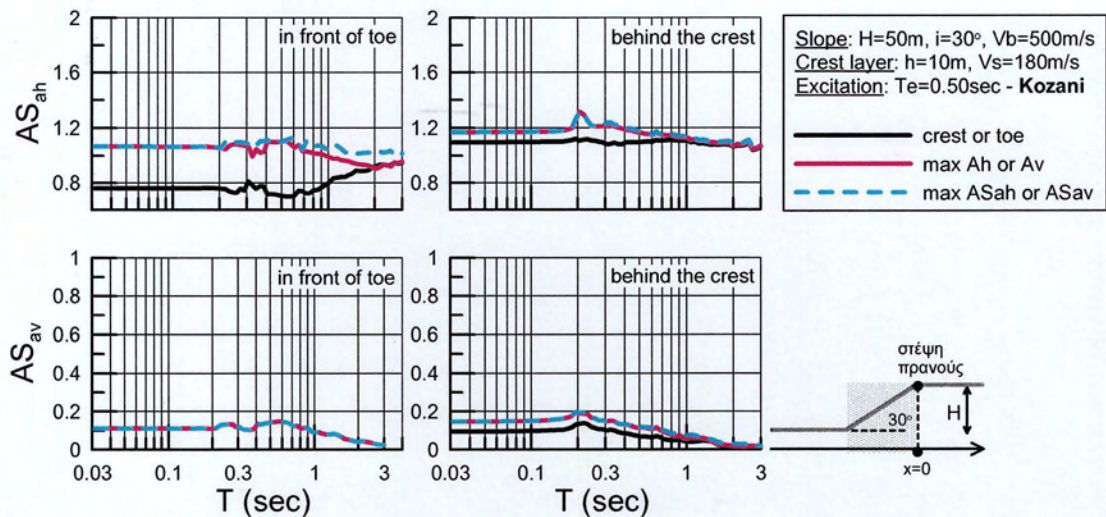
Για να εκτιμηθεί το πώς επηρεάζει ένα μη-ομοιόμορφο πρυνές (πρυνές με «μαλακή» στρώση) ολόκληρο το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων, εντοπίζονται σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος κατά μήκος του πρυνού. Για παράδειγμα, μια τέτοια θέση πίσω από τη στέψη και μπροστά

από τον πόδα είναι εκείνη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή των παραγόντων τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης ($\max AS_{ah}$ και $\max AS_{av}$), για το εύρος περιόδων $T=0-3\text{sec}$, και η θέση αυτή είναι διαφορετική ανά συνδυασμό πρανούς – διέγερσης, και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα. Κάποιες άλλες σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος είναι οι αντίστοιχες θέσεις πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα για την περίοδο κατασκευής $T=0\text{sec}$ ($\max Ah$ και $\max Av$), καθώς γι' αυτές υπάρχει σημαντικά περισσότερη έρευνα στη βιβλιογραφία. Ταυτόχρονα, πέρα από τις δύο προαναφερθείσες θέσεις, εκτιμάται η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων ακριβώς στην θέση της στέψης ή του πόδα του πρανούς, ως χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του πρανούς.

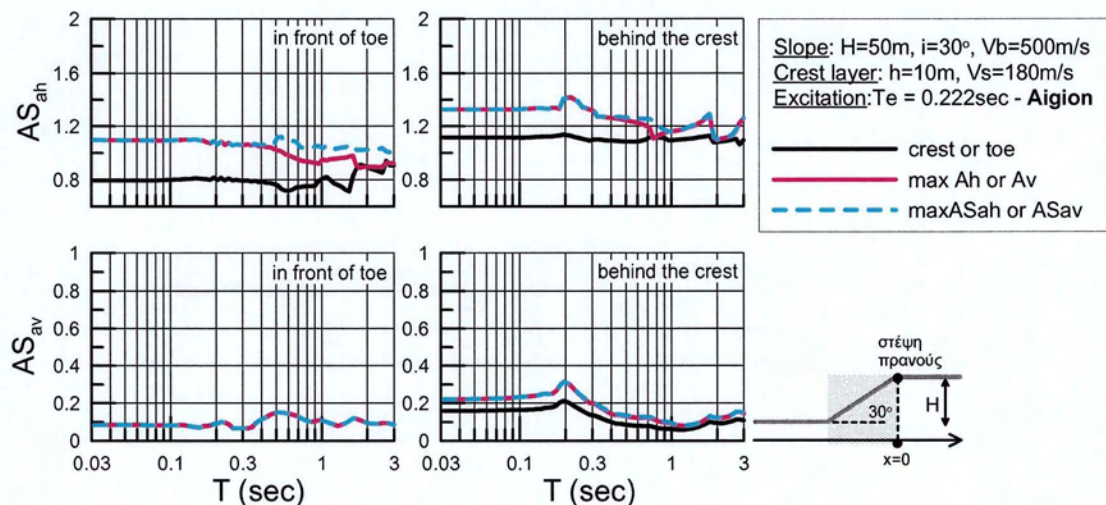
Έτσι, στα Σχήματα 6.14 έως 6.19 παρουσιάζεται για τις σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος κατά μήκος του πρανούς και ξεχωριστά για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης διεύθυνσης, για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς – διέγερσης που εξετάζονται:



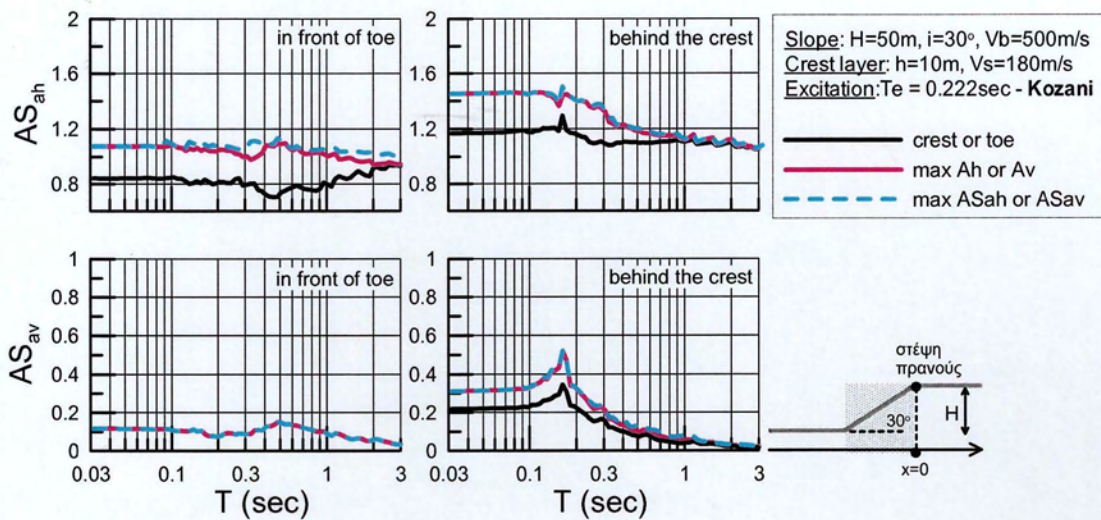
Σχήμα 6.14. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



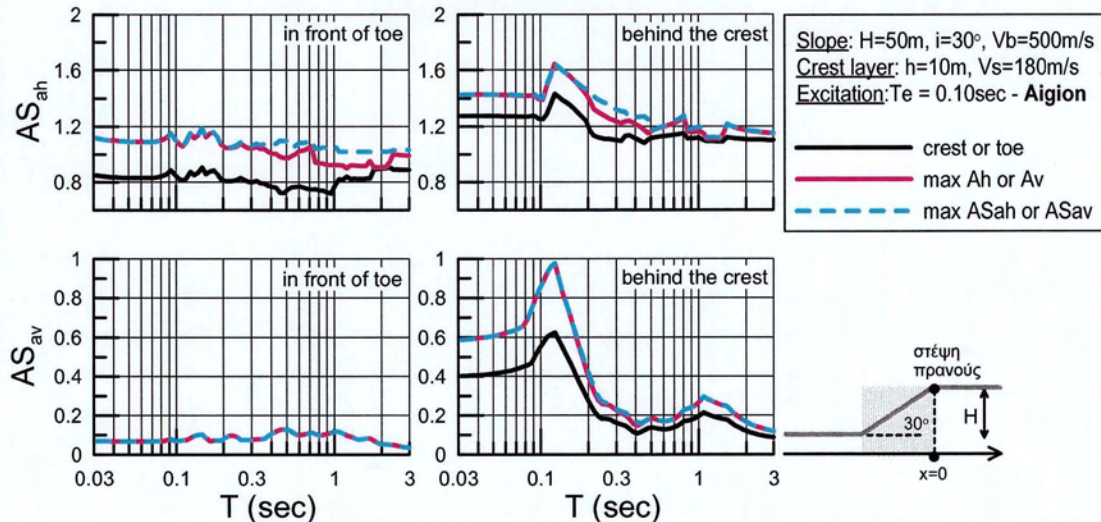
Σχήμα 6.15. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.



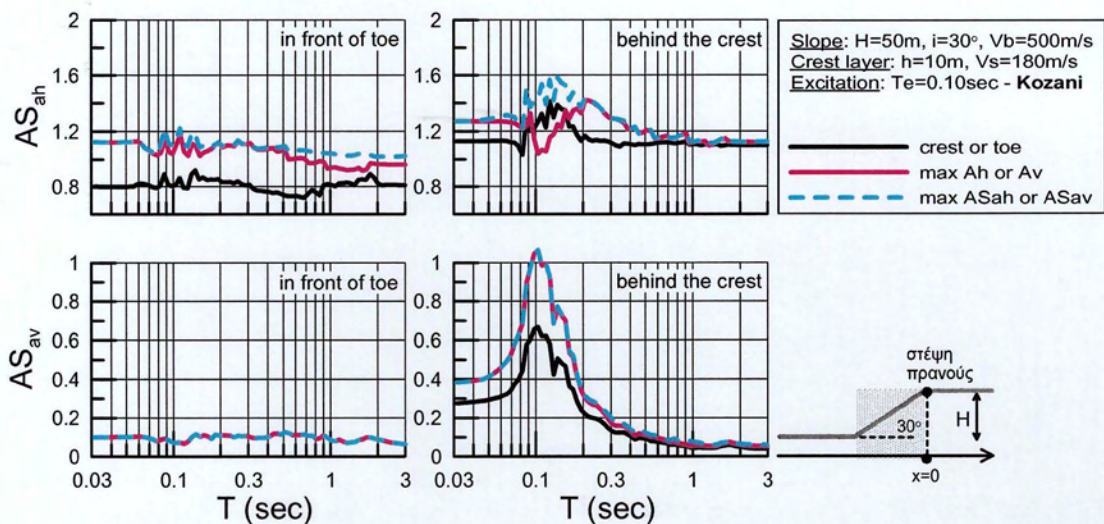
Σχήμα 6.16. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$.



Σχήμα 6.17. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 6.18. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$ (διέγερση Αιγίου με 1 σημαντικό κύκλο) και απόσβεση $\xi=5\%$



Σχήμα 6.19. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές με $i=30^\circ$, $V_b=500\text{m/s}$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$ (διέγερση Κοζάνης με 4 σημαντικούς κύκλους) και απόσβεση $\xi=5\%$.

Από τα Σχήματα 6.14 έως 6.19 παρατηρείται ότι:

- Για όλους τους συνδυασμούς πρανούς – διέγερσης που εξετάστηκαν, η τοπογραφική φασματική επιτάχυνση AS_{ah} στη θέση όπου εμφανίζεται η $maxA_h$ πίσω από την στέψη συμπίπτει απόλυτα ή είναι πολύ κοντά με την μέγιστη οριζόντια τοπογραφική επιδείνωση ανεξάρτητα από την θέση στην οποία αυτή εμφανίζεται, κι αυτό αφορά όλες τις περιόδους κατασκευής T . Το ίδιο ισχύει και για την τοπογραφική φασματική επιτάχυνση AS_{av} , τόσο για τις περιοχές πίσω από τη στέψη όσο και μπροστά από τον πόδα του πρανούς.
- Αντιθέτως, οι τοπογραφικές φασματικές επιτάχυνσεις AS_{ah} και AS_{av} ακριβώς στη στέψη ή/και στον πόδα του πρανούς υπολείπονται συνήθως συστηματικά, με εξαίρεση την περίπτωση της AS_{av} όπου στον πόδα του πρανούς εμφανίζεται η μέγιστη φασματική τοπογραφική επιδείνωση.

6.5. Πρόταση και αξιολόγηση παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης

Με βάση λοιπόν τις παραγράφους 6.3 και 6.4 και στοχεύοντας σε μια συντηρητική προσέγγιση του φαινομένου, η θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0\text{sec}$ αποτελεί το πιο σημαντικό σημείο αναφοράς. Συνεπώς, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε αυτή τη θέση (διαφορετική ανά συνδυασμό πρηνούς – διέγερσης, και διαφορετική στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα) αποτελεί μια εύλογα συντηρητική εκτίμηση του πως επηρεάζει το ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους ένα πρηνές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη.

Με αυτό το σκεπτικό, η έμφαση δίνεται στην εκάστοτε θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0\text{sec}$, και για την οποία παρουσιάζεται η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια (AS_{ah}) και (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρηνούς – διέγερσης που εξετάζονται. Ειδικότερα, στην 1^η ομάδα σχημάτων (Σχήματα 6.20 έως 6.22) συμπεριλαμβάνεται η πρόταση των Assimaki et al. (2005) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης (για κατηγορία εδάφους B κατά EC8, η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος αρκετά δύσμητο ώστε να μπορεί να διαμορφώσει ομοιόμορφο πρηνές ύψους $H=50\text{m}$), και το οποίο θεωρείται αρχικώς ομοιόμορφο (δηλαδή αγνοώντας τη «μαλακή» στρώση, οπότε $V_{s,30} = V_b = 500\text{m/s}$). Η περιβάλλουσα (Assimaki et al. 2005) προκύπτει από τις αναλυτικές σχέσεις για τον προτεινόμενο συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης $F_{\text{τοπο}}$ του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου κατασκευής T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται αδρά από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της επιλεγείσας κατηγορίας εδάφους κατά τον EC-8 ($T_B=0.15\text{sec}$, $T_C=0.5\text{sec}$). Πιο συγκεκριμένα για $T=0\text{sec}$, προτείνεται $AS_{ah}=1.6$ για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρηνούς – διέγερσης που εξετάζονται. Στη συνέχεια η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1.3 για $T_B \leq T \leq T_C$ όπου διατηρείται σταθερή μέχρι την περίοδο $T=T_C$. Τέλος, για $T_C \leq T \leq 1\text{sec}$ η τιμή του AS_{ah} μειώνεται ξανά μέχρι το 1.0 και παραμένει σταθερά ίση με 1.0 για κάθε $T \geq 1\text{sec}$. Οι αναλυτικές σχέσεις και το προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού για τον συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης $F_{\text{τοπο}}$ έχουν ήδη αναφερθεί με λεπτομέρεια στην παράγραφο 2.2 (Σχήμα 2.5).

Επιπλέον, παρατίθεται και η πρόταση της παρούσας εργασίας, η οποία εκτιμά την τιμή σχεδιασμού της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης για $T=0\text{sec}$ ($A_{h_{\max}}, A_{v_{\max}}$) από τις πολυ-παραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas and Paradimitriou (2005) για ομοιόμορφο πρηνές, και την οποία διατηρεί ως ισχύουσα για όλες τις περιόδους κατασκευής T που είναι μικρότερες ή ίσες της εκάστοτε δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης T_e (ίσης με 0.5sec, 0.222sec, 0.1sec, στις εν λόγω αναλύσεις). Για μεγαλύτερες περιόδους κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται (έστω) γραμμικά, και εξαλείφεται για τιμές περιόδου κατασκευής μεγαλύτερες ή ίσες μιας χαρακτηριστικά «μεγάλης» τιμής περιόδου κατασκευής T_0 .

