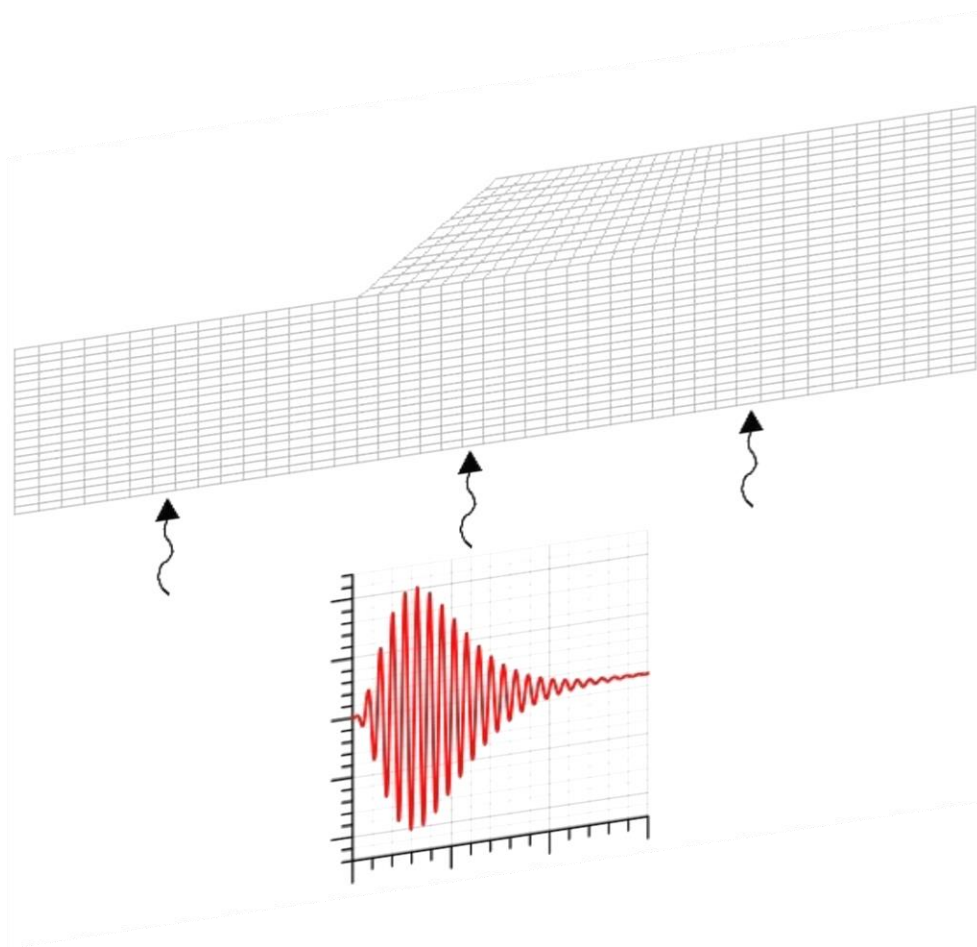




Σύζευξη Τοπογραφικής και Εδαφικής Επιδείνωσης της Σεισμικής Απόκρισης
Πρανών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Coupling of Topographic and Stratigraphic Aggravation of Seismic Response of
Slopes

Ευάγγελος Μπούρδος

Επιβλέπων: Αχιλλέας Παπαδημητρίου, Επίκουρος καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αχιλλέα Παπαδημητρίου, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την επιλογή του θέματος και την πολύτιμη καθοδήγηση, υποστήριξη αλλά και αποτελεσματική συνεργασία σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην υπ. διδάκτορα Ταξιαρχούλα Λημναίου για τη συμβολή της σε ότι αφορά την εκμάθηση καθώς και την εξοικείωση με την χρήση όλων των λογισμικών που απαιτήθηκαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους ανθρώπους από το φιλικό μου περιβάλλον που βρίσκονταν δίπλα μου καθόλη τη διάρκεια των σπουδών, υποστηρίζοντας με σε κάθε μου βήμα.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Ευάγγελος Μπούρδος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πρόβλημα της τοπογραφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης στη γειτονία ομοιογενών μονοκλινών πρανών έχει μελετηθεί αρκετά στη βιβλιογραφία όπου έχουν προκύψει και προτάσεις για την προσεγγιστική εκτίμηση αυτής. Για παράδειγμα, οι Bouckonas & Paradimitriou (2005, 2006) πρότειναν σχέσεις τόσο για τον υπολογισμό της επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους πίσω απ' τη στέψη (και στις 2 διευθύνσεις), όσο και για την χωρική μεταβολή της τοπογραφικής επιδείνωσης (μπροστά και πίσω από το πρανές. Ωστόσο, συχνά προκύπτει αναντιστοιχία μεταξύ της μελετημένης απόκρισης ομοιογενών πρανών και των ενόργανων μετρήσεων πραγματικών σεισμικών γεγονότων, η οποία αποδίδεται στην ανομοιογένεια του πραγματικού εδάφους και στην σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης. Η διερεύνηση αυτού του φαινομένου αποτέλεσε βασικό αντικείμενο στην εργασία των Tripe et al. (2013), όπου μελετήθηκαν αριθμητικά περιπτώσεις ανομοιογενούς πρανούς (έδαφος επί άκαμπτου υποβάθρου), ενώ αργότερα οι Rizzitano et al (2014) έκαναν το ίδιο για την ρεαλιστικότερη θεώρηση ενδόσιμου υποβάθρου. Παρόλα αυτά, οι εργασίες αυτές δεν έχουν ποσοτικοποιήσει τη σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης και αυτός είναι ο στόχος της παρούσας εργασίας.

