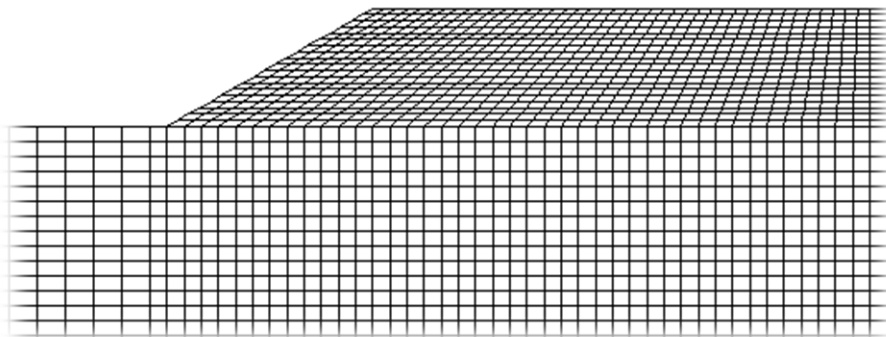




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης
σε ομογενή πρανή υπό σεισμική διέγερση**



**Aggravation of elastic response spectrum
at homogeneous slopes under seismic excitation**

Επιμέλεια: Ταξιάρχης Σείντος
Επιβλέπων: Αχιλλέας Παπαδημητρίου, Επίκ. Καθηγητής
Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Αχιλλέα Παπαδημητρίου για τη συνεχή στήριξη και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς χωρίς την πολύτιμη βοήθειά του η προσπάθεια θα ήταν δυσχερής έως αδύνατη.

Επίσης, ευχαριστώ την υπ. διδάκτορα Ταξιαρχούλα Λημναίου για τη συμβολή της σε ότι αφορά την εκμάθηση των λογισμικών που απαιτήθηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την οικονομική και ηθική στήριξη και ανθρώπους από το φιλικό περιβάλλον που μου στάθηκαν, κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	
Abstract.....	

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας.....	2

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική αναδρομή

2.1 Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης.....	3
2.2 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης	9
2.3 Αλληλεπίδραση εδαφικής στρώσης με τοπογραφική επιδείνωση.....	16

Κεφάλαιο 3: Αριθμητική μεθοδολογία

3.1 Περιγραφή λογισμικού.....	21
3.2 Περιγραφή αριθμητικής προσομοίωσης.....	22
3.3 Σεισμικές διεγέρσεις.....	24
3.4 Απόσβεση συστήματος.....	24
3.5 Σχεδιασμός παραμετρικών αναλύσεων.....	25

Κεφάλαιο 4: Τοπογραφική επιδείνωση σεισμικής κίνησης ομογενών μονοκλινών πρανών

4.1 Γενικά.....	26
4.2 Σεισμική απόκριση απότομων πρανών.....	27
4.3 Σεισμική απόκριση ήπιων πρανών.....	38
4.4 Σχέση μέγιστης φασματικής ενίσχυσης με ενίσχυση μέγιστης επιτάχυνσης.....	45

Κεφάλαιο 5: Αποτίμηση αξιοπιστίας μεθοδολογιών εκτίμησης τοπογραφικής ενίσχυσης

5.1 Γενικά.....	48
5.2 Αποτίμηση μεθοδολογιών για απότομα πρανή.....	48
5.3 Αποτίμηση μεθοδολογιών για ήπια πρανή.....	58
5.4 Συνολική αποτίμηση αξιοπιστίας.....	66
5.5 Διόρθωση πρότασης για την κατακόρυφη διεύθυνση.....	68
5.6 Πρόβλεψη ιστορικών περιστατικών τοπογραφικής επιδείνωση.....	82

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

6.1 Γενικά συμπεράσματα για την τοπογραφική επιδείνωση σε ομογενή πρανή.....	86
6.2 Συμπεράσματα για το σχεδιασμό έναντι τοπογραφικής επιδείνωσης σε ομογενή πρανή.....	86
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	89
Παράρτημα Α: Χρονοϊστορίες και φάσματα απόκρισης διεγέρσεων.....	91
Παράρτημα Β: Πλήρη αποτελέσματα αναλύσεων.....	97

Περίληψη

Το πρόβλημα της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης στη γειτονία ομογενών μονοκλινών πρανών έχει μελετηθεί αρκετά στη βιβλιογραφία, ενώ προσεγγίζεται ακροθιγώς και στον EC8. Παρόλα αυτά, λίγες εργασίες έχουν καταλήξει σε προτάσεις για την προσεγγιστική εκτίμηση της τοπογραφικής επιδείνωσης. Για παράδειγμα, οι Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) πρότειναν σχέσεις υπολογισμού για την επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους πίσω απ' τη στέψη (και στις 2 διευθύνσεις) και την χωρική μεταβολή της τοπογραφικής επιδείνωση (στο έδαφος) μπροστά και πίσω από το πρανές. Ταυτόχρονα, οι Assimaki et al. (2005) έκαναν μια αντίστοιχη πρόταση, η οποία εμπεριείχε και τη φασματική τοπογραφική επιδείνωση στην οριζόντια συνιστώσα. Αργότερα, η Κοντογιάννη (2013) προτείνει σχέσεις για τη φασματική τοπογραφική επιδείνωση, που επεκτείνουν τις προτάσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) για όλες τις περιόδους κατασκευής, και στις 2 συνιστώσες της κίνησης.

Στην εργασία αυτή γίνεται διερεύνηση της αξιοπιστίας των ανωτέρω προτάσεων, μέσω αριθμητικής διερεύνησης για ρεαλιστικές περιπτώσεις πρανών και διεγέρσεων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται αναλύσεις για ομογενή μονοκλινή πρανή ήπιας ($i=15^\circ$) και απότομης κλίσης ($i=30^\circ$) και ύψους $H = 30$ και 60m , υπό καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες σεισμών. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιούνται αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών και το λογισμικό FLAC. Το έδαφος θεωρείται ιξωδο-ελαστικό, ομογενές με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s = 400, 800\text{ m/s}$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και πυκνότητα $\rho = 2\text{ Mg/m}^3$. Η διέγερση εισάγεται στη οριζόντια βάση του καννάβου ως χρονοϊστορία διατμητικής τάσης, που, συνδυαζόμενη με αποσβεστήρες, αναπαριστά την κατακόρυφη πρόσπτωση κατακόρυφων κυμάτων SV. Υιοθετείται απόσβεση τύπου Rayleigh με ελάχιστη τιμή $\xi_{\min}=5\%$, στη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης. Ως διεγέρσεις χρησιμοποιούνται δέκα καταγραφές με εύρος δεσποζουσών περιόδων $T_e = 0.18 - 0.46\text{sec}$, που καλύπτουν το σύνθετες εύρος διεγέρσεων υποβάθρου στον ευρωπαϊκό χώρο (Κατηγορία Εδάφους A, κατά τον EC8).

Από τις αριθμητικές αναλύσεις προκύπτουν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Σημαντικές ενισχύσεις και στις δυο διευθύνσεις προκύπτουν για τιμές περιόδων κατασκευής μικρότερες της δεσπόζουσας της διέγερσης, ενώ για μεγάλες τιμές περιόδων η ενίσχυση είναι αμελητέα.
- Στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, οι τιμές ενισχύσεων μεγιστοποιούνται γύρω από τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης, και βρίσκονται έως και διπλάσιες από τις αντίστοιχες για $T=0$, και αυτό είναι εντονότερο σε απότομα πρανή.
- Οι σημαντικότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν τα αποτελέσματα είναι το αδιάστατο ύψος H/λ (όπου λ το δεσπόζον μήκος διατμητικών κυμάτων) και η κλίση του πρανούς, με τις επιδράσεις τους να μην είναι εντελώς ανεξάρτητες.

Από την αξιολόγηση των υπαρχουσών προτάσεων της βιβλιογραφίας για το σχεδιασμό έναντι τοπογραφικής επιδείνωσης, προκύπτει:

- Οι διατάξεις του EC8 είναι υπερ-απλουστευτικές (καμία αναφορά σε διαφοροποίηση ως συνάρτηση της περιόδου κατασκευής T), εν δυνάμει μη-συντηρητικές (μέγιστη επιδείνωση 1.2) και ελλιπείς (δεν προσδιορίζεται η «γειτονία» του πρανούς).

- Η πρόταση των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) συμπληρώνει τον EC8, είναι ποιοτικά και ποσοτικά ακριβής για $T=0\text{sec}$, μα δεν αναφέρεται στη φασματική τοπογραφική επιδείνωση.
- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005) έχει ποιοτική ακρίβεια για την φασματική τοπογραφική επιδείνωση στην οριζόντια συνιστώσα, μα ποσοτικά είναι συντηρητική. Δεν αναφέρεται σε φασματική επιδείνωση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας.
- Η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) είναι ολοκληρωμένη, έχει ποιοτική και ποσοτική ακρίβεια (και σε σύγκριση με ιστορικά περιστατικά), και γίνεται ακριβέστερη με την προτεινόμενη αλλαγή στη φασματική επιδείνωση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας.

Abstract

The effect of homogeneous step-like slopes on seismic ground motion has been considerably examined in the literature, while it is crudely approximated in EC8 provisions. Nevertheless, only few studies suggest methodologies for estimating topographic aggravation of seismic ground motion. For example, Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) suggested approximate relations for the aggravation of the maximum ground acceleration behind the crest of a step-like slope (in both horizontal and vertical directions) and the spatial variation of the topographic aggravation (at the ground surface) in front and behind the slope. Concurrently, Assimaki et al. (2005) suggested similar design expressions, including the spectral topographic aggravation for the horizontal acceleration. More recently, Kontogianni (2013) suggested expressions for the spectral topographic aggravation, that extend the relations of Bouckovalas and Papadimitriou (2005, 2006) for all structural periods T and for both vibration directions.

The present work evaluates the reliability of the foregoing literature suggestions, through numerical analyses for realistic cases of slope-excitation combination. Specifically, numerical analyses were performed for homogeneous mild ($i=15^\circ$) and steep ($i=30^\circ$) step-like slopes and slope height $H=60\text{m}$, under actual seismic excitations. In more detail, analyses are performed using the Finite Difference method via FLAC. Soil is considered visco-elastic, homogeneous with shear wave velocity $V_s = 400, 800 \text{ m/s}$, Poisson's ratio $\nu=1/3$ and mass density $\rho = 2 \text{ Mg/m}^3$. Seismic excitations are imposed as time histories of shear stress at the horizontal base of the mesh, which, combined with transmitting boundaries, reflects vertically propagating SV waves. Rayleigh damping is adopted, with critical damping ratio $\xi_{\min}=5\%$ set at the predominant period T_e of each excitation. The selected excitations were actual seismic motion records with $T_e = 0.18 - 0.46 \text{ sec}$, thus covering the usual range of bedrock motions in European region (Soil Category A, EC8).

The results of the numerical analyses lead to the following general conclusions:

- Topographic amplification in both directions tends to be more intense for low structural periods, while it is insignificant for high structural periods.
- Regarding the parasitic vertical acceleration, amplification maximizes for structural periods near the predominant period value; this maximum amplification may be as high as twice that for the ground surface ($T=0\text{s}$) and is more intense for steep slopes.
- The most important factors that affect topographic aggravation are the normalized slope height H/λ (where λ is the predominant wavelength of the shear waves) and the slope inclination $i(^\circ)$. The results indicate a possible interrelation between these factors.

The validation of literature proposals for the estimation of topographic aggravation leads to the following conclusions:

- The provisions of EC8 are simplistic (no reference to differentiation in terms of structural period T), possibly non-conservative (maximum amplification 1.2) and incomplete (no quantification given to the "vicinity" of a slope).
- The suggestion of Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) supplements the EC8 provisions, is found to be qualitative and quantitatively accurate for $T = 0\text{s}$, but does not refer to other structural periods.
- The suggestion of Assimaki et al. (2005) is qualitatively accurate for the spectral aggravation of the horizontal acceleration, but is considered over-conservative. It does not include a provision for the spectral aggravation of the parasitic vertical acceleration.

- The proposal of Kontogianni (2013) is complete, qualitatively and quantitatively accurate (and in comparison to case histories), while its accuracy is enhanced via the hereby proposed change for the spectral aggravation of the parasitic vertical acceleration.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης καλείται η επίδραση που έχει στη σεισμική απόκριση του εδάφους μια τοπογραφική ανωμαλία, πάντα συγκριτικά με το ελεύθερο πεδίο όπου το έδαφος είναι οριζόντιο και μακριά από την εν λόγω ανωμαλία. Η επίδραση στη σεισμική κίνηση οφείλεται στην υπό γωνία πρόσπτωση σεισμικών κυμάτων σε κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους, που οδηγεί σε ανακλάσεις και διαθλάσεις, καθώς και στη δημιουργία επιφανειακών κυμάτων. Σε περιπτώσεις μονοκλινούς πρανούς που ενδιαφέρουν εδώ, η επίδραση συνίσταται σε τοπικές διαφοροποιήσεις της σεισμικής ταλάντωσης, και κυρίως σε ενίσχυση της ταλάντωσης πλησίον της στέψης του πρανούς και σε εξασθένιση αυτής στον πόδα του πρανούς. Επισημαίνεται εδώ ότι οι τοπικές διαφοροποιήσεις της σεισμικής κίνησης λόγω τοπογραφίας αποσβένονται με την απόσταση από την τοπογραφική ανωμαλία. Η ανάγκη μελέτης του φαινομένου προέκυψε από την παρατήρηση ζημιών που προκλήθηκαν σε σεισμικά γεγονότα, σε κατασκευές που βρίσκονταν στη στέψη -ή στη «στενή» περιοχή γύρω από αυτήν-, οι οποίες ήταν αρκετά εντονότερες εκείνων σε κοντινές αποστάσεις αλλά σε άλλες θέσεις ως προς την τοπογραφική ανωμαλία. Τέτοιες παρατηρήσεις έγιναν ιστορικά για πρώτη φορά στο Lambesc (Γαλλία, 1909), και πιο πρόσφατα και συστηματικά στο San Fernando (Καλιφόρνια, 1971), Friuli (Ιταλία, 1976), Ιρπίνια (Ιταλία, 1980), Coalinga (Καλιφόρνια, 1983), Χιλή (1985), Whittier Narrows (Καλιφόρνια, 1987), Northridge (Καλιφόρνια, 1994) “Eje-Cafetero” (Κολομβία, 1998), Bignol (Τουρκία, 2003), Αϊτή (2010), αλλά και στον ελλαδικό χώρο στο σεισμό της Κοζάνης (1995), του Αιγίου (1995) και της Αθήνας (1999).

Στη διπλωματική εργασία αυτή διερευνάται η επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης για την οριζόντια και την (παρασιτικά προκύπτουσα) κατακόρυφη επιτάχυνση στη γειτονία ομοιόμορφων μονοκλινών πρανών σε σχέση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν για μονοδιάστατες συνθήκες ταλάντωσης σε κάθε θέση. Η εκτίμηση της επιδείνωσης της σεισμικής απόκρισης, λόγω της συγκεκριμένης τοπογραφίας γίνεται αριθμητικά, μέσω ιξωδο-ελαστικών αναλύσεων για 2D ομοιόμορφα πρανή. Για μεγαλύτερη εμβάθυνση στο συγκεκριμένο πρόβλημα, μελετάται η τοπογραφική επιδείνωση, όχι μόνο της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης (στο έδαφος), αλλά ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης, και για τις δυο συνιστώσες (οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη). Η διερεύνηση του ζητήματος έχει παραμετρικό χαρακτήρα και τελικό στόχο την πρόταση σχέσεων εκτίμησης συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού και για τις δυο συνιστώσες. Οι συντελεστές αυτοί θα είναι διαφορετικοί για κάθε θέση, κάθε περίοδο κατασκευής T και στην εκτίμησή τους θα λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία του πρανούς, οι γεωτεχνικές παράμετροι του εδάφους και τα χαρακτηριστικά της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται συνοπτικά το αντικείμενο της εργασίας και η διάρθρωση αυτής. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 2, παρατίθενται εργασίες που ασχολήθηκαν με την επίδραση της τοπογραφίας ομοιόμορφου μονόκλινους πρανούς στην σεισμική επιτάχυνση. Μέσω της βιβλιογραφίας, γίνονται σαφείς οι περιορισμοί των υπάρχοντων μελετών καθώς και ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα (π.χ. κλίση πρανούς), αλλά και ποια είναι τα αποτελέσματα-μεγέθη που μας απασχολούν (π.χ. τιμή ενίσχυσης).

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναλυτική περιγραφή του υπολογιστικού προγράμματος FLAC που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Εκεί, περιλαμβάνονται στοιχεία για τις υπολογιστικές δυνατότητές του (σε στατικές και δυναμικές αναλύσεις κλπ.) και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του. Για να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα της υπολογιστικής μεθόδου στο πρόβλημα που πραγματεύεται η παρούσα εργασία γίνεται επαλήθευση με τα αποτελέσματα διαπιστευμένης μεθοδολογίας από τη βιβλιογραφία, εφαρμοσμένης για την περίπτωση τοπογραφίας φαραγγιού. Τέλος, αναφέρεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στην περίπτωση του μονοκλινούς πρανούς και η διαδικασία ανάλυσης που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία.

Υστερα, στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας για τρεις (3) περιπτώσεις μονοκλινών πρανών, υπό δέκα (10) πραγματικές διεγέρσεις, που καλύπτουν το εύρος αναμενόμενων διεγέρσεων υποβάθρου στον Ευρωπαϊκό Χώρο. Για λόγους πληρότητας, ελέγχεται και η αδιαστατοποίηση της σεισμικής απόκρισης ως προς το δεσπόζον μήκος διατμητικού κύματος λ στο γεωϋλικό του πρανούς.

Μετάπειτα, στο Κεφάλαιο 5 της εργασίας παρουσιάζονται σε δυο τύπους διαγραμμάτων τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων για τη συμπεριφορά του μονοκλινούς πρανούς υπό σεισμική διέγερση και μαζί με αυτά η προβλεπόμενη -από αναλυτικές σχέσεις της βιβλιογραφίας- συμπεριφορά. Γίνεται αποτίμηση των σχέσεων και προτείνονται βελτιώσεις, με βάση τις πραγματοποιηθείσες αριθμητικές αναλύσεις για πραγματικές σεισμικές καταγραφές. Στο τέλος του κεφαλαίου διερευνάται η αξιοπιστία των τελικώς προτεινόμενων συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης, με βάση αποτελέσματα μελετών ιστορικών περιστατικών.

Στο τέλος, στο Κεφάλαιο 6 εξάγονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα από την παρούσα εργασία, ενώ γίνονται και προτάσεις για μελλοντική έρευνα επί του συγκεκριμένου αντικειμένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Μονοκλινές πρανές καλείται κάθε κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους κλίσης i , φυσική ή τεχνητή, που δημιουργεί διαφορά ύψους H μεταξύ δυο πρακτικώς οριζοντίων επιπέδων του εδάφους (Σχήμα 2.1). Το μονοκλινές πρανές θα ονομάζεται παρακάτω, χάριν συντομίας, απλά ως πρανές.



Σχήμα 2.1 Όψη και βασικά μεγέθη μονοκλινούς πρανούς.

2.1 Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης

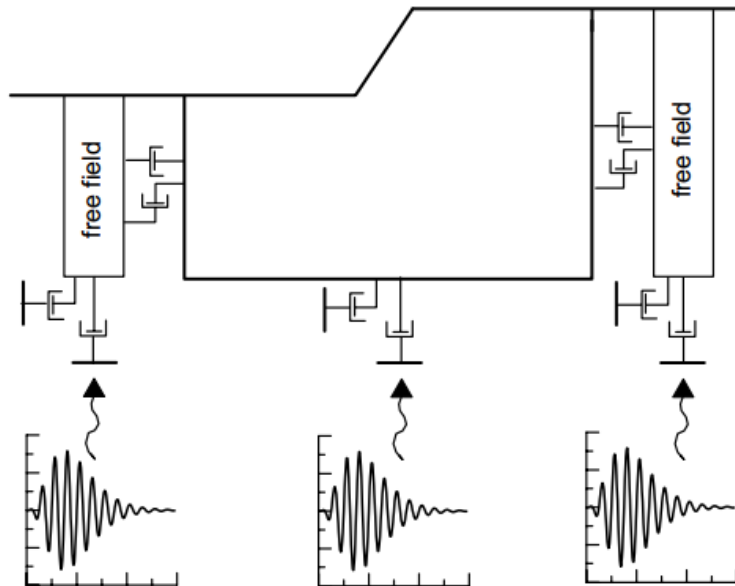
Σύμφωνα με αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία (π.χ. Ashford & Sitar 1997, Ashford et al., Bouckonalas & Papadimitriou 2005) για την επιδείνωση λόγω τοπογραφίας πρανούς προκύπτει ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ενίσχυση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (a_x) στη στέψη του πρανούς ως προς εκείνη στο ελεύθερο πεδίο ($a_{x,ff}$) δεν ξεπερνάει την τιμή 2 για κύματα SH, για μήκος κύματος τάξης ανάλογης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης τοπογραφικής μορφής. Η τιμή της $a_{x,ff}$, ως προς την οποία ανάγεται η a_x , αποτελεί την απόκριση του εδάφους στο οριζόντιο, ελεύθερο πεδίο πίσω από τη στέψη για κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα. Κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανούς, μεταξύ στέψης και πόδα, παρατηρείται ενίσχυση σε κάποια σημεία και απομείωση σε άλλα. Επομένως, η συμπεριφορά δεν είναι συγκεκριμένη. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για πρόσπτωση κυμάτων SV, με τη διαφορά να έγκειται στην εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών ενίσχυσης. Πέρα από τις επιπτώσεις στην οριζόντια επιτάχυνση, παρατηρείται εμφάνιση κατακόρυφης συνιστώσας της επιτάχυνσης a_y , οι τιμές της οποίας είναι μεν μικρότερες των αντίστοιχων οριζοντίων, αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις λαμβάνονται και μεγάλες τιμές ($a_y/a_{x,ff} < 1.6$ για κύμα SV). Η τιμή του απολύτως μεγίστου εντοπίζεται στη στενή περιοχή της στέψης και για μεγάλες τιμές της αδιάστατης συχνότητας.

Παραμετρικές μελέτες παρουσιάζονται από τους Ashford & Sitar (1997) και Ashford et al. (1997), οι οποίοι ποσοτικοποιούν την επίδραση της κλίσης i , του ύψους του πρανούς H , του είδους (P, SH, SV) και του μήκους λ του κύματος, καθώς και της γωνίας πρόσπτωσης β . Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επεκτατικές μελέτες (Bouckonalas & Papadimitriou, 2005) που εξετάζουν την επίδραση επιπρόσθετων παραμέτρων, όπως η υστερητική απόσβεση του εδάφους ξ και ο αριθμός των σημαντικών κύκλων διέγερσης N , όπου εκτιμάται η τοπογραφική επιδείνωση καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους και προτείνονται προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού της επιρροής της τοπογραφίας πρανούς στη σεισμική κίνηση. Παρακάτω παρουσιάζεται με σύντομο σχετικά τρόπο η εν λόγω μελέτη και παρατίθενται οι προσεγγιστικές σχέσεις που επεκτείνονται σε μορφή διαγραμμάτων σχεδιασμού.

Οι προσεγγιστικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) προέκυψαν από παραμετρικές αναλύσεις με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιεί το λογισμικό FLAC (Itasca 1993). Το έδαφος υποτέθηκε ιξωδο-ελαστικό, ομοιόμορφο με $V_s=500$ m/s, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και πυκνότητα $\rho=2$ Mg/m³. Ένα παράδειγμα 2Δ γεωμετρίας πρανού με τις συνοριακές συνθήκες των αναλύσεων φαίνεται στο **Σχήμα 2.2**. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με:

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

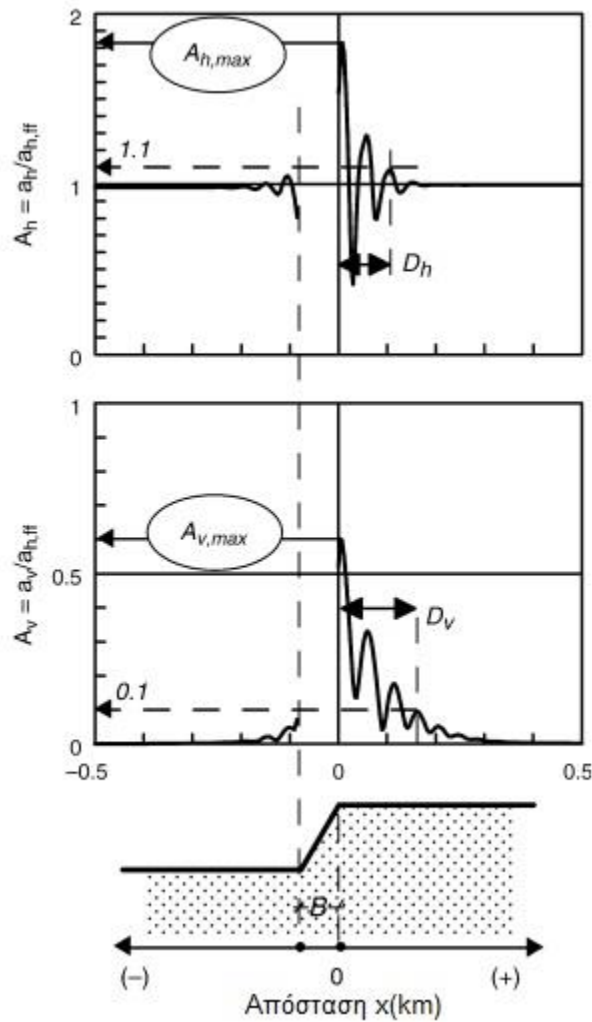
Η επιβολή της διέγερσης ως χρονοϊστορία τάσης και όχι επιτάχυνσης, διασφαλίζει το να μη δημιουργούνται τεχνητές ανακλάσεις.



Σχήμα 2.2 2Δ Γεωμετρία αναλύσεων, συνοριακές συνθήκες και μορφή διέγερσης (Bouckovalas & Papadimitriou 2005).

Στο **Σχήμα 2.3** παρουσιάζονται τυπικά αποτελέσματα για την περίπτωση πρανού με κλίση $i=30^\circ$, κανονικοποιημένο ύψος πρανού $H/\lambda=2.0$, απόσβεση $\xi=5\%$ και $N=6$ (6 σημαντικοί κύκλοι διέγερσης). Συγκεκριμένα, το σχήμα αυτό παρουσιάζει τη μεταβολή των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης $A_h=a_h/a_{h,ff}$ και $A_v=a_v/a_{h,ff}$ συναρτήσει της απόστασης από τη στέψη x , όπου a_h και a_v είναι η μέγιστη οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους. Η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στην επιφάνεια του ελεύθερου πεδίου $a_{h,ff}$ χρησιμοποιείται τόσο για την κανονικοποίηση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης, όσο και για την μέγιστη

παρασιτική κατακόρυφη. Ο λόγος γι αυτό είναι ότι για κατακόρυφα προσπίπτον κύμα SV η κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης στο ελεύθερο πεδίο $a_{v,ff}$ είναι μηδενική.



Σχήμα 2.3 Τοπογραφική επιδείνωση μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Τυπικά αποτελέσματα για πρανές με κλίση $i=30^\circ$, $H/\lambda=2.0$, $\xi=5\%$ και $N=6$ (Bouckovalas & Papadimitriou 2005).

Ερμηνεύοντας το **Σχήμα 2.3** προκύπτουν τα εξής τρία συμπεράσματα:

α) Αναμένεται ενίσχυση της μέγιστης και παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη και απομείωση αυτών των δύο μεγεθών μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Επιπρόσθετα, όσο η απόσταση από την τοπογραφική ιδιομορφία μεγαλώνει, παρατηρείται απομείωση της έντασης του φαινομένου έως η απόκριση να εξισωθεί με εκείνη στο ελεύθερο πεδίο.

β) Ακόμη και καθαρά οριζόντια διέγερση (περίπτωση κατακόρυφων κυμάτων SV στη βάση), οδηγεί στη δημιουργία παρασιτικής μεν κατακόρυφης κίνησης στη περιοχή γύρω από το πρανές, εξίσου σημαντικής δε, υπό προϋποθέσεις, αφού μπορεί να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας.

γ) Το μέγεθος της ενισχύσεως στην περιοχή πίσω από τη στέψη παρουσιάζει μεταβλητότητα συναρτήσει της αποστάσεως. Συγκεκριμένα, υπάρχουν θέσεις στις οποίες παρουσιάζεται ενίσχυση ($A_h > 1.0$) και θέσεις όπου η οριζόντια κίνηση απομειώνεται. Η απόσταση μεταξύ ενός μεγίστου και ενός ελαχίστου βρίσκεται ότι είναι της τάξης μεγέθους του κύματος λ των κυμάτων SV. Αναλόγως, μεταβλητότητα εμφανίζεται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση.

Η δημιουργία παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης στη γειτονία του πρανούς οφείλεται στις ανακλάσεις προσπιπτόντων κυμάτων SV στην επιφάνεια του πρανούς και στη δημιουργία κυμάτων P και SV, αλλά και κυμάτων Rayleigh, τα οποία έχουν όλα σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα. Το γεγονός ότι αυτά τα δευτερογενή κύματα φθάνουν στα διάφορα σημεία π.χ. της στέψης με χρονική υστέρηση και διαφορά φάσης σε σχέση με τα πρωτογενή κύματα SV φέρει ως αποτέλεσμα η επαλληλία των δύο αυτών να δημιουργεί σημεία με απομείωση και ενίσχυση, αντίστοιχα.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδηλώνουν πως η έμμεση διακρίβωση της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης μέσω αντιστροφών αναλύσεων βλαβών σε κτίρια είναι ιδιαίτερα δυσχερής, και η πειραματική μέτρηση αυτής θα πρέπει να γίνεται μέσω πυκνού δικτύου επιταχυνσιογράφων.

Στη μελέτη των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) εκτελέστηκαν 90 παραμετρικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης με στόχο τη διερεύνηση της επιρροής των τεσσάρων παρατιθέμενων παραμέτρων:

- κλίση του πρανούς i ($^\circ$) ή $I=i/90^\circ$, για $i=10^\circ - 90^\circ$
- κανονικοποιημένο ύψος του πρανούς $H/\lambda=0.05 - 2.0$
- αριθμός σημαντικών κύκλων διέγερσης $N=1 - 12$
- υστερητική απόσβεση $\xi=0 - 20\%$

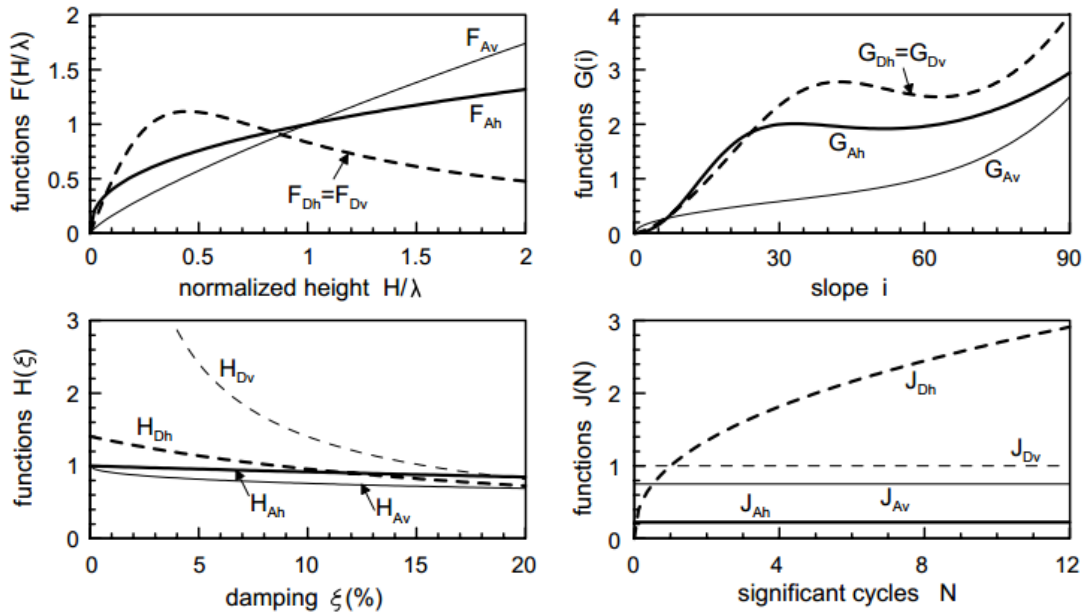
Η μελέτη επικεντρώθηκε σε τέσσερις παραμέτρους: α) τη μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης $A_{h,max}$, β) τη μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση της κατακόρυφης επιτάχυνσης $A_{v,max}$, την απόσταση πίσω από τη στέψη στην οποία η επιτάχυνση του εδάφους δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη του πρανούς γ) στην οριζόντια διεύθυνση (D_h) και δ) στην κατακόρυφη διεύθυνση (D_v) (εκεί όπου, δηλαδή, $A_h < 1.10$ και $A_v < 0.10$ αντίστοιχα). Στο **Σχήμα 2.4** φαίνεται η μορφή των συναρτήσεων $F(H/\lambda)$, $G(i)$, $H(\xi)$, $J(N)$ που υπεισέρχονται στις προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h/H και D_v/H (**Σχέσεις 2.1-2.4**):

$$A_{h,max} = 1 + F_{Ah} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Ah}(I) H_{Ah}(\xi) J_{Ah}(N), \quad (2.1)$$

$$A_{v,max} = 1 + F_{Av} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Av}(I) H_{Av}(\xi) J_{Av}(N), \quad (2.2)$$

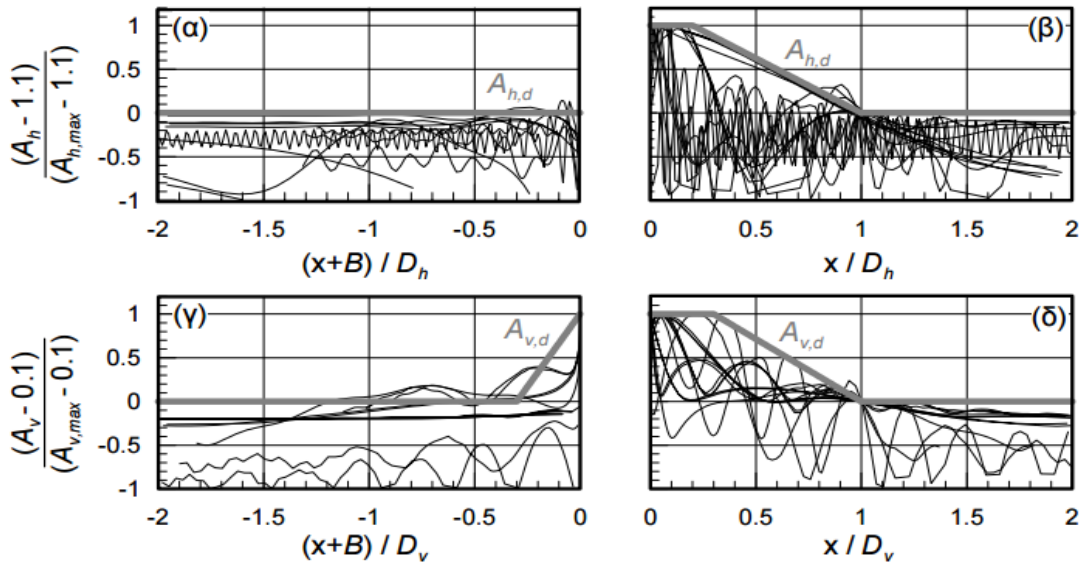
$$D_h/H = 1 + F_{Dh} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dh}(I) H_{Dh}(\xi) J_{Dh}(N), \quad (2.3)$$

$$D_v/H = 1 + F_{Dv} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dv}(I) H_{Dv}(\xi) J_{Dv}(N), \quad (2.4)$$



Σχήμα 2.4. Μορφή εξισώσεων που υπεισέρχονται στις προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων ανάλυσης (Bouckovalas & Papadimitriou 2005).

Επιπλέον, 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 χαρακτηρίζεται υπερβολικά συντηρητική και μη συμβατή με τις αναλύσεις. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα μεταβολής των A_h και A_v με την απόσταση x από τη στέψη και για τις 90 αναλύσεις κανονικοποιήθηκαν ως προς τις εκάστοτε τιμές $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h και D_v . Το αποτέλεσμα αυτού φαίνεται στο **Σχήμα 2.5**.



Σχήμα 2.5 Περιβάλλουσες σχεδιασμού των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς ($B=H/\tan(i)$) (Μπουκοβάλας κ.α. 2006).

Από την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων προέκυψαν οι σχέσεις για τις περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$ με την απόσταση x από τη στέψη του πρανούς (Μπουκοβάλας κ.α. 2006):

$$A_{h,d} = \begin{cases} 1.0 \div 1.1, & x \leq -B \\ 1.1 + \frac{A_{h,max} - 1.1}{B}(x+B), & -B \leq x \leq 0 \\ A_{h,max}, & 0 \leq x \leq 0.2D_h \\ A_{h,max} - \frac{A_{h,max} - 1.1}{0.8D_h}(x - 0.2D_h), & 0.2D_h \leq x \leq D_h \\ 1.0 \div 1.1, & D_h \leq x \end{cases}, \quad (2.5)$$

$$A_{v,d} = \begin{cases} 0.0 \div 0.1, & x \leq -(B + 0.3D_v) \\ 0.1 + \frac{A_{v,max} - 0.1}{0.3D_v}(x + B + 0.3D_v), & -(B + 0.3D_v) \leq x \leq -B \\ A_{v,max}, & -B \leq x \leq 0.3D_v \\ A_{v,max} - \frac{A_{v,max} - 0.1}{0.7D_v}(x - 0.3D_v), & 0.3D_v \leq x \leq D_v \\ 0.0 \div 1.1, & D_v \leq x \end{cases}, \quad (2.6)$$

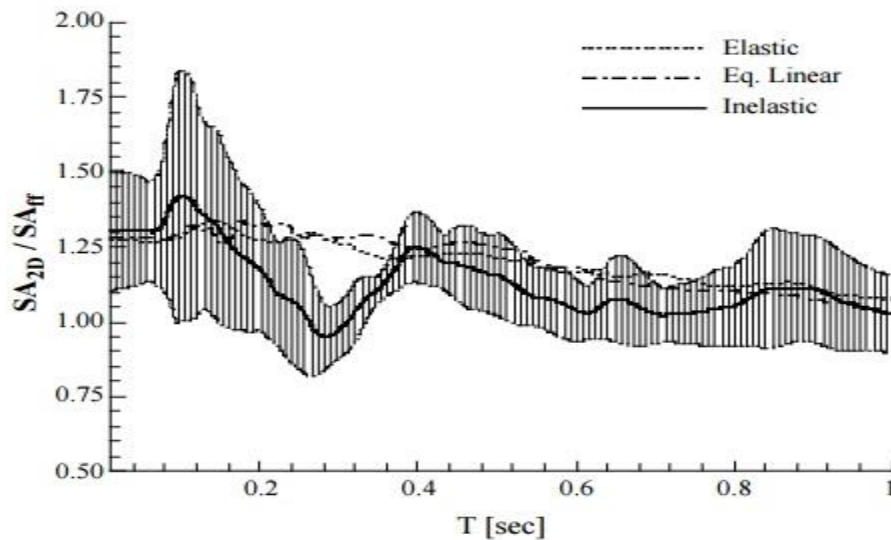
Αν και υπάρχουν πολλές μελέτες στη βιβλιογραφία με αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων για την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης, δεν αναφέρονται εδώ καθώς δεν κατάλληλουν σε προσεγγιστικές σχέσεις εκτίμησης, που είναι ο κύριος στόχος της παρούσας εργασίας.

2.2 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης

Όλα τα παραπάνω στοιχεία περιορίζονται στη προσέγγιση του προβλήματος της τοπογραφικής επιδείνωσης πρηνών στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση. Αντικείμενο ενδιαφέροντος όμως, αποτελεί και η διερεύνηση της τοπογραφικής επιδείνωσης ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση, αν και δεν έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στη βιβλιογραφία. Παρά το ότι έχουν γίνει διεθνείς ερευνητικές προσπάθειες, οι ισχύοντες αντισεισμικοί κανονισμοί παγκοσμίως δεν έχουν συμπεριλάβει σχετικές διατάξεις. Εξάιρεση αποτελεί ο EC8, του οποίου οι διατάξεις μπορούν να θεωρηθούν σύμφωνα με Papadimitriou (2011):

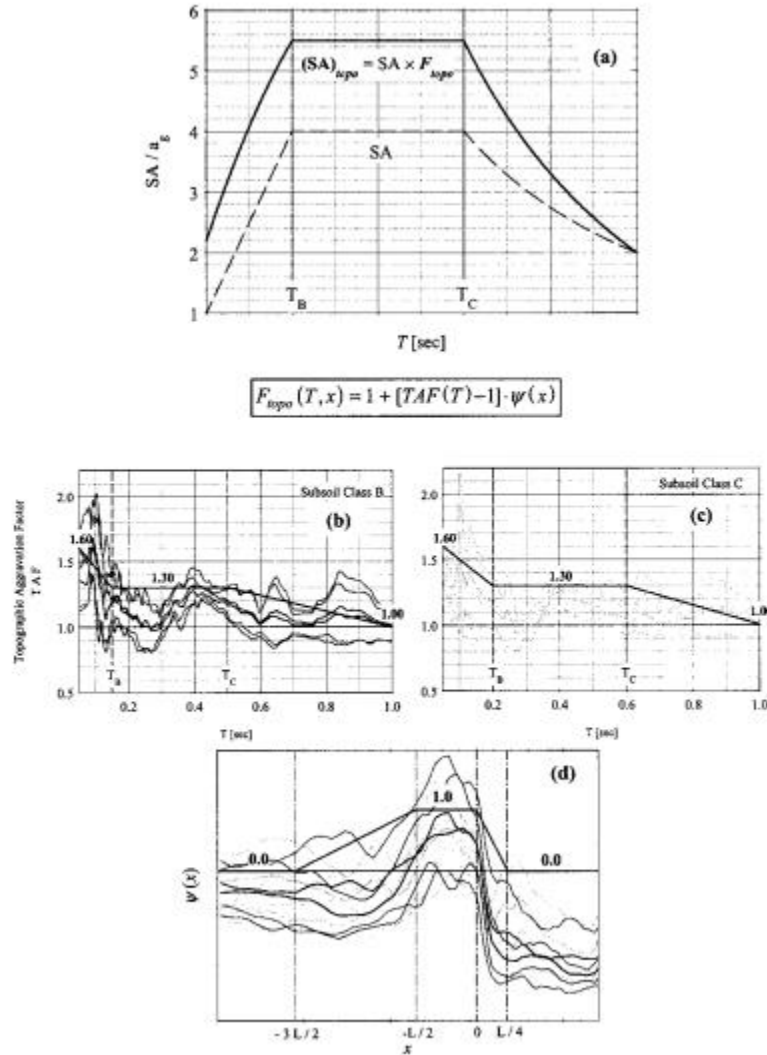
- υπερ-απλουστευτικές, αφού θεωρούν ενιαίο συντελεστή ενίσχυσης του οριζόντιου ελαστικού φάσματος, και
- ασαφείς, αφού δεν ποσοτικοποιείται η γειτονία του πρηνούς (πόση είναι αυτή η απόσταση);).

Αυτό που θεωρεί ο EC8 είναι 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 20% ανάλογα και με το ύψος και την κλίση του πρηνούς). Η επίδραση της τοπογραφίας στο ελαστικό φάσμα απόκρισης μπορεί να προσεγγισθεί μόνο πειραματικά (καταγραφές) ή αριθμητικά. Όμως, η αντίστροφη ανάλυση μέσω καταγραφών, δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, εξαιτίας της χωρικής μεταβλητότητας του φαινομένου. Για την περίπτωση αριθμητικής ανάλυσης, η εξαγωγή συμπερασμάτων γίνεται έπειτα από επεξεργασία αναλύσεων ιστορικών περιστατικών. Συνοπτική παρουσίαση τέτοιων περιστατικών γίνεται παρακάτω:



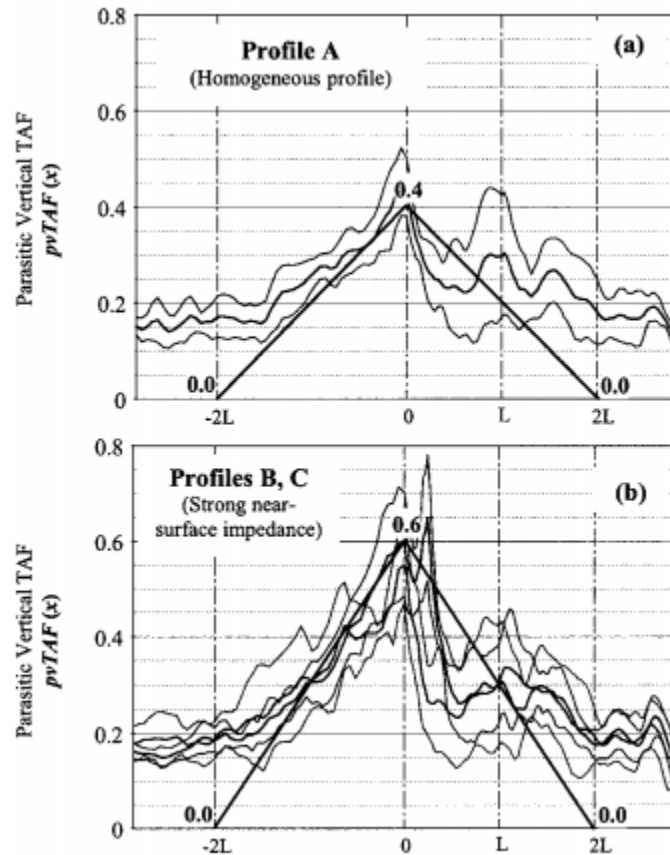
Σχήμα 2.6 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος σε απόσταση $x=20m$ πίσω από τη στέψη (Assimaki et al. 2005).

α) Στη μελέτη των Assimaki et al. (2005) για το σεισμό της Αθήνας (1999), δόθηκε έμφαση σε πρηνές κλίσης $i=30^\circ$ και ύψους $H=40\text{m}$, για το οποίο υιοθετήθηκαν διαφορετικά εδαφικά προφίλ, ώστε να αντιστοιχούν σε διαφορετικά δεσπόζοντα μήκη κύματος λ . Γι' αυτά έγιναν διαφορετικού τύπου αναλύσεις (ελαστικές, ισοδύναμα - γραμμικές, μη γραμμικές) και εκτιμήθηκε η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος για τη θέση μέγιστης τοπογραφικής ενίσχυσης (σε απόσταση $x=20\text{m}$ πίσω από τη στέψη του πρηνούς), η οποία φαίνεται στο **Σχήμα 2.6**.



Σχήμα 2.7 α) Μεταβολή τυπικού φάσματος σχεδιασμού(επιδείνωση) λόγω F_{topo} β,γ) Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του $TAF(T_{\text{str}})$, συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος για το σύνολο των προσομοιώσεων για προφίλ κατηγορίας B (σιμφό έδαφος κατά EC8) και κατηγορίας C (μέσο έδαφος κατά EC8), αντίστοιχα, δ) χωρική διακύμανση της μέγιστης κανονικοποιημένης οριζόντιας επιτάχυνσης (Assimaki et al. 2005).

Από το **Σχήμα 2.6** συμπεραίνεται ότι η συγκεκριμένη τουλάχιστον μορφή τοπογραφικής ανωμαλίας δείχνει να ενισχύει σημαντικότερα τις μικρές περιόδους από τις μεγάλες. Από αυτό διαφαίνεται ο λόγος για τον οποίο ο EC8, που προτείνει ομοιόμορφη ενίσχυση για όλο το εύρος του ελαστικού φάσματος, μπορεί να χαρακτηριστεί συντηρητικός. Οι ίδιοι συγγραφείς προτείνουν ένα συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης F_{topo} του οριζοντίου ελαστικού φάσματος απόκρισης, ο οποίος είναι συνάρτηση της απόστασης x , της περιόδου T και των εδαφικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται από τις περιόδους αναφοράς T_B και T_C της κατηγορίας εδάφους κατά τον EC8 (**Σχήμα 2.7**).



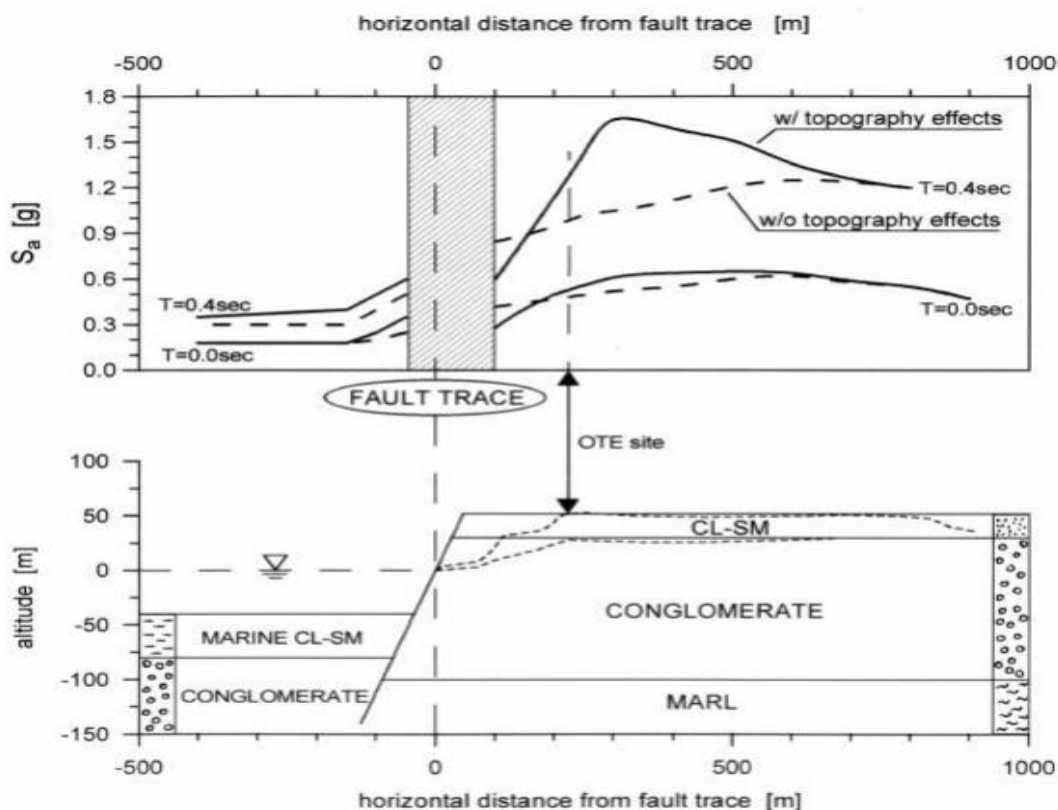
Σχήμα 2.8 Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης κανονικοποιημένης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης για: **a)** προφίλ κατηγορίας A (βράχος κατά EC8) **b)** προφίλ κατηγορίας B,C (στιφρό και μέσο έδαφος κατά EC8), $L=H/\tan(i)$ (Assimaki et al. 2005).

Από το **Σχήμα 2.7** προκύπτει ότι η συγκεκριμένη τοπογραφία ενισχύει κατά 60% τη μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση, κατά 30% την περιοχή των σημαντικών περιόδων για την εκάστοτε κατηγορία εδάφους, αλλά δεν ενισχύει καθόλου περιόδους ίσες ή μεγαλύτερες του 1.0. Σύμφωνα με τους ίδιους μελετητές, μάλιστα, στο συνέδριο της ERTC-12 (Αθήνα 2006), αναθεωρήθηκαν προς τα κάτω οι παραπάνω τιμές ενίσχυσης σε 40% και 20%, αντίστοιχα. Οι καινούριες τιμές χαρακτηρίζονται πιο ρεαλιστικές σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (π.χ. οι Bouckovalas &

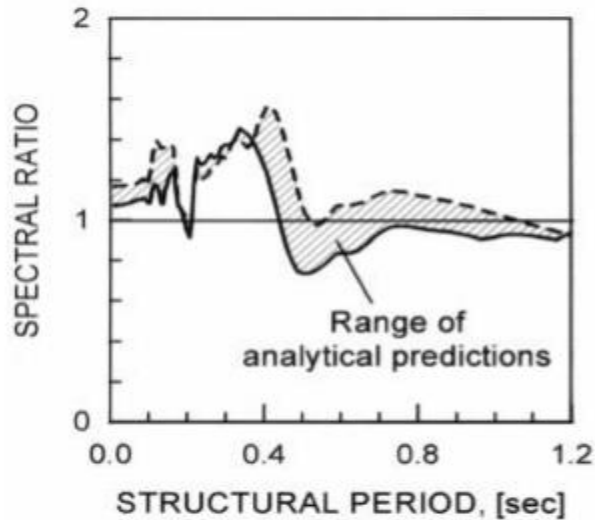
Paradimitriou 2005 προτείνουν ένα σύνθετες εύρος ενίσχυσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης που κυμαίνεται από 20% έως 50%).

Το **Σχήμα 2.8** αφορά το συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, όπως υπολογίστηκε από τους Assimaki et al. (2005) ως συνάρτηση της απόστασης από τη στέψη. Δηλαδή θεωρούν ότι η τοπογραφία μονοκλινούς πρανούς ενισχύει τη μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη σεισμική επιτάχυνση κατά 40% για έδαφος κατηγορίας A και κατά 60% για έδαφος κατηγορίας B και C, στη θέση της στέψης. Οι τιμές αυτές τις ενίσχυσης μειώνονται γραμμικά έως ότου μηδενιστούν σε απόσταση $2L$.

β) Στη μελέτη των Bouckovalas et al. (1999) για το σεισμό του Αιγίου (1995), όπου πραγματοποιήθηκαν 2Δ και 1Δ αναλύσεις σεισμικής απόκρισης του πρανού, στη στέψη του οποίου βρίσκεται η πόλη του Αιγίου. Στα σημαντικότερα των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μελέτης περιλαμβάνεται το **Σχήμα 2.9**, που υποδεικνύει τη μεταβολή της φασματικής επιτάχυνσης συναρτήσει της απόστασης από το ίχνος του ρήγματος που δημιουργεί το πρανές του Αιγίου για δυο χαρακτηριστικές περιόδους $T_{str}=0s$ (μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και $T_{str}=0.4s$ (μέση ιδιοπερίοδος των κτιρίων στο Αίγιο, τιμή λίγο μικρότερη από τη δεσπίζουσα περίοδο T_e της διέγερσης).



Σχήμα 2.9 Επίδραση στρωματογραφίας και τοπογραφίας σε τυπική B-N τομή στο Αίγιο για 2 περιόδους: $T_{str}=0s$ και $T_{str}=0.4s$ (Bouckovalas et al. 1999).



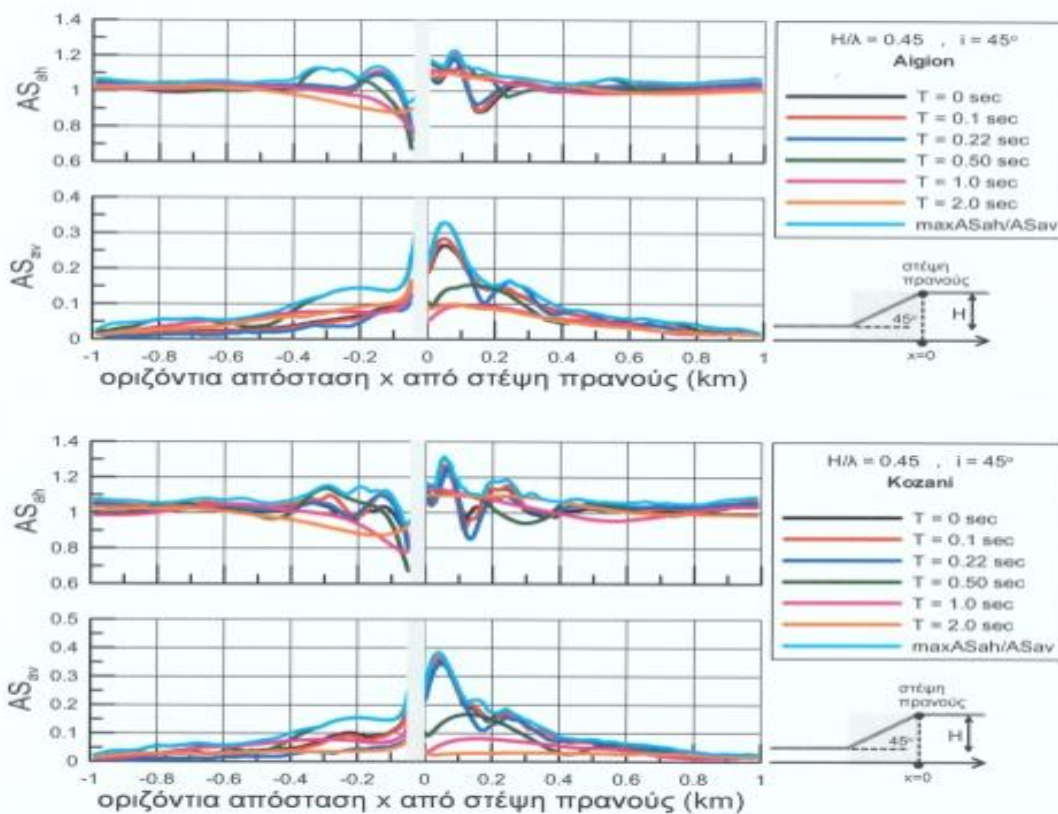
Σχήμα 2.10 Επίδραση τοπογραφίας πρανούς στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, στη θέση καταγραφής (OTE site) που φαίνεται στο Σχήμα 10 πίσω από τη στέψη του πρανούς του Αιγίου (Bouckovalas et al. 1999).

Σύμφωνα με το **Σχήμα 2.9**, η τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται με την αύξηση της απόστασης από τη στέψη του πρανούς (ίχνος ρήγματος), ανεξάρτητα από την περίοδο. Αυτό που γίνεται, επιπρόσθετα, αρκετά σαφές είναι, πως η τοπογραφική επιδείνωση σε κάθε θέση διαφέρει ανάλογα με την περίοδο. Η διαφοροποίηση της τοπογραφικής επίδρασης με την περίοδο γίνεται ευκολότερα αντιληπτή στο **Σχήμα 2.10**, όπου φαίνεται η μεγαλύτερη ένταση του φαινομένου στις μικρές περιόδους ($T_{str}=0s - 0.4/0.5s$), μέχρι, δηλαδή, και τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης.

γ) Στην εργασία της Κοντογιάννη (2013), όπου πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Στη συγκεκριμένη εργασία –για το μέρος αυτής που πραγματεύεται ομοιόμορφα μονοκλινή πρανή- το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδο-ελαστικό, ομοιόμορφο με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=500m/s$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και πυκνότητα $\rho=2Mg/m^3$. Η επιβολή της σεισμικής διέγερσης στη βάση του καννάβου έγινε ως χρονοϊστορία διατμητικής τάσης (σε συνδυασμό με αποσβεστήρες στη βάση) ώστε να αντιστοιχεί σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV. Υιοθετήθηκε απόσβεση τύπου Rayleigh, με ελάχιστη τιμή $\xi=5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για κλίσεις πρανούς $i=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ και αδιάστατα ύψη $H/\lambda= 0.125, 0.20, 0.45, 1.00$. Ως σεισμικές διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν η καταγραφή του σεισμού του Αιγίου (1995) με έναν σημαντικό κύκλο διέγερσης ($N=1$) και η καταγραφή του σεισμού της Κοζάνης (1995) με τέσσερις σημαντικούς κύκλους διέγερσης ($N=4$), κατάλληλα προσαρμοσμένες, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δεσπόζουσα περίοδος διέγερσης. Έμφαση δόθηκε στους φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} που αναφέρονται στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα.

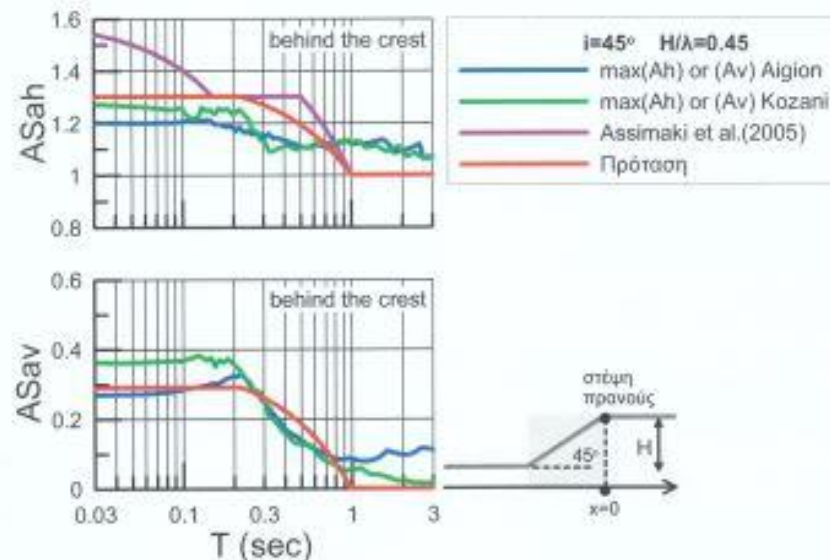
Βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων είναι ότι, αρχικά, αναμένεται ενίσχυση της οριζόντιας κίνησης στην περιοχή πίσω από τη στέψη, και απομείωση αυτής μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Η συγκεκριμένη επίδραση της τοπογραφίας απομειώνεται, καθώς η απόσταση από το πρανές αυξάνεται, μέχρι μηδενισμού (στο ελεύθερο

πεδίο). Επιπρόσθετα, μια αμιγώς οριζόντια διέγερση, προκαλεί παρασιτική κατακόρυφη κίνηση στην γειτονία του πρανούς, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι της τάξης μεγέθους της οριζόντιας κίνησης. Ως κρίσιμες παράμετροι για το φαινόμενο αυτό ορίζονται το αδιάστατο ύψος του πρανούς H/λ και η κλίση του i . Δεύτερη παρατήρηση αποτελεί η χωρική διαφοροποίηση του φαινομένου της ενίσχυσης σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, έως και της εναλλαγής μεταξύ ενίσχυσης και απομείωσης πίσω από τη στέψη σε αποστάσεις της τάξης του μήκους κύματος λ των κυμάτων SV. Η μέγιστη ενίσχυση εμφανίζεται συνήθως σε απόσταση έως $\lambda/2$ από τη στέψη (**Σχήμα 2.11**). Η χωρική διαφοροποίηση γίνεται εντονότερη όσο πιο υψίσυχη είναι η διέγερση (μειώνεται το μήκος κύματος λ). Όσον αφορά το ελαστικό φάσμα απόκρισης συνάγεται το συμπέρασμα ότι η τοπογραφική επιδείνωση δεν είναι ενιαία και η διαφοροποίηση του είναι ανάλογη της περιόδου T . Προκύπτει ότι είναι σημαντική για $T=0$ και για σχετικά μικρές περιόδους κατασκευής, μέχρι την τιμή της δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης, ενώ κρίνεται πρακτικώς ασήμαντη για τιμές μεγαλύτερες της μονάδας ($T \geq 1s$). Η τιμή αυτή μετατοπίζεται προς τα άνω μόνο σε ιδιαίτερα χαμηλόσυχες διεγέρσεις. Η σημαντικότητα της επίδρασης του φαινομένου στις μικρές περιόδους κατασκευής ($T \leq T_e$) εξαρτάται από τις κρίσιμες παραμέτρους, δηλαδή το αδιάστατο ύψος H/λ και την κλίση i , ενώ δεν εξαρτάται από τον αριθμό σημαντικών κύκλων διέγερσης.



Σχήμα 2.11 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για διάφορες περιόδους κατασκευής T , στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, στη γειτονία ομοίμορφου πρανούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) για διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222s$ (διέγερση Αιγίου με $N=1$ άνω και διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κάτω) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, απόσβεση $\xi=5\%$ (Κοντογιάννη 2013).

Τέλος, στην εργασία αυτή δίνεται έμφαση στη θέση πίσω από τη στέψη του πρανούς όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση για $T=0s$ και προτείνεται ως το πιο σημαντικό σημείο αναφοράς. Εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε αυτή τη θέση αποτελεί μια εύλογα συντηρητική εκτίμηση του πώς επιδρά η τοπογραφία στο ελαστικό φάσμα απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους. Στη λογική των παραπάνω προτείνεται σχέση για την εκτίμηση της μέγιστης τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης. Συγκεκριμένα, προτείνεται εκτίμηση της τιμής σχεδιασμού της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης για $T=0s$ από τις πολυπαραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) για ομοιόμορφο πρανές, και η οποία διατηρείται ως ισχύουσα για όλες τις περιόδους κατασκευής T που είναι μικρότερες ή ίσες της εκάστοτε δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης T_e (0.1, 0.222, 0.5, 0.8s στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν). Για μεγαλύτερες περιόδους κατασκευής, η τοπογραφική επιδείνωση μειώνεται γραμμικά, έως ότου δεν επηρεάζει πια και, επομένως, δεν υπάρχει ενίσχυση ($AS_{ah}=1$) για τιμές περιόδου κατασκευής μεγαλύτερες ή ίσες μια χαρακτηριστικά «μεγάλης» τιμής T_0 (Σχήμα 2.12).



Σχήμα 2.12 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομοιόμορφου πρανούς (με κλίση $i=45^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_b=500m/s$) για διέγερση με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.222s$ (διέγερση Αιγίου με $N=1$ άνω και διέγερση Κοζάνης με $N=4$ κάτω) που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.45$, απόσβεση $\xi=5\%$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις κίνησης. (Κοντογιάννη 2013).

Για την οριζόντια διεύθυνση, η (μέγιστη) τοπογραφική φασματική επιδείνωση σχεδιασμού $AS_{ah,d}$ δίνεται από τη Σχέση 2.7:

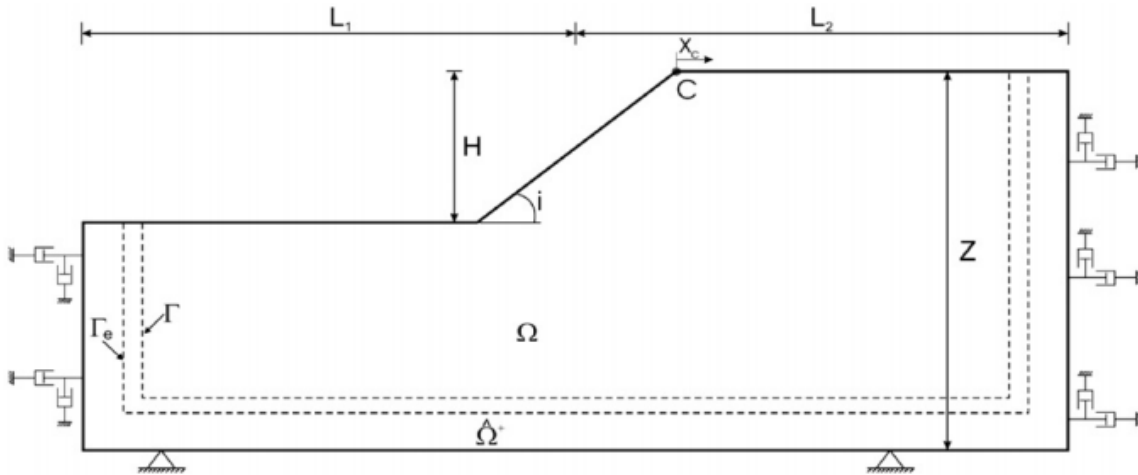
$$AS_{ah,d} = \begin{cases} A_{h,max}, & T \leq T_e \\ A_{h,max} - \frac{(A_{h,max}-1)}{(T_0-T_e)}(T-T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 1.0, & T_0 \leq T \end{cases}, \quad (2.7)$$

Η χαρακτηριστικά «μεγάλη» T_0 παίρνει τιμές $T_0=2T_e$, αλλά έχει ελάχιστο την τιμή 1.0s (δηλαδή $T_0=2T_e$ για χαμηλόσυχνες διεγέρσεις με $T_e > 0.5s$ και $T_0 = 1.0s$ για τις πιο συνήθεις περιπτώσεις διεγέρσεων. Αντίστοιχα για την κατακόρυφη διεύθυνση η (μέγιστη) τοπογραφική φασματική επιδείνωση $AS_{av,d}$ δίνεται από τη **Σχέση 2.8**:

$$AS_{av,d} = \begin{cases} A_{v,max}, & T \leq T_e \\ A_{v,max} - \frac{(A_{v,max}-1)}{(T_0-T_e)}(T-T_e), & T_e \leq T \leq T_0 \\ 0.0, & T_0 \leq T \end{cases}, \quad (2.8)$$

2.3 Αλληλεπίδραση εδαφικής στρώσης με τοπογραφική επιδείνωση

Πέρα από την επιρροή της τοπογραφίας στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, αντικείμενο διερεύνησης για τους ερευνητές αποτελούν και οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ ερευνών πεδίου και αριθμητικών αναλύσεων, όσο αφορά την ένταση ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης, λόγω της τοπογραφίας πρανούς. Στη βιβλιογραφία προτείνεται ως πιθανό αίτιο των διαφορών αυτών την αλληλεπίδραση μεταξύ της τοπογραφικής ενίσχυσης και της ενίσχυσης λόγω στρωματογραφίας. Στο συγκεκριμένο ζήτημα δόθηκε έμφαση στη μελέτη των Tripe et al. (2013), όπου για τη διερεύνηση του ζητήματος πραγματοποιήθηκε μια παραμετρική αριθμητική ανάλυση με τη μέθοδο των Π.Σ. για μονοκλινές πρανές σε ομοιογενή γραμμικά ελαστική στρώση εδάφους με $E=1333MPa$, $\rho=2.0Mg/m^3$, $\nu=1/3$ και $K_0=1.0$ πάνω από άκαμπτο βράχο και για κατακόρυφα προσπίπτοντα διαμητικά κύματα SV. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις, από τις οποίες η μια προσομοίωσε πραγματική σεισμική απόκριση (αύξηση και μετέπειτα μείωση της σεισμικής επιτάχυνσης), ενώ η άλλη μια σταθερή κατάσταση. Για την προσομοίωση πραγματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκε παλμός Chang (κατά Bouckovalas & Papadimitriou 2005), ενώ για την άλλη περίπτωση έγινε χρήση ημιτονοειδούς χρονοϊστορίας με την απαραίτητη διάρκεια. Το ύψος του πρανού θεωρήθηκε σταθερό $H=50m$ και ο κάρναβος είχε πλάτος $L=1000m$ (**Σχήμα 2.13**).



Σχήμα 2.13 Γεωμετρία 2Δ μοντέλου ανάλυσης (Tripe et al. 2013).

Ως παράμετροι της ανάλυσης επιλέχθηκαν οι παρακάτω :

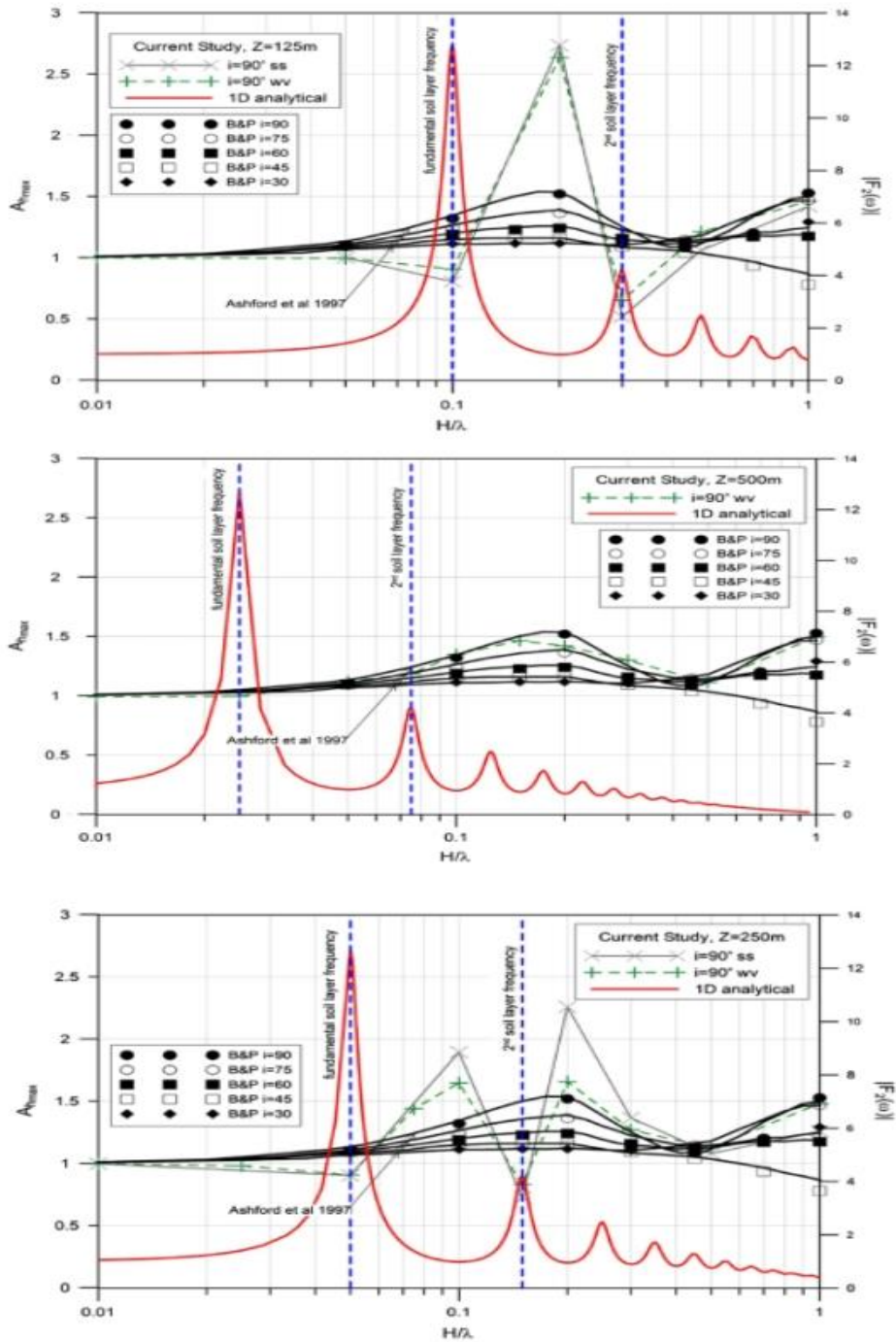
- κανονικοποιημένο ύψος πρανούς (κανονικοποιημένη συχνότητα) H/λ
- κλίση του πρανούς i
- βάθος στο οποίο εντοπίζεται η βραχόμαζα ($Z=125, 250, 500$ m)

Τέλος, για τις αναλύσεις εκλέχθηκε ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=500\text{m/s}$ και υστερητική απόσβεση τύπου Rayleigh $\xi=5\%$.

Τα συμπεράσματα, όσον αφορά την τοπογραφική επιδείνωση ήταν αντίστοιχα προγενέστερων μελετών, αφού παρατηρήθηκαν:

- τροποποίηση της οριζόντιας σεισμικής κίνησης ως προς το ελεύθερο πεδίο,
- εμφάνιση παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης,
- εναλλαγή μεταξύ ζωνών ενίσχυσης και απομείωσης της επιτάχυνσης,
- εξάρτηση από το αδιάστατο ύψος του πρανούς H/λ ,
- αύξηση της έντασης του φαινομένου με την κλίση του πρανούς

Για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν στις αναλύσεις προέκυψε ότι η στρωματογραφία παίζει σημαντικότερο ρόλο στην επιδείνωση της σεισμικής κίνησης σε σχέση με την επίδραση που έχει σε αυτήν η τοπογραφία πρανούς. Αυτό έγινε κατανοητό συγκρίνοντας την συνολική ενίσχυση με την ενίσχυση στο ελεύθερο πεδίο, όπου επιδρά αποκλειστικά η στρωματογραφία. Επιπλέον, βρέθηκε ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της επίδρασης τοπογραφίας και της στρωματογραφίας (**Σχήμα 2.14**).



Σχήμα 2.14 Τοπογραφική ενίσχυση στη στέψη του πρανούς και συνάρτηση ενίσχυσης («1d analytical», τιμές δεξιά) για $Z=125, 250, 500$ m. Φαίνονται επίσης τα αποτελέσματα από Bouckonas & Papadimitriou, 2005 (B&P) και Ashford et al., 1997 για πρανή σε ομοιογενή ημίχωρο (vw: για παλμο Chang, ss: για διαρκή ημιτονοειδή χρονοίστορία) (Tripe et al. 2013).

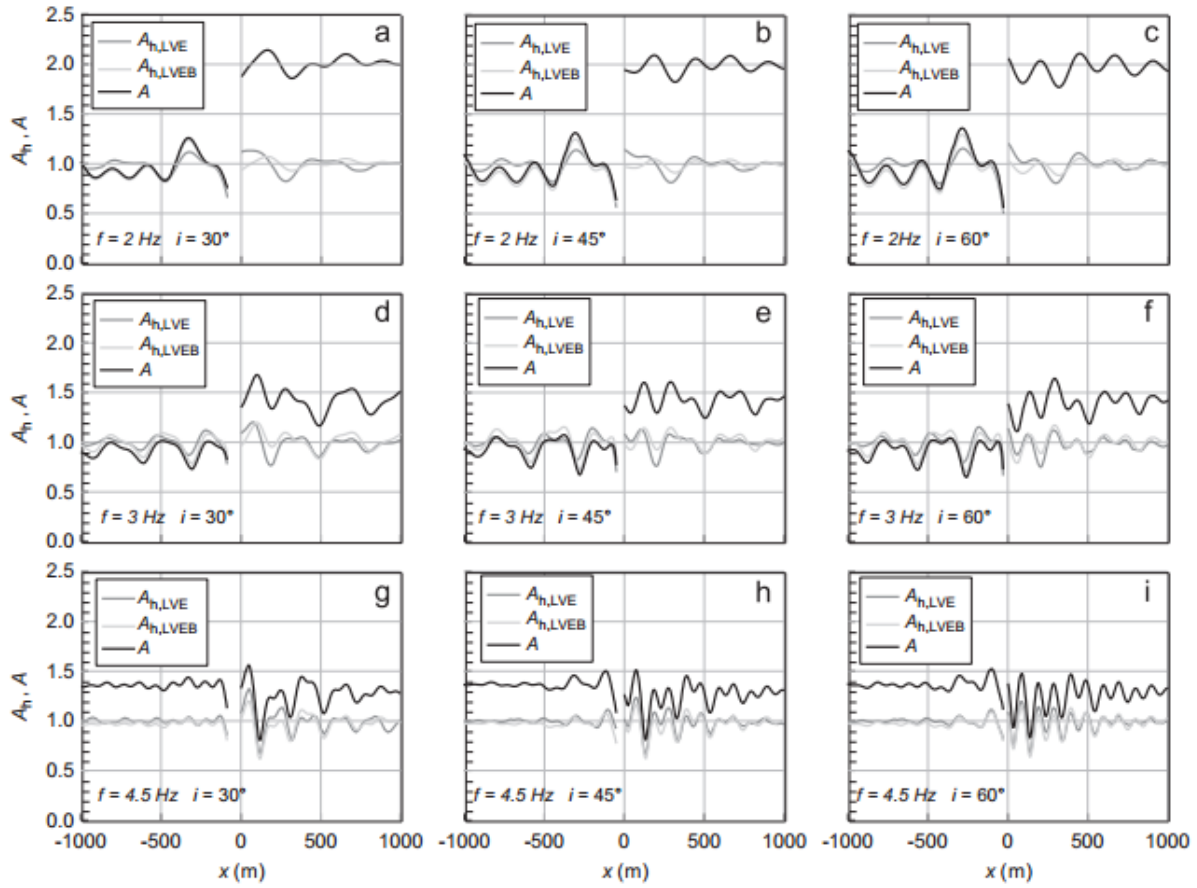
Συγκεκριμένα, η ενίσχυση λόγω τοπογραφίας πρανούς διαφέρει τόσο για τα τρία διαφορετικά βάθη της βραχώμαζας και διαφέρει, επίσης, με την περίπτωση του ημίχωρου που θεωρούν οι Bouckonas

& Papadimitriou (2005) και Ashford et al. (1997). Φαίνεται ότι η μεγαλύτερη αλληλεπίδραση μεταξύ τοπογραφίας και στρωματογραφίας συμβαίνει επί του εύρους των φυσικών συχνοτήτων της εδαφικής στρώσης και, έτσι, ο διαχωρισμός της συνεισφοράς κάθε φαινομένου δεν καθίσταται εύκολος. Τονίζεται, όμως, ότι η υπόθεση άκαμπτης βραχόμαζας μπορεί να επιδεινώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο. Σημειώνεται, επιπλέον, ότι η μέγιστη ενίσχυση αποκλειστικά λόγω τοπογραφίας και αποκλειστικά λόγω στρωματογραφίας δεν εμφανίζονται για τον ίδιο λόγο H/λ . Σύμφωνα, πάντα, με το **Σχήμα 2.14** αξίζει να ειπωθεί, ότι όσο το βάθος την βραχόμαζας αυξάνει, τόσο η απόκριση προσεγγίζει τα αποτελέσματα των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) και Ashford et al. (1997) για πρανή στον ομοιογενή ημίχωρο. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω μείωσης της ενίσχυσης με την αύξηση του βάθους, ή, εν μέρει, εξαιτίας του ότι οι φυσικές συχνότητες της εδαφικής στρώσης, βρίσκονται έξω από το εύρος των συχνοτήτων για τις οποίες προκύπτει τοπογραφική επίδραση.

Μια ακόμα μελέτη των Rizzitano et al. (2014) έδωσε έμφαση στην αλληλεπίδραση μεταξύ στρωματογραφίας και τοπογραφίας, αφού μελέτησε μονοκλινή πρανή υπό κατακόρυφα διατμητικά κύματα SV. Οι αναλύσεις στη συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκαν για πρανή σε ομοιογενή ημίχωρο και για πρανή που βρίσκονται πάνω από άκαμπτο ή εύκαμπτο βράχο σε βάθος 250m. Το έδαφος υποτέθηκε ως γραμμικό ιξωδο-ελαστικό ή ισοδύναμα-γραμμικό ιξωδο-ελαστικό υλικό (που ξεπερνάει τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και δεν παρατίθεται). Παραμετροποίηση των αναλύσεων έγινε και ως προς την κλίση του πρανού, καθώς και ως προς τα χαρακτηριστικά της διέγερσης.

Το πρώτο σετ αναλύσεων πραγματοποιήθηκε για γραμμικό ιξωδο-ελαστικό έδαφος και πρανές με ύψος $H=50\text{m}$ σε ομοιογενή ημίχωρο, πλάτος μοντέλου $L=1500\text{m}$ ($L/H=30$) και ύψος μοντέλου $D=250\text{m}$. Ακόμα, ορίστηκαν $V_s=500\text{m/s}$, $\gamma=20\text{ kN/m}^3$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και απόσβεση τύπου Rayleigh με $\xi=5\%$. Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι τα αποτελέσματα για ημίχωρο βρίσκονται αρκετά έως πολύ κοντά σε αυτά προηγούμενων μελετητών π.χ. Ashford et al. (1997). Το δεύτερο σετ αναλύσεων πραγματοποιήθηκε για παρουσία βράχου στα 250m. Για το κομμάτι αυτό της ανάλυσης υποτέθηκε $I_R=0.2$ που αντιστοιχεί σε $V_{s,b}=2500\text{m/s}$ και συχνότητες διέγερσης $f=2, 3, 4.5\text{ Hz}$. Τα αποτελέσματα φαίνονται σε όρους μέγιστης οριζόντιας ($a_{h,max}$) και κατακόρυφης ($a_{v,max}$) επιτάχυνσης εδάφους στο **Σχήμα 2.15**, όπου παρατίθενται, για λόγους σύγκρισης, οι συντελεστές τοπογραφικής επιδείνωσης για την οριζόντια επιτάχυνση και για τα δυο σετ αναλύσεων.

Είναι φανερό, ότι η παρουσία του εύκαμπτου βράχου δεν επηρεάζει σημαντικά την τοπογραφική ενίσχυση. Είναι, όμως, αξιοσημείωτη η επίδραση του στη συνολική σεισμική απόκριση του πρανού. Αυτό οφείλεται στην ενίσχυση λόγω στρωματογραφίας που κυριαρχεί, όταν η συχνότητα της διέγερσης είναι κοντά στις φυσικές συχνότητες της εδαφικής στρώσης. Επομένως, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα από Tripe et al. (2013) εξάγεται το συμπέρασμα για την ύπαρξη αλληλεπίδρασης μεταξύ στρωματογραφίας και τοπογραφίας ακόμα και για την παρουσία εύκαμπτου βράχου.



Σχήμα 2.15 Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων των αναλύσεων επί ελαστικού ημίχωρου(LVE) και επί βράχου(LVEB) σε όρους τοπογραφικής επιδείνωσης οριζόντιας επιτάχυνσης. (Rizzitano et al. 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιγραφή Λογισμικού

Οι αριθμητικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, έγιναν με τη χρήση του λογισμικού FLAC (Itasca Inc. 2005). Το λογισμικό αυτό εφαρμόζει για την επίλυση δισδιάστατων προβλημάτων τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Χαρακτηρίζεται από την εξειδίκευση στην προσομοίωση της συμπεριφοράς εδάφους και βράχου, δηλαδή προβλημάτων που πραγματεύεται η γεωτεχνική (όχι απαραίτητα σεισμική) μηχανική.