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

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

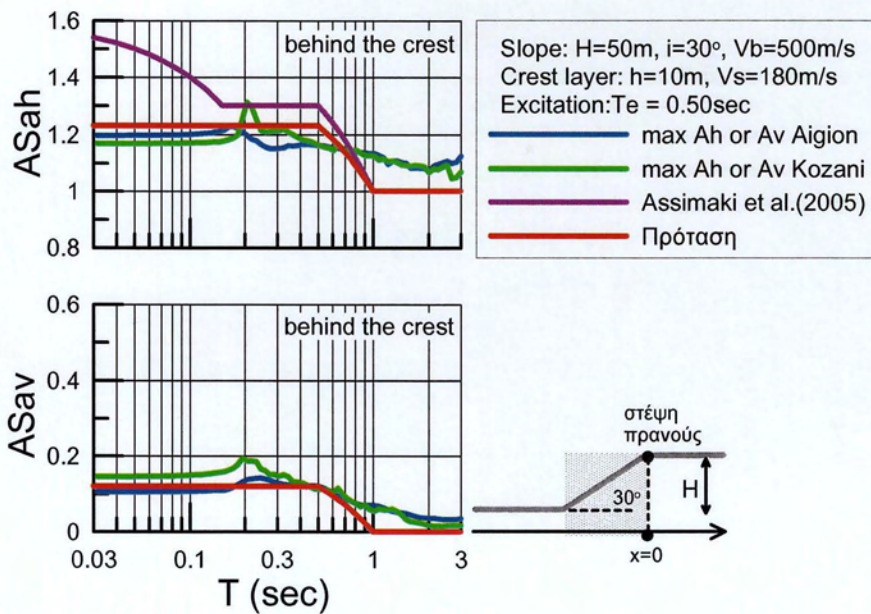
όπου T_0 είναι η χαρακτηριστικά «μεγάλη» τιμή της περιόδου κατασκευής για την οποία η τοπογραφική επιδείνωση είναι πρακτικώς αμελητέα, και η οποία παίρνει τιμές $T_0=2T_e$, αλλά με ελάχιστη τιμή ίση με 1.0sec (δηλαδή $T_0=2T_e$ για ιδιαίτερα χαμηλόσυχνες διεγέρσεις με $T_e > 0.5\text{sec}$, και $T_0 = 1\text{sec}$ για τις πιο συνήθεις περιπτώσεις όπου $T_e \leq 0.5\text{sec}$). Εντελώς αντίστοιχα, για την κατακόρυφη διεύθυνση, η (μέγιστη) τοπογραφική φασματική επιδείνωση $AS_{av,d}$ δίνεται από τη σχέση:

$$AS_{av,d} = \begin{cases} A_{v_{\max}}, & T \leq T_e \\ A_{v_{\max}} - \frac{A_{v_{\max}}}{(T_0 - T_e)}(T - T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 0.0, & T_0 \leq T \end{cases} \quad (2)$$

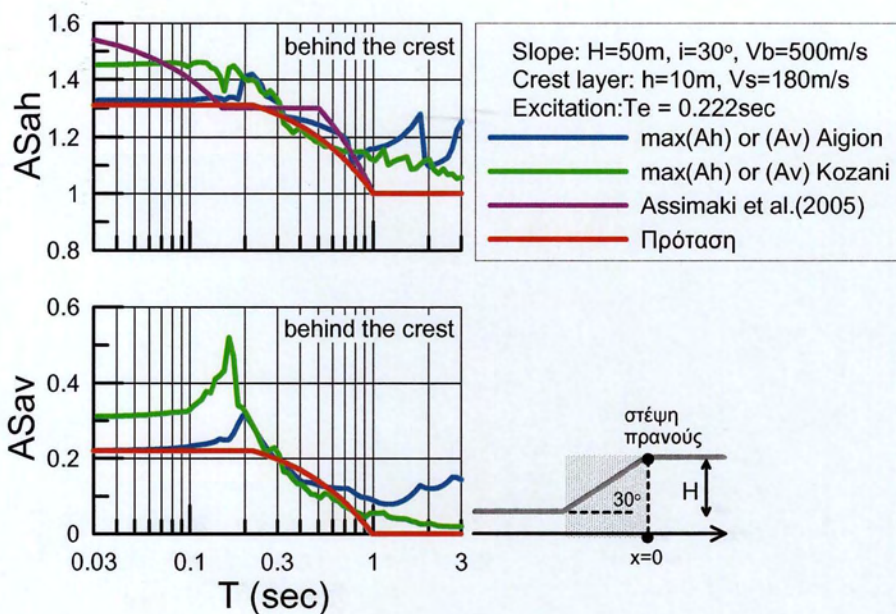
όπου T_0 είναι η ίδια χαρακτηριστικά «μεγάλη» τιμή της περιόδου κατασκευής που θεωρείται και για την οριζόντια διεύθυνση. Επισημαίνεται, ότι οι ανωτέρω σχέσεις είναι εντελώς ίδιες με εκείνες που ορίστηκαν για ομοιόμορφα πρηνή, απλά για τις περιπτώσεις που εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό έχουμε $T_0=1.0\text{ sec}$ για όλες τις δεσπόζουσες περιόδους ($T_e = 0.1, 0.222, 0.5\text{sec}$).

Δηλαδή σε πρώτη φάση, εφαρμόζονται οι προτεινόμενες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) και

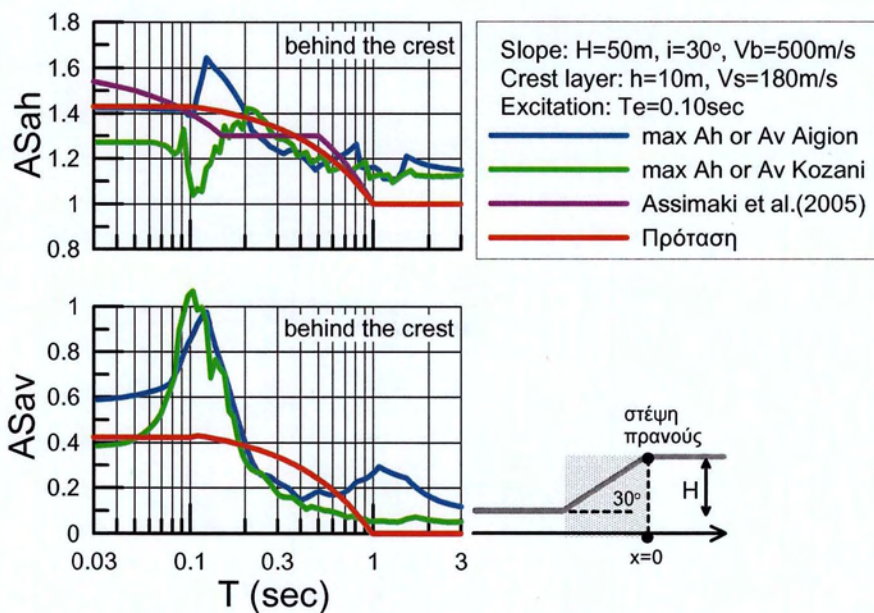
Bouckovalas and Papadimitriou (2005) κάνοντας την θεώρηση πως το αναλυθέν πρανές είναι ομοιόμορφο με ύψος $H=50\text{m}$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_b=500\text{m/sec}$ όπως φαίνεται και στα Σχήματα 6.20 έως 6.22, δηλαδή αγνοώντας πρακτικώς την ύπαρξη «μαλακής» στρώσης, και συγκρίνονται οι προβλέψεις τους με τα αποτελέσματα αναλύσεων με τη «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$ και $V_s=180\text{m/s}$.



Σχήμα 6.20 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5\text{sec}$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 6.21. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό διεγέρσεις με δεσπόμενη περίοδο $T_e=0.222sec$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.

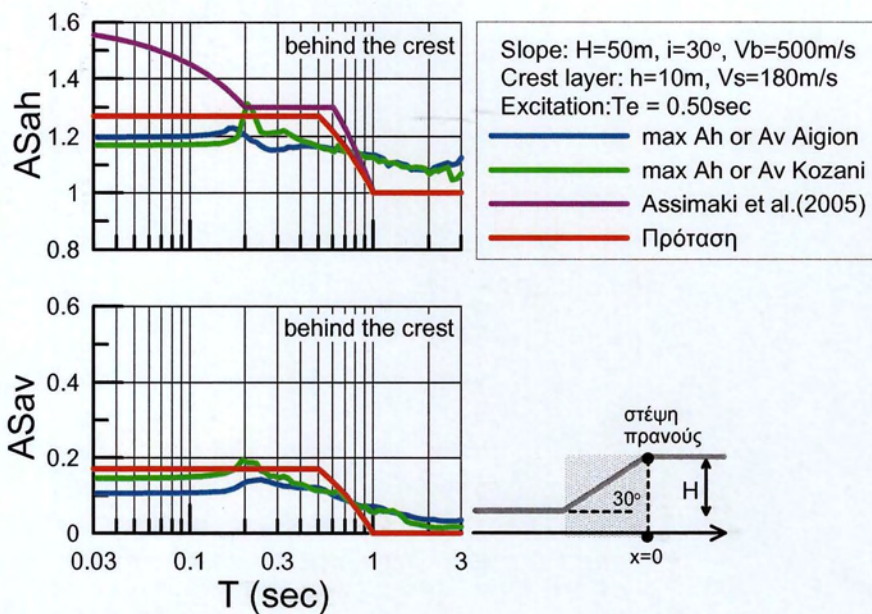


Σχήμα 6.22. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό διεγέρσεις με δεσπόμενη περίοδο $T_e=0.1sec$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση ομοιόμορφου πρανούς.

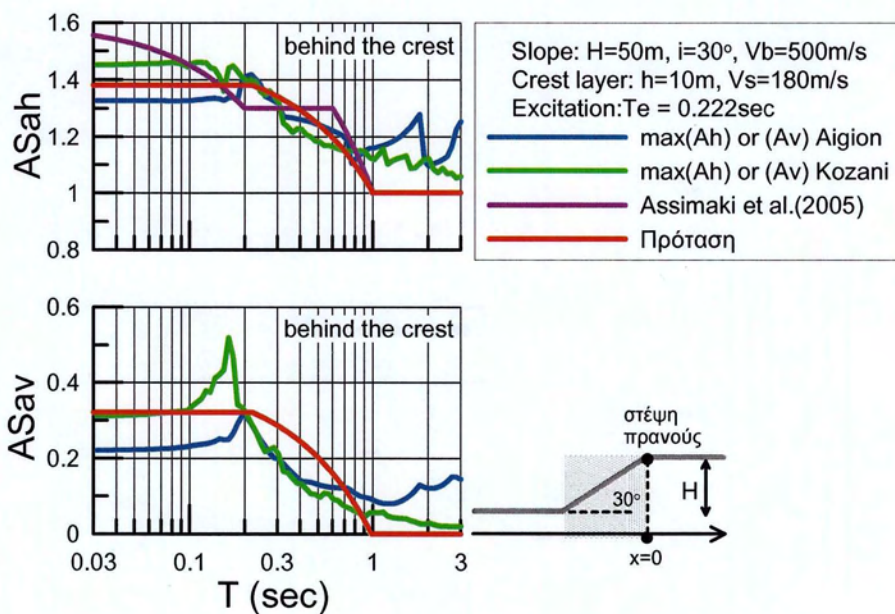
Στη συνέχεια, στην 2^η ομάδα σχημάτων (Σχήματα 6.23 έως 6.25) εξετάζεται η ισχύς των προτάσεων των Assimakí et al.(2005) και της παρούσας εργασίας για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης προσαρμοσμένες κατάλληλα ώστε να δίνουν αποτελέσματα για πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση, όπως το αναλυθέν στις αναλύσεις.

Δηλαδή όπως και για την 1^η ομάδα σχημάτων, η περιβάλλουσα (Assimakí et al. 2005), προκύπτει από τις αναλυτικές σχέσεις για τον προτεινόμενο συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου κατασκευής T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται αδρά από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της κατηγορίας εδάφους κατά τον EC-8, όπου εδώ $T_B=0.20sec$, $T_C=0.60sec$ (κατηγορία εδάφους C, καθώς $V_{s,30} = 30/[(10/180)+(20/500)]=314m/s$). Πιο συγκεκριμένα για $T=0sec$, $ASah=1.6$ για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς – διέγερσης που εξετάζονται. Στη συνέχεια η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1.3 για $T_B \leq T \leq T_C$ όπου διατηρείται σταθερή μέχρι την περίοδο $T=T_C$. Τέλος, για $T_C \leq T \leq 1sec$ η τιμή του $ASah$ μειώνεται ξανά μέχρι το 1.0 και παραμένει σταθερή για κάθε $T \geq 1sec$. Συνεπώς, η μόνη διαφορά στην περιβάλλουσα των Assimakí et al. (2005) είναι η αλλαγή των τιμών των T_B και T_C , με βάση την κατηγορία εδάφους, και συνεπώς η μετάθεση του plateau με $ASah = 1.3$ σε μεγαλύτερες περιόδους λόγω της ύπαρξης «μαλακής» επιφανειακής στρώσης.

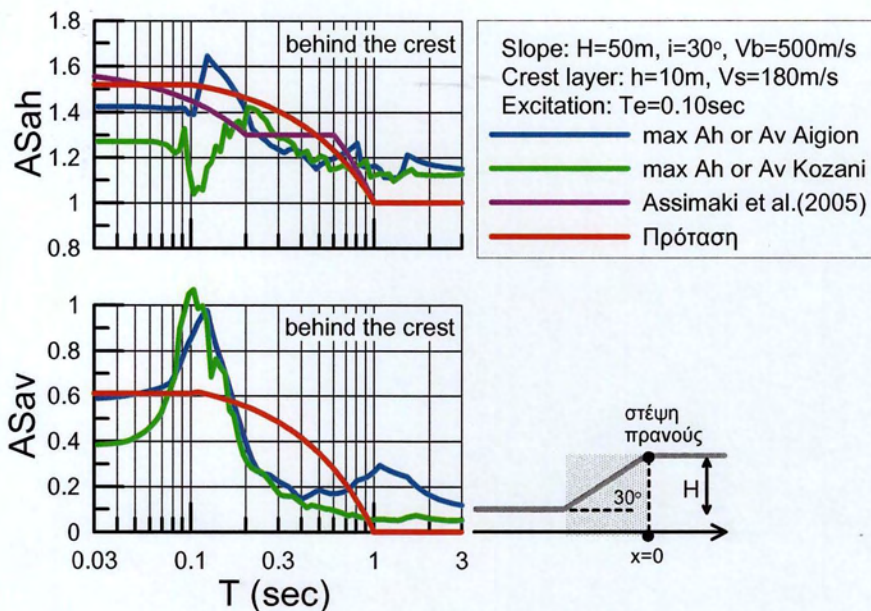
Αντίστοιχα, και η πρόταση της παρούσας εργασίας αναπροσαρμόζεται, καθώς οι τιμές των Ah_{max} και Av_{max} υπολογίζονται ξανά για δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda = \lambda_{30} = V_{s30}T_e$, δηλαδή μικρότερη τιμή του λ και συνεπώς αντίστοιχα μεγαλύτερη τιμή του αδιάστατου ύψους του πρανούς H/λ . Συνεπώς, η πρόταση της παρούσας εργασίας (βλέπε σχέσεις 1 και 2 παρόντος κεφαλαίου) είναι η μετάθεση των Ah_{max} και Av_{max} προς μεγαλύτερες τιμές, λόγω της ύπαρξης «μαλακής» επιφανειακής στρώσης.



Σχήμα 6.23. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.5sec$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 6.24. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.



Σχήμα 6.25. Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη πρανούς με $i=30^\circ$ και «μαλακή» στρώση (πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.1\text{sec}$, και σύγκρισή τους με φάσμα σχεδιασμού των Assimaki et al (2005) και της πρότασης της παρούσας εργασίας, και οι δύο με θεώρηση μη-ομοιόμορφου πρανούς.

Συνεπώς, από τις δύο ομάδες σχημάτων (συνολικά, Σχήματα 6.20 έως 6.25) συμπεραίνεται:

- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005), όπως αναφέρθηκε ήδη στο κεφάλαιο 5 για την τοπογραφική ενίσχυση στην οριζόντια διεύθυνση, είναι ποιοτικώς ορθή για ομοιόμορφα πρανή, μα μάλλον υπερεκτιμά τις ενισχύσεις σε μικρές περιόδους κατασκευής ($T < T_B$ του φάσματος σχεδιασμού του EC8). Επομένως, ίσως δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση ύπαρξης «μαλακής» στρώσης, καθώς το φάσμα επιταχύνσεων στην περιοχή πίσω από τη στέψη εμφανίζεται αυξημένο. Με την προσαρμογή της σχέσης ώστε να δίνει αποτελέσματα για μη-ομοιόμορφα πρανή, όπως φαίνεται στη 2^η ομάδα σχημάτων, δεν αλλάζει κάτι ουσιαστικό αφού η τιμή της οριζόντιας συνιστώσας AS_{ah} παραμένει σταθερή και μόνο η καμπύλη περιβάλλουσας μετατοπίζεται ελαφρώς προς μεγαλύτερες περιόδους.
- Η πρόταση της παρούσας εργασίας είναι της ίδιας λογικής με εκείνης των Assimaki et al.(2005), την οποία όμως επεκτείνει και στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, και της

προσδίδει αυξημένη ποσοτική ακρίβεια με χρήση πολυ-παραμετρικών σχέσεων από τη βιβλιογραφία (μη σταθερή τιμή $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, συμφώνως με τα αριθμητικά αποτελέσματα). Για τον λόγο αυτό, δίνει επαρκή αποτελέσματα για πρανή με «μαλακή» στρώση αν $T_e \geq T_s$, αλλά σε περίπτωση υψίσυχων διεγέρσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφυλακτικότητα (πιθανώς υποεκτίμηση ενισχύσεων στην περιοχή της T_e).