Για το σκοπό αυτό γίνεται εδώ αριθμητική διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης στην γειτονία μονοκλινών ανομοιογενών πρανών, όπου η ανομοιογένεια προκύπτει από την ύπαρξη ενδόσιμου υποβάθρου σε κάποιο βάθος κάτω από το πρανές. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για ανομοιογενή μονοκλινή πρανή κλίσης $i=30^\circ$ και ύψους $H=50\text{m}$ υπό αρμονικές (Chang's signal) διεγέρσεις, με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών και τη χρήση του λογισμικού FLAC. Το έδαφος θεωρήθηκε ιξωδο-ελαστικό, με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και πυκνότητα $\rho=2\text{Mg/m}^3$, ενώ το υπόβαθρο θεωρήθηκε πιο στιβαρό με ταχύτητες διατμητικών κυμάτων $V_b=800-5000\text{m/s}$. Οι διεγέρσεις είχαν εύρος δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.1-2\text{sec}$ και εισήχθησαν στη οριζόντια βάση του καννάβου ως χρονοϊστορία διατμητικής τάσης. Επιπλέον, υιοθετήθηκε απόσβεση τύπου Rayleigh με ελάχιστη τιμή $\xi_{\min}=5\%$ στη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης. Από τις αναλύσεις για αρμονική διέγερση προέκυψαν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

- Η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης σχετίζεται άμεσα με την θεμελιώδη περίοδο (1Δ) ταλάντωσης T_s της εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο.
- Η επίδραση του υποβάθρου στην επιδείνωση τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης φαίνεται να γίνεται εντονότερη όσο πιο μικρός είναι ο λόγος εμπέδησης I_R .
- Η χωρική διαφοροποίηση της επιδείνωσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε ανομοιογενή πρανή είναι συμβατή με τη χωρική διαφοροποίηση του ομοιογενούς πρανούς, αλλά με διαφορετικό εύρος τιμών ενίσχυσης και απομείωσης λόγω της σύζευξης με την εδαφική επιδείνωση.
- Η επίδραση του υποβάθρου στην τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται με αύξηση του βάθους του, όσο και για ακραίες τιμές της δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης (πολύ μικρές ή πολύ μεγάλες).

Ύστερα από την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών προέκυψε:

- Πρόταση ποσοτικής εκτίμησης της επίδρασης της ανομοιογένειας στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης για τον πόδα και τη στέψη του πρηνούς, θέσεις που θεωρούνται χαρακτηριστικές για την απόκριση μπροστά και πίσω από το πρηνές, αντίστοιχα.
- Πρόταση «περιβάλλουσας» σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση της συζευγμένης επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε ανομοιογενή πρηνή με ενδόσιμο υπόβαθρο.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν (περιορισμένες σε αριθμό) αριθμητικές αναλύσεις για ανομοιογενή μονοκλινή πρηνή ιδίων χαρακτηριστικών υπό μη-αρμονικές διεγέρσεις, που έχουν προκύψει από επεξεργασία της καταγραφής στα Σεπόλια (1999). Σκοπός των εν λόγω αναλύσεων είναι η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης της επιτάχυνσης. Από την επεξεργασία των ανωτέρω αποτελεσμάτων προέκυψαν τα κάτωθι γενικά συμπεράσματα:

- Ό,τι ισχύει για τη συσχέτιση της συζευγμένης επιδείνωσης με τη θεμελιώδη περίοδο (1Δ) ταλάντωσης T_s της εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο, την επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R και για τη χωρική διαφοροποίηση της συζευγμένης επιδείνωσης υπό αρμονικές διεγέρσεις επιβεβαιώνεται και για μη-αρμονικές διεγέρσεις.
- Επιπλέον σημαντική παράμετρος για τη συζευγμένη επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης αποτελεί η ιδιοπερίοδος κατασκευής T_{str} , δηλαδή η επιδείνωση ανά θέση δεν είναι ομοιόμορφη για όλες τις τιμές της T_{str} .
- Ανεξαρτήτως T_{str} , η επίδραση της ύπαρξης υποβάθρου στη συζευγμένη επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης είναι ποσοτικά ανάλογη με εκείνη για τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση υπό αρμονικές διεγέρσεις.

ABSTRACT

The effect of homogeneous step-like slopes on seismic ground motion has been considerably examined in the literature, which, in some cases, also includes suggestions for its approximate estimation. For instance, 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. However, a mismatch between the studied homogeneous slope response and the recordings of real seismic events has been depicted over the years and has been attributed to the soil inhomogeneity and the resulting coupling of topographic and stratigraphic aggravation. This effect was studied by Tripe et al. (2013) where numerical analyses were carried out for cases of inhomogeneous slopes (homogeneous soil slope over rigid bedrock) and later by Rizzitano et al (2014) who also performed similar numerical analyses, but for the more realistic case of compliant bedrock. The present work aims to quantify the coupling of topographic and stratigraphic aggravation in the cases of inhomogeneous step-like slopes, since this has not been attempted in the reviewed literature.

Particularly, this work studies the seismic response of inhomogeneous slopes (homogeneous soil over compliant bedrock at a depth below the slope) through numerical analyses. More specifically, most of the analyses were performed for steep ($i = 30^\circ$) step-like slopes of height $H = 50\text{m}$ over compliant bedrock and under harmonic (Chang's signal) excitations, using the Finite Difference method via FLAC. Soil was considered visco-elastic with shear wave velocity $V_s = 500\text{m/s}$, Poisson's ratio $\nu = 1/3$ and mass density $\rho = 2\text{Mg/m}^3$, while the bedrock was assumed stiffer with shear wave velocity $V_b = 800$ to 5000m/s , corresponding to impedance ratios ranging from 0.625 down to 0.1. Seismic excitations were imposed as time-histories of shear stress at the horizontal base of the mesh, while their predominant periods T_e ranged from 0.1 to 2sec. Rayleigh damping was adopted with critical damping ratio $\xi_{\min} = 5\%$ set at the predominant period T_e of each excitation. The results of the numerical analyses led to the following general conclusions:

- The coupling of topographic and stratigraphic aggravation of the maximum acceleration is directly correlated to the fundamental period T_s of (1D) vibration over the bedrock, which is different behind the crest and in front of the toe of the slope
- As the impedance ratio decreases, the effect of bedrock on the aggravation in terms of both amplification and de-amplification seems to intensify.
- The spatial variation of the aggravation of the maximum acceleration for both inhomogeneous and homogeneous slopes is comparable, but with different amplification and de-amplification intensity due to the coupling effect.
- The effect of the bedrock on the aggravation reduces as the depth to bedrock increases, or when the predominant period T_e of the excitation takes extreme values (very high or very low).