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Π.Δ) βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της πλήρους διαφορικής εξίσωσης κίνησης και η επίλυση γίνεται σε υπολογιστικά βήματα. Το υλικό του εδάφους προσομοιώνεται με ζώνες (τετράπλευρα στοιχεία) που μορφώνουν τον κানাβο των Π.Δ. Ο κানাβος έχει την ικανότητα να κινείται και να παραμορφώνεται (όπως το αντίστοιχο εδαφικό υλικό), κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας Lagrange (κινούμενος παρατηρητής), αν αυτό απαιτείται από την φύση του προς επίλυση προβλήματος. Σε ένα βήμα, αρχικά, υπολογίζονται οι ταχύτητες των κόμβων του δικτύου (η προσάυξηση των μετατοπίσεων ανά βήμα) από τις τάσεις και τις δυνάμεις του προηγούμενου βήματος. Από αυτές προκύπτουν οι ρυθμοί των παραμορφώσεων σε κάθε κόμβο και από αυτές οι νέες τάσεις στις ζώνες του δικτύου βάσει της καταστατικής σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων που καθορίζεται από το χρήστη. Από τις τάσεις στις ζώνες -συμπεριλαμβάνονται 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 απόσβεσης, αλλά και τις εξωτερικές δυνάμεις δίνει τη μη ισορροπούσα (συνισταμένη δύναμη ΣF) σε κάθε κόμβο. Σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση κίνησης, η δύναμη αυτή πρέπει να ισούται με τη την αδρανειακή δύναμη, έτσι ώστε διαιρώντας με την ισοδύναμη μάζα m κάθε κόμβου και πολλαπλασιάζοντας το πηλίκο με κάποιο "μικρό" χρονικό βήμα Δt να προκύπτει η προσάυξηση της ταχύτητας κάθε κόμβου σύμφωνα με τη Σχέση 3.1:

$$\mathbf{u}_{(t+\Delta t/2)} = \mathbf{u}_{(t-\Delta t/2)} + \left(\frac{\Sigma \mathbf{F}}{m} \right) \times \Delta t \quad (3.1)$$

Με τον υπολογισμό της νέας ταχύτητας του κόμβου έχει ολοκληρωθεί ένα υπολογιστικό βήμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται στο επόμενο. Αν η επίλυση γίνεται στατικά, τότε η μάζα, η σταθερά αποσβέσεως και το βήμα υπολογισμού καθορίζονται από το λογισμικό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταχύτερη σύγκλιση. Στην περίπτωση δυναμικού προβλήματος, όπως εδώ, η μάζα και η σταθερά αποσβέσεως είναι αυτές που αντιστοιχούν στις πραγματικές παραμέτρους, ενώ τα χρονικά βήματα υπολογισμού Δt αντιστοιχούν σε πραγματικά χρονικά διαστήματα. Για ακριβέστερα αποτελέσματα η επίλυση διαχωρίζει την κάθε τετραπλευρική ζώνη του κανάβου σε τέσσερις τριγωνικές αλληλοκαλυπτόμενες υποζώνες. Σε δυναμικά προβλήματα το χρονικό βήμα υπολογισμού υπολογίζεται από το λογισμικό έτσι ώστε να είναι μικρότερο από το κρίσιμο (Σχέση 3.2):

$$\Delta t_{\text{crit}} = \min (A_i / (V_p, d_{\text{max},i})) \quad (3.2)$$

όπου A_i είναι το εμβαδόν της τριγωνικής υποζώνης i , $d_{\max,i}$ η μεγαλύτερη διαγώνιός της, $V_{p,i}$ η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων στην υποζώνη. Το \min αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή αυτού του λόγου σε όλο τον κάναβο των Π.Δ. Ο περιορισμός του χρονικού βήματος υπολογισμού είναι απαραίτητος ώστε η «πληροφορία» για τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και δράσεων να μη διαδίδεται στον κάναβο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων, αποκλίνοντας από τον πραγματικό μηχανισμό του προβλήματος.

Το FLAC αντιμετωπίζει την ανελαστικότητα στη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων με διάφορα ελαστοπλαστικά καταστατικά μοντέλα (π.χ. Mohr-Coulomb, Drucker-Prager) και μάλιστα σχεδόν με τις ίδιες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ που προβλέπονται για το απλό ελαστικό μοντέλο. Αντιθέτως, προγράμματα που βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο. Ακόμη, δε μορφώνονται, ούτε αποθηκεύονται μητρώα 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. Ένα ακόμα προτέρημα είναι, ότι διαθέτει ενσωματωμένη γλώσσα, τη Fish, που μοιάζει με τη FORTRAN, αλλά είναι προσαρμοσμένη στις δυνατότητες, απαιτήσεις και ανάγκες του FLAC. Η Fish παρέχει τη δυνατότητα να εφοδιάζονται τα αρχεία εισόδου με υπορουτίνες και κώδικες που μπορούν να μετατρέπουν ή να συμπληρώνουν καταστατικά προσομοιώματα, αλλά και να εισάγουν νέες μεταβλητές ή/και παραμέτρους.

Από την άλλη μεριά, το FLAC έχει κάποια αδύναμα σημεία που ενδέχεται να οδηγήσουν σε αύξηση των απαιτήσεων σε υπολογιστική ισχύ. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση συντελεστή αποσβέσεως ανάλογου της ακαμψίας, πολύπλοκων ελαστοπλαστικών καταστατικών προσομοιωμάτων και άλλων υπορουτινών γραμμένων σε Fish, που παρεμβάλλονται σε κάθε υπολογιστικό βήμα που εκτελεί το λογισμικό αυξάνουν το χρόνο επίλυσης. Κύριο μειονέκτημα, όμως, είναι ότι χρειάζεται σημαντική υπολογιστική προσπάθεια, αφού τα υπολογιστικά βήματα απαιτούνται να είναι μικρά και, επακολούθως, πολλά σε αριθμό, ώστε οι επιβαλλόμενες στο σύνορο ταχύτητες να είναι μικρές, προκειμένου να μειωθεί η επιρροή της αδράνειας στο ελάχιστο.

3.2 Περιγραφή αριθμητικής προσομοίωσης

Για την παρούσα εργασία εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης, λόγω μονοκλινούς πρανούς πραγματοποιήθηκαν 4 ομάδες αναλύσεων. Κάθε μια ομάδα αποτελούνταν από 10 αναλύσεις που έφεραν τα ίδια γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του μονοκλινούς πρανούς και διαφοροποιούνταν μόνο στην εισαγόμενη σεισμική διέγερση. Για να προκύψουν τα απαραίτητα αριθμητικά εργαλεία για την μελέτη του προβλήματος, κάθε ανάλυση αποτελούνταν από τρεις υπο-αναλύσεις, μία (1) για το 2Δ πρανές και δύο (2) για το ελεύθερο πεδίο, μία για την περιοχή πίσω από τη στέψη του πρανούς και μία για την περιοχή μπροστά από τον πόδα του.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, το έδαφος θεωρήθηκε ομοιόμορφο ιξωδο-ελαστικό υλικό, με πυκνότητα $\rho=2\text{Mg/m}^3$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης διατμητικών

κυμάτων Vs (ανάλογα με την ομάδα αναλύσεων). Οι μηχανικές παράμετροι που εισάγονται στο μοντέλο είναι το μέτρο διάτμησης G και το μέτρο ισότροπης συμπίεσης K που δίνονται από τους σχέσεις $G=Vs^2\rho$ και $K=[2G(1+\nu)]/[3(1-2\nu)]$.



Σχήμα 3.1. Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για ανάλυση σεισμικής απόκρισης μονοκλινούς πρανούς.

Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος επιλέγονται ώστε να γίνεται κατά το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση του πραγματικού προβλήματος, χωρίς υπερβολική αύξηση του υπολογιστικού χρόνου και του χρόνου επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Με βάση τα παραπάνω δεν υπάρχει ανάγκη για υπερμεγέθεις καννάβους προσομοίωσης για να επιτυγχάνεται ο στόχος μη επηρεασμού της περιοχής ενδιαφέροντος από τις συνοριακές συνθήκες. Στο **Σχήμα 3.1** παρουσιάζεται ένας καννάβος για πρανές ύψους 60m και κλίσης 30°, απ' όπου προκύπτει το σχετικά μεγάλο εύρος του και η πύκνωση πλησίον του πρανούς και της επιφάνειας του εδάφους.

Στο κάτω όριο του καννάβου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που θα ελάμβανε χώρα εάν επρόκειτο για ημίχωρο. Επιπλέον, η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων ήταν χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Για κάθε διέγερση δίνεται η χρονοϊστορία ταχύτητας του υλικού σημείου (u'). Η τάση υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau = -2\rho \sqrt{\frac{Gb}{\rho}} * u' \quad (3.3)$$

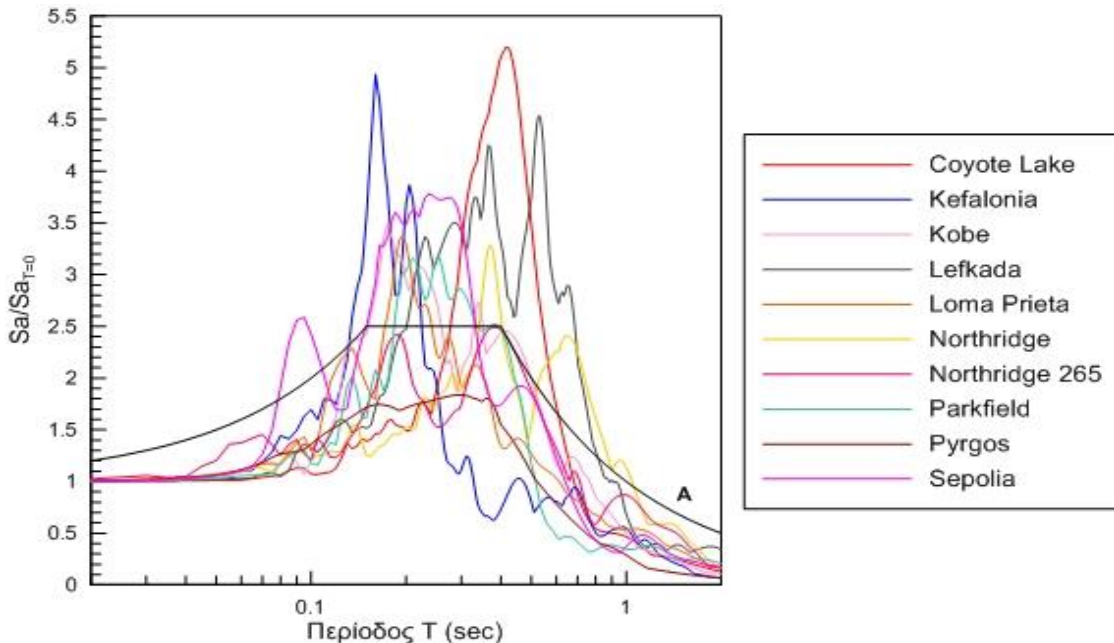
Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων.

Τέλος, στα πλευρικά όρια του καννάβου εφαρμόζονται συνθήκες ελευθέρου πεδίου, οι οποίες εξασφαλίζονται με ειδικές διατάξεις που, στην πράξη, αναπαράγουν τις συνθήκες αυτές.

3.3 Σεισμικές Διεγέρσεις

Για τη μελέτη του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν δέκα διαφορετικές σεισμικές διεγέρσεις οι οποίες είναι οι ακόλουθες: Coyote Lake (1979), Κεφαλονιά (1983), Kobe (1995), Λευκάδα (2003), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Northridge 265 (1994), Parkfield (2004), Πύργος (1993) και Σεπόλια (1999). Καλύπτουν ένα εύρος δεσποζουσών περιόδων $T_e=0.18\div 0.46s$, το οποίο αναμένεται και στην πράξη για διεγέρσεις υποβάθρου. Επίσης, τονίζεται ότι διεγέρσεις με ίδια τιμή δεσπόζουσας περιόδου, αλλά διαφορετικό αριθμό σημαντικών κύκλων φόρτισης N χρησιμοποιούνται, ώστε να μελετηθεί η επίδραση και αυτού του παράγοντα.

Παρακάτω, δίνονται, συνοπτικά, τα φάσματα απόκρισης συγκεντρωμένα και συγκρινόμενα με το φάσμα απόκρισης του EC8 (Σχήμα 3.2). Οι χρονοϊστορίες και τα αντίστοιχα φάσματα με τα χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνονται στο τέλος στο Παράρτημα Α.



Σχήμα 3.2 Κανονικοποιημένα ελαστικά φάσματα απόκρισης (5% απόσβεση) σεισμικών διεγέρσεων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, και σύγκριση με το αντίστοιχο φάσμα του EC8 για βράχο (κατηγορία Α).

3.4 Απόσβεση συστήματος

Σε ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις, όπως αυτές που πραγματοποιήθηκαν, η πραγματική υστερητική απόσβεση των γεωυλικών προσομοιώνεται μέσω απόσβεσης τύπου Rayleigh, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα. Η εξάρτηση της απόσβεσης ξ από τη συχνότητα f δεν είναι ρεαλιστική θεώρηση για την υστερητική απόσβεση των γεωυλικών. Γι' αυτό το λόγο, σχετικώς ρεαλιστικές προσεγγίσεις

επιτυγχάνονται με βαθμονόμηση της απόσβεσης τύπου Rayleigh, ώστε να δίνει τις επιθυμητές τιμές απόσβεσης ξ_{\min} στις συχνότητες, που, κυρίως, ενδιαφέρουν (περιοχή τιμών της f_{\min}) και μεγαλύτερες τιμές σε άλλες συχνότητες. Στο πρόβλημα που μελετάται, ενδιαφέρουν οι τιμές εκείνες γύρω από τη δεσπόζουσα συχνότητα f_e της σεισμικής διέγερσης. Έτσι, χάριν απλότητας, θεωρείται ότι $f_{\min}=f_e$. 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.

3.5 Σχεδιασμός παραμετρικών αναλύσεων

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (π.χ. Bouckovalas & Papadimitriou 2005), οι σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν το πρόβλημα τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής απόκρισης στη γειτονιά μονοκλινούς πρανούς είναι: η κλίση του i , το ύψος του H και το δεσπόζον μήκος διατμητικού κύματος λ , και μάλιστα ως σημαντικό μέγεθος κρίνεται ο αδιάστατος λόγος H/λ . Με στόχο τη διερεύνηση ρεαλιστικών πρανών, επιλέγηκαν πρανή με:

- κλίση του πρανούς (15° & 30°), καθώς μικρότερες κλίσεις δε δημιουργούν ουσιαστικά τοπογραφική επιδείνωση, ενώ μεγαλύτερες κλίσεις είναι πολύ σπάνιες, τουλάχιστον σε περιοχές όπου υπάρχει οικιστική ανάπτυξη.
- ύψος πρανούς (30m και 60m), καθώς μεγαλύτερα ύψη είναι σχετικώς σπάνια σε περιοχές όπου υπάρχει οικιστική ανάπτυξη, ενώ μικρότερα ύψη δε δημιουργούν ουσιαστικά τοπογραφική επιδείνωση.
- δυστημσία γεωϋλικού πρανούς, μετρημένη ως προς την ταχύτητα διάδοσης διατμητικού κύματος $V_s = 400\text{m/s}$ και 800m/s , που αντιστοιχούν σε δύστημο έδαφος και σε βράχο (κατηγορίας A, κατά EC8). Μεγαλύτερες τιμές V_s («σκληροί» βράχοι) θα οδηγούσαν σε μεγαλύτερες τιμές του λ , και συνεπώς σε μικρότερη τοπογραφική επιδείνωση, οπότε δεν εξετάστηκαν. Μικρότερες τιμές V_s («μαλακό» έδαφος) δεν αναμένονται σε πρανή με τα ανωτέρω ύψη και κλίσεις, καθώς θα δημιουργούνταν προβλήματα αστάθειάς τους.

Για λόγους ρεαλισμού και μείωσης του υπολογιστικού βάρους, δεν έγιναν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί κλίσης, ύψους και δυστημσίας, αλλά μόνο εκείνοι που πρακτικώς μπορούν να απαντηθούν στη φύση (π.χ. δεν έγινε ανάλυση για πρανές ύψους 60m, με κλίση 30° και ταχύτητα $V_s = 400\text{m/s}$, καθώς ένα τέτοιο πρανές δεν αναμένεται να είναι ευσταθές, ούτε στατικά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΜΟΓΕΝΩΝ ΜΟΝΟΚΛΙΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

4.1 Γενικά

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιήθηκαν ομάδες αναλύσεων σεισμικής απόκρισης για τις εξής πέντε (5) περιπτώσεις μονοκλινών πρανών:

Περίπτωση	Ύψος H (m)	Κλίση i (°)	Ταχύτητα διατμ. κυμάτων, V_s (m/s)
A	60	30	800
B	60	30	400
Γ	30	30	400
Δ	60	15	800
E	60	15	400

Στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων δόθηκε έμφαση στην τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης καθ' όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους. Συγκεκριμένα, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται με το φασματικό λόγο AS_{ah} , που ορίζεται ως ο λόγος του 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 ελεύθερου πεδίου ($S_{ah,ff}$) (πόδα ή στέψης). Παρομοίως, η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος στην κατακόρυφη (παρασιτική) διεύθυνση ορίζεται με το φασματικό λόγο AS_{av} , που ορίζεται ως ο λόγος του φάσματος απόκρισης S_{av} για την κατακόρυφη ταλάντωση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρανούς προς το ελαστικό φάσμα απόκριση στην οριζόντια διεύθυνση του εκάστοτε ελεύθερου πεδίου (πόδα ή στέψης), αφού στο ελεύθερο πεδίο η οριζόντια διέγερση στη βάση δεν προκαλεί κατακόρυφη ταλάντωση. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα ελαστικά φάσματα απόκρισης αφορούν απόσβεση κατασκευής 5%.

Οι παραπάνω φασματικοί λόγοι είναι συναρτήσεις της θέσης του σημείου (x) και της περιόδου κατασκευής (T_{str}). Τονίζεται ότι υπάρχει θεωρητική δυσχέρεια ορισμού των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} κατά μήκος του κεκλιμένου τμήματος της επιφάνειας, γιατί δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα μονοδιάστατη απόκριση που θα έπρεπε να εισαχθεί στους παρονομαστές των σχέσεων ορισμού. Επομένως δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας. Τιμές του φασματικού λόγου $AS_{ah}>1$ σημαίνουν ενίσχυση της φασματικής επιτάχυνσης, ενώ τιμές $AS_{ah}<1$ υποδεικνύουν απομείωση αυτής σε σχέση με το ελεύθερο πεδίο. Γίνεται παραδοχή (με ακρίβεια μηχανικού) ότι ενίσχυση παύει να υπάρχει για τιμές $AS_{ah} \leq 1.1$ και $AS_{av} \leq 0.1$.

4.2 Σεισμική απόκριση απότομων πρανών

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα για τη χωρική μεταβολή της επιδείνωσης της φασματικής επιτάχυνσης, αλλά και της επιδείνωσης ολόκληρου του ελαστικού φάσματος για τις περιπτώσεις:

- Α) Πρανές με χαρακτηριστικά $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$
- Β) Πρανές με χαρακτηριστικά $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$
- Γ) Πρανές με χαρακτηριστικά $H=30\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$

Οι περιπτώσεις Α και Β διερευνήθηκαν πλήρως, αφού έγινε ανάλυση για δέκα (10) διεγέρσεις για την μελέτη της επιρροής του λόγου H/λ , που στην περίπτωση Β είναι διπλάσιος αυτού στην Α (για την ίδια πάντα διέγερση). Η περίπτωση Γ αποτελεί περίπτωση πρανού με αδιαστατοποιημένο ύψος H/λ ίσο με αυτό της περίπτωσης Α και εκτελέστηκε για να επιβεβαιωθεί ότι η τοπογραφική επιδείνωση είναι συνάρτηση κυρίως του λόγου H/λ , και όχι του ύψους πρανού H ή του μήκους κύματος λ της επιβαλλόμενης διέγερσης, ξεχωριστά.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτυπώνονται σε δυο τύπους σχημάτων, που θεωρούνται αρκετοί για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τόσο ως προς τη χωρική διαφοροποίηση όσο και για τη φασματική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης. Ο πρώτος τύπος σχήματος απεικονίζει την επίδραση τοπογραφίας μονοκλινούς πρανού στους φασματικούς λόγους AS_{ah} και AS_{av} κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για απόσταση $\pm 1\text{km}$ από τη στέψη του, συνεπώς μια απόσταση που καλύπτει τόσο τη γειτονία του πρανού, όσο και το ελεύθερο πεδίο μακράν αυτού. Για λόγους ευκρίνειας απεικονίζεται η επίδραση για συγκεκριμένες τιμές περιόδου κατασκευής $T_{str} = 0.00, 0.10, 0.22, 0.50, 1.00, 2.00 \text{ sec}$, ενώ επιπλέον απεικονίζεται και η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση ανά θέση, ανεξάρτητα από την τιμή της T_{str} για την οποία προκύπτει. Στο δεύτερο τύπο σχήματος αναπαρίσταται η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης (παρασιτικής) διεύθυνσης για τιμές περιόδου κατασκευής $T_{str} = 0 - 3\text{sec}$, σε «σημαντικές» θέσεις κατά μήκος του πρανού, ξεχωριστά για την περιοχή πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα του πρανού. Μια τέτοια θέση πίσω από τη στέψη και μπροστά από τον πόδα, για παράδειγμα, είναι αυτή, όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή των παραγόντων τοπογραφικής επιδείνωσης ($\max AS_{ah}$, $\max AS_{av}$, ανεξαρτήτου περιόδου) και η θέση αυτή είναι διαφορετική για κάθε συνδυασμό πρανού-διέγερσης και για κάθε διεύθυνση. Επίσης, «σημαντικές» θέσεις είναι οι αντίστοιχες όπου εμφανίζεται η μέγιστη επιδείνωση για $T_{str}=0$ ($\max A_h$, $\max A_v$), αφού για αυτά τα μεγέθη υπάρχει περισσότερη έρευνα στη βιβλιογραφία. Ακόμα επιλέγονται ως «σημαντικές» και οι θέσεις ακριβώς στη στέψη και στον πόδα, ως χαρακτηριστικά σημεία του πρανού.

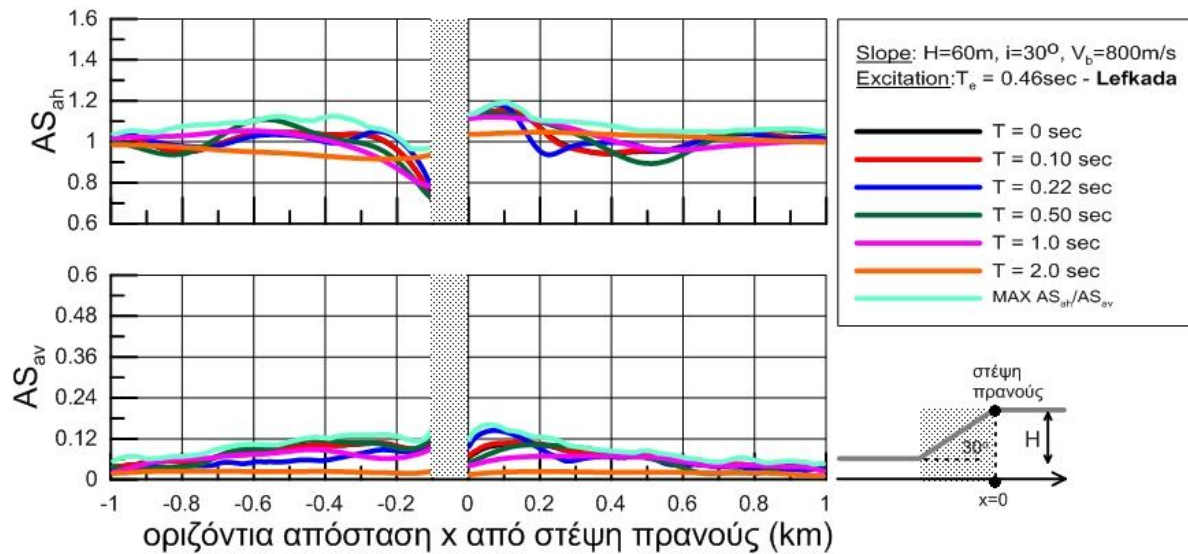
Τέλος, αναφέρεται ότι για λόγους μελέτης της επίδρασης του λόγου H/λ (που είναι διαφορετικός για το ίδιο πρανές υπό διαφορετικές διεγέρσεις) παρουσιάζονται εδώ για κάθε πρανές αποτελέσματα για μια χαμηλόσυχη, μια υψίσυχη και μια ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση Γ, όπου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται απευθείας σε συγκριτικό

σχήμα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της περίπτωσης Α. Τα αποτελέσματα για το σύνολο των αναλύσεων παρατίθενται στο Παράρτημα Β στο τέλος της εργασίας.

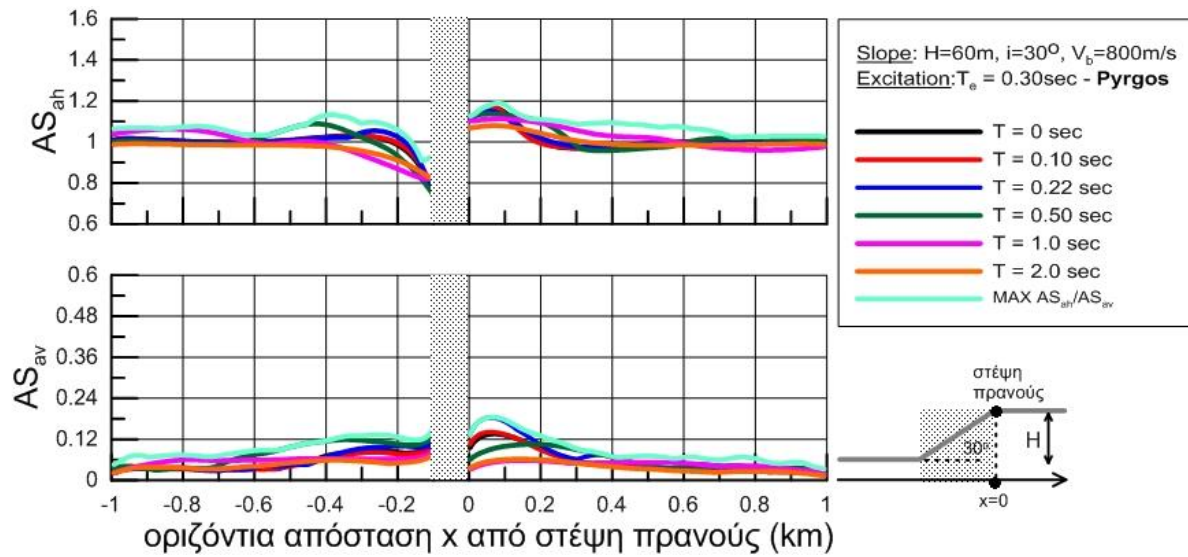
Αρχικά, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση απότομου πρανούς Α με χαρακτηριστικά $i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=800m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανού για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 4.1)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 4.2)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 4.3)

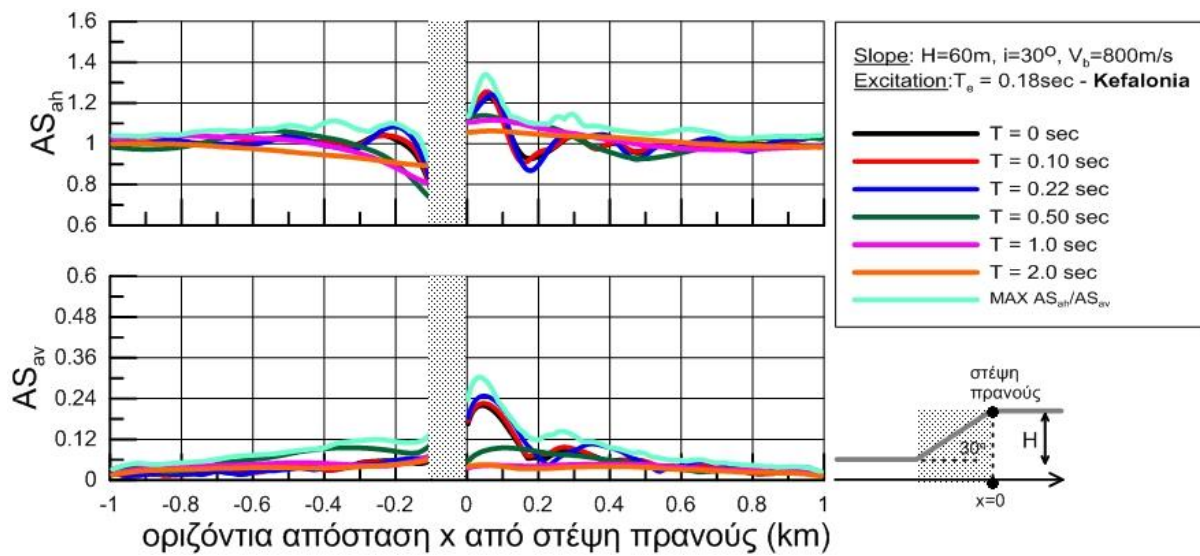
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος σε συγκεκριμένες «σημαντικές» θέσεις (Σχήματα 4.4-4.6).



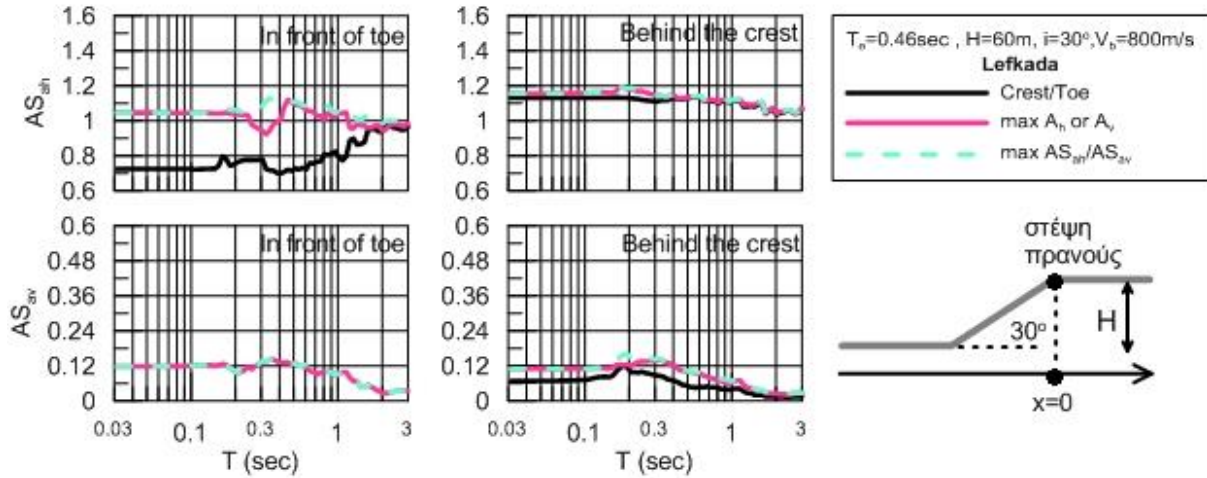
Σχήμα 4.1 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$.



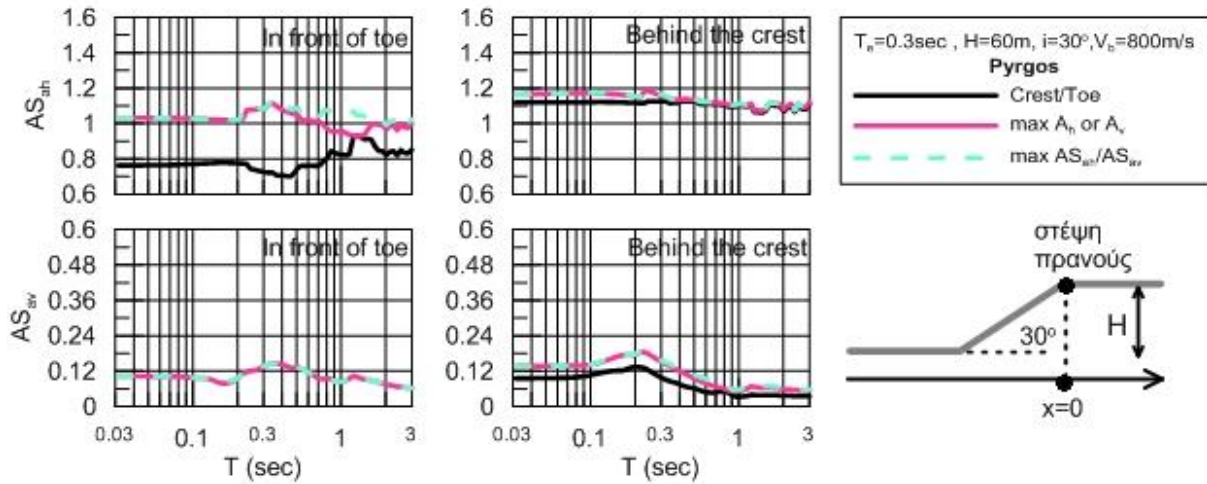
Σχήμα 4.2 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$.



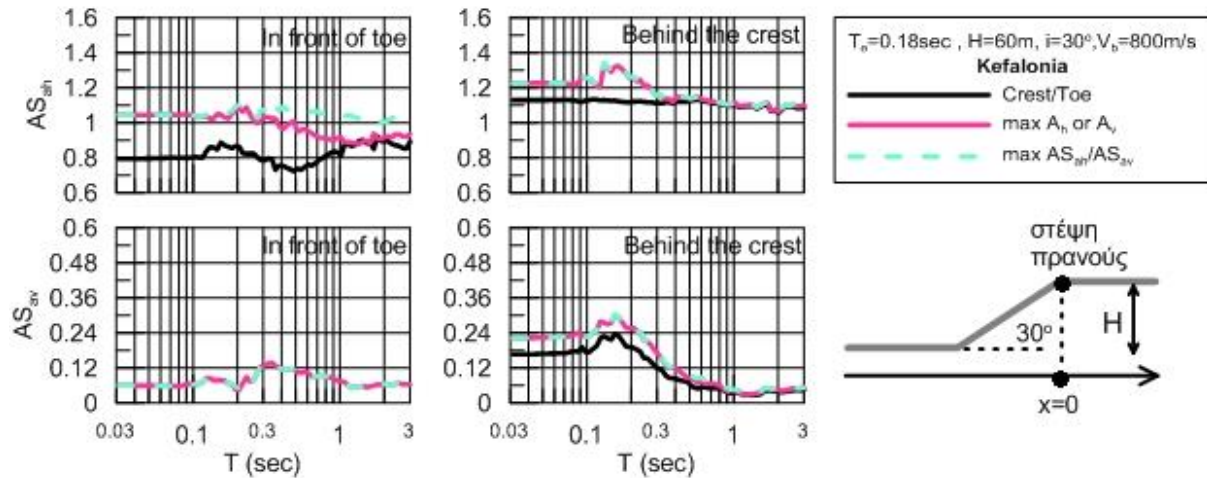
Σχήμα 4.3 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$.



Σχήμα 4.4 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{sh}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$.



Σχήμα 4.5 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{sh}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$.

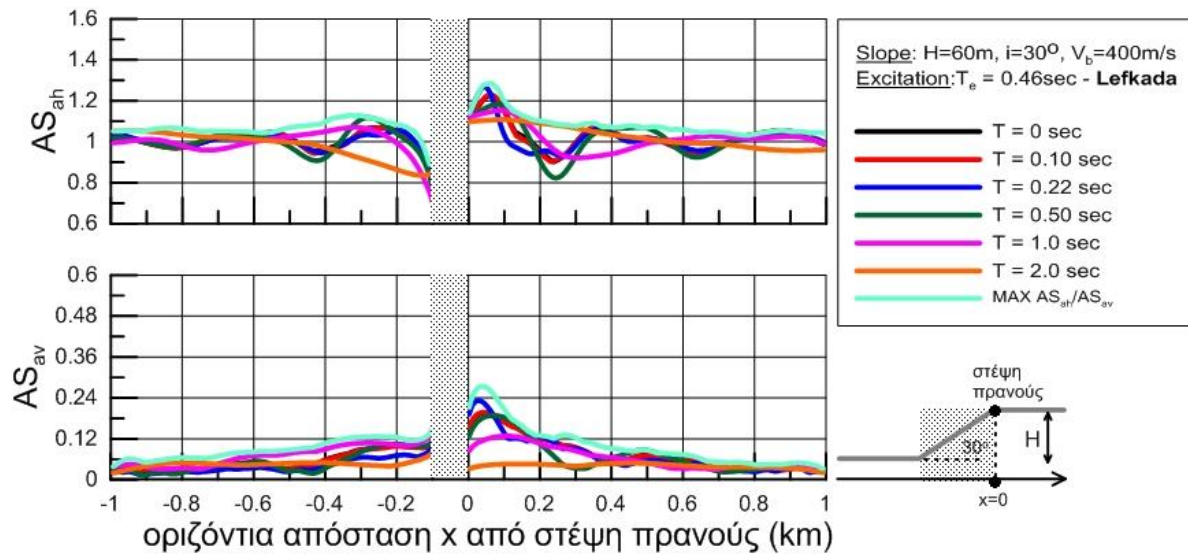


Σχήμα 4.6 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$.

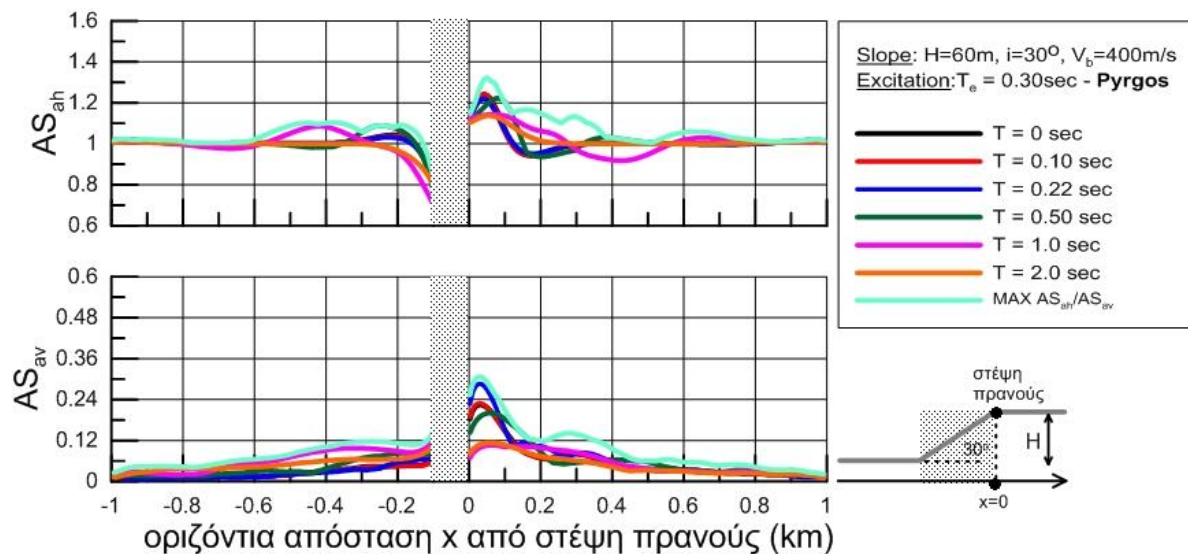
Παρακάτω, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς B με χαρακτηριστικά $i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$, δηλαδή με διπλάσιο αδιάστατο ύψος H/λ συγκριτικά με το πρανές της περίπτωσης A που παρουσιάστηκε ανωτέρω. Στα επόμενα σχήματα αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 4.7**)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (**Σχήμα 4.8**)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 4.9**)

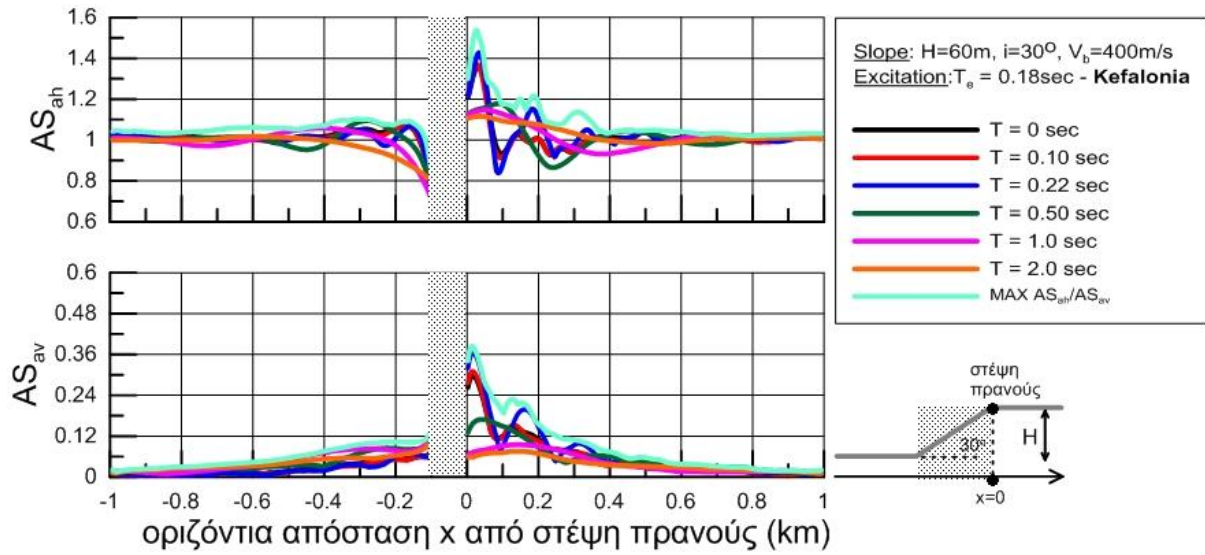
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος σε συγκεκριμένες «σημαντικές» θέσεις (**Σχήματα 4.10-4.12**).



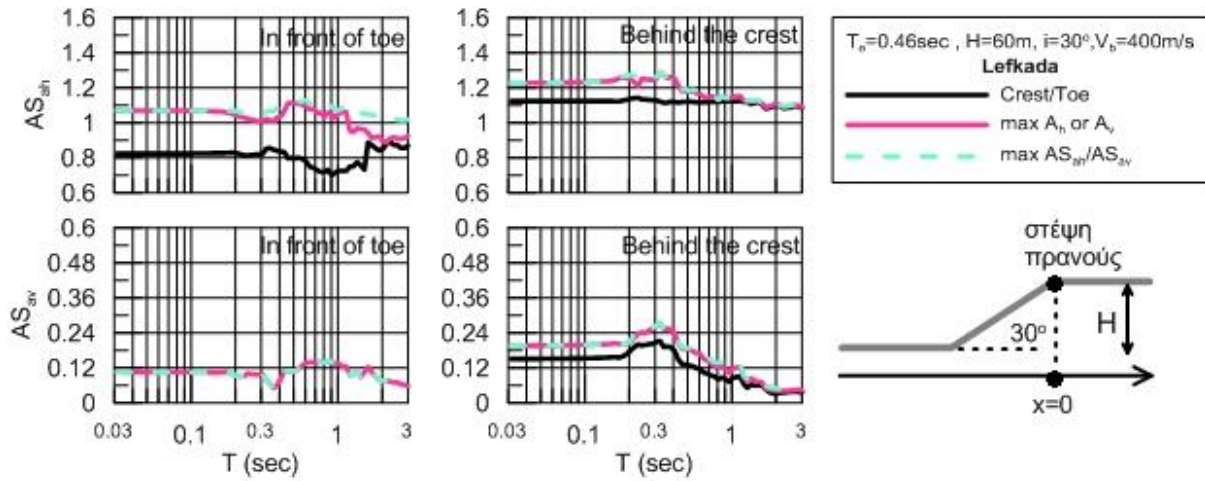
Σχήμα 4.7 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2\text{s}$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$.



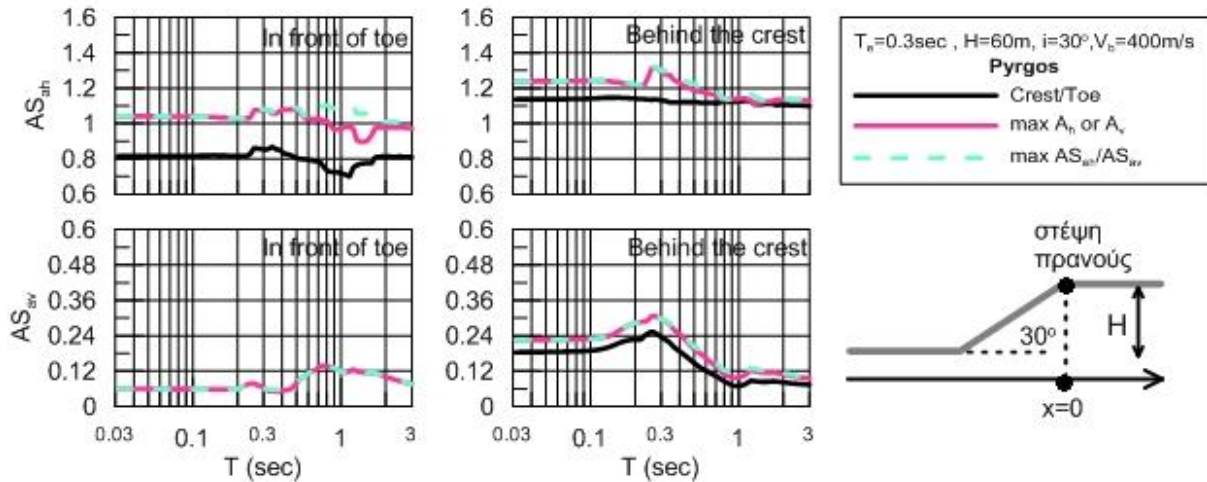
Σχήμα 4.8 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2\text{s}$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$.



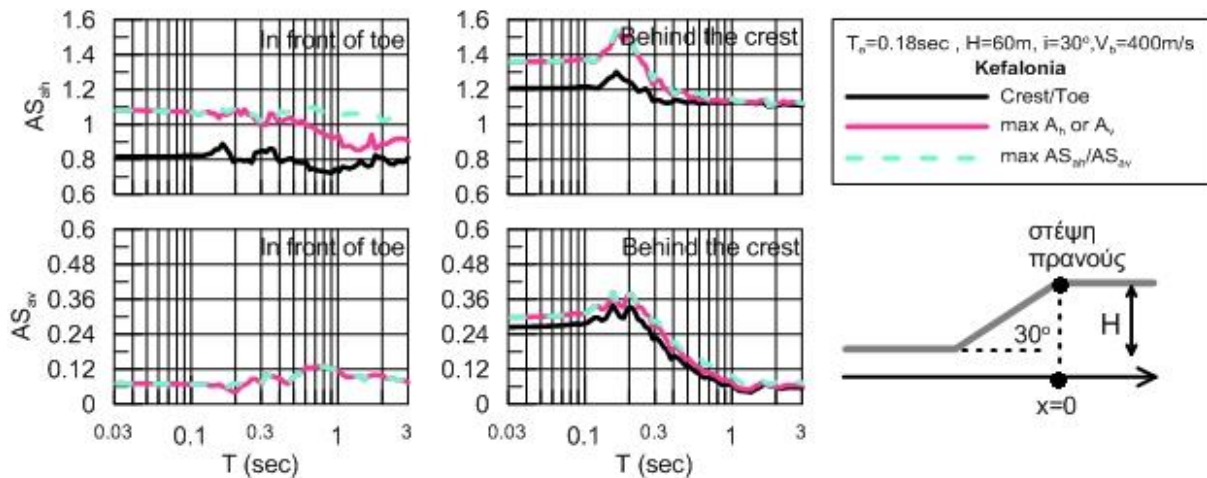
Σχήμα 4.9 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$.



Σχήμα 4.10 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$.

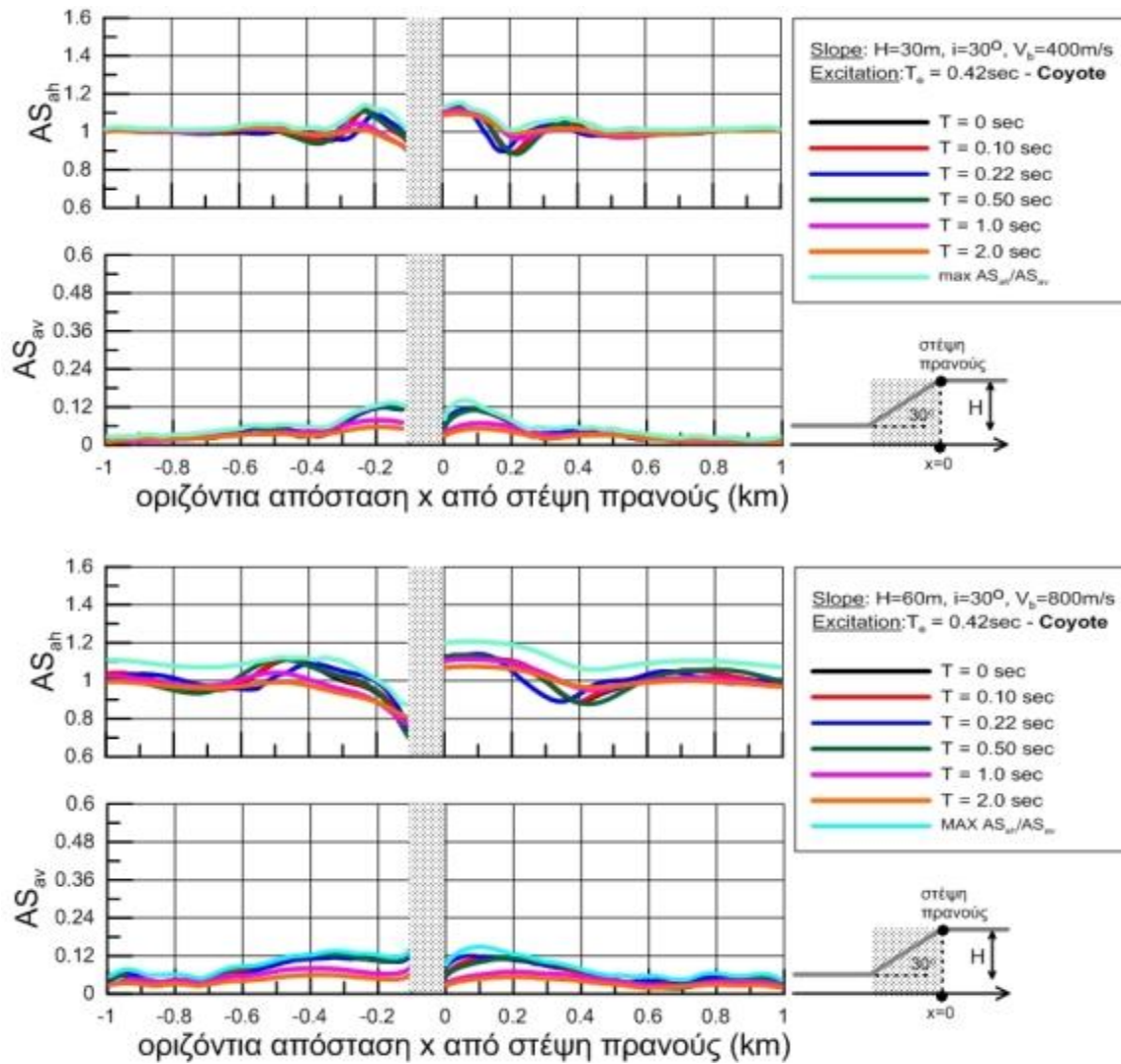


Σχήμα 4.11 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$.

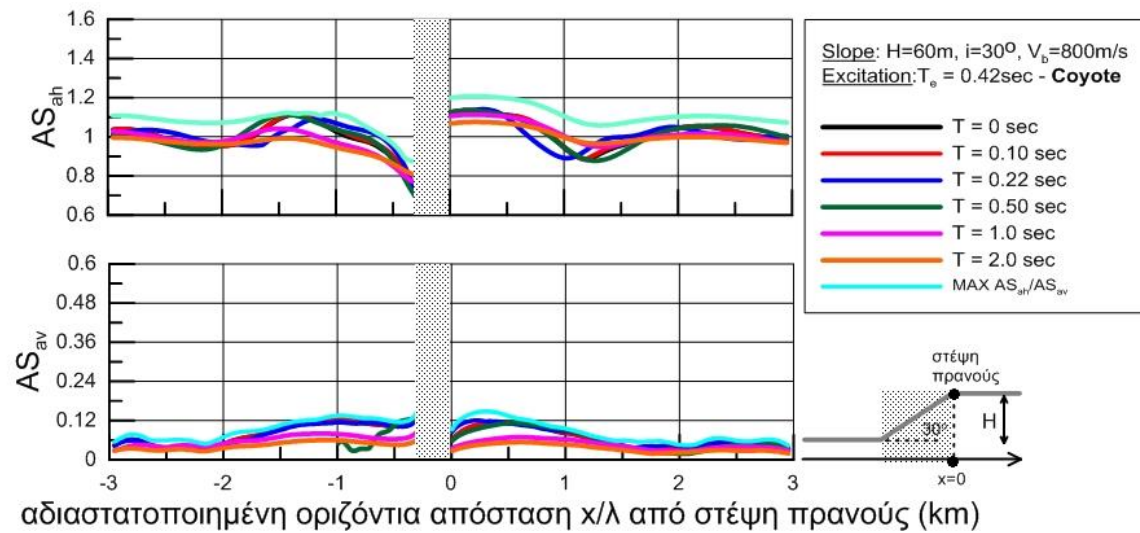
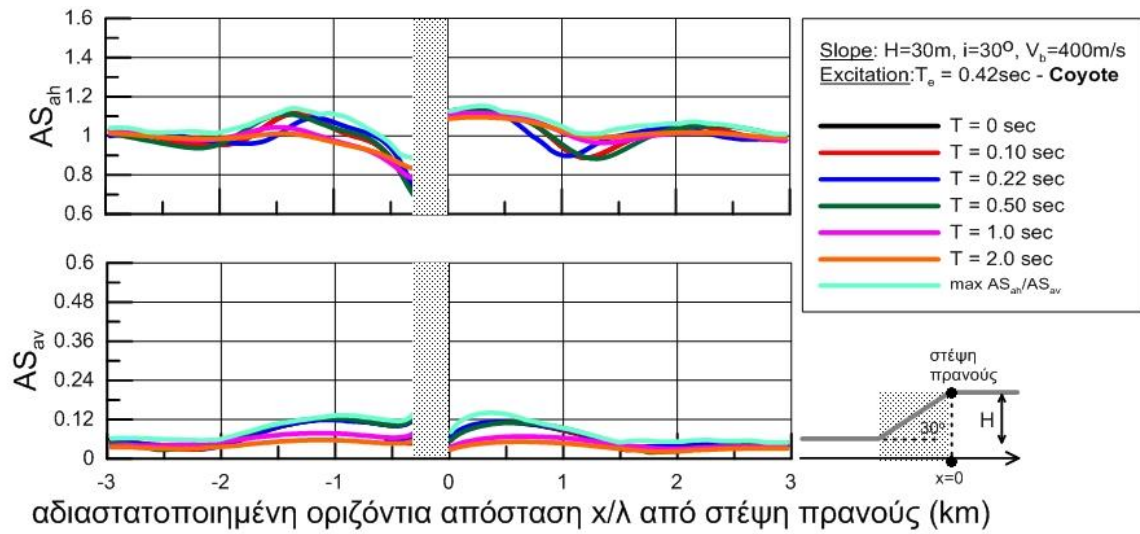


Σχήμα 4.12 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$.

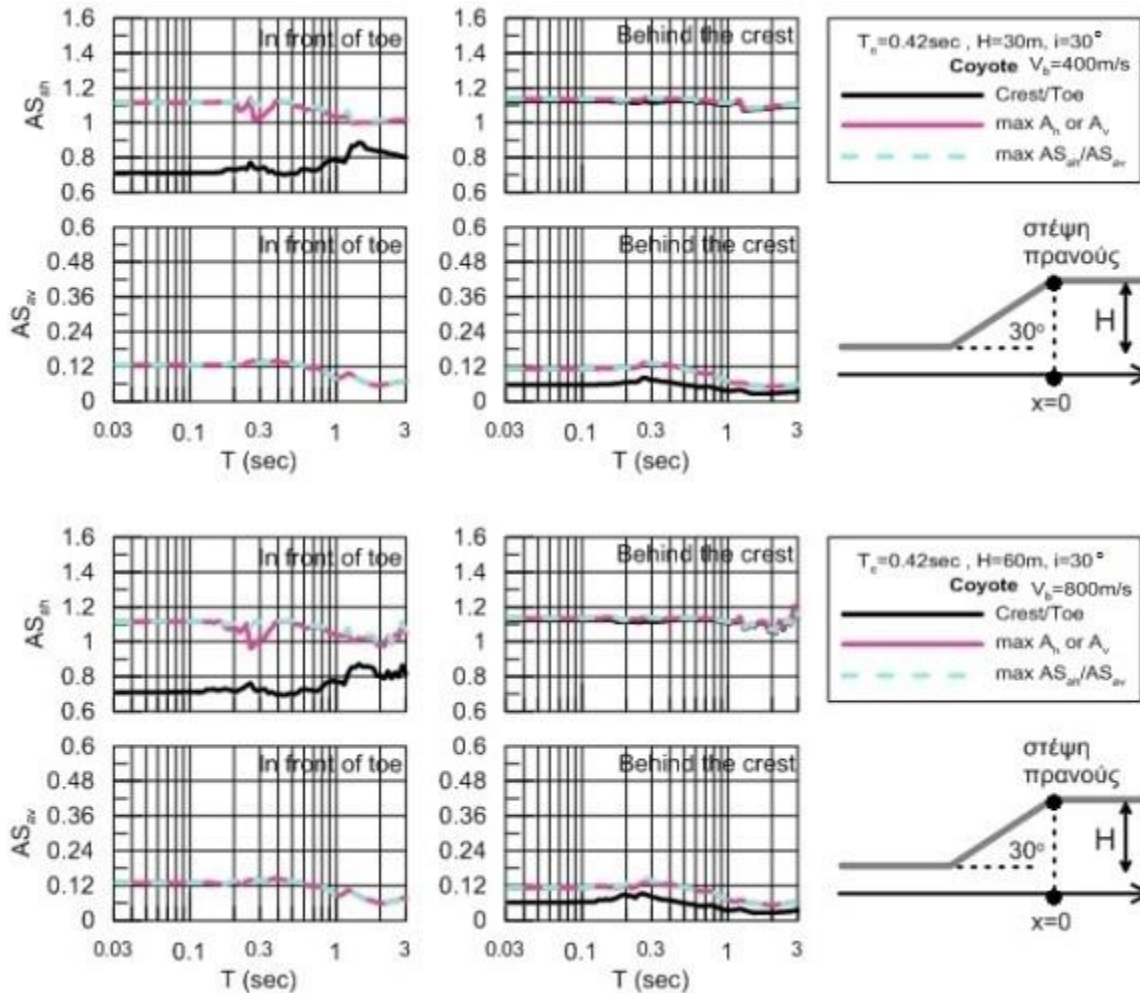
Το μέρος των αποτελεσμάτων που αφορά στην απόκριση απότομου πρανούς ολοκληρώνεται με τη σύγκριση αποτελεσμάτων για δυο διαφορετικά πρανή με κοινό λόγο H/λ , αλλά διαφορετικές τιμές H και λ , τόσο χωρικά όσο και για ολόκληρο το φάσμα απόκρισης (Σχήματα 4.13 και 4.15). Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης, αλλά ως προς αδιαστατοποιημένη την απόσταση x ως προς το μήκος κύματος λ .



Σχήμα 4.13 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.179$. Σύγκριση απόκρισης δυο διαφορετικών πρανών (διαφορετικά ύψη H και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_s) με κοινό λόγο H/λ .



Σχήμα 4.14 Χωρική διαφοροποίηση (σε όρους αδιάστατης απόστασης x/λ) της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2\text{s}$ (με απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.179$. Σύγκριση απόκρισης δυο διαφορετικών πρσανών (διαφορετικά ύψη H και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_s) με κοινό λόγο H/λ .



Σχήμα 4.15 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.179$. Σύγκριση απόκρισης δυο διαφορετικών πρανών (διαφορετικά ύψη H και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_s) με κοινό λόγο H/λ .

Από τα ανωτέρω σχήματα που αφορούν στην απόκριση απότομου μονοκλινούς πρανούς, προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Επιβεβαιώνεται η αναμενόμενη τοπογραφική επιδείνωση πλησίον μονοκλινών πρανών από τη βιβλιογραφία, όπου υπάρχουν ενισχύσεις πίσω από τη στέψη και απομειώσεις μπροστά από τον πόδα, και αυτό ισχύει ποιοτικά για όλες τις περιόδους κατασκευής T_{str}
- Επιβεβαιώνεται η απομείωση της τοπογραφικής επιδείνωσης με την απόσταση από το μονοκλινές πρανές από τη βιβλιογραφία, και αυτό ισχύει ποιοτικά για όλες τις περιόδους κατασκευής T_{str}
- Επιβεβαιώνεται ότι η τοπογραφική επιδείνωση είναι συνάρτηση του αδιάστατου ύψους του πρανούς H/λ , και όχι συνάρτηση του ίδιου του ύψους ή του μήκους κύματος λ , αρκεί να γίνει

αδιαστατοποίηση της απόστασης ως προς το μήκος κύματος του πρανούς, και αυτό αφορά όλες τις περιόδους κατασκευής T_{str} ,

- Η τοπογραφική επιδείνωση είναι πιο σημαντική για μικρές περιόδους κατασκευής T_{str} , ενώ συνήθως προκύπτει ασήμαντη για $T_{str} \geq 1.0\text{sec}$.
- Η τοπογραφική επιδείνωση για $T_{str} = 0$ σχεδόν συμπίπτει με την απόλυτα μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση για την οριζόντια συνιστώσα AS_{ah} , αλλά υπολείπεται συνήθως αυτής για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα AS_{av} .
- Αύξηση του αδιάστατου ύψους H/λ οδηγεί σε ενίσχυση της τοπογραφικής επιδείνωσης, και αυτό αφορά όλες τις περιόδους κατασκευής T_{str} .

4.3 Σεισμική απόκριση ήπιων πρανών

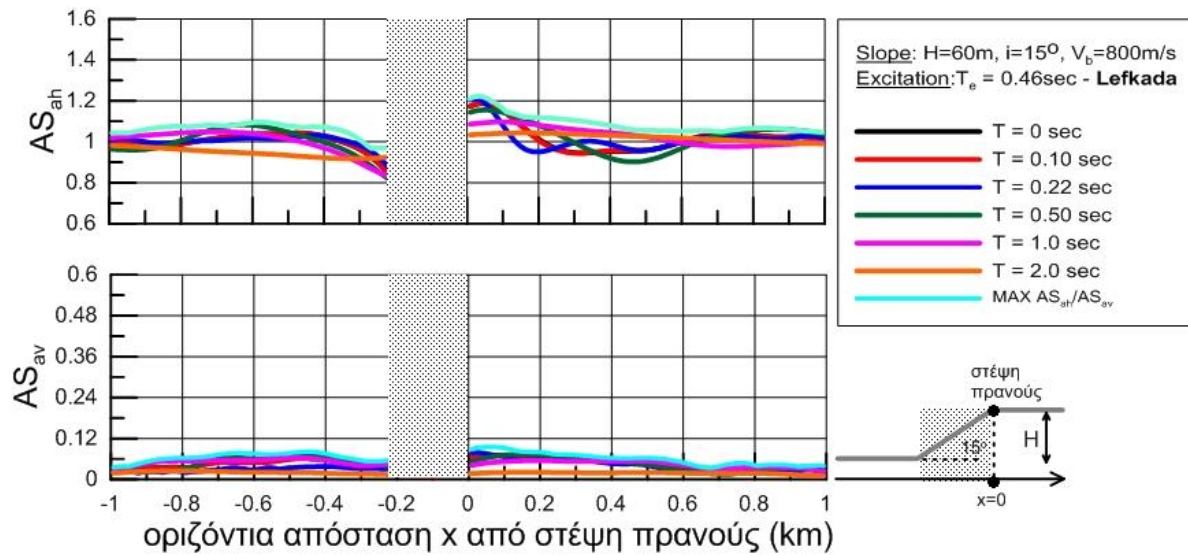
Μετά τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης απότομων πρανών στην παράγραφο 4.2, στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται αποτελέσματα για τη χωρική μεταβολή της επιδείνωσης της φασματικής επιτάχυνσης, αλλά και της επιδείνωσης ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης (απόσβεση 5%) για τις περιπτώσεις ήπιων πρανών με:

- Δ) Πρανές με χαρακτηριστικά $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$
- Ε) Πρανές με χαρακτηριστικά $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$

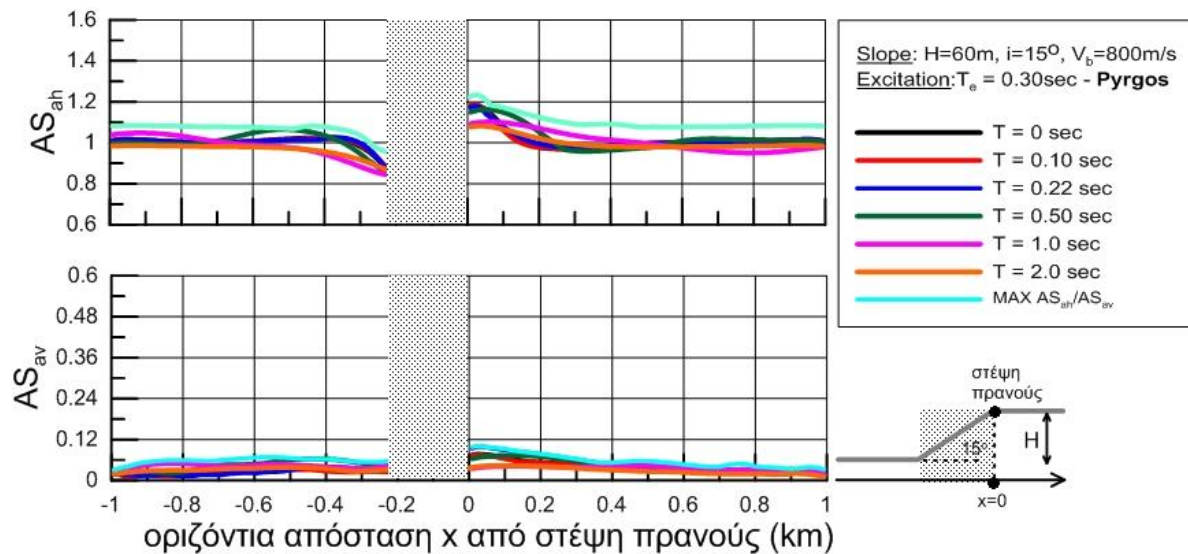
Οι περιπτώσεις Δ και Ε διερευνήθηκαν πλήρως, αφού έγινε ανάλυση για δέκα (10) διεγέρσεις για την μελέτη της επιρροής του λόγου H/λ , που στην περίπτωση Ε είναι διπλάσιος αυτού στην Δ (για την ίδια πάντα διέγερση). Έτσι, αρχικά απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση ήπιου πρανούς με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60\text{m}$, $V_s=800\text{m/s}$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 4.16**)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (**Σχήμα 4.17**)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 4.18**)

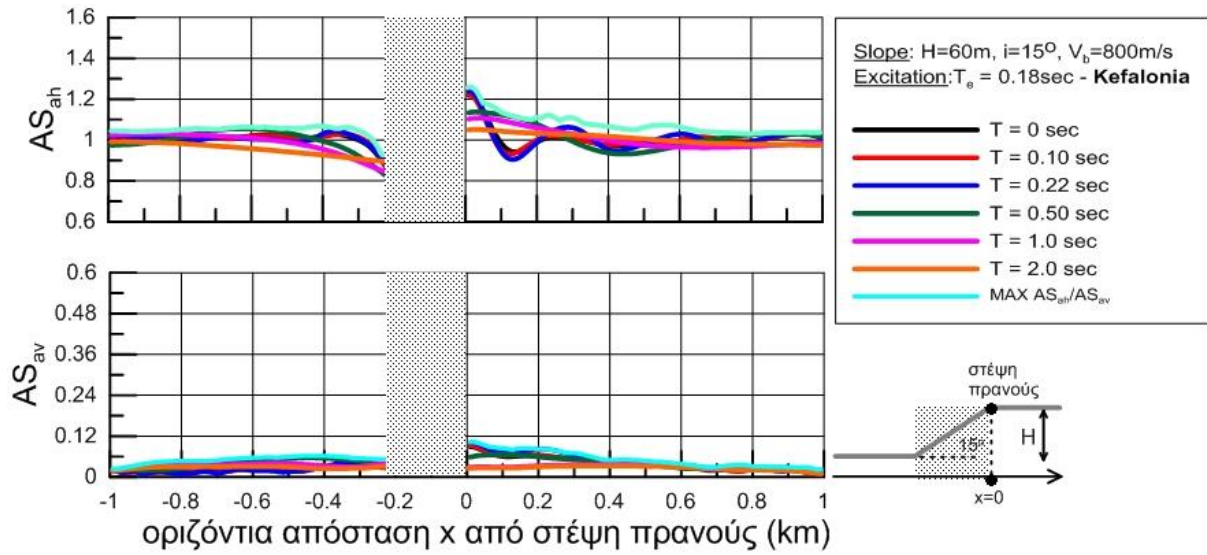
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος σε συγκεκριμένες «σημαντικές» θέσεις (**Σχήματα 4.19-4.21**).



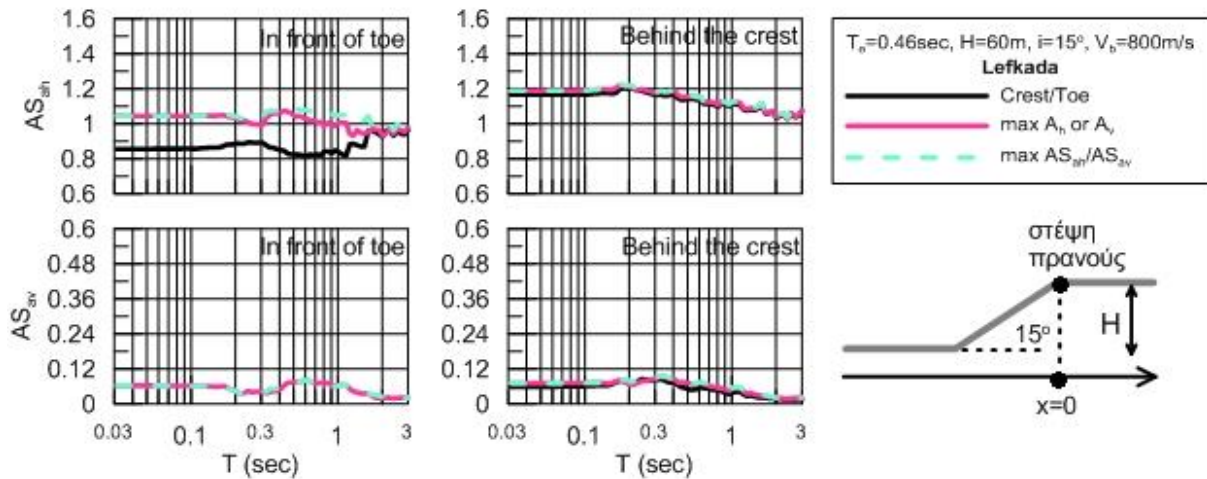
Σχήμα 4.16 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$.



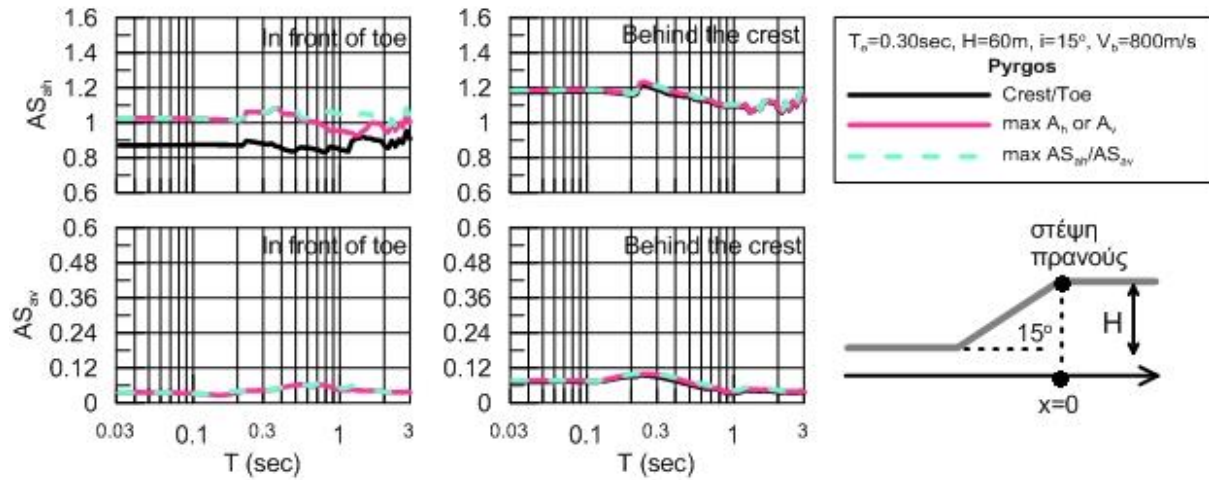
Σχήμα 4.17 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$.



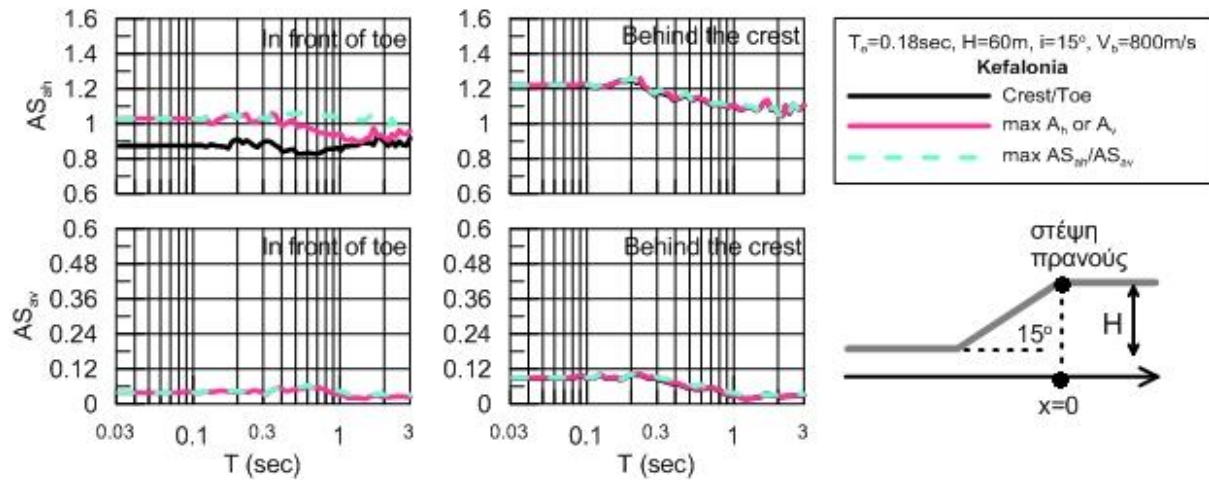
Σχήμα 4.18 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$.



Σχήμα 4.19 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$.



Σχήμα 4.20 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$.

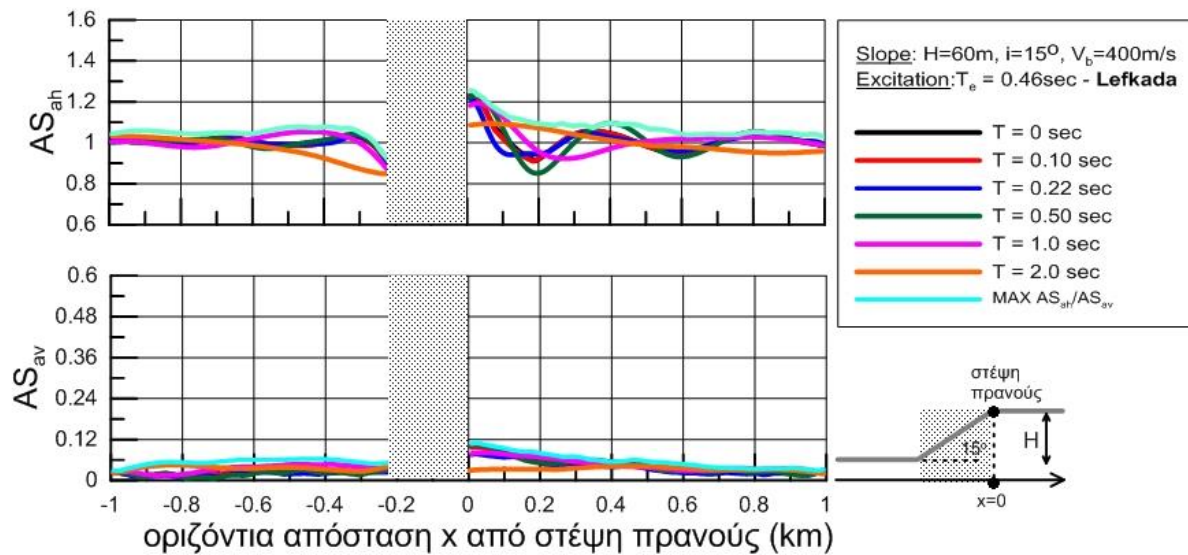


Σχήμα 4.21 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$.

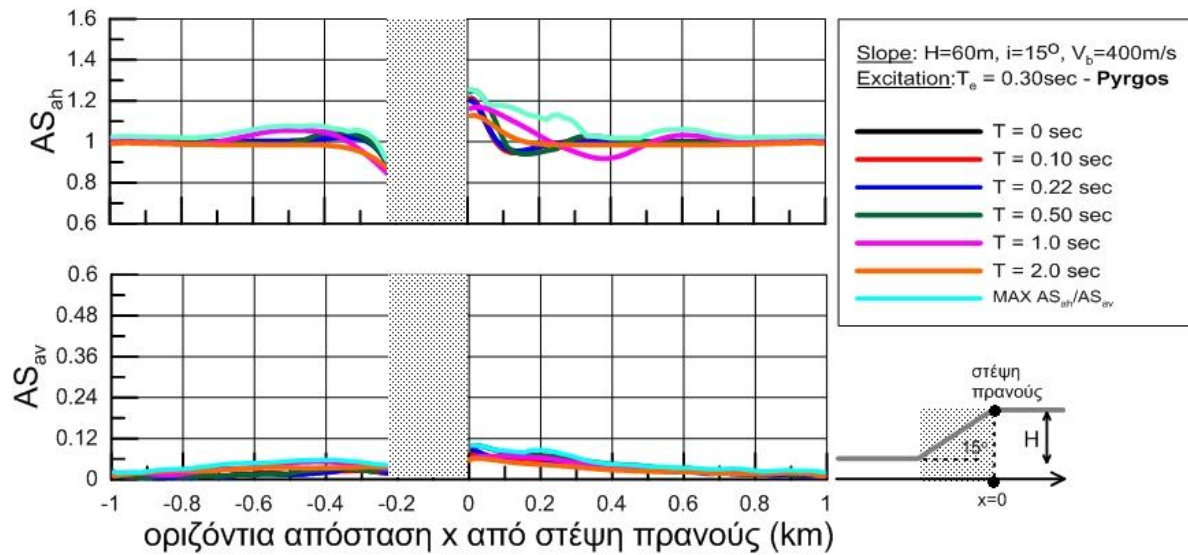
Στη συνέχεια, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς Ε με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$, δηλαδή με διπλάσιο αδιάστατο ύψος H/λ συγκριτικά με το ήπιο πρανές της περίπτωσης Δ που παρουσιάστηκε ανωτέρω. Στα επόμενα σχήματα αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 4.22)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 4.23)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 4.24)

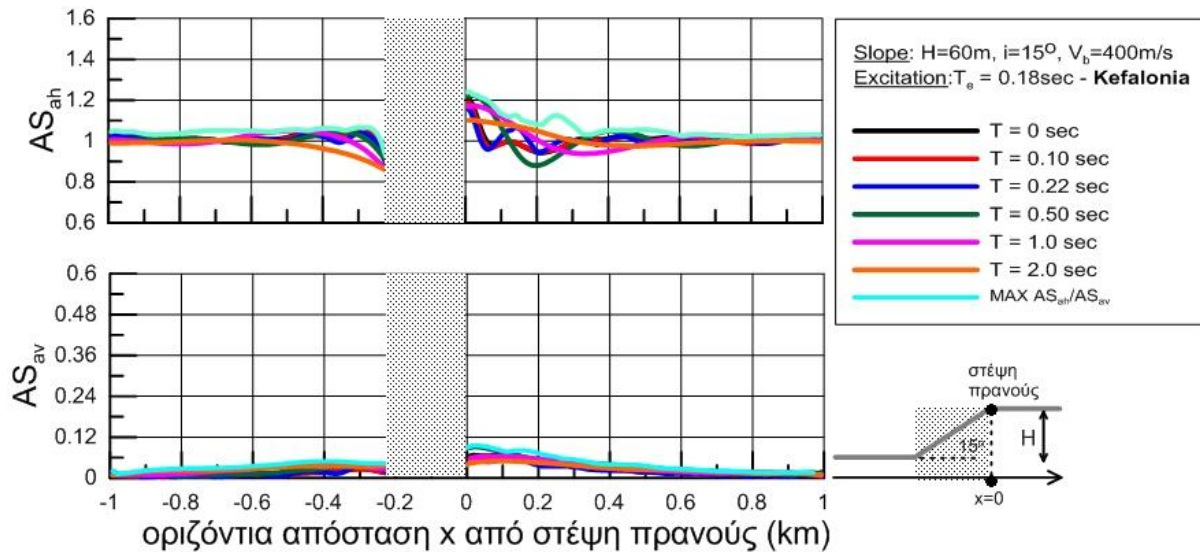
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος σε συγκεκριμένες «σημαντικές» θέσεις (Σχήματα 4.25-4.27).



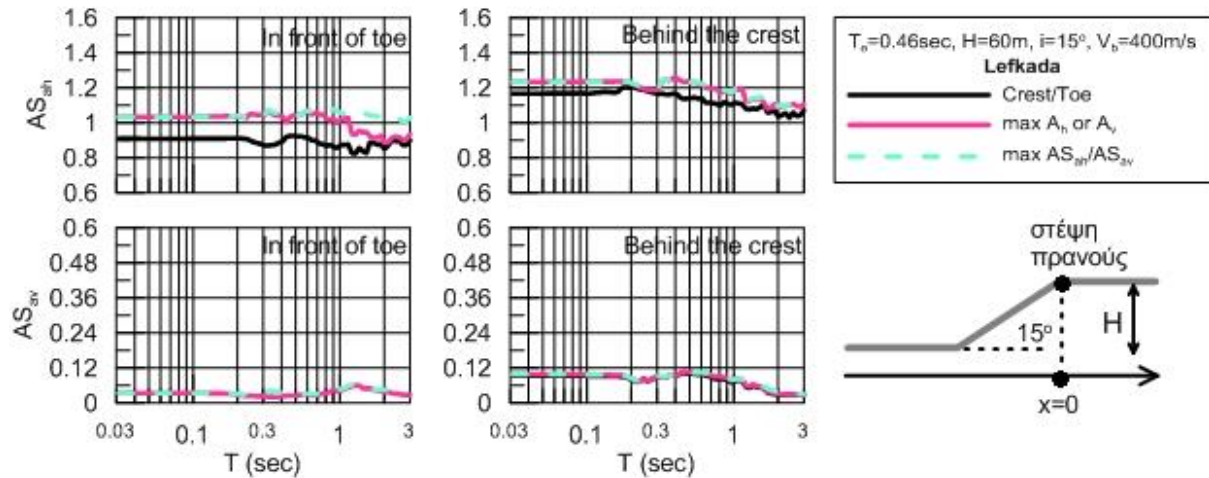
Σχήμα 4.22 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$.



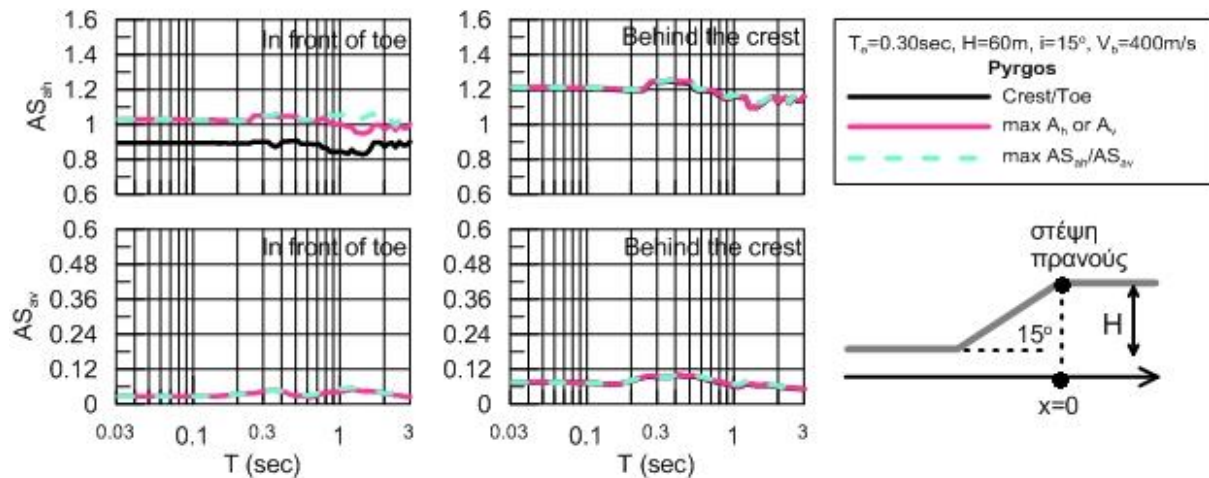
Σχήμα 4.23 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$.