6.6. Ποσοτική και χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης

Όπως αναφέρθηκε με λεπτομέρεια στην βιβλιογραφική αναδρομή, στο άρθρο των Bouckonas & Paradimitriou (2005) γίνεται διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους (μπρος και πίσω από το πρανές) και προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού για: α) την επίδραση της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στις 2 συνιστώσες ($A_{h,max}$, $A_{v,max}$) και β) στην κανονικοποιημένη απόσταση μέχρι το ελεύθερο πεδίο, και πάλι στις 2 συνιστώσες (D_h/H , D_v/H). Με βάση τα προταθέντα μεγέθη, γίνεται δυνατός ο ορισμός **χωρικών περιβαλλουσών σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$** με την απόσταση x από το πρανές, οι οποίες όμως παρουσιάζονται στο άρθρο των Bouckonas & Paradimitriou (2006). Αντίστοιχες σχέσεις σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση έχουν προταθεί επίσης από τους Assimaki et al. (2005).

Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραγράφου 6.3 για την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης όπως αυτά προέκυψαν από τις αναλύσεις σε πρανές με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πάχους $h=10m$ και $V_s=180m/s$ (όπως αυτό που εξετάζεται) για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις (Αιγίου με $N=1$ και Κοζάνης με $N=4$), με τα αντίστοιχες προβλέψεις χρησιμοποιώντας τις προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckonas & Paradimitriou (2005). Πιο συγκεκριμένα, γίνεται σύγκριση των μεγεθών $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h/H και D_v/H με βάση τις αναλύσεις, με 3 σετ προβλέψεων των τιμών τους με χρήση των προαναφερθέντων σχέσεων, και:

(α) θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς, αγνοώντας τη «μαλακή» στρώση ($V=V_b=500m/s$), στο Σχήμα 6.26, μια θεώρηση υπερ-απλουστευτική,

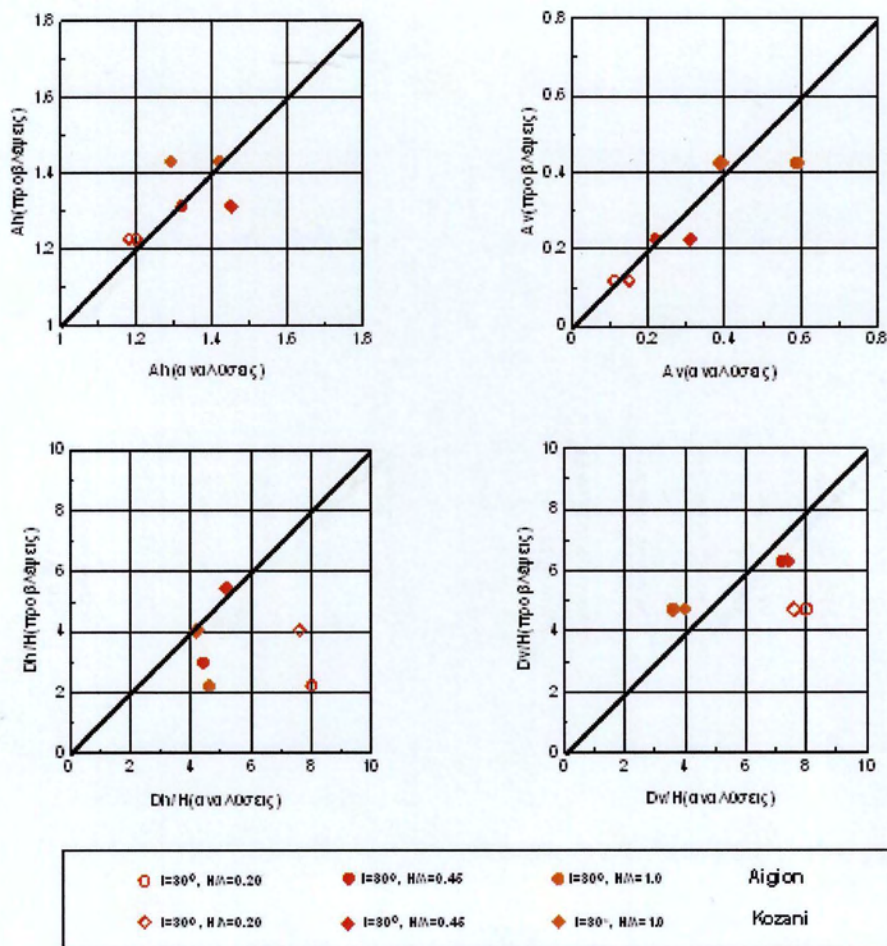
(β) Θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς, με ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων ίση με την ταχύτητα στα πρώτα 30m ($V=V_{s,30} = 314\text{m/s}$), στο Σχήμα 6.27, μια θεώρηση που θεωρείται συμβατή με τη λογική του EC8, και

(γ) Θεώρηση ομοιόμορφου εδαφικού πρανούς, με ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε όλο το πρανές ίση με την ταχύτητα στη «μαλακή» στρώση (αγνοώντας ότι η «μαλακή» στρώση έχει πεπερασμένο πάχος, $V=V_s=180\text{m/s}$), στο Σχήμα 6.28, μια θεώρηση αναφοράς (και μόνον), καθώς ένα τέτοιο πρανές είναι τόσο ευτημητο που πιθανώς θα είχε και προβλήματα στατικής ευστάθειας.

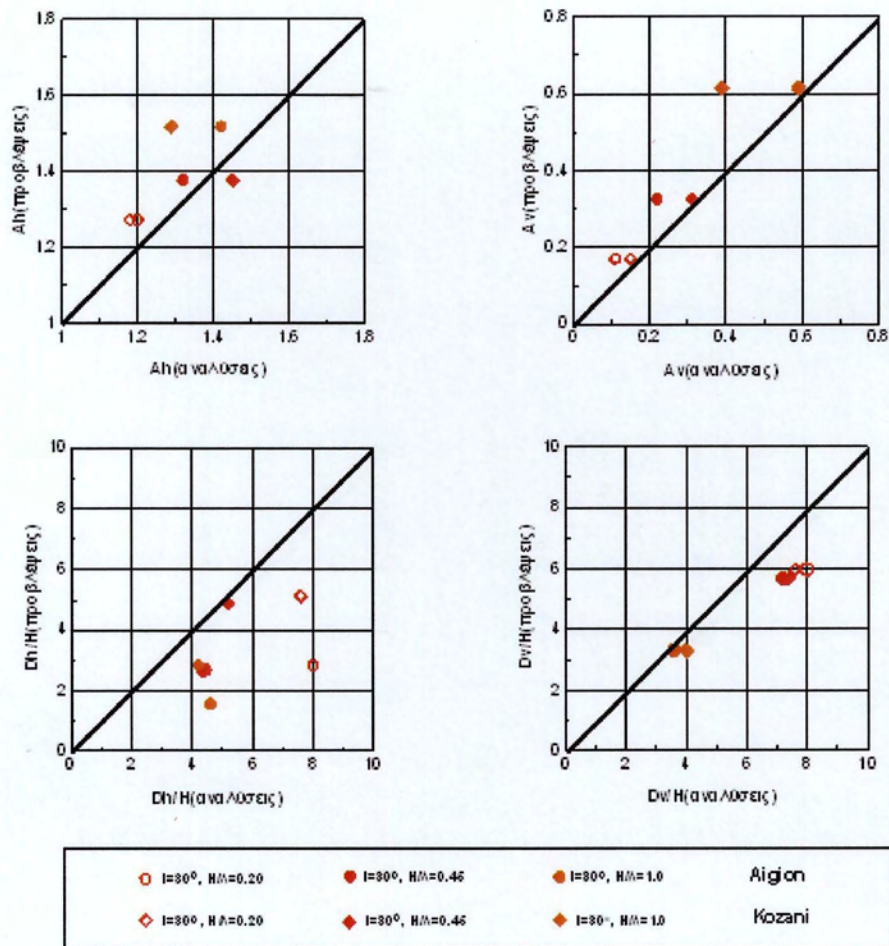
Επισημαίνεται ότι στα Σχήματα 6.26 έως 6.28 δίνονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα για τις 6 διαφορετικές αναλύσεις, ενώ στο Σχήμα 6.29 τα εν λόγω αποτελέσματα συνοψίζονται και διαφοροποιούνται μόνο ως προς την επιλεγείσα θεώρηση προσεγγιστικής εκτίμησης. Σημειώνεται ότι ως αποστάσεις D_h και D_v έως το ελεύθερο πεδίο, θεωρήθηκαν οι αποστάσεις για τις οποίες οι τιμές της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης γίνονται για πρώτη φορά μικρότερες από 10%, δηλαδή $AS_h < 1.1$ και $AS_v < 0.1$ στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα. Η εκτίμηση των αποστάσεων αυτών με βάση της αναλύσεις ενέχει κάποια υποκειμενικότητα, καθώς δε γίνεται με μαθηματική ακρίβεια αλλά με εκτίμηση της συνολικής εικόνας της χωρικής διαφοροποίησης.

Με βάση τα αποτελέσματα των Σχημάτων 6.26 έως 6.29 που ακολουθούν προκύπτει ότι:

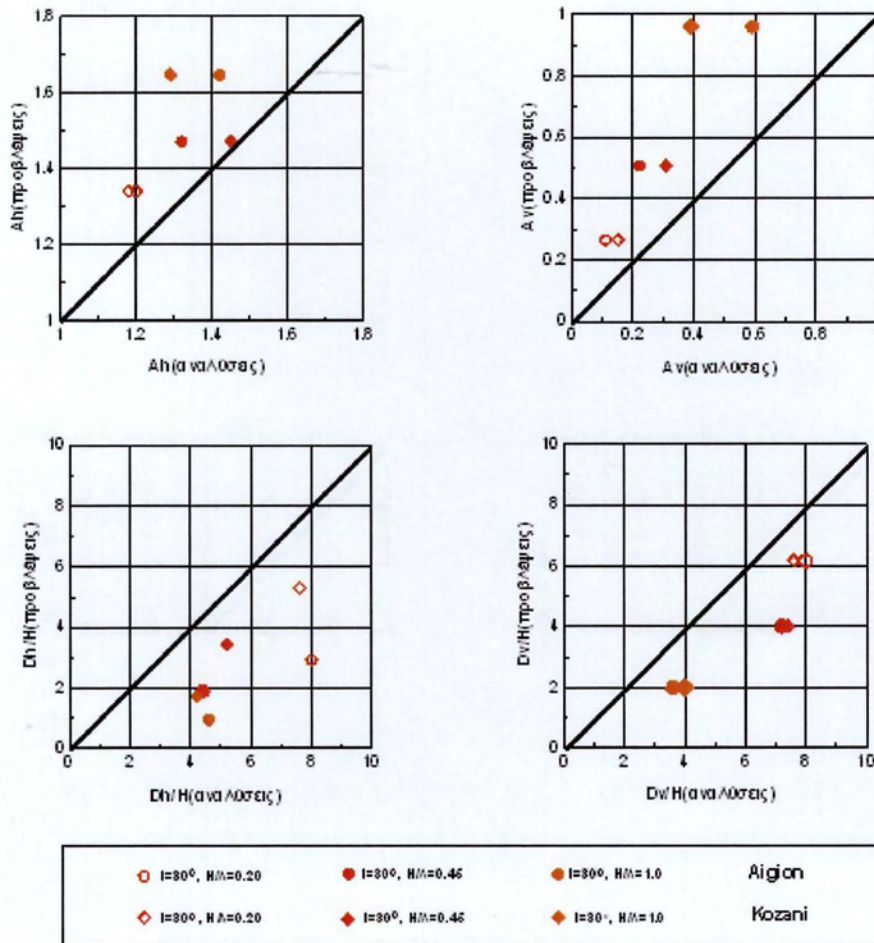
- Οι προσεγγιστικές σχέσεις υποεκτιμούν τις αποστάσεις μέχρι το ελεύθερο πεδίο ανεξαρτήτως θεώρησης, με τη σχετικώς καλύτερη πρόβλεψη να δίδεται από τη θεώρηση ομοιομόρφου βραχώδους πρανούς. Πρακτικώς μια μέση προσαύξη της εν λόγω πρόβλεψης της D_h κατά 60% και της D_v κατά 10% της D_h , δίνει ακριβείς προβλέψεις.
- Αντιθέτως, οι προσεγγιστικές σχέσεις τείνουν να υπερεκτιμούν τους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης, εκτός από τη θεώρηση ομοιομόρφου βραχώδους πρανούς που δίνει σχετικώς ακριβή αποτελέσματα.



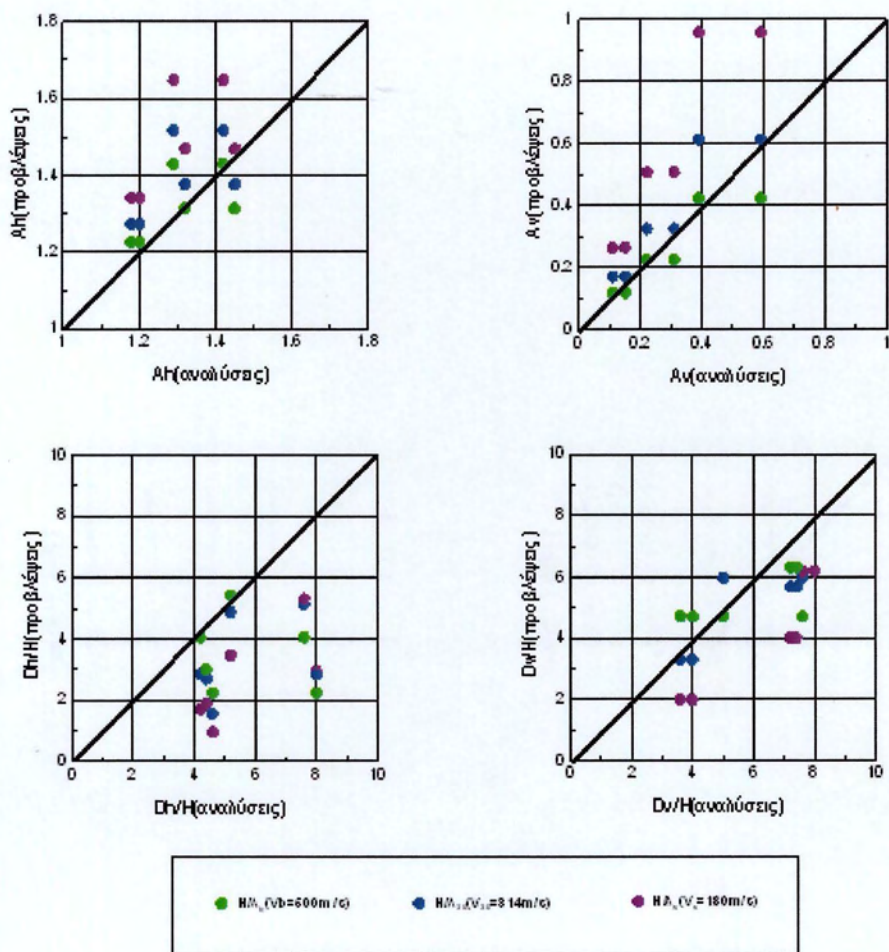
Σχήμα 6.26. Σύγκριση αριθμητικών τιμών τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους Ahmax, Avmax, Dh/H και Dv/H από αναλύσεις πρηνούς (κλίσης i, αδιάστατου ύψους H/λ, απόσβεσης $\xi=5\%$) με «μαλακή» στρώση ($h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$), με προβλέψεις από προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005), για θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρηνούς ($V=V_b=500m/s$).



Σχήμα 6.27. Σύγκριση αριθμητικών τιμών τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους A_h max, A_v max, D_h/H και D_v/H από αναλύσεις πρανούς (κλίσης i , αδιάστατου ύψους H/λ , απόσβεσης $\xi=5\%$) με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$), με προβλέψεις από προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005), για θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_s30=314\text{m/s}$).