More detailed processing of the results led to:

- Proposal of a quantitative approximate estimation on the effect of inhomogeneity on the topographic aggravation of the maximum horizontal acceleration, at the toe and crest of the slope, positions that are considered to be characteristic of the response in front and behind the slope.
- Proposal of a design "envelope" for the spatial variation of the coupled aggravation of maximum horizontal acceleration of inhomogeneous slopes over compliant bedrock.

Furthermore, additional numerical analyses (limited in number) were performed for the same cases of inhomogeneous slopes under non-harmonic excitations derived from processing of an actual seismic recording (Sepolia, 1999). The purpose of these additional analyses was to investigate the coupling of stratigraphic and topographic aggravation of the whole elastic response spectrum (5% of critical) of the acceleration. These numerical analyses show that:

- The conclusions about the correlation of coupled aggravation with the fundamental period of (1D) vibration T_s of the soil layer above the bedrock, the effect of impedance ratio and the spatial variation of coupled aggravation under harmonic excitations are also confirmed for non-harmonic excitations.
- An additional important parameter for the coupled aggravation of the elastic response spectrum is the structural period T_{str} .
- Regardless of the structural period T_{str} , the effect of bedrock on the coupled aggravation of the elastic response spectrum is quantitatively proportional to that of the maximum horizontal acceleration under harmonic excitations.

ΠΙΝΑΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|-----|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1. Αντικείμενο..... | 1 |
| 1.2. Στόχος εργασίας..... | 2 |
| 1.3. Δομή εργασίας..... | 2 |
| 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 4 |
| 2.1. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης ομοιογενούς πρανούς..... | 4 |
| 2.2. Σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης..... | 9 |
| 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ | 16 |
| 3.1. Περιγραφή λογισμικού..... | 16 |
| 3.2. Περιγραφή αριθμητικού προσομοιώματος..... | 17 |
| 3.3. Διεγέρσεις βάσης..... | 21 |
| 3.4. Απόσβεση Συστήματος..... | 23 |
| 3.5. Καταρτισμός παραμετρικών αναλύσεων..... | 23 |
| 4. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 25 |
| 4.1. Γενικά..... | 25 |
| 4.2. Διακρίβωση αξιοπιστίας..... | 25 |
| 4.3. Απόκριση πρανών με διαφορετικά βάθη υποβάθρου και λόγο εμπέδησης..... | 28 |
| 5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΟΓΟΥ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 39 |
| 5.1. Γενικά..... | 39 |
| 5.2. Σύγκριση απόκρισης ανομοιογενών πρανών έναντι ομοιογενούς..... | 39 |
| 5.3. Ποσοτικοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CF_h | 51 |
| 5.4. Διερεύνηση αξιοπιστίας διορθωτικού συντελεστή CF_h | 55 |
| 5.5. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης ανομοιογενών πρανών.... | 58 |
| 6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΜΗ-ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 65 |
| 6.1. Γενικά..... | 65 |
| 6.2. Απόκριση πρανών με διαφορετικά βάθη υποβάθρου και λόγο εμπέδησης..... | 65 |
| 6.3. Σύγκριση φασματικής απόκρισης ανομοιογενών πρανών έναντι ομοιογενούς .. | 79 |
| 6.4. Ποσοτικοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CFS_h | 93 |
| 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 97 |
| 7.1. Σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης.... | 97 |
| 7.2. Σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος απόκρισης..... | 98 |
| 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 100 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο

Τοπογραφική επιδείνωση της σεισμικής κίνησης ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η σεισμική απόκριση του εδάφους επηρεάζεται από κάποια τοπογραφική ανωμαλία. Η επίδραση στην σεισμική κίνηση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση ή και μείωση του κατά περίπτωση μετρούμενου μεγέθους (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση), πάντα συγκριτικά με τα αντίστοιχα μεγέθη στο «ελεύθερο πεδίο», δηλαδή μια θέση μακριά από την τοπογραφική ανωμαλία, όπου το έδαφος είναι οριζόντιο. Η εμφάνιση του συγκεκριμένου φαινομένου οφείλεται και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την γεωμετρία της επιφάνειας του εδάφους, στην οποία η υπό γωνία πρόσπτωση των σεισμικών κυμάτων τα αναγκάζει σε ανακλάσεις και διαθλάσεις. Επιπλέον η ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας οδηγεί σε ανάπτυξη και επιφανειακών κυμάτων, π.χ. σε συνδυασμό τα ανακλώμενα διαμήκη (P) και διατμητικά (S) κύματα, παράγονται και κύματα Rayleigh τα οποία, με την σειρά τους αλληλοεπιδρούν με άλλα κανονικώς διαδιδόμενα η ανακλώμενα κύματα. Όλα τα παραπάνω συμβαλλόμενα κύματα έχουν διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης, διαφορετικά μήκη κύματος και μήκη διαδρομής και ως εκ τούτου η άφιξη τους σε συγκεκριμένες θέσεις πραγματοποιείται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές καθιστώντας την πρόβλεψη της εδαφικής κίνησης ένα δύσκολο και πολυπαραμετρικό πρόβλημα.