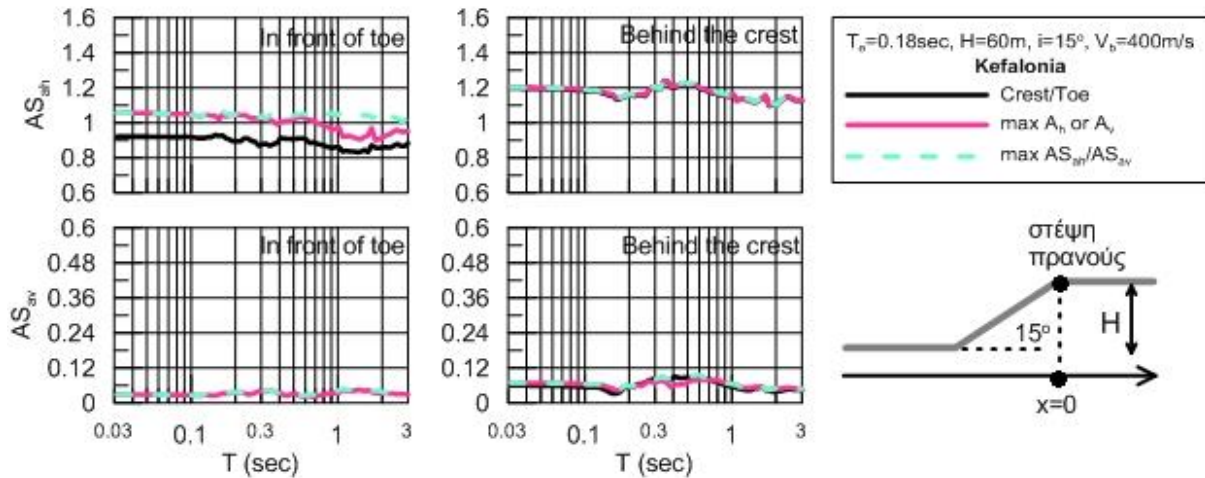
Σχήμα 4.24 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για περιόδους κατασκευής $T_{str}=0-2s$ (απόσβεση 5%), στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$.



Σχήμα 4.25 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$.



Σχήμα 4.26 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$.



Σχήμα 4.27 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης επιταχύνσεων (απόσβεση $\xi=5\%$) στην οριζόντια (AS_{ah}) και την κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, σε θέσεις ενδιαφέροντος του ομογενούς μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=15^\circ$ (ξεχωριστά για περιοχή μπροστά από τον πόδα και πίσω από τη στέψη του πρανούς) υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$.

Από τα ανωτέρω σχήματα που αφορούν στην απόκριση ήπιου μονοκλινούς πρανούς, προκύπτουν ποιοτικά τα ίδια συμπεράσματα συγκριτικά με τα απότομα πρανή. Επιπλέον αυτών:

- επιβεβαιώνεται η μειωμένη τοπογραφική επιδείνωση πλησίον μονοκλινών πρανών με χαμηλή κλίση $i=15^\circ$ συγκριτικά με ό,τι συμβαίνει για απότομα πρανή με κλίση $i=30^\circ$.
- προκύπτει ότι η τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε ήπια πρανή είναι σχεδόν ίδια για όλες τις περιόδους κατασκευής (ειδικά στην οριζόντια συνιστώσα) και διαφέρει μόνο ελαφρά από θέση σε θέση.

4.4 Σχέση μέγιστης φασματικής ενίσχυσης με ενίσχυση μέγιστης επιτάχυνσης

Με βάση τα ανωτέρω αποτελέσματα προκύπτει ότι η ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης ($A_{h,max}$ και $A_{v,max}$ στις 2 συνιστώσες) δεν είναι αναγκαστικά η μέγιστη ενίσχυση ανεξαρτήτως περιόδου κατασκευής ($AS_{ah,max}$ και $AS_{av,max}$ στις 2 συνιστώσες). Με στόχο την ποσοτικοποίηση αυτής της διαφοράς, στα **Σχήματα 4.28, 4.29** και **4.30** παρουσιάζονται οι λόγοι $AS_{ah,max}/A_{h,max}$ και $AS_{av,max}/A_{v,max}$ ως συνάρτηση της δεσπόζουσας περιόδου T_e , του αδιάστατου ύψους του πρανού H/λ και της κλίσης του i . Από τα σχήματα αυτά προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο λόγος $AS_{ah,max}/A_{h,max}$ παίρνει σχετικώς μικρές τιμές (1.00 – 1.18), με μια μέση τιμή 1.06. Δεν υπάρχει σαφής επίδραση του H/λ και της περιόδου T_e , αλλά διαφαίνεται μια μικρή αύξηση με την κλίση του πρανού i .

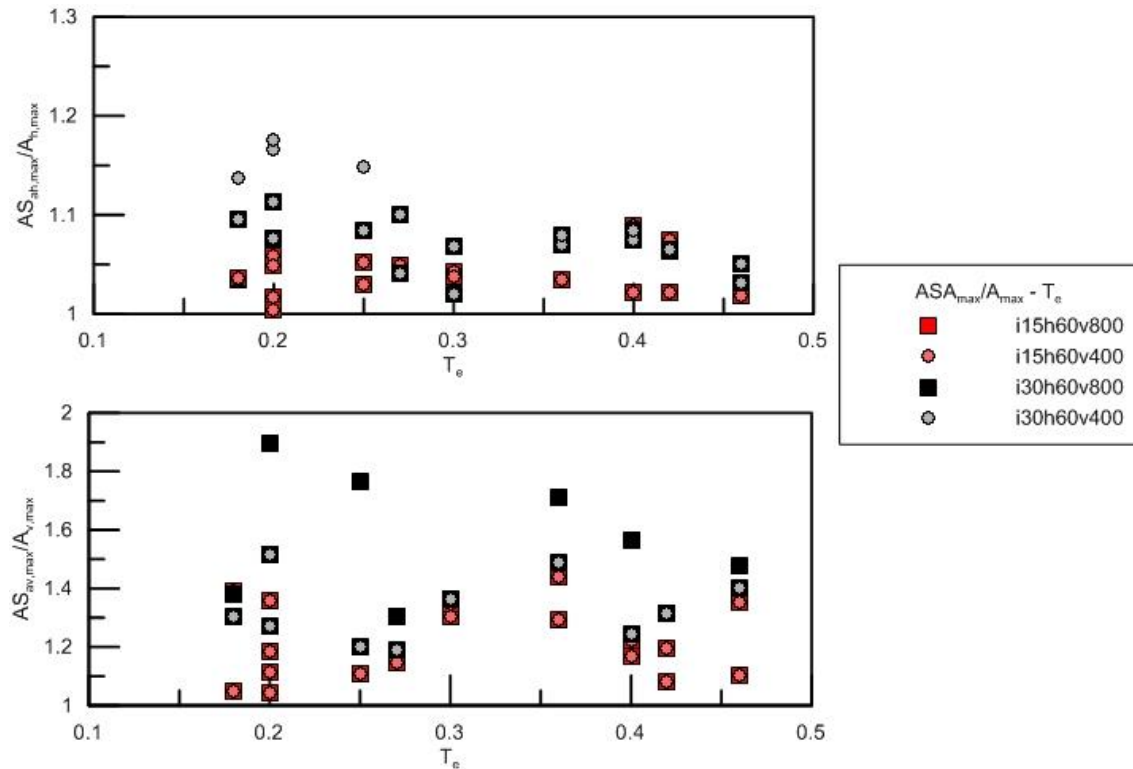
- Ο λόγος $AS_{av,max}/A_{v,max}$ παίρνει υπολογίσιμες τιμές (1.05 – 1.90), με μια μέση τιμή 1.32. Δεν υπάρχει σαφής επίδραση του H/λ και της περιόδου T_e , αλλά προκύπτει αύξηση με την κλίση του πρανού i . Πρακτικώς, για $i=15^\circ$ προκύπτει μια μέση τιμή 1.21, ενώ για $i=30^\circ$ η μέση τιμή αυξάνει σε 1.43. Μια απλή γραμμική σχέση ως προς i , θα μπορούσε να αποδώσει τη σχετική επίδραση, τουλάχιστον για τιμές κλίσεων έως 30° που διερευνήθηκαν εδώ. Μια τέτοια σχέση θα μπορούσε να είναι:

$$AS_{av,max} / A_{v,max} = 1 + i(^{\circ})/85 \quad (4.1)$$

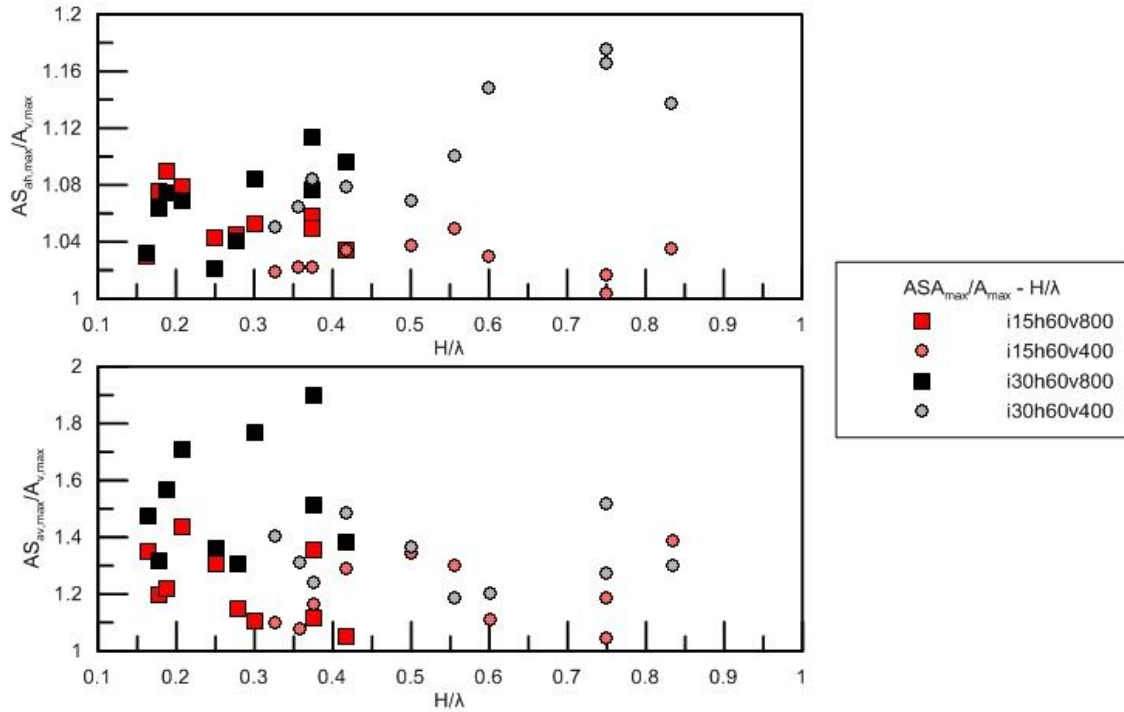
Η Σχέση 4.1 δίνει πρόβλεψη για:

- $i=30^\circ$: $AS_{av,max} / A_{v,max} = 1.3529$
- $i=15^\circ$: $AS_{av,max} / A_{v,max} = 1.1765$

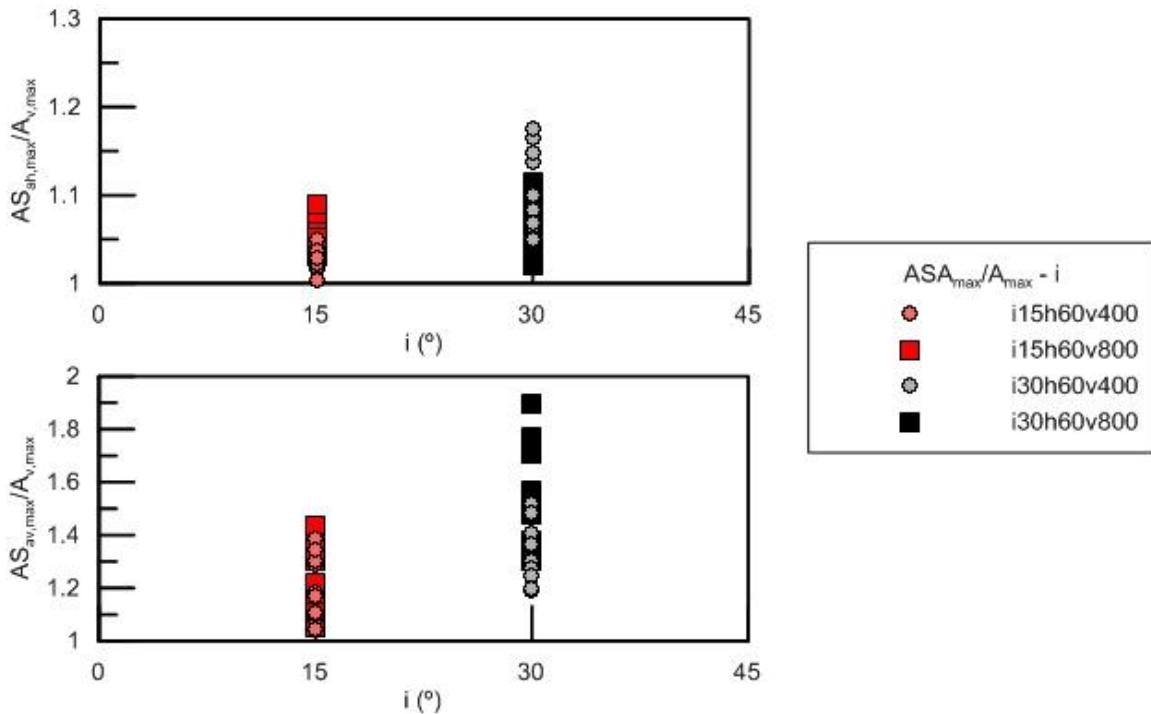
Η σχέση δίνει τέλεια πρόβλεψη με σχετικό λάθος $\pm 9.8\%$.



Σχήμα 4.28 Λόγος μέγιστης φασματικής επιδείνωσης προς την επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης, στην οριζόντια ($AS_{ah,max}/A_{h,max}$) και την κατακόρυφη ($AS_{av,max}/A_{v,max}$) διεύθυνση, ως προς τη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης, για όλες τις εκτελεσθείσες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανού.



Σχήμα 4.29 Λόγος μέγιστης φασματικής επιδείνωσης προς την επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης, στην οριζόντια ($AS_{ah,max}/A_{h,max}$) και την κατακόρυφη ($AS_{av,max}/A_{v,max}$) διεύθυνση, ως προς το αδιάστατο ύψος H/λ του πρανούς, για όλες τις εκτελεσθείσες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς.



Σχήμα 4.30 Λόγος μέγιστης φασματικής επιδείνωσης προς την επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης, στην οριζόντια ($AS_{ah,max}/A_{h,max}$) και την κατακόρυφη ($AS_{av,max}/A_{v,max}$) διεύθυνση, ως προς την κλίση i του πρανούς, για όλες τις εκτελεσθείσες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης ομοιόμορφου μονοκλινούς πρανούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ

5.1 Γενικά

Στο παρόν Κεφάλαιο αξιολογούνται δύο (2) μεθοδολογίες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης σε ομογενή μονοκλινή πρανή από τη βιβλιογραφία μέσω σύγκρισης με τα αποτελέσματα των αναλύσεων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4. Οι μεθοδολογίες αυτές προτείνουν αναλυτικές παραμετρικές σχέσεις που προβλέπουν τη χωρική μεταβολή, αλλά και την επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Η μια είναι η πρόταση της Assimaki et al. 2005 που προτείνει σχέσεις τόσο για την χωρική διαφοροποίηση όσο και για την φασματική επιδείνωση και η δεύτερη είναι οι πολύ-παραμετρικές σχέσεις των Bouckouvalas & Paradimitriou (2005, 2006) που αφορούν στη χωρική διαφοροποίηση της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους, σε συνδυασμό με την πρόταση της Κοντογιάννη (2013) που προτείνει σχέσεις για την επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης.

Υπενθυμίζονται τα εύρη του σημαντικών παραμέτρων που επηρεάζουν την τοπογραφική επιδείνωση στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν.

- **Αδιάστατο ύψος πρανούς H/λ : 0.163 – 0.834**
- **Κλίση πρανούς i : 15°, 30°**
- **Απόσβεση γεωϋλικού πρανούς ξ : 5%**
- **Αριθμός σημαντικών κύκλων διέγερσης N : 0.5 - 6**

Οι παράμετροι αυτοί -με το αδιάστατο ύψος πρανούς H/λ να είναι αυτό που παίζει σημαντικό ρόλο- είναι που υπεισέρχονται και στις πολυπαραμετρικές σχέσεις σχεδιασμού που καλούνται να αξιολογηθούν ως προς την ικανότητα πρόβλεψης της τοπογραφικής επιδείνωσης υπό οιαδήποτε σεισμική διέγερση.

5.2 Αξιοπιστία μεθοδολογιών για την τοπογραφική επιδείνωση σε απότομα πρανή

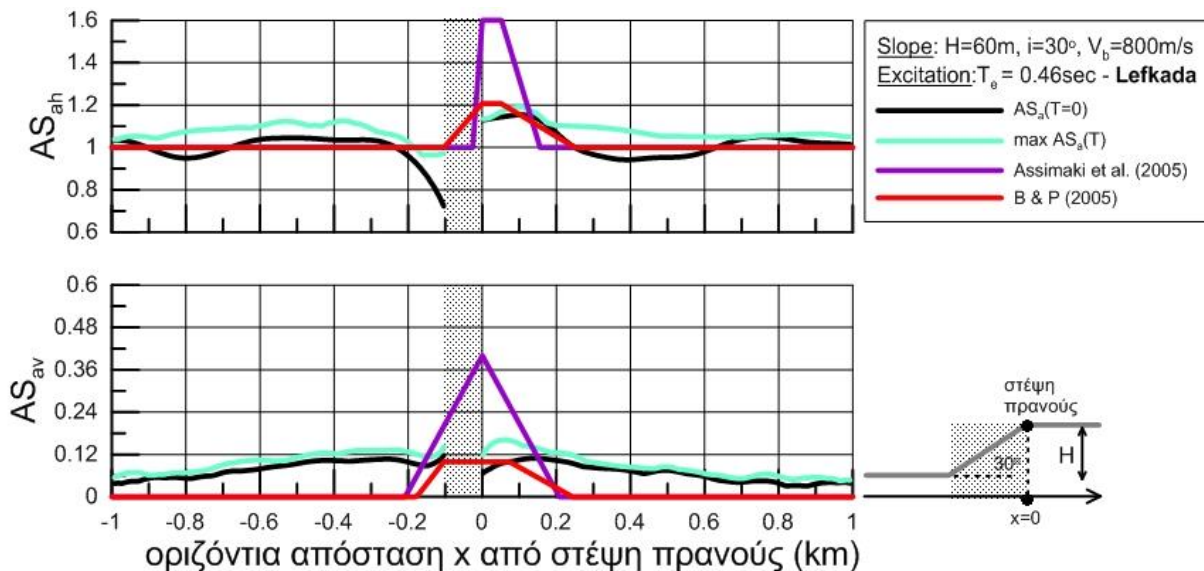
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται δυο τύποι σχημάτων για τις 4 περιπτώσεις πρανών που παρουσιάστηκαν και στο Κεφάλαιο 4. Με την ίδια λογική, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο για 3 διεγέρσεις για κάθε περίπτωση πρανούς, ώστε να αξιολογηθούν οι προβλέψεις για όλο το εύρος των συχνοτήτων των διεγέρσεων (χαμηλόσυχνες έως υψίσυχνες). Ο πρώτος τύπος παρουσιάζει τη χωρική μεταβολή της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης, με έμφαση στην επιδείνωση για $T_{str}=0$ (επιφάνεια εδάφους) και στη μέγιστη φασματική επιδείνωση ανεξαρτήτου περιόδου κατασκευής T_{str} . Χάρην σύγκρισης, στα ίδια σχήματα περιλαμβάνονται και οι σχετικές καμπύλες που προτείνονται από τις δύο (2) μεθοδολογίες εκτίμησης για τη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης (διαφορετικές ανά μεθοδολογία και συνδυασμό διέγερσης-πρανούς). Αντίστοιχα, στο δεύτερο τύπο σχήματος παρουσιάζεται η τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του

ελαστικού φάσματος αλλά μόνο για την θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση στο έδαφος ($T_{str}=0$) και αυτή συγκρίνεται με τη σχετική φασματική επιδείνωση όπως προβλέπεται από τις δύο (2) μεθοδολογίες εκτίμησης.

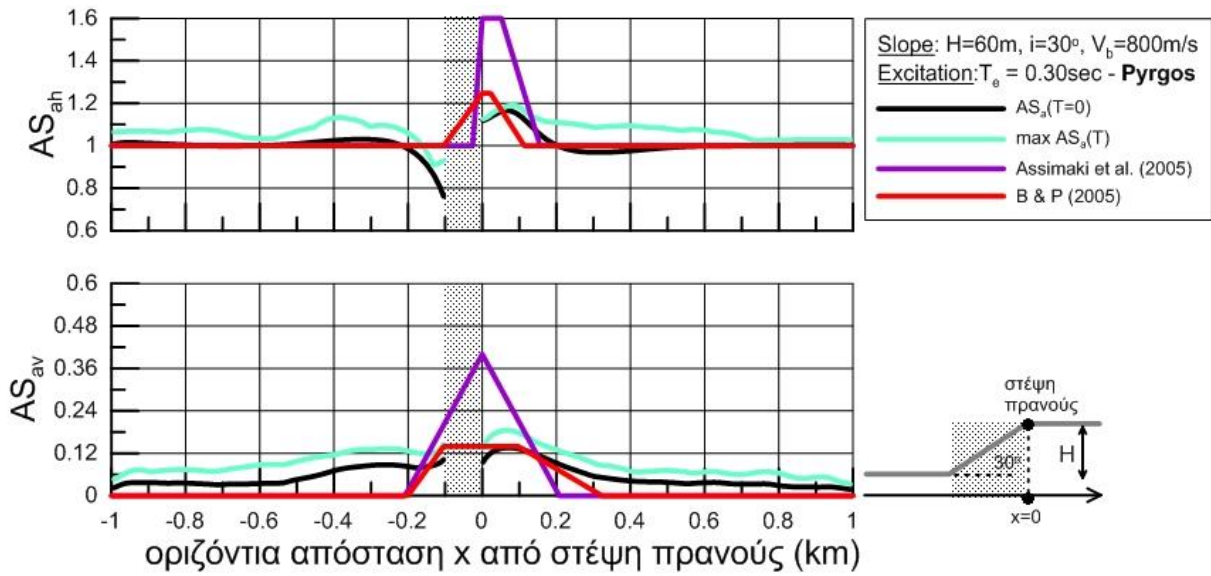
Αρχικά, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς A, δηλαδή απότομου πρανούς με χαρακτηριστικά $i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=800m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.1)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.2)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.3)

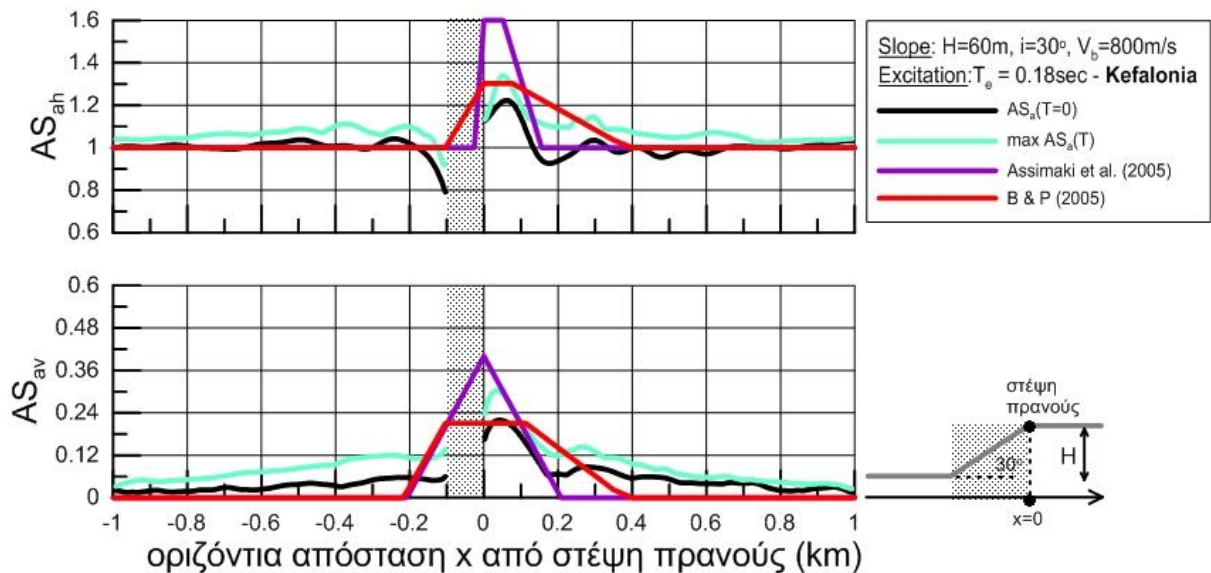
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, αλλά μόνο για την θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση στο έδαφος ($T_{str}=0$) (Σχήματα 5.4-5.6).



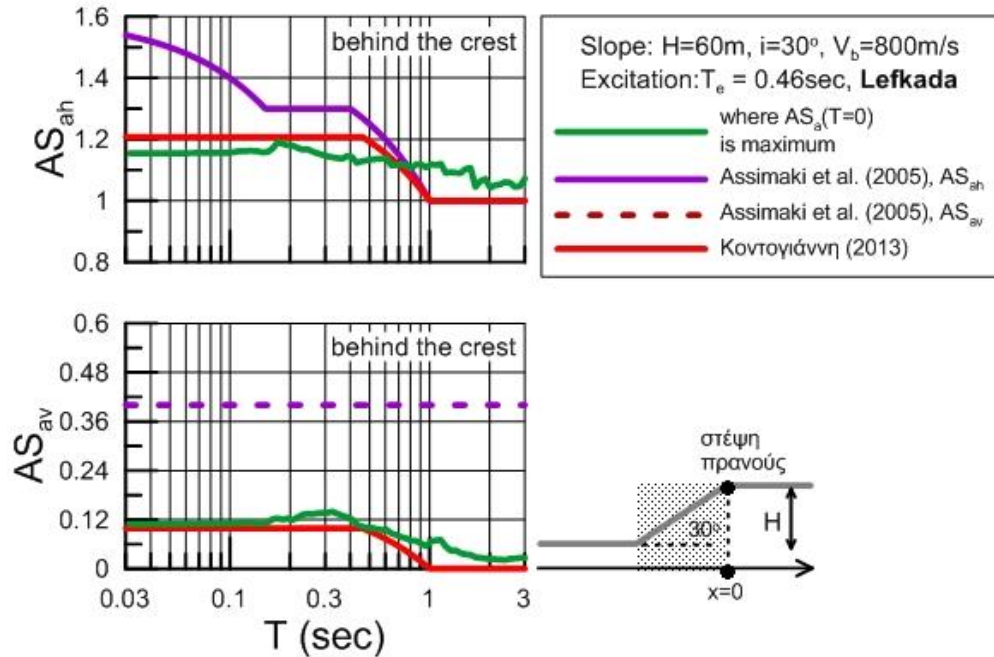
Σχήμα 5.1 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



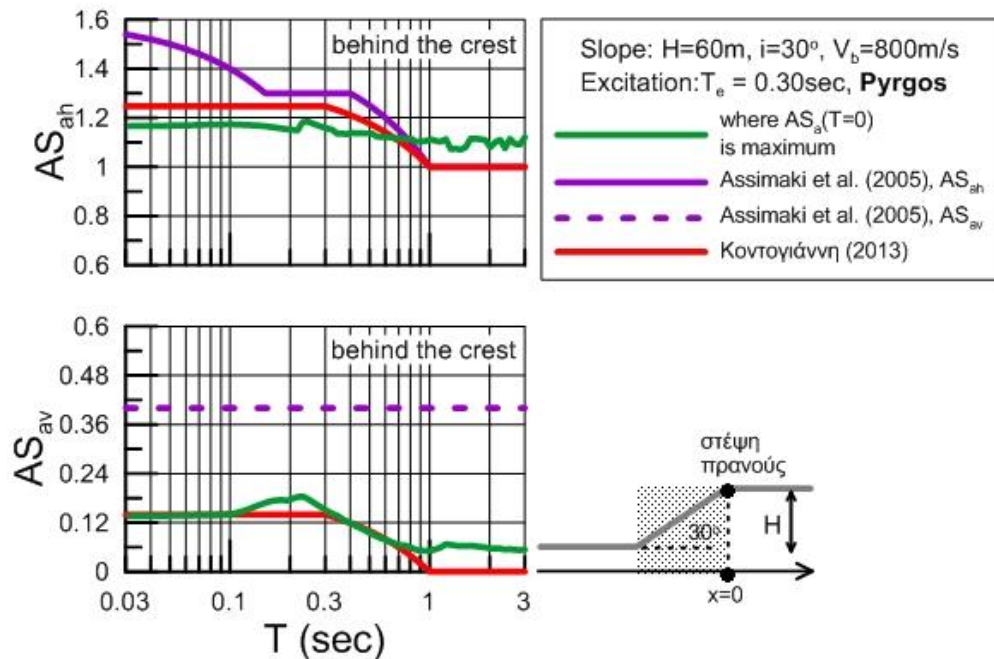
Σχήμα 5.2 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



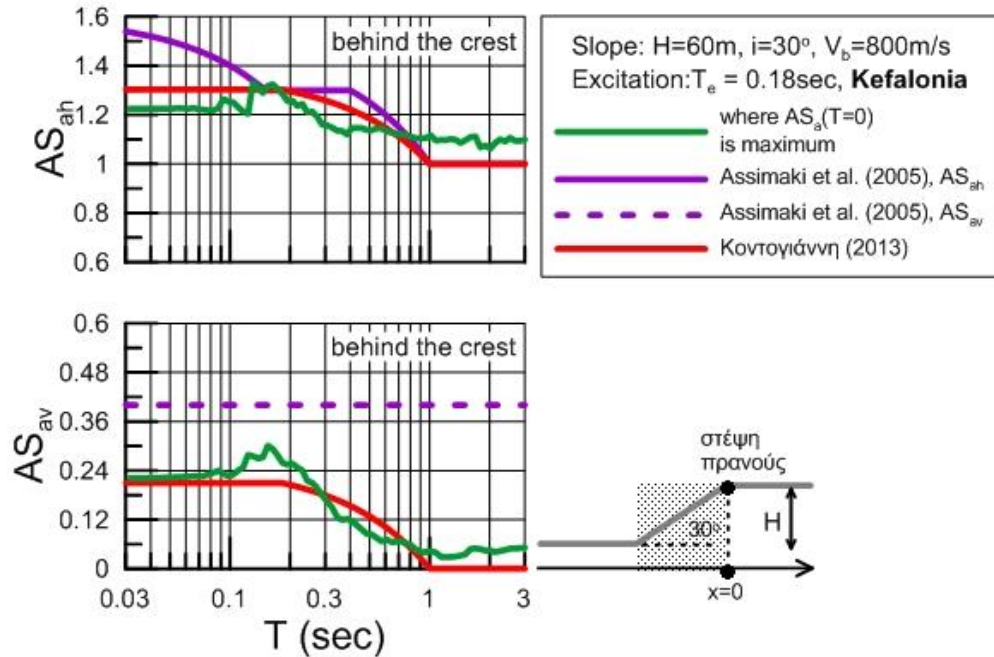
Σχήμα 5.3 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



Σχήμα 5.4 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.

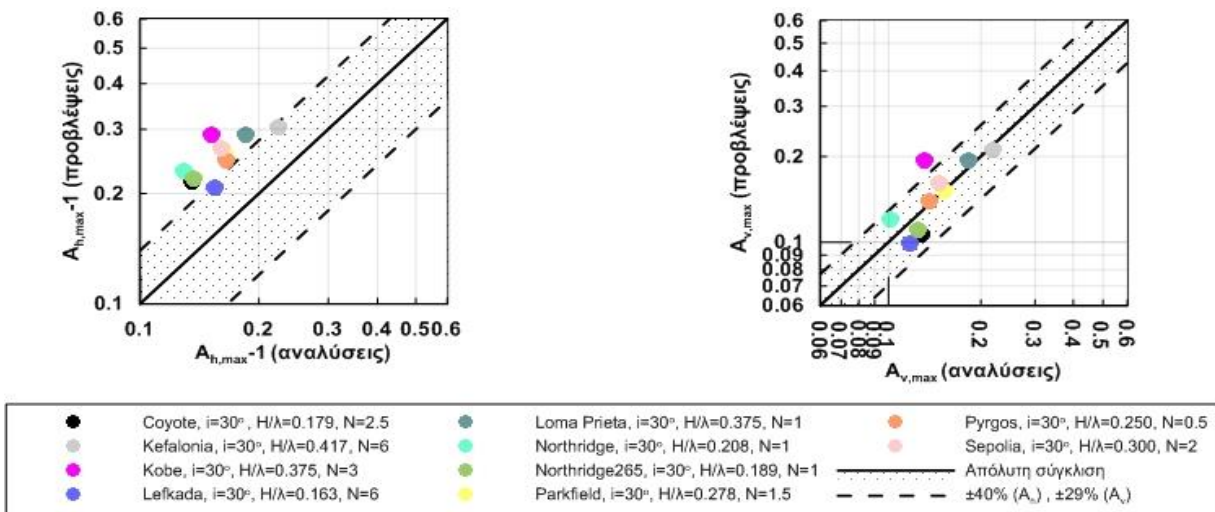


Σχήμα 5.5 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.6 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους που προκύπτει από τις αναλύσεις και από τις σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) (**Σχήμα 5.7**), για την οριζόντια ($A_{h,max}$) και την παρασιτική κατακόρυφη ($A_{v,max}$) διεύθυνση.

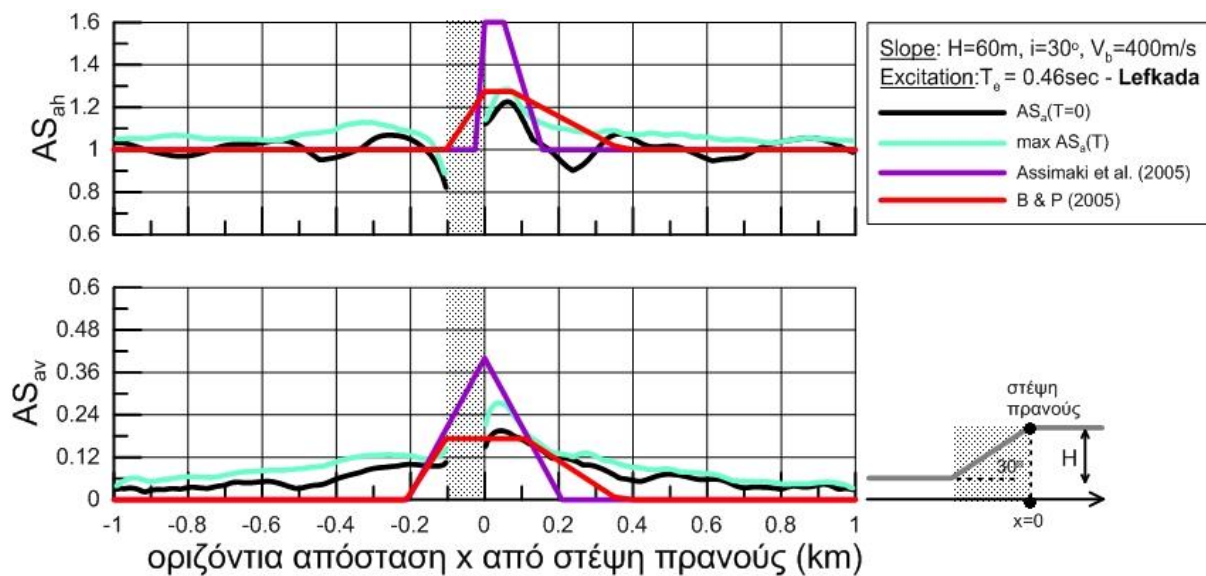


Σχήμα 5.7 Σύγκριση προβλεπόμενης και αναλυτικής τιμής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στο έδαφος πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση ($i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=800m/s$).

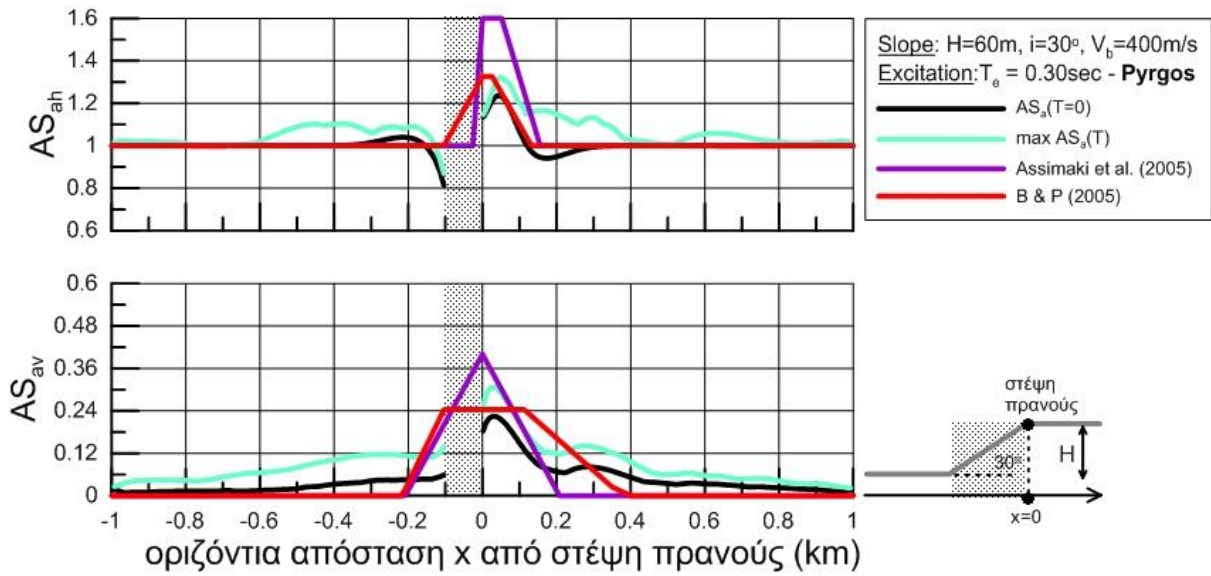
Έπειτα, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς B με χαρακτηριστικά $i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.8)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.9)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.10)

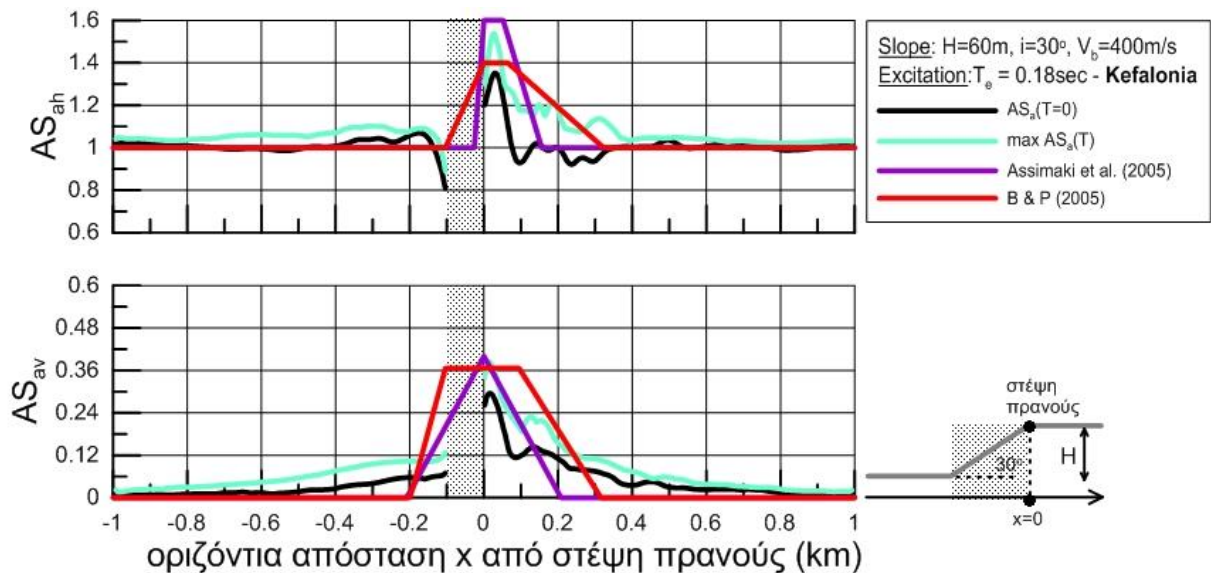
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, αλλά μόνο για την θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση στο έδαφος ($T_{str}=0$) (Σχήματα 5.11-5.13). Έπειτα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους που προκύπτει από τις αναλύσεις και από τις σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) (Σχήμα 5.14), για την οριζόντια (A_{hmax}) και την παρασιτική κατακόρυφη (A_{vmax}) διεύθυνση.



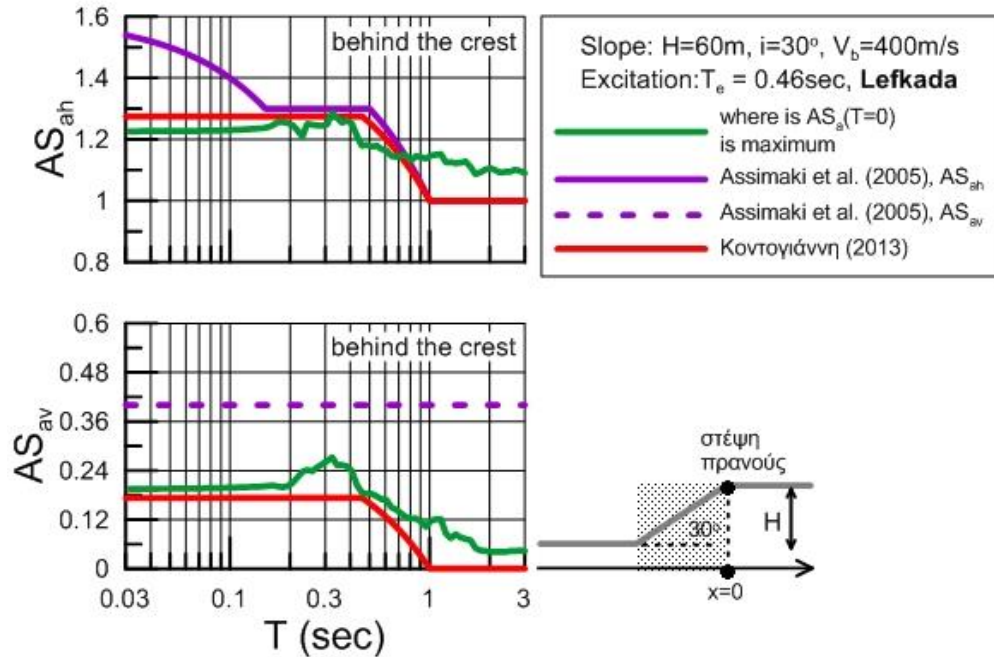
Σχήμα 5.8 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



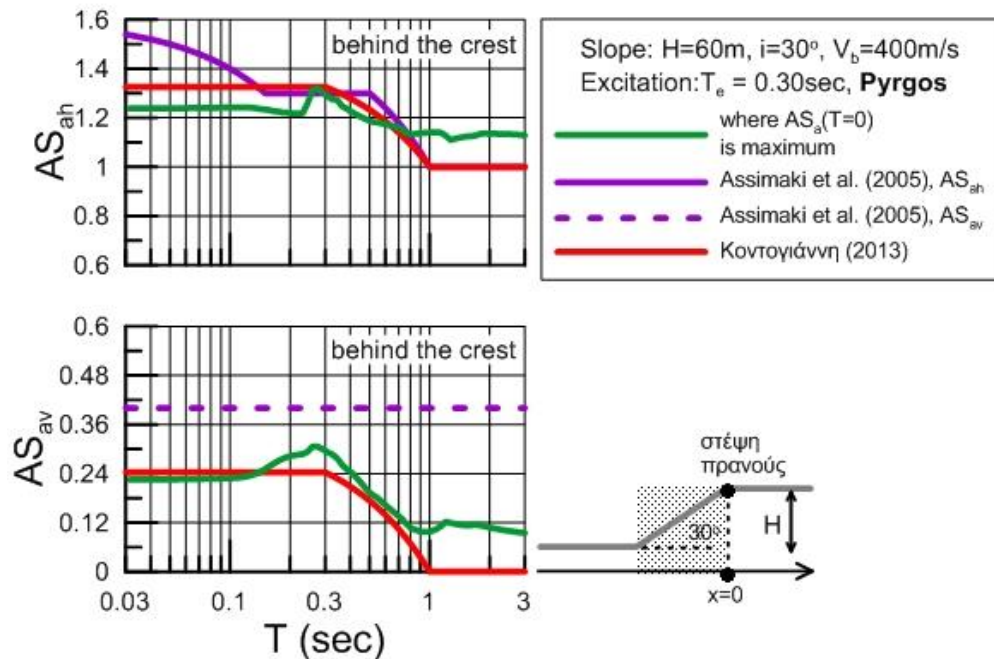
Σχήμα 5.9 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



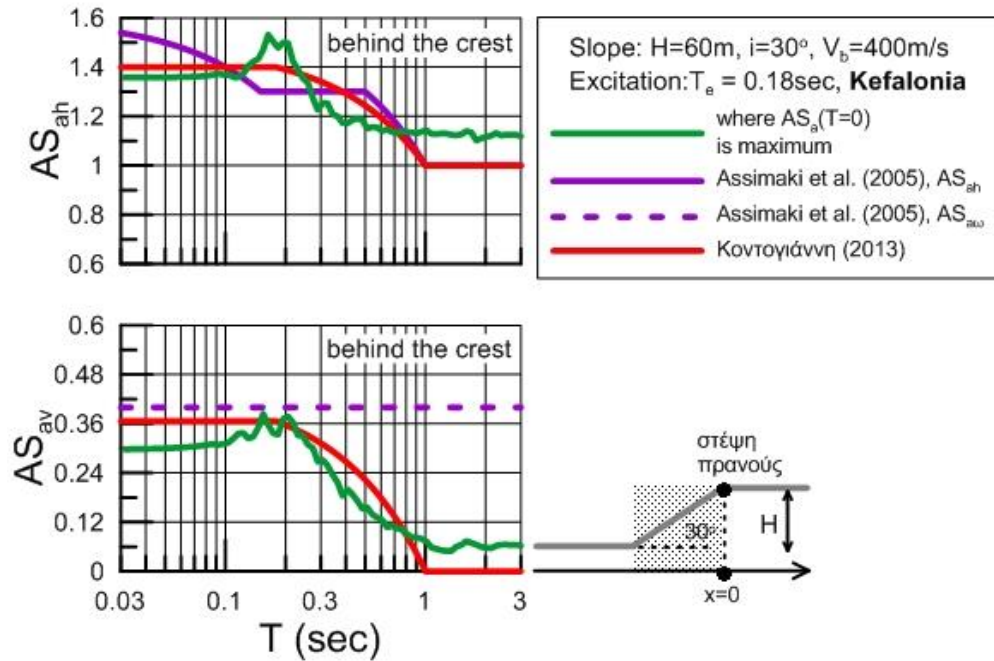
Σχήμα 5.10 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



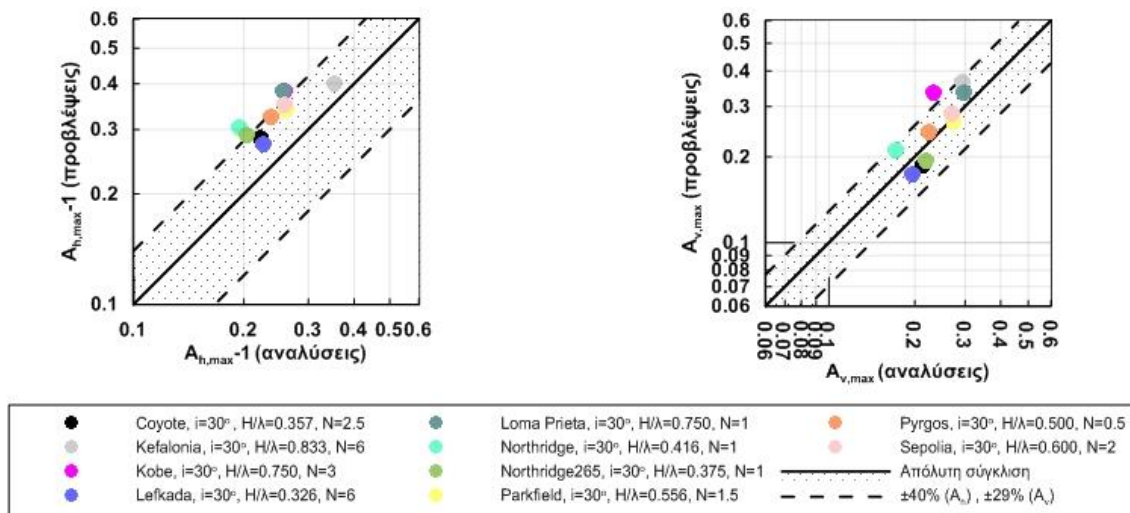
Σχήμα 5.11 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.12 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.13 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανού και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.14 Σύγκριση προβλεπόμενης και αναλυτικής τιμής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στο έδαφος πίσω από τη στέψη απότομου ομογενούς πρανού στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση ($i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$).

Από τη σύγκριση των μεθοδολογιών με τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα απότομα πρανή προκύπτουν τα εξής:

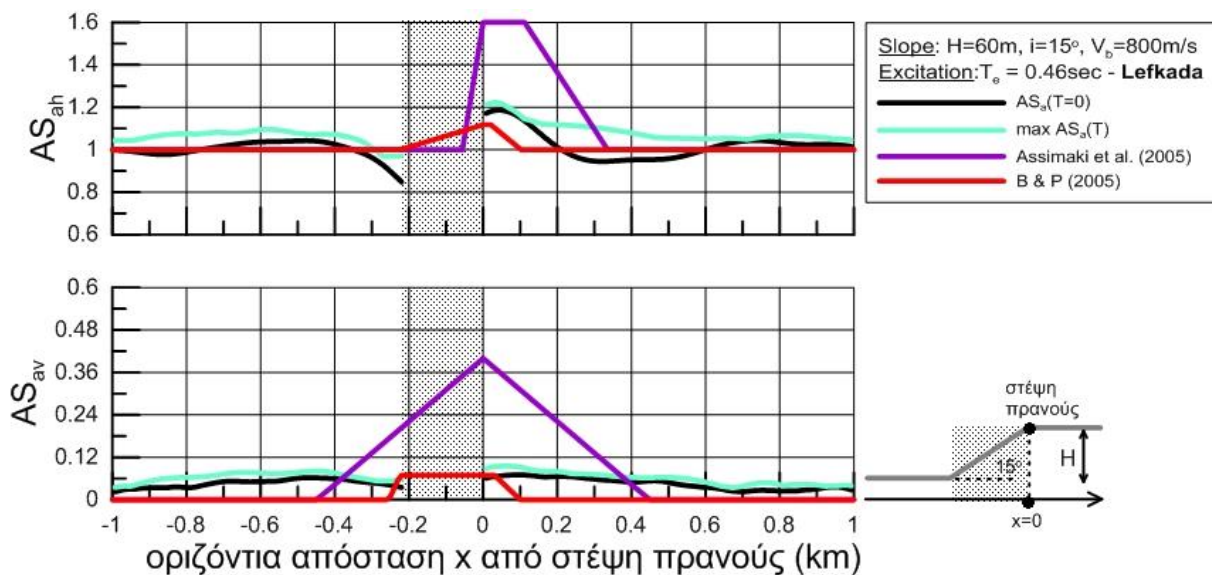
- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005) εκτιμά ικανοποιητικά την περιοχή σημαντικής τοπογραφικής επιδείνωσης και στις δύο διευθύνσεις για τα απότομα πρανή. Οι μέγιστες τιμές ενισχύσεων 1.6 για την οριζόντια και 0.4 για την (παρασιτική) κατακόρυφη διεύθυνση είναι μάλλον υπερβολικές για $T=0$, ειδικά για την οριζόντια συνιστώσα. Όσον αφορά το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού για την οριζόντια διεύθυνση, η πρόταση είναι ποιοτικά ορθή, αλλά υπερεκτιμά τις ενισχύσεις στις μικρές περιόδους κατασκευής, όπου εντοπίζεται και το εύρος περιόδων των συνήθων κατασκευών. Επιπλέον, η υπερεκτίμηση είναι μεγαλύτερη για χαμηλές τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ . Για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα δεν προτείνεται φασματική διαφοροποίηση, γεγονός που θεωρείται υπερ-απλουστευτικό.
- Οι σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) για τη χωρική μεταβολή είναι ρεαλιστικές στην οριζόντια διεύθυνση και ως προς την προβλεπόμενη μέγιστη τιμή (στην περιοχή γύρω από τη στέψη) και ως προς την έκταση των σημαντικών ενισχύσεων (π.χ. τιμές που βρίσκονται έξω από την περιβάλλουσα είναι συνήθως μικρότερες του 1.1). Στην κατακόρυφη (παρασιτική) διεύθυνση φαίνεται να λειτουργεί εξίσου καλά όσον αφορά στη χωρική εξάπλωση των σημαντικών ενισχύσεων, φαίνεται να υποεκτιμά τη μέγιστη τιμή των ενισχύσεων, ενώ είναι πιο ρεαλιστική η πρόβλεψη για $T=0$.
- Η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) για το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού φαίνεται να λειτουργεί καλά για την οριζόντια διεύθυνση σε όλο το εύρος περιόδων. Παρατηρείται μια μικρή υπερεκτίμηση, που είναι σαφώς μικρότερη από εκείνη των Assimaki et al. (2005). Στην κατακόρυφη (παρασιτική) διεύθυνση η πρόταση φαίνεται να λειτουργεί καλά με εξαίρεση την περιοχή γύρω από τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης, όπου παρατηρείται μια αύξηση των ενισχύσεων που δεν προβλέπεται από την πρόταση.
- Από τα **Σχήματα 5.7** και **5.14** φαίνεται ότι οι πολυπαραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) υπερεκτιμούν τη μέγιστη ενίσχυση στο έδαφος στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ στην περίπτωση της κατακόρυφης διεύθυνσης η πρόβλεψη είναι λιγότερο συντηρητική.

5.3 Αξιοπιστία μεθοδολογιών για την τοπογραφική επιδείνωση σε ήπια πρανή

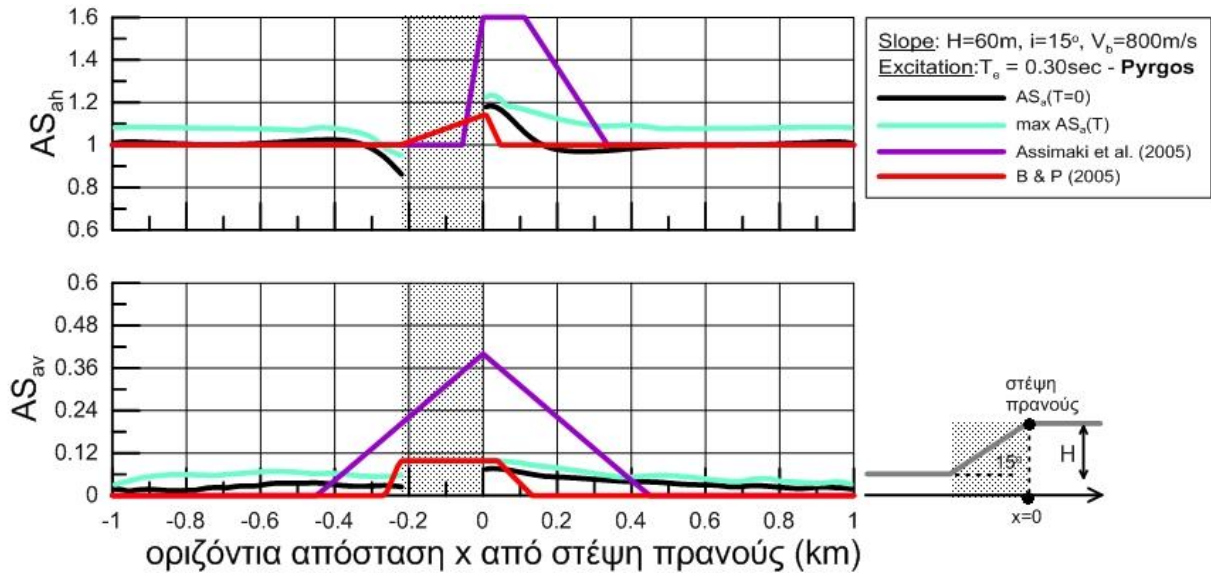
Για τα ήπια πρανή, πρώτα απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς Δ με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=800m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.15)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.16)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.17)

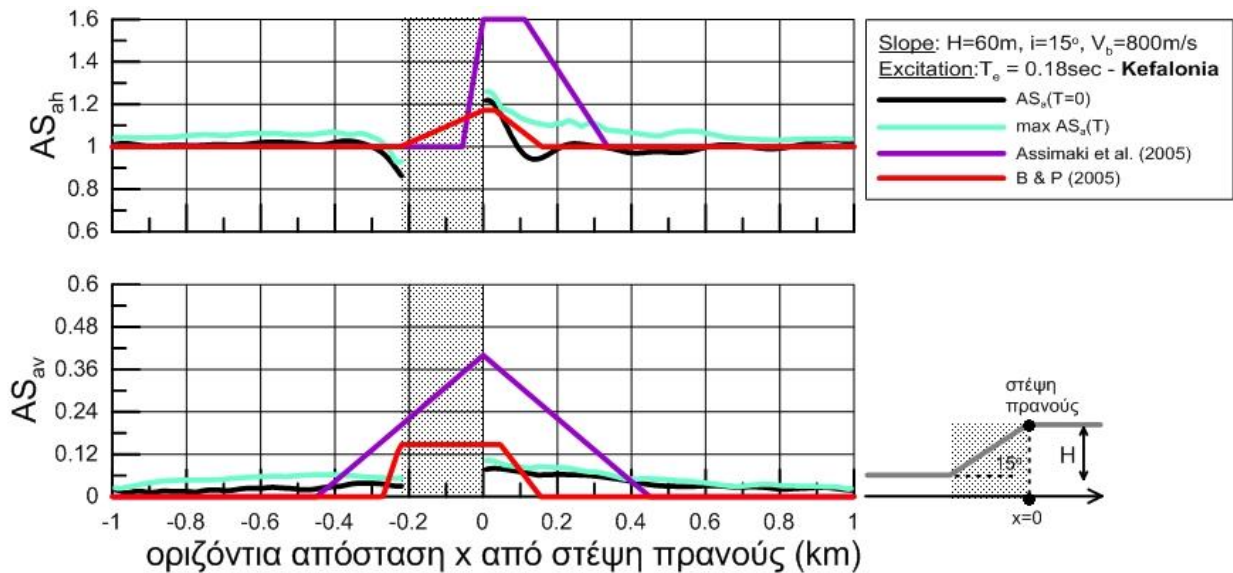
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, αλλά μόνο για την θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση στο έδαφος ($T_{str}=0$) (Σχήματα 5.18-5.20). Έπειτα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους που προκύπτει από τις αναλύσεις και από τις σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) (Σχήμα 5.21), για την οριζόντια (A_{hmax}) και την παρασιτική κατακόρυφη (A_{vmax}) διεύθυνση.



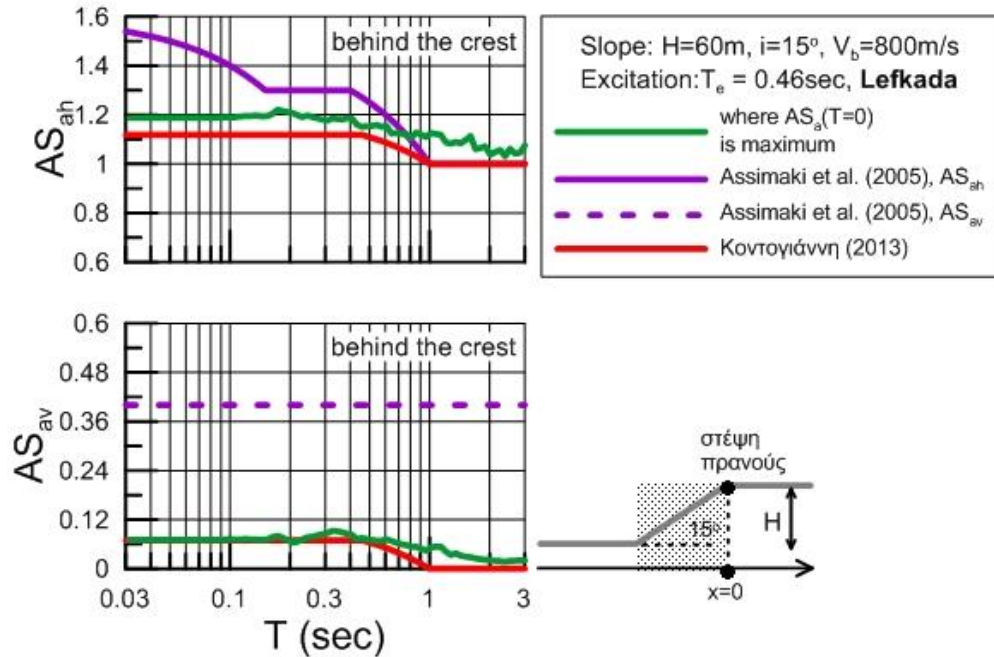
Σχήμα 5.15 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



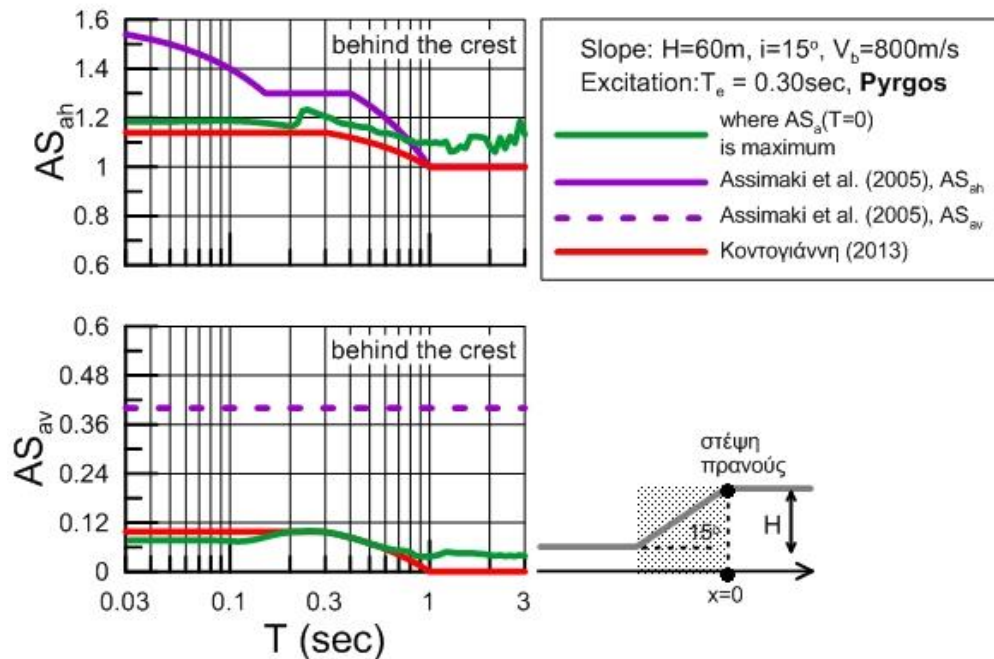
Σχήμα 5.16 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



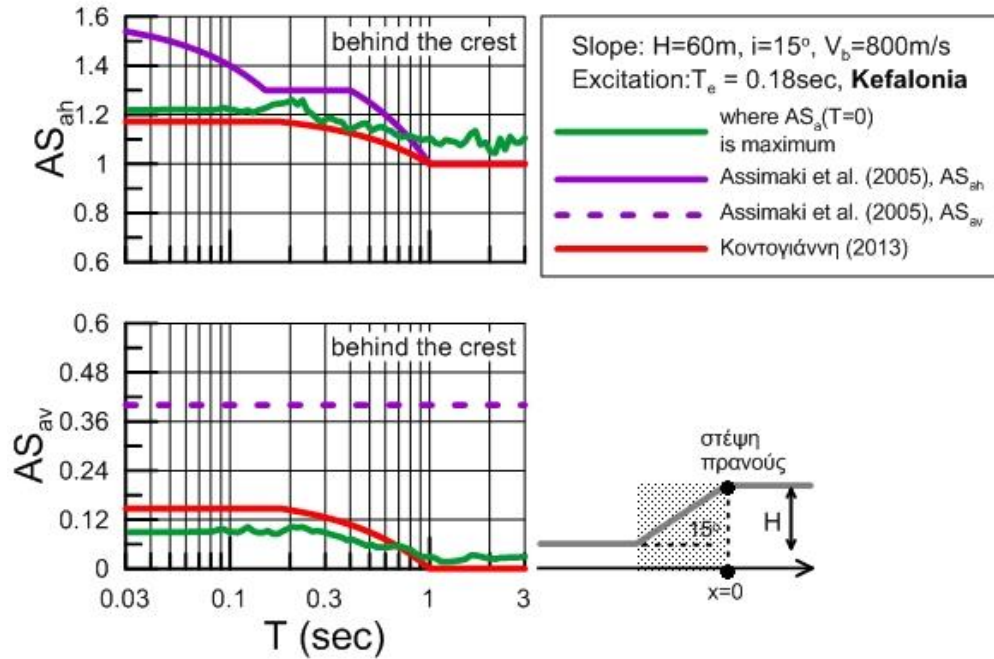
Σχήμα 5.17 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



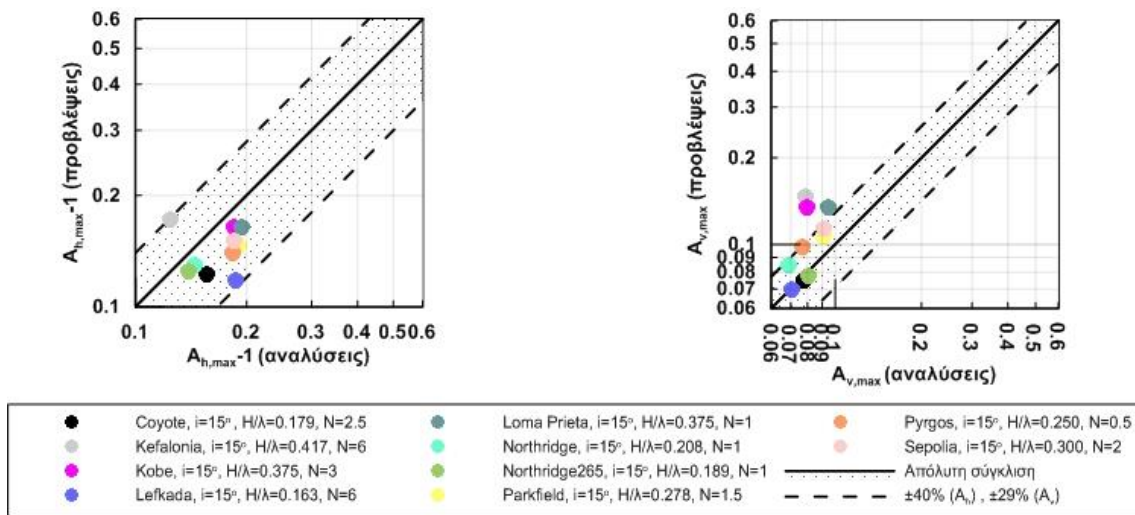
Σχήμα 5.18 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.19 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.20 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανού και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.

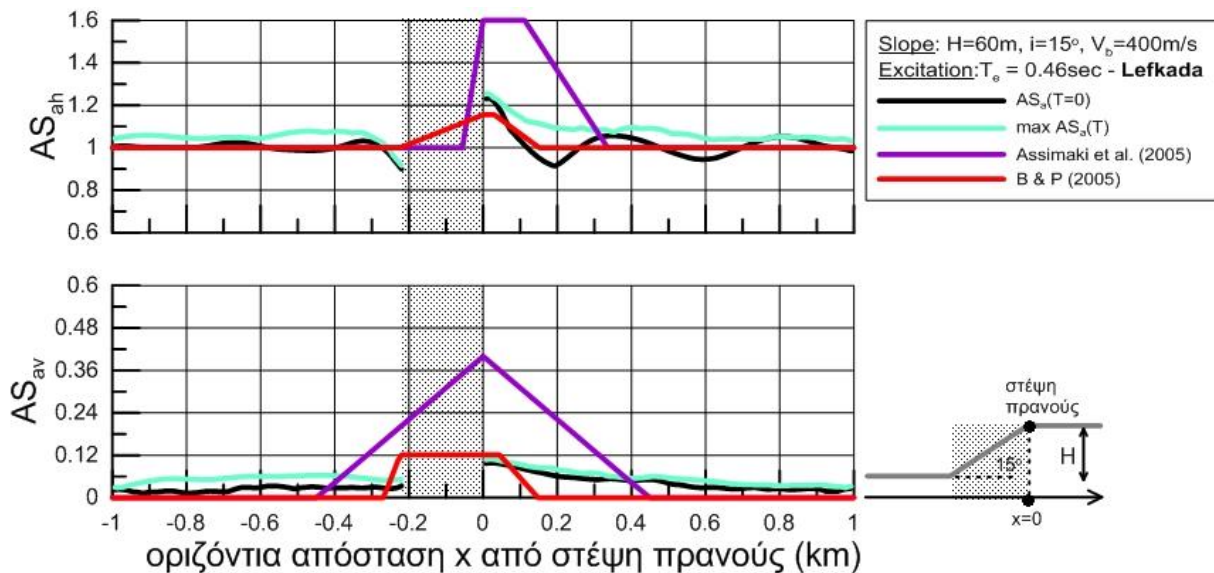


Σχήμα 5.21 Σύγκριση προβλεπόμενης και αναλυτικής τιμής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στο έδαφος πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανού στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση ($i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=800m/s$).

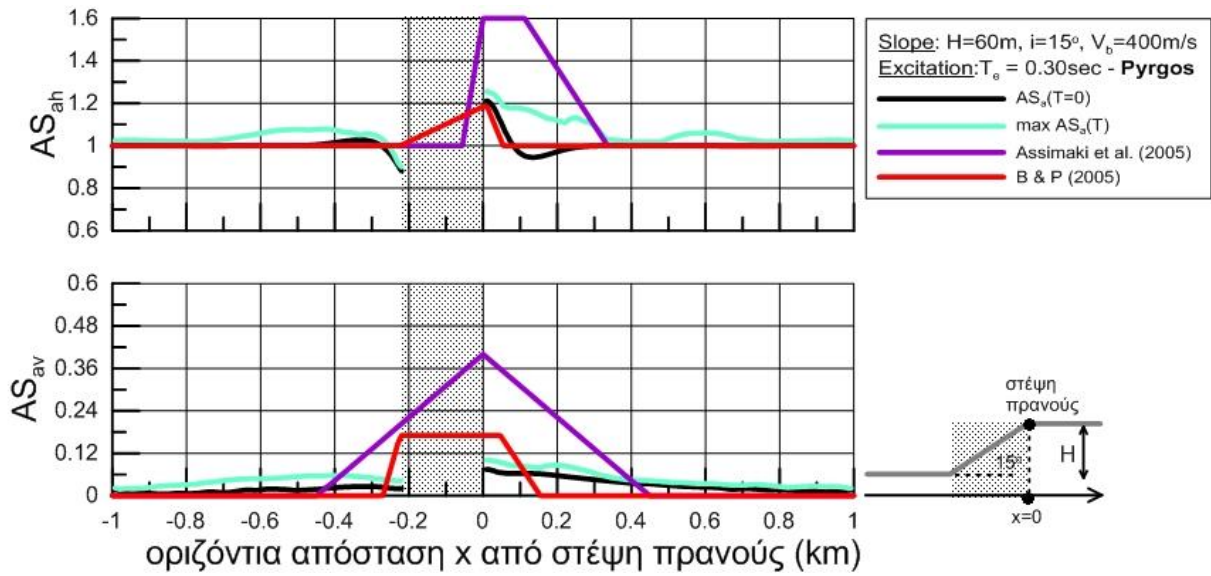
Για τα ήπια πρηνή, έπειτα απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρηνούς Ε με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρηνούς για:

- χαμηλόσυχη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.22)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.23)
- υψίσυχη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.24)

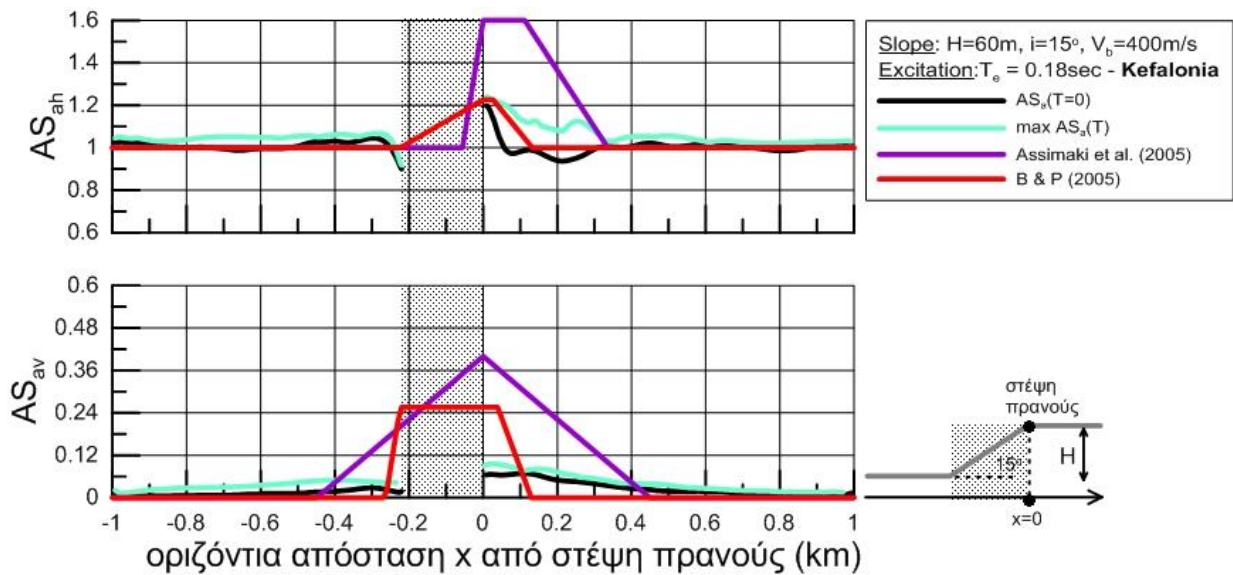
Όπως και προηγουμένως, στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, αλλά μόνο για την θέση πίσω από τη στέψη όπου εμφανίζεται η μέγιστη τοπογραφική επιδείνωση στο έδαφος ($T_{str}=0$) (Σχήματα 5.25-5.27). Έπειτα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στην επιφάνεια του εδάφους που προκύπτει από τις αναλύσεις και από τις σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) (Σχήμα 5.28), για την οριζόντια (A_{hmax}) και την παρασιτική κατακόρυφη (A_{vmax}) διεύθυνση.



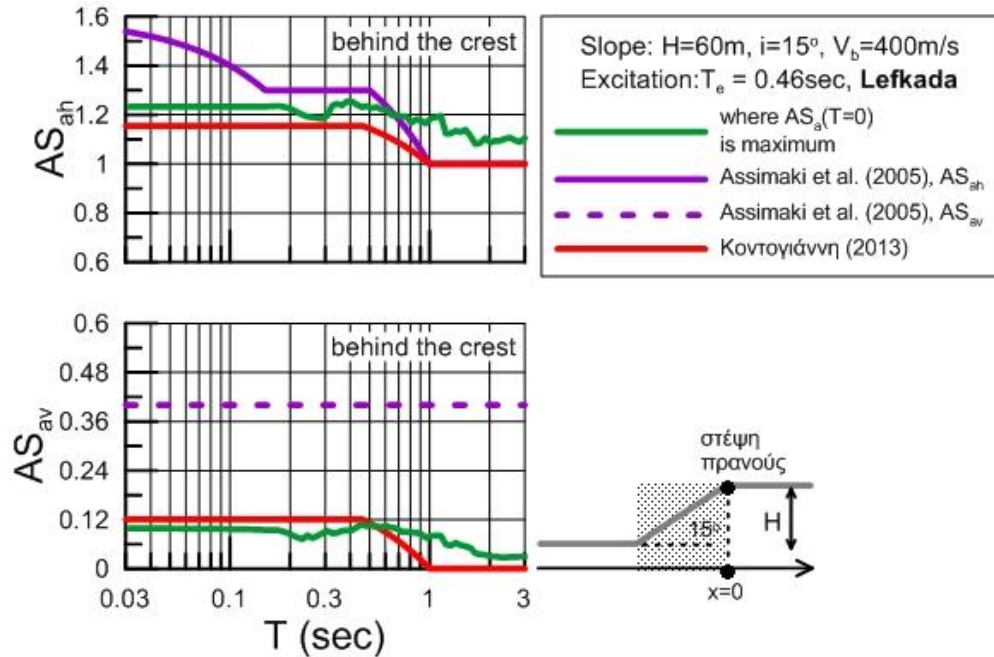
Σχήμα 5.22 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρηνούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



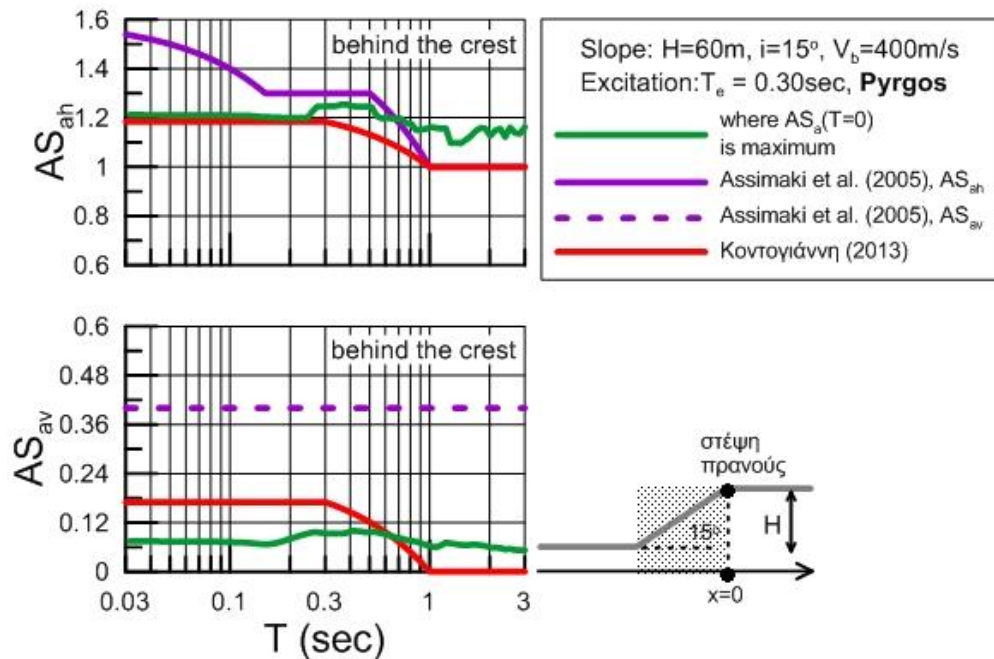
Σχήμα 5.23 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



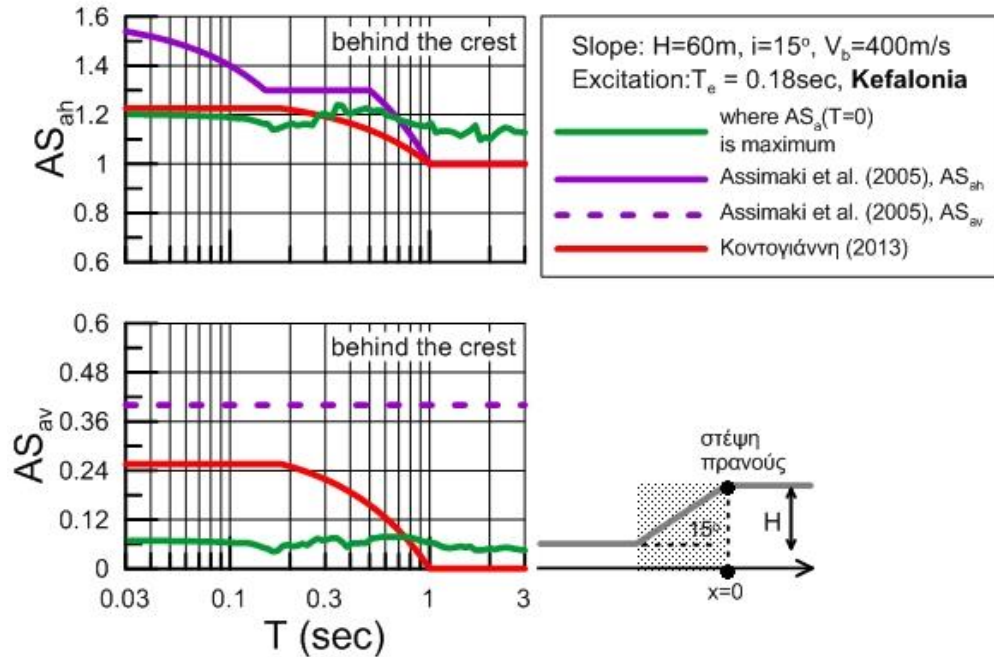
Σχήμα 5.24 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).



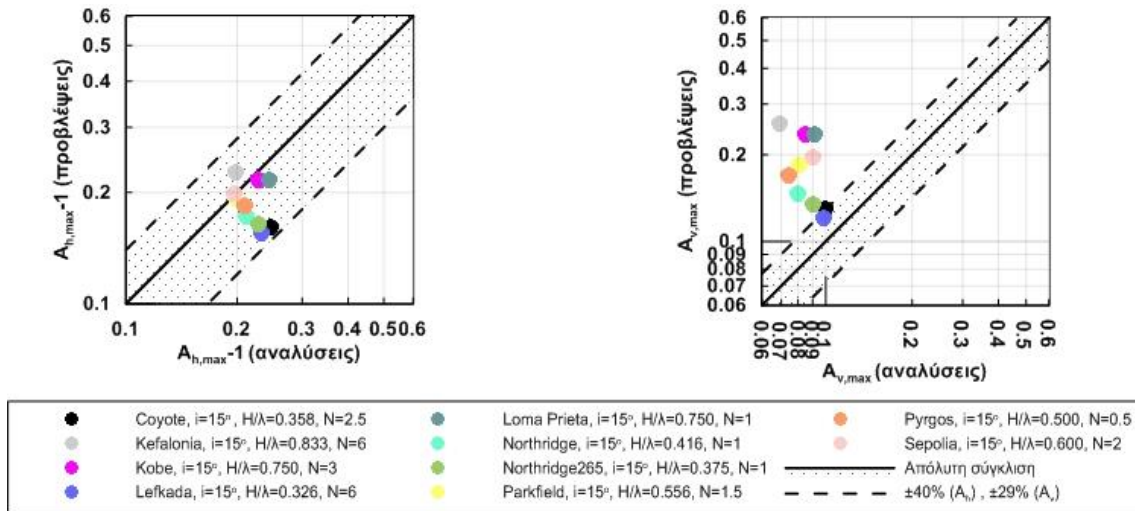
Σχήμα 5.25 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.26 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.27 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και (παρασιτικής) κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} μόνο, και της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη (2013) και για τις δυο διευθύνσεις.



Σχήμα 5.28 Σύγκριση προβλεπόμενης και αναλυτικής τιμής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στο έδαφος πίσω από τη στέψη ήπιου ομογενούς πρανούς στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση ($i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$).