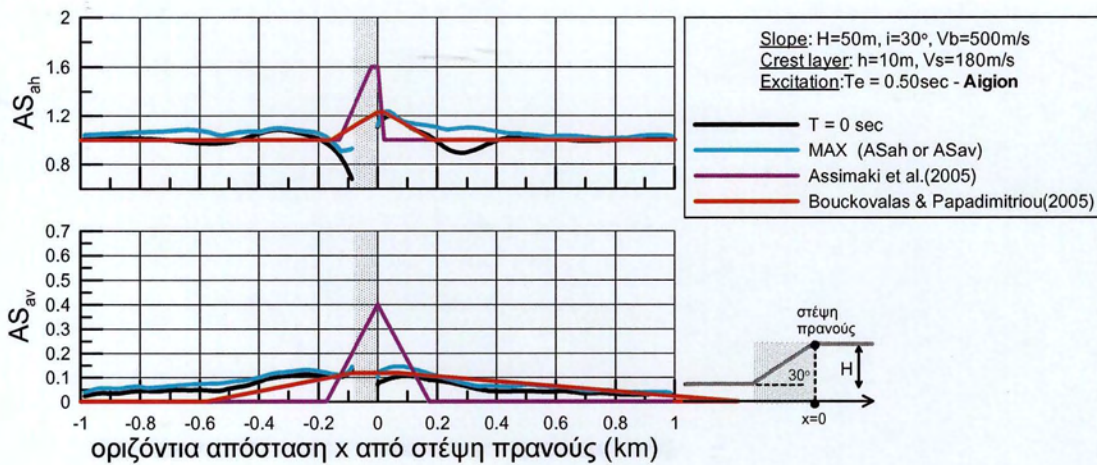


Σχήμα 6.28. Σύγκριση αριθμητικών τιμών τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους Ahmax, Avmax, Dh/H και Dv/H από αναλύσεις πρανούς (κλίσης i , αδιάστατου ύψους H/λ , απόσβεσης $\xi=5\%$) με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$) υπό σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$), με προβλέψεις από προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005), για θεώρηση ομοιόμορφου εδαφικού πρανούς ($V=V_s=180\text{m/s}$).

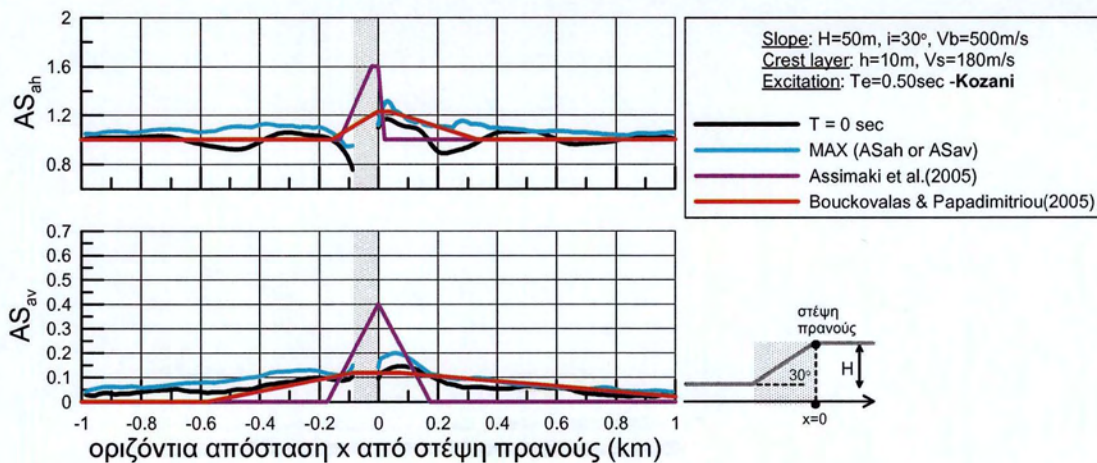


Σχήμα 6.29. Σύγκριση αριθμητικών τιμών τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους Δh_{max} , Δv_{max} , $\Delta h/H$ και $\Delta v/H$ από αναλύσεις πρσανούς (κλίσης i , αδιάστατου ύψους H/λ , απόσβεσης $\xi=5\%$) με «μαλακή» στρώση ($h=10m$, $V_s=180m/s$) υπό σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$), με συγκεντρωτικές προβλέψεις από προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005), για τρεις θεωρήσεις: α) ομοιόμορφου βραχώδους πρσανούς ($V=V_b=500m/s$) β) ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρσανούς ($V=V_s=314m/s$), γ) ομοιόμορφου εδαφικού πρσανούς ($V=V_s=180m/s$).

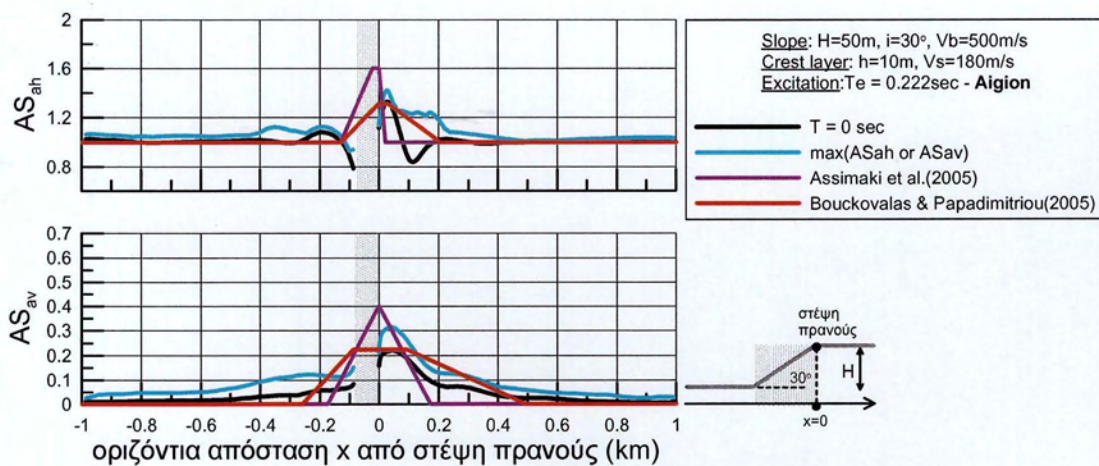
Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των αριθμητικών αναλύσεων ως προς τη χωρική διαφοροποίηση, με τις προαναφερθείσες χωρικές περιβάλλουσες των Bouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006) και Assimaki et al. (2005), όπως αυτές προκύπτουν για τις 2 πρώτες από τις θεωρήσεις (α) και (β), ανωτέρω. Συγκεκριμένα, στα Σχήματα 6.30 έως 6.35 διερευνάται η ακρίβεια πρόβλεψης της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης με βάση τη θεώρηση (α), ενώ στα Σχήματα 6.36 έως 6.41 διερευνάται η αντίστοιχη ακρίβεια πρόβλεψης με βάση τη θεώρηση (β).



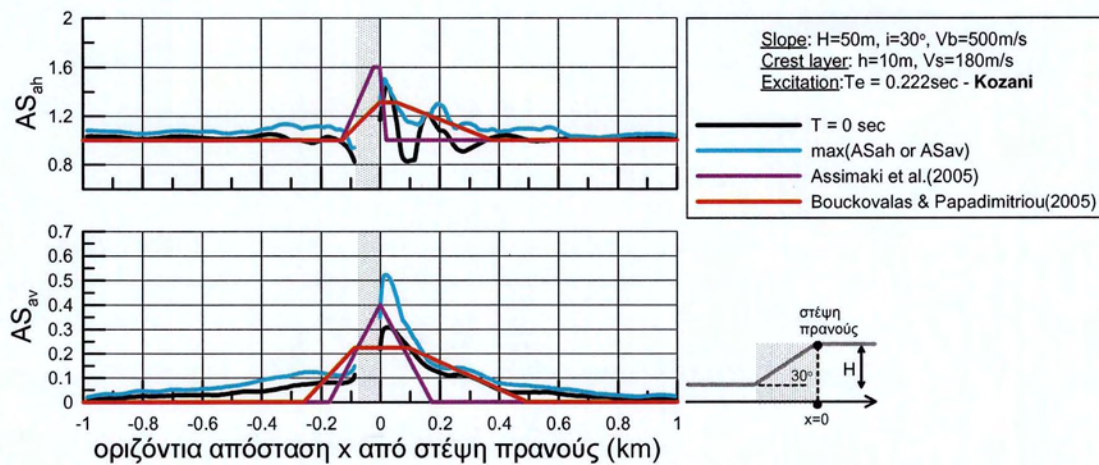
Σχήμα 6.30. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



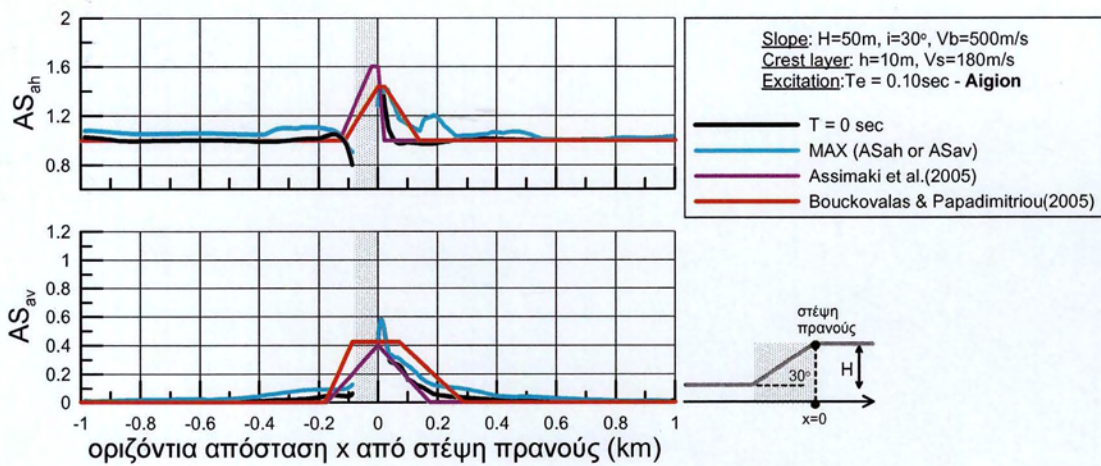
Σχήμα 6.31. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



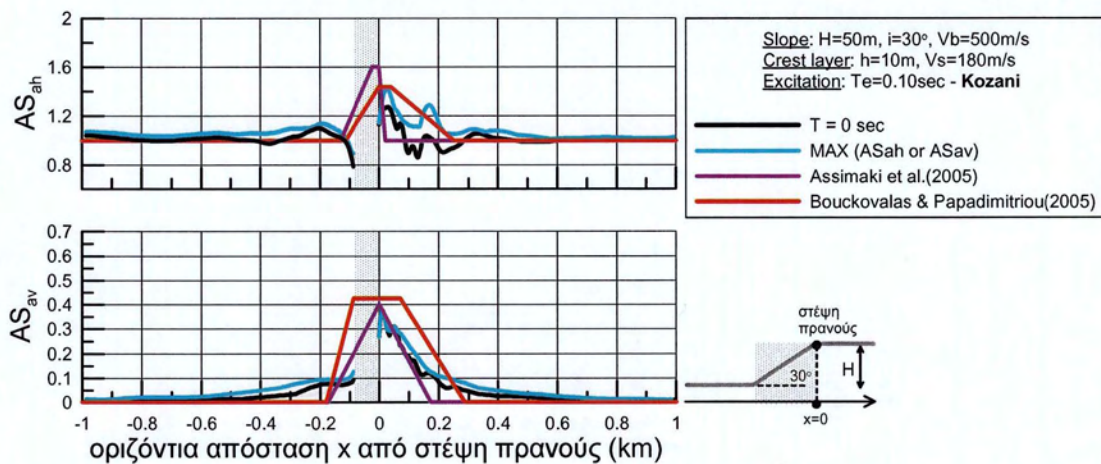
Σχήμα 6.32. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



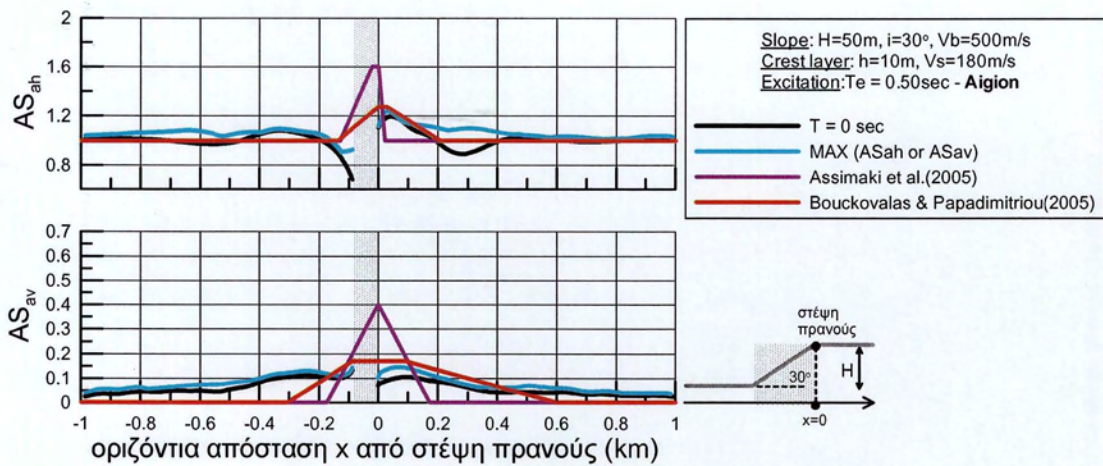
Σχήμα 6.33. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



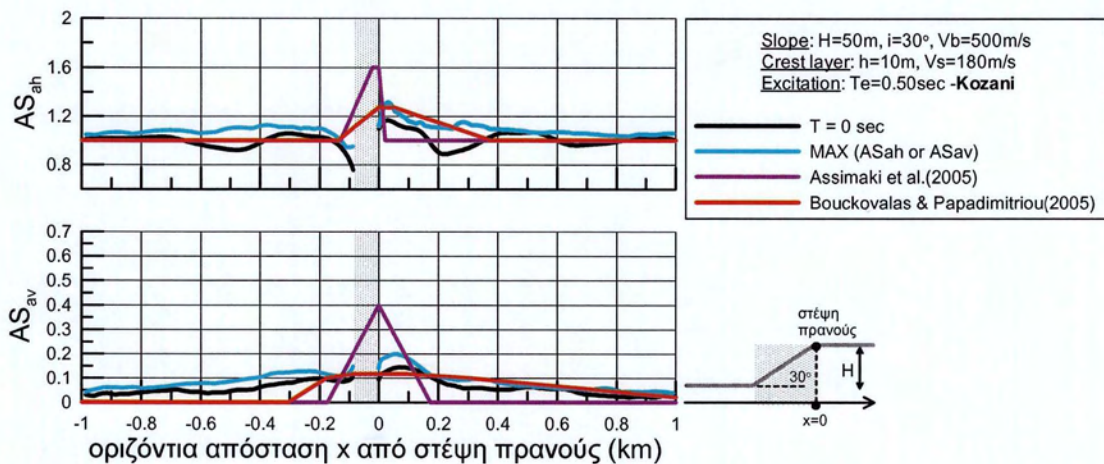
Σχήμα 6.34. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



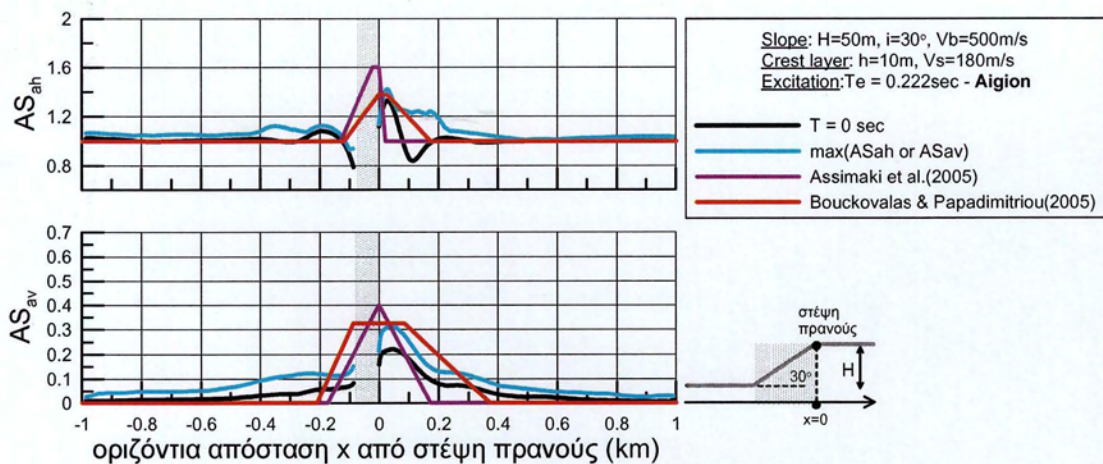
Σχήμα 6.35. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρανούς ($V=V_b=500\text{m/s}$)