Σε περιπτώσεις μονοκλινούς πρανούς, γεωμετρία που αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, η επίδραση συνίσταται σε τοπικές διαφοροποιήσεις της σεισμικής ταλάντωσης η οποία καταλήγει σε ενίσχυση της ταλάντωσης πλησίον της στέψης του πρανούς και σε εξασθένιση αυτής στον πόδα του πρανούς, αλλά με έντονες διακυμάνσεις πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα. Σε κάθε περίπτωση, η τοπογραφική επιδείνωση αποσβένεται με την απόσταση από την τοπογραφική ανωμαλία. Η ανάγκη μελέτης του φαινομένου προέκυψε από την παρατήρηση εκτεταμένων βλαβών των κατασκευών αλλά και από την καταγραφή επαυξημένων επιταχύνσεων στη στέψη πρανών ή στη «στενή» περιοχή γύρω από αυτήν, συγκριτικά με τις αντίστοιχες καταγραφές μακριά από την θιγόμενη τοπογραφία ή και στον πόδα αυτής. Τέτοιες παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν 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), Bigdol (Τουρκία, 2003), Αϊτή (2010), αλλά και στον ελλαδικό χώρο στο σεισμό της Κοζάνης (1995), του Αιγίου (1995) και της Αθήνας (1999).

1.2. Στόχος εργασίας

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης της εδαφικής και της τοπογραφικής επιδείνωσης στην γειτονία μονοκλινών πρानών. Με άλλα λόγια, μελετά τη διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης τέτοιων τοπογραφιών, αν σε σχετικά μικρό βάθος υπό τον πόδα του πρανούς υπάρχει διεπιφάνεια με πιο δύσμητο γεωϋλικό. Η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως στη μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους πλησίον του πρανούς και δευτερευόντως στο αντίστοιχο ελαστικό φάσμα απόκρισης.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις της επιδείνωσης οι οποίες προέκυψαν ύστερα από αριθμητικές αναλύσεις της εκάστοτε τοπογραφίας μέσω ιξωδο-ελαστικών αναλύσεων για δισδιάστατα (2Δ) πρανή ομοιογενή και ανομοιογενή, όπου η ανομοιογένεια αφορά την ύπαρξη διεπιφάνειας με πιο δύσμητο γεωϋλικό (υπόβαθρο) σε σχετικά μικρό βάθος υπό τον πόδα του πρανούς. Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός της επιδείνωσης πραγματοποιήθηκε συγκριτικά με τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις αντίστοιχες μονοδιάστατες (1Δ) συνθήκες ταλάντωσης για κάθε θέση.

Για τη σωστή και επαρκή ερμηνεία του φαινομένου πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις με τη μεταβολή διαφόρων παραμέτρων όπως το ύψος του πρανούς, οι ταχύτητες διατμητικών κυμάτων εδάφους και υποβάθρου, το βάθος εμφάνισης της διεπιφάνειας, κλπ. Στόχος των αναλύσεων ήταν ο προσδιορισμός όλων εκείνων των παραγόντων που καθορίζουν τον τρόπο και τον βαθμό επιρροής του υποβάθρου στην τοπογραφική επιδείνωση, πάντα με απώτερο σκοπό την ποσοτικοποίηση του φαινομένου για πρακτικές εφαρμογές σε συνδυασμό με την υπάρχουσα (εκτενή) βιβλιογραφία για ομοιογενή πρανή.

1.3. Δομή εργασίας

Στο παρόν υποκεφάλαιο, παρουσιάζεται η δομή της εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς του περιεχομένου του εκάστοτε κεφαλαίου της.

Στο **Κεφάλαιο 1**, το οποίο είναι εισαγωγικό, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση και επεξήγηση του φαινομένου της τοπογραφικής επιδείνωσης και κατόπιν παρουσιάζεται ο στόχος της παρούσας εργασίας καθώς και η σύνοψη της δομής αυτής.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση για το πρόβλημα της επίδρασης της τοπογραφίας μονοκλινούς πρανούς στην σεισμική επιτάχυνση. Πραγματοποιείται κριτική αξιολόγηση αυτών που καταλήγει σε συγκεντρωτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Το **Κεφάλαιο 3** είναι αφιερωμένο στη λεπτομερή περιγραφή της μεθοδολογίας ανάλυσης και μελέτης της παρούσας εργασίας. Αρχικώς, πραγματοποιείται περιγραφή του λογισμικού πεπερασμένων διαφορών FLAC με το οποίο πραγματοποιήθηκε το σύνολο των αριθμητικών αναλύσεων. Ακολούθως, παρουσιάζεται το προσομοίωμα των αναλύσεων, ήτοι τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι μηχανικές ιδιότητες που το ορίζουν, οι δυναμικές διεγέρσεις που χρησιμοποιήθηκαν, η απόσβεση που θεωρήθηκε και τέλος το σύνολο των παραμέτρων που μεταβάλλονται κατά την διάρκεια των αναλύσεων ώστε να προκύψουν τα επιδιωκόμενα συμπεράσματα-αποτελέσματα.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για αρμονικές διεγέρσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη διερεύνηση της

σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης, σύμφωνα με την μεθοδολογία που επεξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η συνολική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του κεφαλαίου 4, καθώς επίσης παρατίθεται πρόταση για την προσεγγιστική πρόβλεψη της επίδρασης του ενδόσιμου υποβάθρου στην τοπογραφική επιδείνωση. Αυτή επικεντρώνεται στις «σημαντικές» θέσεις ακριβώς στον πόδα και στην στέψη του μονοκλινούς πρανούς. Επιπλέον, παρατίθεται πρόταση «περιβάλλουσας» σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας συνιστώσας της τοπογραφικής επιδείνωσης για ανομοιογενή πρανή.

Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των (προκαταρκτικών) αναλύσεων για μη-αρμονικές διεγέρσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη διερεύνηση της σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης, σύμφωνα με την μεθοδολογία που επεξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.

Τέλος, το **Κεφάλαιο 7** συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία, και κάνει προτάσεις για μελλοντική έρευνα επί του θέματος.