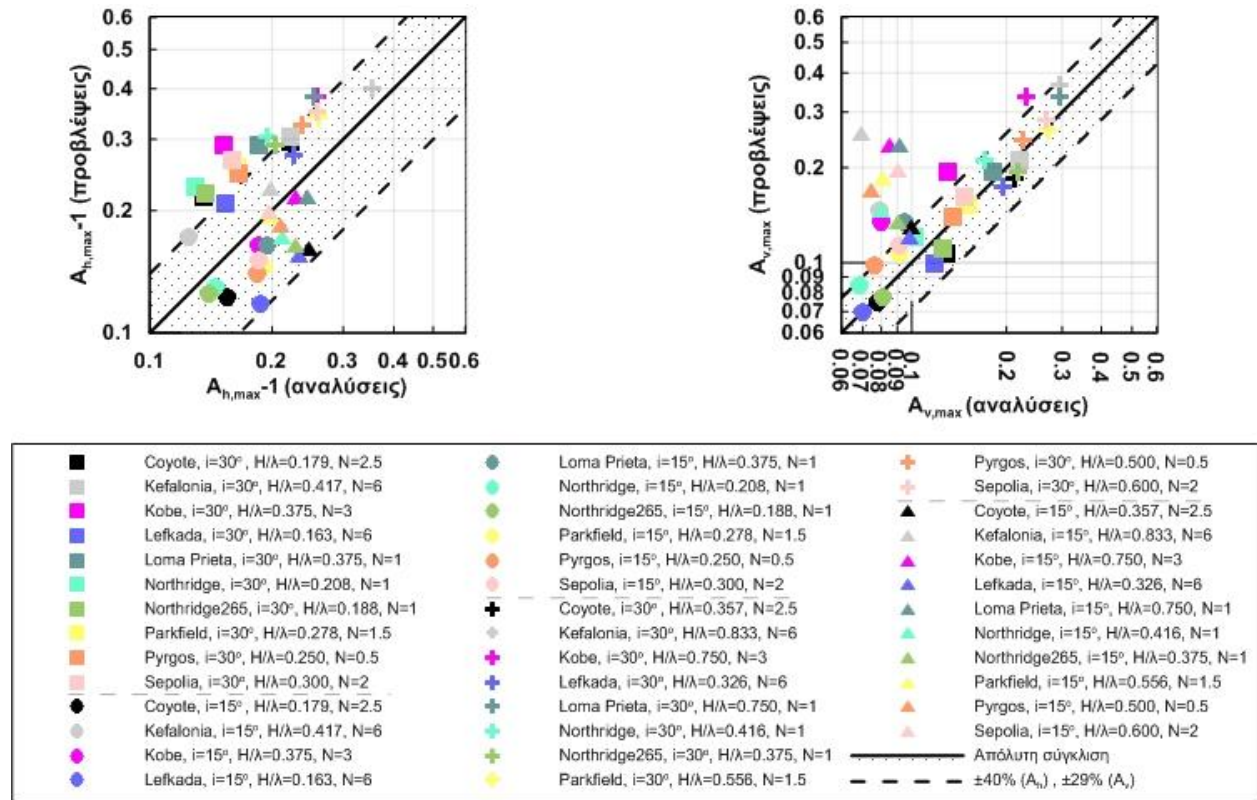
Από τη σύγκριση των μεθοδολογιών με τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τα ήπια πρανή προκύπτουν τα εξής:

- Η πρόταση των Assimaki et al. (2005) υπερεκτιμά τη μέγιστη τιμή ενίσχυσης γύρω από τη στέψη, ενώ ταυτόχρονα υπερεκτιμά και χωρικά το εύρος των σημαντικών ενισχύσεων και στις δύο διευθύνσεις. Αυτό οφείλεται στη συσχέτιση της έκτασης των σημαντικών ενισχύσεων με το μήκος της οριζόντιας προβολής του κεκλιμένου τμήματος του πρανούς L. Το μήκος αυτό αυξάνεται τόσο με την αύξηση του ύψους πρανούς H, όσο και με τη μείωση της κλίσης τους πρανούς i. Για σταθερές όμως τις υπόλοιπες παραμέτρους του προβλήματος -όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα των αναλύσεων- η μείωση της κλίσης οδηγεί σε μικρότερες ενισχύσεις ως προς τη μέγιστη τιμή και τη χωρική εξάπλωση, δηλαδή δείχνει μη ρεαλιστική η συσχέτιση με το L. Όσον αφορά στο φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού, για την οριζόντια διεύθυνση η πρόταση είναι και πάλι ποιοτικά ορθή, αλλά υπερεκτιμά τις ενισχύσεις στις μικρές περιόδους κατασκευής, όπου εντοπίζεται και το εύρος περιόδων των συνήθων κατασκευών, όπως και στα απότομα πρανή, και μάλιστα εδώ η υπερεκτίμηση είναι σημαντικότερη (η μέγιστη ενίσχυση 1.6 είναι υπερβολική). Για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα δεν προτείνεται φασματική διαφοροποίηση, γεγονός που θεωρείται υπεραπλουστευτικό, αλλά η προβλεπόμενη τιμή επιδείνωσης του 0.4 είναι υπερβολική.
- Οι αναλυτικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) για τη χωρική μεταβολή των ενισχύσεων υποεκτιμούν ελαφρώς τη μέγιστη τιμή της ενίσχυσης στην οριζόντια διεύθυνση, κυρίως στην περίπτωση χαμηλών τιμών του αδιάστατου ύψους H/λ. Στην κατακόρυφη διεύθυνση φαίνεται να υπερεκτιμούν τις μέγιστες τιμές των ενισχύσεων, ιδίως για μεγαλύτερες τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ, κάτι που δεν είχε παρατηρηθεί στα απότομα πρανή.
- Όσον αφορά τις σχέσεις της Κοντογιάννη (2013) για το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού υπάρχει μια ελαφριά υποεκτίμηση σε όλο το εύρος περιόδων για μικρά αδιάστατα ύψη H/λ, που πηγάζει από την υποεκτίμηση της μέγιστης επιδείνωσης στο έδαφος (από τις σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou 2005). Επιπλέον, όπως και στα απότομα πρανή, φαίνεται να υπάρχει στην κατακόρυφη διεύθυνση υποεκτίμηση της επιδείνωσης για την περιοχή περιόδων κατασκευής γύρω από τη δεσπόζουσα (ειδικά για την περίπτωση πρανούς με $V_s=800\text{m/s}$).
- Από τα **Σχήματα 5.21** και **5.28** φαίνεται ότι οι πολυπαραμετρικές σχέσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) υποεκτιμούν ελαφρώς τη μέγιστη ενίσχυση στο έδαφος στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ στην περίπτωση της κατακόρυφης διεύθυνσης προκύπτει υπερεκτίμηση, που γίνεται σημαντική για μεγάλες τιμές του αδιάστατου ύψους H/λ.

5.4 Συνολική αποτίμηση αξιοπιστίας

Στο **Σχήμα 5.29** συγκεντρώνονται οι συγκρίσεις μεταξύ προβλεπόμενης και αριθμητικής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης όσο αφορά το έδαφος ($T=0$) πίσω από τη στέψη ομογενών μονοκλινών

πρανών, ώστε να υπάρχει μια συνολική εικόνα ακρίβειας των σχέσεων των Bouckonalas & Papadimitriou (2005).



Σχήμα 5.29 Σύγκριση προβλεπόμενης (από Bouckonalas & Papadimitriou 2005) και αναλυτικής τιμής μέγιστης τοπογραφικής επιδείνωσης στο έδαφος πίσω από τη στέψη ομογενών πρανών, στην οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη διεύθυνση, για όλους τους συνδυασμούς πρανούς-διέγερσης που διερευνήθηκαν αριθμητικά.

Από το **Σχήμα 5.29** προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ικανοποιητική πρόβλεψη της $A_{h,max}$ για την οριζόντια επιτάχυνση του εδάφους, με ελαφρά υπερεκτίμηση της $A_{h,max}$ για τα απότομα πρανή (με τις μεγαλύτερες ενισχύσεις) και ελαφριά υποεκτίμηση για τα ήπια (με τις μικρές ενισχύσεις). Σε κάθε περίπτωση, η πρόβλεψη της $A_{h,max}$ για την οριζόντια διεύθυνση φαίνεται να λειτουργεί εξίσου καλά για πρανή με $V_s = 800\text{m/s}$ και πρανή με $V_s = 400\text{m/s}$, δηλαδή δείχνει ορθή ανεξαρτήτως αδιάστατου ύψους H/λ .
- Ικανοποιητική πρόβλεψη της $A_{v,max}$ για την κατακόρυφη (παρασιτική) επιτάχυνση του εδάφους, με ακριβή εκτίμηση για τα απότομα πρανή, και σχετική υπερεκτίμηση για τα ήπια πρανή, με αυτή να γίνεται πιο μεγάλη για τα υψηλότερα (ή και πιο εύτημητα) πρανή.

5.5 Διόρθωση πρότασης για την κατακόρυφη διεύθυνση

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.4, προτείνεται μεταβολή στην πρόταση της Κοντογιάννη (2013) για την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην κατακόρυφη διεύθυνση (5.1), αλλά και στη σχέση των Bouckovalas & Papadimitriou (2006) που περιγράφει τη χωρική μεταβολή της μέγιστης εδαφικής τοπογραφικής επιδείνωσης ($A_{v,max}$) (5.2).

$$AS_{av,d} = \begin{cases} A_{v,max}, & T \leq T_1 = \min(0.1s, 0.5T_e) \\ A_{v,max} + A_{v,max}(P-1) \left(\frac{T-T_1}{T_e-T_1} \right), & \min(0.1s, 0.5T_e) = T_1 \leq T \leq T_e \\ PA_{v,max} \left(\frac{T_o-T}{T_o-T_e} \right), & T_e \leq T \leq T_o = \max(1.0s, 2T_e) \\ 0.0, & T_o \leq T \end{cases} \quad (5.1)$$

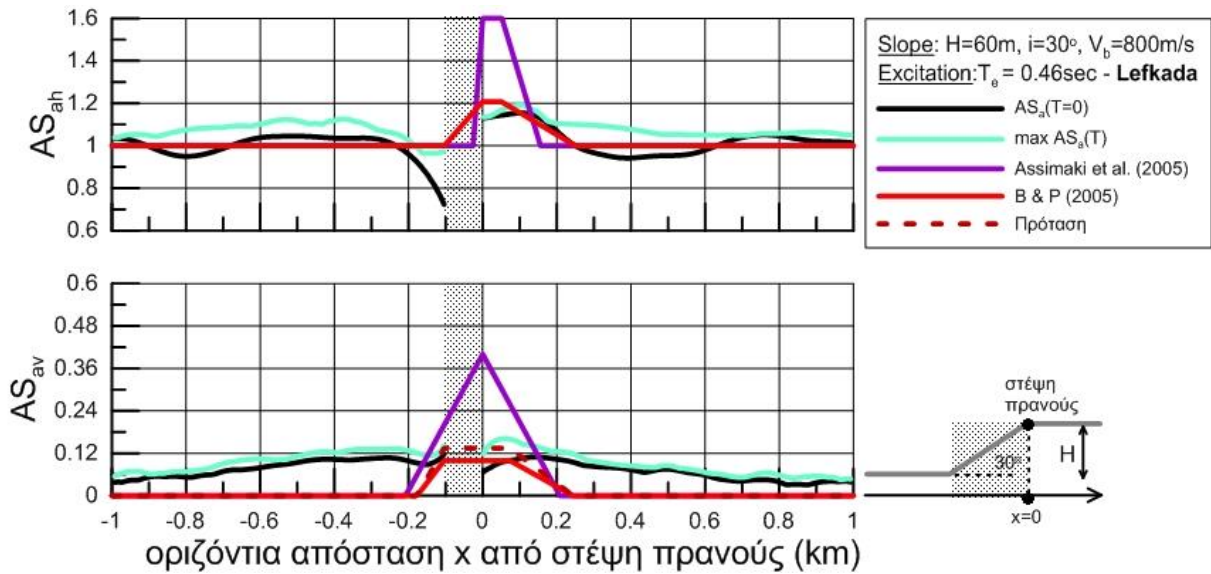
$$A_{v,d} = \begin{cases} 0.0, & x \leq -(B+0.3D_v) \\ 0.0 + \frac{AS_{av,d}}{0.3D_v}(x+B+0.3D_v), & -(B+0.3D_v) \leq x \leq -B \\ AS_{av,d}, & -B \leq x \leq 0.3D_v \\ AS_{av,d} - \frac{AS_{av,d}}{0.7D_v}(x-0.3D_v), & 0.3D_v \leq x \leq D_v \\ 0.0, & D_v \leq x \end{cases} \quad (5.2)$$

Όπου, $P=1+i(^{\circ})/85$, από τη **Σχέση 4.1**, για $15^{\circ} \leq$ κλίση $i \leq 30^{\circ}$, x η οριζόντια απόσταση από τη στέψη και B η οριζόντια διάσταση του κεκλιμένου τμήματος του πρανούς (που εξαρτάται και από το ύψος H και την κλίση i).

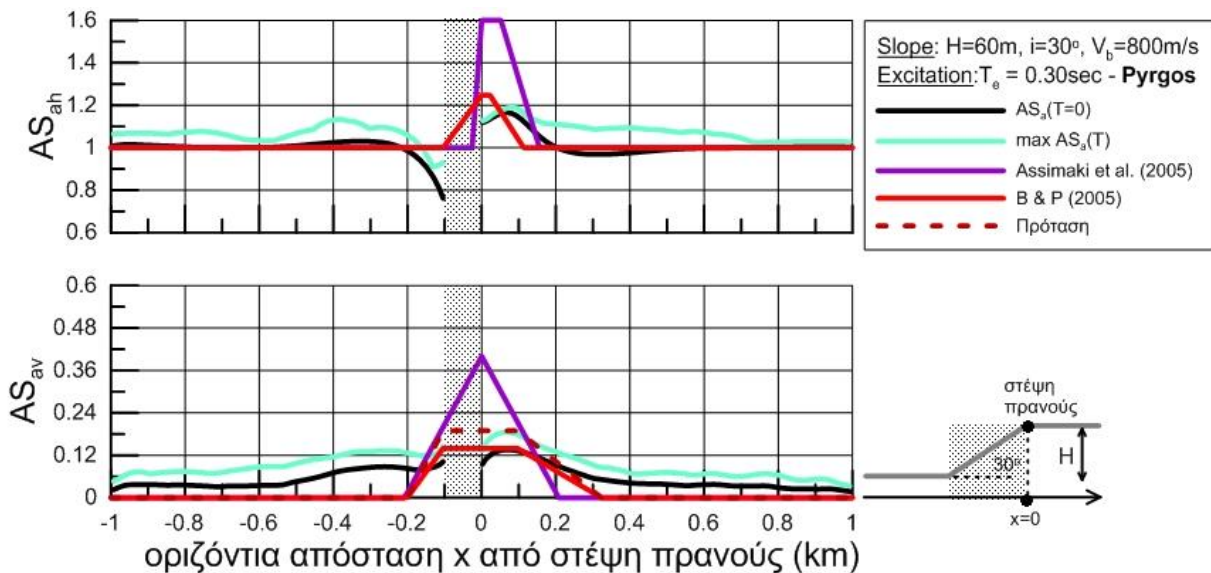
Αρχικά, για τα απότομα πρανή, όπως στην παράγραφο 5.2. απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης (έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση) της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς A με χαρακτηριστικά $i=30^{\circ}$, $H=60m$, $V_s=800m/s$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 5.30**)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (**Σχήμα 5.31**)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 5.32**)

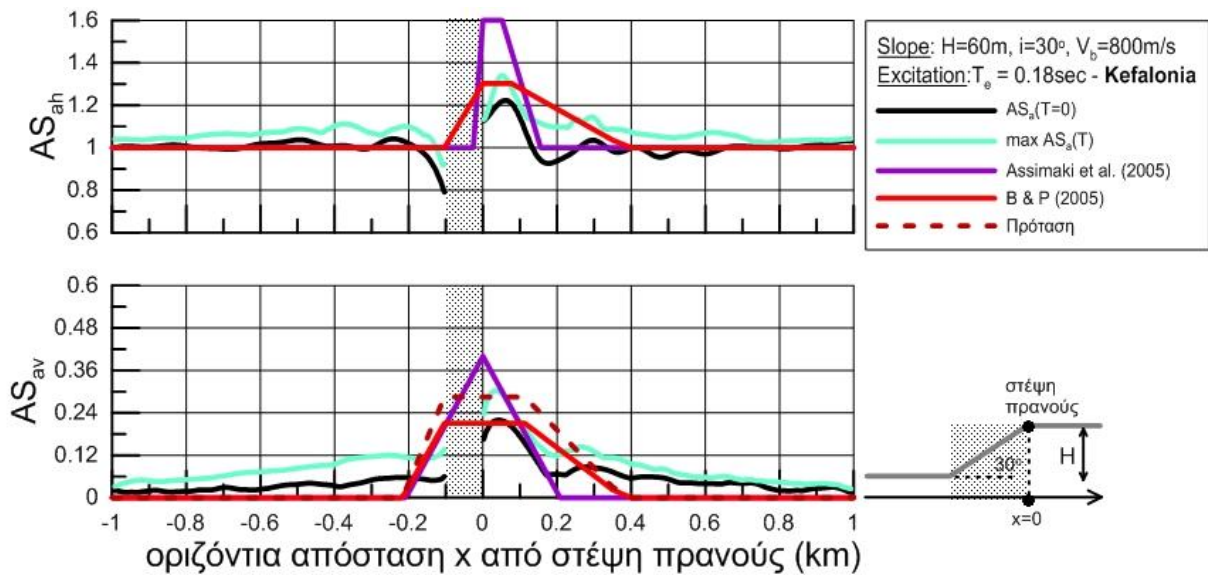
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, έπειτα και από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση (**Σχήματα 5.33-5.35**).



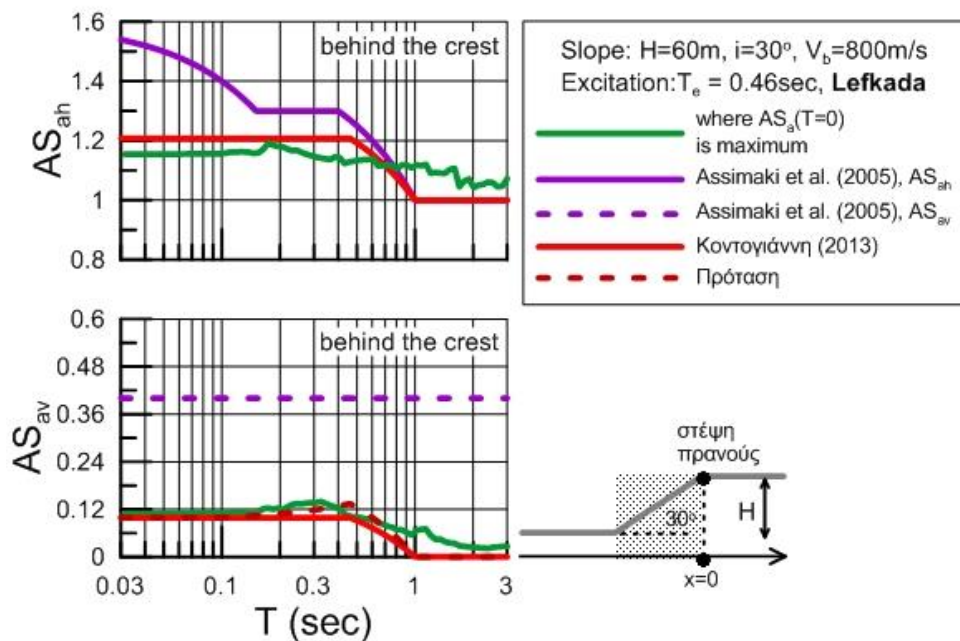
Σχήμα 5.30 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρηνούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



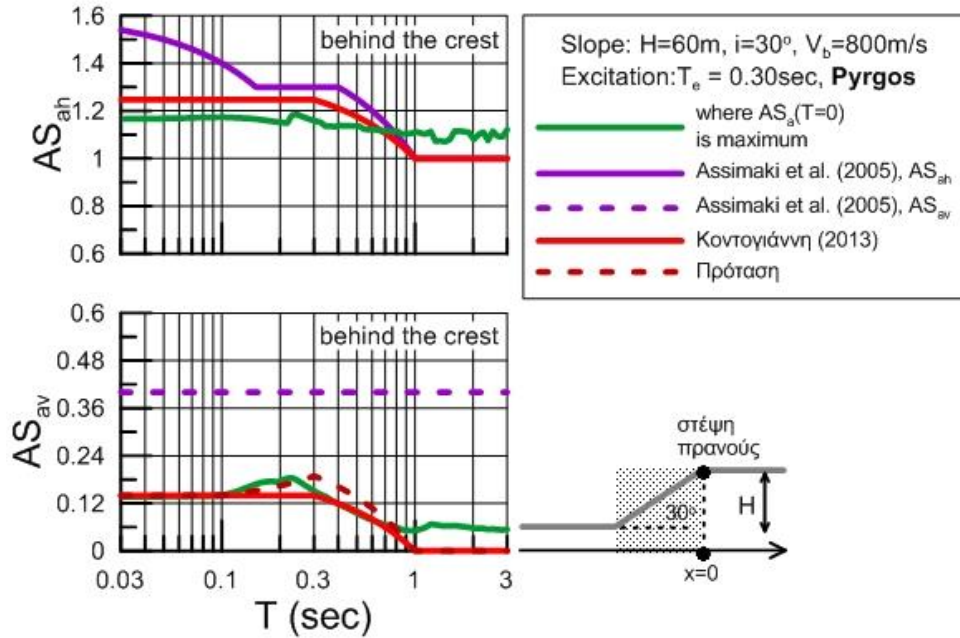
Σχήμα 5.31 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρηνούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



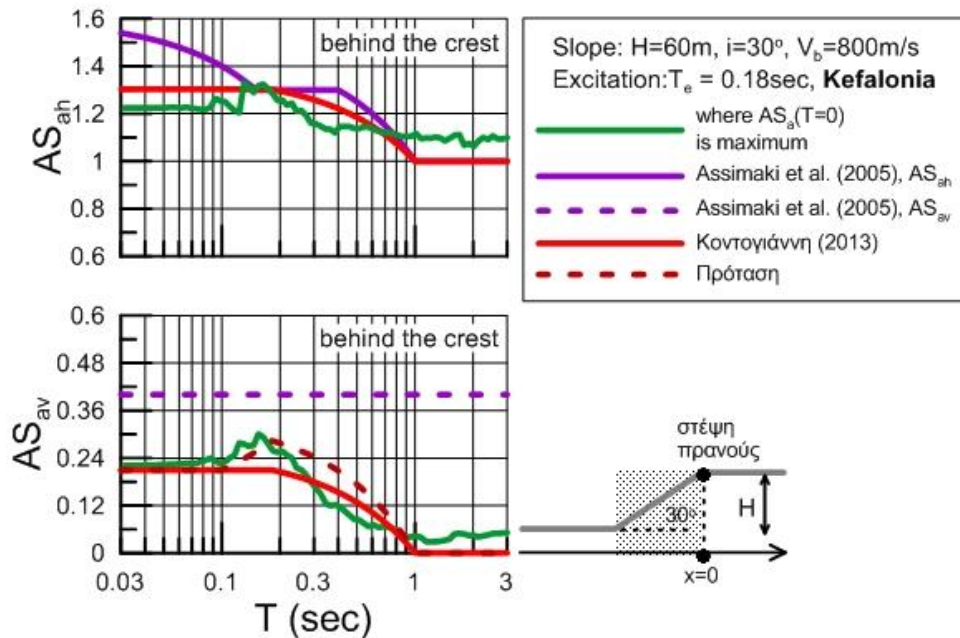
Σχήμα 5.32 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimakis et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 5.33 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimakis et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.



Σχήμα 5.34 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

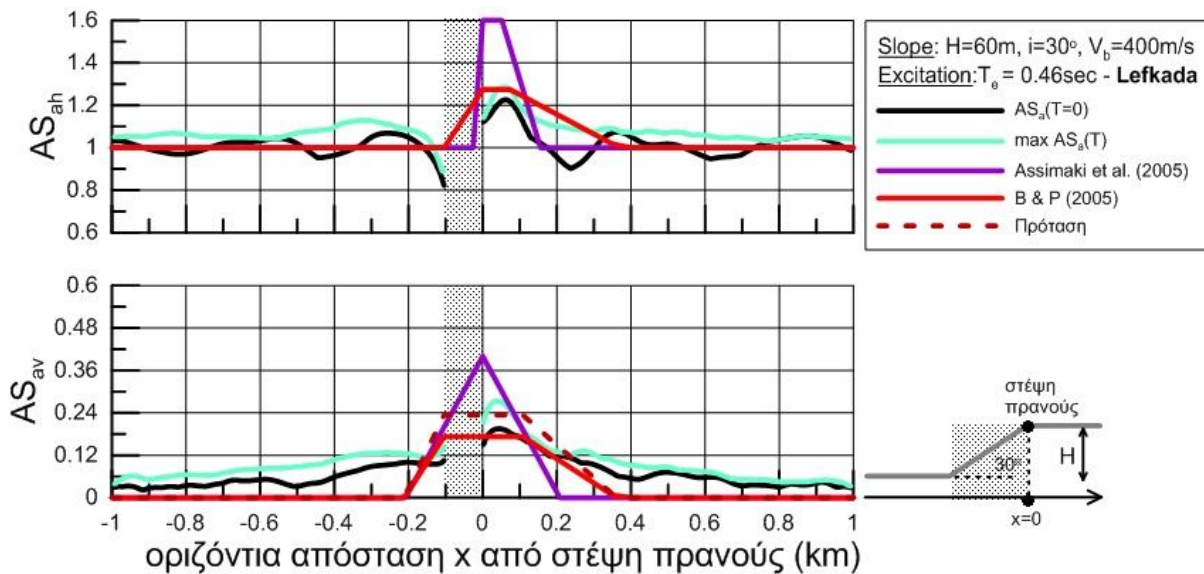


Σχήμα 5.35 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

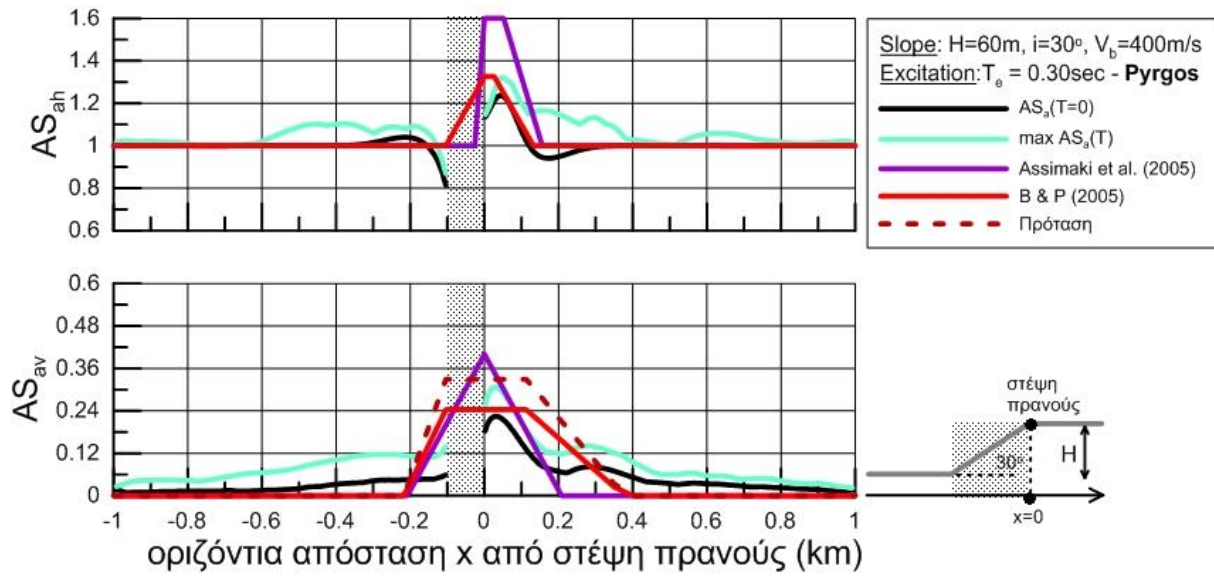
Στη συνέχεια, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης (έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση) της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς B με χαρακτηριστικά $i=30^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$, δηλαδή με διπλάσιο αδιάστατο ύψος H/λ συγκριτικά με το πρανές της περίπτωσης A που παρουσιάστηκε ανωτέρω. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.36)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.37)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμός σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.38)

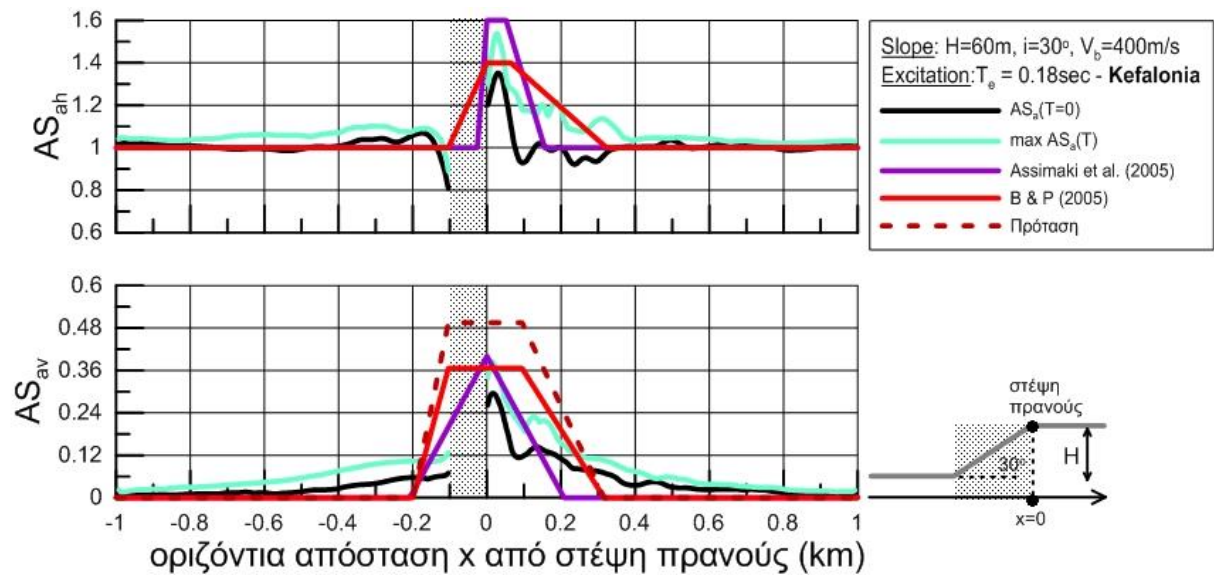
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση (Σχήματα 5.39-5.41).



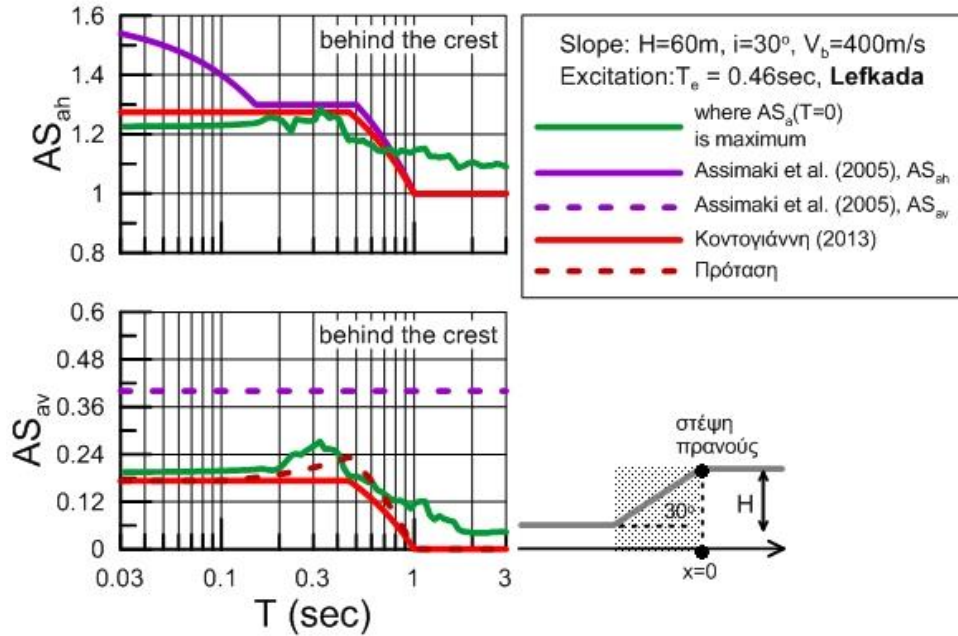
Σχήμα 5.36 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



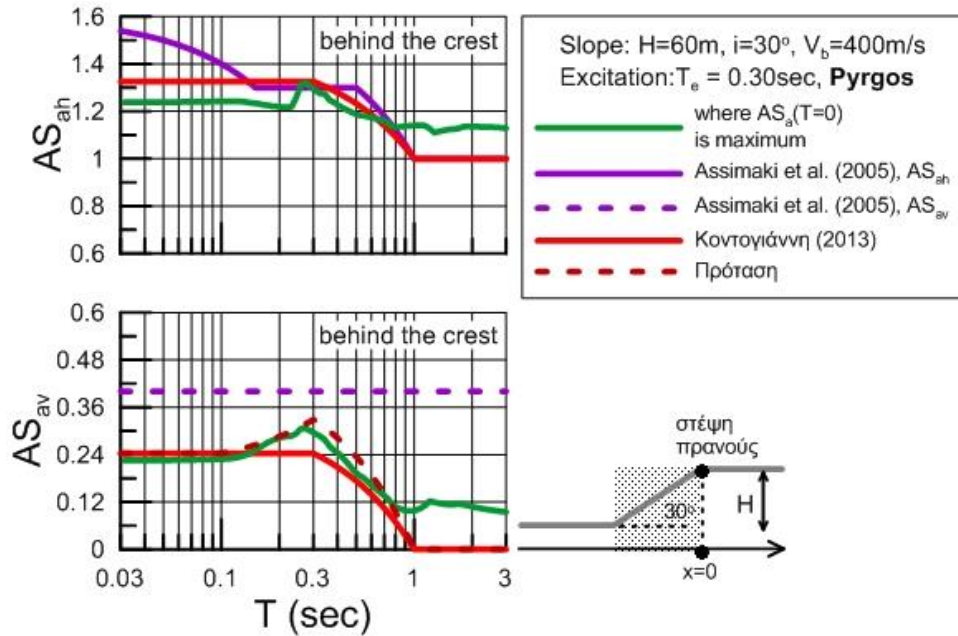
Σχήμα 5.37 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



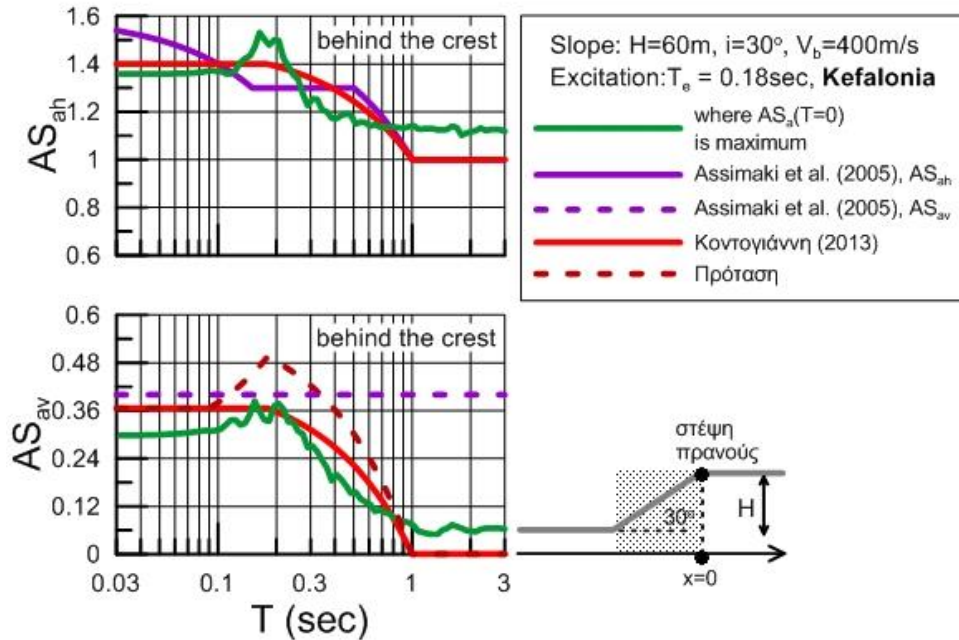
Σχήμα 5.38 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία απότομου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 5.39 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.



Σχήμα 5.40 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

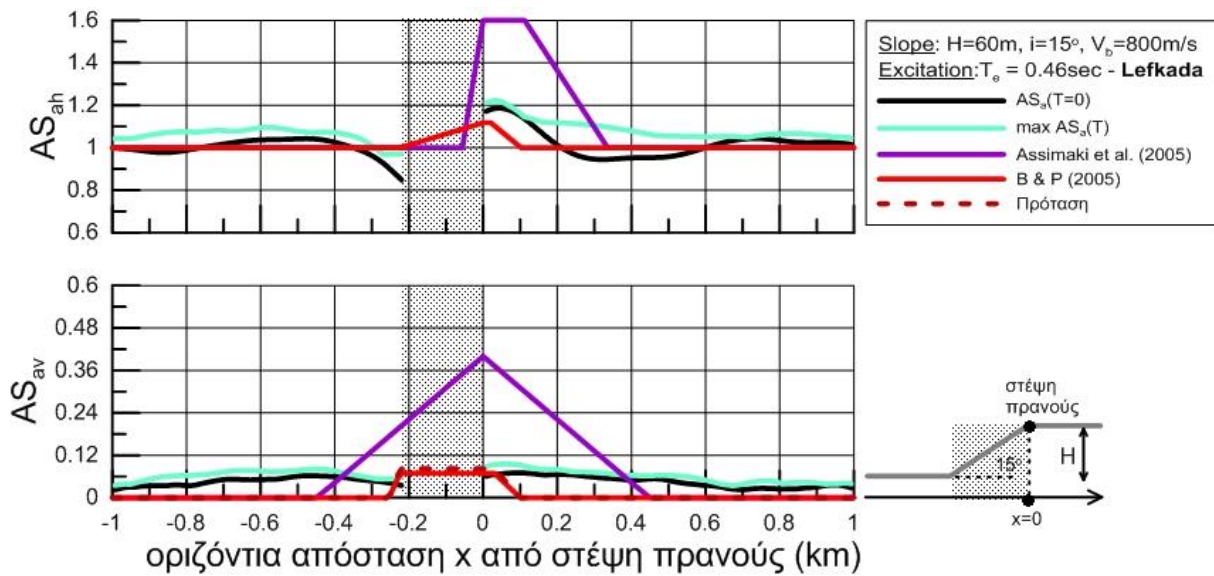


Σχήμα 5.41 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

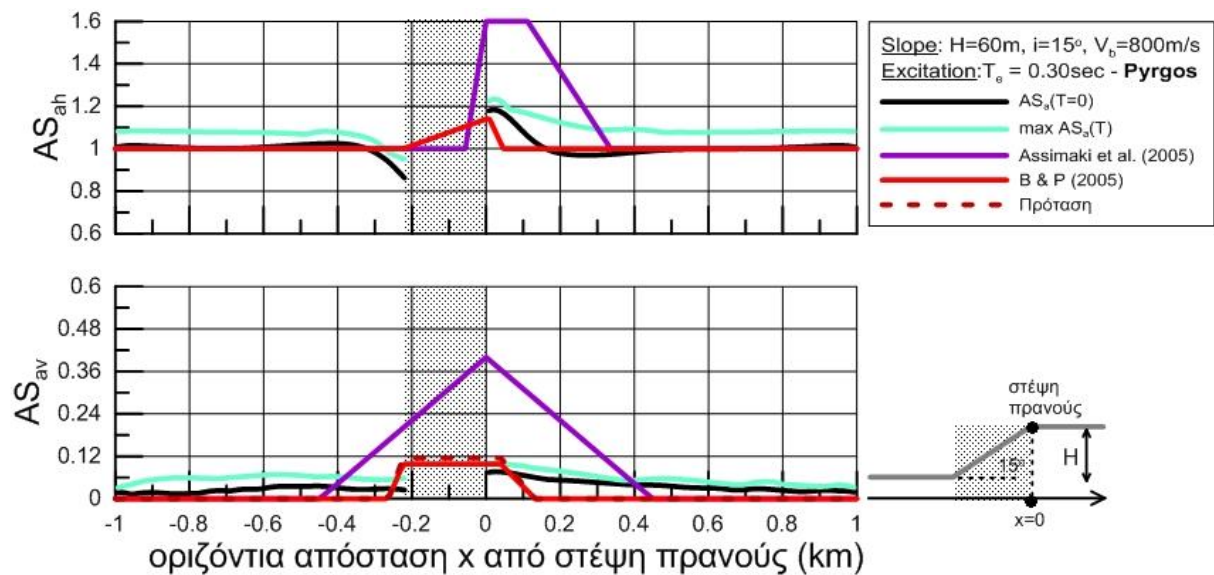
Για τα ήπια πρανή, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης (έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση), συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς Δ με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60\text{m}$, $V_s=800\text{m/s}$. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.163$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 5.42**)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.250$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (**Σχήμα 5.43**)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18\text{sec}$) με λόγο $H/\lambda=0.417$ και αριθμός σημαντικών κύκλων $N=6$ (**Σχήμα 5.44**)

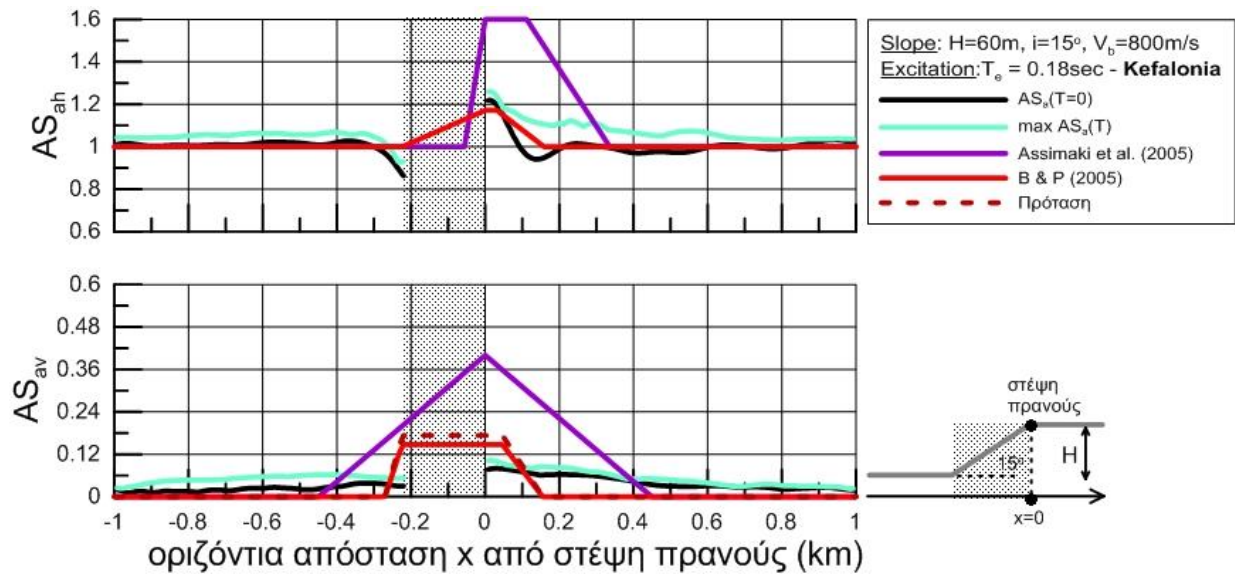
Ύστερα, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση (**Σχήματα 5.45-5.47**)



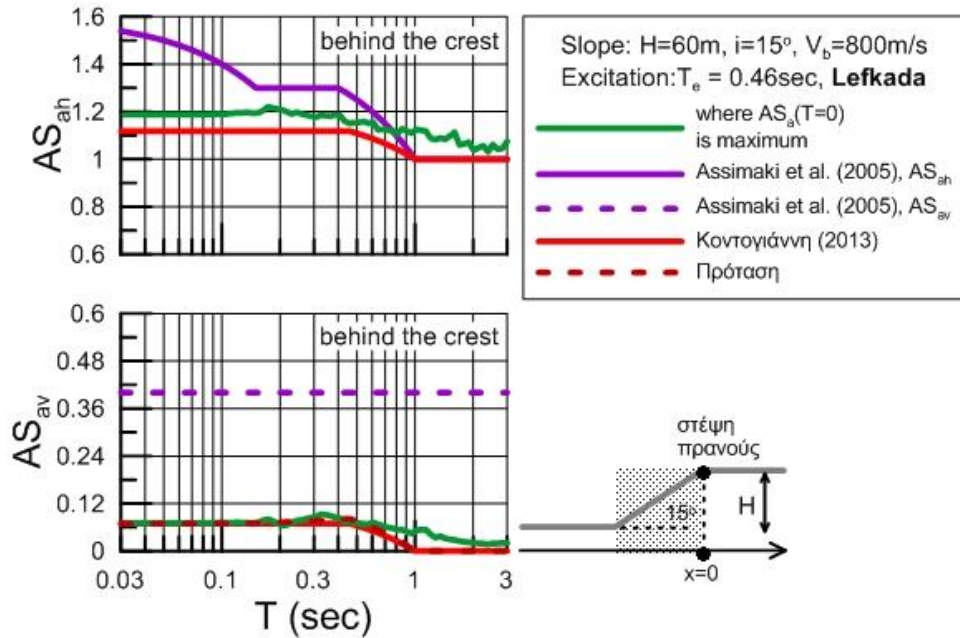
Σχήμα 5.42 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



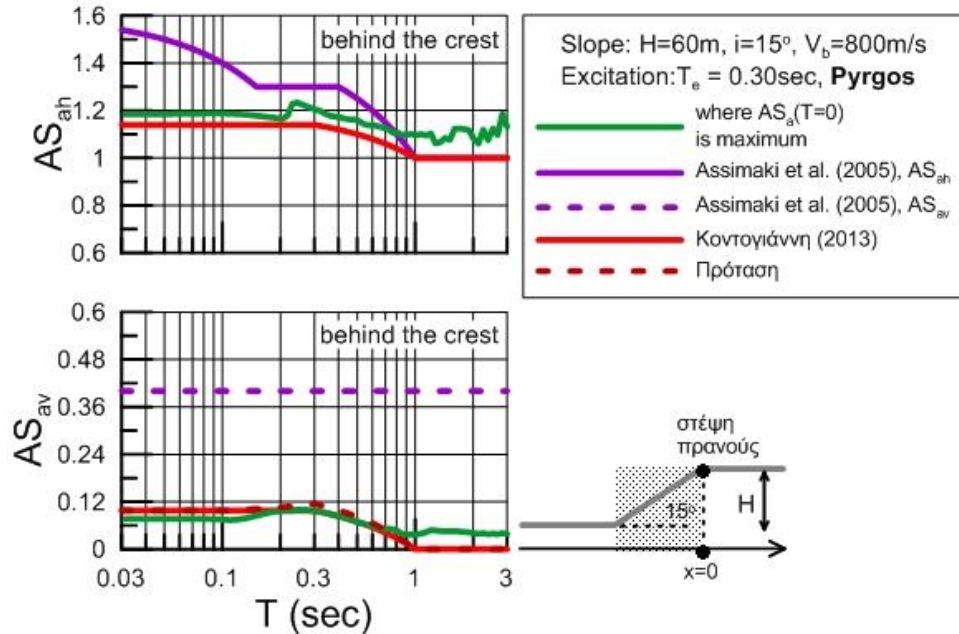
Σχήμα 5.43 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



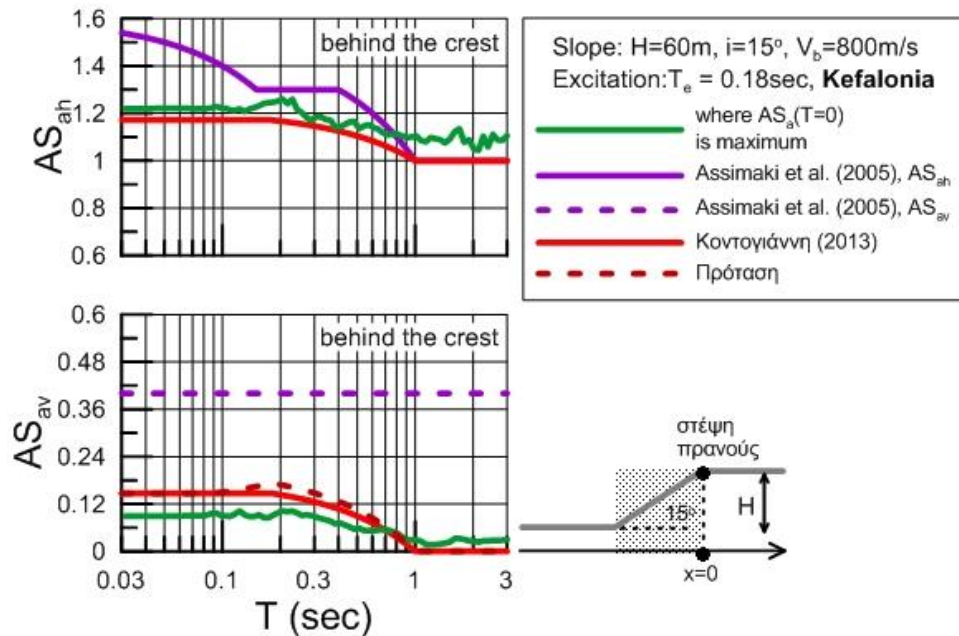
Σχήμα 5.44 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 5.45 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.163$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.



Σχήμα 5.46 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.250$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

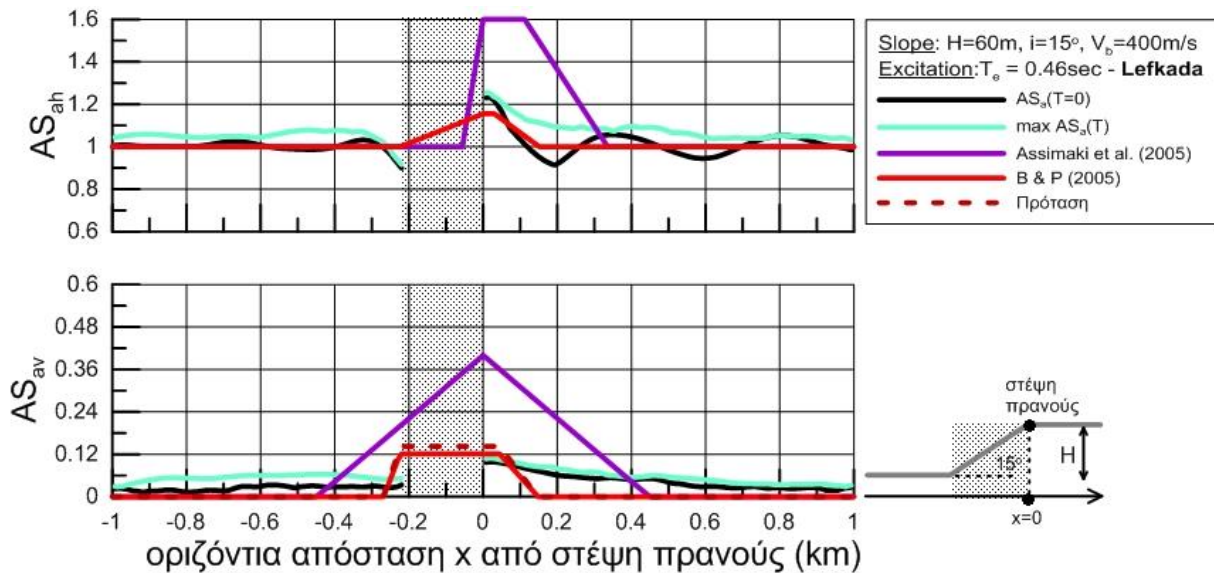


Σχήμα 5.47 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.417$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

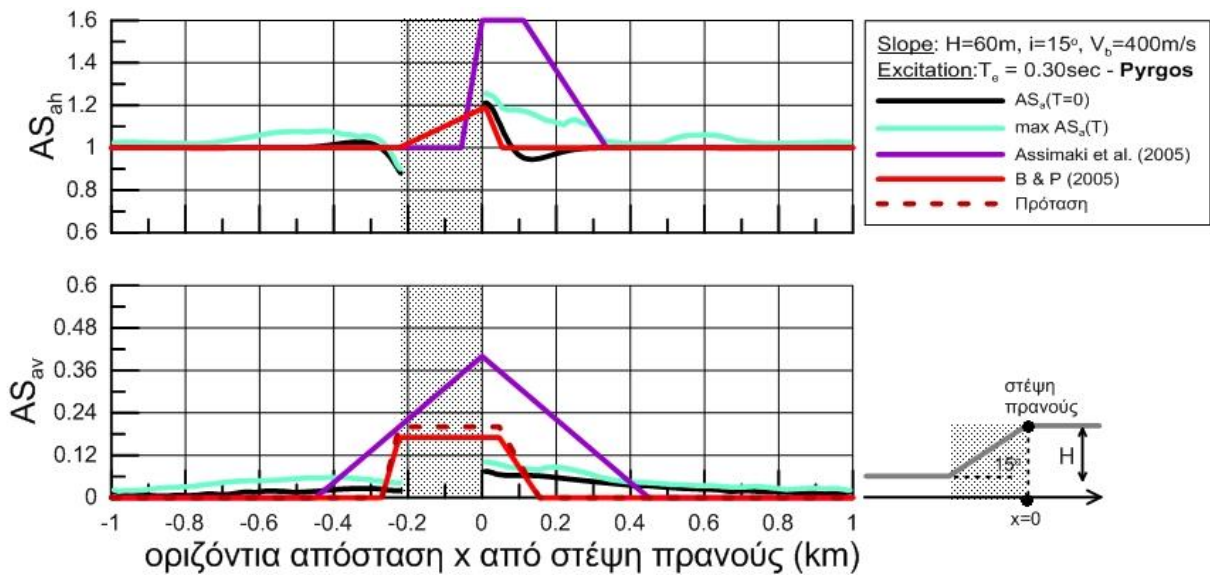
Τέλος, απεικονίζεται η χωρική μεταβολή των φασματικών λόγων AS_{ah} και AS_{av} και οι καμπύλες εκτίμησης (έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση) της τοπογραφικής επιδείνωσης συναρτήσει της απόστασης για την περίπτωση πρανούς E με χαρακτηριστικά $i=15^\circ$, $H=60m$, $V_s=400m/s$, δηλαδή με διπλάσιο αδιάστατο ύψος H/λ συγκριτικά με το πρανές της περίπτωσης Δ που παρουσιάστηκε ανωτέρω. Σε αυτά αναπαρίσταται η συμπεριφορά του πρανούς για:

- χαμηλόσυχνη διέγερση (Lefkada, $T_e=0.46sec$) με λόγο $H/\lambda=0.326$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.48)
- ενδιάμεσης συχνότητας διέγερση (Pyrgos, $T_e=0.30sec$) με λόγο $H/\lambda=0.500$ και αριθμό σημαντικών κύκλων $N=0.5$ (Σχήμα 5.49)
- υψίσυχνη διέγερση (Kefalonia, $T_e=0.18sec$) με λόγο $H/\lambda=0.834$ και αριθμός σημαντικών κύκλων $N=6$ (Σχήμα 5.50)

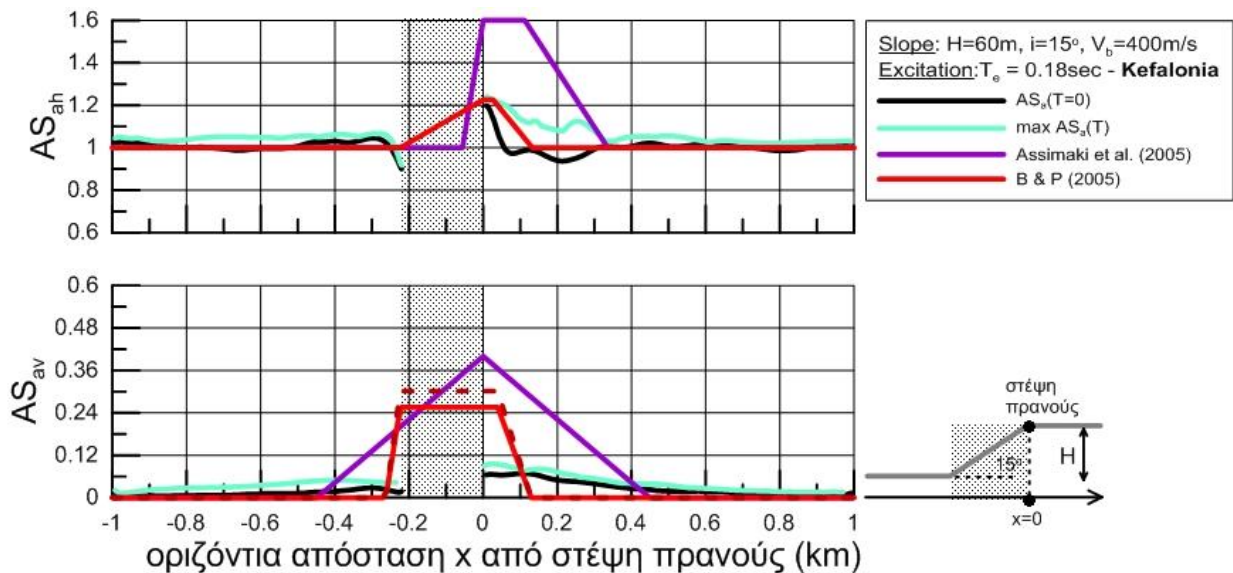
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται, για τις ίδιες διεγέρσεις, με την ίδια σειρά, η επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος και τα φάσματα επιδείνωσης σχεδιασμού, έπειτα από τις τροποποιήσεις για την κατακόρυφη διεύθυνση (Σχήματα 5.51-5.53).



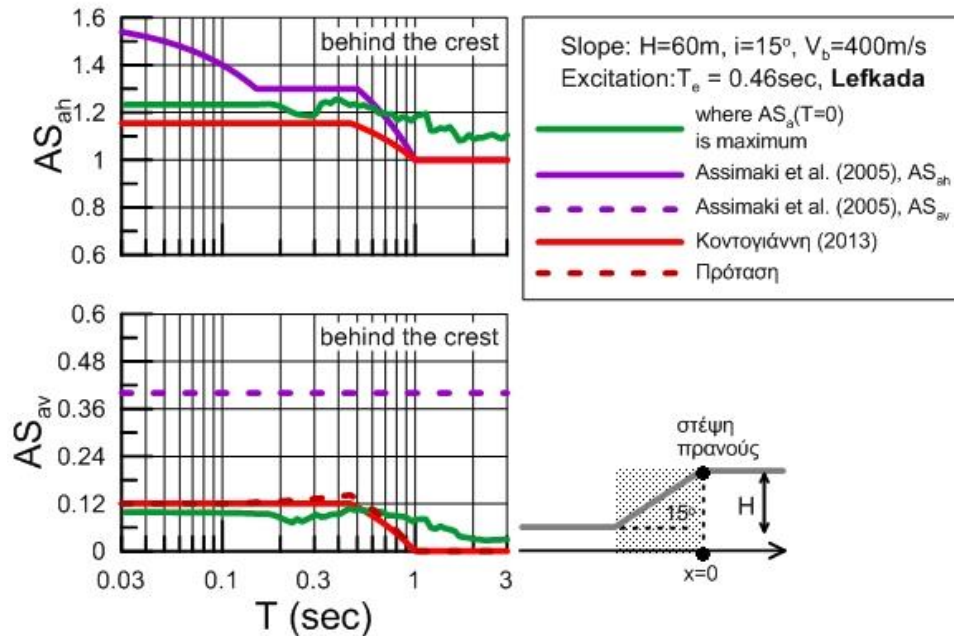
Σχήμα 5.48 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανούς υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



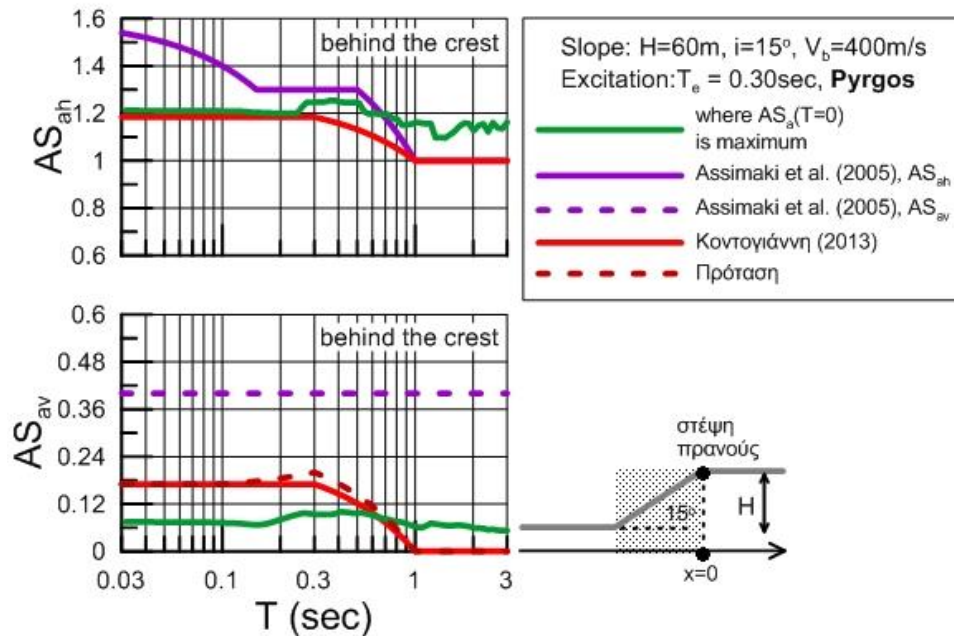
Σχήμα 5.49 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



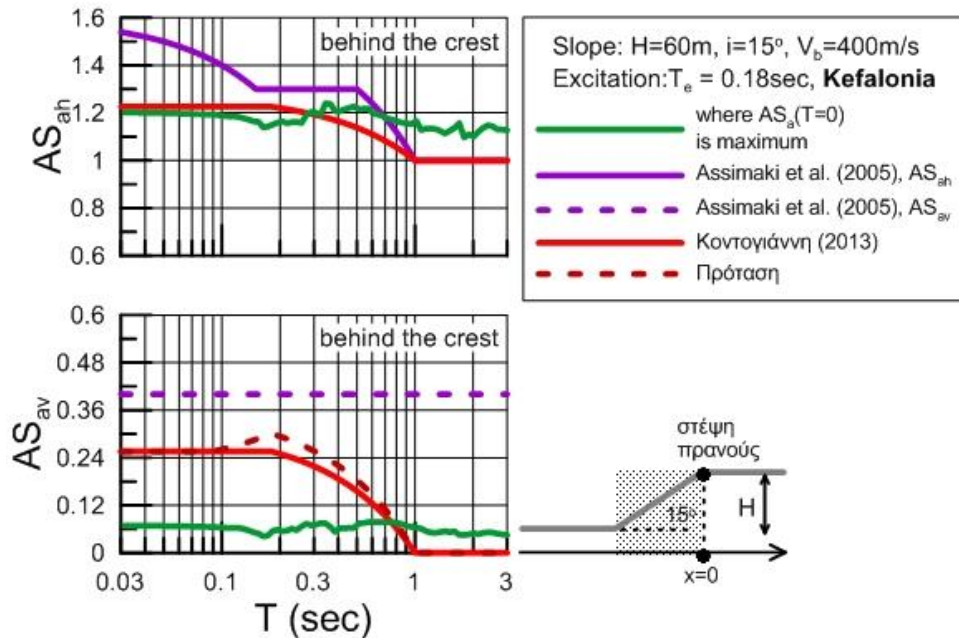
Σχήμα 5.50 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια (AS_{ah}) και την (παρασιτική) κατακόρυφη (AS_{av}) διεύθυνση, στη γειτονία ήπιου ομογενούς μονοκλινούς πρανού υπό διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$. Σύγκριση με τις σχέσεις πρόβλεψης της χωρικής μεταβολής από Assimaki et al. (2005) και Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006), η τελευταία και μετά τη διόρθωση για την κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 5.51 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.326$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.



Σχήμα 5.52 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανούς και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.500$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.



Σχήμα 5.53 Τοπογραφική επιδείνωση ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας και κατακόρυφης επιτάχυνσης στη θέση μέγιστης ενίσχυσης της αντίστοιχης σεισμικής επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ομογενούς πρανού και διέγερση που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.834$ (απόσβεση $\xi=5\%$). Σύγκριση με το φάσμα επιδείνωσης σχεδιασμού των Assimaki et al. (2005) για την AS_{ah} , μόνο, της πρότασης της εργασίας της Κοντογιάννη και για τις δυο διευθύνσεις (Κοντογιάννη 2013) και την διορθωμένη για την κατακόρυφη διεύθυνση πρόταση της Κοντογιάννη.

Από τη σύγκριση των μεθοδολογιών σχεδιασμού με τα αποτελέσματα των αναλύσεων για όλους τους συνδυασμούς πρανών – διεγέρσεων προκύπτει ότι η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) είναι σαφώς πιο ρεαλιστική, απ' ό,τι η βέλτιστη υπάρχουσα πρόταση της βιβλιογραφίας (εκείνη των Assimaki et al. 2005, έναντι π.χ. των ασαφών προβλέψεων του EC8 και των όχι τόσο ρεαλιστικών προβλέψεων του πρώην Γαλλικού Αντισεισμικού Κανονισμού). Επισημαίνεται ότι η πρόταση της Assimaki et al. (2005) γενικώς οδηγεί σε συντηρητικό σχεδιασμό, ειδικά για πρανή με ήπια κλίση, ενώ η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) επεκτείνει τις προτάσεις των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) οδηγώντας σε πιο ρεαλιστικές προβλέψεις. Η προτεινόμενη τροποποίηση για την παρασιτική κατακόρυφη ταλάντωση δίνει τη δυνατότητα ακόμη ακριβέστερων προβλέψεων, ειδικά για απότομα πρανή, αλλά το σχετικό όφελος κρίνεται πιθανώς μη αναγκαίο δεδομένης της μικρής αύξησης της πολυπλοκότητας των σχέσεων σχεδιασμού.

5.6 Πρόβλεψη ιστορικών περιστατικών τοπογραφικής επιδείνωσης

Στην τελευταία παράγραφο αυτού του Κεφαλαίου, διερευνάται η ικανότητα πρόβλεψης της τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης με βάση αποτελέσματα από πραγματικά περιστατικά. Τα περιστατικά αυτά αφορούν μονοκλινή πρανή στον Ελλαδικό χώρο, και συγκεκριμένα στους σεισμούς του Αιγίου 1995 και της Αθήνας 1999. Ως φασματική επιδείνωση

σχεδιασμού χρησιμοποιείται η πρόταση της Κοντογιάννη (2013) για την οριζόντια επιτάχυνση. Πιο συγκεκριμένα:

A) το πρώτο περιστατικό αφορά στο πρανές της πόλης του Αιγίου, κατά το σεισμό του Αιγίου (1995) με χαρακτηριστικά πρανούς-διέγερσης (Bouckovalas et al. 1999):

- κλίση $i = 45^\circ$
- ύψος πρανούς $H = 80 \text{ m}$
- $T_e = 0.4-0.5 \text{ sec}$
- $V_s = 400-1000 \text{ m/s}$
- $N = 2-3$
- $\xi = 5 - 10 \%$

Με βάση τις σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005), προκύπτει εύρος διακύμανσης της $A_{h,max} = 1.20 - 1.32$. Οι Bouckovalas et al. (1999) καταλήγουν μέσω παραμετρικών αριθμητικών αναλύσεων σε ένα εύρος φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια συνιστώσα, στη θέση όπου εμφανίζεται η $A_{h,max}$ πίσω από τη στέψη του πρανούς. Το εύρος αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.54. και συγκρίνεται με το αντίστοιχο εύρος της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης σύμφωνα με την πρόταση της Κοντογιάννη (2013), με τις 2 καμπύλες άνω και κάτω ορίου να αποτυπώνουν το εύρος που οφείλεται στη πιθανή διακύμανση της δεσπόζουσας περιόδου T_e .

B) το δεύτερο περιστατικό αφορά σε πρανές στις Αδάμες, κατά το σεισμό της Αθήνας (1999) με χαρακτηριστικά πρανούς-διέγερσης (Kallou et al. 2001):

- κλίση $i = 30^\circ$
- ύψος πρανούς $H = 40 \text{ m}$
- $T_e = 0.1-0.2 \text{ sec}$
- $V_s = 350-600 \text{ m/s}$
- $N = 2-4$
- $\xi = 5 - 10 \%$

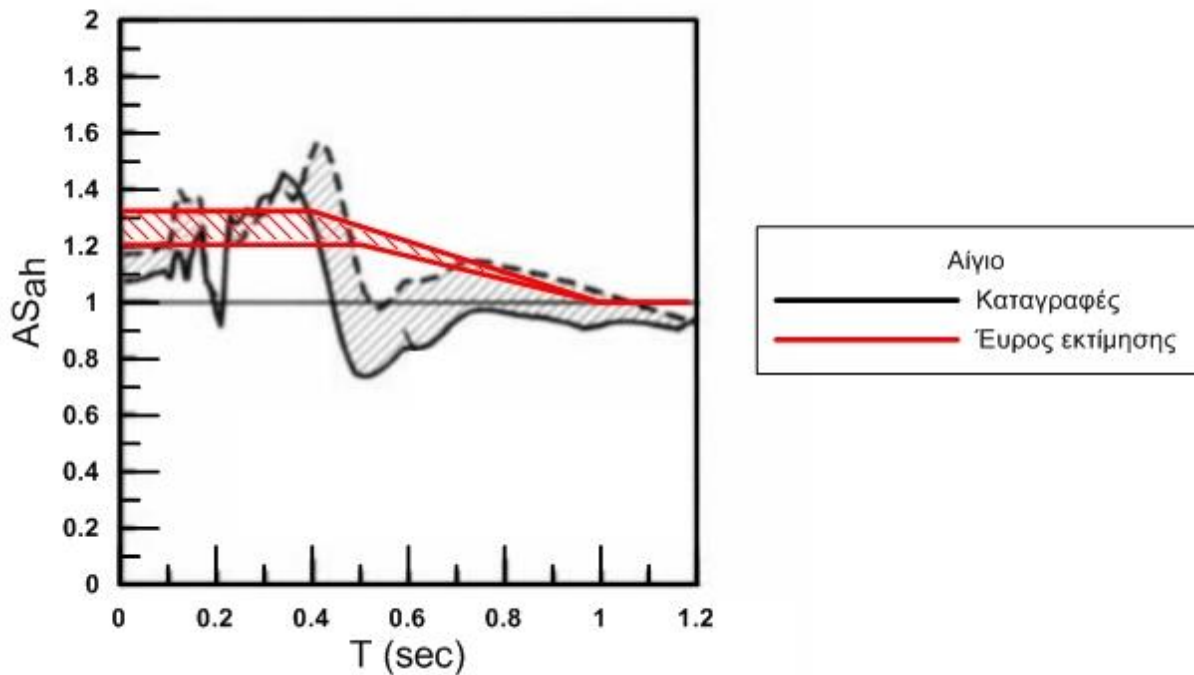
Με βάση τις σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005), προκύπτει εύρος διακύμανσης της $A_{h,max} = 1.28 - 1.45$. Οι Bouckovalas and Kouretzis (2001) καταλήγουν μέσω παραμετρικών αριθμητικών αναλύσεων σε ένα εύρος φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια συνιστώσα, στη θέση όπου εμφανίζεται η $A_{h,max}$ πίσω από τη στέψη του πρανούς. Το εύρος αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.55. και συγκρίνεται με το αντίστοιχο εύρος της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης σύμφωνα με την πρόταση της Κοντογιάννη (2013), με τις 2 καμπύλες άνω και κάτω ορίου να αποτυπώνουν το εύρος που οφείλεται στη πιθανή διακύμανση της δεσπόζουσας περιόδου T_e .

Γ) το τρίτο περιστατικό αφορά και πάλι σε πρανές στις Αδάμες κατά το σεισμό της Αθήνας (1999), αλλά σε άλλη θέση (εκεί όπου ήταν το ξενοδοχείο Δεκέλεια) με χαρακτηριστικά πρανούς-διέγερσης (Athanasopoulos et al. 2001):

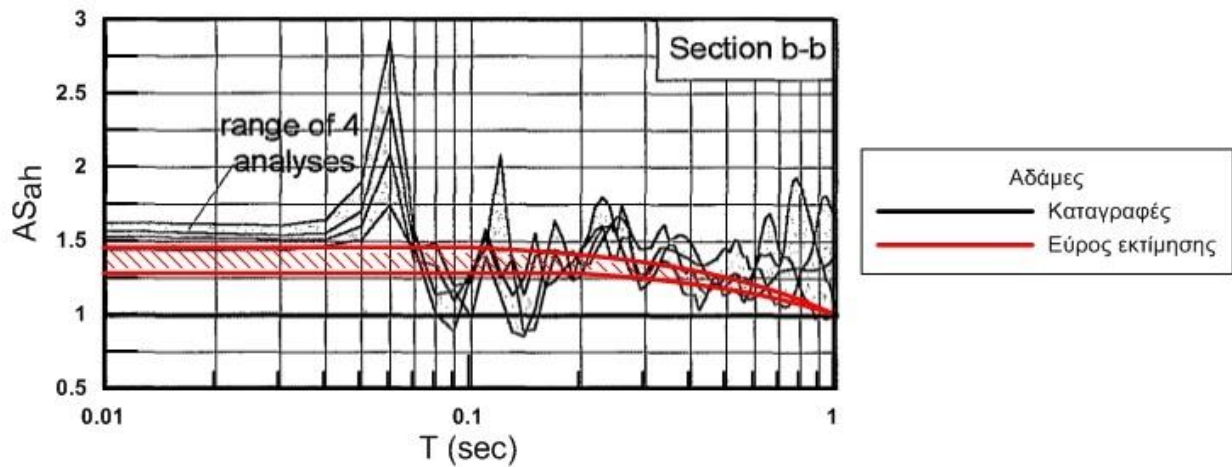
- κλίση $i = 16^\circ$
- ύψος πρανούς $H = 35 \text{ m}$
- $T_e = 0.1-0.2 \text{ sec}$
- $V_s = 400-600 \text{ m/s}$
- $N = 2-4$
- $\xi = 5 - 10 \%$

Με βάση τις σχέσεις των Bouckovalas and Papadimitriou (2005), προκύπτει εύρος διακύμανσης της $A_{h,max} = 1.16 - 1.25$. Οι Bouckovalas and Kouretzis (2001) καταλήγουν μέσω παραμετρικών αριθμητικών αναλύσεων σε ένα εύρος φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης στην οριζόντια συνιστώσα, στη θέση όπου εμφανίζεται η $A_{h,max}$ πίσω από τη στέψη του πρηνούς. Το εύρος αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.56. και συγκρίνεται με το αντίστοιχο εύρος της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης σύμφωνα με την πρόταση της Κοντογιάννη (2013), με τις 2 καμπύλες άνω και κάτω ορίου να αποτυπώνουν το εύρος που οφείλεται στη πιθανή διακύμανση της δεσπόζουσας περιόδου T_e .

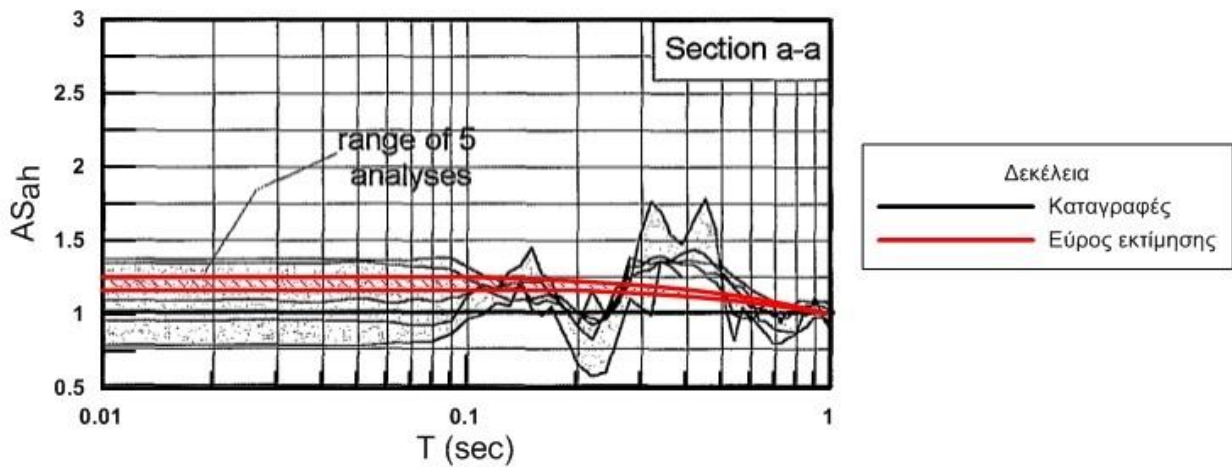
Από τις συγκρίσεις αναλυτικών προβλέψεων με αριθμητικές εκτιμήσεις από τη βιβλιογραφία προκύπτει ικανοποιητική συμφωνία. Για παράδειγμα, οι αναλυτικές προβλέψεις αποτυπώνουν την απομείωση της επιδείνωσης για μεγάλες περιόδους κατασκευής, και ότι οι μέγιστες επιδεινώσεις αναμένονται σε περιόδους κατασκευής μέχρι τη δεσπόζουσα T_e . Ποσοτικά, οι αναλυτικές προβλέψεις κρίνονται ως ορθές (Αίγιο), ελαφρώς συντηρητικές (Δεκέλεια) και ελαφρώς μη-συντηρητικές (Αδάμες), άρα συνολικά προκύπτει η προαναφερθείσα ικανοποιητική συμφωνία. Μόνη παραφωνία είναι ότι δεν προβλέπεται η μεγάλη ενίσχυση για $T=0.06\text{sec}$ στις Αδάμες, μια παραφωνία μικρής πρακτικής σημασίας δεδομένου ότι δεν υπάρχουν κατασκευές με τόσο μικρή ιδιοπερίοδο (ουσιαστικά πρόκειται για ταλάντωση της επιφάνειας του εδάφους).



Σχήμα 5.54 Σύγκριση εύρους εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης από το φάσμα σχεδιασμού της Κοντογιάννη (2013) και του εύρους της αριθμητικά εκτιμημένης τοπογραφικής επιδείνωσης για το πρηνές του Αιγίου στο σεισμό του 1995, με βάση τους Bouckovalas et al. (1999).



Σχήμα 5.55 Σύγκριση εύρους εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης από το φάσμα σχεδιασμού της Κοντογιάννη (2013) και του εύρους της αριθμητικά εκτιμημένης τοπογραφικής επιδείνωσης για το πρανές στις Αδάμες στο σεισμό της Αθήνας 1999, με βάση τους Bouckovalas and Kouretzis (2001).



Σχήμα 5.56 Σύγκριση εύρους εκτίμησης της τοπογραφικής επιδείνωσης από το φάσμα σχεδιασμού της Κοντογιάννη (2013) και του εύρους της αριθμητικά εκτιμημένης τοπογραφικής επιδείνωσης για το πρανές στις Αδάμες (όπου βρίσκεται το ξενοδοχείο Δεκέλεια) στο σεισμό της Αθήνας 1999, με βάση τους Bouckovalas and Kouretzis (2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Γενικά συμπεράσματα για την τοπογραφική επιδείνωση σε ομογενή πρανή

Η τοπογραφική επιδείνωση σε ομογενή μονοκλινή πρανή έχει απασχολήσει αρκετά τη βιβλιογραφία. Τα βασικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων σεισμικής απόκρισης ομογενών μονοκλινών πρανών που πραγματοποιήθηκαν εδώ και προσθέτουν νέα στοιχεία στην υπάρχουσα βιβλιογραφία είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντικές ενισχύσεις προκύπτουν για μικρές τιμές περιόδων κατασκευής T (έως και τη δεσπόζουσα περίοδο T_e της διέγερσης), ενώ η ενίσχυση για μεγάλες περιόδους κατασκευής T (π.χ. μεγαλύτερες του 1sec) θεωρείται αμελητέα. Άρα η ενιαία τοπογραφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης κρίνεται υπερ-απλουστευτική θεώρηση. Τα ανωτέρω ισχύουν τόσο για την οριζόντια επιτάχυνση, όσο και για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση.
- Ειδικά για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση, οι μέγιστες φασματικές επιδεινώσεις προκύπτουν σε περιόδους κατασκευής T περί τη δεσπόζουσα περίοδο T_e και βρέθηκαν έως και διπλάσιες εκείνων για $T=0$. Η διαφοροποίηση αυτή αυξάνει με την κλίση του πρανού, και δε θεωρείται στατιστικά σημαντική για την οριζόντια επιτάχυνση (μέγιστη διαφορά έως 20%), όπου η ενίσχυση για $T=0$ μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς η μέγιστη.
- Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης είναι το αδιάστατο ύψος H/λ (η αύξησή του, εν γένει, οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές ενισχύσεων και στις δυο διευθύνσεις) και η κλίση i του πρανού (μείωση της κλίσης οδηγεί σε μείωση των ενισχύσεων). Οι παράμετροι αυτοί δεν είναι απόλυτα μη-συζευγμένες, καθώς για ήπια πρανή η επίδραση του αδιάστατου ύψους H/λ είναι λιγότερο σημαντική. Μάλιστα, για ήπια πρανή η (ασθενής, ούτως ή άλλως) τοπογραφική επιδείνωση διαφέρει από θέση σε θέση, αλλά δεν διαφοροποιείται σημαντικά με την περίοδο κατασκευής T .

6.2 Συμπεράσματα για το σχεδιασμό έναντι τοπογραφικής επιδείνωσης σε ομογενή πρανή

Πέραν των γενικών συμπερασμάτων, στην παράγραφο αυτή το ενδιαφέρον εστιάζεται στην κριτική επί υπαρχόντων προτάσεων της βιβλιογραφίας για το σχεδιασμό έναντι τοπογραφικής επιδείνωσης. Συγκεκριμένα:

- Σχετικά με τις προτάσεις του EC8, προκύπτει:
 - a) η ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης στην περιοχή πίσω από τη στέψη ομογενούς μονοκλινούς πρανού μπορεί να υπερβεί σημαντικά την τιμή 1.2 που προτείνει ο EC8,

ενώ προκύπτει και απομείωση μπροστά από τον πόδα του πρηνούς που δε λαμβάνεται υπόψη,

- b) υπάρχει σημαντική χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης, που ο EC8 δε λαμβάνει υπόψη καθώς δεν προχωρά στην ποσοτικοποίηση του όρου «γειτονία» του πρηνούς, δηλαδή, της απόστασης από τη στέψη στην οποία φθίνουν οι επιδεινώσεις,
 - c) υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση της επιδείνωσης με την περίοδο κατασκευής T , που ο EC8 αγνοεί καθώς προτείνει ενιαίο συντελεστή ενίσχυσης ανεξαρτήτως T ,
 - d) ακόμα και μια διέγερση με αμιγώς οριζόντια ταλάντωση δημιουργεί εν δυνάμει σημαντική (παρασιτική) κατακόρυφη ταλάντωση λόγω ανακλάσεων στην κεκλιμένη επιφάνεια του πρηνούς, που ο EC8 αγνοεί.
- Σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόταση των Assimaki et al. (2005), προκύπτει:
 - a) θεραπεία των βασικών προβλημάτων των προτάσεων του EC8 (b, c, d άνωθεν)
 - b) ποιοτική ορθότητα, τόσο ως προς τη φασματική διαφοροποίηση όσο και ως προς τη χωρική διαφοροποίηση, με εξαίρεση τη μη-διαφοροποίηση ως προς περίοδο κατασκευής T για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα
 - c) υπερεκτίμηση των ενισχύσεων και στις 2 διευθύνσεις, ειδικά στα ήπια πρηνή, οπότε γεννάται η ανάγκη συσχέτισης τους με τα χαρακτηριστικά πρηνούς και διέγερσης,
 - d) υπερεκτίμηση της περιοχής έντονων ενισχύσεων για ήπια πρηνή.
 - Σχετικά με την πρόταση των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) που αφορούν μόνο στην επιδείνωση για $T=0$ (δηλαδή για την επιφάνεια του εδάφους, και στις 2 διευθύνσεις), προκύπτει:
 - a) θεραπεία των βασικών προβλημάτων της πρότασης των Assimaki et al. (2005), δηλαδή των b, c, d άνωθεν, δεδομένης και της χρήσης του αδιάστατου ύψους H/λ και της κλίσης i για την εκτίμηση της επιδείνωσης,
 - b) ποιοτική και ποσοτική ακρίβεια για την ενίσχυση, με εξαίρεση την υπερεκτίμηση της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης σε ήπια πρηνή,
 - c) ποιοτική και ποσοτική ακρίβεια για την περιοχή έντονων ενισχύσεων.
 - Σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόταση της Κοντογιάννη (2013) που προσθέτει φασματική διαφοροποίηση στην πρόταση των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) που αφορούσε μόνο σε $T=0$, προκύπτει:
 - a) κληροδότηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της πρότασης των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) που αναφέρονται άνωθεν,
 - b) ποιοτική και ποσοτική ακρίβεια για τη διαφοροποίηση της ενίσχυσης σε διαφορετικές περιόδους κατασκευής, με εξαίρεση την υπο-εκτίμηση της μέγιστης φασματικής επιδείνωσης στην παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση σε περιόδους κατασκευής T περί τη δεσπόζουσα περίοδο T_e , και
 - c) ικανοποιητική ακρίβεια στην πρόβλεψη της τοπογραφικής επιδείνωσης σε ιστορικά περιστατικά από τους σεισμούς Αιγίου 1995 και Αθήνας 1999.