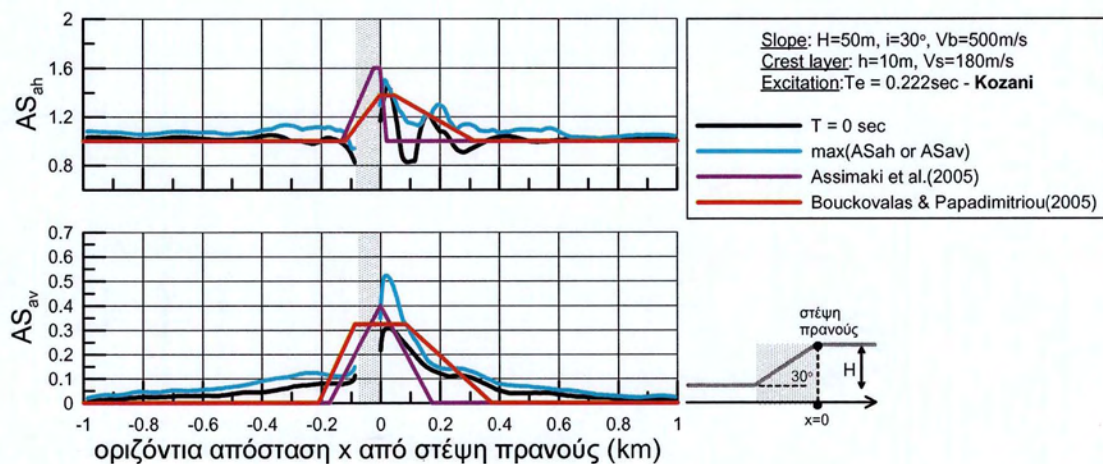
Σχήμα 6.36. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)



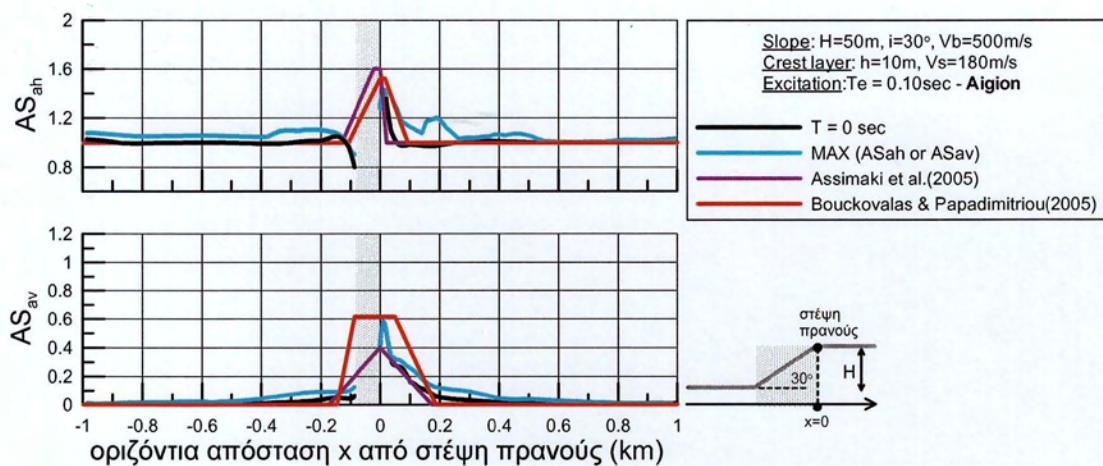
Σχήμα 6.37. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)



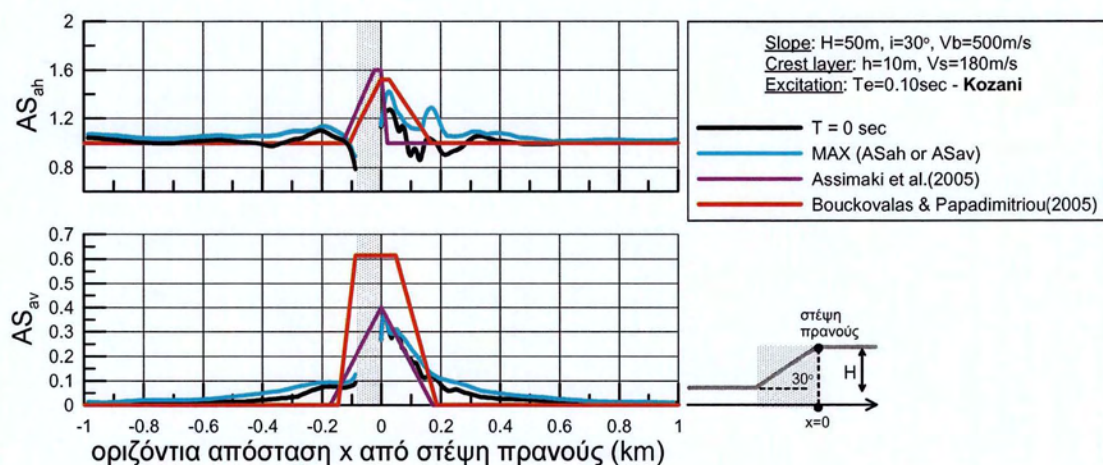
Σχήμα 6.38. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)



Σχήμα 6.39. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)



Σχήμα 6.40. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρσανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Αιγίου ($N=1$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρσανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)



Σχήμα 6.41. Σύγκριση μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης στην οριζόντια ($\max AS_{ah}$) και κατακόρυφη διεύθυνση ($\max AS_{av}$) και τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης επιτάχυνσης ($T=0\text{sec}$) κατά μήκος του πρσανούς (κλίσης i , $V_b=500\text{m/s}$) με «μαλακή» στρώση (πάχους h , $V_s=180\text{m/s}$) υπό τη διέγερση Κοζάνης ($N=4$) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$, με χωρικές περιβάλλουσες των Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), με θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρσανούς ($V=V_{S30}=314\text{m/s}$)

Από τα Σχήματα 6.30 έως 6.41 συμπεραίνεται ότι:

- Σε ό,τι αφορά στις μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης κατά μήκος του πρηνούς με «μαλακή» στρώση, οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) φαίνεται να τις προβλέπουν ικανοποιητικά, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν σαφώς.
- Αντίστοιχα, οι μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης κατά μήκος του πρηνούς με «μαλακή» στρώση, οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) φαίνεται να τις υποεκτιμούν ελαφρώς, ενώ οι αντίστοιχες σχέσεις των Assimaki et al. (2005) τις υπερεκτιμούν ελαφρώς.
- Σε ό,τι αφορά στη χωρική διαφοροποίηση, αυτή δεν επηρεάζεται από το δεσπόζον μήκος κύματος στις σχέσεις των Assimaki et al. (2005), σε αντίθεση με την αυξητική επίδραση αυτού στην επηρεαζόμενη περιοχή που προβλέπουν οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006). Πρακτικώς, οι σχέσεις των Assimaki et al. (2005) προβλέπουν σαφώς «στενή» επίδραση, αντίστοιχη εκείνης για υψίσυχη διεγερση των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).
- Σε ό,τι αφορά στη χωρική διαφοροποίηση, τα αποτελέσματα δείχνουν να συμφωνούν με τις προβλέψεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), ειδικώς για την ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης. Για την ενίσχυση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης, οι εν λόγω σχέσεις οδηγούν σε ελαφρές υποεκτιμήσεις της τοπογραφικής επιδείνωσης σε μεγάλες αποστάσεις από το πρηνές, αλλά θα ήταν υπερβολικά συντηρητικό να σχεδιάζει κανείς με τη μέγιστη φασματική επιτάχυνση ανεξαρτήτως T για την οποία προκύπτει αυτή.
- Η θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρηνούς με βάση τις σχέσεις Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) οδηγεί σε υπερεκτίμηση της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης σε πρηνή με «μαλακή» στρώση. Αντιθέτως, η θεώρηση ομοιόμορφου βραχώδους πρηνούς με χρήση των ίδιων σχέσεων οδηγεί σε ρεαλιστική εκτίμηση της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης σε πρηνή με «μαλακή» στρώση. Η αντίστοιχη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης υποεκτιμάται ακόμη και με τη θεώρηση ισοδύναμα-ομοιόμορφου πρηνούς.

6.7. Απευθείας σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιόμορφου – μη-ομοιόμορφου μονοκλινού πρανούς

Για να είναι πλήρης η αξιολόγηση των υπάρχουσων προτάσεων που αναφέρθηκαν (Assimaki et al. (2005), Bouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006)), των όσων έχουν προταθεί ως τώρα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αλλά και των κανονιστικών διατάξεων του EC-8 για τους συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης, είναι απαραίτητο να γίνουν απευθείας συγκρίσεις μεταξύ των σχετικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις, για ομοιόμορφα (βραχώδη) πρανή και πρανή με επιφανειακή «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη.

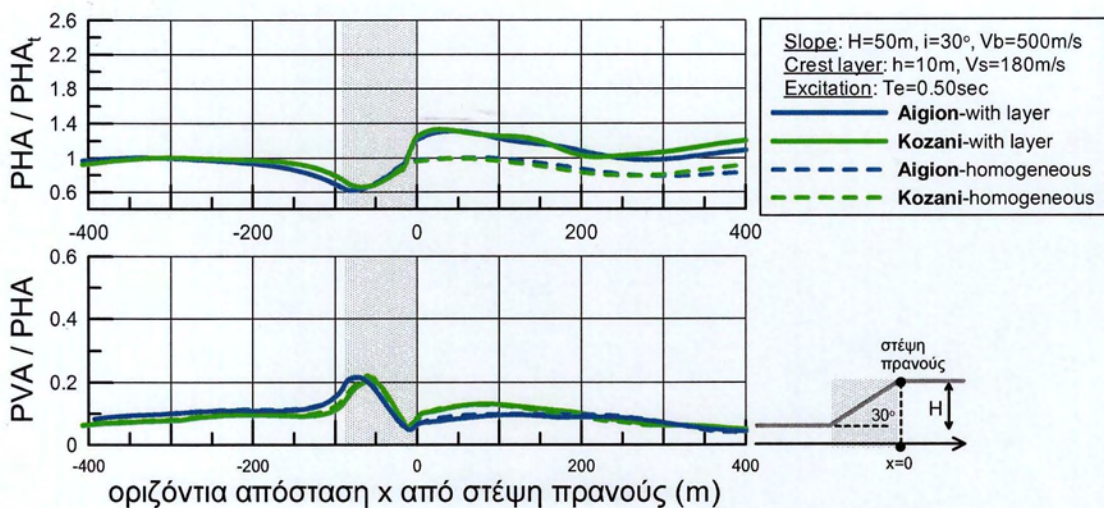
Έτσι αρχικά, στην 1^η ομάδα σχημάτων (Σχήματα 6.42 έως 6.44) παρουσιάζεται η σύγκριση της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου πρανούς καθ' όλο το μήκος του (και στην κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδιασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

i) $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.42)

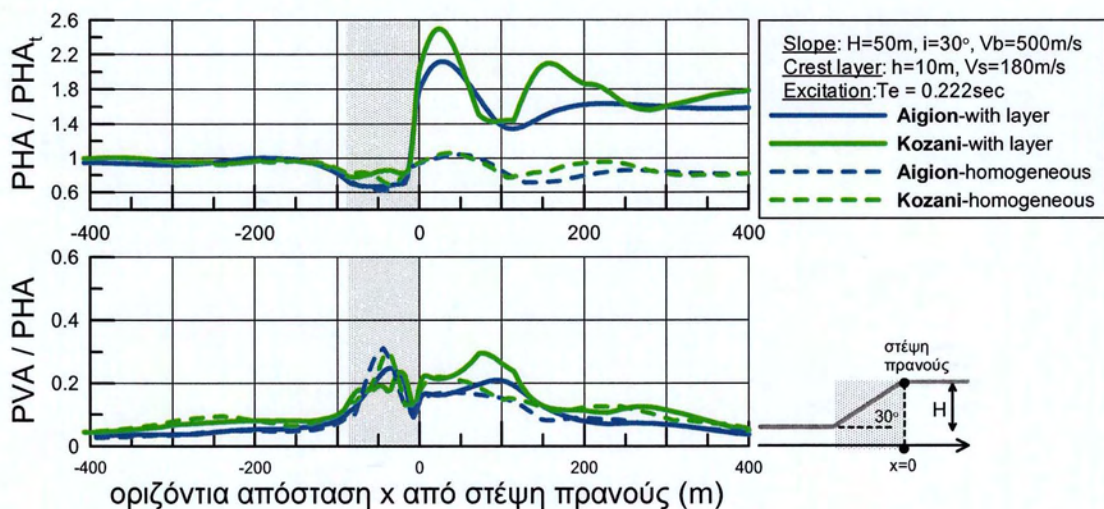
ii) $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.43)

iii) $i=30^\circ$ $T_e=0.10\text{sec}$ PHA/PHAt και PVA/PHA (Σχήμα 6.44)

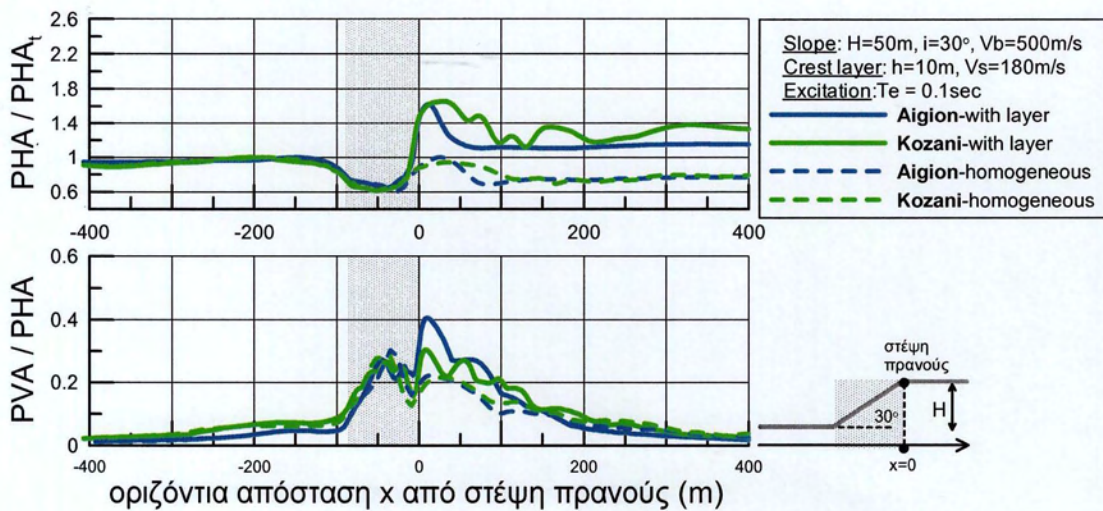
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με χρήση διαφορετικού χρώματος καμπυλών. Επισημαίνεται η χρήση διακεκομμένων γραμμών για τις αναλύσεις ομοιόμορφου πρανούς και συνεχών γραμμών για εκείνες με «μαλακή» στρώση. Κατά τα άλλα, στα σχήματα αυτά υιοθετείται η format των σχημάτων 6.2 έως 6.4.



Σχήμα 6.42. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρανούς, με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.50\text{sec}$, με μορφή χρονοϊστορίας Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$).



Σχήμα 6.43. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρανούς, με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.222\text{sec}$, με μορφή χρονοϊστορίας Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$).



Σχήμα 6.44. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρανούς, με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50\text{m}$), υπό τις ίδιες διεγέρσεις δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.1\text{sec}$, με μορφή χρονοϊστορίας Αιγίου ($N=1$) και Κοζάνης ($N=4$).

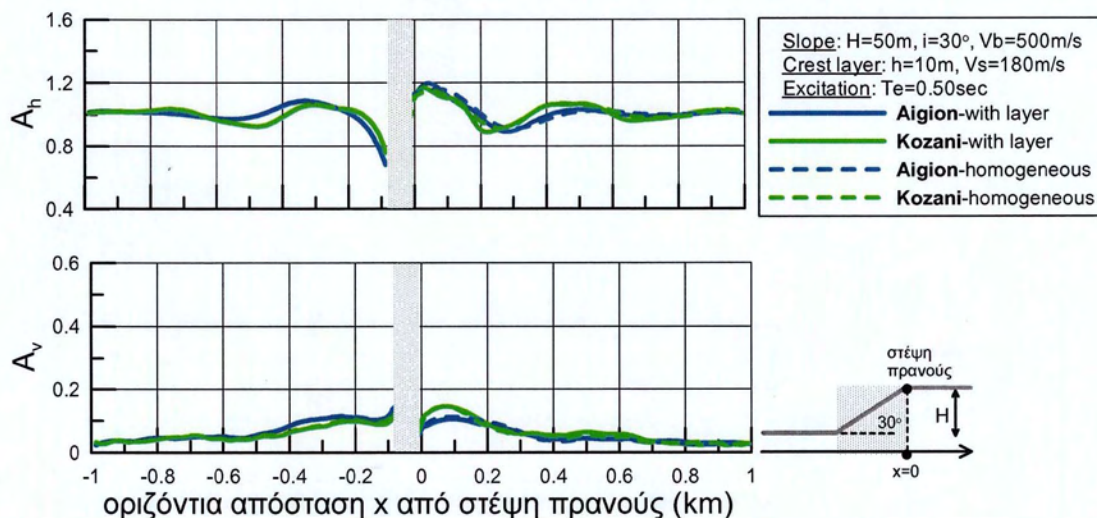
Από την πρώτη ομάδα Σχημάτων 6.42 έως 6.44 προκύπτουν :

- Στην κεκλιμένη επιφάνεια, η απομείωση της μέγιστης οριζόντιας κίνησης και η ενίσχυση της (παρασιτικής) κατακόρυφης κίνησης δεν αλλάζει όταν υπάρχει «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη του πρανού. Αντίστοιχα, και η περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανού μένει ανεπηρέαστη από την ύπαρξη ή μη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη του.
- Σε όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις, η ύπαρξη «μαλακής» στρώσης οδηγεί σε σαφή ενίσχυση της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και σε μικρότερη ενίσχυση της κανονικοποιημένης μέγιστης (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στην ίδια περιοχή.
- Οι ενισχύσεις στην οριζόντια διεύθυνση είναι πιο έντονες για $T_e = 0.222\text{sec}$ (λόγω συντονισμού με την ιδιοπερίοδο της «μαλακής» στρώσης $T_s=4h/V_s=0.222\text{sec}$), και λιγότερο έντονες στις άλλες 2 περιπτώσεις. Αντίστοιχα, στην κατακόρυφη διεύθυνση, η παρασιτική μέγιστη επιτάχυνση φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο για τις υψίσυχνες σχετικώς διεγέρσεις ($T_e \leq 0.222\text{sec}$).