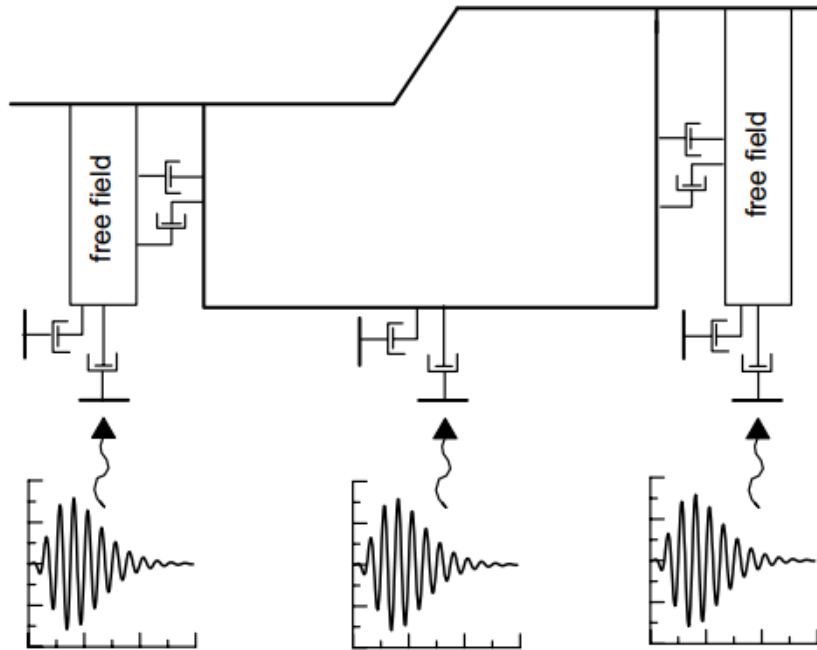
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης ομοιογενούς πρανούς

Από τη μελέτη και σύνοψη των αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας (π.χ. Ashford & Sitar 1997, Ashford et al 1997, Bouckovalas & Papadimitriou 2005) με αντικείμενο την τοπογραφική επιδείνωση σε ομοιογενές μονοκλινές πρανές, προκύπτει ως γενικό συμπέρασμα πως η μέγιστη οριζόντια τοπογραφική ενίσχυση στην περιοχή της στέψης δεν ξεπερνά την τιμή 2. Ως οριζόντια τοπογραφική ενίσχυση ορίζεται ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (a_h) προς την αντίστοιχη επιτάχυνση στο ελεύθερο πεδίο ($a_{h,ff}$) όπου δεν υφίσταται επιρροή λόγω της τοπογραφικής ανωμαλίας. Η παρατήρηση αυτή αφορά διατμητικά κύματα SH και μήκη κύματος ανάλογα της γεωμετρικής ανισοσταθμίας του πρανούς της συγκριμένης μορφής, η αλλιώς του ύψους του πρανούς H. Η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στην στενή περιοχή της στέψης ενώ κατά μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας μεταξύ στέψης και πόδα του πρανούς παρατηρούνται εναλλαγές ενίσχυσης και απομείωσης καθιστώντας αδύνατο τον ορισμό μονοσήμαντης απόκρισης. Εντελώς ανάλογη είναι και η συμπεριφορά για πρόσπτωση διατμητικών κυμάτων SV αλλά με μεγαλύτερες αναμενόμενες τιμές ενίσχυσης. Ακόμη, σε κάθε περίπτωση παρατηρείται εμφάνιση κατακόρυφης συνιστώσας της επιτάχυνσης a_v , οι τιμές της οποίας είναι μεν μικρότερες των αντίστοιχων οριζοντίων, αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις λαμβάνονται και μεγάλες τιμές ($a_v/a_{h,ff} < 1.6$ για κύμα SV).

Οι μελέτες που παρουσιάστηκαν από τους Ashford & Sitar (1997) και Ashford et al. (1997) είναι παραμετρικής φύσης και αποτυπώνουν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά την επίδραση των βασικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μονοκλινούς πρανούς (κλίση i και ύψος H), του είδους της κυματικής διαταραχής (P, SH και SV), του μήκους κύματος λ και τέλος της γωνίας πρόσπτωσης β . Αργότερα οι μελέτες των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) δρώντας συμπληρωματικά διεύρυναν την κατανόηση του φαινομένου προσδιορίζοντας την επίδραση και άλλων καταλυτικών παραμέτρων όπως η υστερητική απόσβεση του εδάφους ξ και ο αριθμός των σημαντικών κύκλων φόρτισης N. Σημαντικό είναι ακόμη ότι προσδιορίζουν την επιδείνωση λόγω τοπογραφίας σε όλο της το μήκος επεκτείνοντας τα σύνορα των αριθμητικών μοντέλων και τελικώς καταλήγουν σε πολύ-παραμετρικές μαθηματικές σχέσεις εκτίμησης της τοπογραφικής ενίσχυσης. Στην συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση και περιγραφή της εν λόγω μελέτης, των αποτελεσμάτων της καθώς και των προτεινόμενων προσεγγιστικών σχέσεων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψαν από αριθμητικές αναλύσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών που χρησιμοποιεί το λογισμικό FLAC (Itasca 1993) για ιξωδο-ελαστικό ομοιόμορφο έδαφος με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s=500\text{m/s}$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και πυκνότητα $\rho=2\text{ Mg/m}^3$. Μία γραφική αναπαράσταση του μοντέλου μαζί με τις συνοριακές συνθήκες των αναλύσεων παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.1**. Πιο συγκεκριμένα οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τις εξής παραμέτρους:

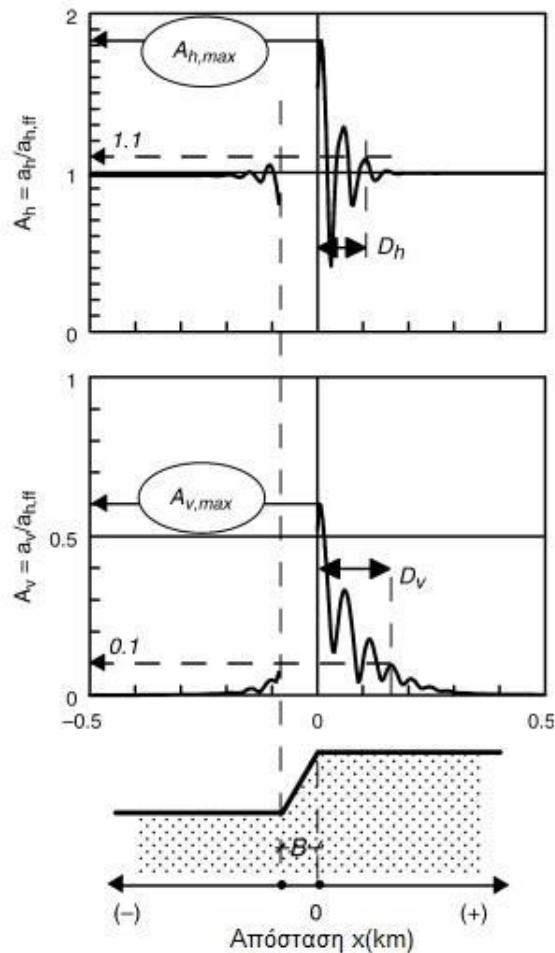


Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου των αριθμητικών αναλύσεων μονοκλινούς πρανούς (Bouckovalas & Papadimitriou 2005)

- 28000 έως 120000 τετραγωνικά στοιχεία, με μέγιστο ύψος $1/10 - 1/20$ του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ των κυμάτων S ώστε να αποφευχθεί πιθανή μεταβολή του επιβαλλόμενου συχνοτικού περιεχομένου.
- Εύρος και ύψος του καννάβου ίσο με $20H$ και $5H$ ώστε να περιοριστούν οι τεχνητές ανακλάσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος
- αποσβεστήρες στη βάση και σύνορα ελεύθερου πεδίου στα πλευρικά όρια του καννάβου

Η επιβολή της σεισμικής διέγερσης πραγματοποιήθηκε για παλμό αρμονικής μορφής και συγκεκριμένα παλμό Chang. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην εν λόγω μελέτη σε αντίθεση με την πάγια τακτική της εφαρμογής σε αντίστοιχα μοντέλα της σεισμικής φόρτισης σε όρους επιτάχυνσης στη βάση του μοντέλου (που αντιστοιχεί σε ύπαρξη άκαμπτου υποβάθρου), στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων η οποία αντιστοιχεί σε κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV μέσω ομοιογενούς ημίχωρου υπό τη βάση του καννάβου.

Τα τυπικά αποτελέσματα μιας αριθμητικής ανάλυσης σύμφωνα με το μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω, παρουσιάζεται στο **Σχήμα 2.2** όπως αυτά προέκυψαν στην περίπτωση πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, κανονικοποιημένου ύψους πρανούς $H/\lambda=2.0$, απόσβεσης $\xi=5\%$ (στη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης) και για 6 σημαντικούς κύκλους διέγερσης. Από το σχήμα γίνεται εμφανής η 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, ενώ $a_{h,ff}$ είναι η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στο ελεύθερο πεδίο, διαφορετική μακριά πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα.



Σχήμα 2.2 Τυπικά αποτελέσματα τοπογραφικής επιδείνωσης μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης παρασιτικής σεισμικής επιτάχυνσης ($i=30^\circ$, $H/\lambda=2.0$, $\xi=5\%$ και $N=6$) (Bouckovalas & Papadimitriou 2005).

Από την παρατήρηση και την ανάλυση του παραπάνω σχήματος προέκυψαν τα εξής πρώτα πρακτικά συμπεράσματα:

- Ακόμα και για καθαρά οριζόντιες διεγέρσεις αναμένεται η εμφάνιση κατακόρυφων παρασιτικών κατακόρυφων επιταχύνσεων η οποία μπορεί να συγκριθεί με την οριζόντια επιτάχυνση στο ελεύθερο πεδίο. Επιπλέον, η εμφάνισή της είναι ανεξάρτητη της προσπίπτουσας (συνήθως πιο υψίσυχης) κατακόρυφης διέγερσης και κατά συνέπεια θα πρέπει να συνεκτιμάται.
- Το μέγεθος της οριζόντιας τοπογραφικής επιδείνωσης παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα στην περιοχή πίσω από την στέψη με εύρος τιμών που κυμαίνεται μεταξύ $A_h < 1$ (απομείωση) και $A_h > 1$ (ενίσχυση). Η απόσταση μεταξύ ενός τοπικού μεγίστου και ελαχίστου φαίνεται ότι είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση ίση με ένα μήκος κύματος λ των κυμάτων S. Ανάλογη μεταβλητότητα παρατηρείται και στην παρασιτική κατακόρυφη κίνηση.

Ακόμη αναφέρεται πως η εμφάνιση της παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης προκύπτει από τις ανακλάσεις προσπίπτοντων κυμάτων SV στην επιφάνεια του πρανούς και στη δημιουργία κυμάτων P και SV, αλλά και κυμάτων Rayleigh, τα οποία έχουν όλα σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα. Επιπλέον, τα δευτερογενή αυτά κύματα λόγω της διαφορετικής

ταχύτητας διάδοσης αλλά και λόγω της διαφορετικής διαδρομής που διανύουν φτάνουν με χρονική υστέρηση και διαφορά φάσης συγκριτικά με τα πρωτογενή κύματα SV. Έτσι τελικά η επαλληλία τους δημιουργεί σημεία με απομείωση και ενίσχυση, αντίστοιχα εξηγώντας την μεταβλητότητα της τοπογραφικής επιδείνωσης με την θέση.