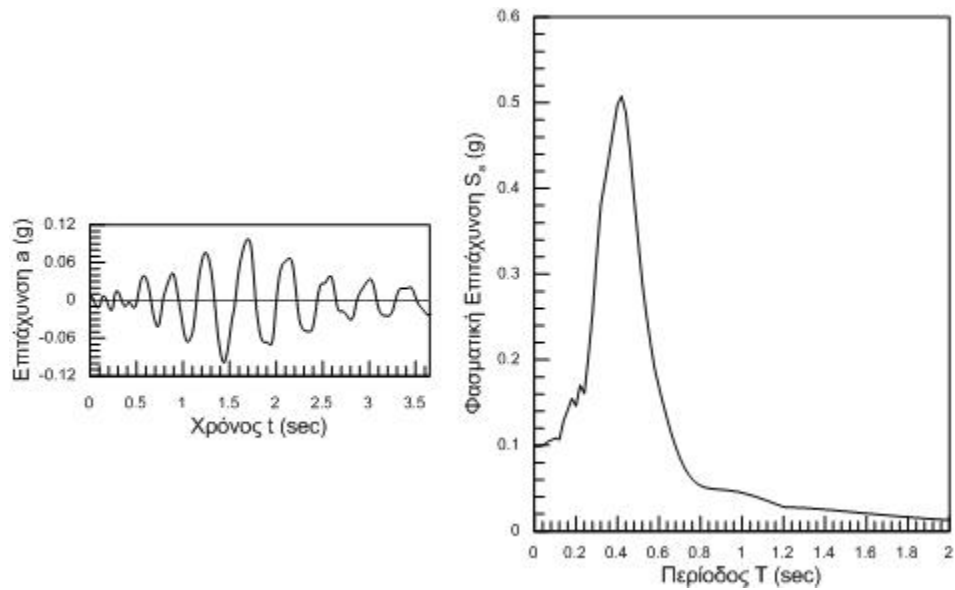
Με βάση τα ανωτέρω, η παρούσα εργασία προτείνει την υιοθέτηση της πρότασης της Κοντογιάννη (2013), με διόρθωση του προβλήματος (b) που αναφέρεται άνωθεν, με μια νέα σχέση φασματικής επιδείνωσης για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση που εμφανίζει η μέγιστη τιμή της για περίοδο κατασκευής $T=T_e$, ως συνάρτηση της κλίσης i του πρανούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

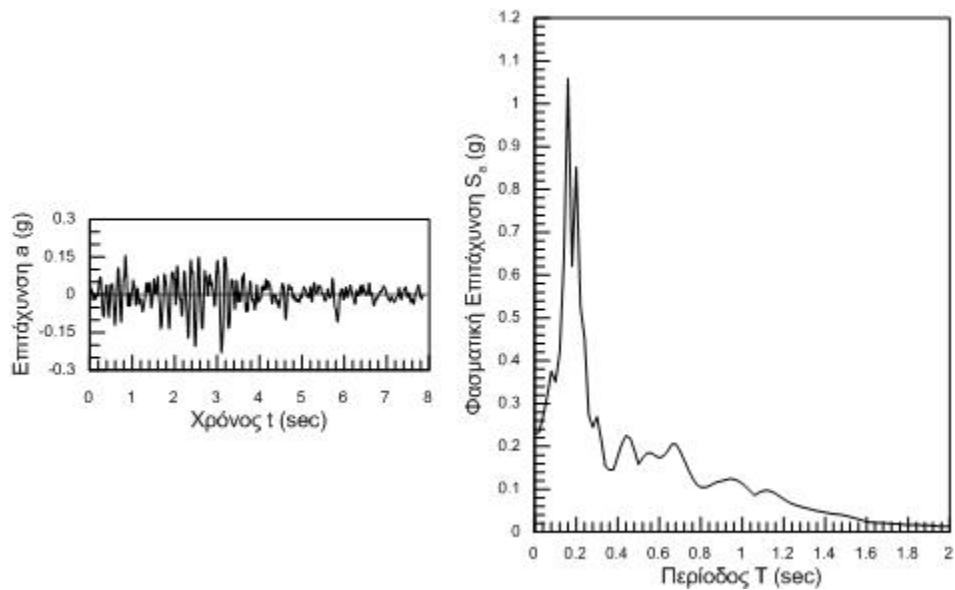
1. Athanasopoulos G. A., Pelekis P. C. & Xenaki V. C. (2001), "Topography Effects in the Athens 1999 Earthquake: The Case of Hotel Dekelia", Proc. of the 4th Intern. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego CA, March 28-31 (CD-ROM I)
2. Ashford S.A., Sitar N., Lysmer J., Deng N. (1997), "Topographic effects on the seismic response of steep slopes", Bull Seismol Soc Am 87(3):701-9
3. Assimaki D., Kausel E. and Gazetas G. (2005), "Wave propagation and soil-structure interaction on a cliff crest during the 1999 Athens Earthquake", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 513-527
4. Assimaki D., Kausel E. and Gazetas G. (2005), "Soil-Dependent Topographic Effects: A case study from the 1999 Athens Earthquake", Earthquake spectra, Volume 21, No 4., pages 926-966, Earthquake Engineering Research Institute, November
5. Bouckovalas G. D., Papadimitriou A. G. (2005), "Numerical Evaluation of Slope Topography Effects on Seismic Ground Motion", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25(7-10): 547 – 555
6. Bouckovalas G. D., Gazetas G., Papadimitriou A. G. (1999), "Geotechnical aspects of the 1995 Aegion, Greece earthquake", Proceedings, 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, Portugal, Vol. 2: 739-748
7. Bouckovalas, G. D. and Kouretzis, G. (2001), "Review of Soil and Topography Effects in the September 7, 1999 Athens (Greece) Earthquake", International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 7.
8. 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
9. Kallou P. V., Gazetas G. & Psarropoulos P. N. (2001), "A Case History on Soil and Topographic Effects in the 7th September 1999 Athens Earthquake", Proc. of 4th Intern. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego CA, March 28-31 (CD-ROM I)
10. Papadimitriou A.G. (2011), "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
11. Rizzitano S., Cascone E., Biondi G. (2014), "Coupling of topographic and stratigraphic effects on seismic response of slopes through 2D linear and equivalent linear analyses", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 67 (66-84)
12. Tripe R., Kontoe S., Wong T.K.C. (2013), "Slope Topography effects on ground motion in the presence of deep soil layers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 50 (72-84)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

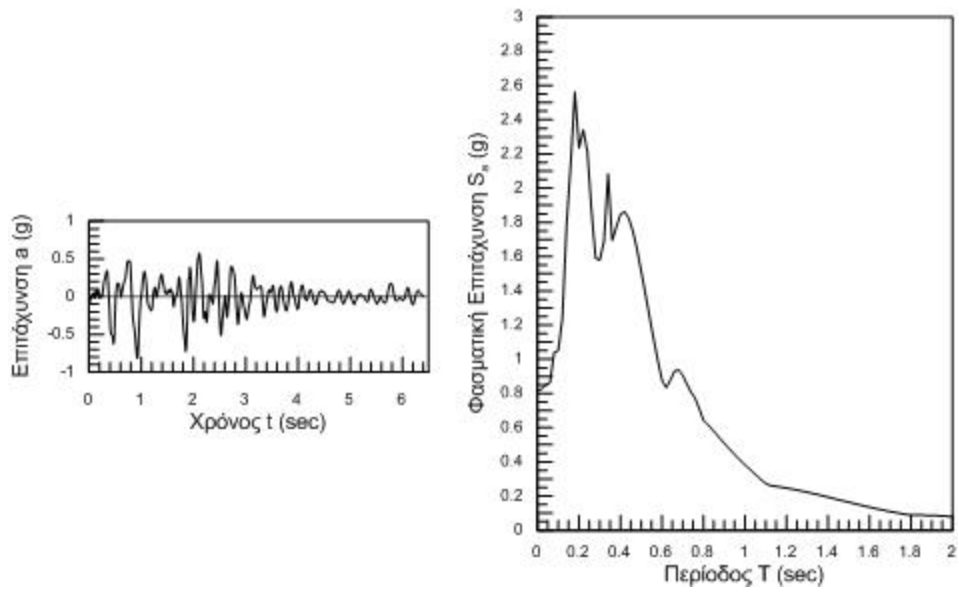
ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΝ



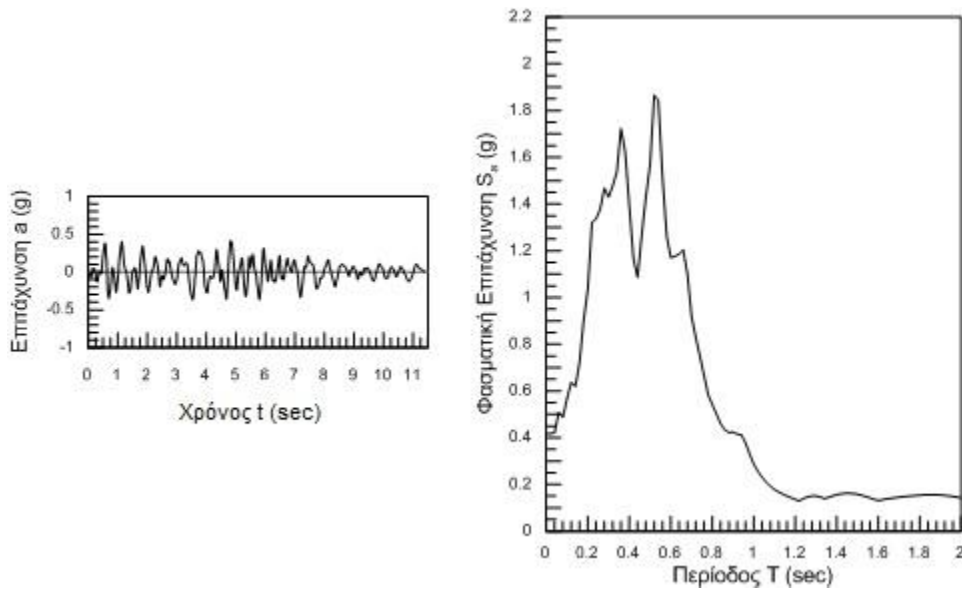
Σχήμα Α.1 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Coyote ($T_e=0.42ssec$).



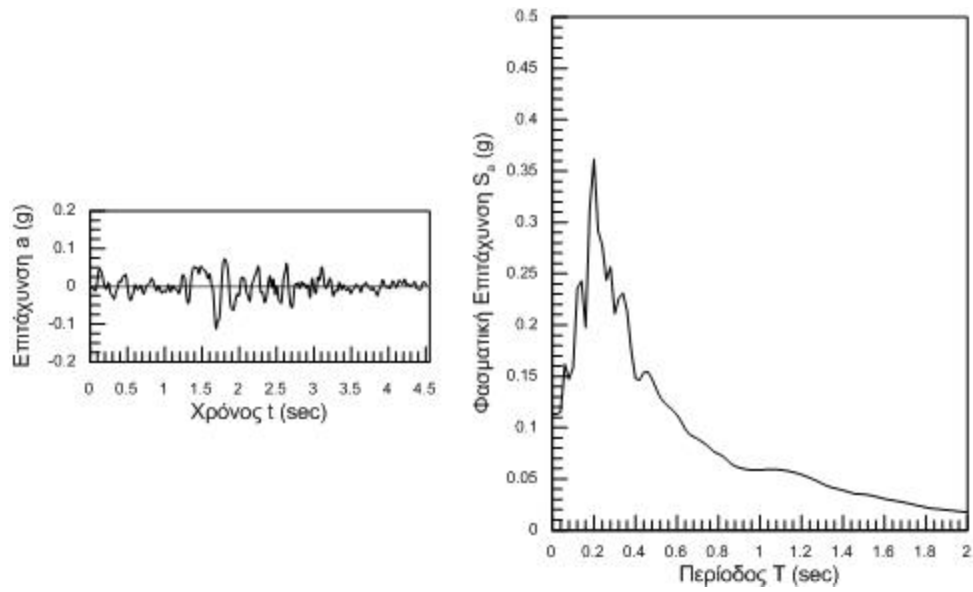
Σχήμα Α.2 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Kefalonia ($T_e=0.18ssec$).



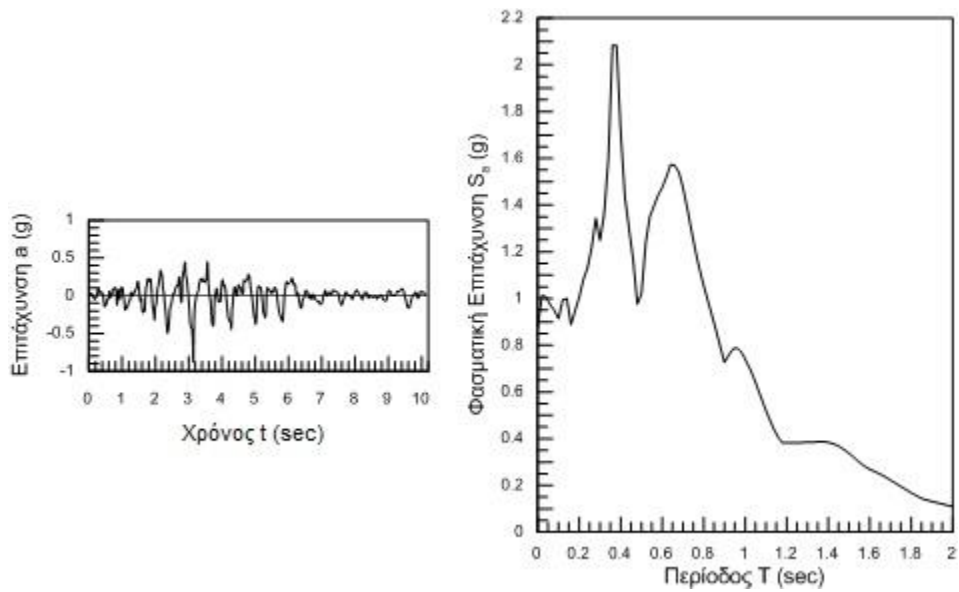
Σχήμα Α.3 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Kobe ($T_e=0.20$ sec).



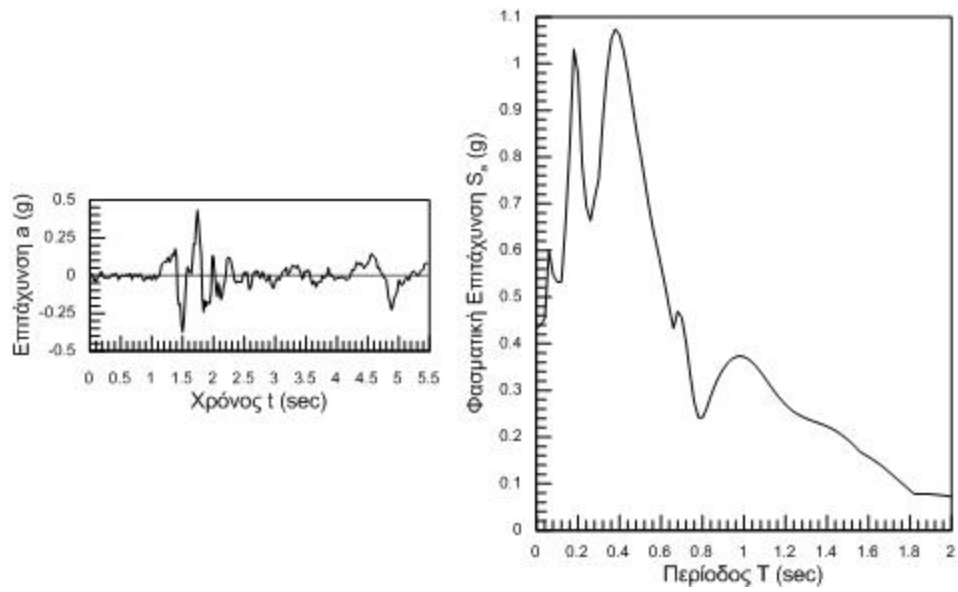
Σχήμα Α.4 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Lefkada ($T_e=0.46$ sec).



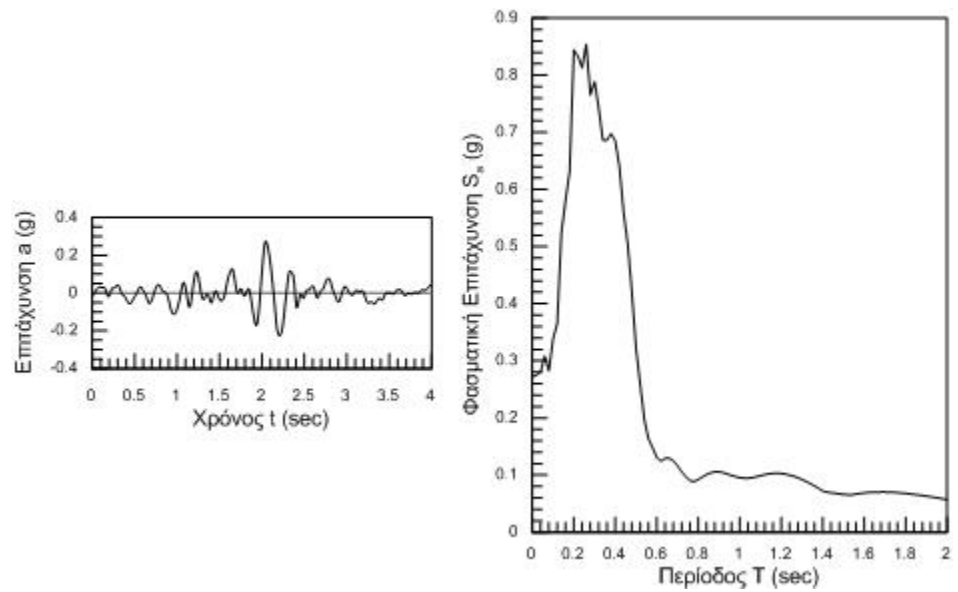
Σχήμα Α.5 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Loma Prieta ($T_e=0.20$ sec).



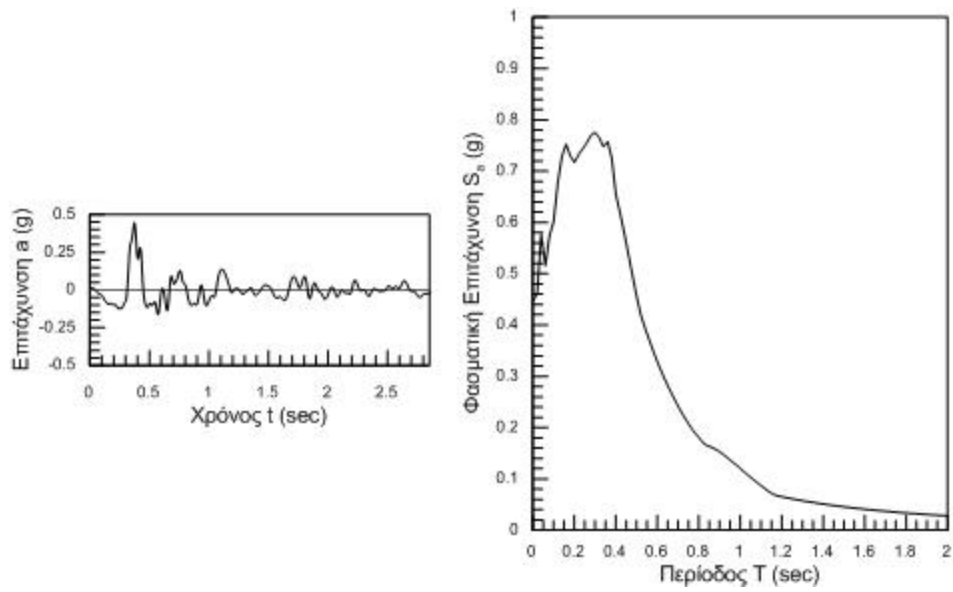
Σχήμα Α.6 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Northridge ($T_e=0.36$ sec).



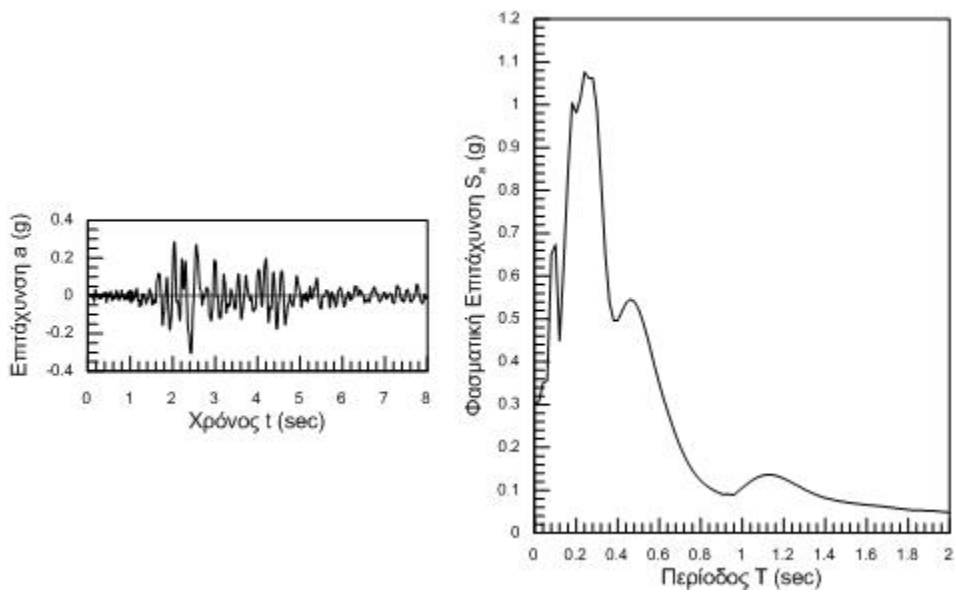
Σχήμα Α.7 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Northridge265 ($T_e=0.40\text{sec}$).



Σχήμα Α.8 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Parkfield ($T_e=0.27\text{sec}$).



Σχήμα A.9 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Pnyrgos ($T_e=0.30\text{sec}$).



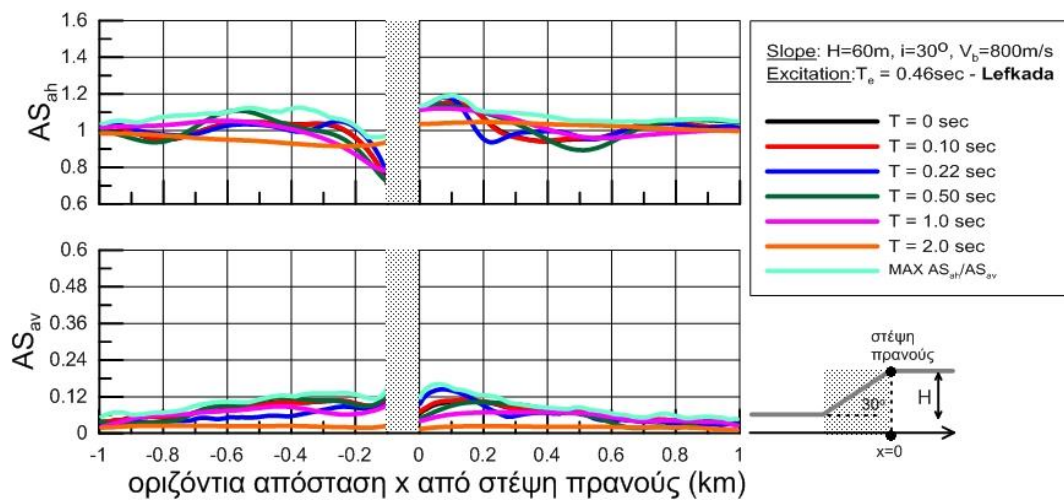
Σχήμα A.10 Επιταχυνσιογράφημα και φάσμα απόκρισης για τη διέγερση Sepolia ($T_e=0.25\text{sec}$).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

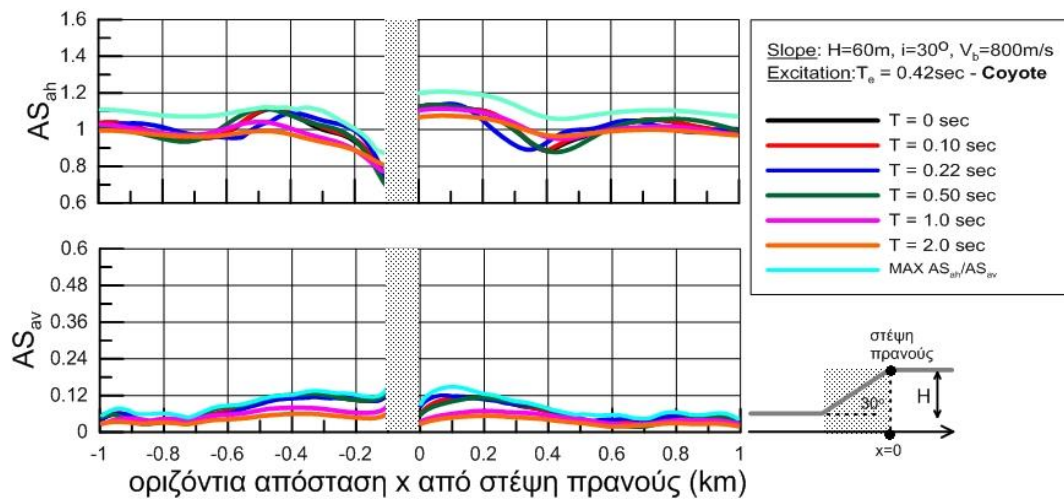
ΠΛΗΡΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται τα πλήρη αποτελέσματα των αναλύσεων που αντιστοιχούν στο κεφάλαιο 4 (4 περιπτώσεις πρανών, 10 διεγέρσεις ανά πρανή, 2 τύποι σχημάτων ανά συνδυασμό πρανούς διεγερσης, συνολικά 80 σχήματα). Προς αποφυγήν της επανάληψης και για λόγους συντομίας παραλείπεται η λεζάντα των σχημάτων και γίνεται απλή αρίθμηση αυτών. Υπενθυμίζεται ότι η απόσβεση των κατασκευών λαμβάνεται ίση με 5%.

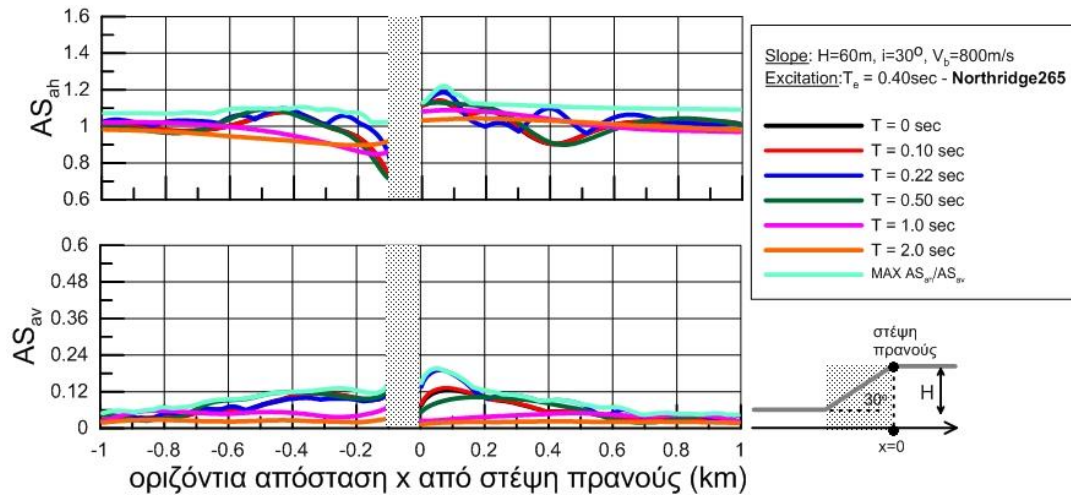
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$



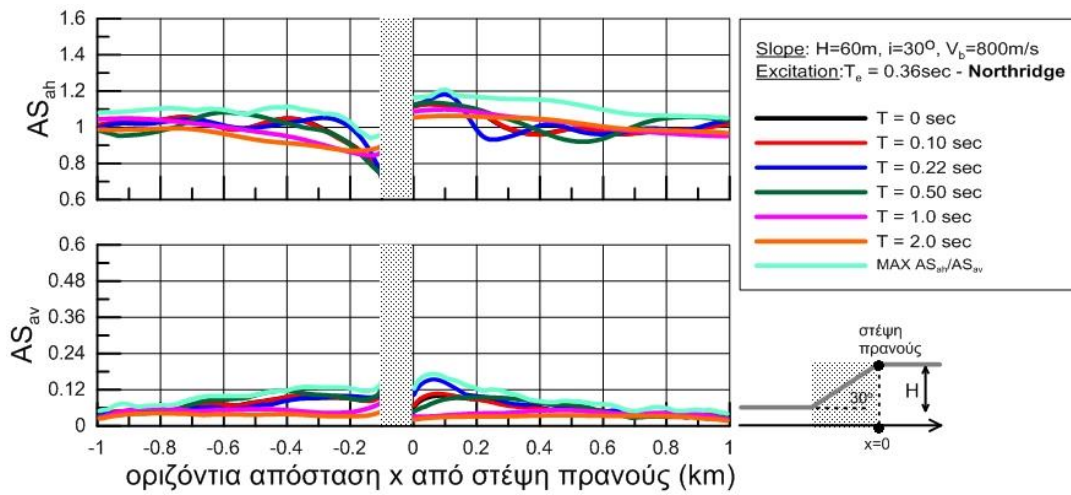
Σχήμα Β.1



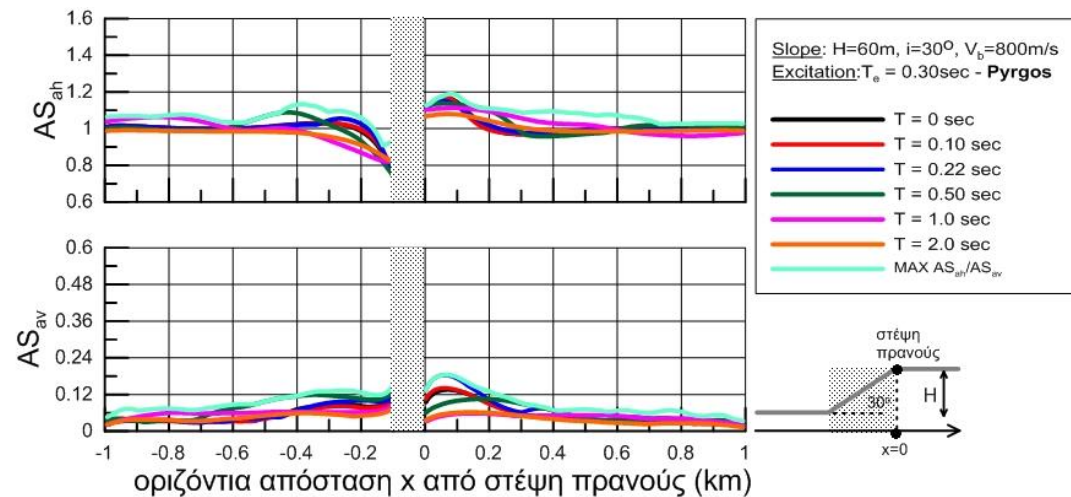
Σχήμα Β.2



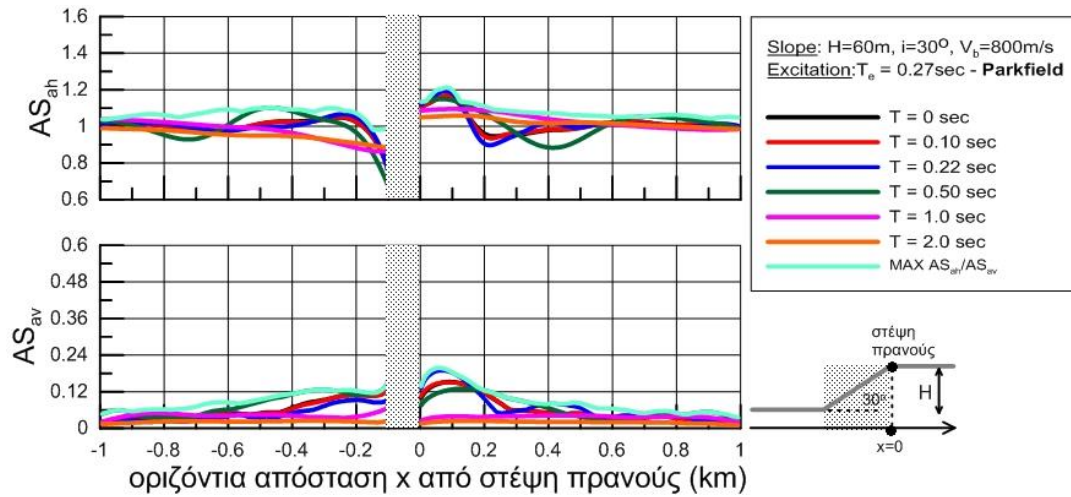
Σχήμα Β.3



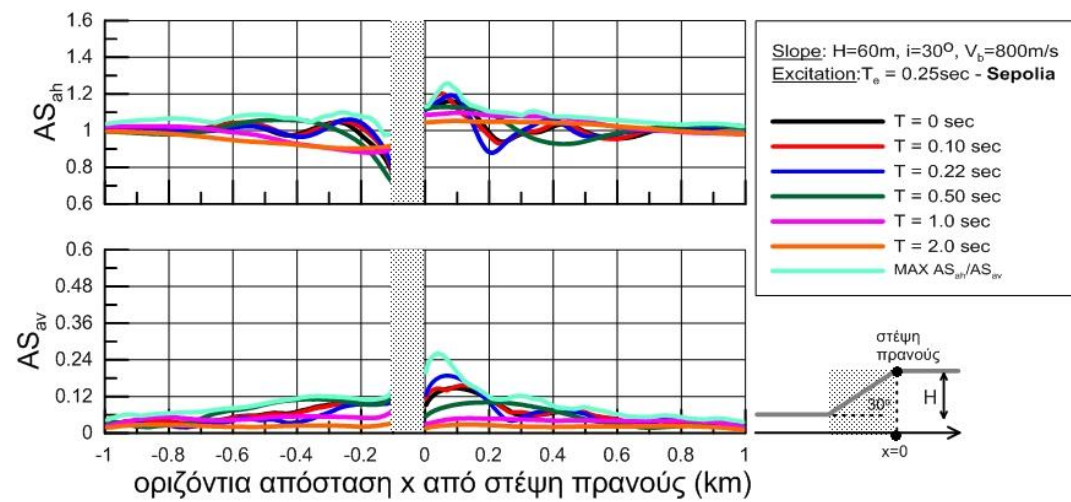
Σχήμα Β.4



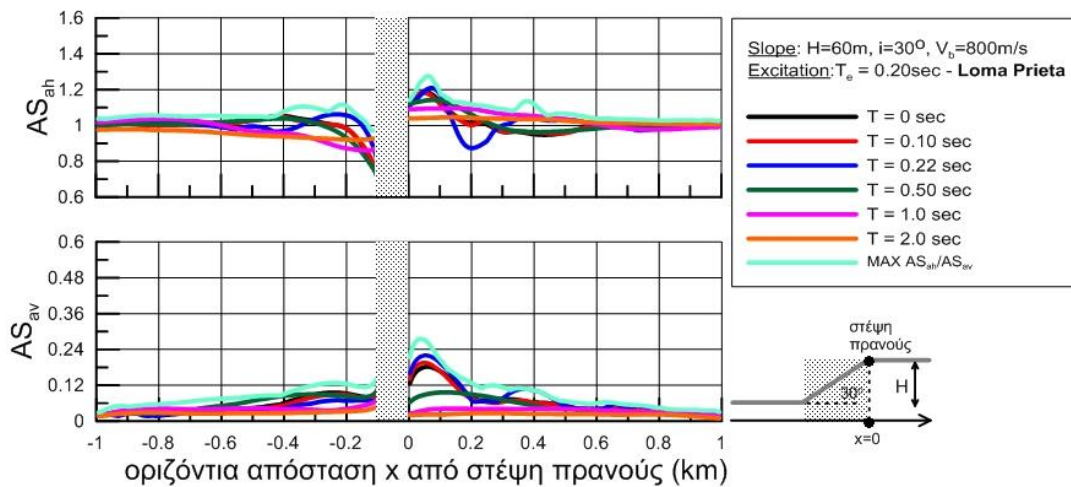
Σχήμα Β.5



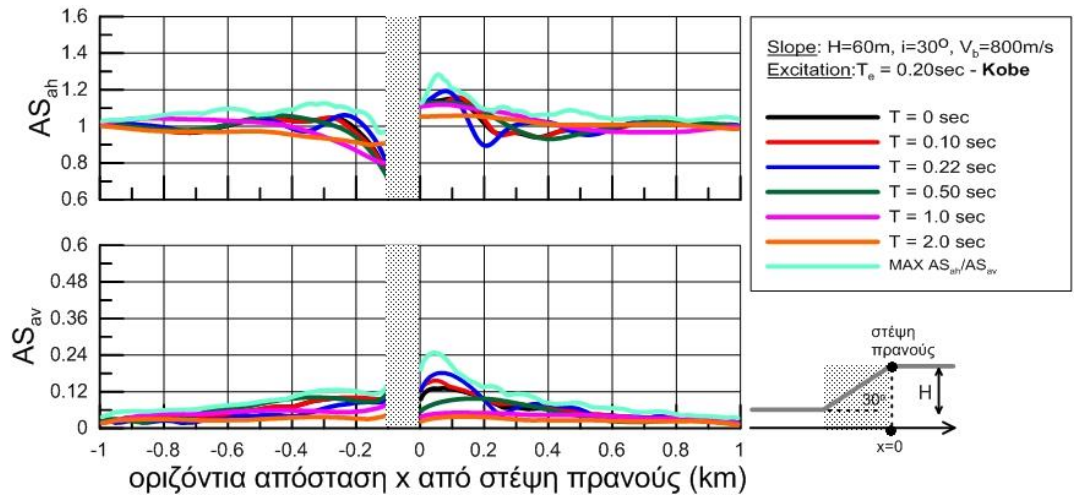
Σχήμα Β.6



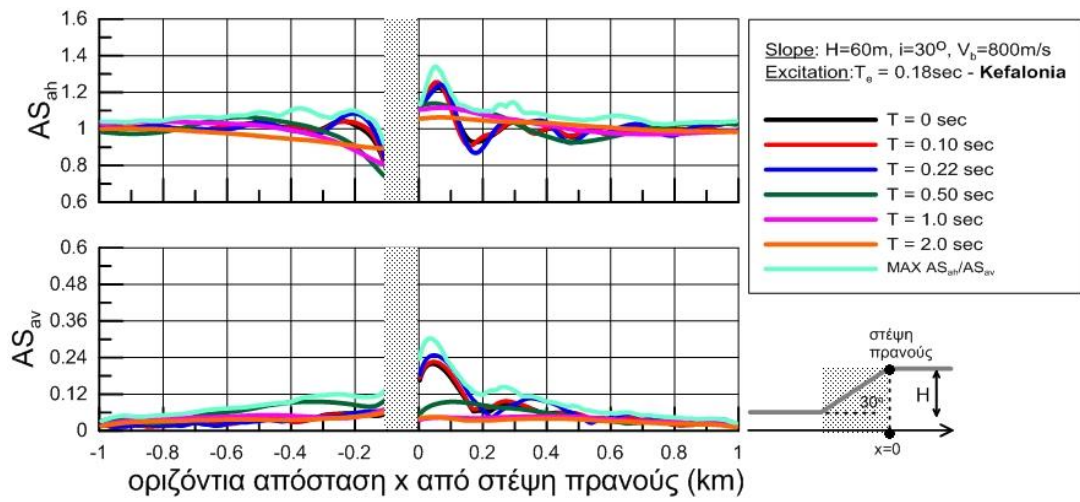
Σχήμα Β.7



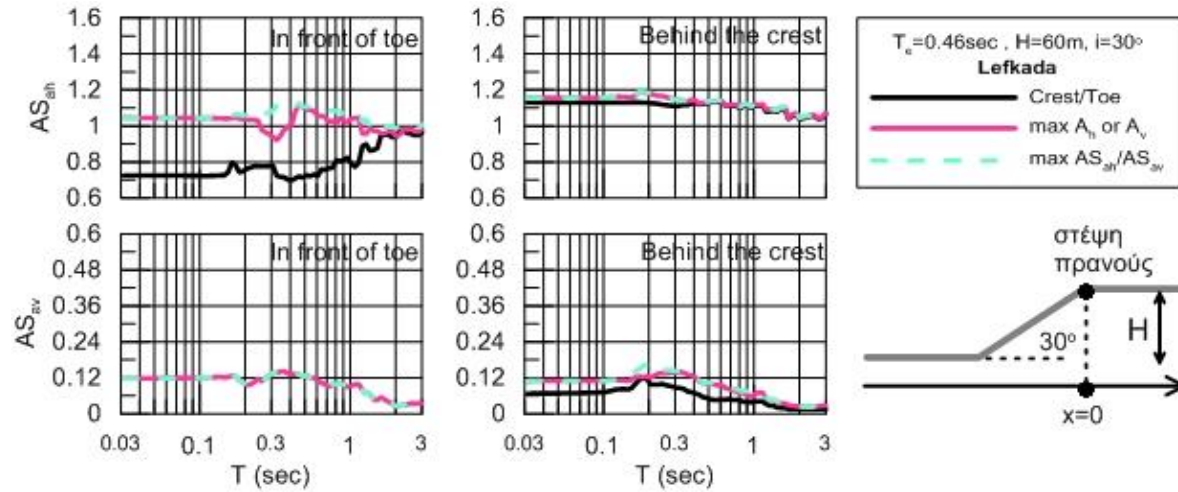
Σχήμα Β.8



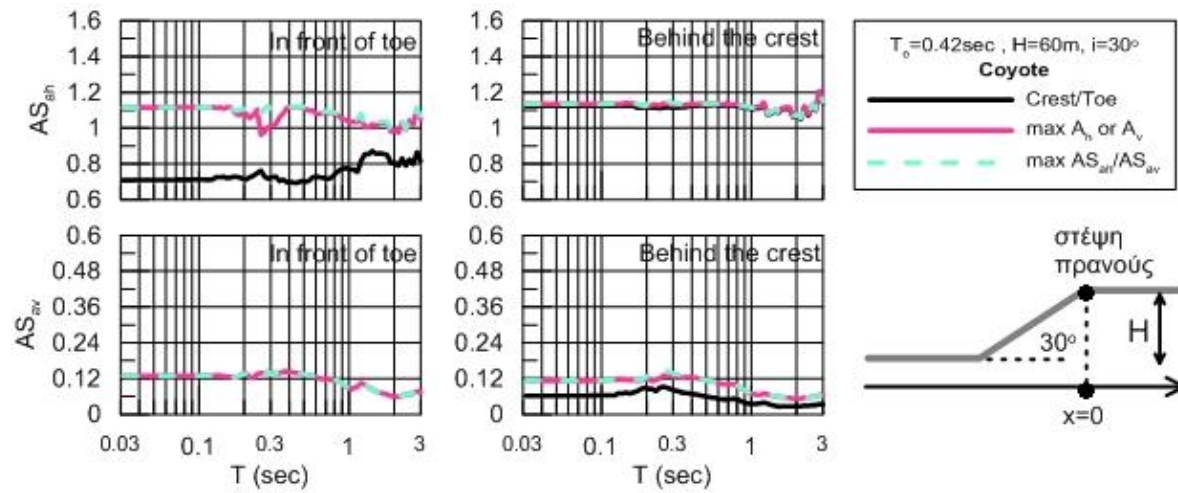
Σχήμα Β.9



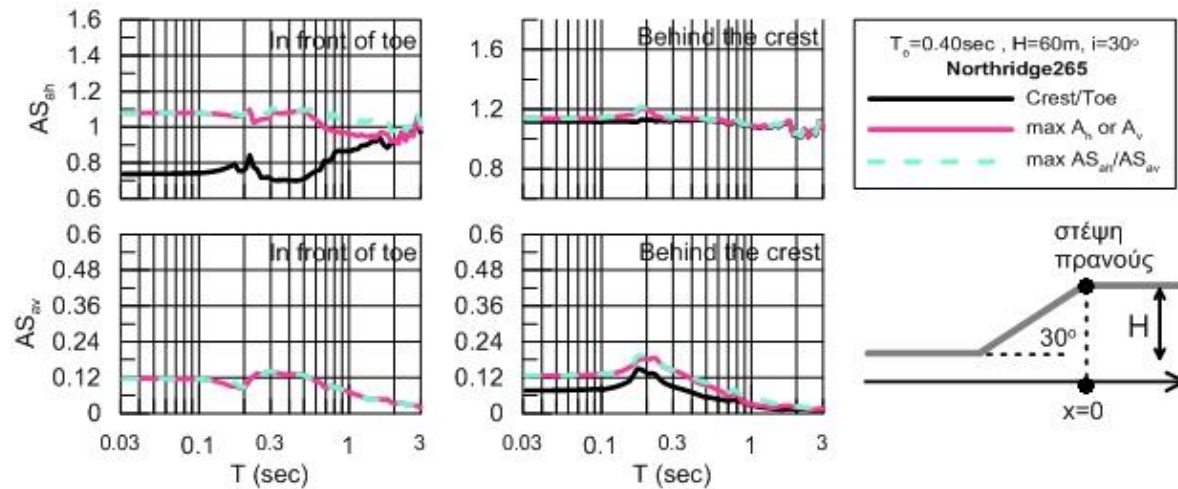
Σχήμα Β.10



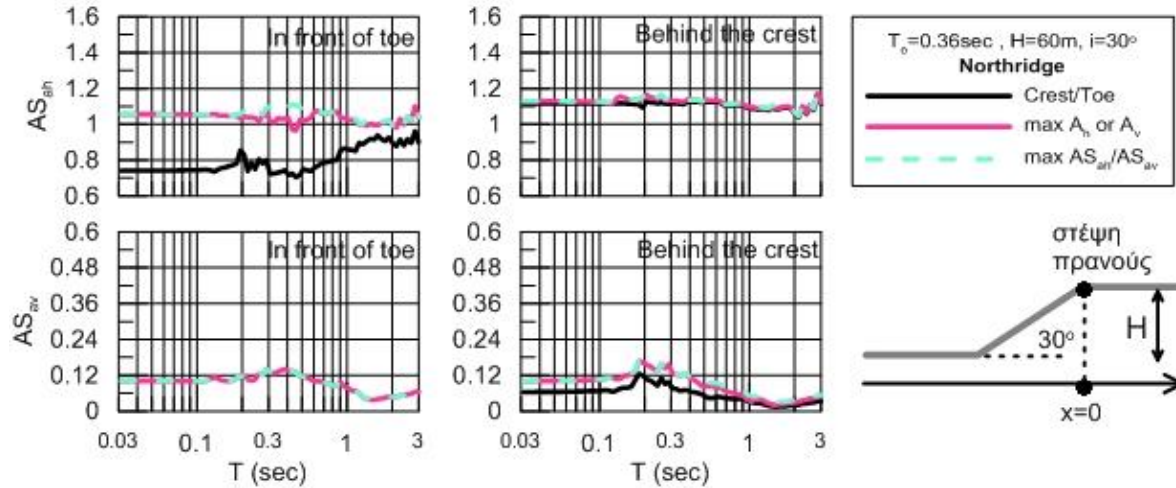
Σχήμα Β.11



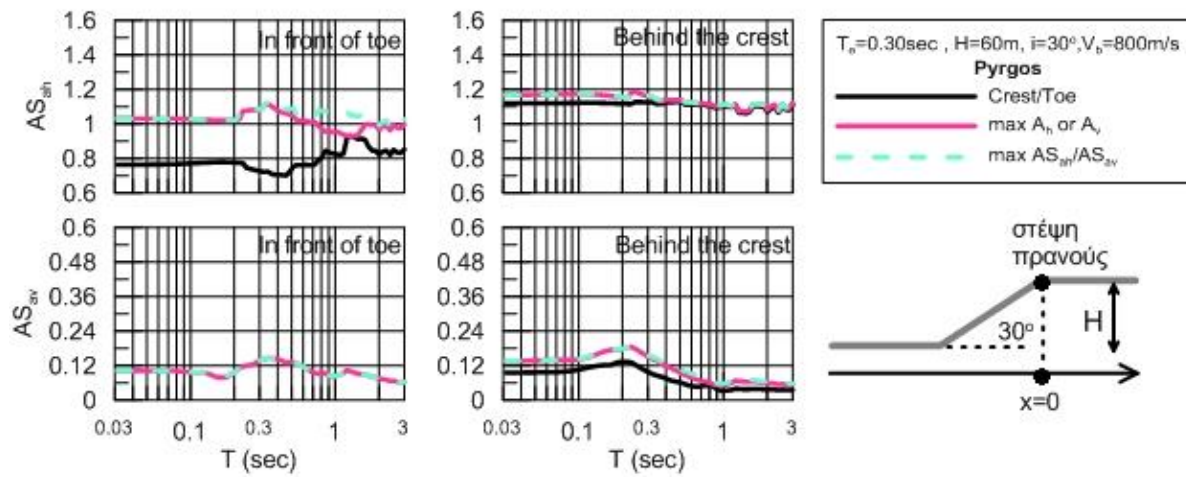
Σχήμα Β.12



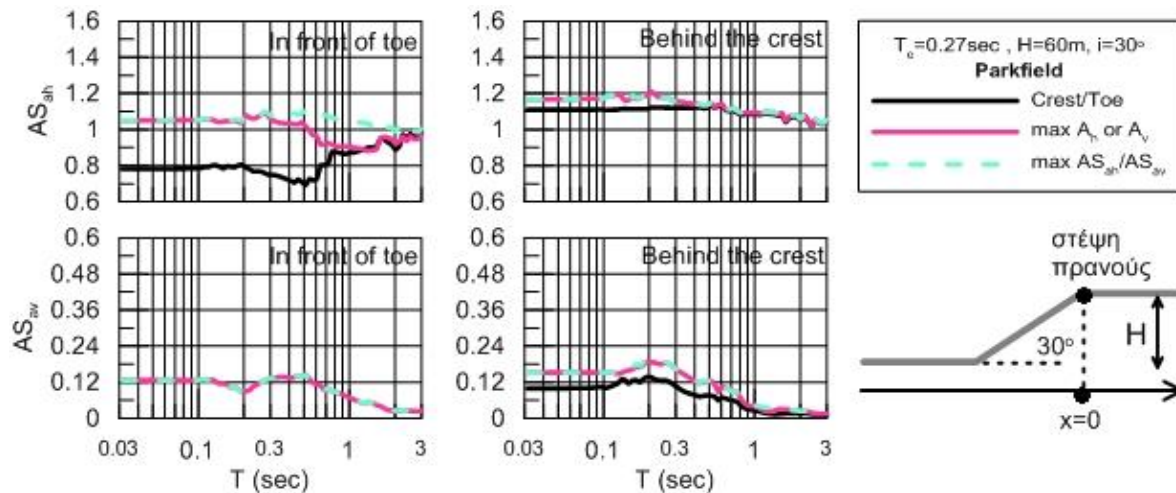
Σχήμα Β.13



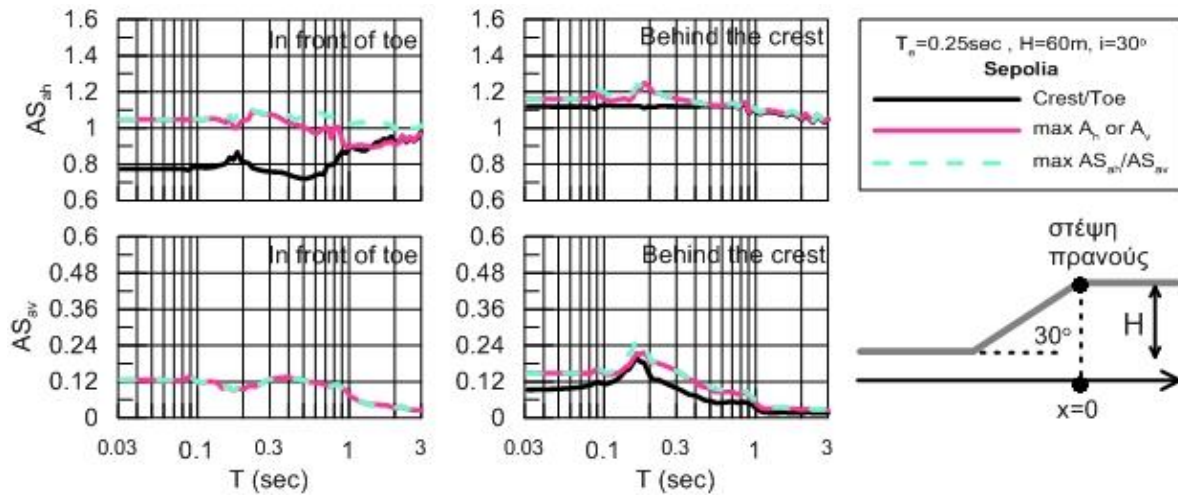
Σχήμα Β.14



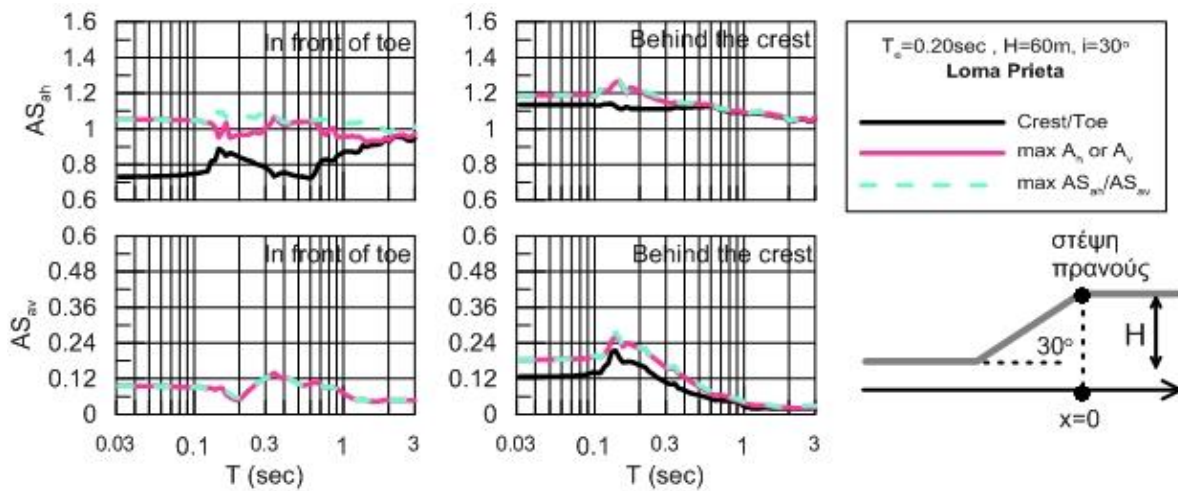
Σχήμα Β.15



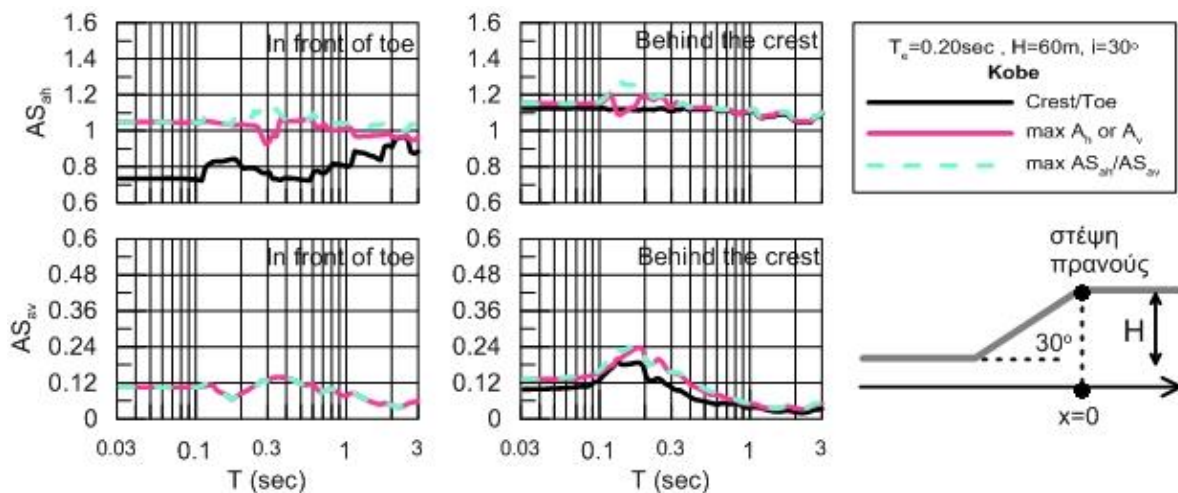
Σχήμα Β.16



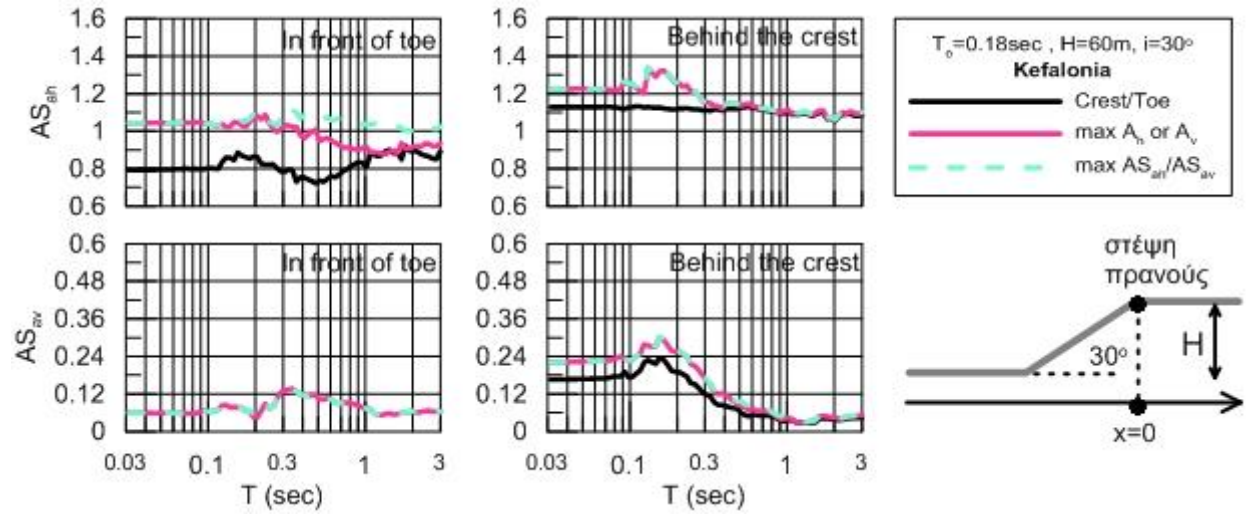
Σχήμα Β.17



Σχήμα Β.18

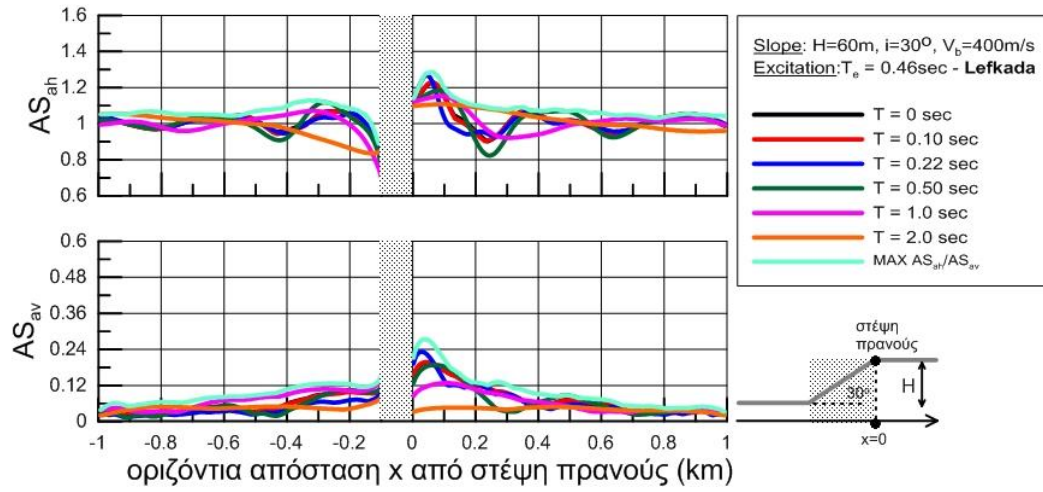


Σχήμα Β.19

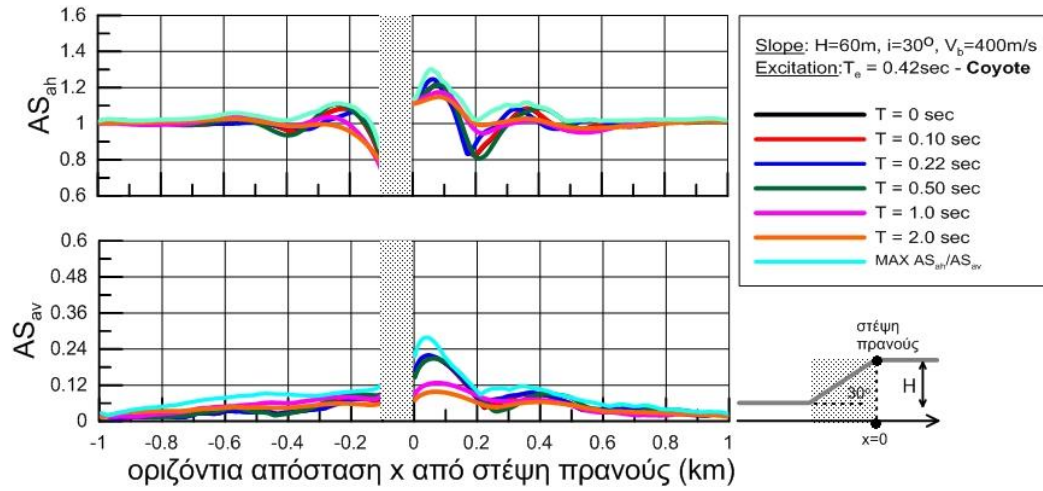


Σχήμα Β.20

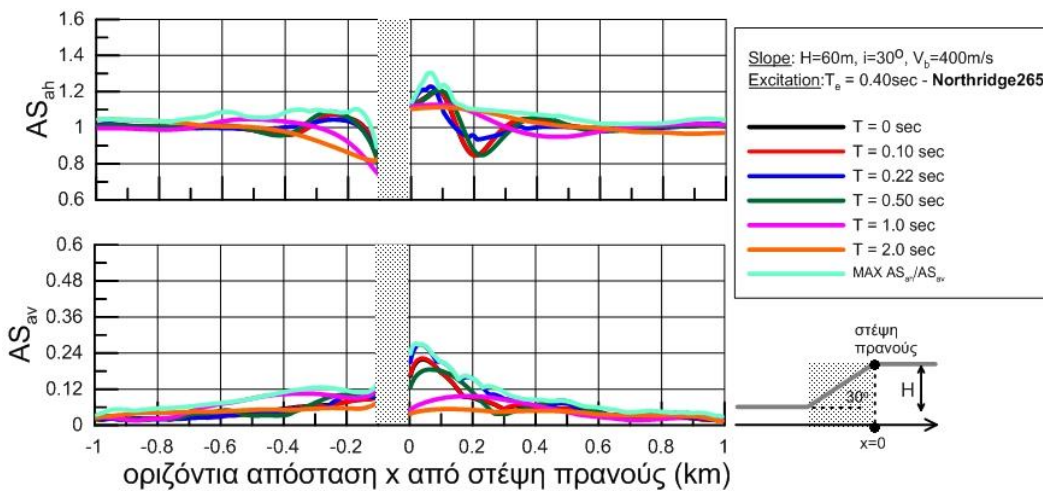
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$



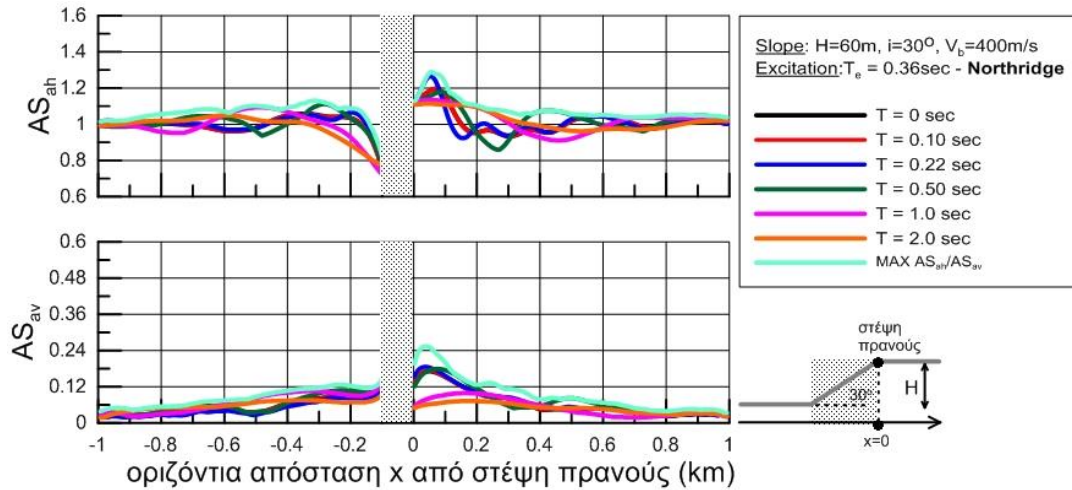
Σχήμα B.21



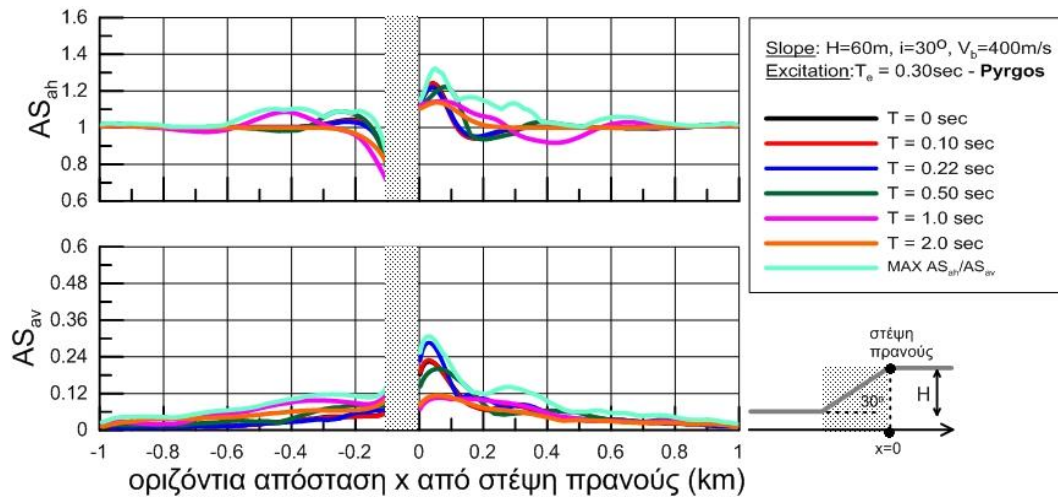
Σχήμα B.22



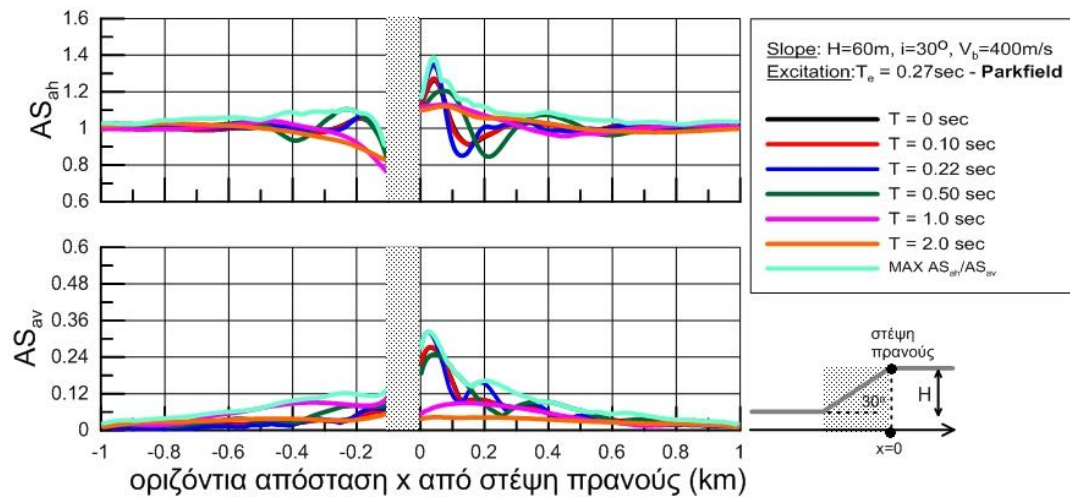
Σχήμα B.23



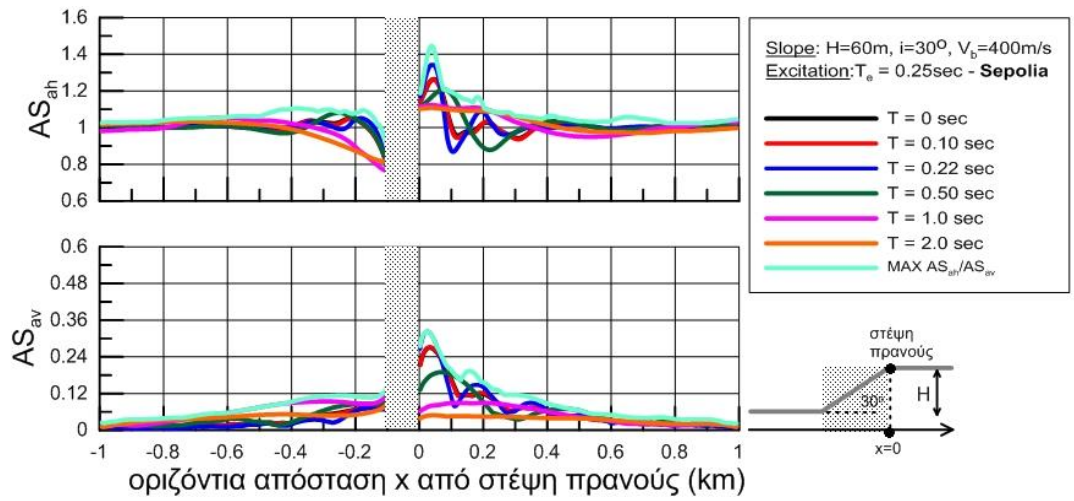
Σχήμα B.24



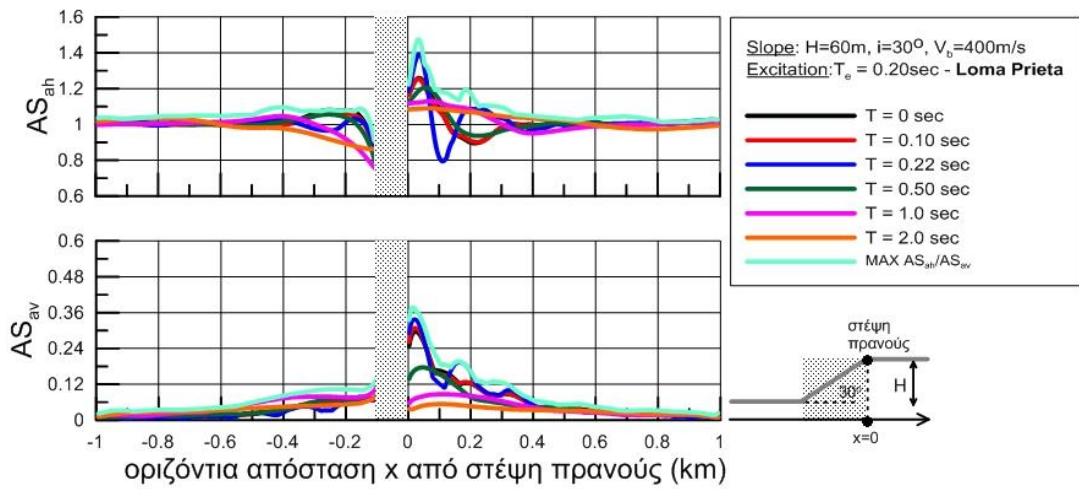
Σχήμα B.25



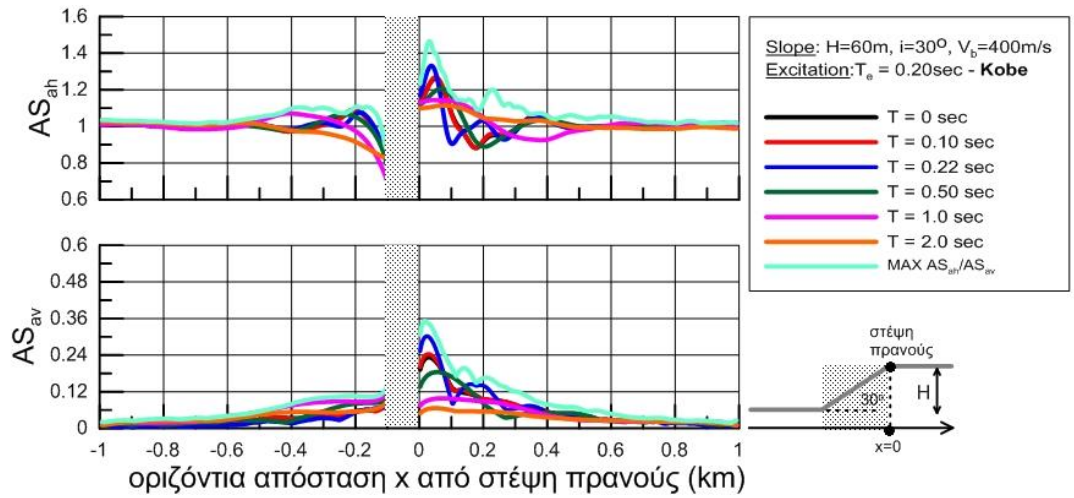
Σχήμα B.26



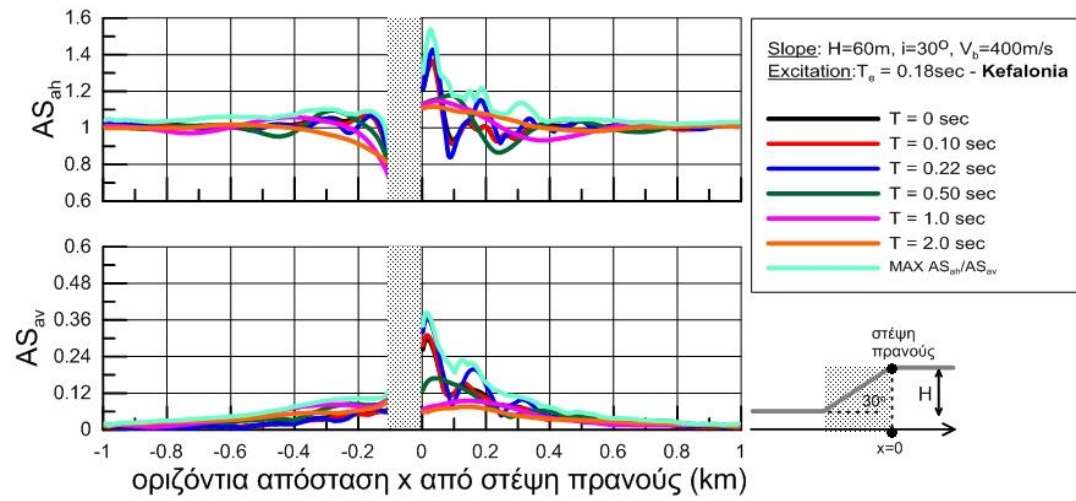
Σχήμα B.27



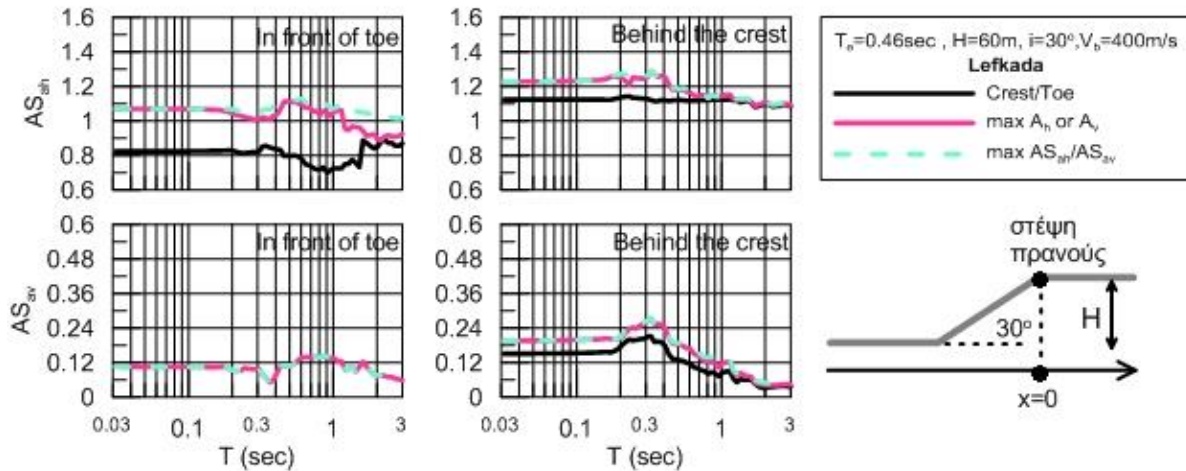
Σχήμα B.28



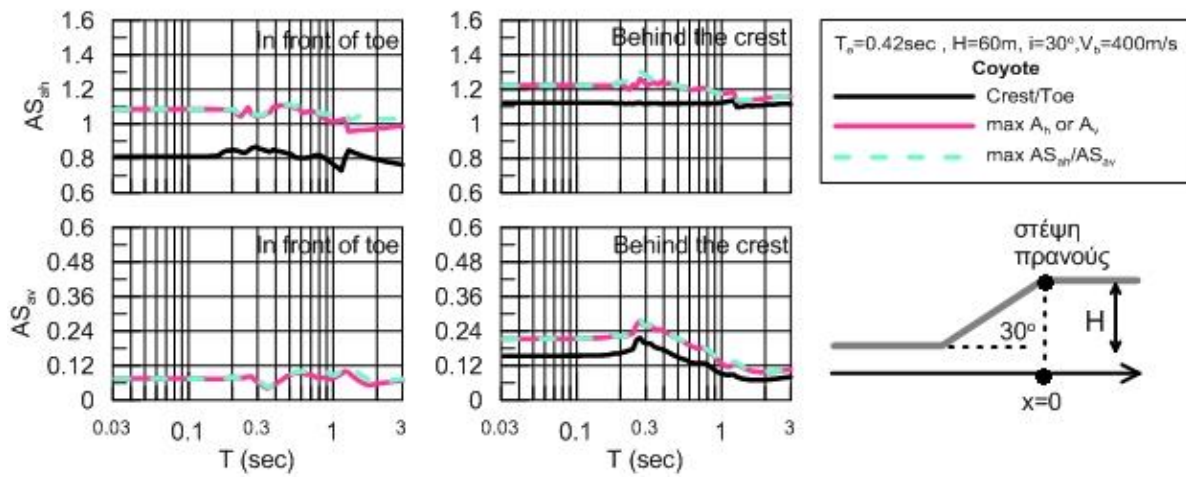
Σχήμα B.29



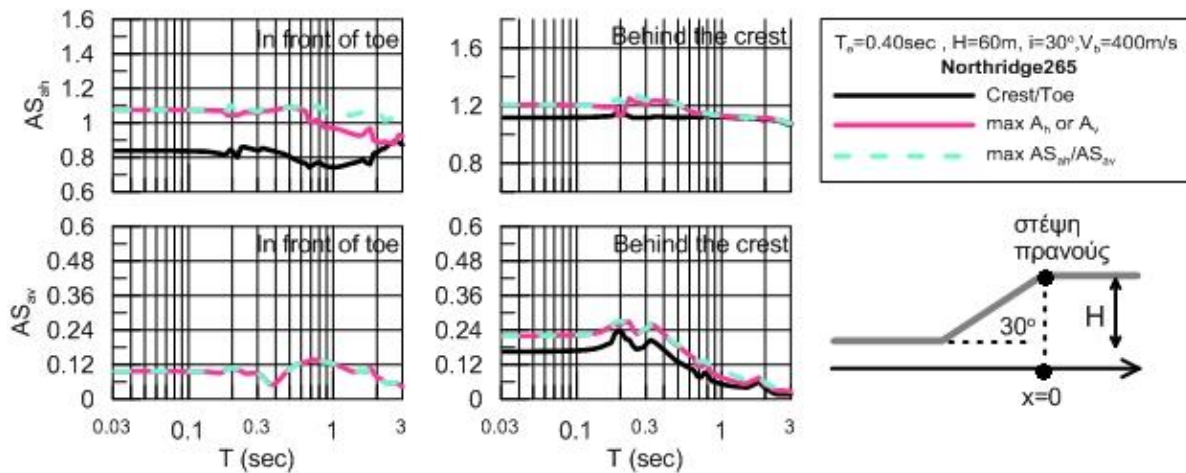
Σχήμα Β.30



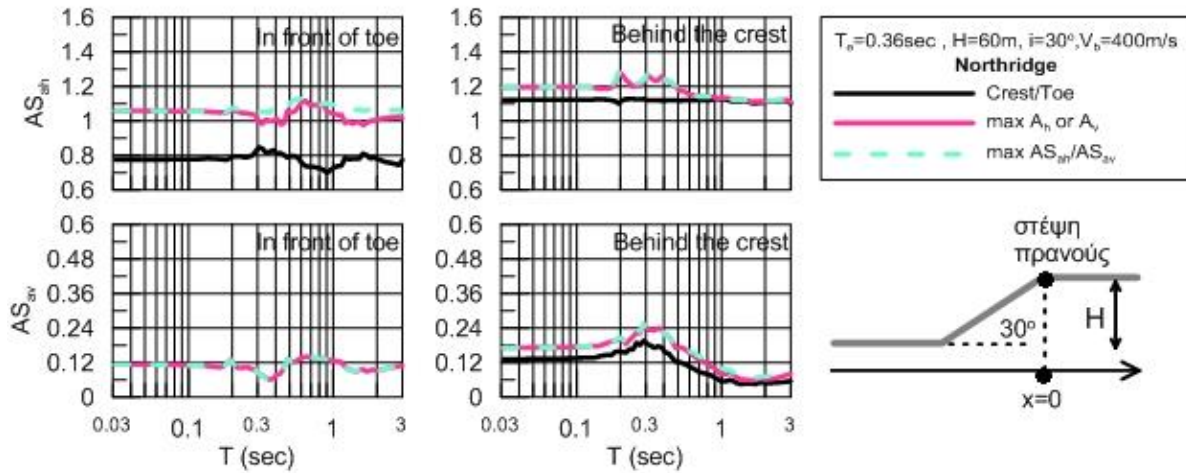
Σχήμα Β.31



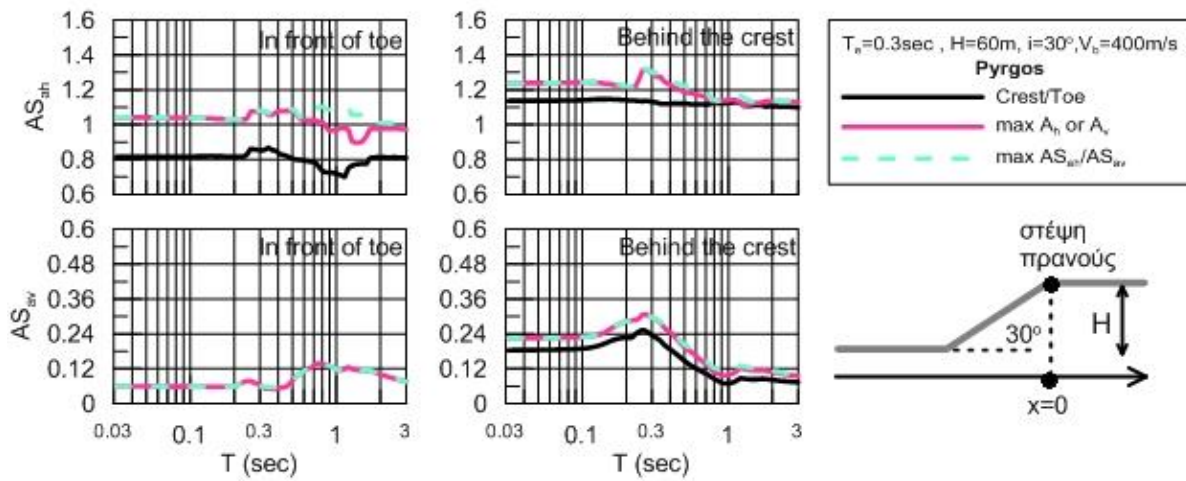
Σχήμα Β.32



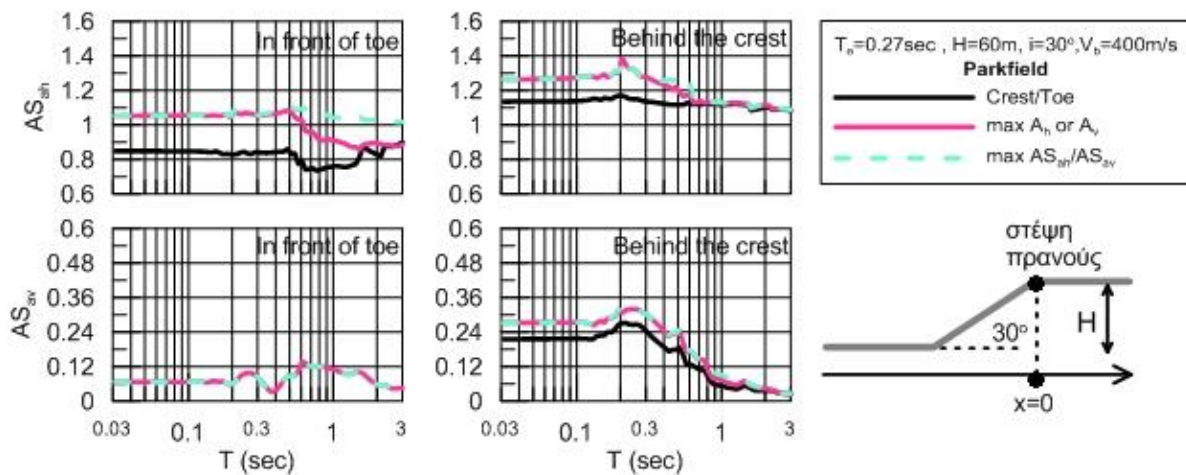
Σχήμα Β.33



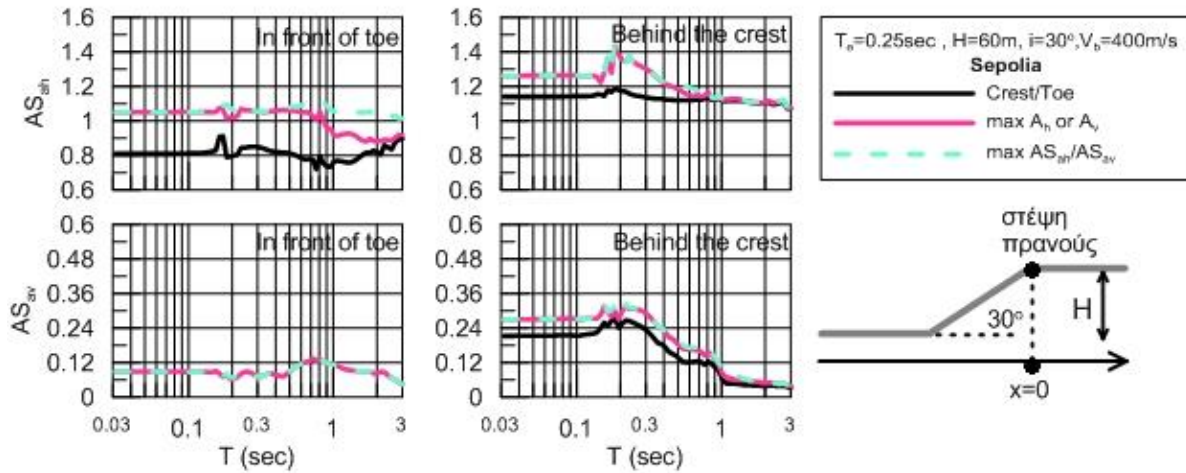
Σχήμα Β.34



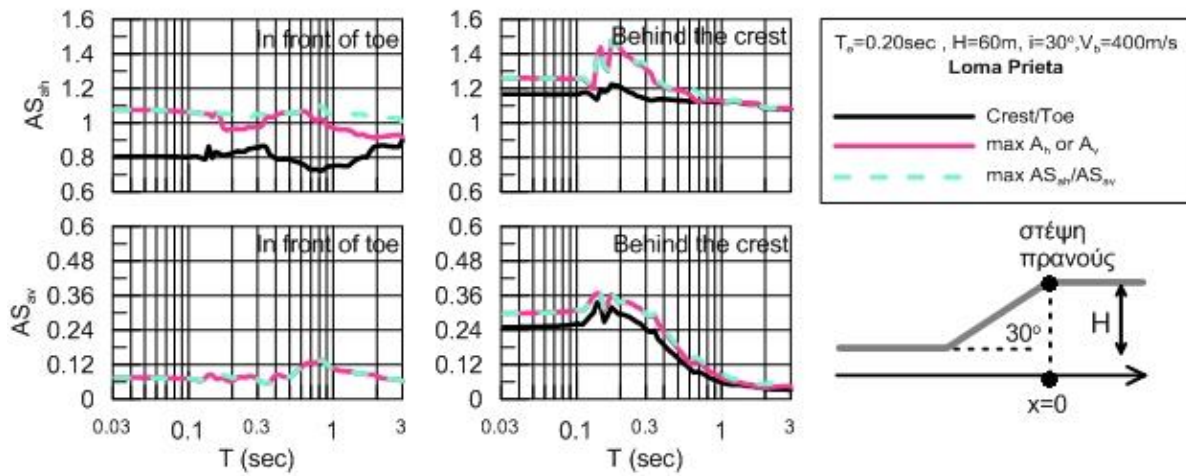
Σχήμα Β.35



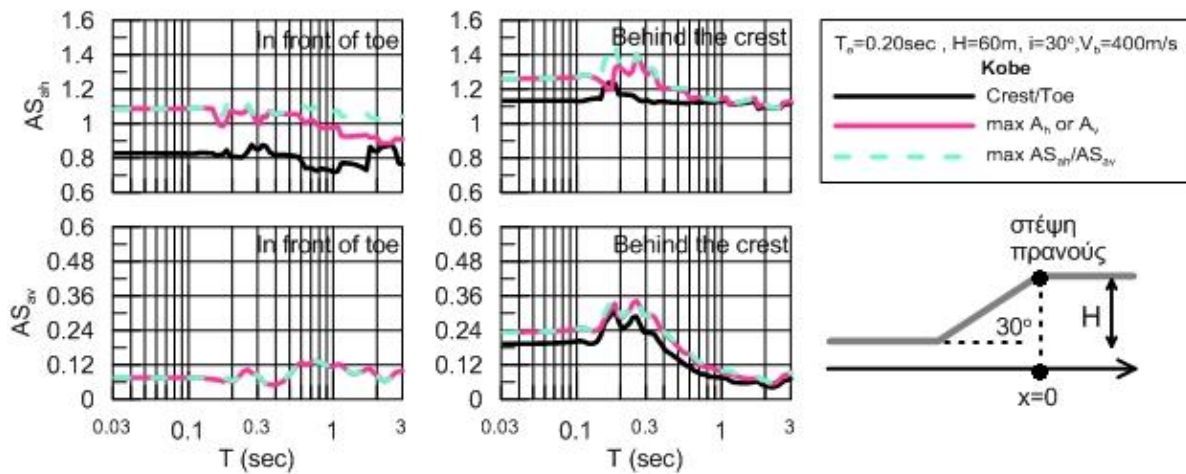
Σχήμα Β.36



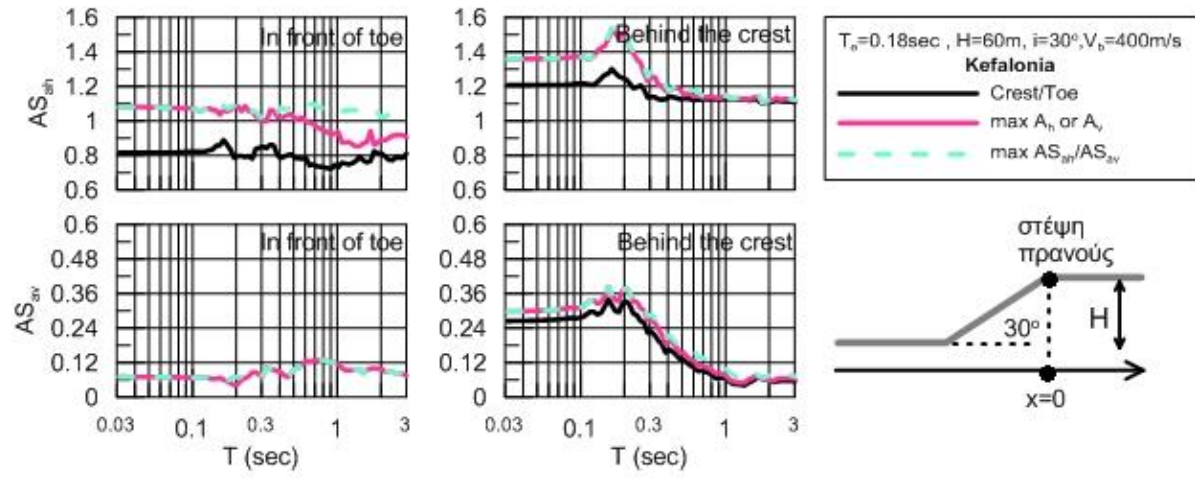
Σχήμα Β.37



Σχήμα Β.38

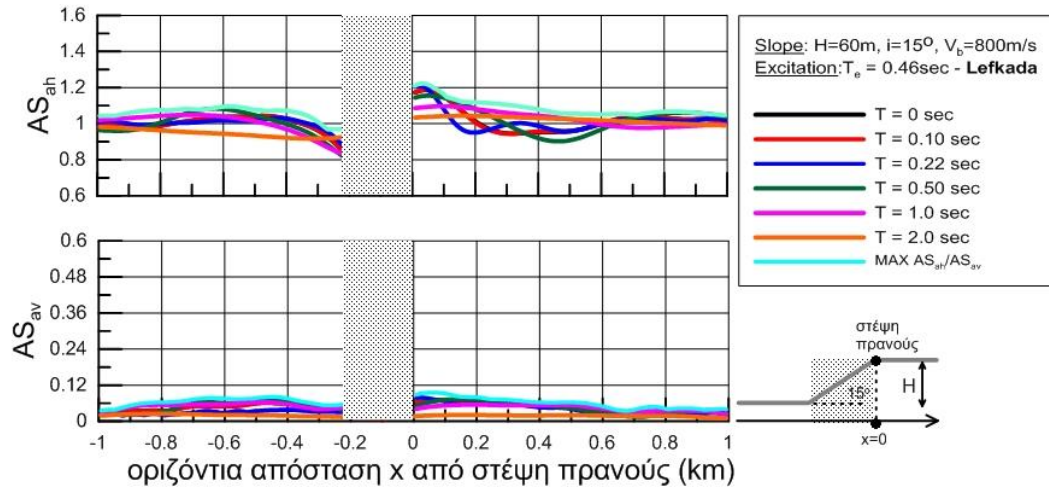


Σχήμα Β.39

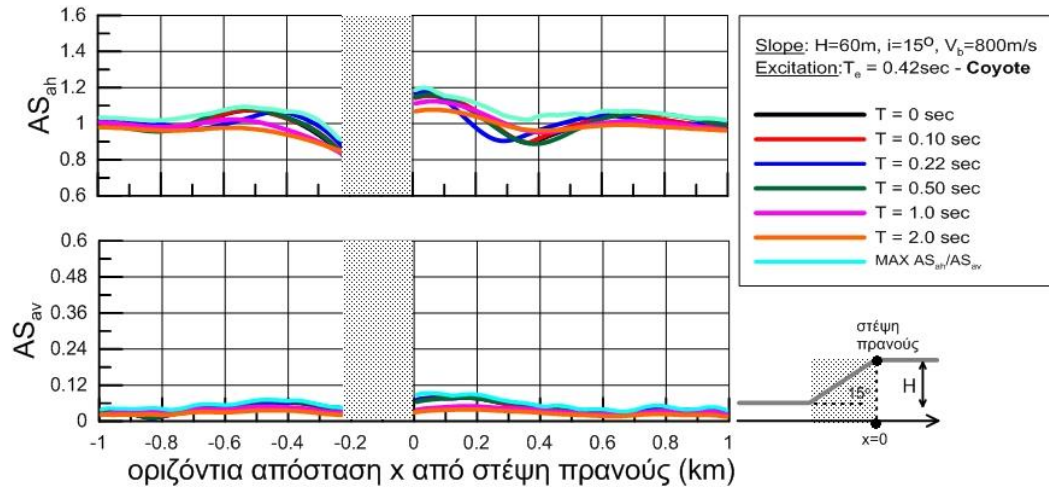


Σχήμα Β.40

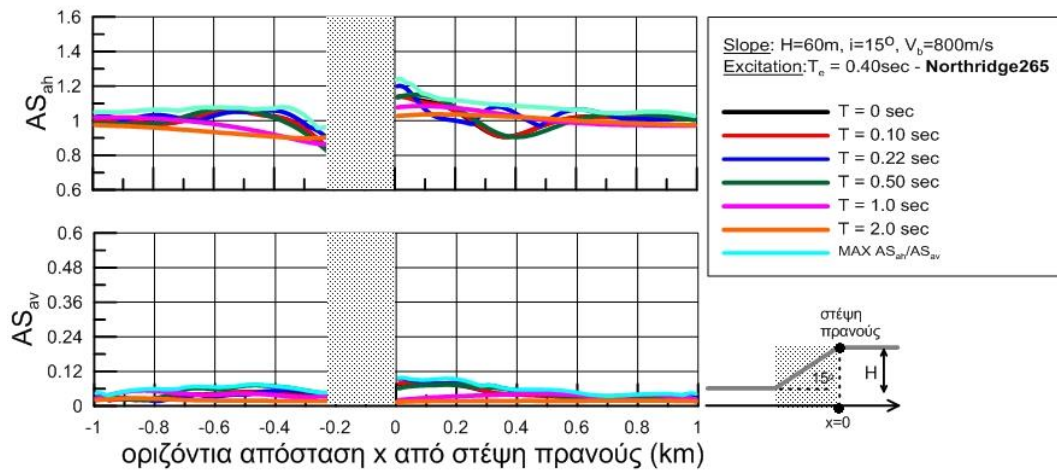
Πρανός: $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$