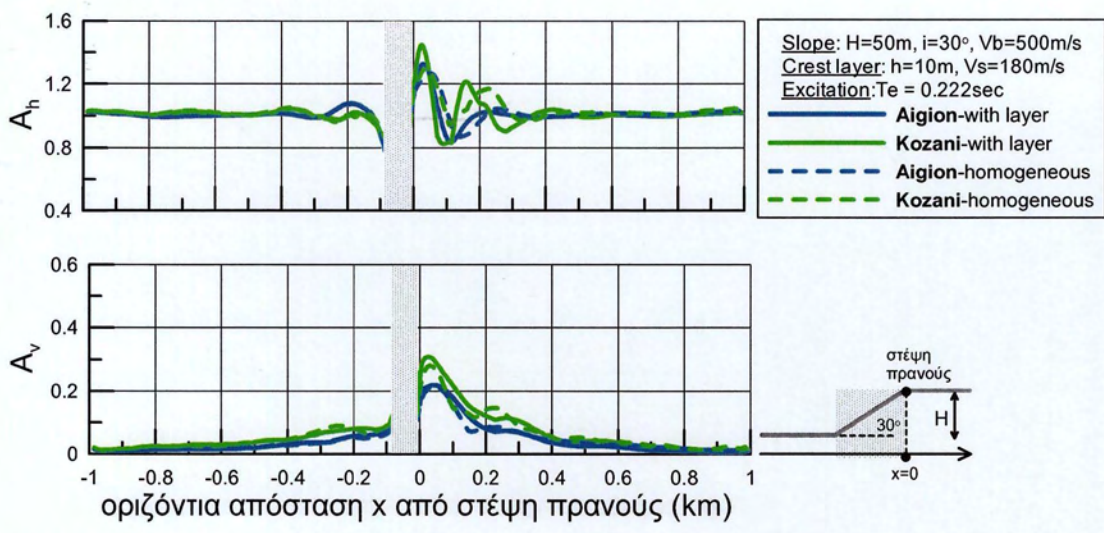
Στη συνέχεια, στα Σχήματα 6.45 έως 6.47 παρουσιάζεται η σύγκριση της χωρικής μεταβολής των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στις δύο διευθύνσεις ($A_h = a_h/a_{h,ff}$ και $A_v = a_v/a_{h,ff}$) για τις περιπτώσεις ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου πρανούς καθ' όλο το μήκος του (και στην κεκλιμένη επιφάνεια), για τους εξής συνδιασμούς κλίσης i και δεσπόζουσας περιόδου T_e :

- i) $i=30^\circ$ $T_e=0.50\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.45)
- ii) $i=30^\circ$ $T_e=0.222\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.46)
- iii) $i=45^\circ$ $T_e=0.10\text{sec}$ A_h και A_v (Σχήμα 6.47)

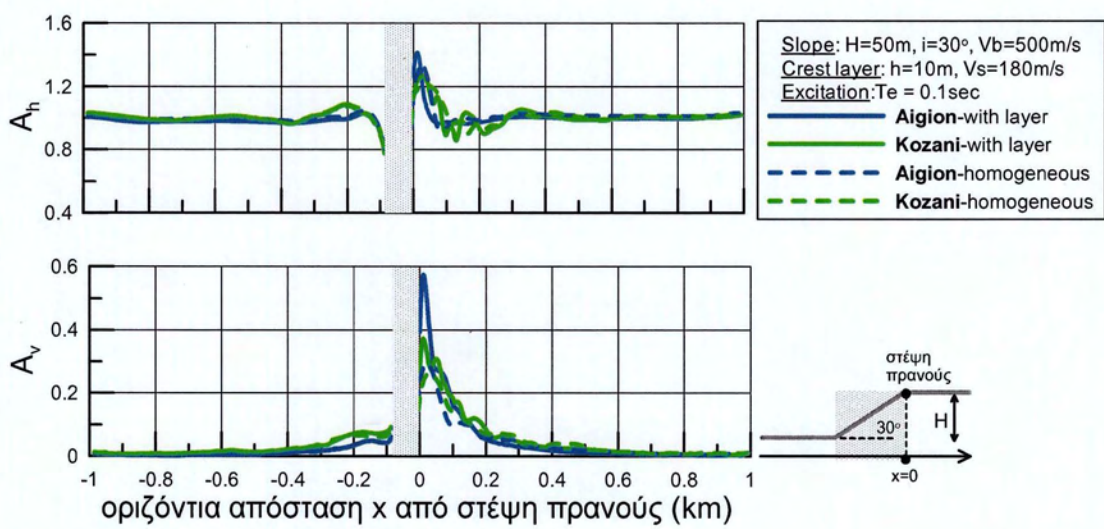
και για τις δύο επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις, με χρήση διαφορετικού χρώματος καμπυλών. Επισημαίνεται η χρήση διακεκομμένων γραμμών για τις αναλύσεις ομοιόμορφου πρανού και συνεχών γραμμών για εκείνες με «μαλακή» στρώση. Κατά τα άλλα, στα σχήματα αυτά υιοθετείται η format των σχημάτων 6.5 έως 6.7.



Σχήμα 6.45. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρανούς με κλίση $i=30^\circ$, $\xi=5\%$ και $T_e=0.50\text{sec}$, για τη διεγέρση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διεγέρση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



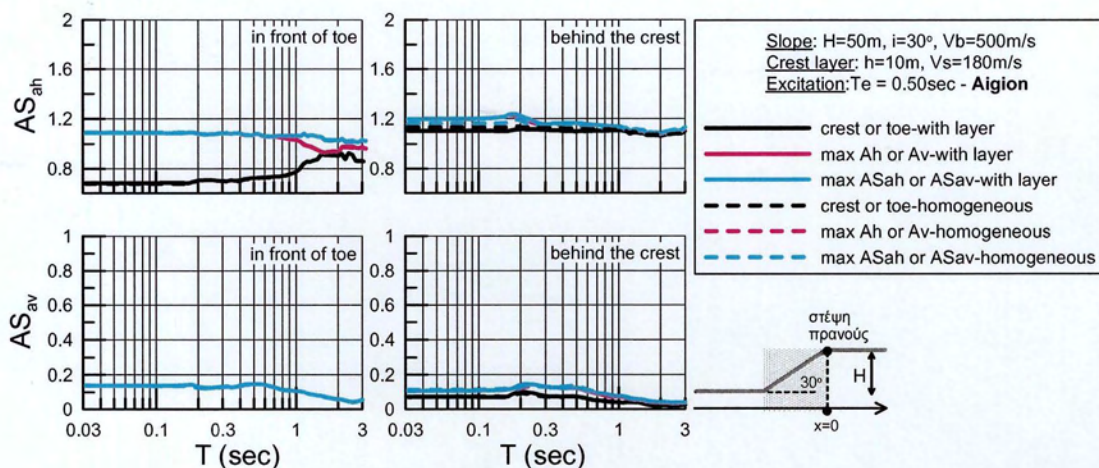
Σχήμα 6.46. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρानούς με κλίση $i=30^\circ$, $\xi=5\%$ και $T_e=0.222\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.



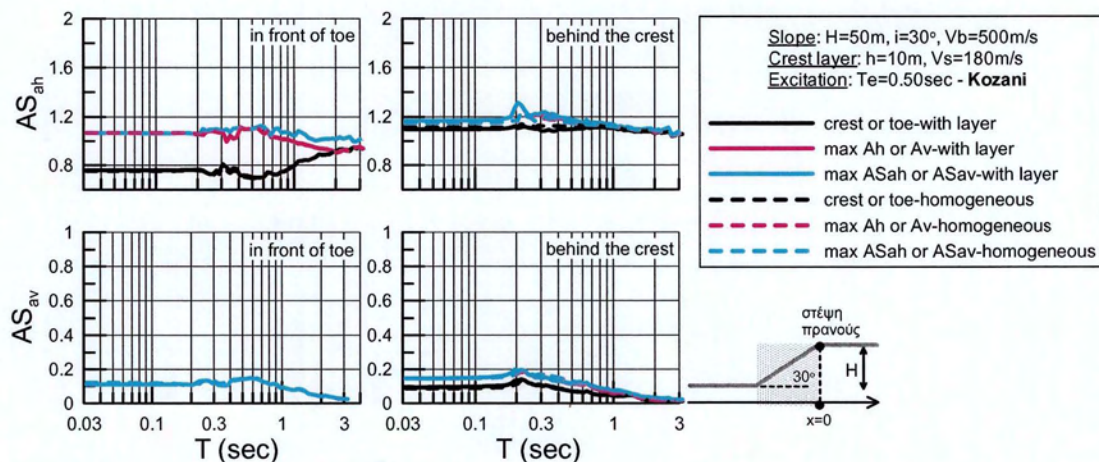
Σχήμα 6.47. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη γειτονία ομοιόμορφου και μη-ομοιόμορφου (με «μαλακή στρώση πίσω από τη στέψη) μονοκλινούς πρानούς με κλίση $i=30^\circ$, $\xi=5\%$ και $T_e=0.10\text{sec}$, για τη διέγερση Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο, και τη διέγερση Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους.

Από τα Σχήματα 6.45 έως 6.47 προκύπτει σαφώς ότι οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v δεν επηρεάζονται ουσιαστικά από την ύπαρξη «μαλακής» στρώσης, παρά μόνο ίσως στην περιοχή κοντά στην στέψη του πρανούς, πάντως και μόνο σε σχετικά υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e \leq 0.222\text{sec}$). Η όποια επίδραση διαφαίνεται να είναι μόνο αυξητική.

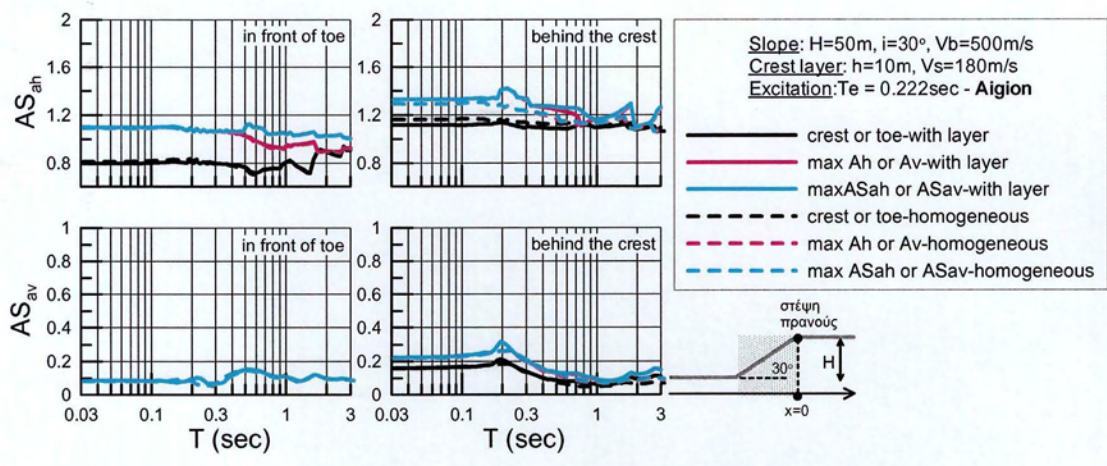
Καθώς είναι δύσκολο και μη-πρακτικό να γίνουν συγκρίσεις της χωρικής μεταβολής των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης AS_h και AS_v για διαφορετικές περιόδους κατασκευής T για ομοιόμορφο πρανές και για πρανές με «μαλακή» στρώση, στα Σχήματα 6.48 έως 6.53 παρουσιάζεται, η σύγκριση της τοπογραφικής επιδείνωσης ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης διεύθυνσης, σε επιλεγμένες σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, και μόνον. Στα σχήματα αυτά η έμφαση δίνεται ξεχωριστά για την περιοχή πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα του πρανούς, και παρουσιάζονται ξεχωριστά σχήματα για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμού πρανούς – διέγερσης που εξετάζονται. Επισημαίνεται η χρήση διαφορετικών χρωμάτων για τη θέση στέψης/πόδα (μαύρο), τη θέση εμφάνισης της μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης (μωβ), ενώ οι γαλάζιες καμπύλες αφορούν τη μέγιστη ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης ανεξαρτήτως θέσης εμφάνισης αυτής, δηλαδή στη format των σχημάτων 6.14 έως 6.19. Υπογραμμίζεται τέλος η χρήση διακεκομμένων γραμμών για τις αναλύσεις ομοιόμορφου πρανούς και συνεχών γραμμών για εκείνες με «μαλακή» στρώση.



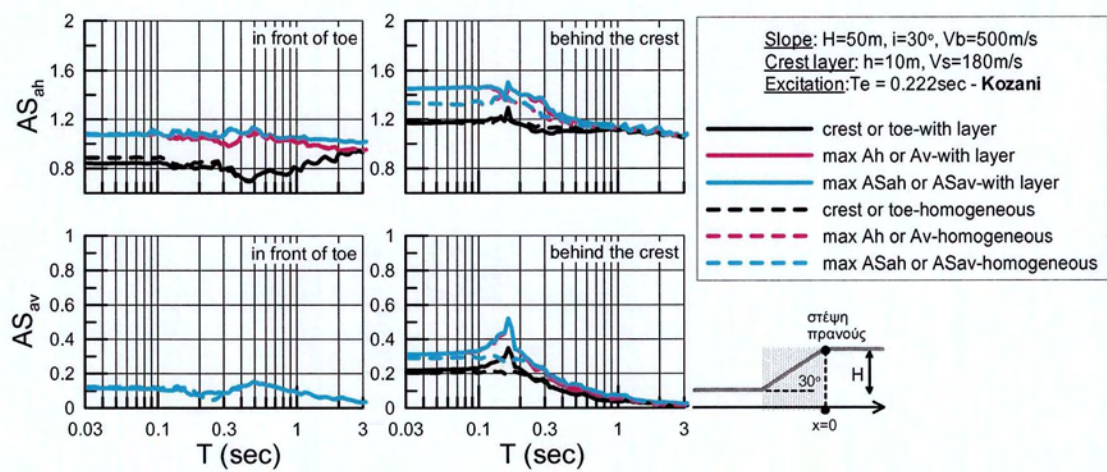
Σχήμα 6.48. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$ και $N=1$ σημαντικό κύκλο (Αιγίου)



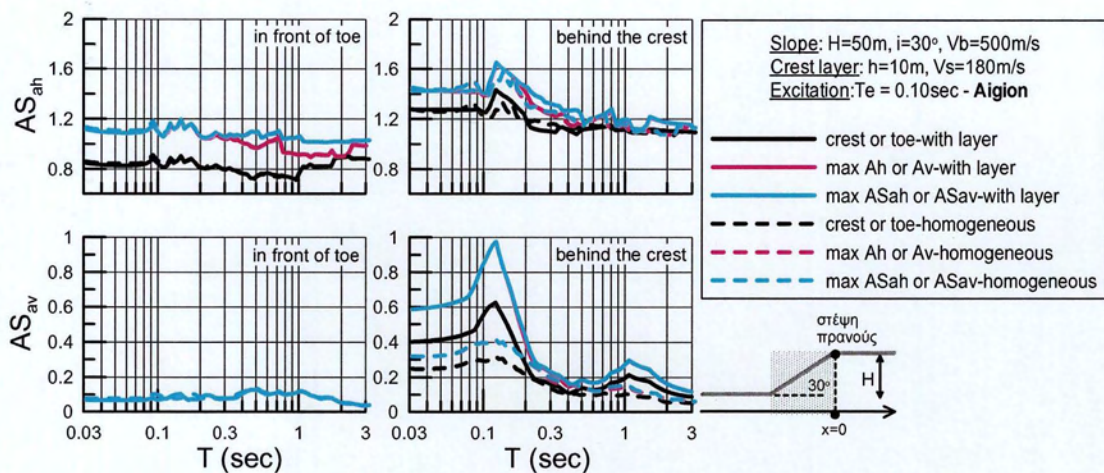
Σχήμα 6.49. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια AS_{ah} και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση AS_{av} σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50\text{sec}$ και $N=4$ σημαντικούς κύκλους (Κοζάνης)