Συνολικά στη μελέτη των Bouckovalas & Paradimitriou (2005) πραγματοποιήθηκαν 90 παραμετρικές αναλύσεις έτσι ώστε να διερευνηθεί η επίδραση στο φαινόμενο των τεσσάρων παραμέτρων που εξετάστηκαν:

- Κλίση του πρανούς i σε μοίρες, για τιμές $i=10^\circ - 90^\circ$
- Κανονικοποιημένο ύψος πρανούς ως προς το μήκος κύματος της διέγερσης, για τιμές $H/\lambda = 0.05 - 2.00$
- Αριθμός σημαντικών κύκλων διέγερσης για τιμές $N=1-12$
- Υστερητική απόσβεση ξ , για τιμές $\xi=0-20\%$

Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων των παραπάνω παραμετρικών αναλύσεων διατυπώθηκαν οι παρακάτω 4 σχέσεις :

- Μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης $A_{h,max}$

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

- Μέγιστη τοπογραφική ενίσχυση της κατακόρυφης επιτάχυνσης $A_{v,max}$

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

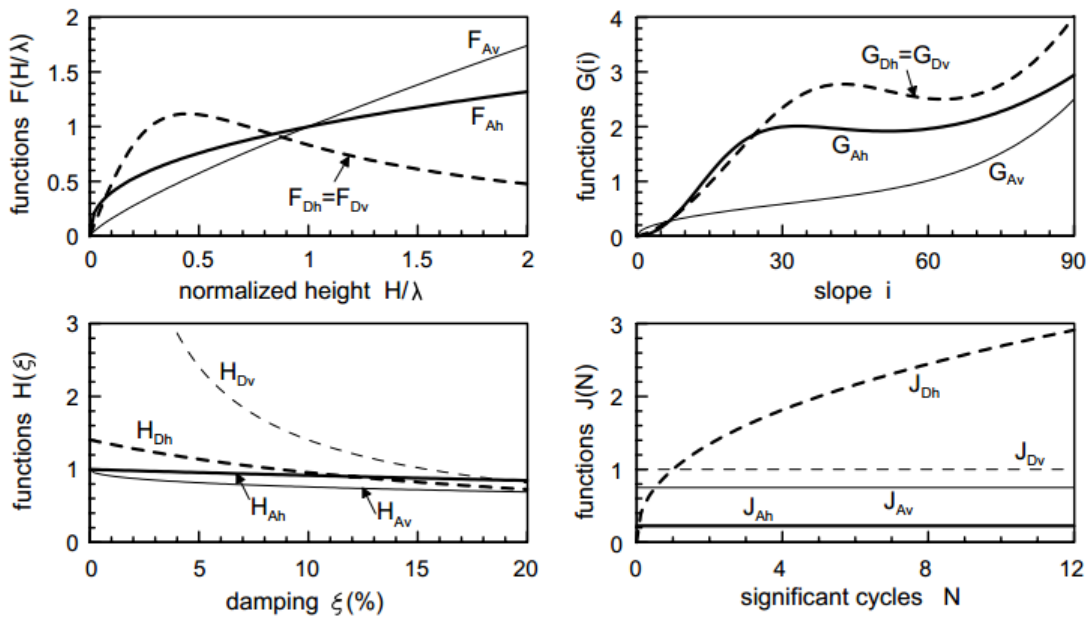
- Μέγιστη απόσταση πίσω από την στέψη όπου η οριζόντια επιτάχυνση του εδάφους δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη του πρανούς (στο σημείο όπου $A_h < 1.10$)

$$\frac{D_h}{H} = F_{Dh} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dh}(I) H_{Dh}(\xi) J_{Dh}(N)$$

- Μέγιστη απόσταση πίσω από την στέψη όπου η κατακόρυφη παρασιτική επιτάχυνση του εδάφους δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη του πρανούς (στο σημείο όπου $A_v < 0.10$)

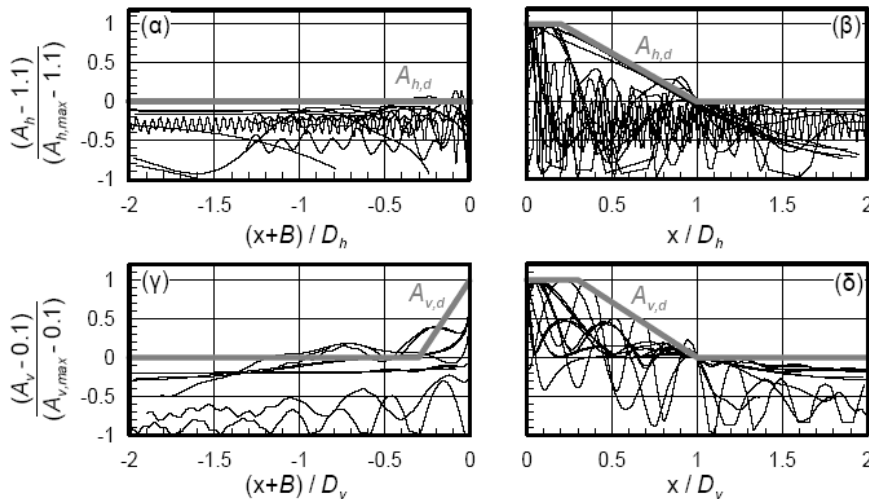
$$\frac{D_v}{H} = F_{Dv} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dv}(I) H_{Dv}(\xi) J_{Dv}(N)$$

Η μορφή και το εύρος των σχέσεων $F(H/\lambda)$, $G(i)$, $H(\xi)$, $J(N)$ οι οποίες υπεισέρχονται στις παραπάνω προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.3** που ακολουθεί.



Σχήμα 2.3 Γραφική απεικόνιση των σχέσεων που υπεισέρχονται στις προσεγγιστικές σχέσεις υπολογισμού (Bouckouvalas & Papadimitriou, 2005)

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 κρίθηκε υπερβολικά συντηρητική. Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκε αργότερα κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων ως προς τις εκάστοτε τιμές $A_{h,max}$, $A_{v,max}$, D_h και D_v . Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα του **Σχήματος 2.4** και για τα οποία προέκυψαν οι περιβάλλουσες σχεδιασμού που δίνονται παρακάτω (Bouckouvalas & Papadimitriou, 2006).