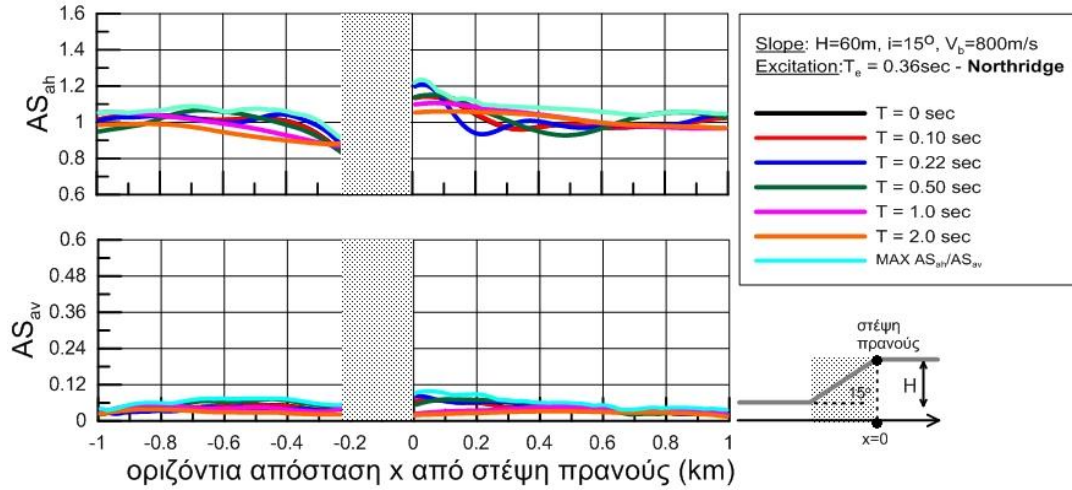
Σχήμα B.41



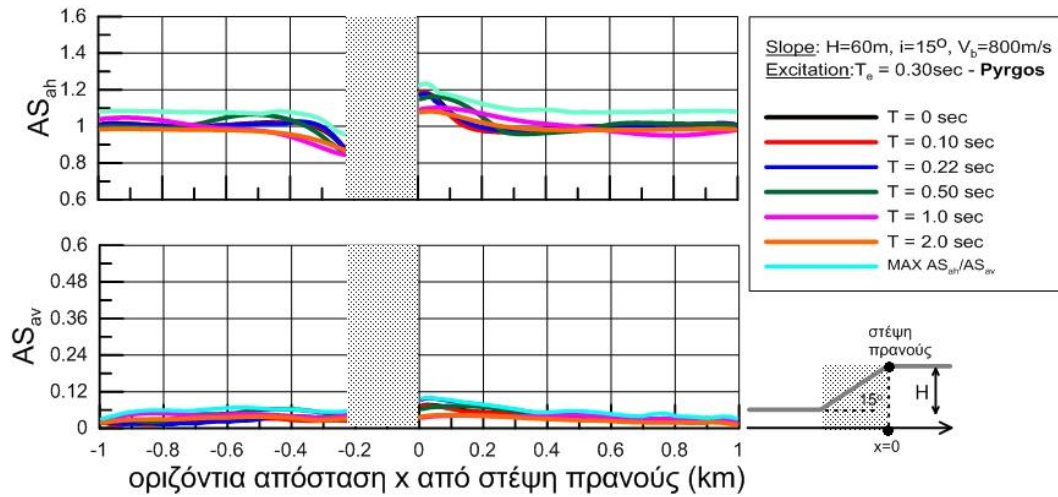
Σχήμα B.42



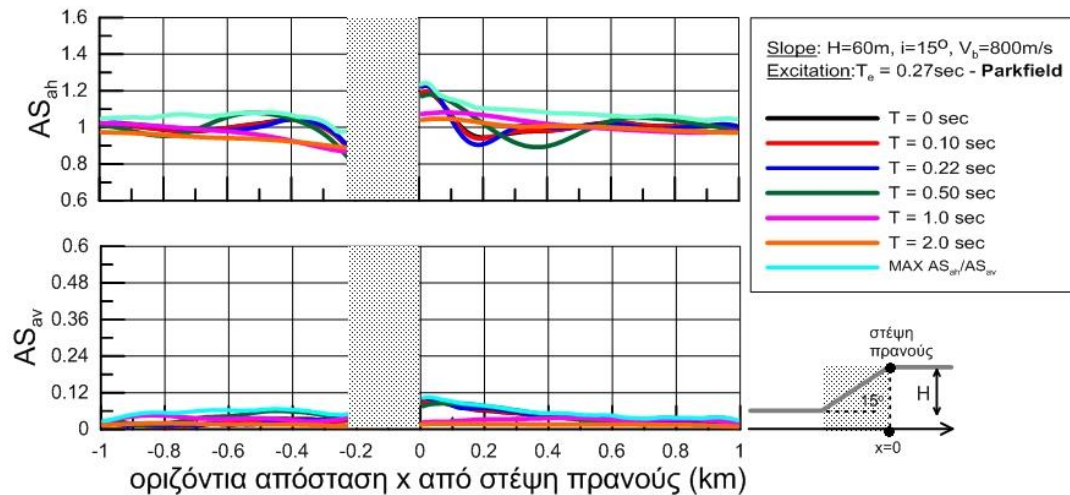
Σχήμα B.43



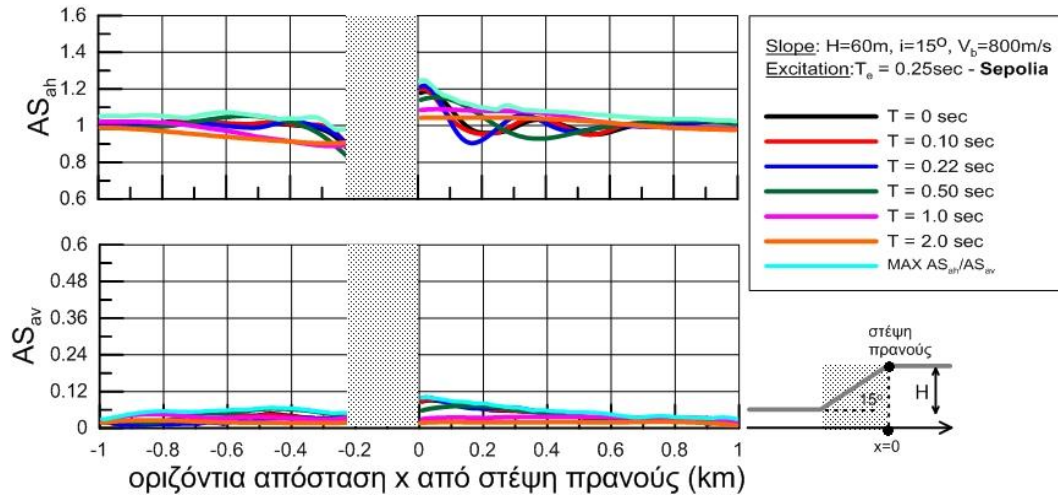
Σχήμα Β.44



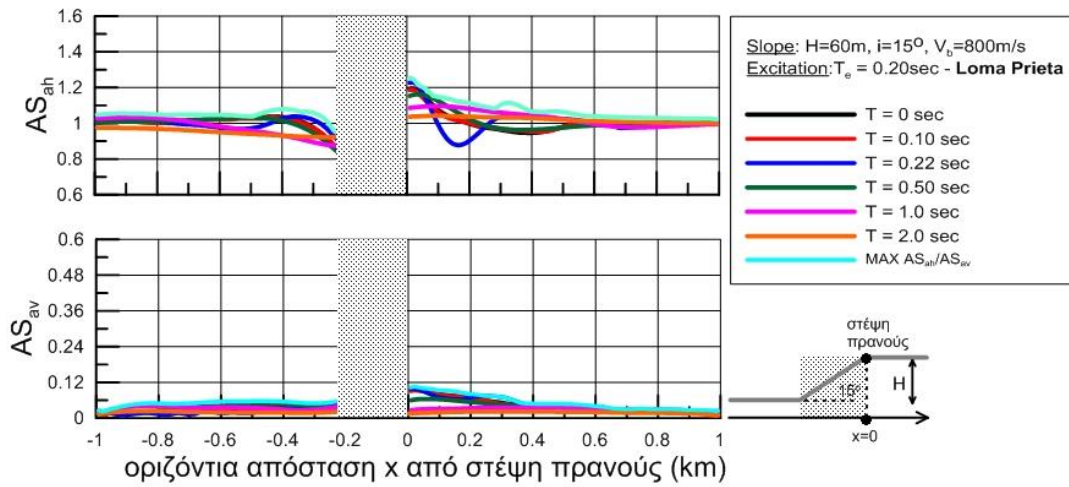
Σχήμα Β.45



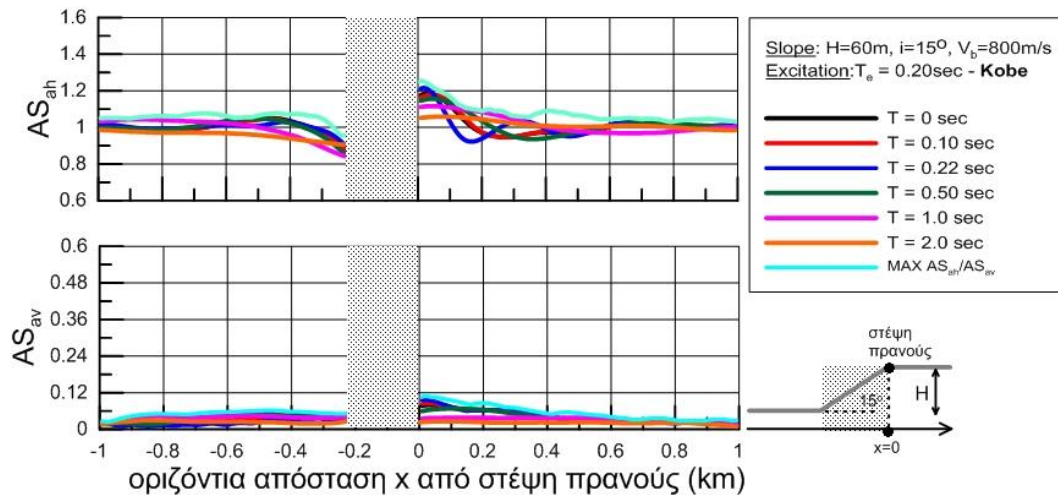
Σχήμα Β.46



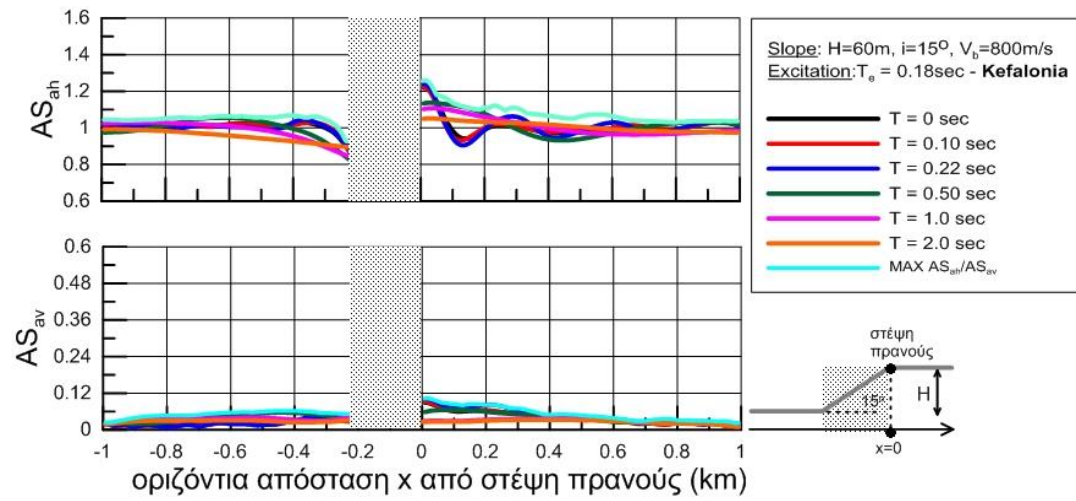
Σχήμα Β.47



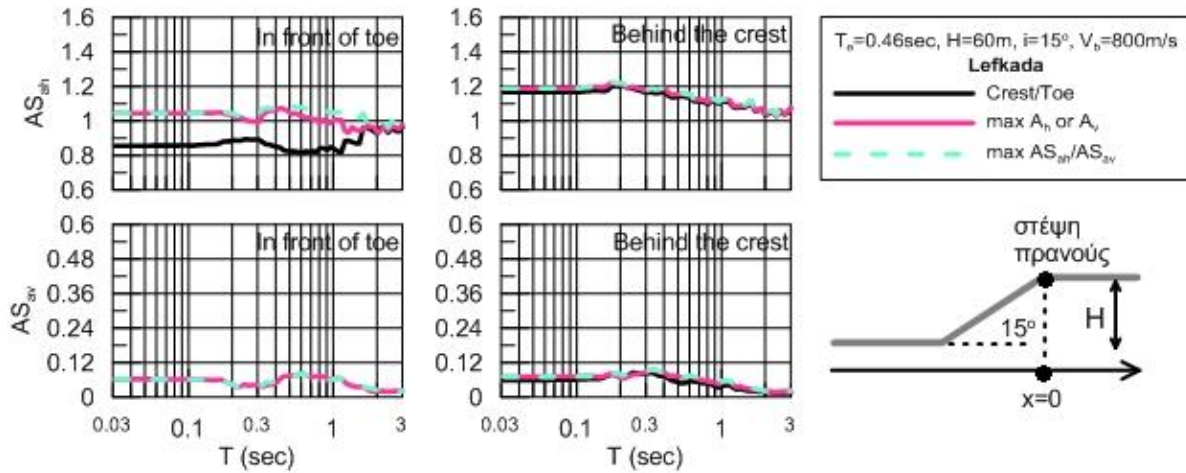
Σχήμα Β.48



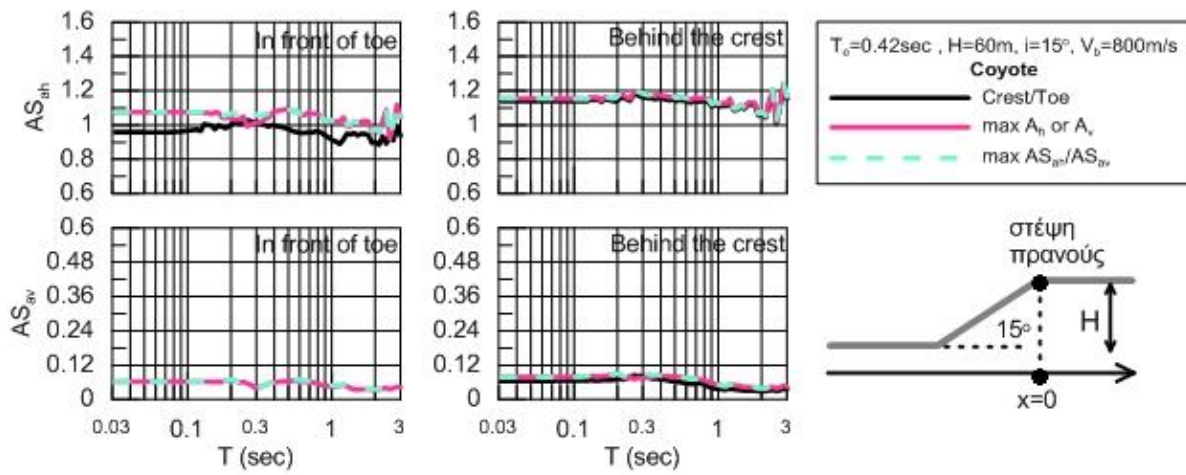
Σχήμα Β.49



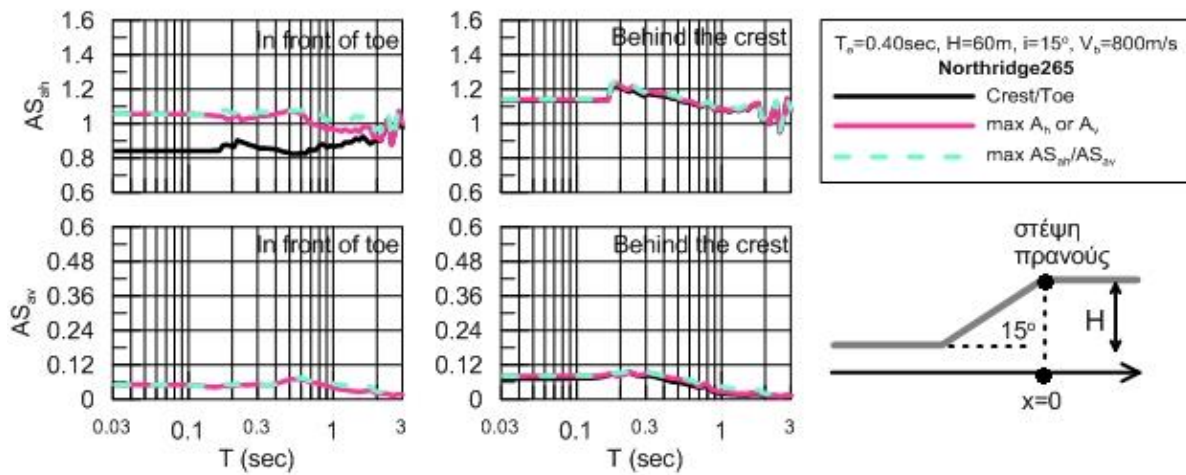
Σχήμα Β.50



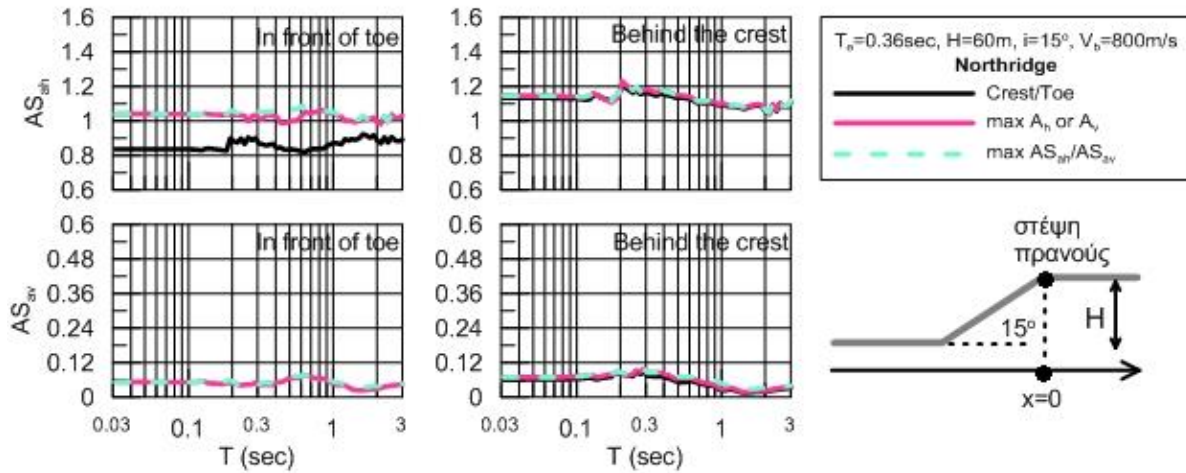
Σχήμα Β.51



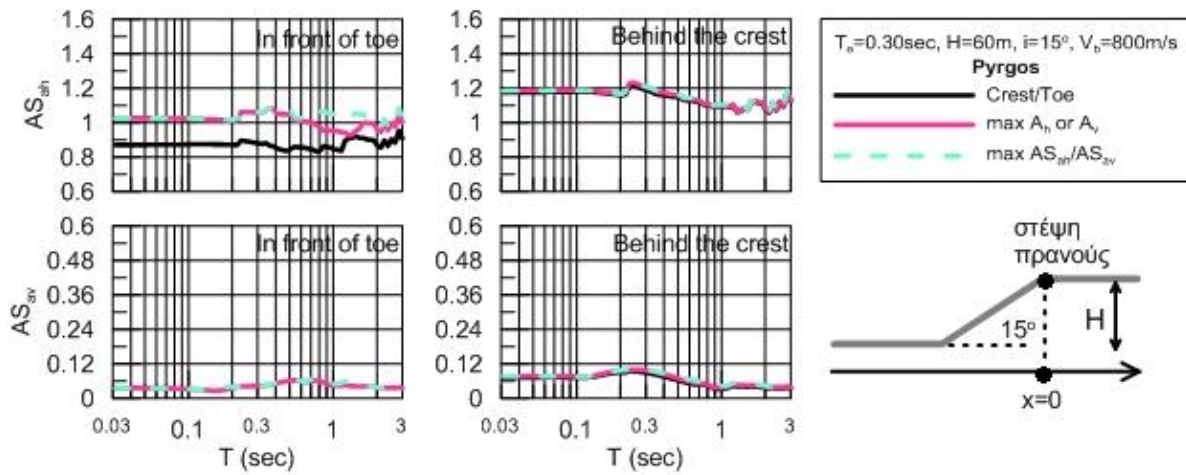
Σχήμα Β.52



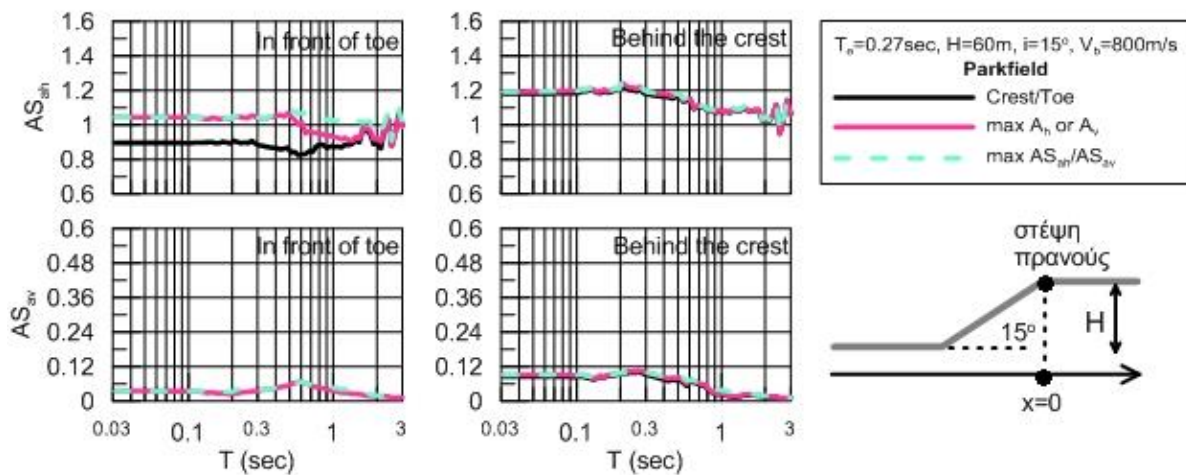
Σχήμα Β.53



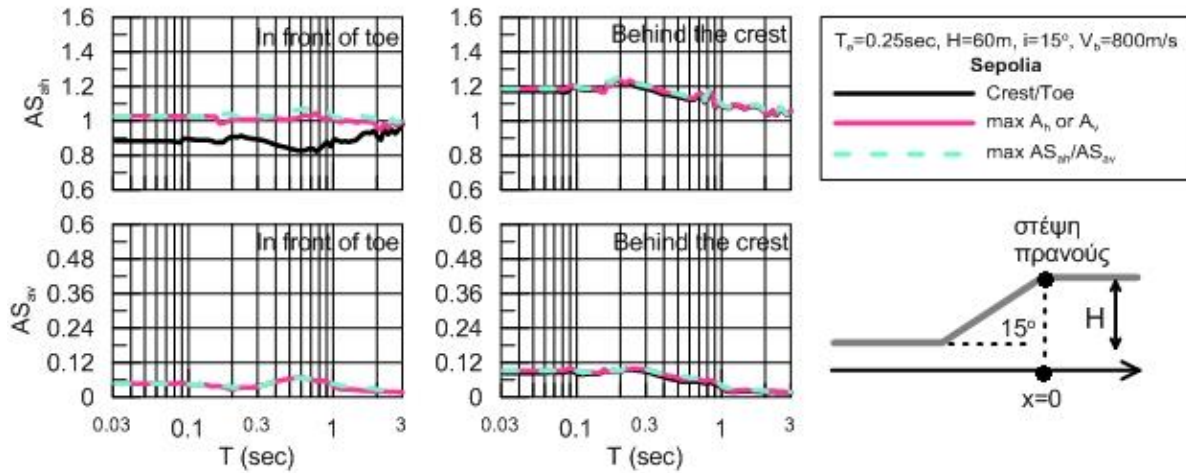
Σχήμα B.54



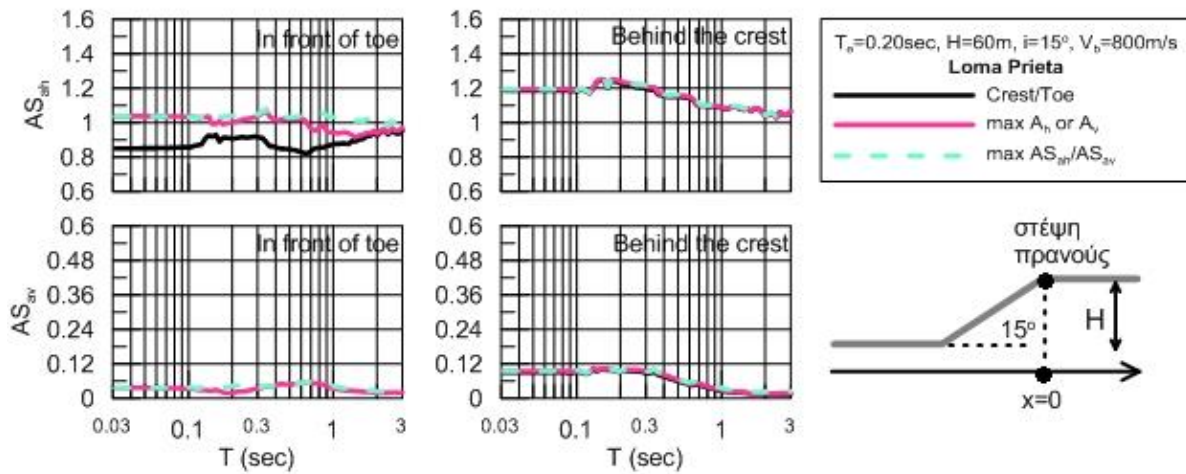
Σχήμα B.55



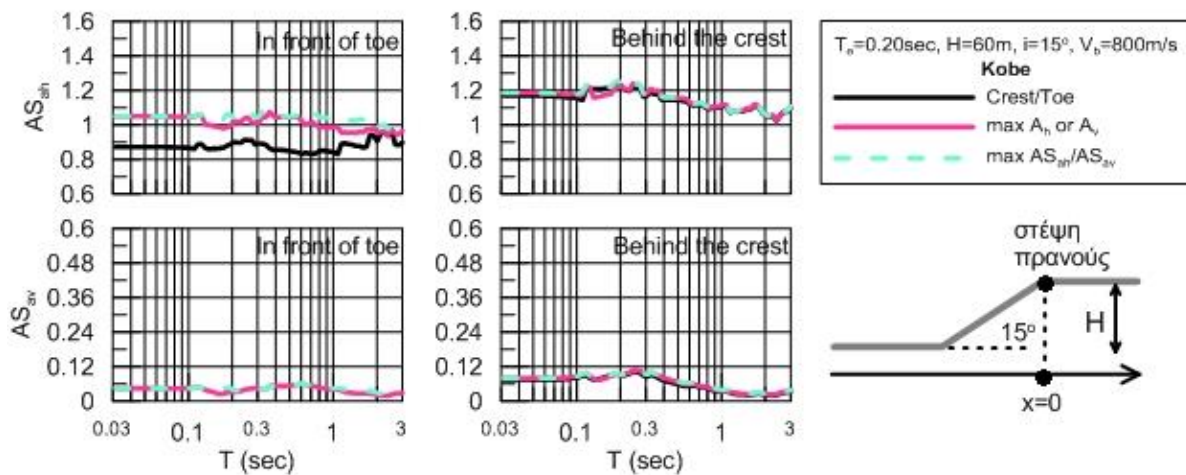
Σχήμα B.56



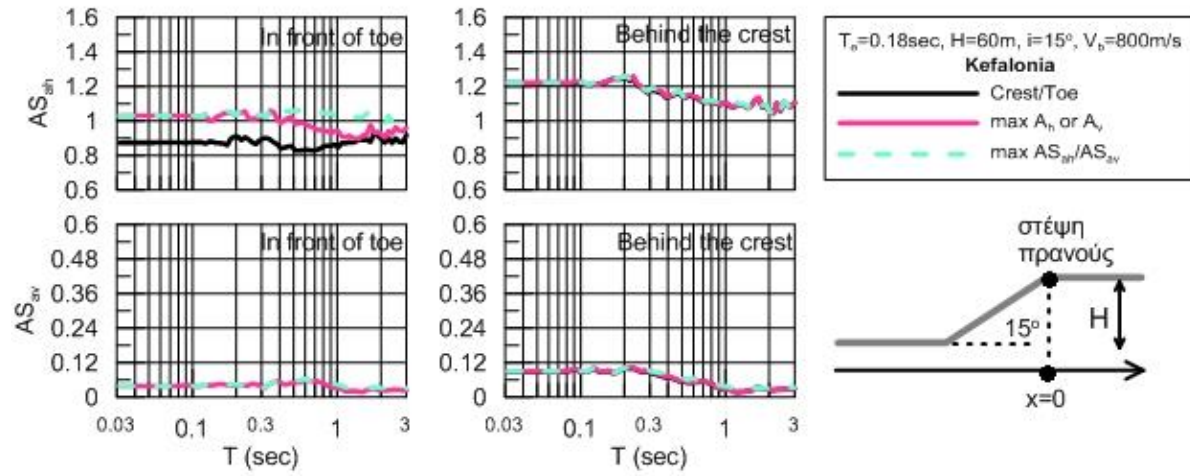
Σχήμα B.57



Σχήμα B.58

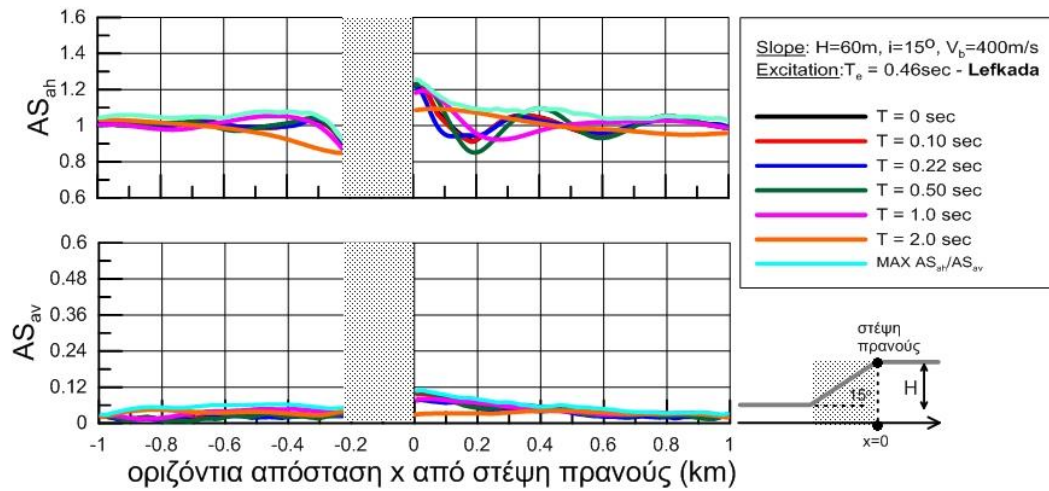


Σχήμα B.59

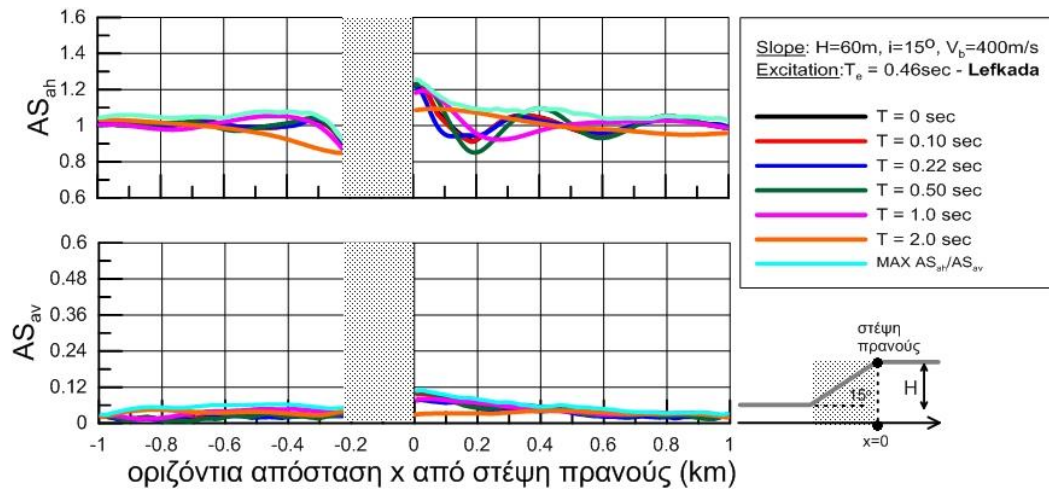


Σχήμα Β.60

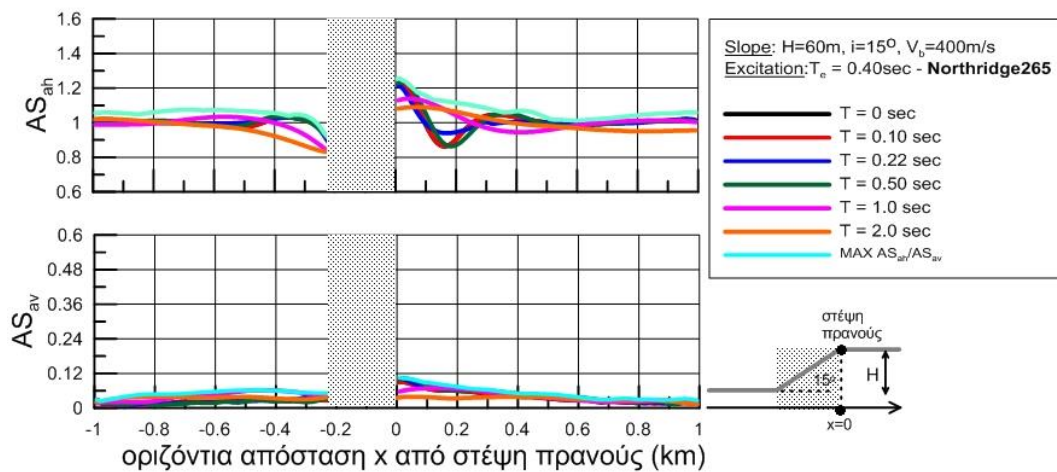
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$



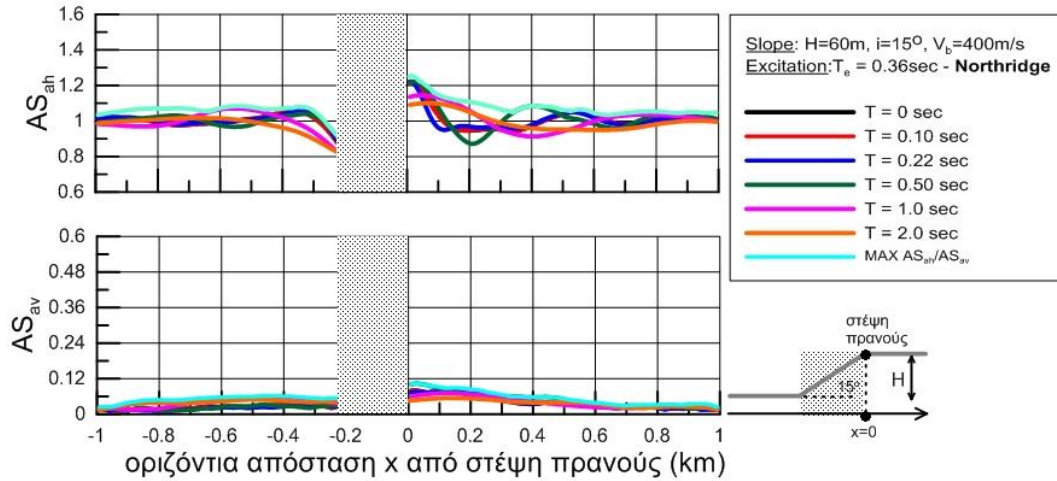
Σχήμα B.61



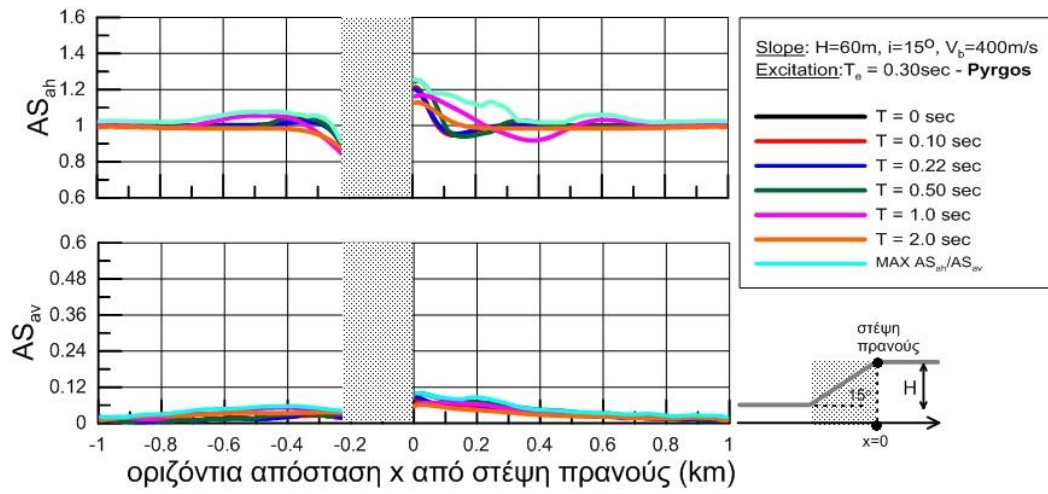
Σχήμα B.62



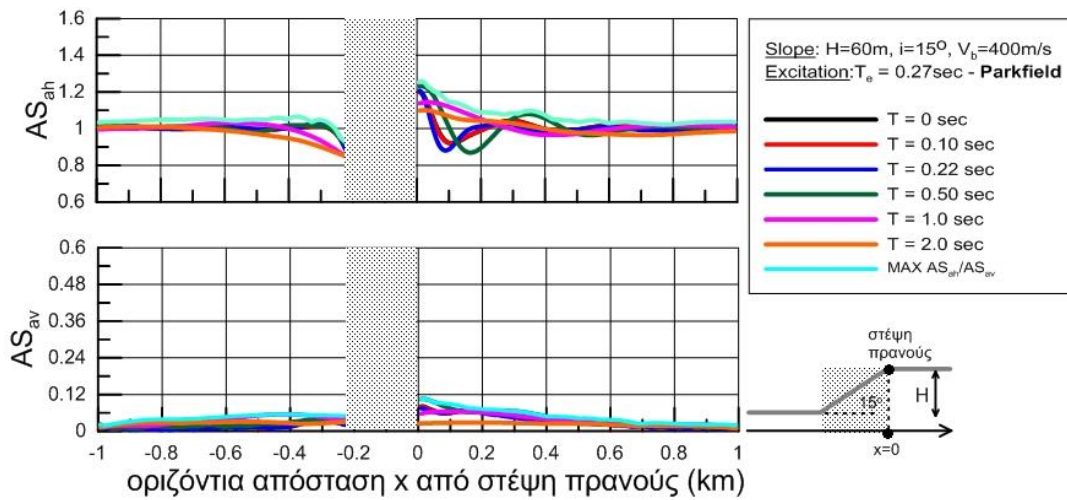
Σχήμα B.63



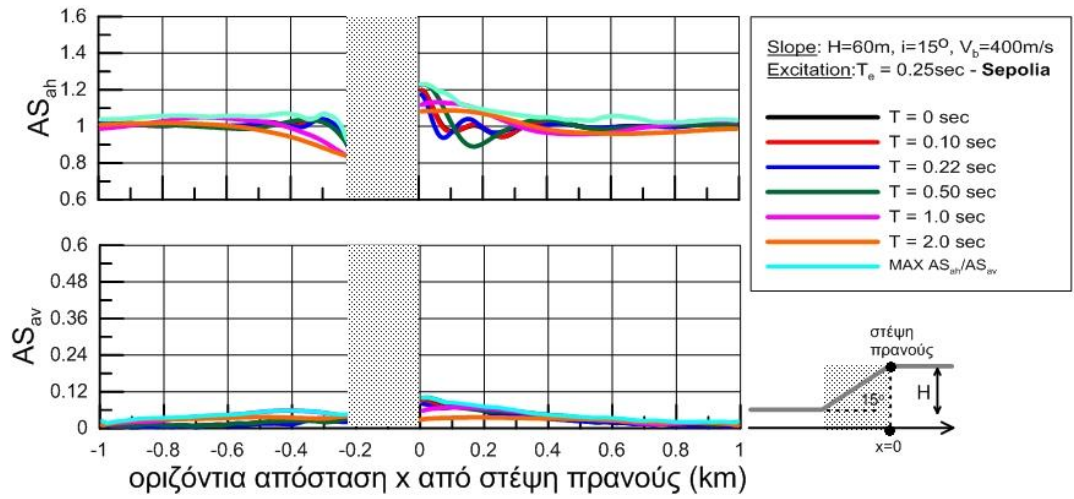
Σχήμα Β.64



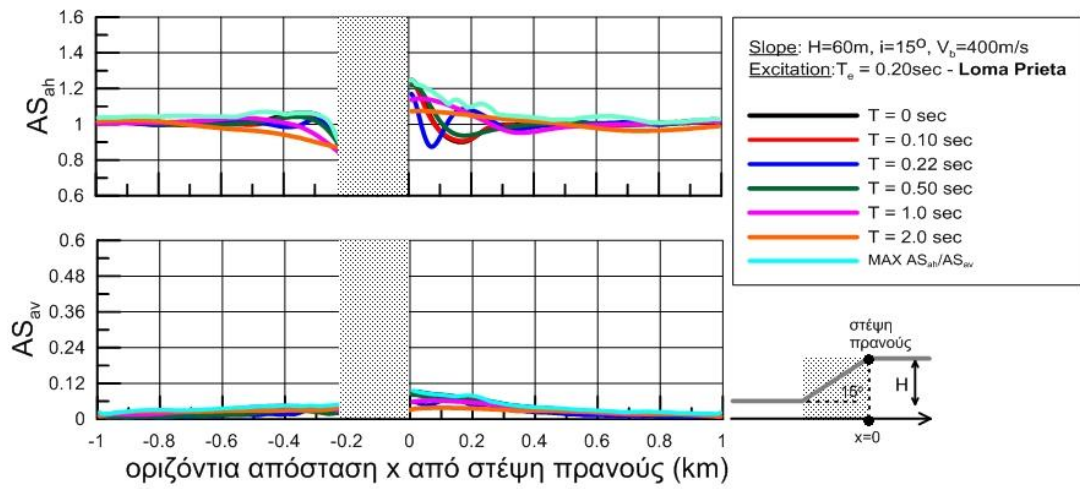
Σχήμα Β.65



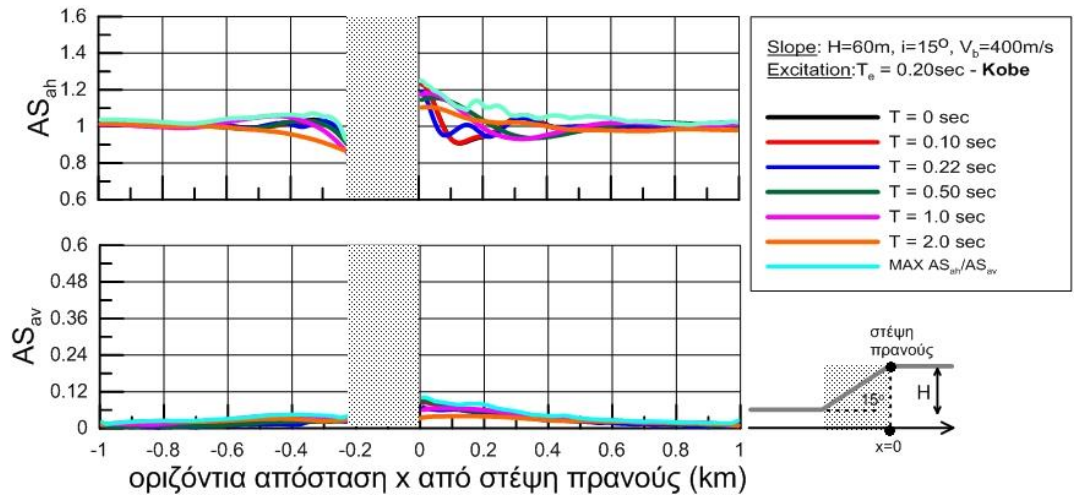
Σχήμα Β.66



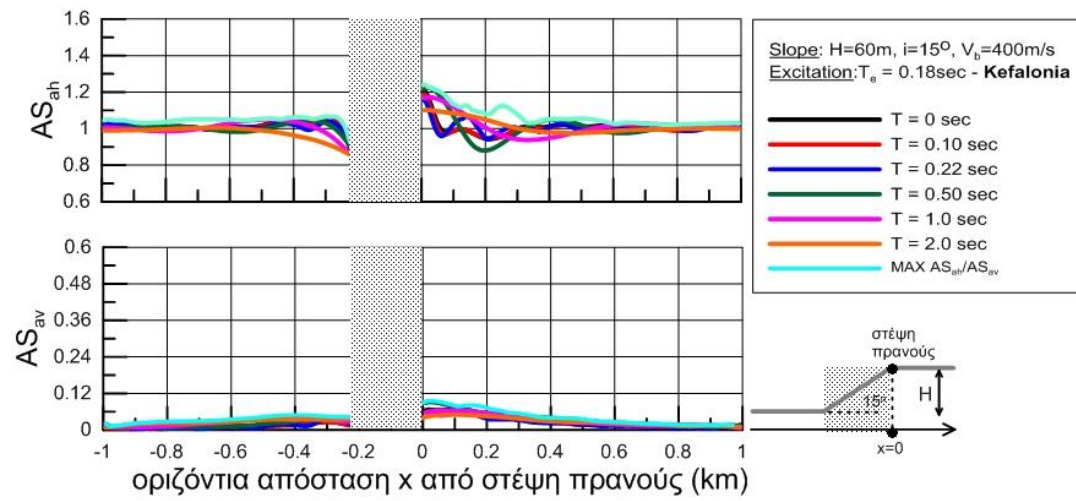
Σχήμα Β.67



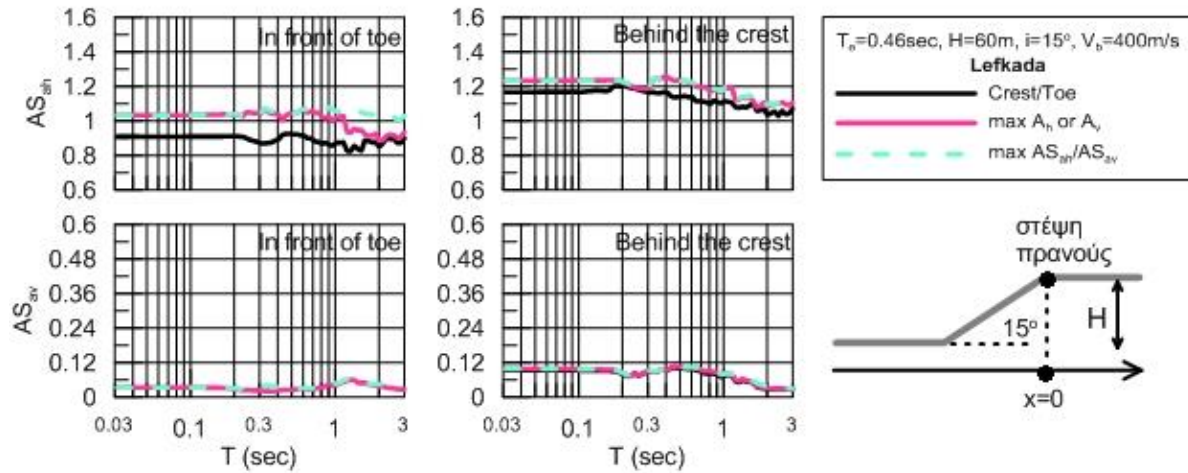
Σχήμα Β.68



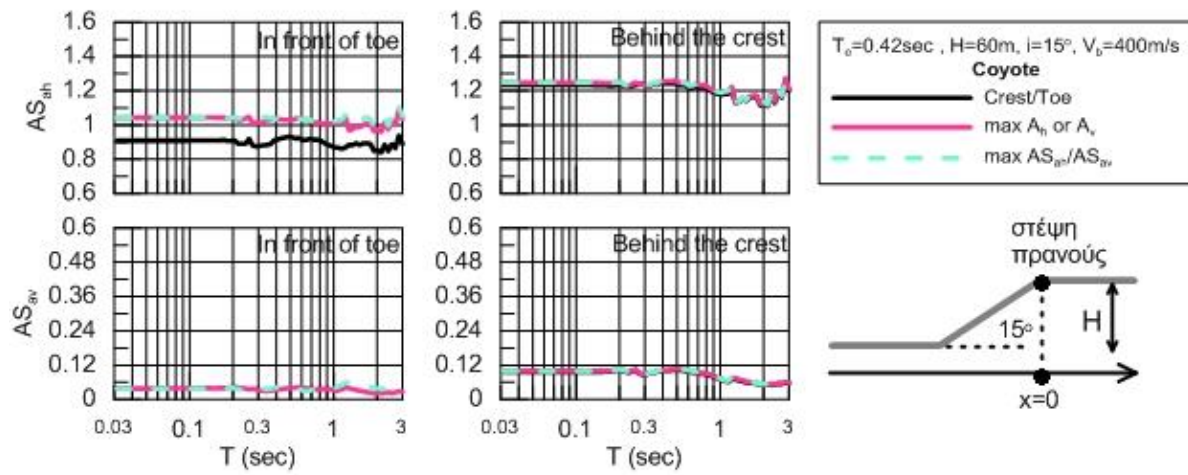
Σχήμα Β.69



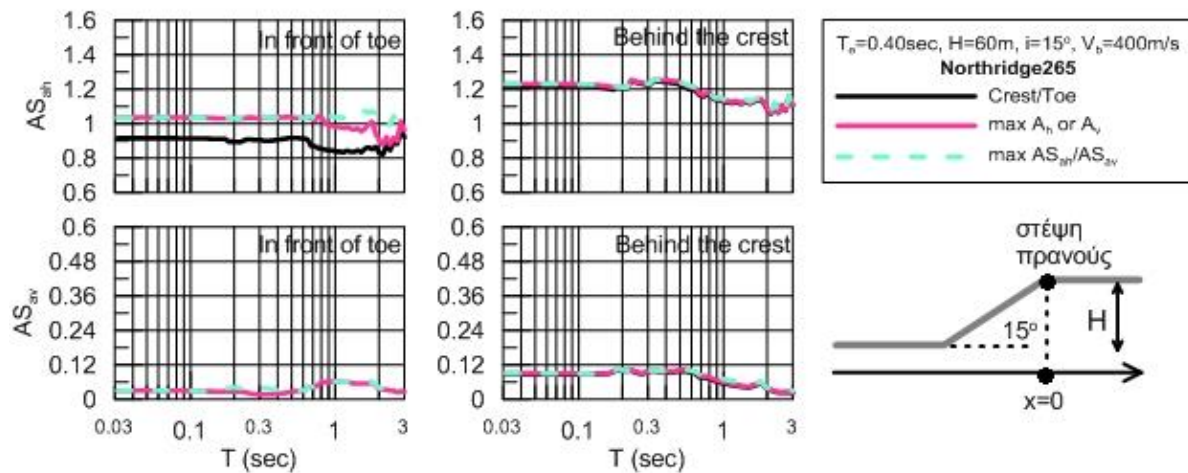
Σχήμα Β.70



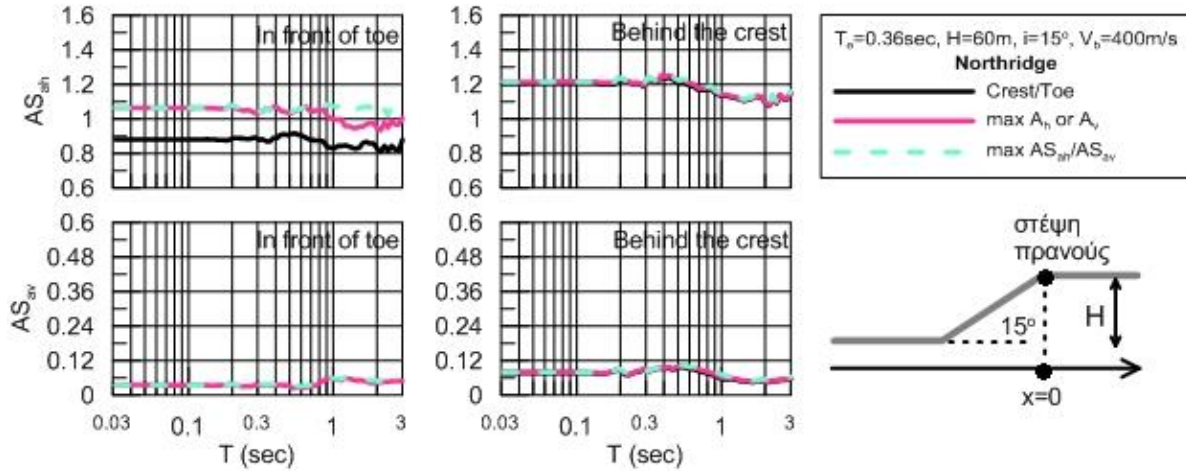
Σχήμα Β.71



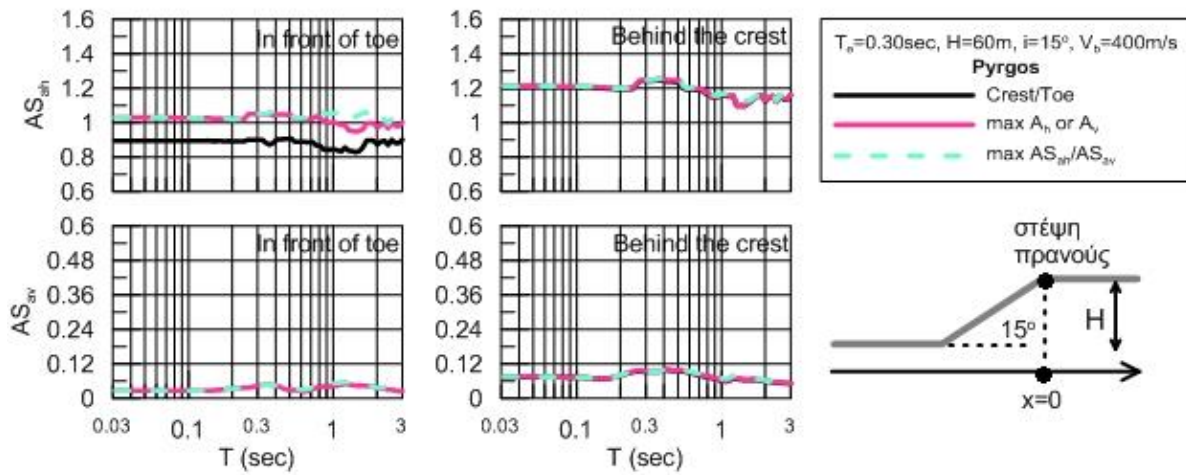
Σχήμα Β.72



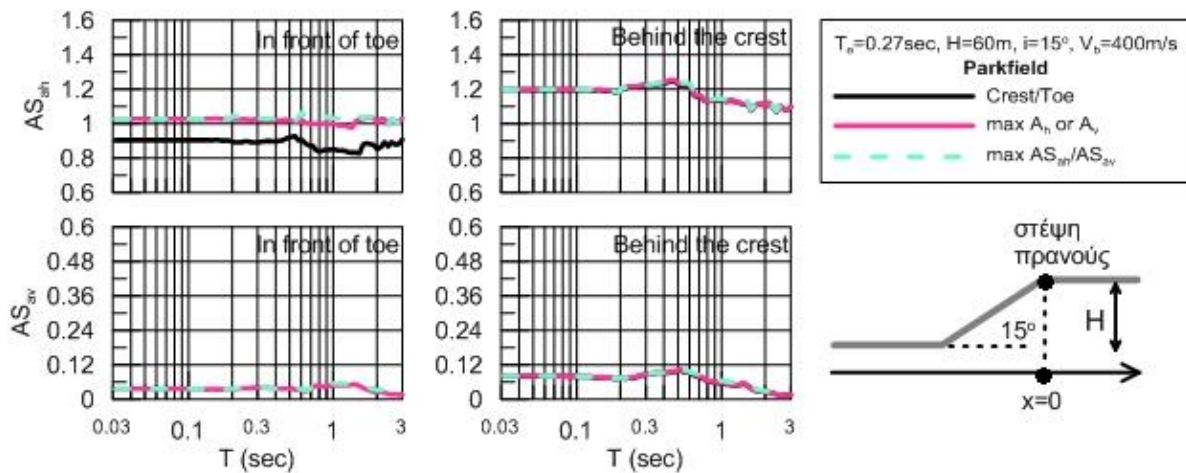
Σχήμα Β.73



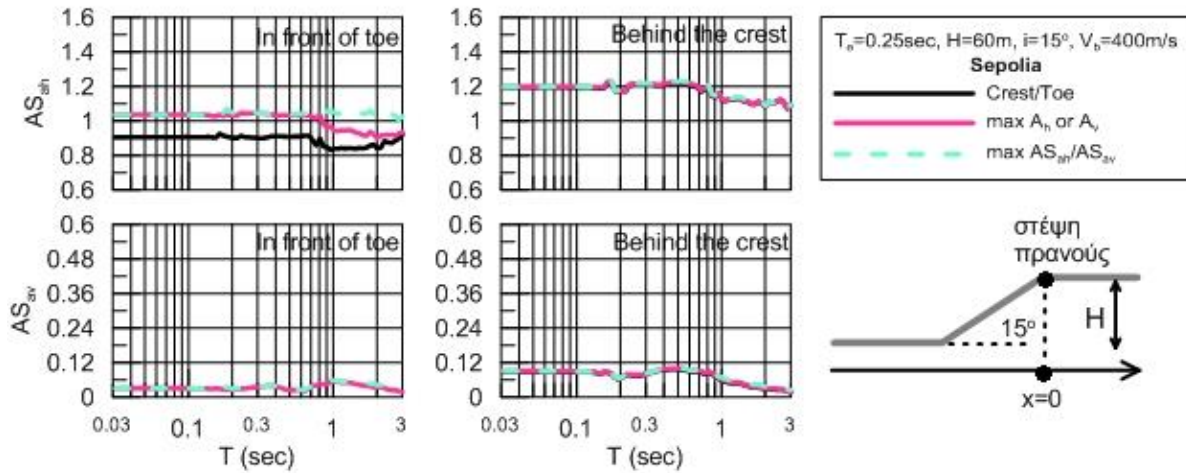
Σχήμα Β.74



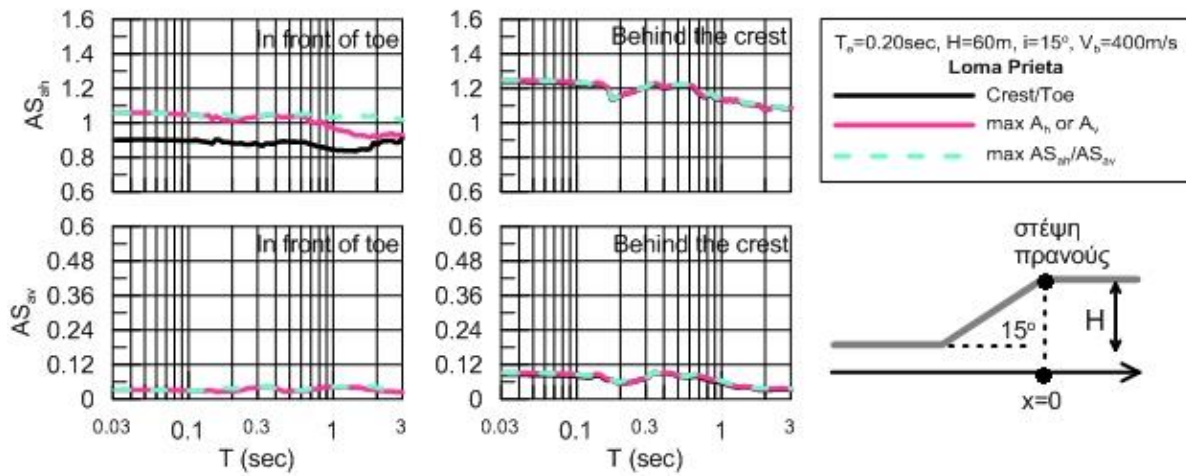
Σχήμα Β.75



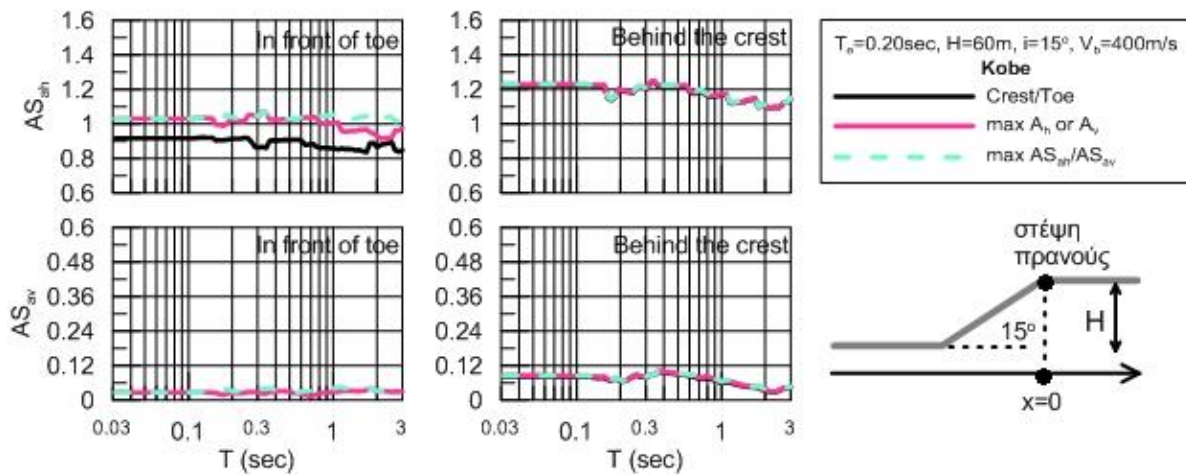
Σχήμα Β.76



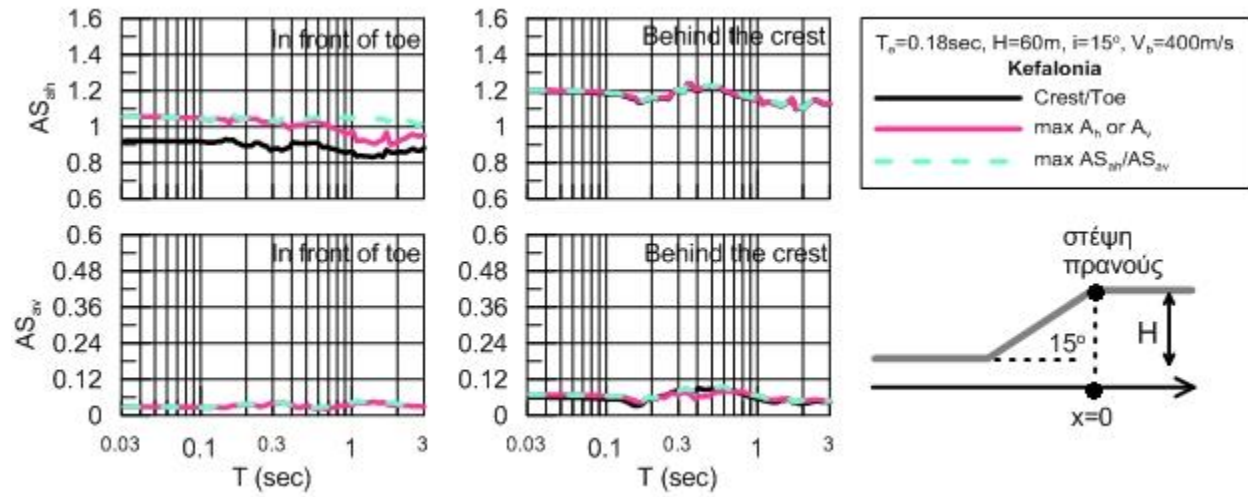
Σχήμα B.77



Σχήμα B.78



Σχήμα B.79



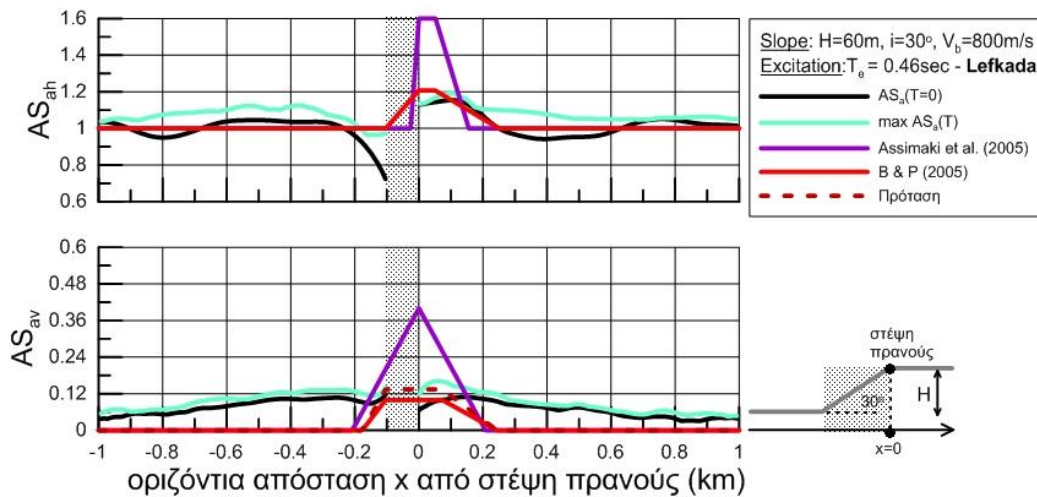
Σχήμα Β.80

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

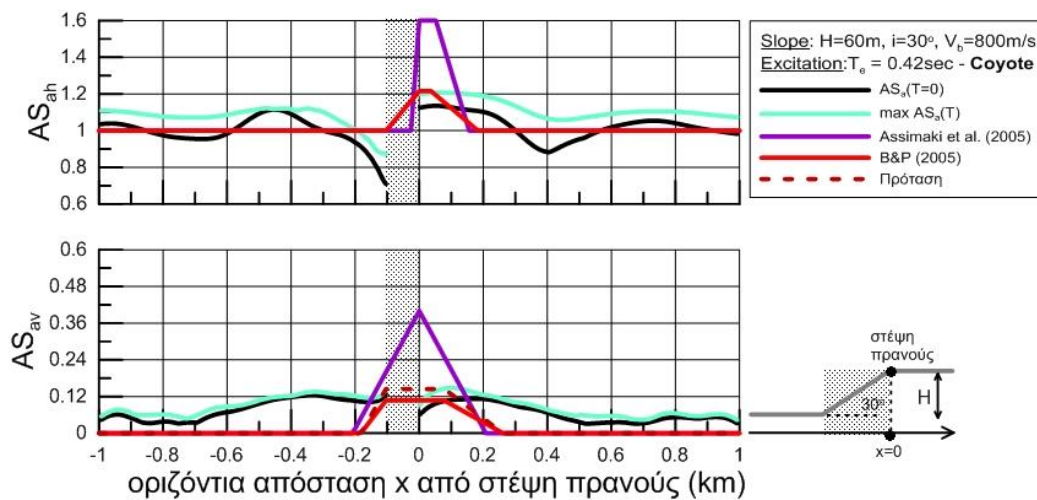
ΠΛΗΡΗ ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ

Στο παράρτημα Γ παρουσιάζονται τα πλήρη σχήματα αποτίμησης μεθοδολογιών που αντιστοιχούν στο κεφάλαιο 5 και η πρόταση της παρούσας εργασίας (4 περιπτώσεις πρανών, 10 διεγέρσεις ανά πρανές, 2 τύποι σχημάτων ανά συνδυασμό πρανούς διεγερσης, συνολικά 80 σχήματα). Προς αποφυγή της επανάληψης και για λόγους συντομίας παραλείπεται η λεζάντα των σχημάτων και γίνεται απλή αρίθμηση αυτών. Υπενθυμίζεται ότι η απόσβεση των κατασκευών λαμβάνεται ίση με 5%.