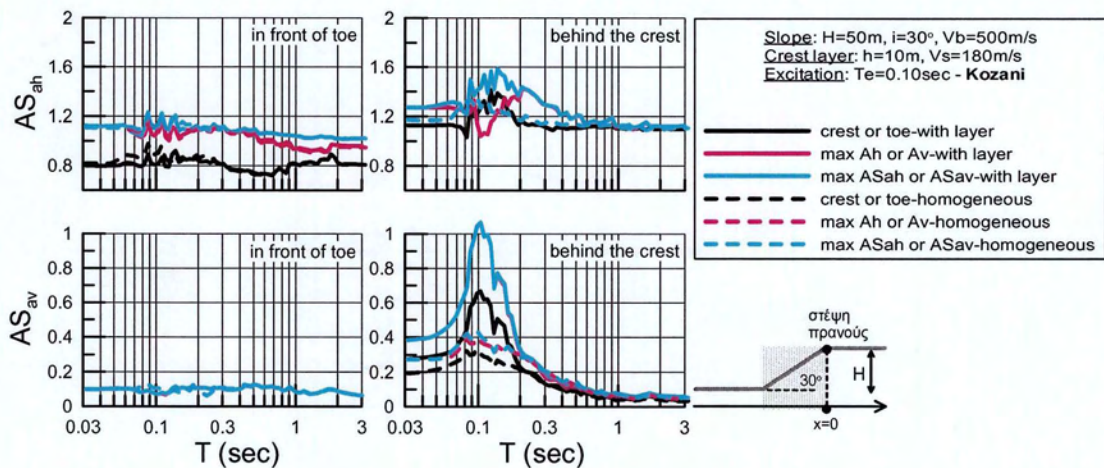
Σχήμα 6.50. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια ASah και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση ASav σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ και $N=1$ σημαντικό κύκλο (Αιγίου)



Σχήμα 6.51. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια ASah και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση ASav σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρανές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222\text{sec}$ και $N=4$ σημαντικούς κύκλους (Κοζάνης)



Σχήμα 6.52. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια ASah και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση ASav σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρηνές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$ και $N=1$ σημαντικό κύκλο (Αιγίου)



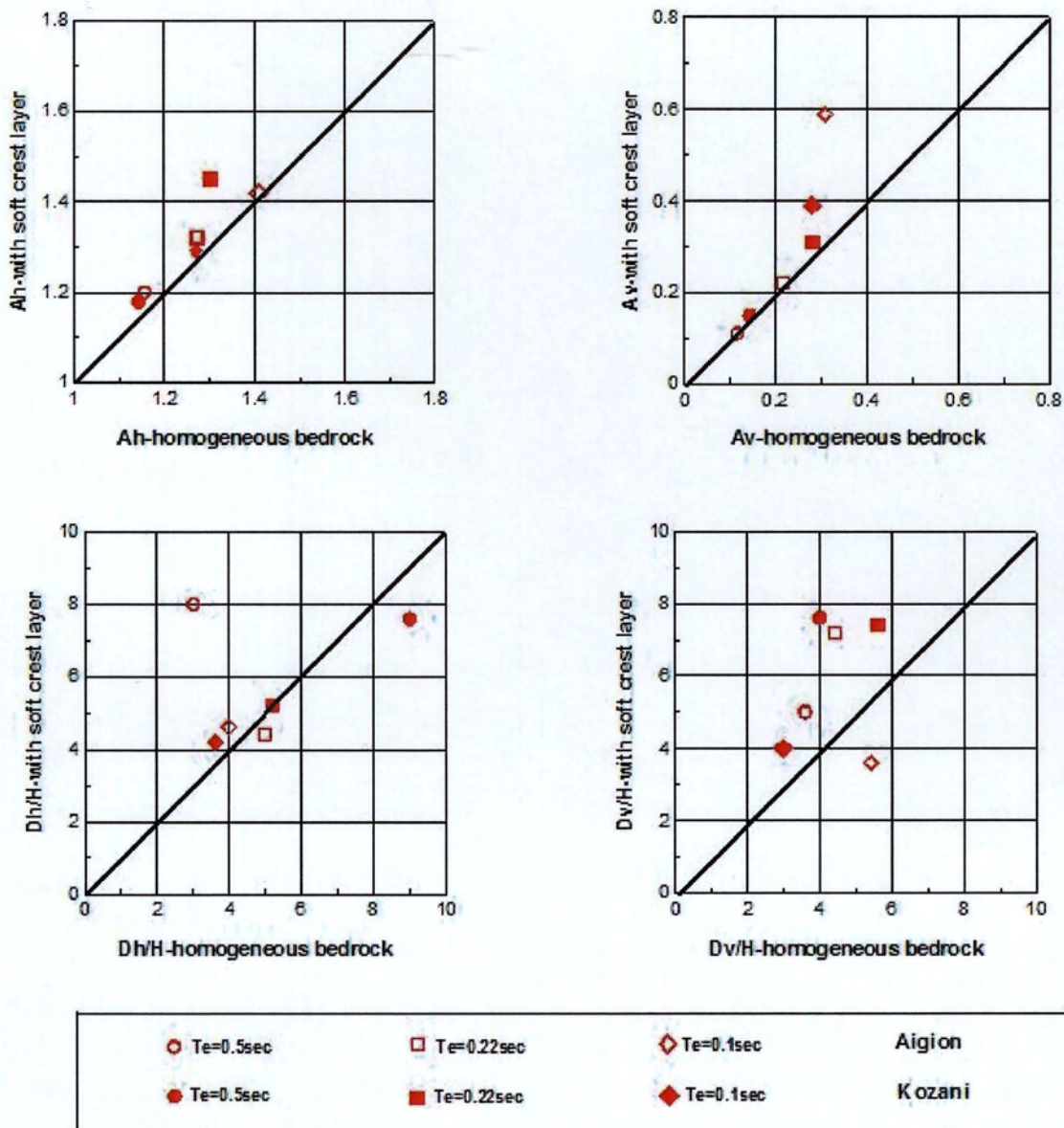
Σχήμα 6.53. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης ($\xi=5\%$) στην οριζόντια ASah και (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση ASav σε σημαντικές θέσεις ενδιαφέροντος, ξεχωριστά για τις περιοχές πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για πρηνές ομοιόμορφο και μη-ομοιόμορφο (με «μαλακή» στρώση πάχους $h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$), υπό διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10\text{sec}$ και $N=4$ σημαντικούς κύκλους (Κοζάνης)

Από τα Σχήματα 6.48 έως 6.53 προκύπτει ότι:

- Η ύπαρξη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη του πρανούς ενισχύει την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της επιτάχυνσης, τόσο στην οριζόντια όσο και στην (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση. Η ενίσχυση αυτή είναι ουσιώδης μόνο για τις σχετικώς υψίσυχνες διεγέρσεις (π.χ. $T_e \leq T_s = 0.222\text{sec}$).
- Η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της επιτάχυνσης (και στις δύο διευθύνσεις) δεν επηρεάζεται ουσιωδώς στην περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς από την ύπαρξη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη.

Με στόχο την ποσοτικοποίηση των εν λόγω αυξητικών επιδράσεων της «μαλακής» στρώσης στη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης, τόσο της μέγιστης επιτάχυνσης όσο και της φασματικής επιτάχυνσης, γίνεται απευθείας σύγκριση των εν λόγω τιμών. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 6.54 γίνεται απευθείας σύγκριση των τιμών $A_{h\max}$, $A_{v\max}$, D_h/H και D_v/H όπως αυτές προέκυψαν μόνο από τις αναλύσεις για ομοιογενές πρανές ($V_b=500\text{m/s}$) και για πρανές με «μαλακή» στρώση ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$, $V_{s30}=314\text{m/s}$).

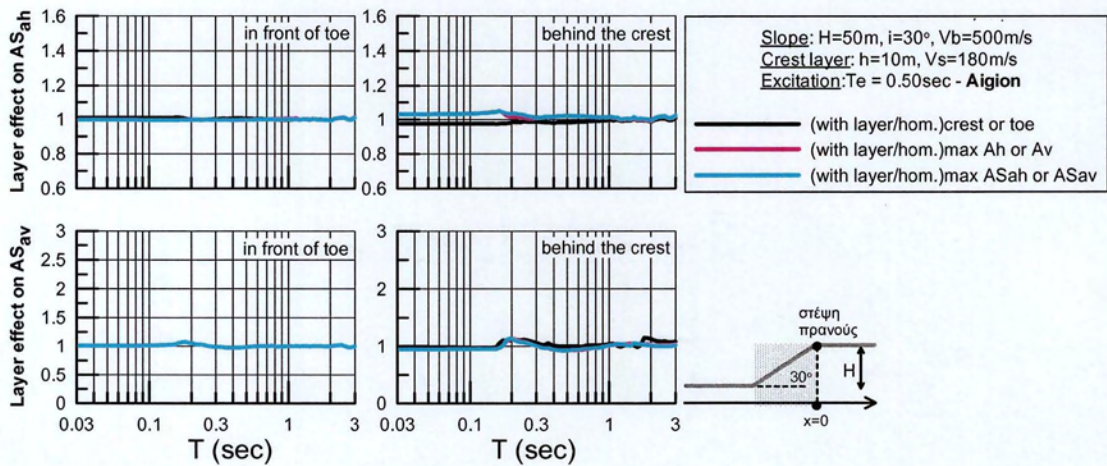
Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι οι τιμές των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης, και στις δύο συνιστώσες, $A_{h\max}$ και $A_{v\max}$ στην περιοχή πίσω από τη στέψη του πρανούς είναι συστηματικά μεγαλύτερες ή ίσες όταν υπάρχει επιφανειακή «μαλακή» στρώση. Κοιτώντας με λεπτομέρεια τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ουσιώδεις ενισχύσεις προκύπτουν μόνο σε σχετικά υψίσυχνες διεγέρσεις ($T_e \leq 0.222\text{sec}$), οι οποίες εδώ αντιστοιχούν σε περιπτώσεις όπου $T_e \leq T_s$ της «μαλακής» στρώσης. Τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο σαφή για τις αποστάσεις μέχρι το «ελεύθερο» πεδίο πίσω από τη στέψη, και στις δύο συνιστώσες, D_h/H και D_v/H , όπου και πάλι αναμένεται στατιστικά προσαύξηση των εν λόγω αποστάσεων, αλλά με σαφώς μεγαλύτερη διασπορά. Η εν λόγω προσαύξηση είναι πιο συστηματική για την κατακόρυφη συνιστώσα.



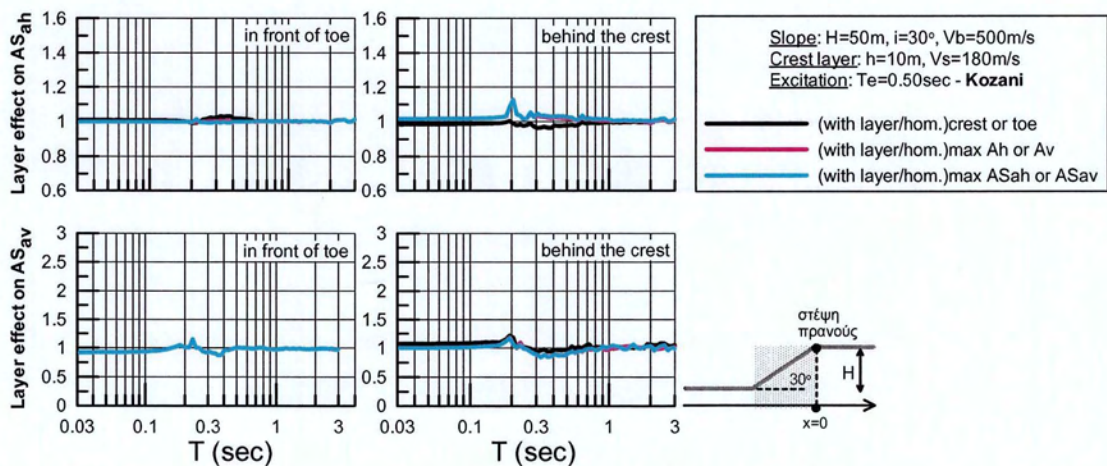
Σχήμα 6.54. Σύγκριση τοπογραφικής επιδείνωσης σε όρους A_h max, A_v max, D_h/H και D_v/H , μεταξύ αποτελεσμάτων από αναλύσεις για πρανή ίδιου ύψους και κλίσης, τα οποία χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια ($V_b=500\text{m/s}$) και ανομοιογένεια της μορφής μιας επιφανειακής «μαλακής» στρώσης ($h=10\text{m}$, $V_s=180\text{m/s}$, $V_{s30}=314\text{m/s}$), για τις επιβαλλόμενες σεισμικές διεγέρσεις Αιγίου ($N=1$, $\xi=5\%$) και Κοζάνης ($N=4$, $\xi=5\%$) και τις τρεις εξετασθείσες δεσπόζουσες περιόδους.

Αντίστοιχα, η απευθείας σύγκριση γίνεται και σε όρους AS_{ah} και AS_{av} , εκτιμώντας το λόγο των τοπογραφικών φασματικών ενισχύσεων για τις αναλύσεις με «μαλακή» στρώση προς τις αντίστοιχες φασματικές ενισχύσεις για τις αναλύσεις ομοιόμορφου βράχου. Αυτοί οι φασματικοί λόγοι επίδρασης της «μαλακής» στρώσης για συγκεκριμένες σημαντικές θέσεις κατά μήκος του πρανούς, παρουσιάζονται στα Σχήματα Σχημάτα 6.55 έως 6.60 για τις 6

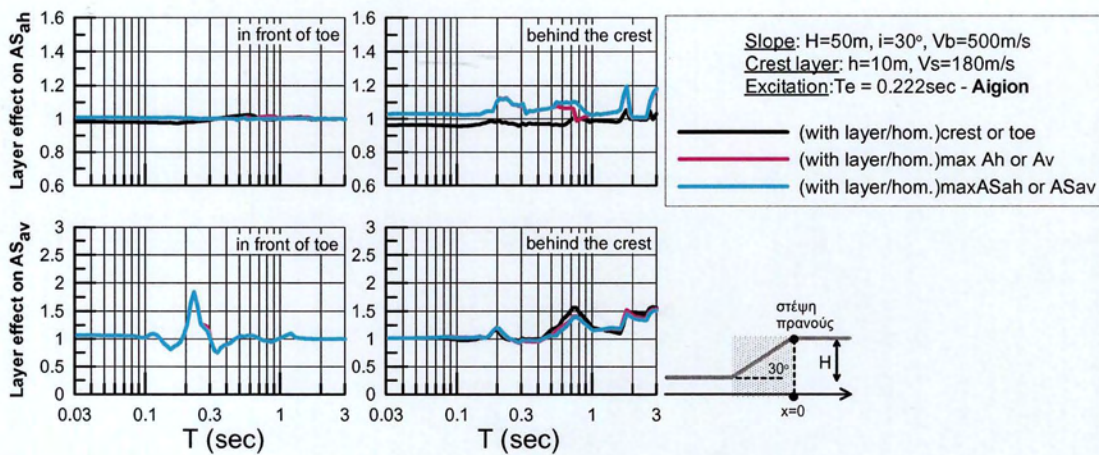
περιπτώσεις συνδυασμού πρηνούς – διέγερσης που εξετάστηκαν. Η format των σχημάτων είναι αντίστοιχη με εκείνη των σχημάτων 6.48 έως 6.53 που προηγήθηκαν.