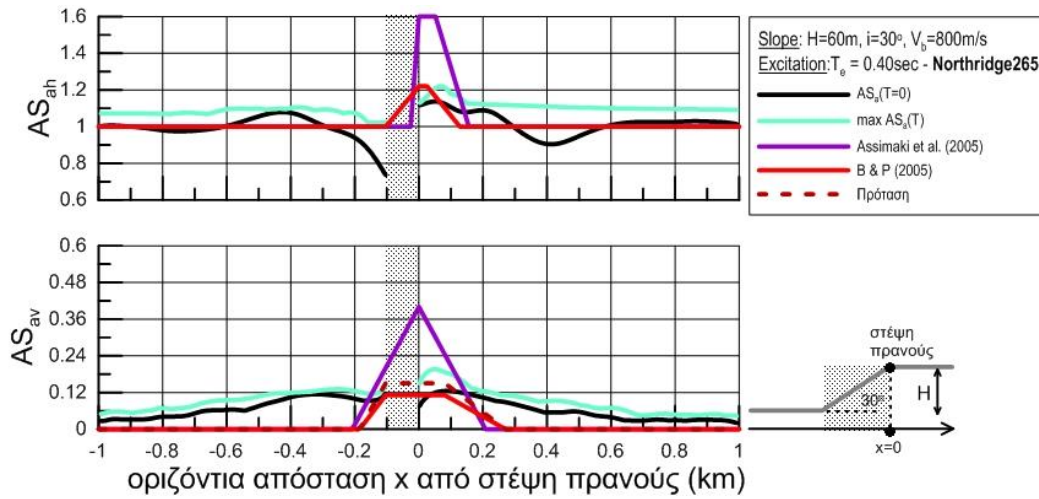
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$



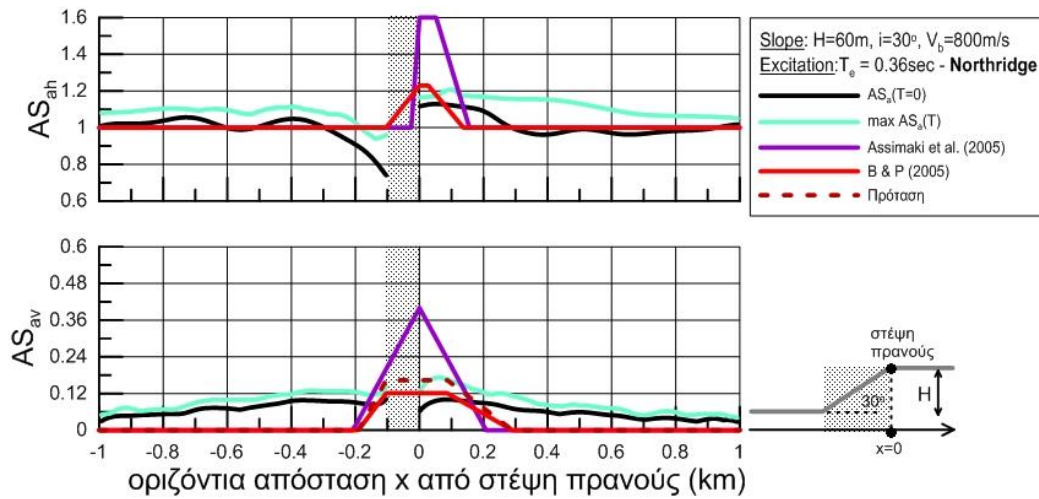
Σχήμα Γ.1



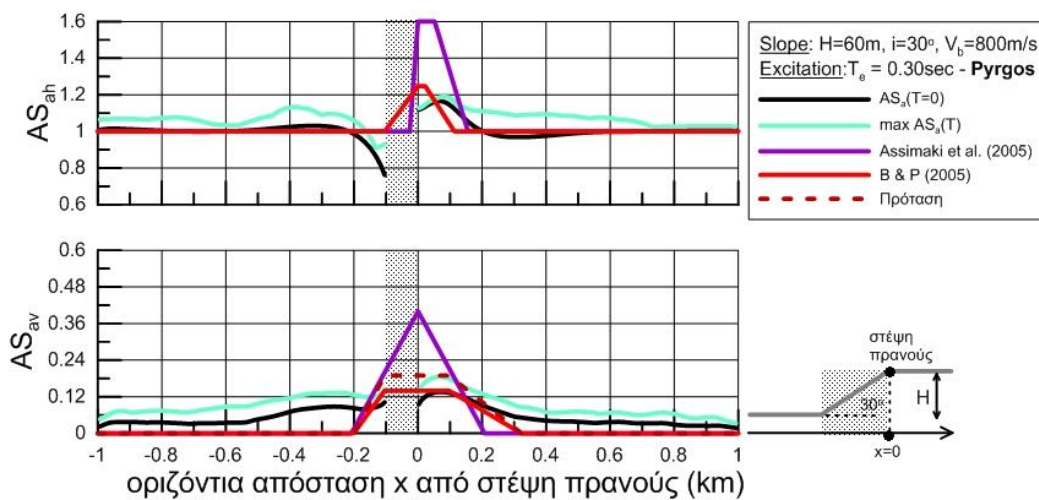
Σχήμα Γ.2



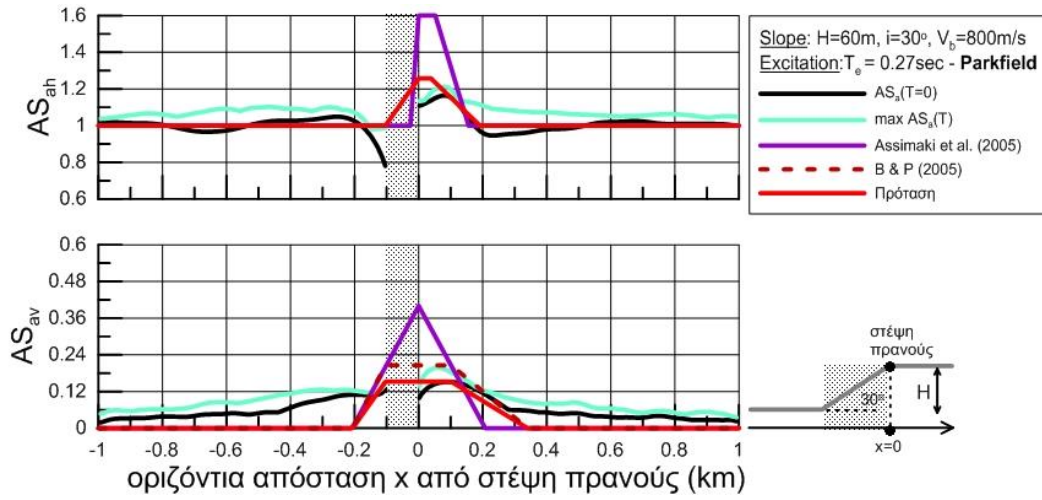
Σχήμα Γ.3



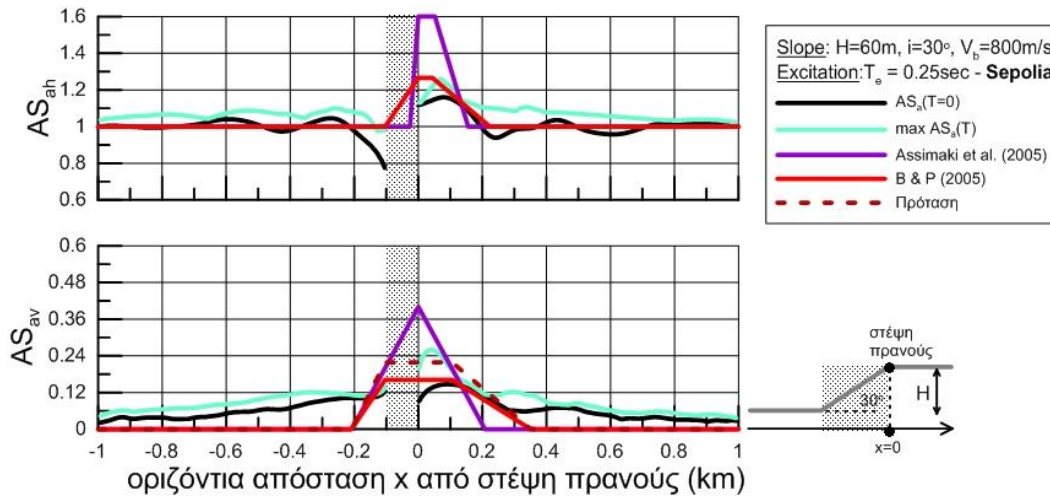
Σχήμα Γ.4



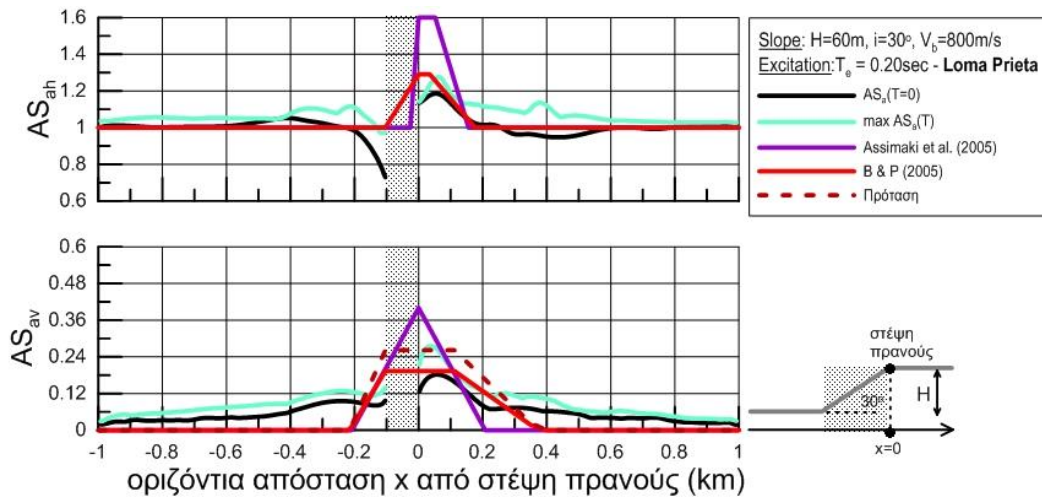
Σχήμα Γ.5



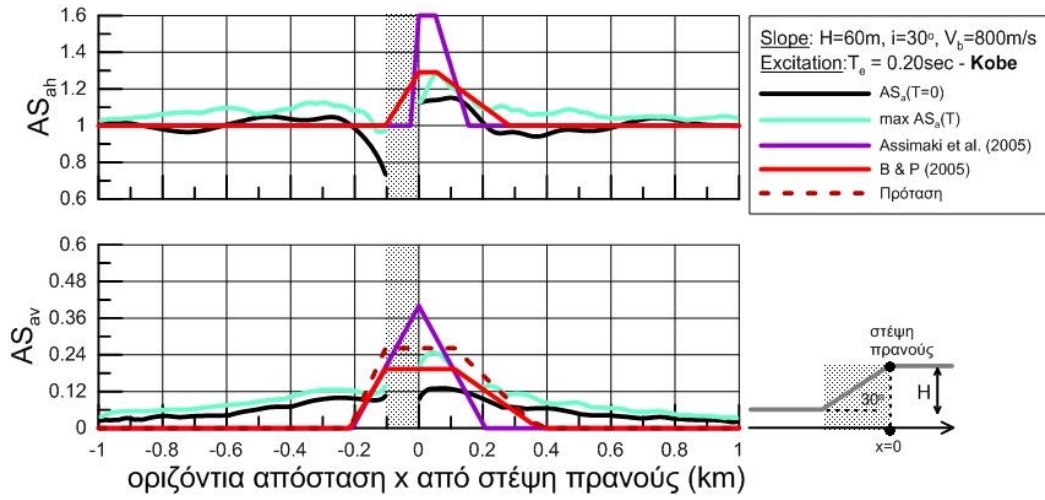
Σχήμα Γ.6



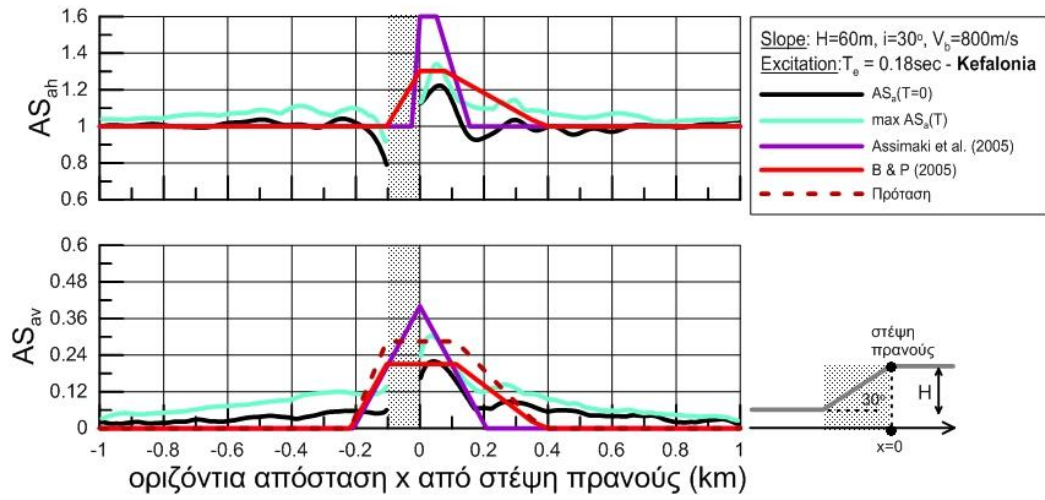
Σχήμα Γ.7



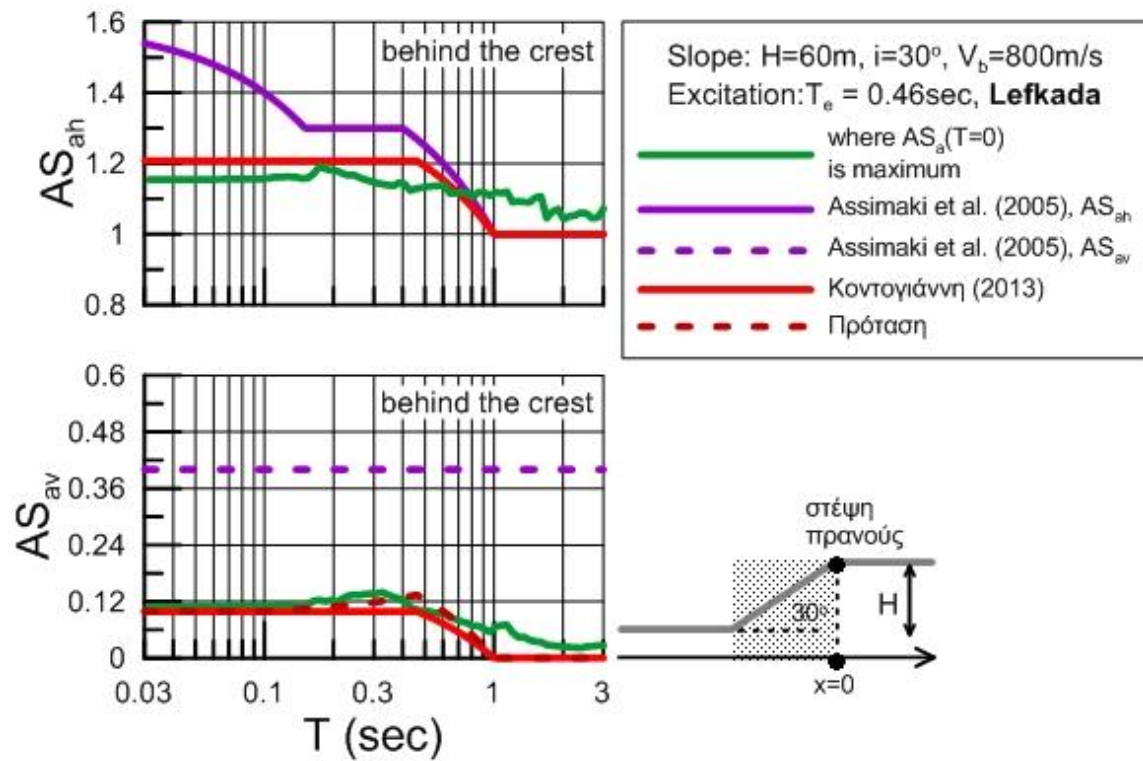
Σχήμα Γ.8



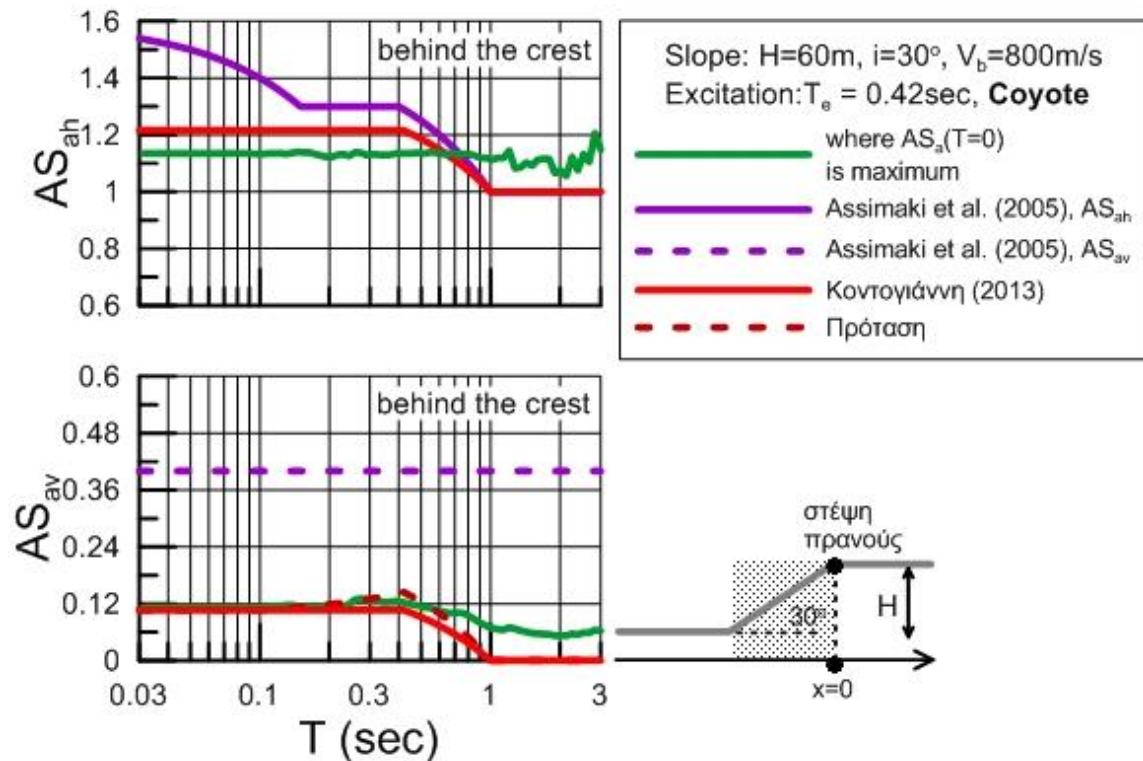
Σχήμα Γ.9



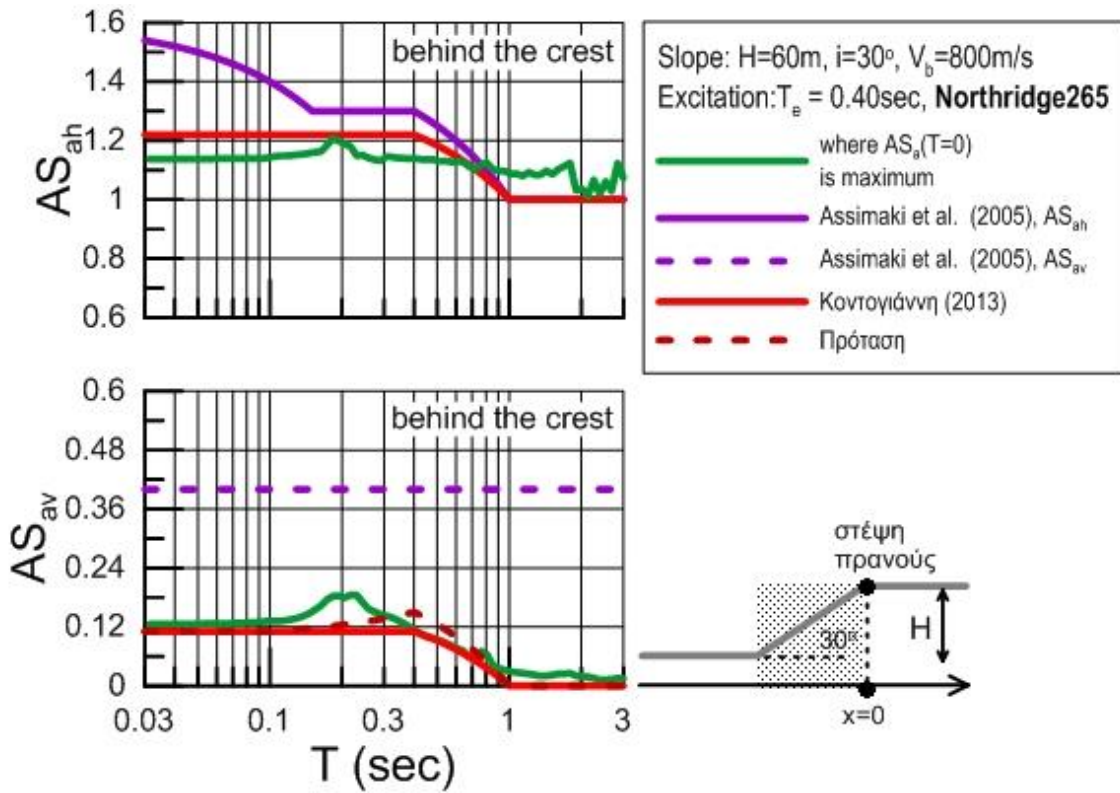
Σχήμα Γ.10



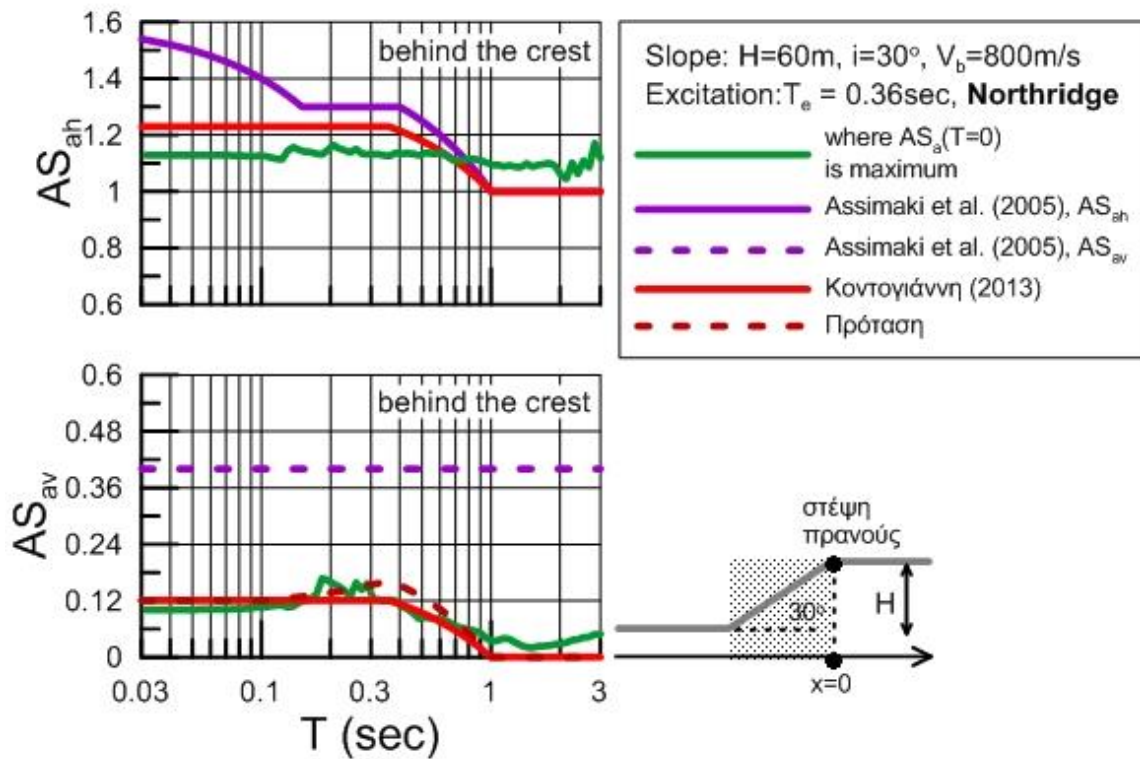
Σχήμα Γ.11



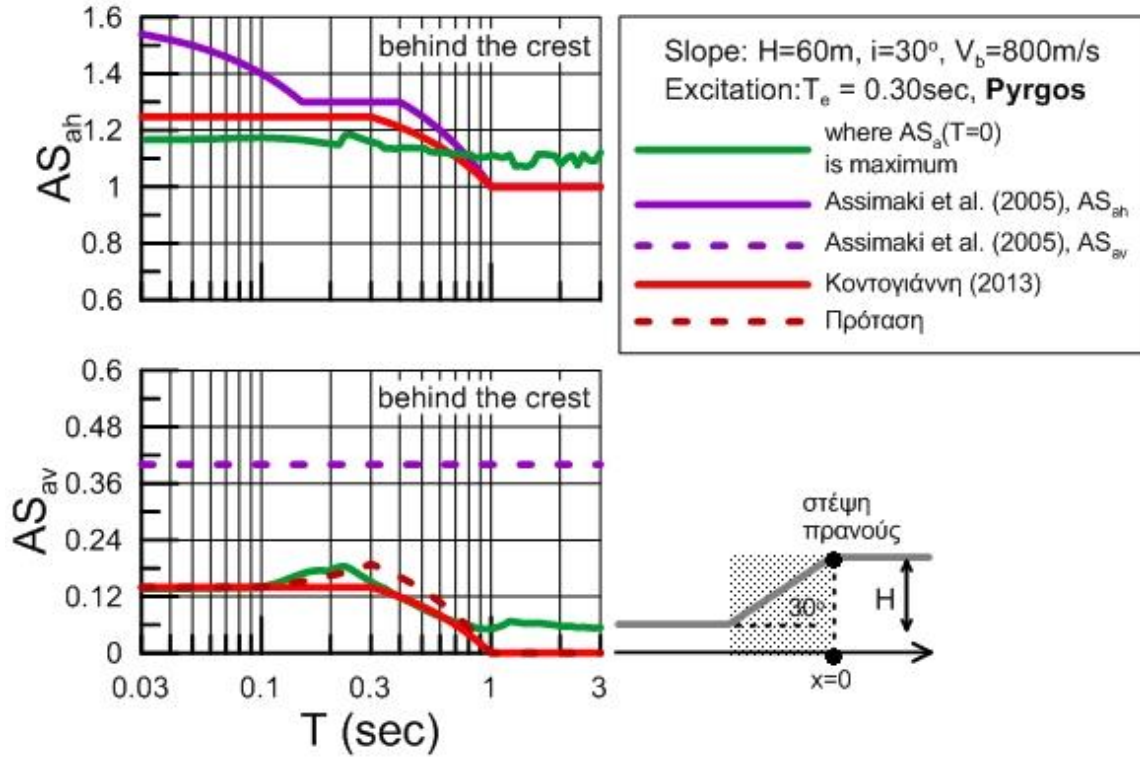
Σχήμα Γ.12



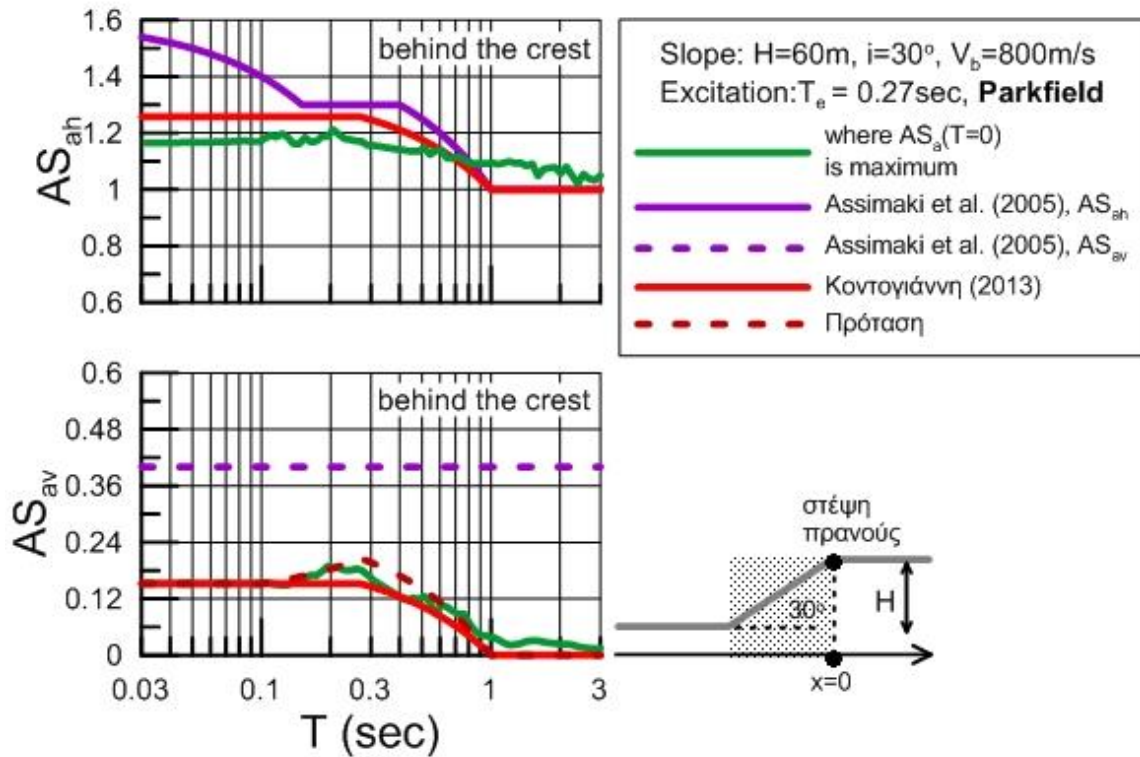
Σχήμα Γ.13



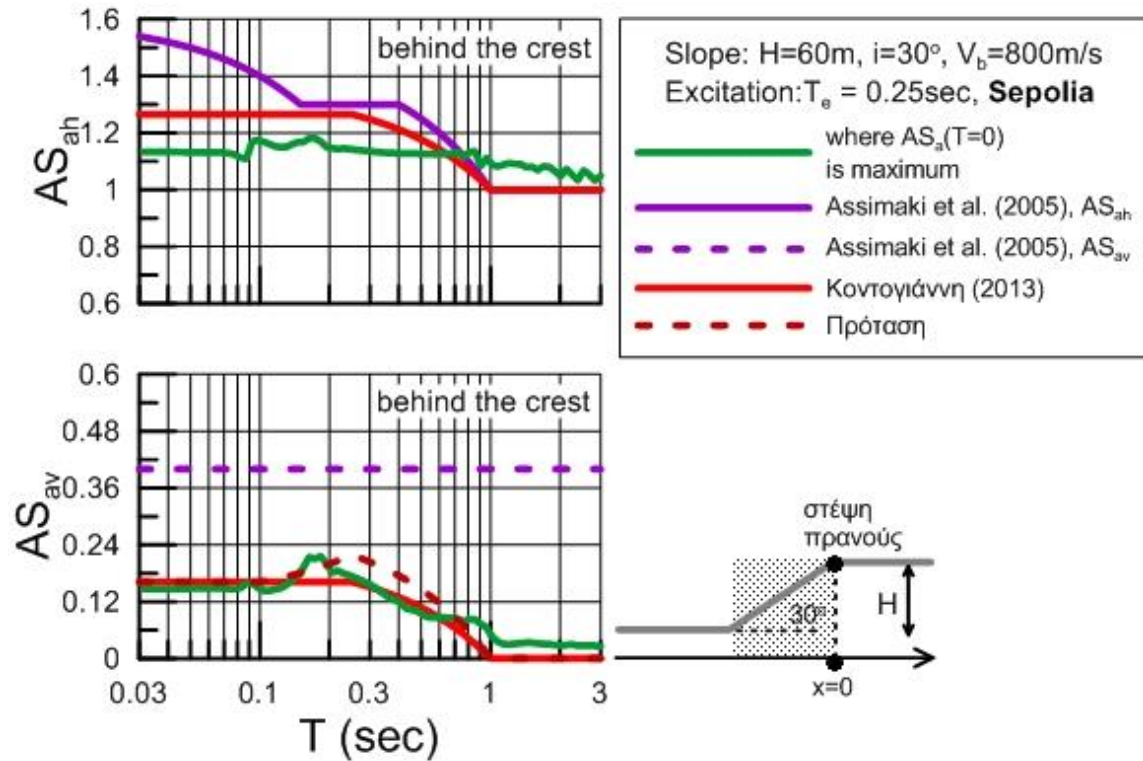
Σχήμα Γ.14



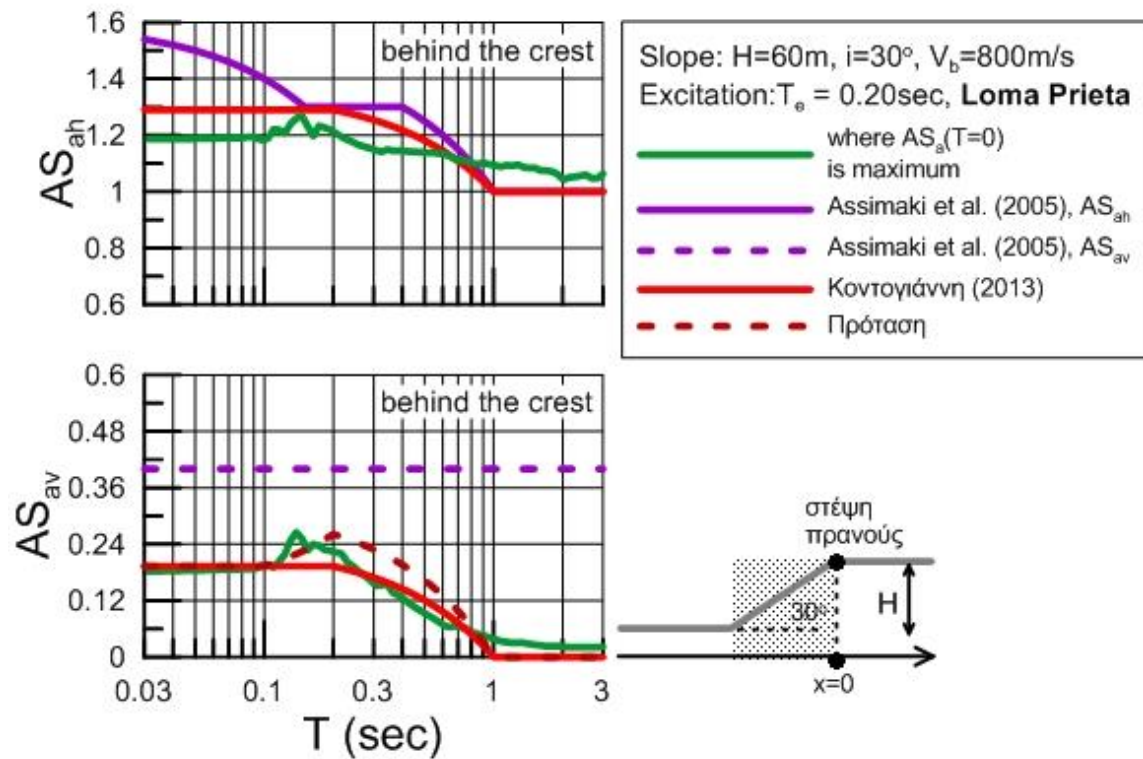
Σχήμα Γ.15



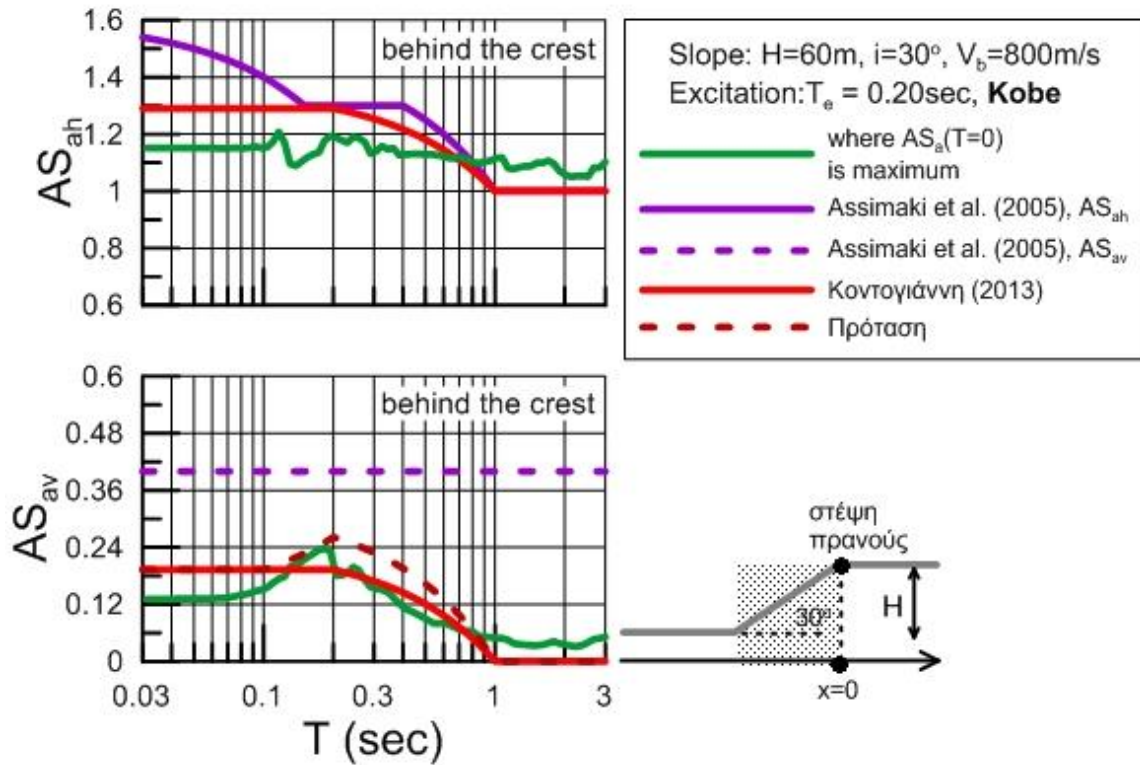
Σχήμα Γ.16



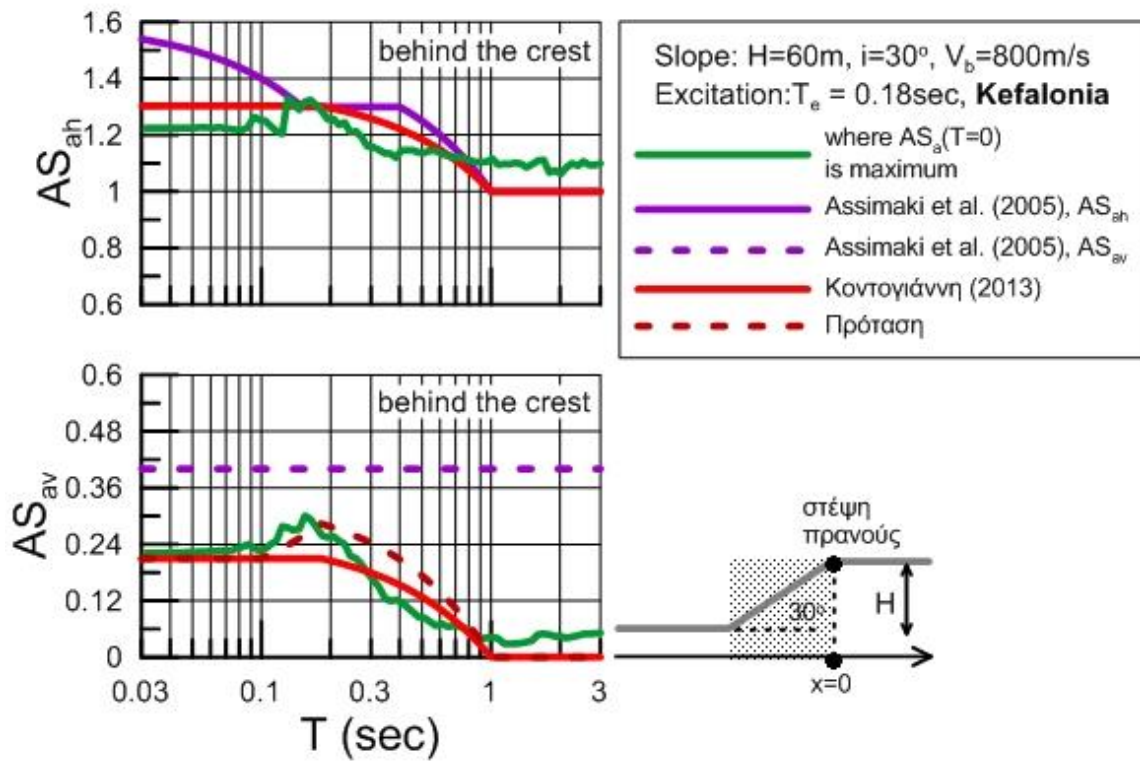
Σχήμα Γ.17



Σχήμα Γ.18

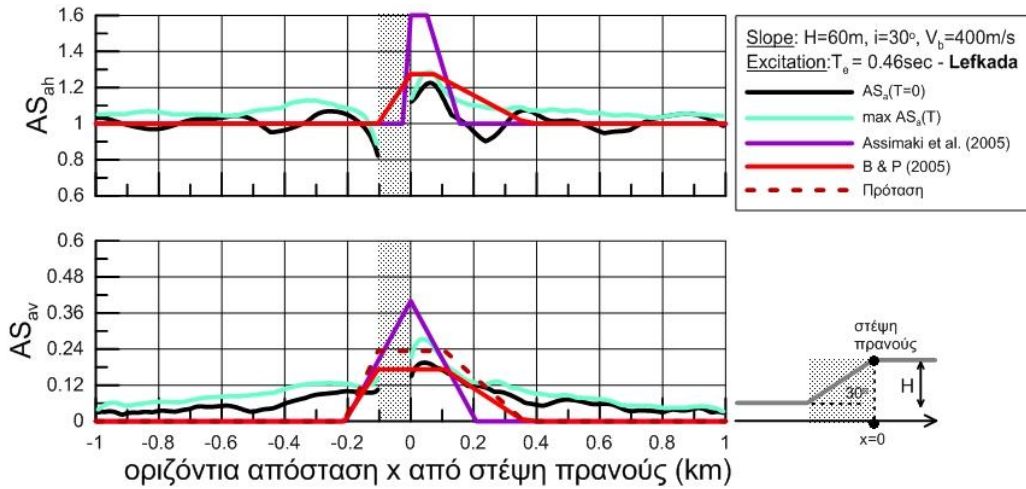


Σχήμα Γ.19

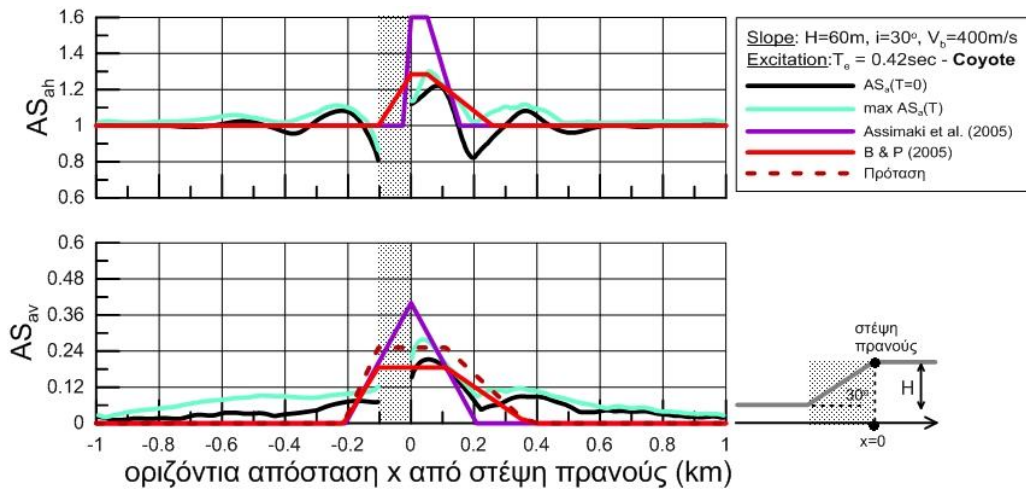


Σχήμα Γ.20

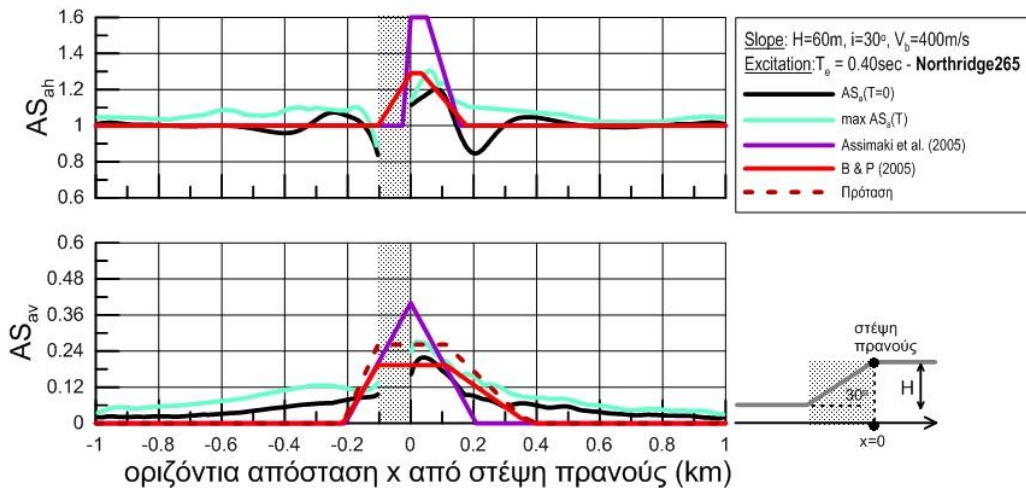
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=30^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$



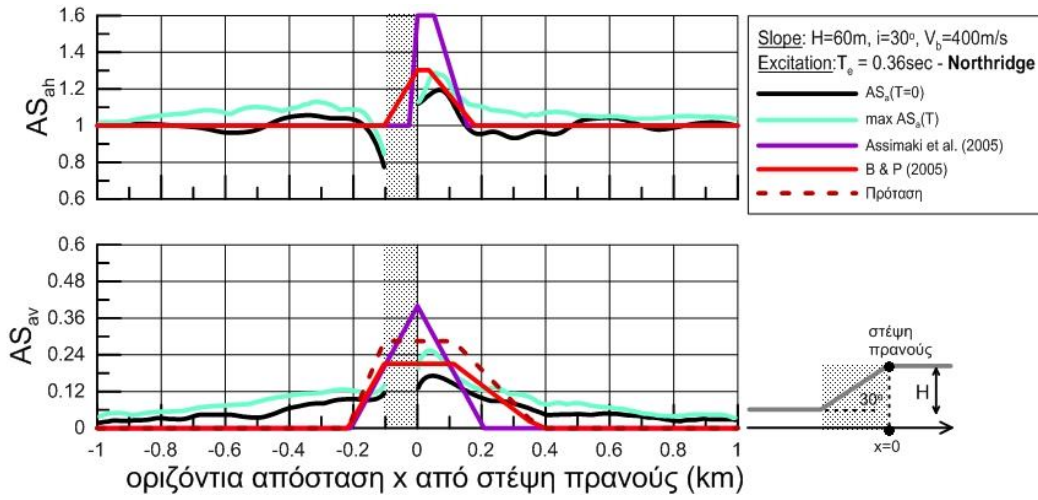
Σχήμα Γ.21



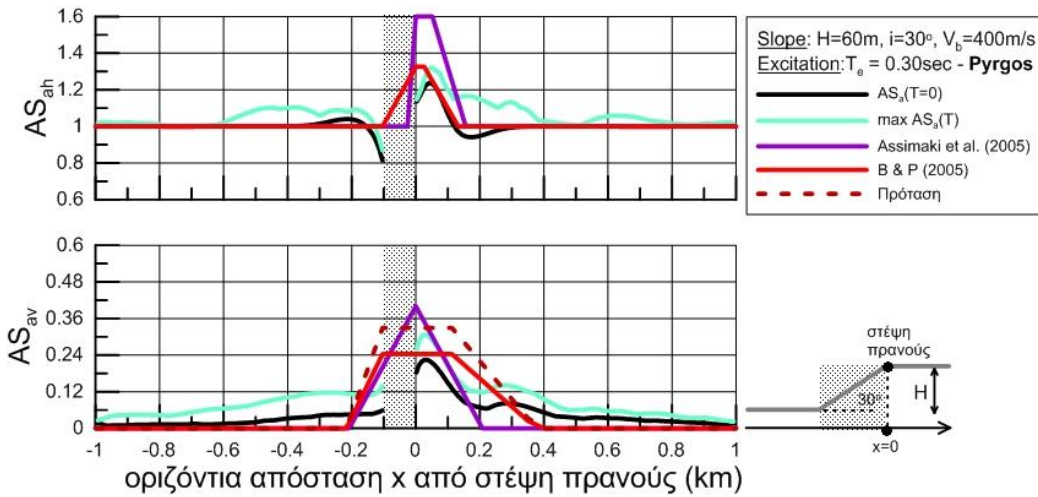
Σχήμα Γ.22



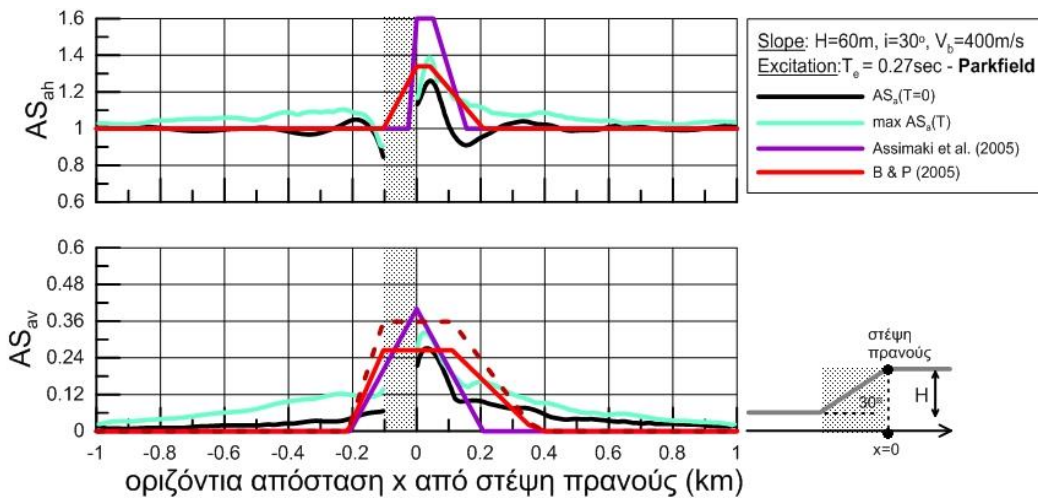
Σχήμα Γ.23



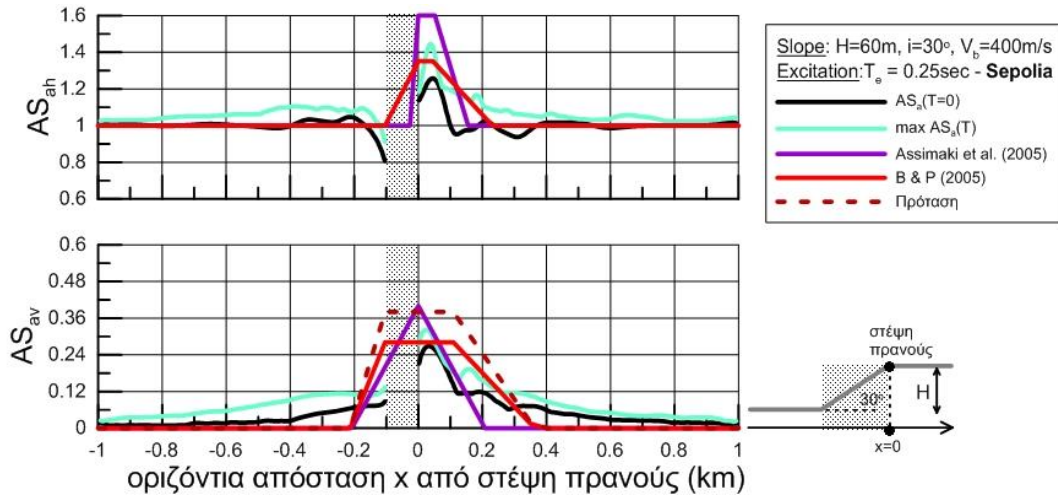
Σχήμα Γ.24



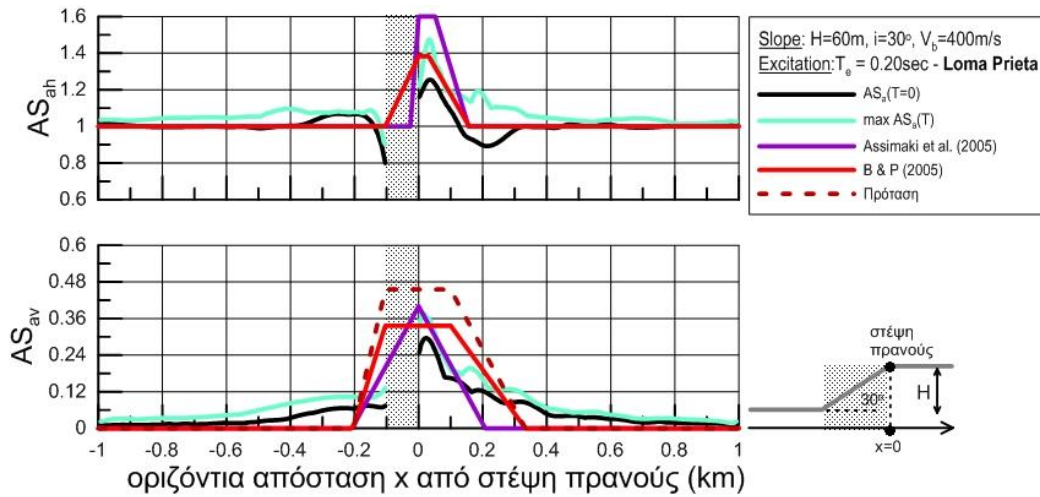
Σχήμα Γ.25



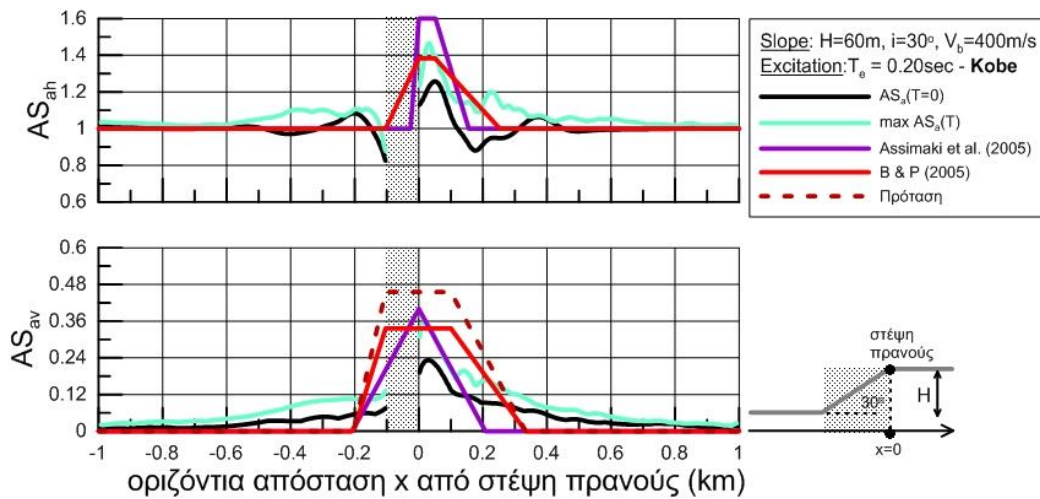
Σχήμα Γ.26



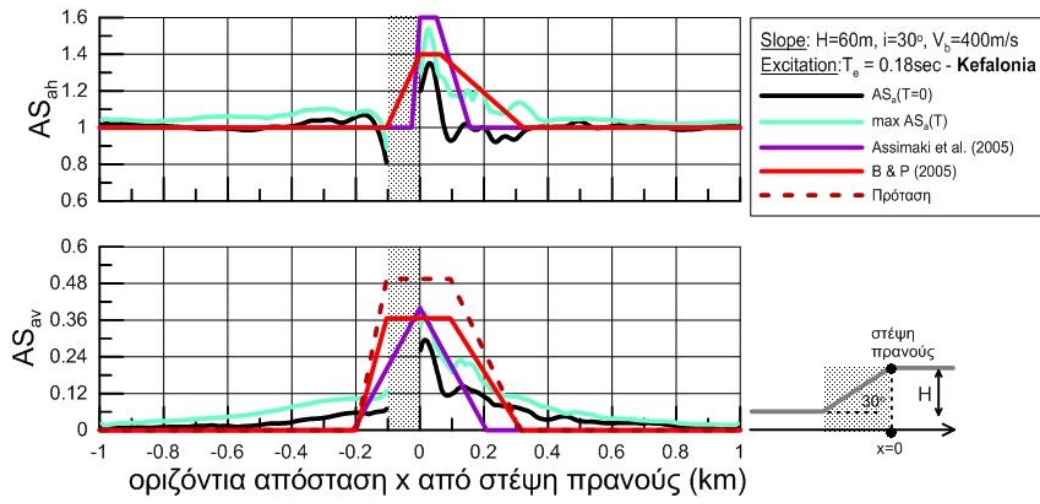
Σχήμα Γ.27



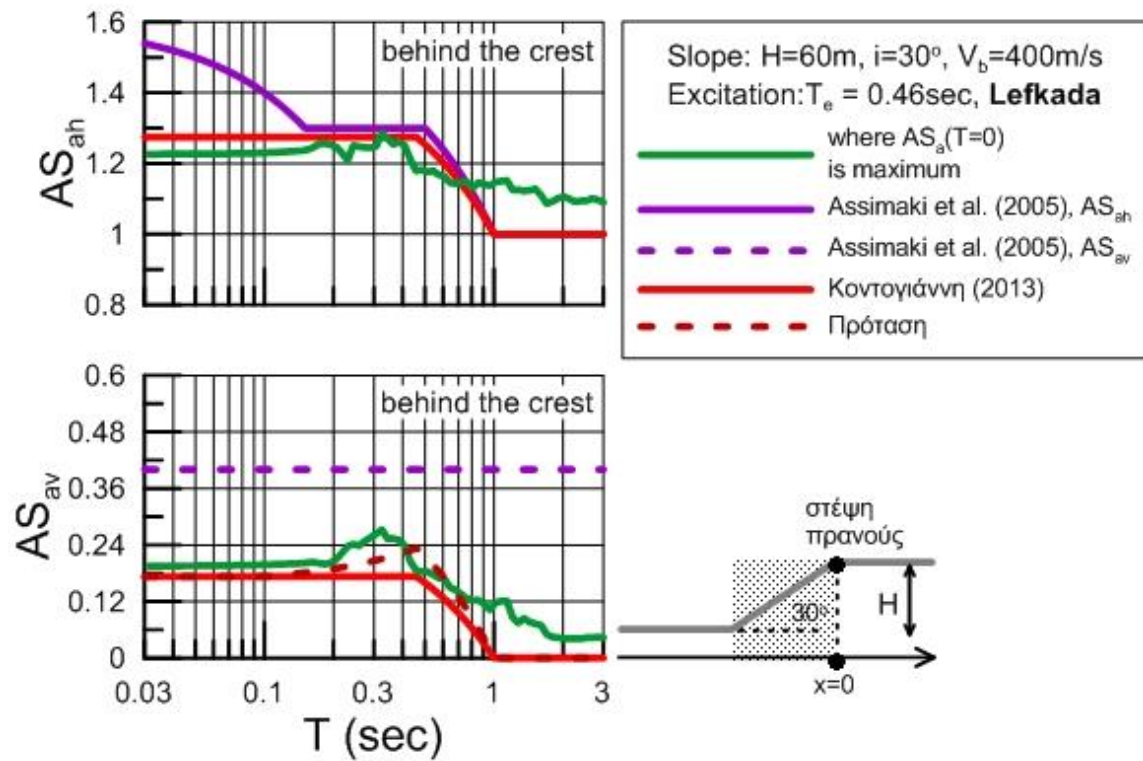
Σχήμα Γ.28



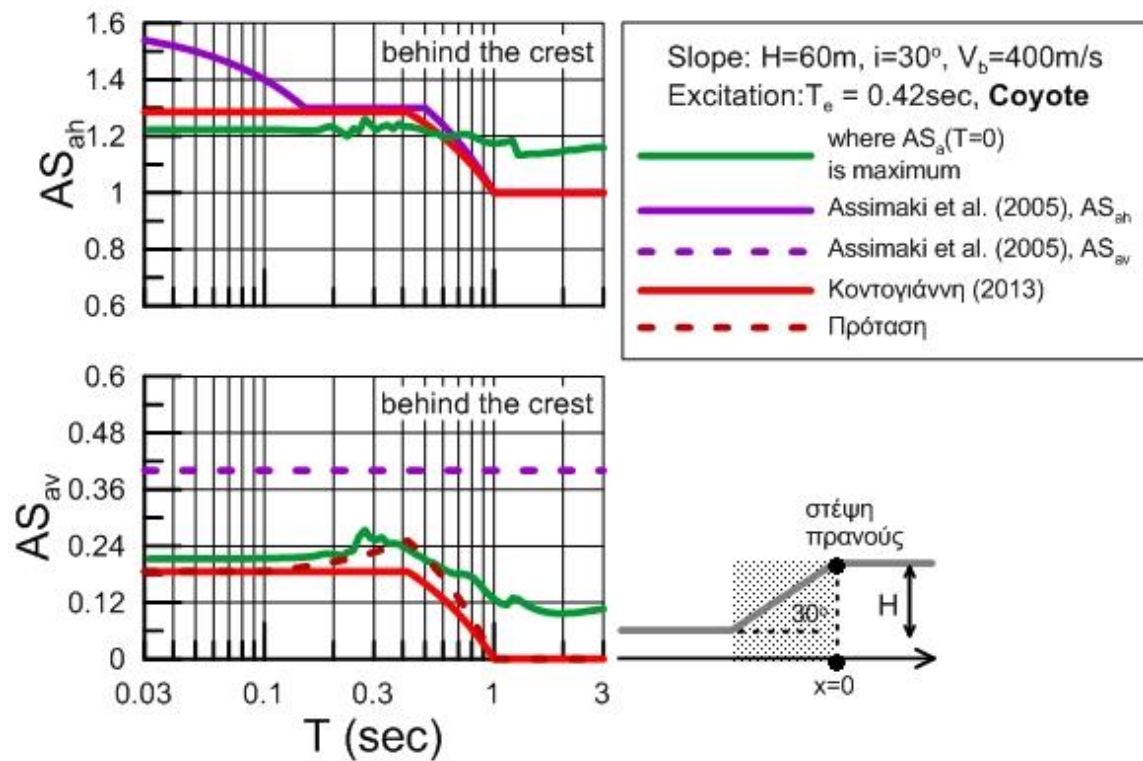
Σχήμα Γ.29



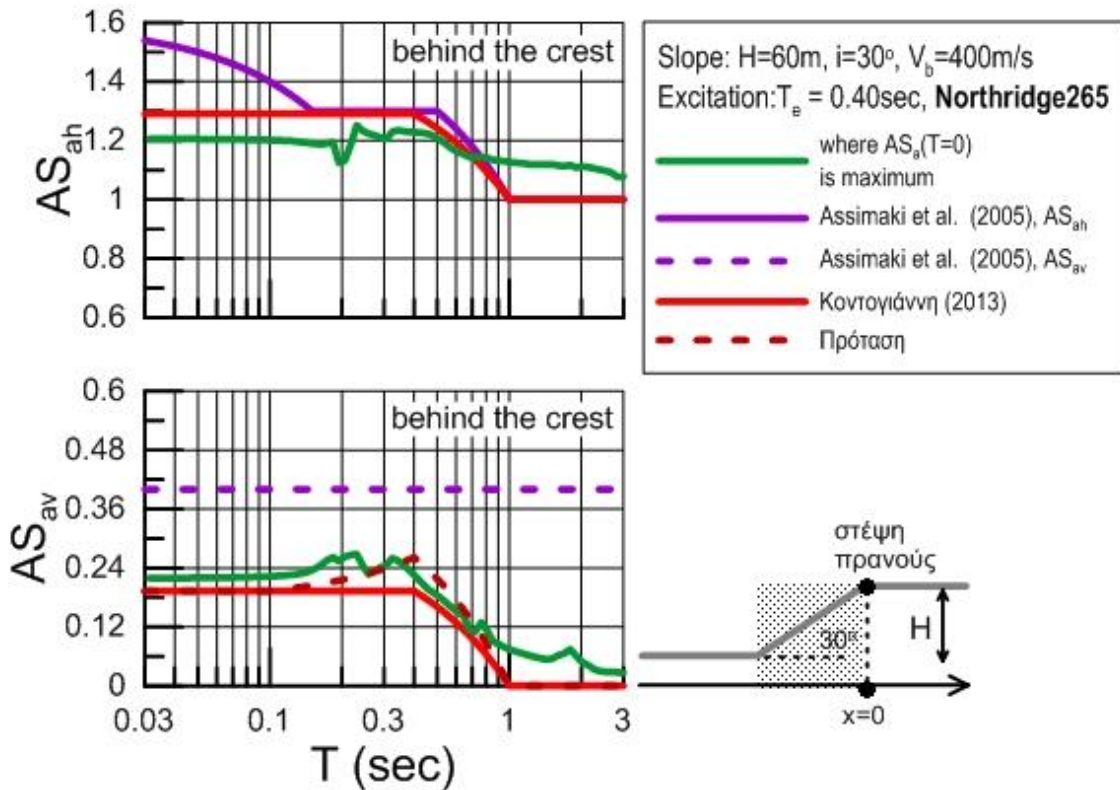
Σχήμα Γ.30



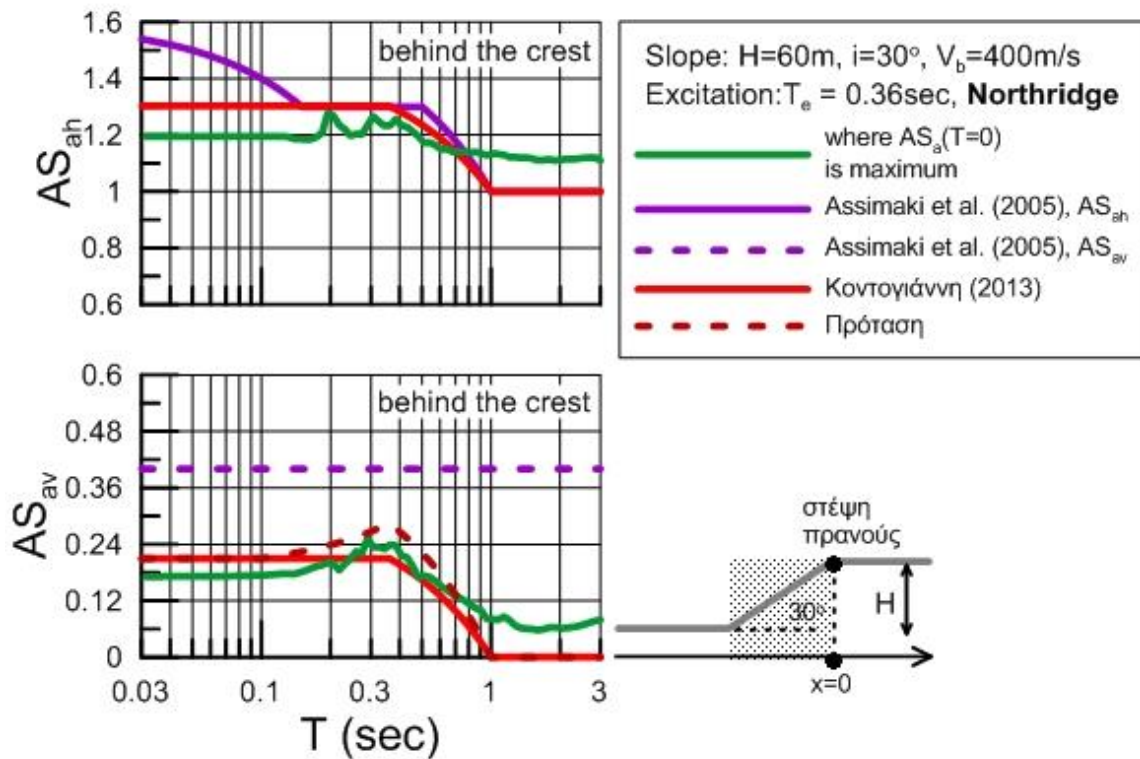
Σχήμα Γ.31



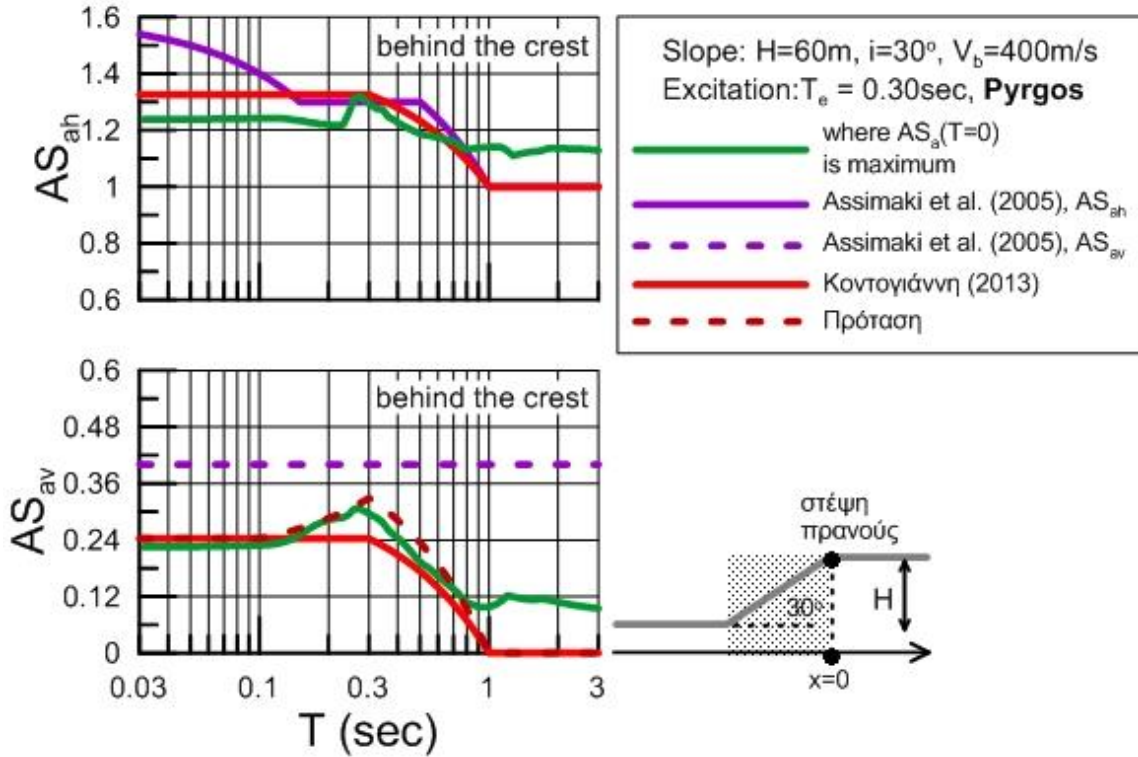
Σχήμα Γ.32



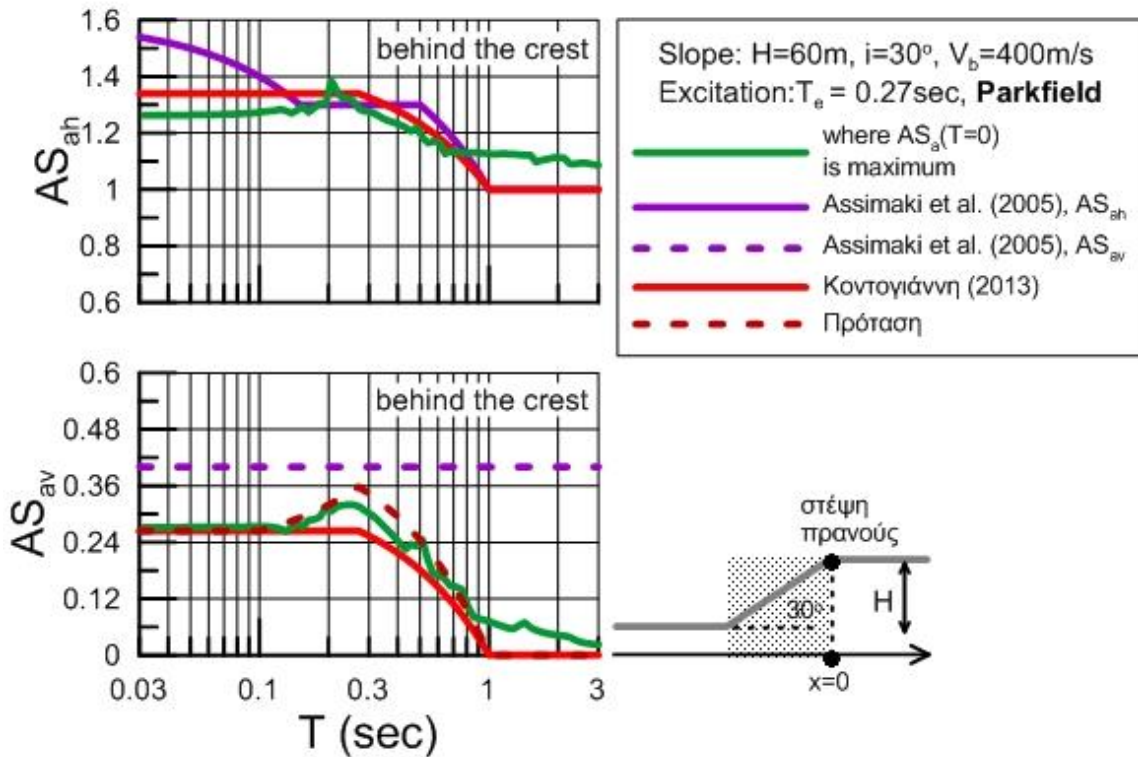
Σχήμα Γ.33



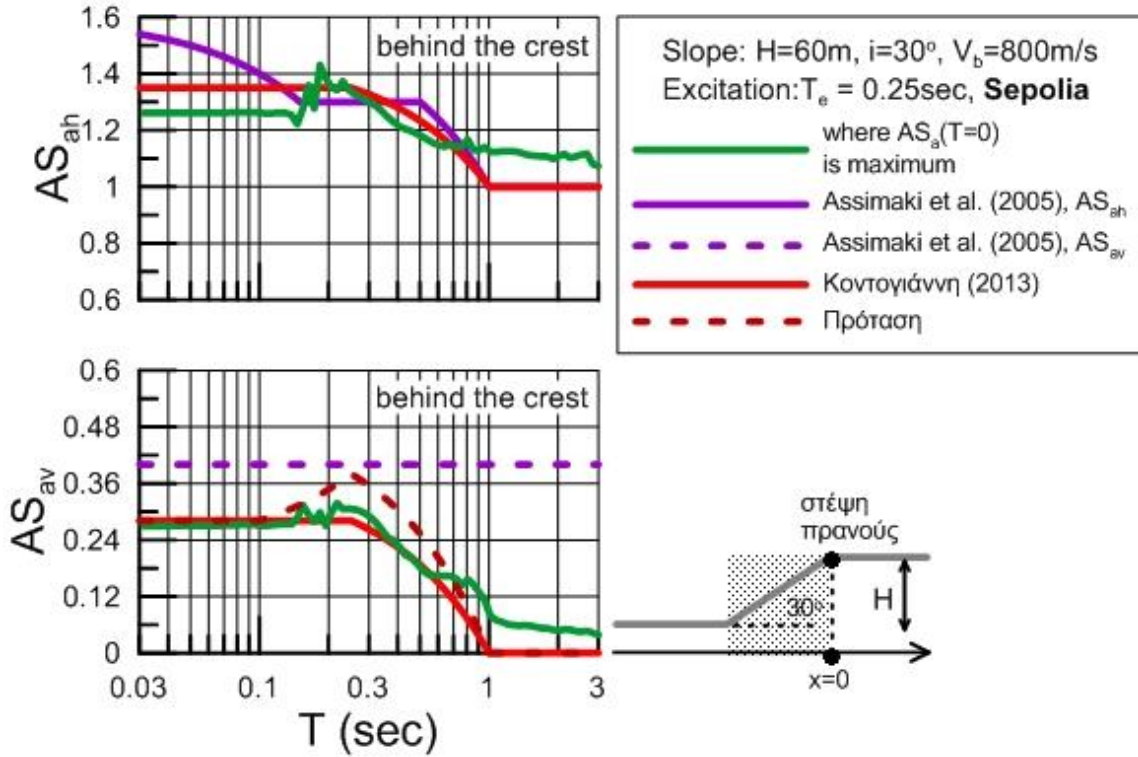
Σχήμα Γ.34



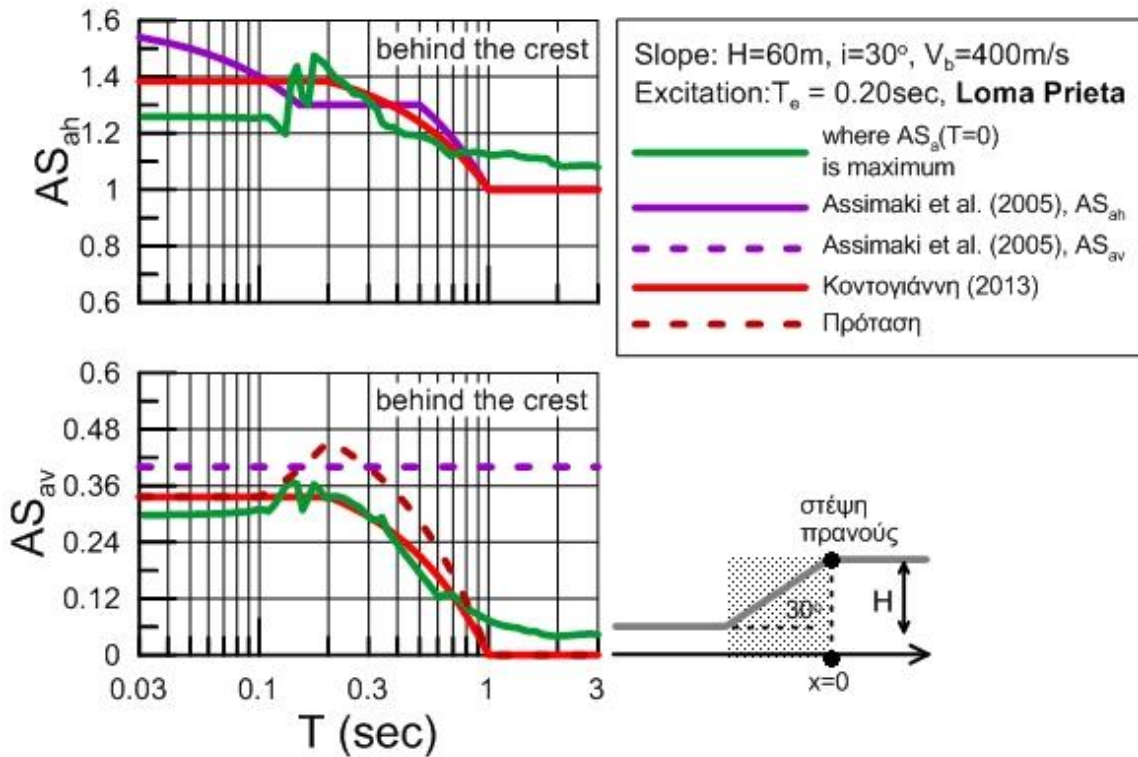
Σχήμα Γ.35



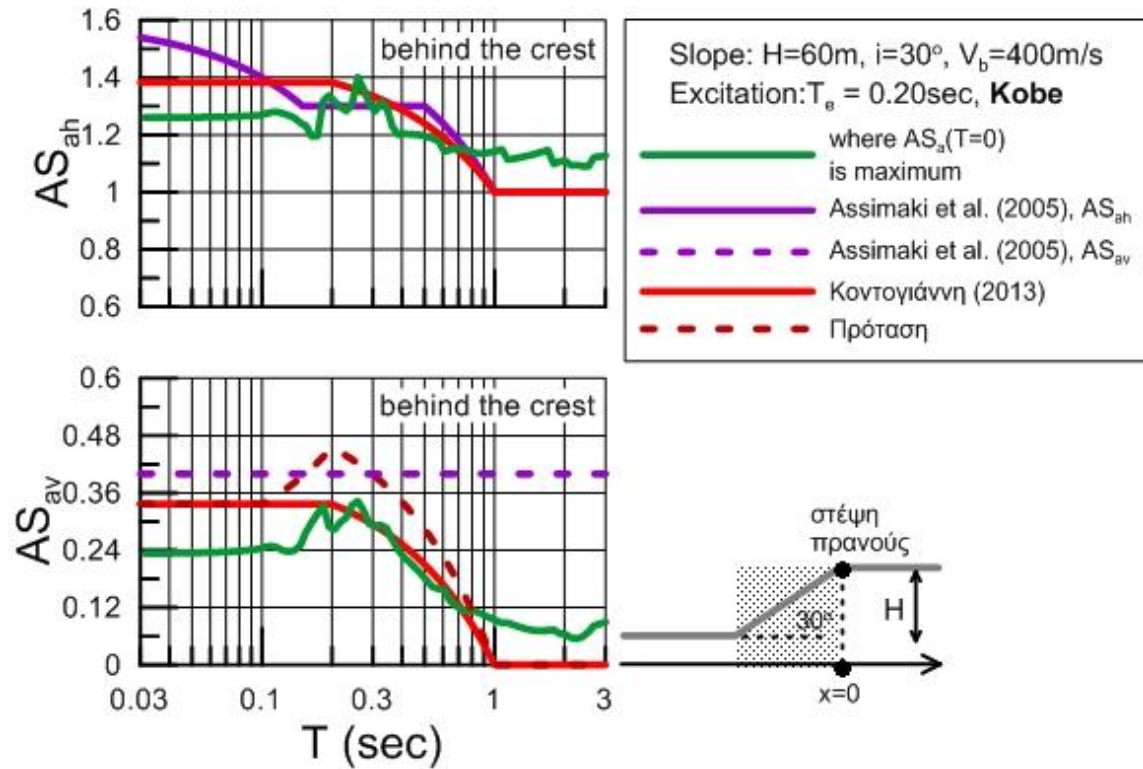
Σχήμα Γ.36



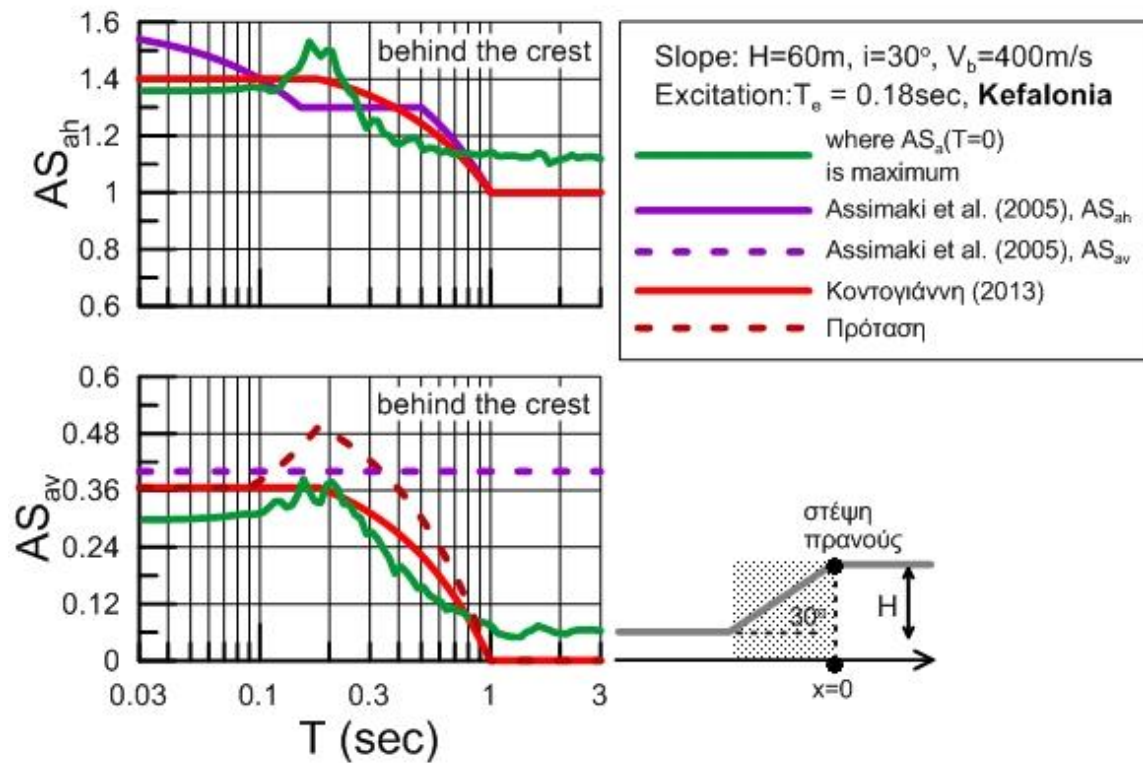
Σχήμα Γ.37



Σχήμα Γ.38

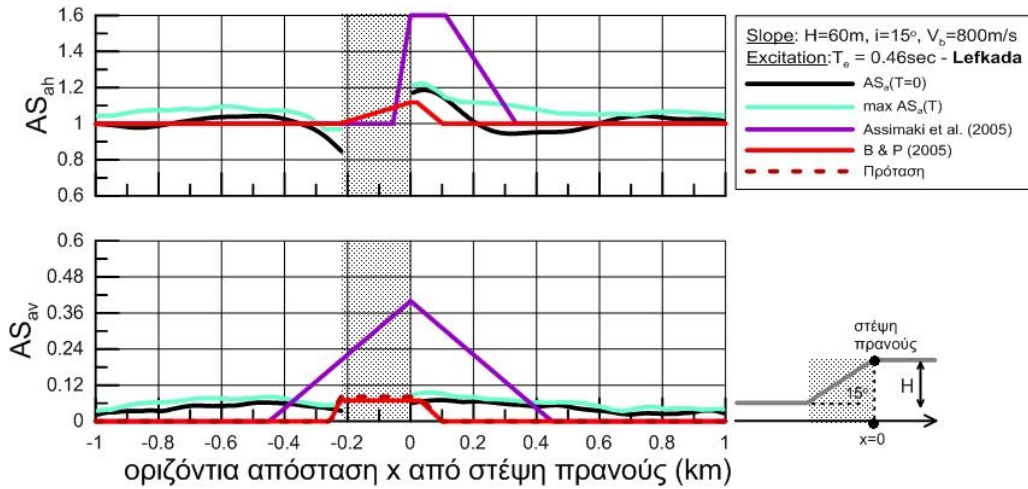


Σχήμα Γ.39

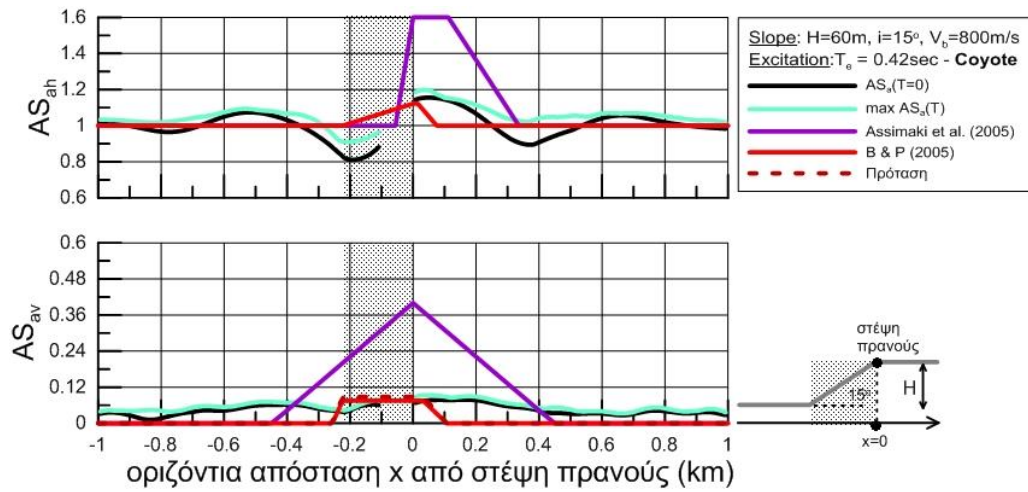


Σχήμα Γ.40

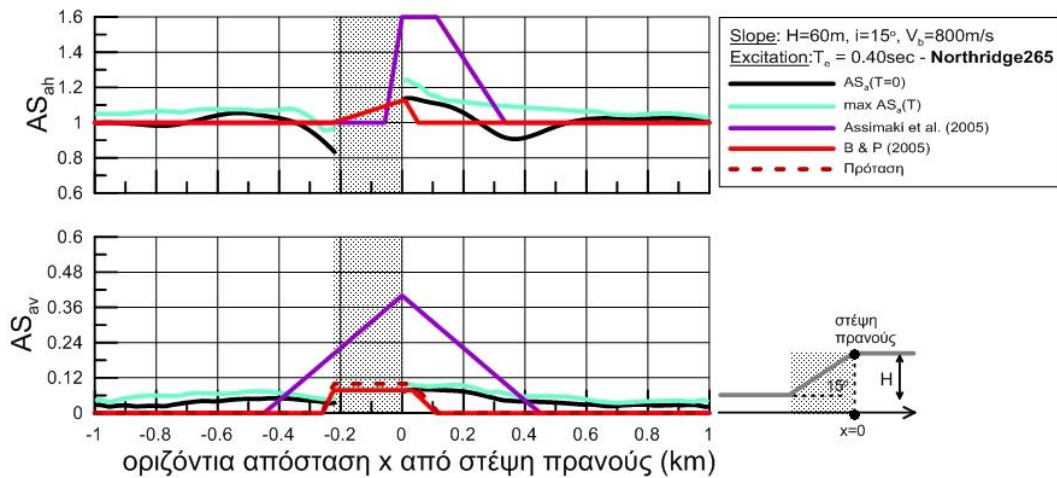
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=800\text{m/s}$



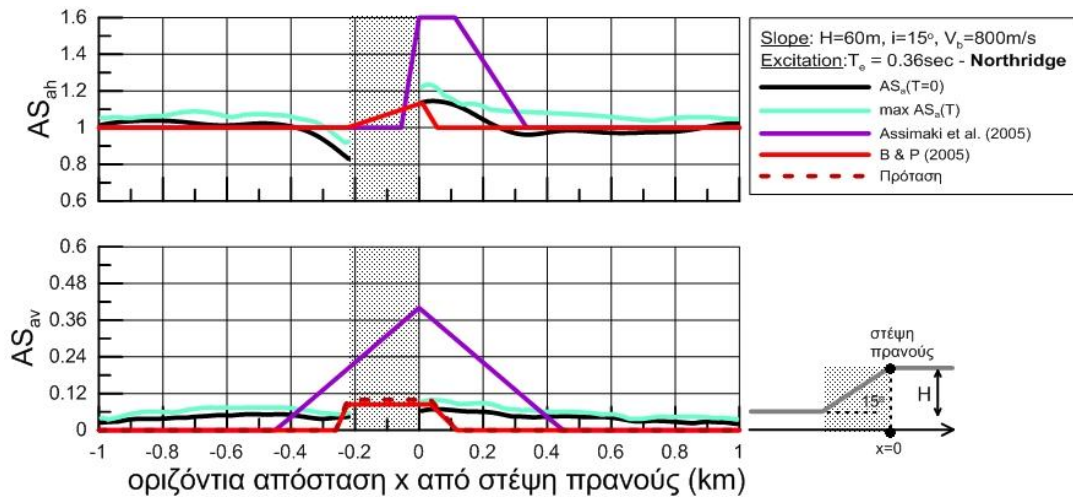
Σχήμα Γ.41



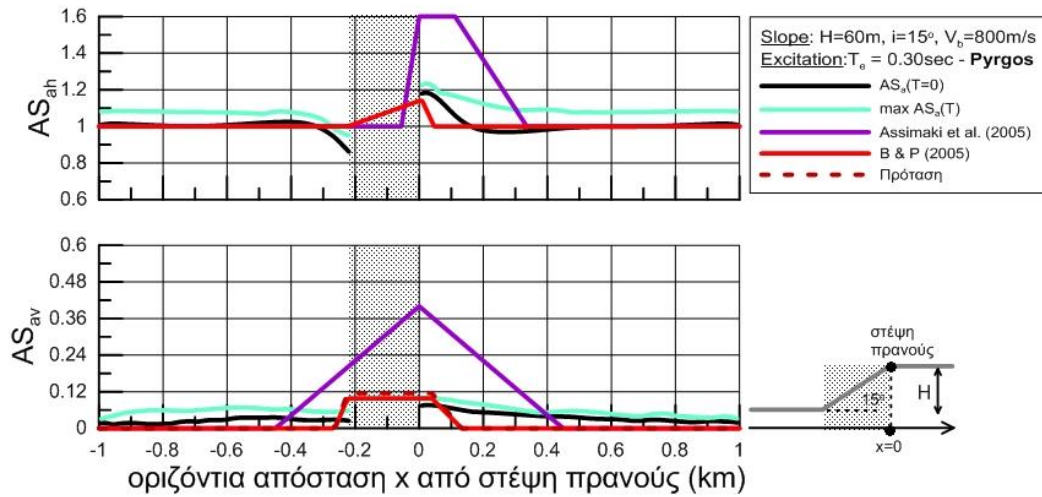
Σχήμα Γ.42



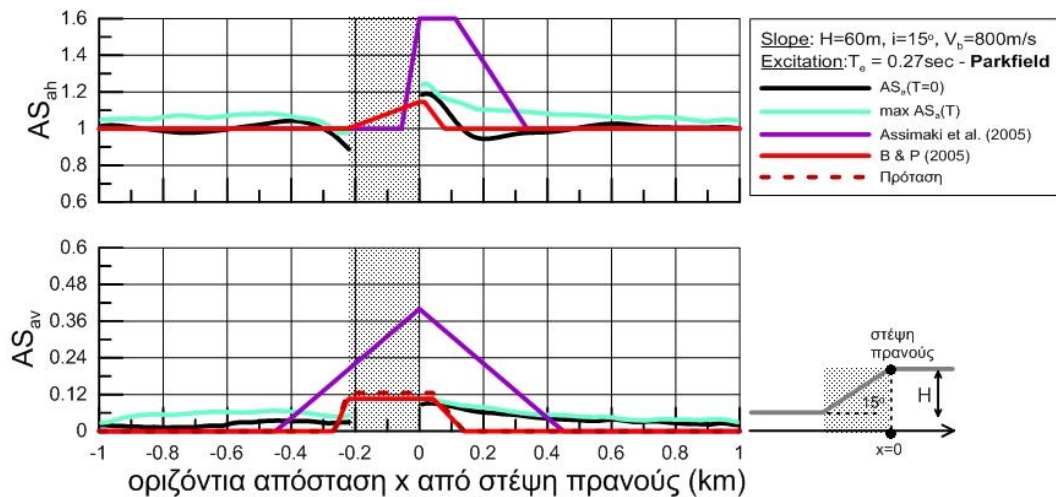
Σχήμα Γ.43



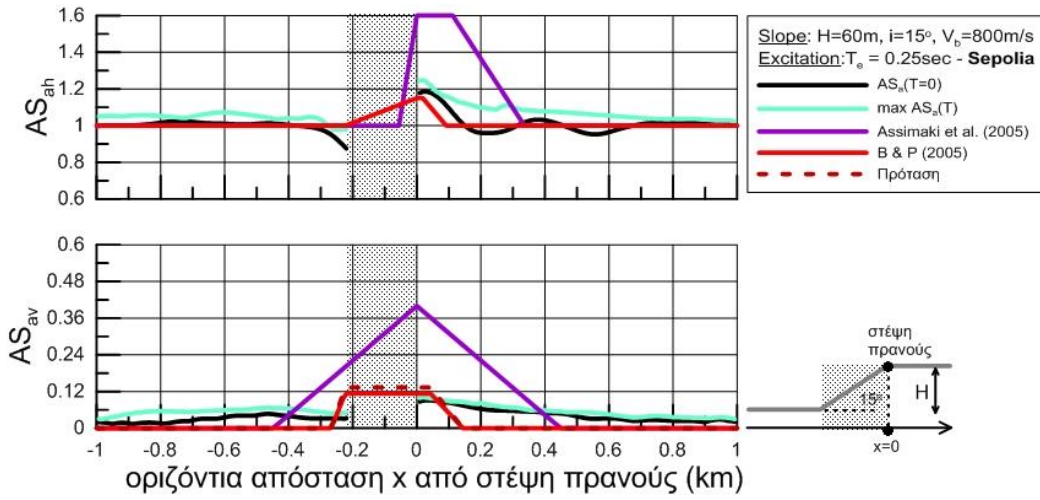
Σχήμα Γ.43



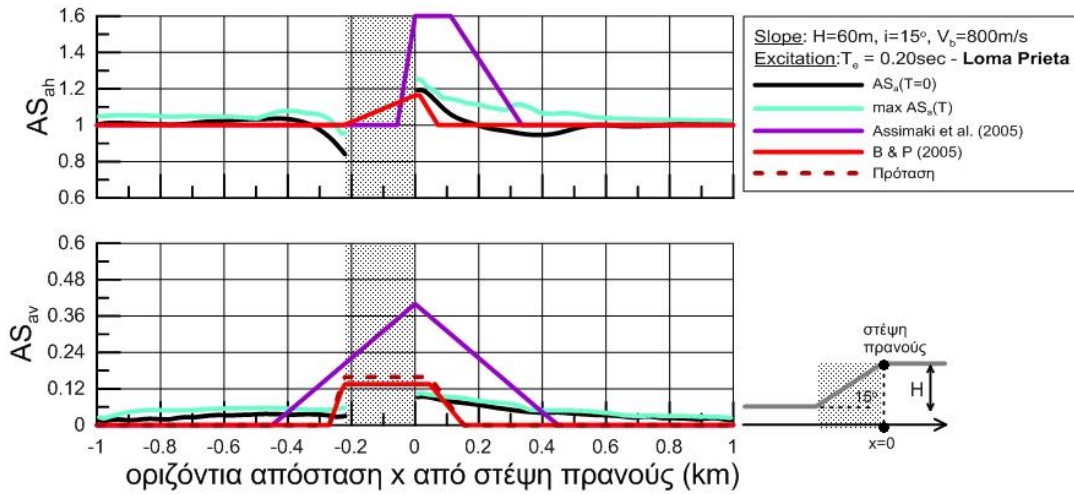
Σχήμα Γ.44



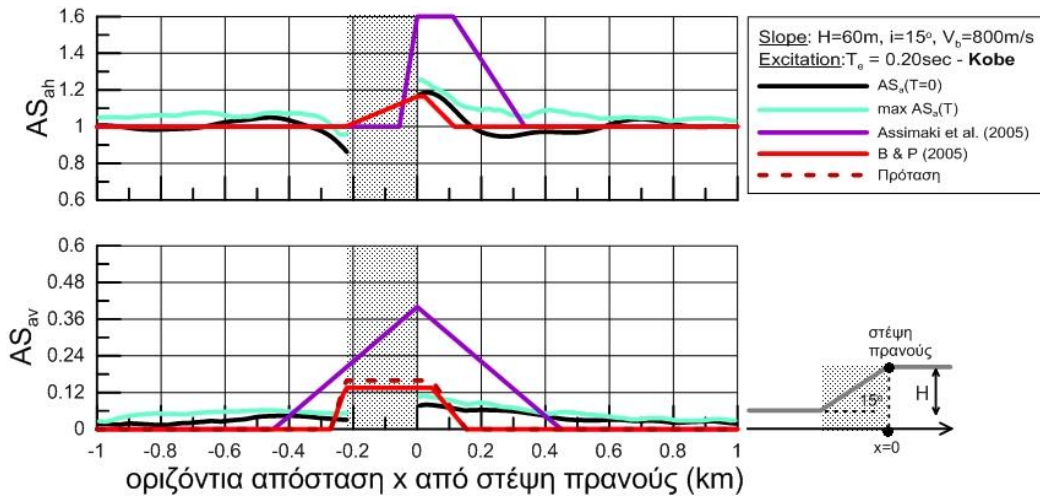
Σχήμα Γ.45



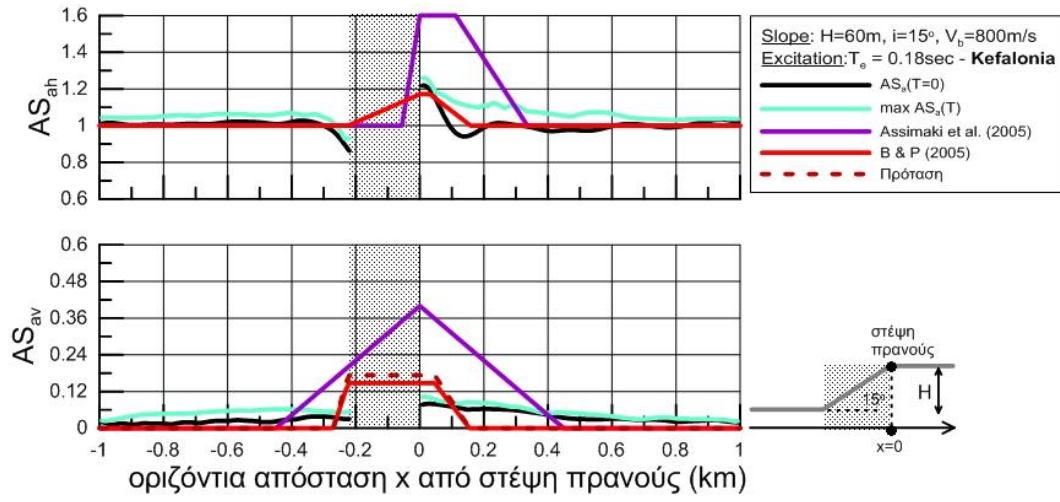
Σχήμα Γ.46



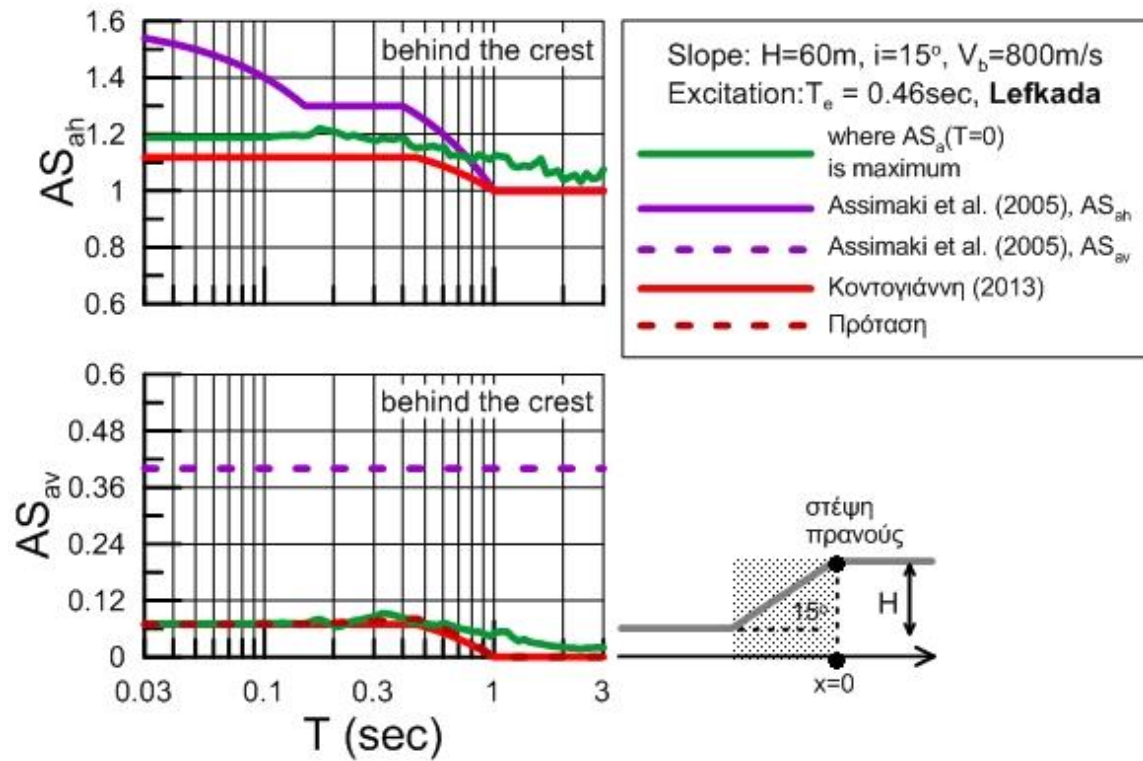
Σχήμα Γ.47



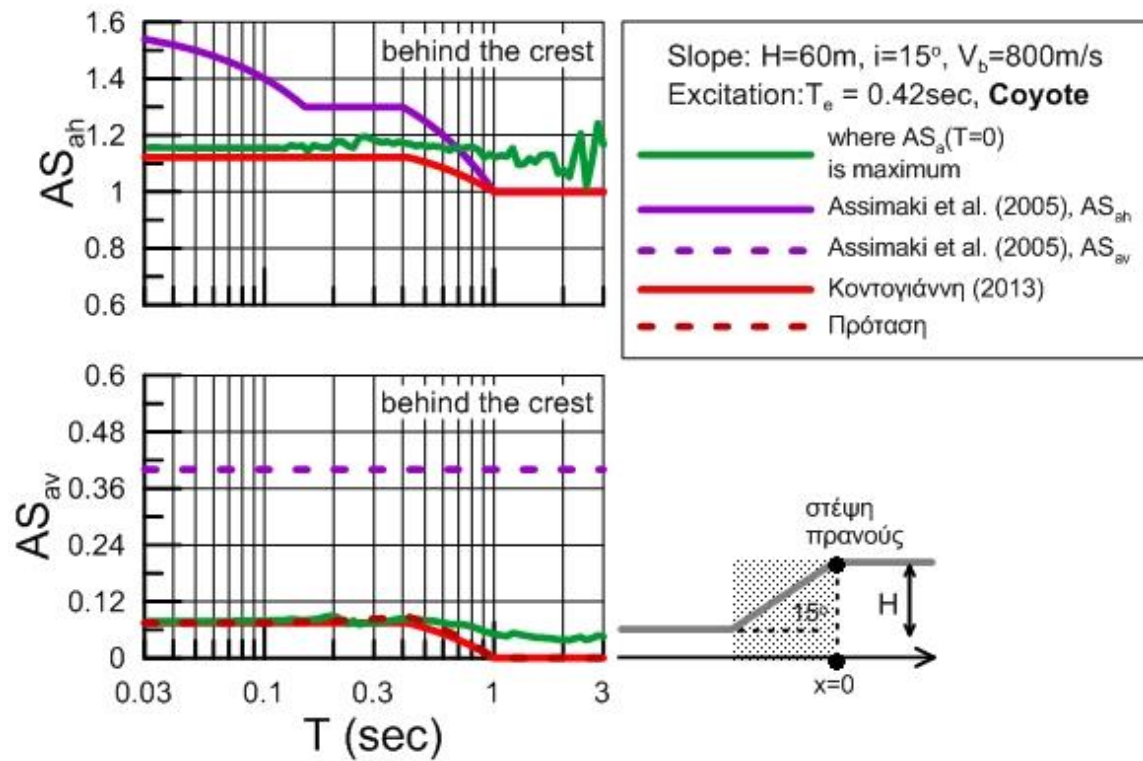
Σχήμα Γ.48



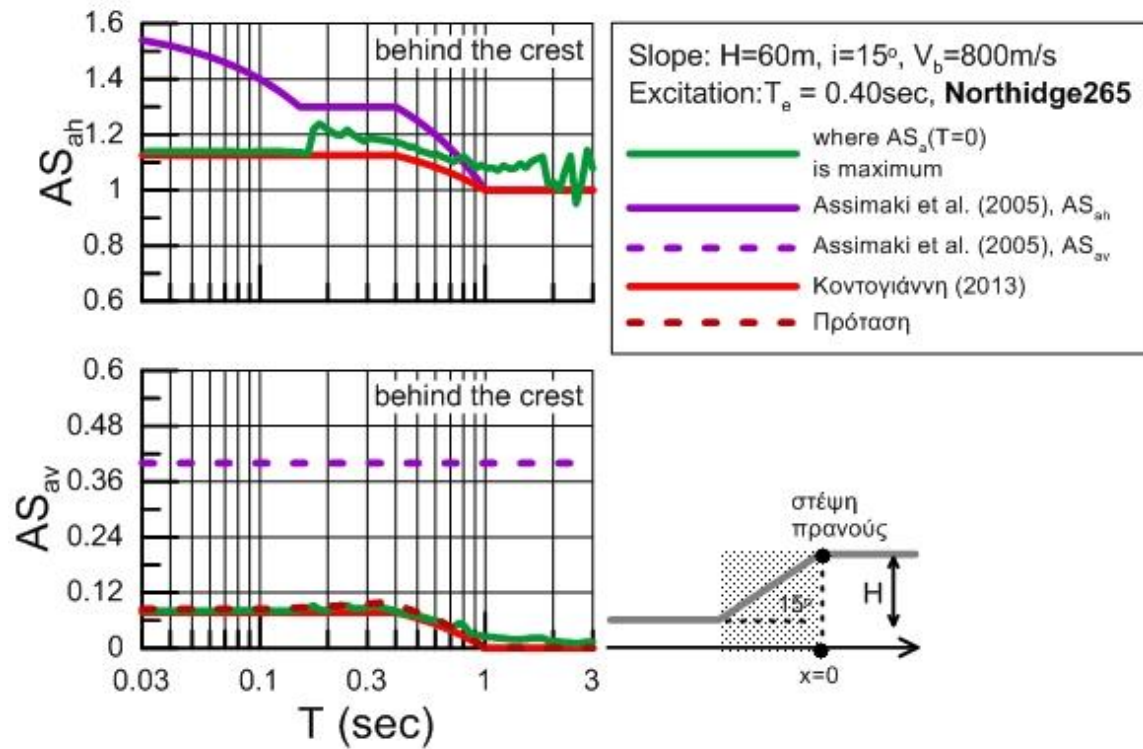
Σχήμα Γ.50



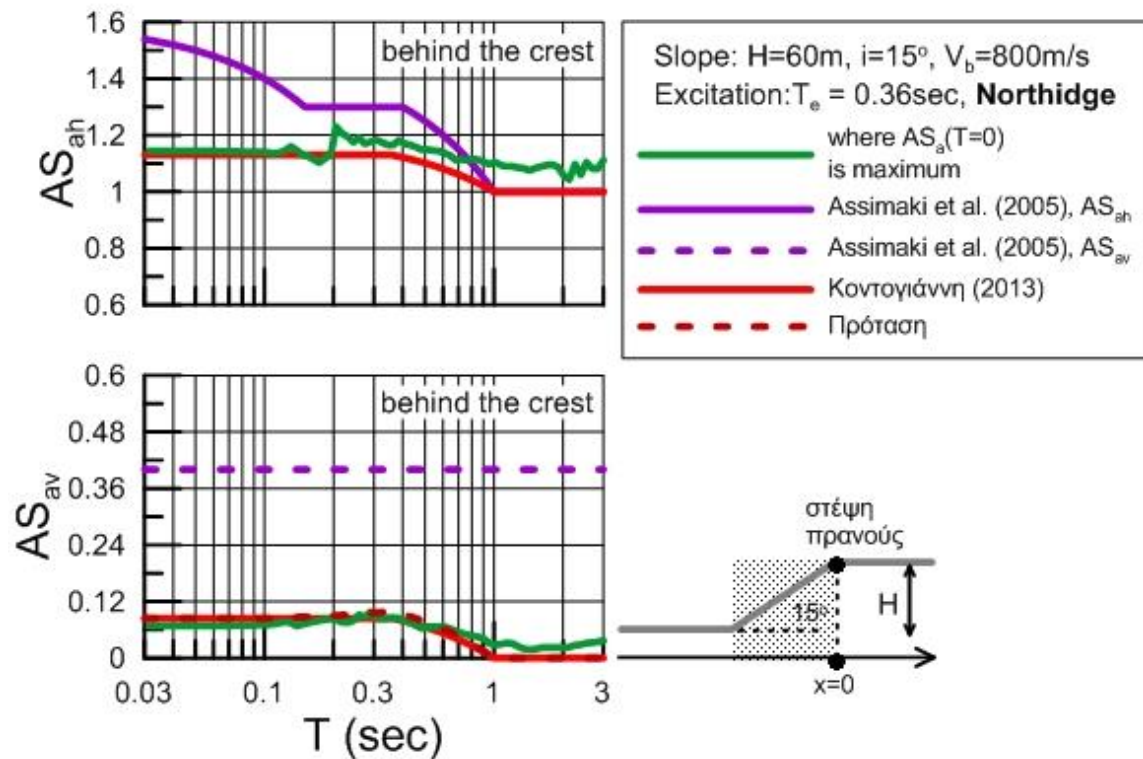
Σχήμα Γ.51



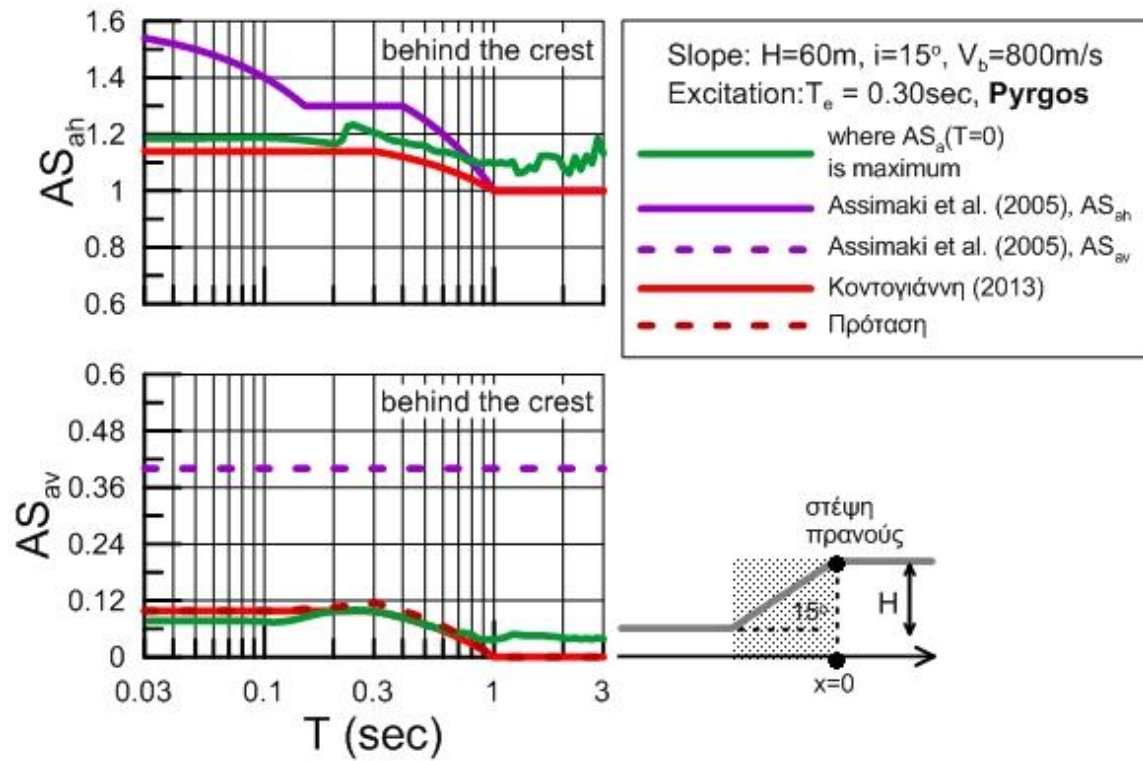
Σχήμα Γ.52



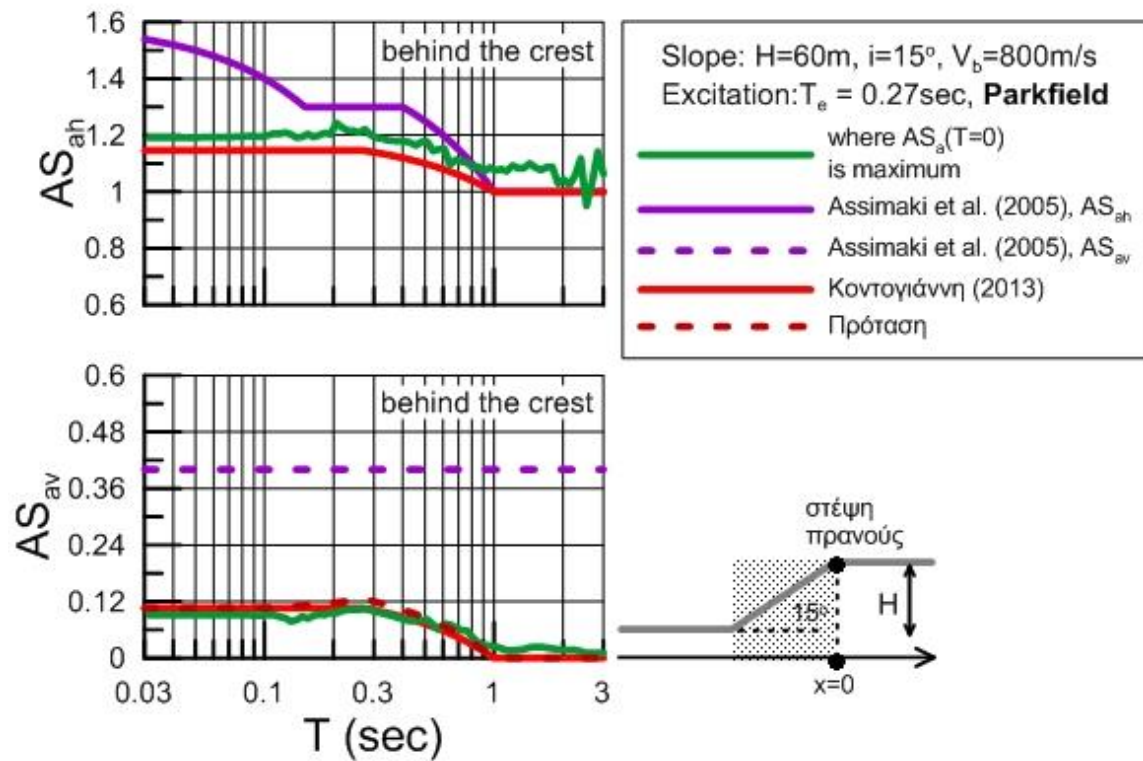
Σχήμα Γ.53



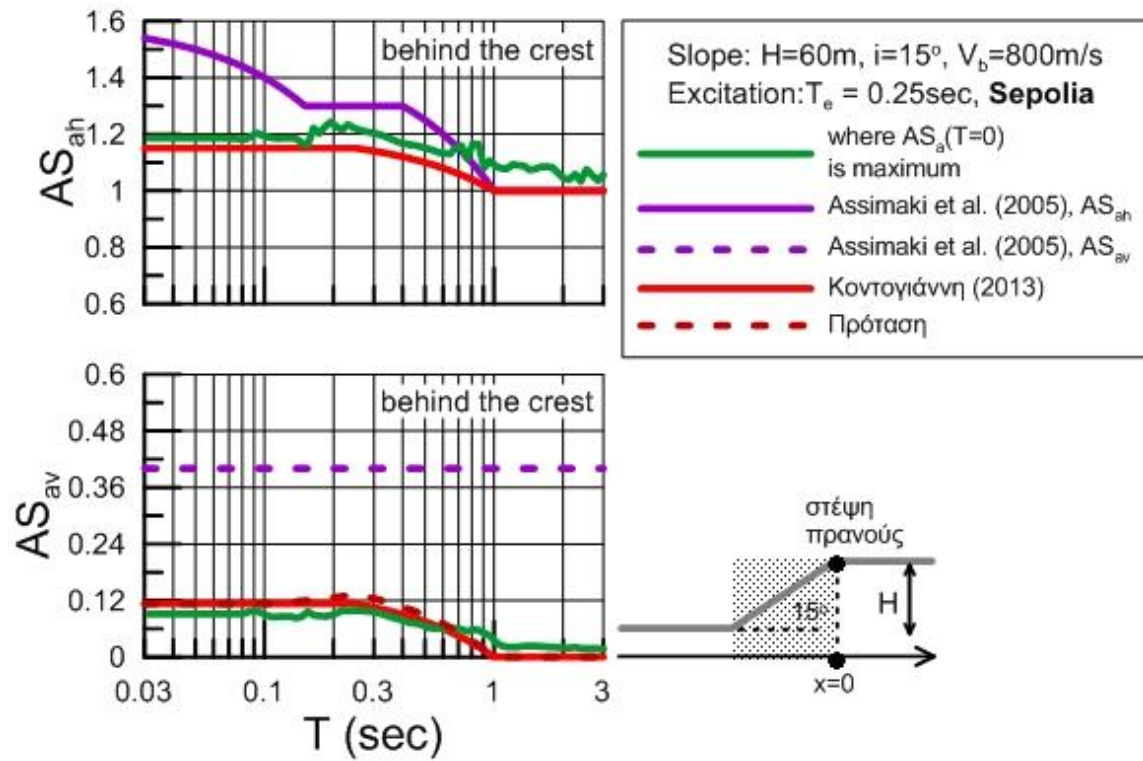
Σχήμα Γ.54



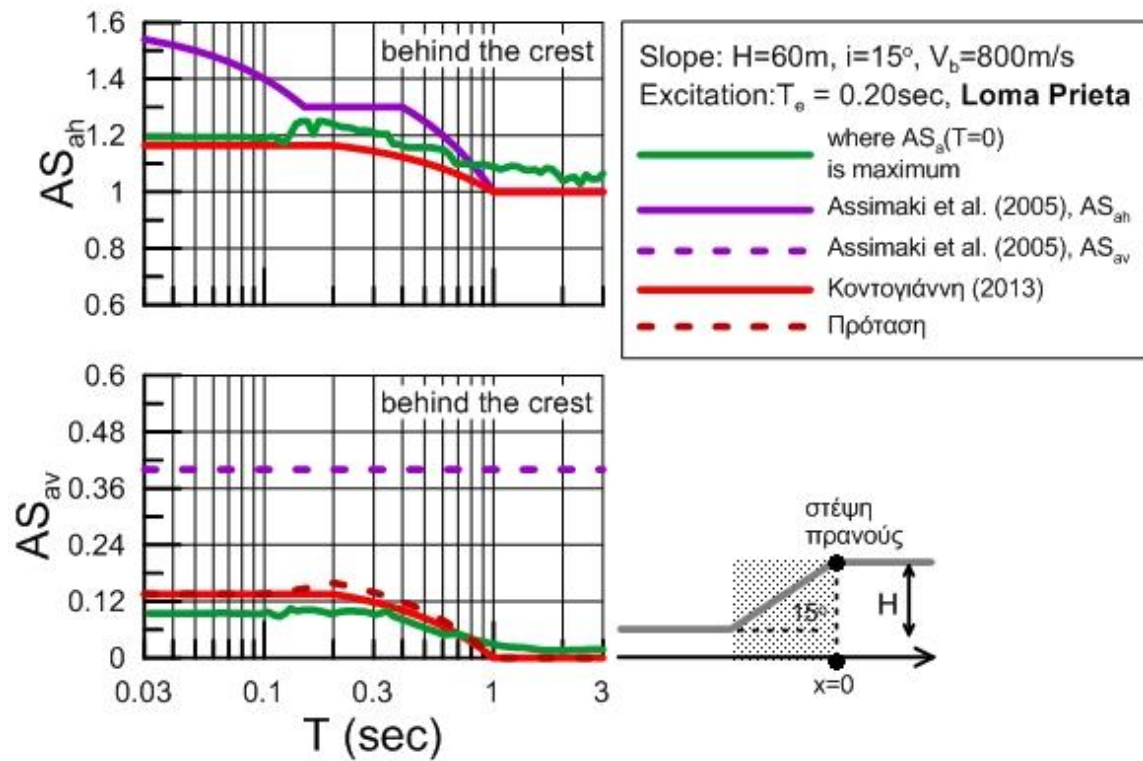
Σχήμα Γ.55



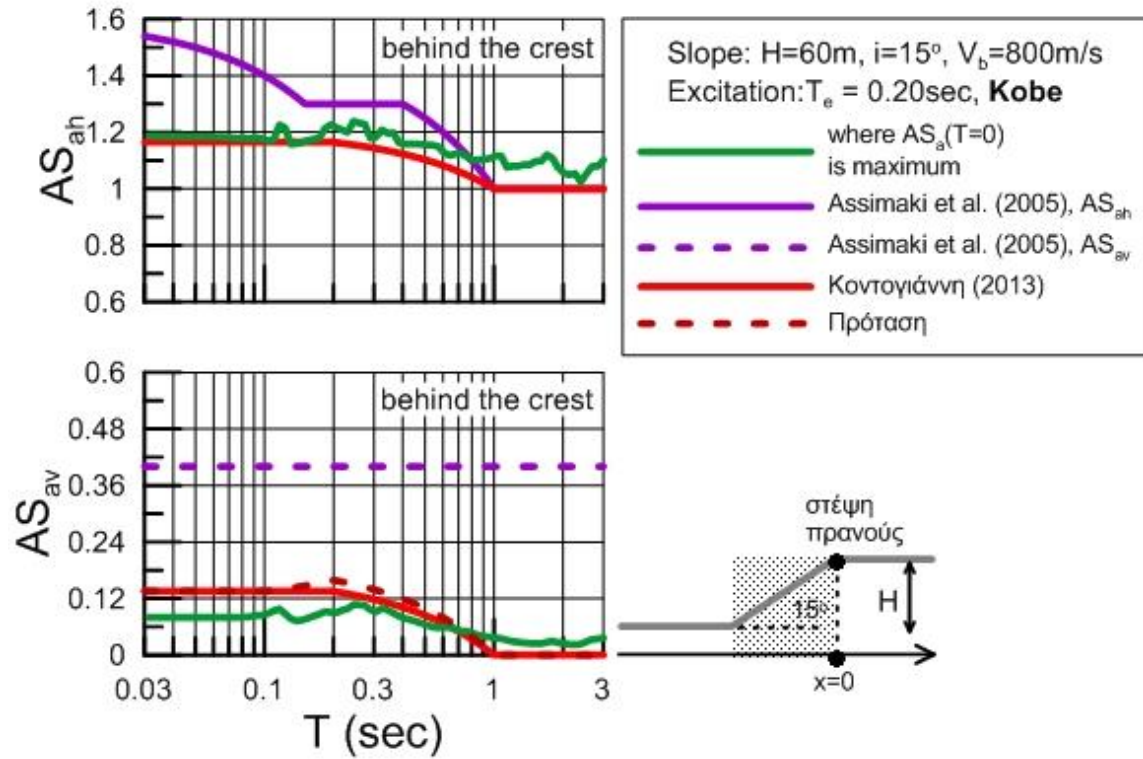
Σχήμα Γ.56



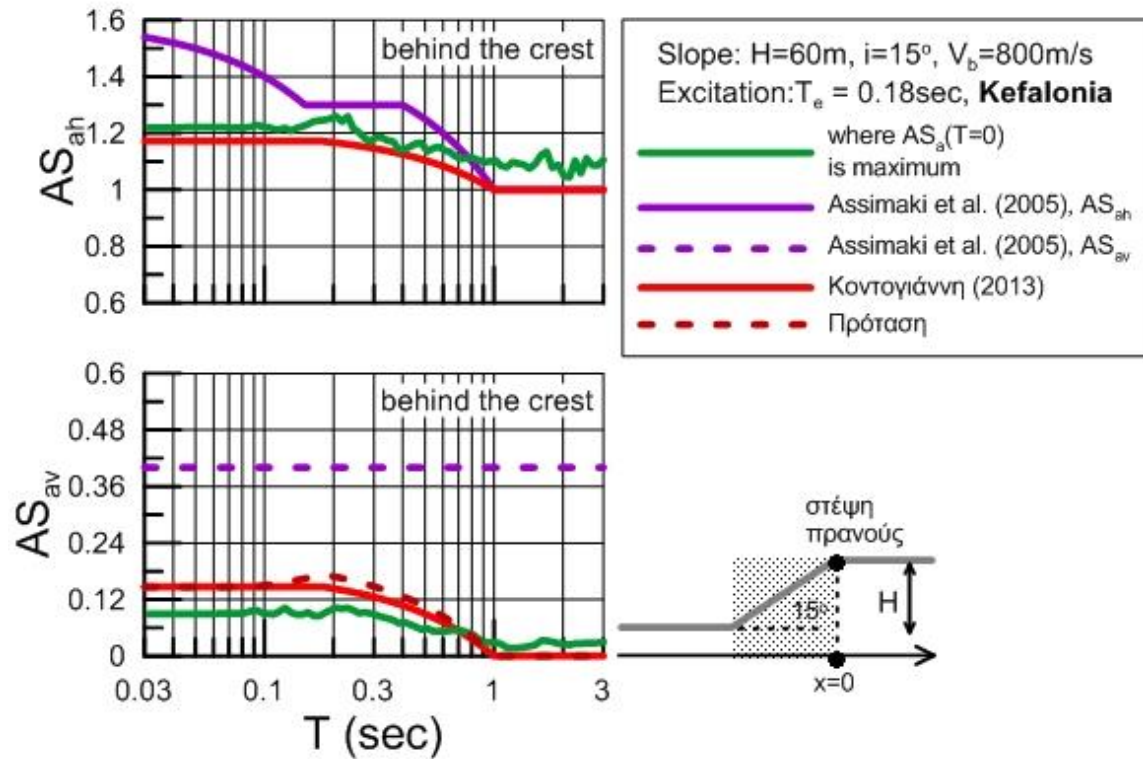
Σχήμα Γ.57



Σχήμα Γ.58

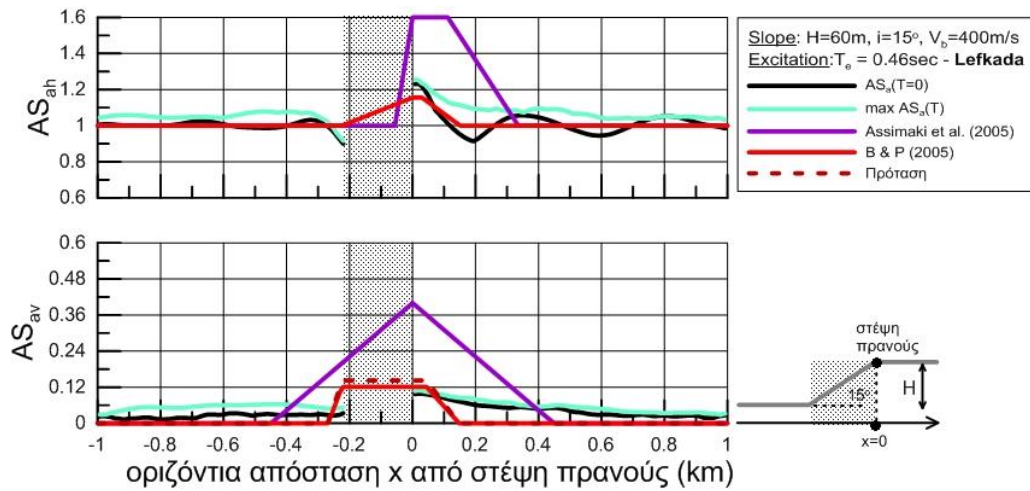


Σχήμα Γ.59

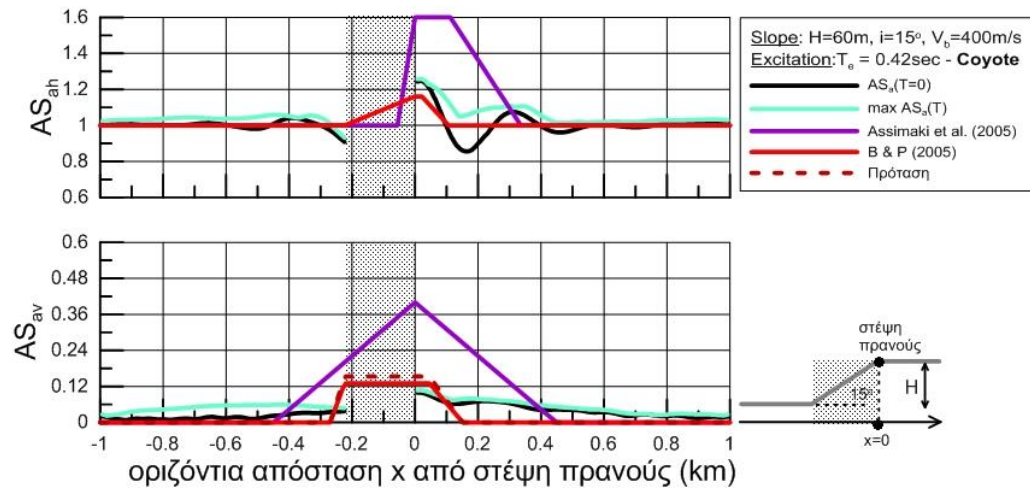


Σχήμα Γ.60

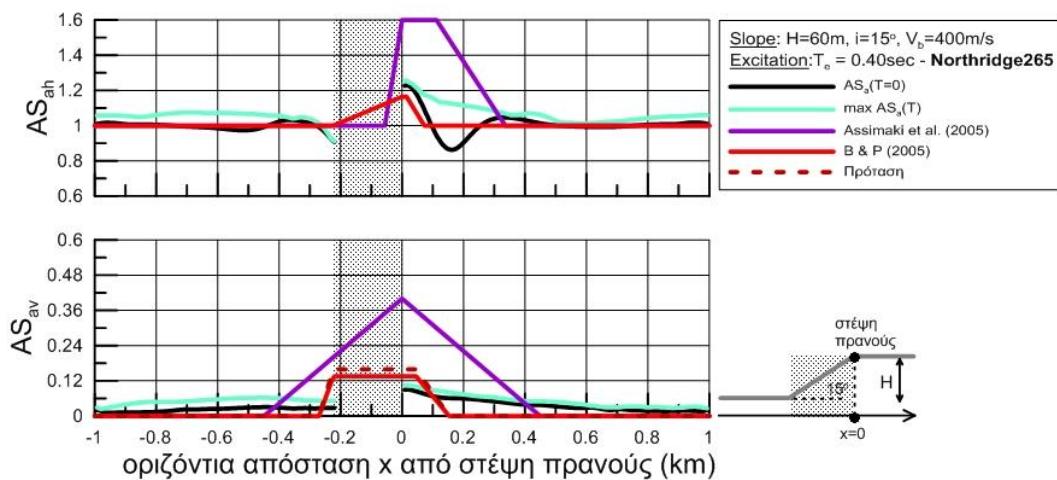
Πρανές: $H=60\text{m}$, $i=15^\circ$, $V_s=400\text{m/s}$



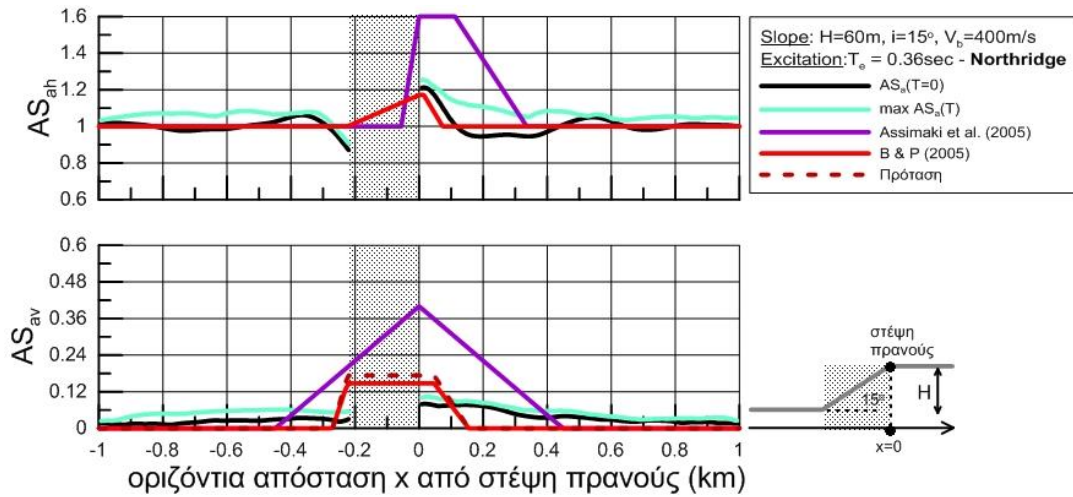
Σχήμα Γ.61



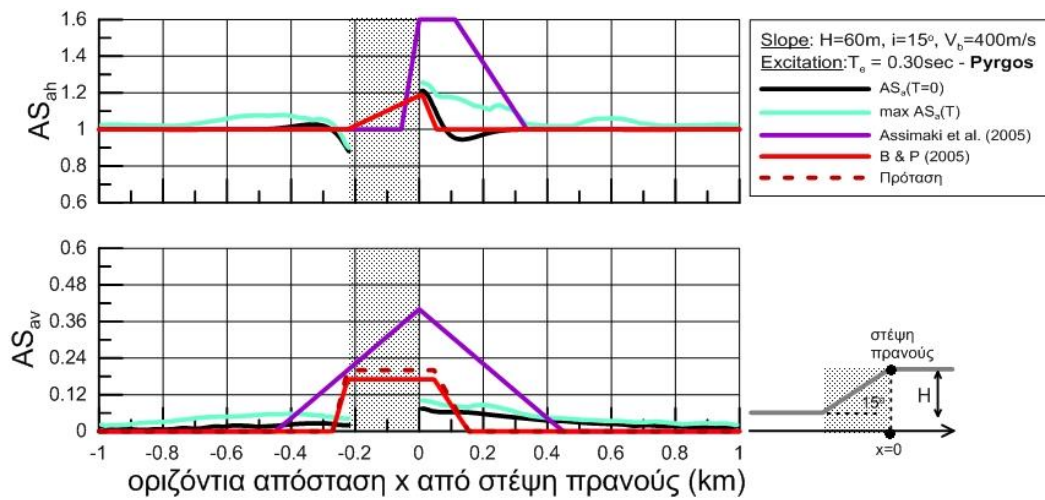
Σχήμα Γ.62



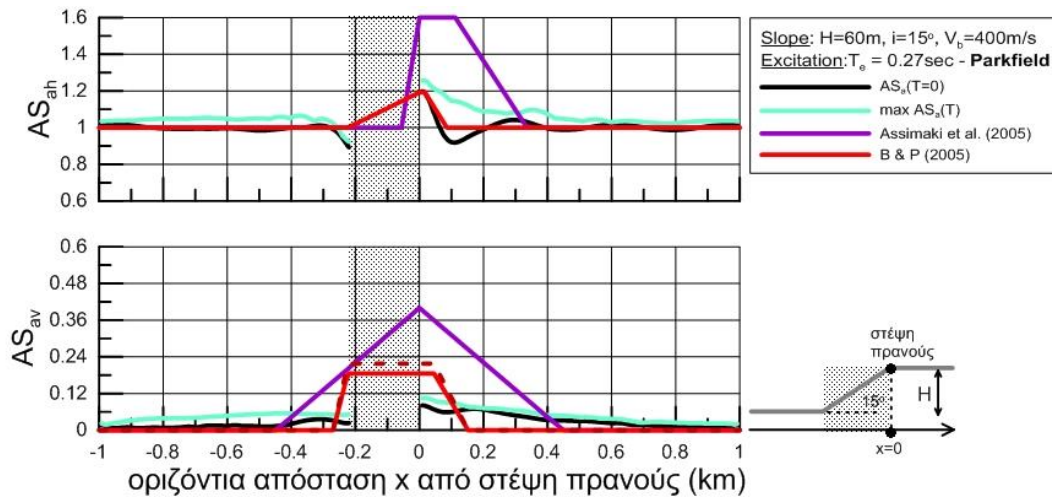
Σχήμα Γ.63



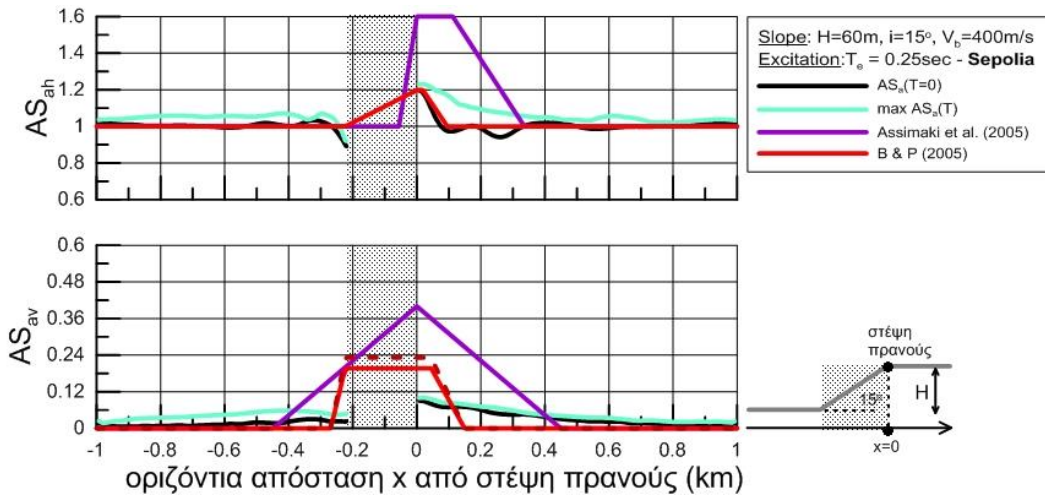
Σχήμα Γ.64



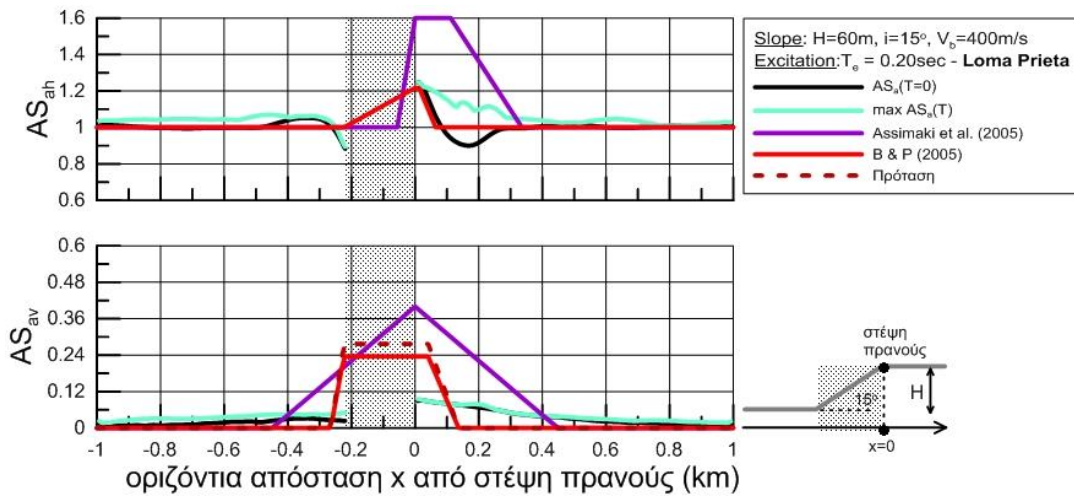
Σχήμα Γ.65



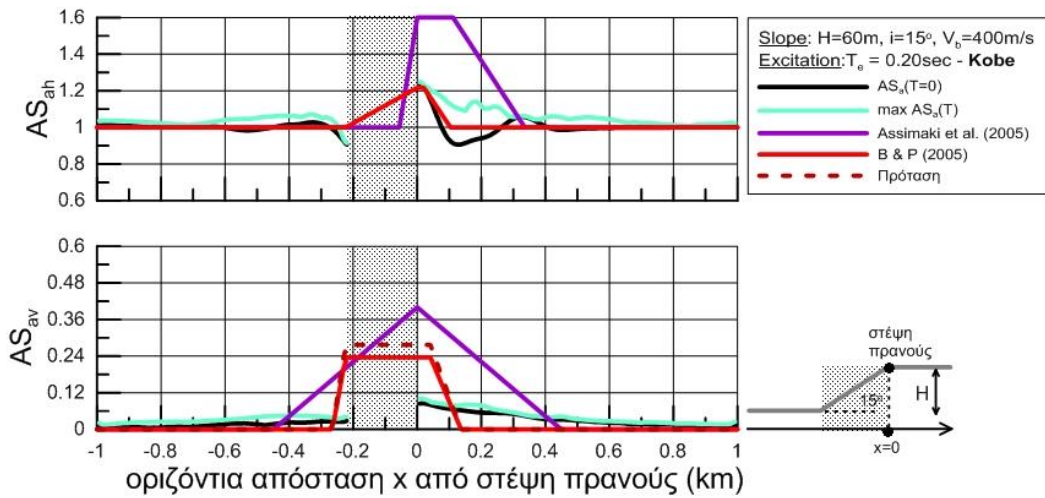
Σχήμα Γ.66



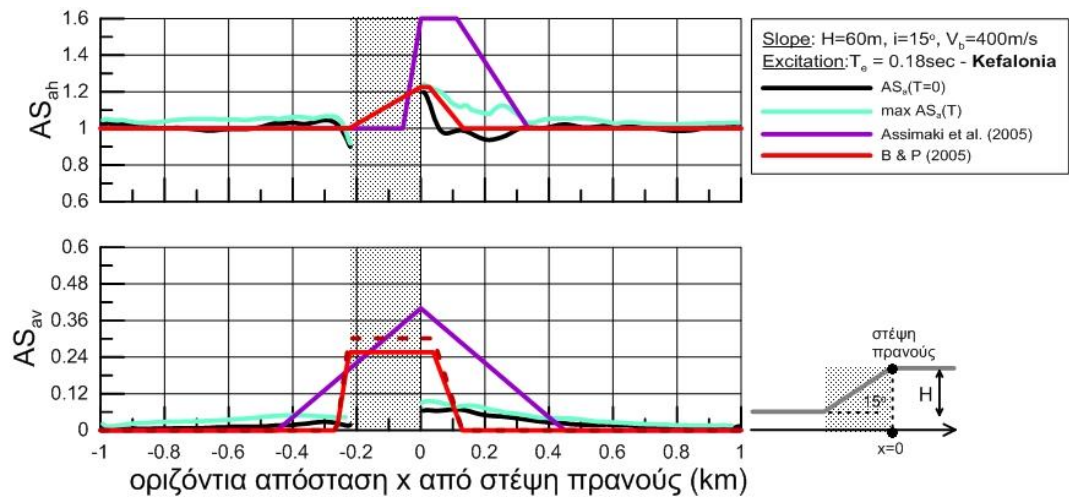
Σχήμα Γ.67



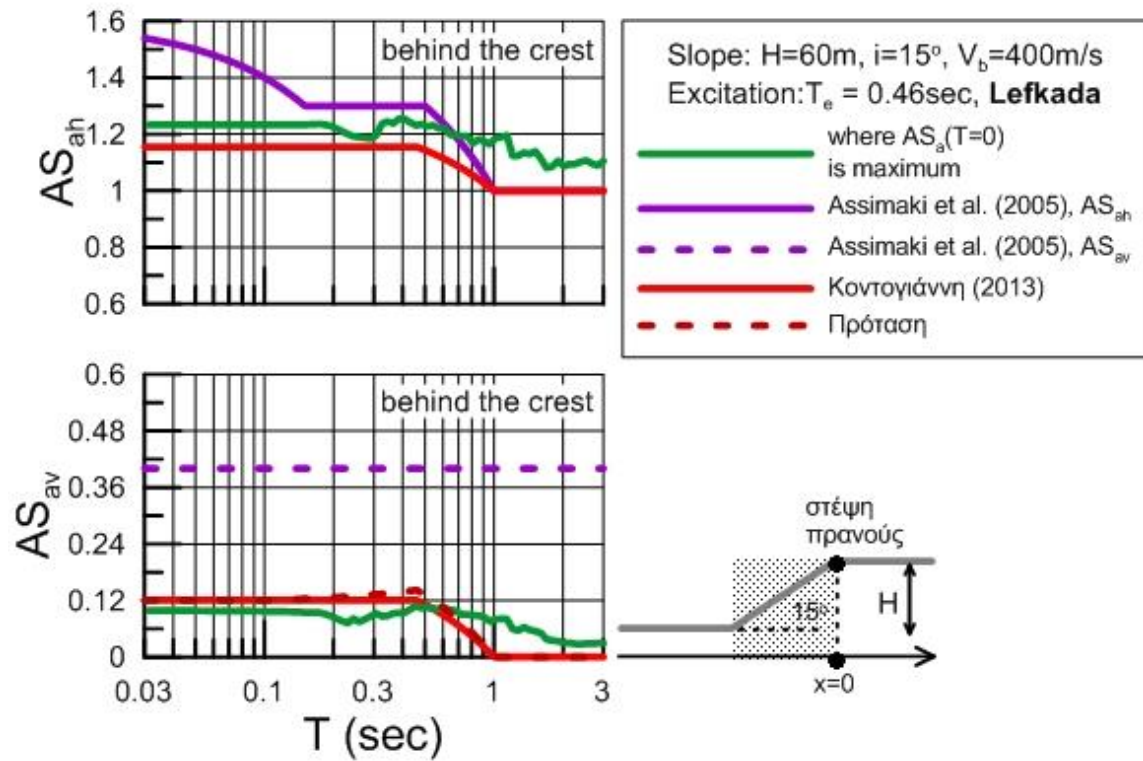
Σχήμα Γ.68



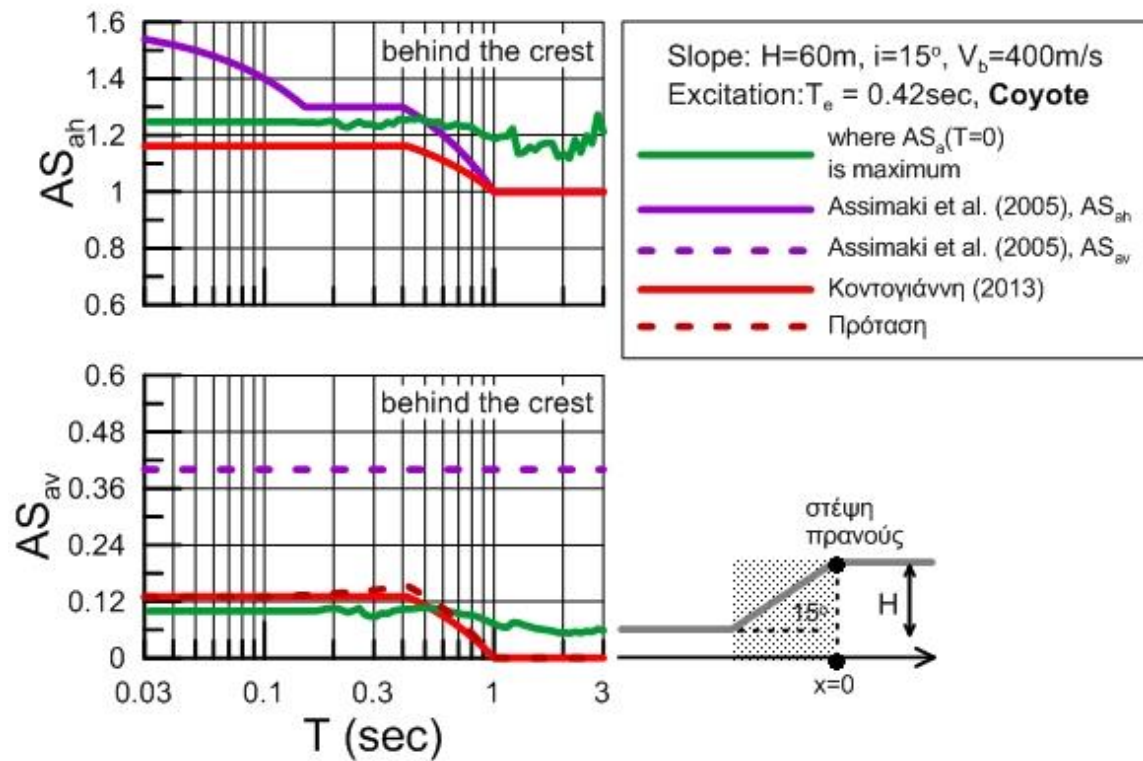
Σχήμα Γ.69



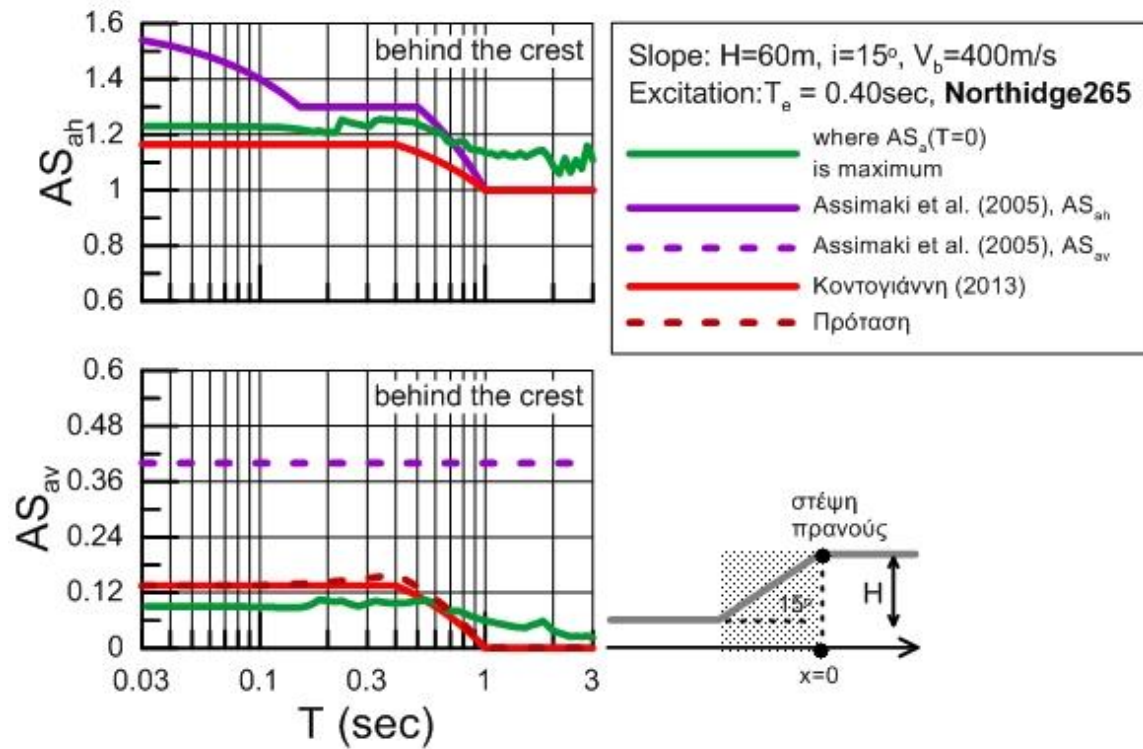
Σχήμα Γ.70



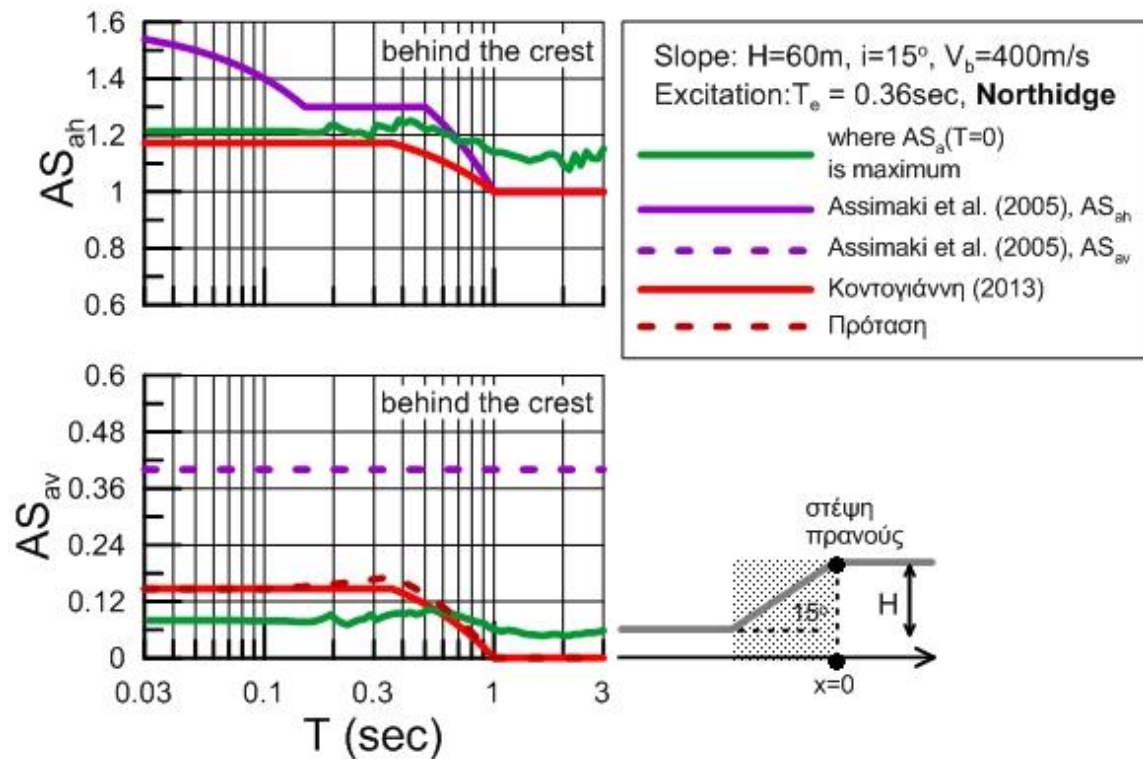
Σχήμα Γ.71



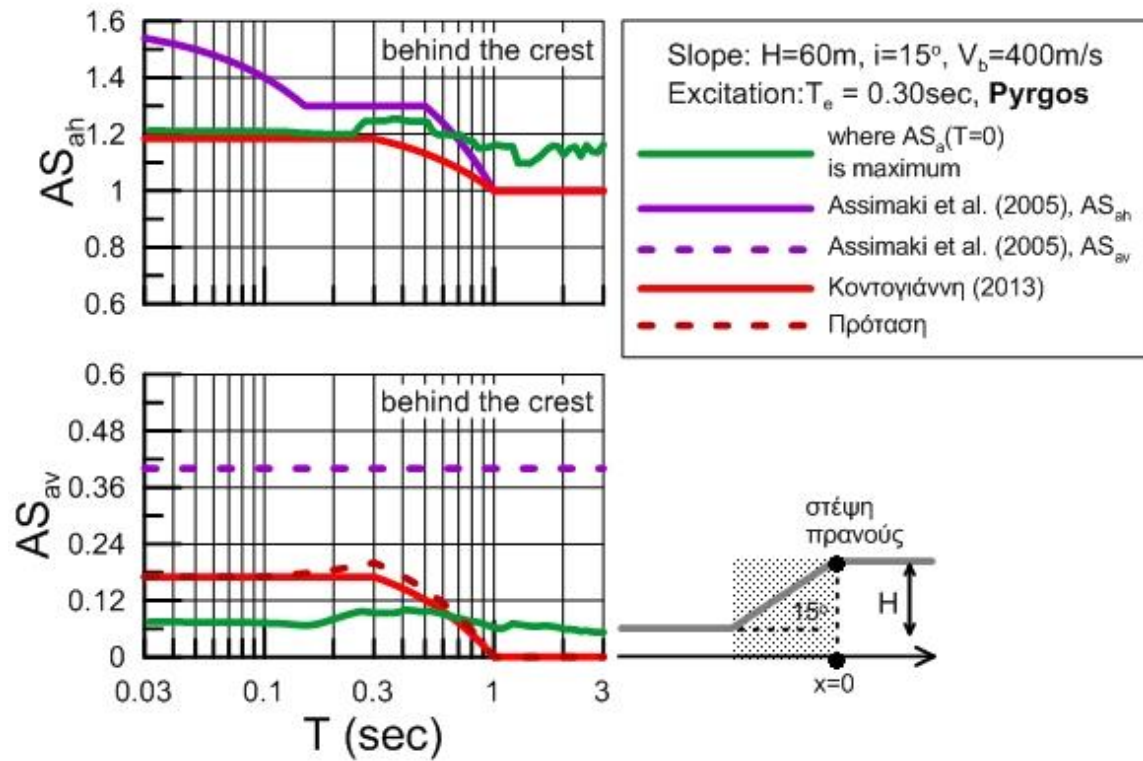
Σχήμα Γ.72



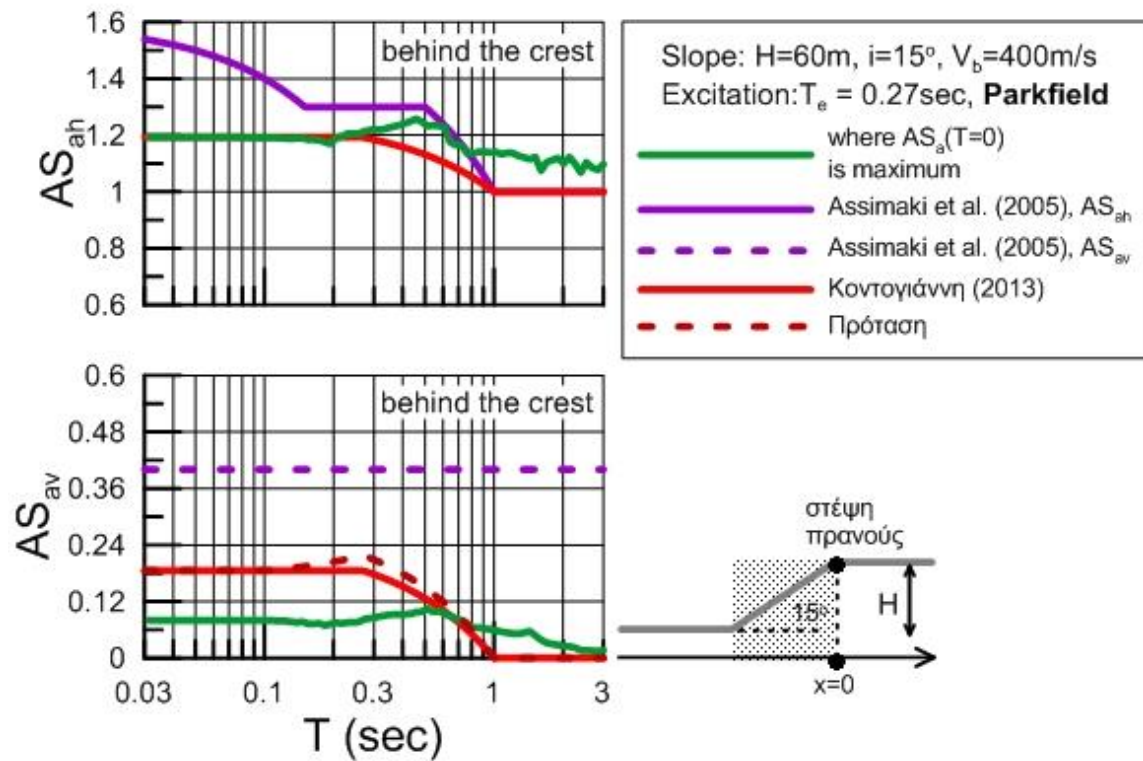
Σχήμα Γ.73



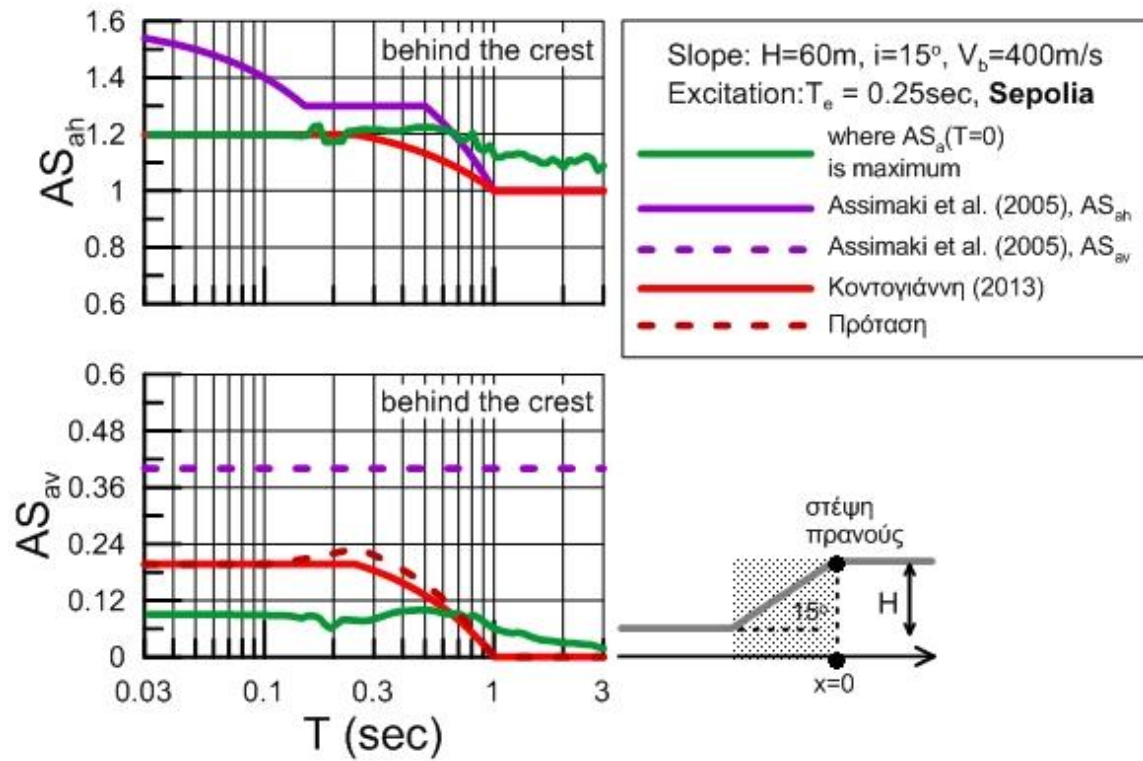
Σχήμα Γ.74



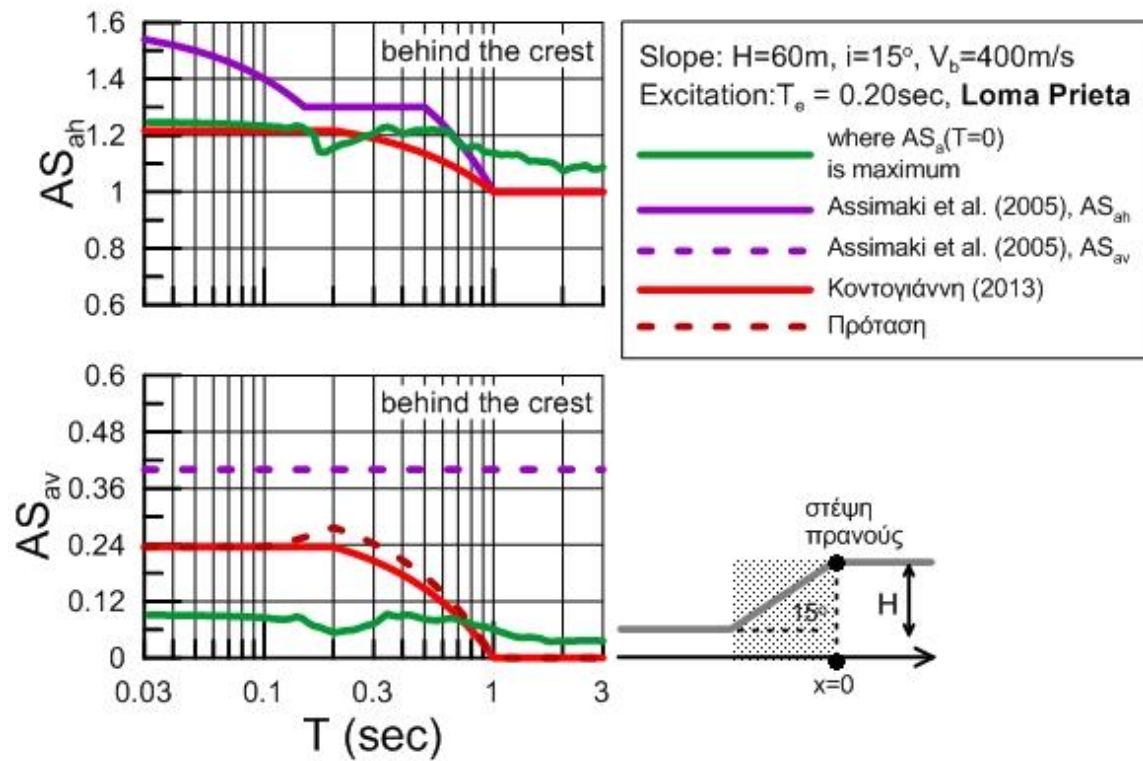
Σχήμα Γ.75



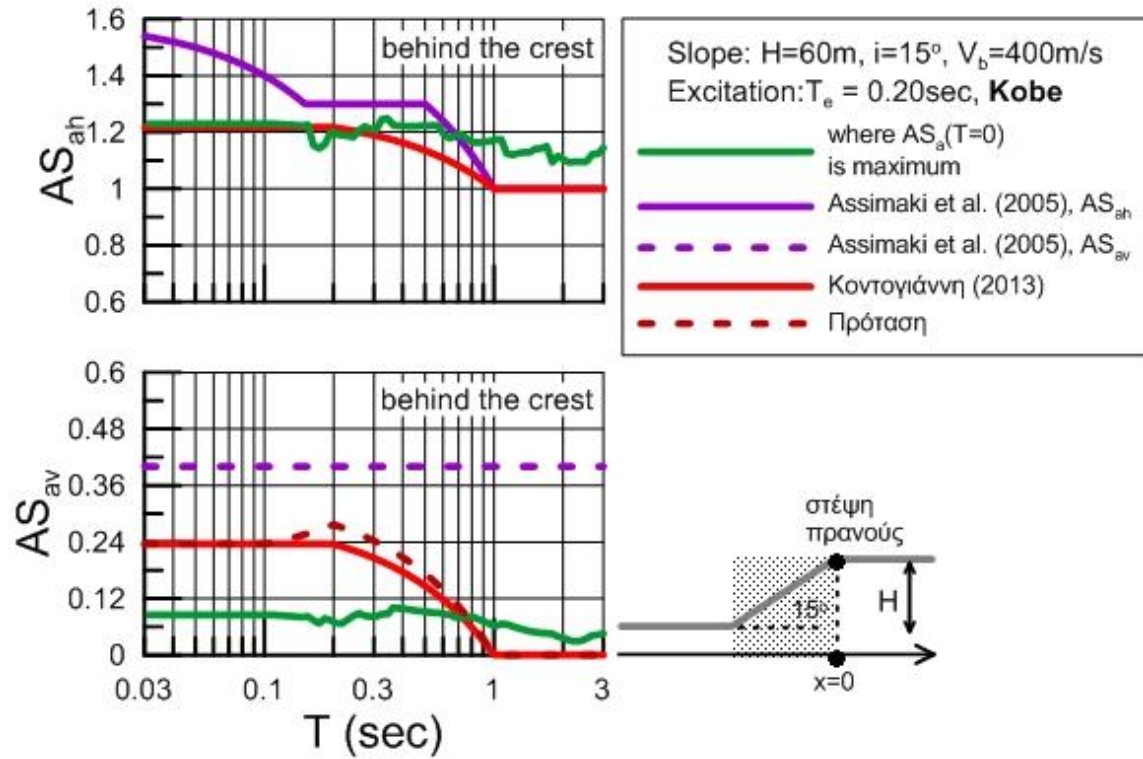
Σχήμα Γ.76



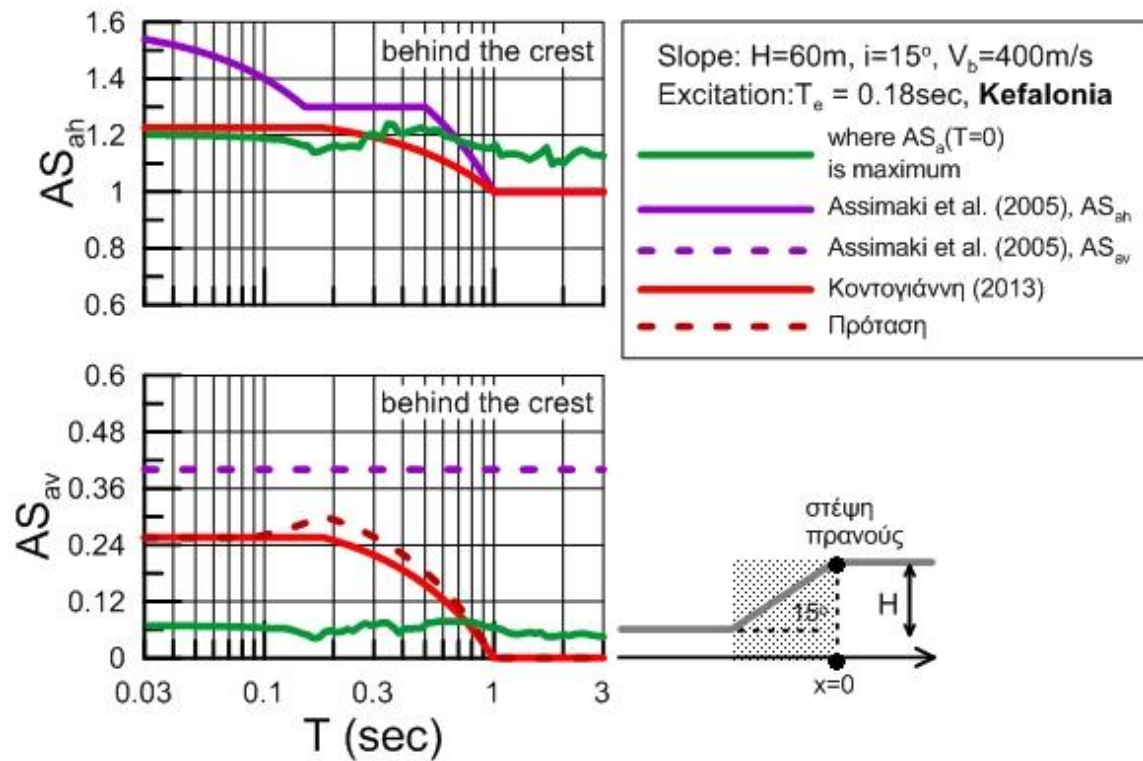
Σχήμα Γ.77



Σχήμα Γ.78



Σχήμα Γ.79



Σχήμα Γ.80