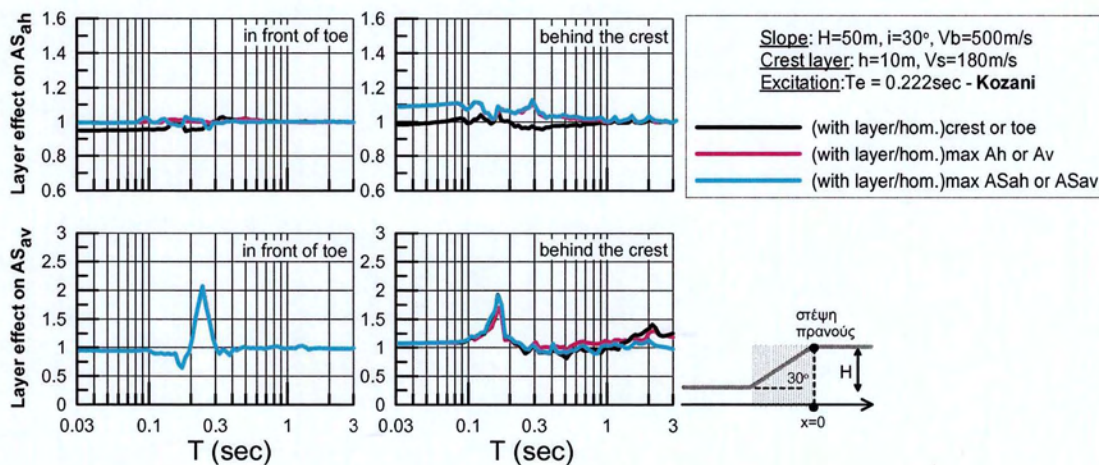
Σχήμα 6.55. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, AS_{ah} και AS_{av} , σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρηνούς με $i=30^\circ, H=50m$, υπό τη διέγερση του Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ ($\xi=5\%$).



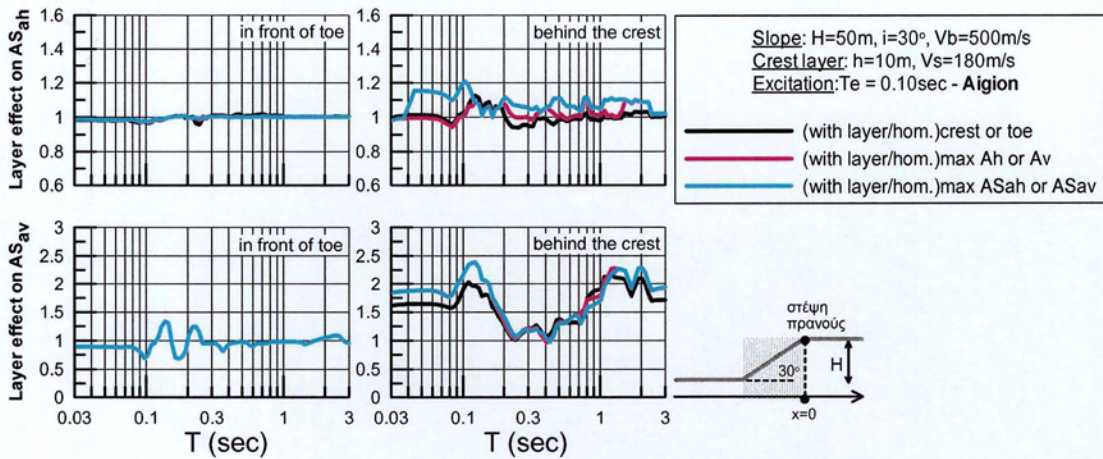
Σχήμα 6.56. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, AS_{ah} και AS_{av} , σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρηνούς με $i=30^\circ, H=50m$, υπό τη διέγερση της Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.50sec$ ($\xi=5\%$).



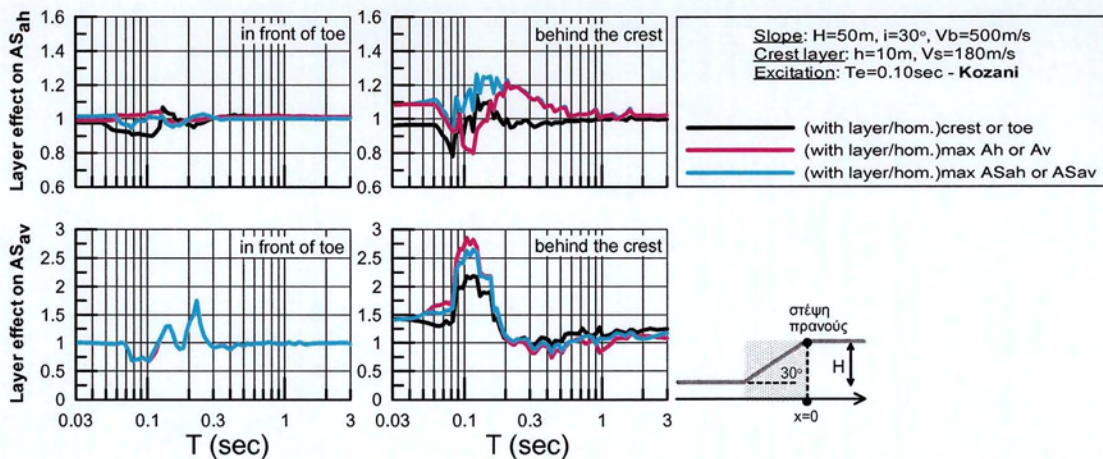
Σχήμα 6.57. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, ASah και ASav, σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρανού με $i=30^\circ$, $H=50m$, υπό τη διέγερση του Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ ($\xi=5\%$).



Σχήμα 6.58. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, ASah και ASav, σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρανού με $i=30^\circ$, $H=50m$, υπό τη διέγερση της Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222sec$ ($\xi=5\%$).



Σχήμα 6.59. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, ASah και ASav, σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρανούς με $i=30^\circ$, $H=50m$, υπό τη διέγερση του Αιγίου με $N=1$ σημαντικό κύκλο και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10sec$ ($\xi=5\%$).



Σχήμα 6.60. Επίδραση «μαλακής» στρώσης στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση και στις δύο διευθύνσεις, ASah και ASav, σε σημαντικές θέσεις κατά μήκος του μονοκλινούς πρανούς με $i=30^\circ$, $H=50m$, υπό τη διέγερση της Κοζάνης με $N=4$ σημαντικούς κύκλους και δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.10sec$ ($\xi=5\%$).

Από τα Σχήματα 6.55 έως 6.60 προκύπτει ότι όταν υπάρχει επίδραση της «μαλακής» στρώσης στη μέγιστη επιτάχυνση ($T_e \leq T_s$), τότε μόνο υπάρχει επίδραση και στο υπόλοιπο φάσμα απόκρισης στην περιοχή πίσω από τη στέψη του πρανού. Αν η επίδραση στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση είναι έως 10% και 90% στις 2 διευθύνσεις, οι αντίστοιχες επιδράσεις στη φασματικές επιταχύνσεις φθάνουν έως 20% και 180%, αντίστοιχα. Και πάλι, δεν υπάρχει ουσιαστική επίδραση στην περιοχή μπροστά από τον πόδα, αν υπάρχει «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Βασικά συμπεράσματα: Ομοιόμορφα μονοκλινή πρανή

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία για την τοπογραφική επιδείνωση των μεγίστων σεισμικών επιταχύνσεων και ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στη γειτονία ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών είναι τα ακόλουθα:

- Εν γένει αναμένεται ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα ενός μονοκλινούς πρανούς. Οι επιδράσεις αυτές απομειώνονται με την απόσταση από το πρανές, έως ότου η απόκριση γίνει ίση με αυτή στο ελεύθερο πεδίο. Ακόμη και μια αμιγώς οριζόντια διέγερση, προκαλεί σημαντική παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στη γειτονία του πρανούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης. Κρίσιμες παράμετροι του φαινομένου είναι το αδιάστατο ύψος του πρανούς H/λ και η κλίση του i .
- Η τοπογραφική επιδείνωση της οριζόντιας κίνησης παρουσιάζει έντονη χωρική διαφοροποίηση πίσω από τη στέψη, που μπορεί να χαρακτηρίζεται και από μεταβολή μεταξύ ενίσχυσης και απομείωσης (συγκριτικά με την απόκριση στο ελεύθερο πεδίο) σε μικρές οριζόντιες αποστάσεις της τάξης του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ των κυμάτων SV. Αντίστοιχα έντονη χωρική διαφοροποίηση εμφανίζεται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση. Οι μέγιστες ενισχύσεις της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης εμφανίζονται συνήθως πίσω από τη στέψη, και σε αποστάσεις έως $\lambda/2$ από την ίδια τη στέψη. Εν γένει, η χωρική διαφοροποίηση γίνεται πιο έντονη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση, καθώς μικραίνει το δεσπόζον μήκος κύματος λ .
- Η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης δεν είναι ενιαία, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο κατασκευής T . Σε κάθε περίπτωση διαφαίνεται ότι είναι σημαντική για $T=0$ (μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) και για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής, έως τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης T_e . Για παράδειγμα, η τοπογραφική επιδείνωση κρίνεται μη σημαντική (και πρακτικώς αμελητέα) για $T \geq 1\text{sec}$, και μόνο για ιδιαίτερα χαμηλόσυχνες διεγέρσεις το εν λόγω όριο μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες περιόδους. Το πόσο σημαντική είναι η τοπογραφική επιδείνωση της κίνησης για σχετικά

μικρές περιόδους κατασκευής εξαρτάται κυρίως από τις κρίσιμες παράμετρους του φαινομένου, δηλαδή το αδιάστατο ύψος του πρανούς H/λ και την κλίση του i , ενώ δεν εξαρτάται ουσιωδώς από τον αριθμό κύκλων της διέγερσης. Το συμπέρασμα αυτό αφορά και τους δύο φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} .

7.2. Βασικά συμπεράσματα: Μονοκλινή πρανή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη

Σχετικά με την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στη γειτονία ενός μονοκλινούς πρανούς που έχει «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, προκύπτουν οι κάτωθι αλλαγές/διαφοροποιήσεις:

- Εν γένει, η ύπαρξη «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη αλλάζει τις επιταχύνσεις στην περιοχή πίσω από τη στέψη, αλλά δεν επηρεάζει την περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Οι επιταχύνσεις αλλάζουν, ως επί το πλείστον, με βάση τη θεωρία 1Δ μετάδοσης κυμάτων για «μαλακή» στρώση επί ελαστικού βράχου.
- Η τιμή των τοπογραφικών επιδεινώσεων διαφοροποιείται σε μικρό βαθμό και ως τιμή και ως χωρική διαφοροποίηση, συγκριτικά με ό,τι αναμένεται για ομοιόμορφο πρανές (δηλαδή χωρίς «μαλακή» στρώση). Σε κάθε περίπτωση, όταν προκύπτουν αλλαγές στις τοπογραφικές ενισχύσεις λόγω «μαλακής» στρώσης πίσω από τη στέψη, αυτές είναι ελαφρώς ενισχυτικές (έως 10%). Στην πράξη οι αλλαγές αυτές προκύπτουν μόνο σε υψίσυχνες διεγέρσεις, δηλαδή όταν η δεσπόμενη περίοδος T_e είναι μικρότερη της ιδιοπερίοδου της «μαλακής» στρώσης T_s , οπότε και υπάρχει ελαφρά ενίσχυση των τοπογραφικών ενισχύσεων, όχι μόνο για $T=0$ αλλά και τοπικά στην περιοχή περιόδων της T_e , κυρίως στην παρασιτική κατακόρυφη διεύθυνση και λιγότερο στην οριζόντια. Αντίστοιχα, αν $T_e \geq T_s$, τότε οι αλλαγές στην τοπογραφική επιδείνωση λόγω «μαλακής» στρώσης εκμηδενίζονται, και ισχύει πρακτικώς ό,τι αναμένεται για ομοιόμορφα πρανή.

7.3. Επισκόπηση υπάρχουσων κανονιστικών διατάξεων

Τέλος, εστιάζοντας σε κριτική επισκόπηση των υπάρχουσων κανονιστικών διατάξεων του EC8 σχετικά με την τοπογραφική επιδείνωση πλησίον μονοκλινών πρανών προκύπτουν τα κάτωθι:

- Η προσαύξηση στη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση πίσω από τη στέψη μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη του 1.2 που προτείνεται για τη γειτονία ομοιόμορφων υψηλών πρανών, ενώ

όταν υπάρχει «μαλακή» στρώση η προσαύξηση της οριζόντιας τοπογραφικής ενίσχυσης φτάνει έως 10% και μόνο σε σχετικά υψίσυχνες διεγέρσεις, δηλαδή είναι πολύ μικρότερη του 20% για όλες τις διεγέρσεις που αναφέρει ο EC8. Οι ανωτέρω ενισχύσεις αφορούν μόνο τις μικρές περιόδους κατασκευής ($T \leq T_e$), και όχι όλο το φάσμα απόκρισης στη γειτονία του πρηνούς όπως προτείνει ο EC8.

- Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη σαφούς καθορισμού του εύρους της λεγόμενης «γειτονίας» του πρηνούς, καθώς η τοπογραφική επιδείνωση φθίνει με την απόσταση από το πρηνές. Αντίστοιχα, υπάρχει ανάγκη καθορισμού και συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης και για την κατακόρυφη συνιστώσα, καθώς είναι υπό προϋποθέσεις σημαντική, πάντα μόνο για μικρές περιόδους κατασκευής ($T \leq T_e$), όπως και για την οριζόντια συνιστώσα.

Επιπλέον, στην παρούσα εργασία προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού και για τις δύο συνιστώσες της κίνησης. Οι σχέσεις αυτές είναι απλές, και η εφαρμογή τους συνιστά χρήση και ήδη υπαρχουσών πολύ-παραμετρικών σχέσεων των Bouckovalas and Paradimitriou (2005) για τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Οι σχέσεις αυτές, εξασφαλίζουν λογικές προβλέψεις συγκρινόμενες με τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τις σεισμικές διεγέρσεις που εφαρμόστηκαν στα αναλυθέντα πρηνή. Η χρήση τους είναι επαρκής τόσο για ομοιόμορφα πρηνή όσο και για πρηνή με «μαλακή» στρώση πίσω από τη στέψη, αλλά σε περίπτωση υψίσυχνων διεγέρσεων θα πρέπει να γίνεται επιφυλακτικά.

Είναι βέβαια κατανοητό ότι περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου είναι αναγκαία, καθώς λόγω έλλειψης πειραματικών δεδομένων για σύγκριση και βαθμονόμηση των όσων βρέθηκαν στην παρούσα εργασία, δεν είναι δυνατή η γενίκευσή τους για τη δημιουργία ενός ενιαίου κώδικα διατάξεων για πιθανή μελλοντική έκδοση του EC8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Ashford SA, Sitar N, Lysmer J, Deng N. Topographic effects on the seismic response of steep slopes. *Bull Seismol Soc Am* 1997;87(3):701–9.

[2] Assimaki D, Kausel E and Gazetas G, “ Wave propagation and soil–structure interaction on a cliff crest during the 1999 Athens Earthquake”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 513–527, 2005

[3] Assimaki D, Gazetas G. Soil and topographic amplification on canyon banks and the Athens 1999 earthquake. *J Earthq Eng* 2004;8(1):1–44.

[4] Bourdeau. C, Havenith H.-B. “Site effects modelling applied to the slope affected by the Suisamyr earthquake (Kyrgyzstan, 1992)”, *Engineering Geology* 97 (2008) 126–145.

[5] Kausel E, Assimaki D. Simulation of dynamic, inelastic soil behaviour by means of frequency-dependent shear modulus and damping. *J Eng Mech, ASCE* 2001;128(1):34–47.

[6] Bouckovalas GD and Papadimitriou AG, “Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25 (7-10): pp. 547 – 558, 2005

[7] Bouckovalas G. D., Papadimitriou A. G. (2006), “Aggravation of seismic ground motion due to slope topography”, *Proceedings, 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, 3 – 8 September, paper no. 1171*

[8] Gazetas G, Kallou PV, Psarropoulos PN. Topography and soil effects in the MS 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: the case of Ada´mes. *Nat Hazards* 2002;27(1–2):133–69.

[9] Gazetas G. The 1999 Parnitha (Athens) Earthquake: soil effects on distribution of damage. In: Ansal A, editor. *Proceedings of 15th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering: lessons learned from recent strong earthquakes, Istanbul, 2001.* p.5–18.

[10] Gazetas G. Analytical and experimental evaluation of ground accelerations in the meizoseismal region of the Athens 1999 Earthquake. Research report, Organization of Antiseismic Protection (OASP), Athens 2001;1–3.

[11] Papadimitriou AG, “Topography effects on peak seismic acceleration at the ground surface of hills, canyons and slopes”, *Proceedings, ERTC-12 Workshop on Evaluation of Geotechnical Aspects of EC8, Athens, September 11, 2011*

[12] Ohtsuki A and Harumi K, “Effect of topography and subsurface inhomogeneities on seismic SV waves”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11: 441-462, 198

[13] Μπουκοβάλας Γ. Δ., Παπαδημητρίου Α. Γ., Βασδέκης Σ., Βουρβαχάκης Θ., Δρανδάκης Ε., Σοφιανού Ι. (2006), “Προσεγγιστικές σχέσεις επίδρασης τοπογραφίας στη σεισμική εδαφική κίνηση”, *Πρακτικά, 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη, Μάιος, Τόμος 2, σελ. 343-350.*



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000118160