Σχήμα 2.4 Περιβάλλουσες σχεδιασμού $A_{h,d}$ και $A_{v,d}$ των συντελεστών τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v με την απόσταση x από τη στέψη του πρανού ($B = H/\tan i$ η οριζόντια προβολή της κεκλιμένης επιφάνειας του πρανού) (Bouckouvalas & Papadimitriou, 2006)

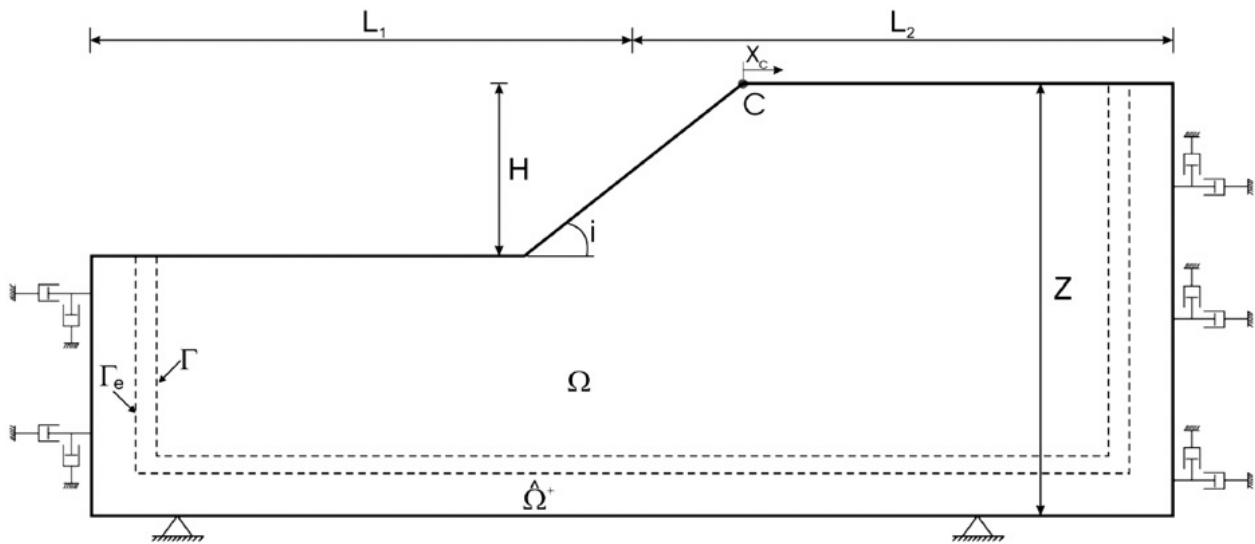
$$A_{h,d} = \begin{cases} 1.0 \div 1.1 & , \quad x \leq -B \\ 1.1 + \frac{A_{h,max} - 1.1}{B}(x + B) & , \quad -B \leq x \leq 0 \\ A_{h,max} & , \quad 0 \leq x \leq 0.2D_h \\ A_{h,max} - \frac{A_{h,max} - 1.1}{0.8D_h}(x - 0.2D_h) & , \quad 0.2D_h \leq x \leq D_h \\ 1.0 \div 1.1 & , \quad D_h \leq x \end{cases}$$

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

2.2. Σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης

Πέραν των αριθμητικών εργασιών με έμφαση στα ομοιογενή πρηνή, υπάρχουν και έρευνες με ενόργανες μετρήσεις πραγματικών σεισμικών γεγονότων όπου κυρίως συγκρίνονται επιταχύνσεις σταθμών καταγραφής στην επιφάνεια και στη βάση κάποιας τοπογραφικής επιφάνειας. Από τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων έχει παρατηρηθεί ότι οι επιταχύνσεις εμφανίζονται μεγαλύτερες από 2 (Pedersen et al, 1994) έως και 30 (Geli et al, 1988) φορές, τιμές σημαντικά μεγαλύτερες συγκριτικά με τα συμπεράσματα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών με αριθμητικές αναλύσεις. Αυτές οι διαφοροποιήσεις έχουν αποδοθεί, μεταξύ άλλων και στην σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης. Η διερεύνηση αυτού του φαινομένου αποτέλεσε βασικό αντικείμενο στην εργασία των Tripe et al. (2013) για την οποία ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση παραδοχών και συμπερασμάτων.

Συγκεκριμένα, οι Tripe et al. (2013) πραγματοποίησαν παραμετρικές αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για κατακορύφως προστίπτοντα διατμητικά κύματα SV. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για μονοκλινές πρηνές ύψους $H=50$ m και κάρναβο συνολικού μήκους $L=1000$ m (**Σχήμα 2.5**) επί άκαμπτου βραχώδους υποβάθρου σε βάθος $Z > H$. Το έδαφος προσομοιώθηκε ως ιξωδο-ελαστικό υλικό με μέτρο ελαστικότητας $E=1333$ MPa, πυκνότητα $\rho=2\text{Mg/m}^3$, λόγο Poisson $\nu=1/3$, συντελεστή εδαφικών ωθήσεων $K_0=1$ και συντελεστή απόσβεσης $\xi=5\%$. Η διέγερση ήταν μορφής χρονοϊστορίας επιταχύνσεων στη βάση του καννάβου, συνθήκες οι οποίες προσομοιώνουν τη θεώρηση του άκαμπτου υποβάθρου. Εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές χρονοϊστορίες επιταχύνσεων, με την πρώτη να προσομοιώνει την αύξηση και την μείωση στην αρχή και το πέρας της σεισμικής διέγερσης γνωστή ως Chang's signal (Bouckovalas & Papadimitriou, 2005) και τη δεύτερη να αποτελεί μία απλή ημιτονοειδή η οποία προσομοιώνει τη σταθερή κατάσταση (steady state).



Σχήμα 2.5 Γεωμετρική αναπαράσταση του προσομοιώματος των αναλύσεων (Tripe et al, 2013)

Η παραμετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για τα παρακάτω μεγέθη:

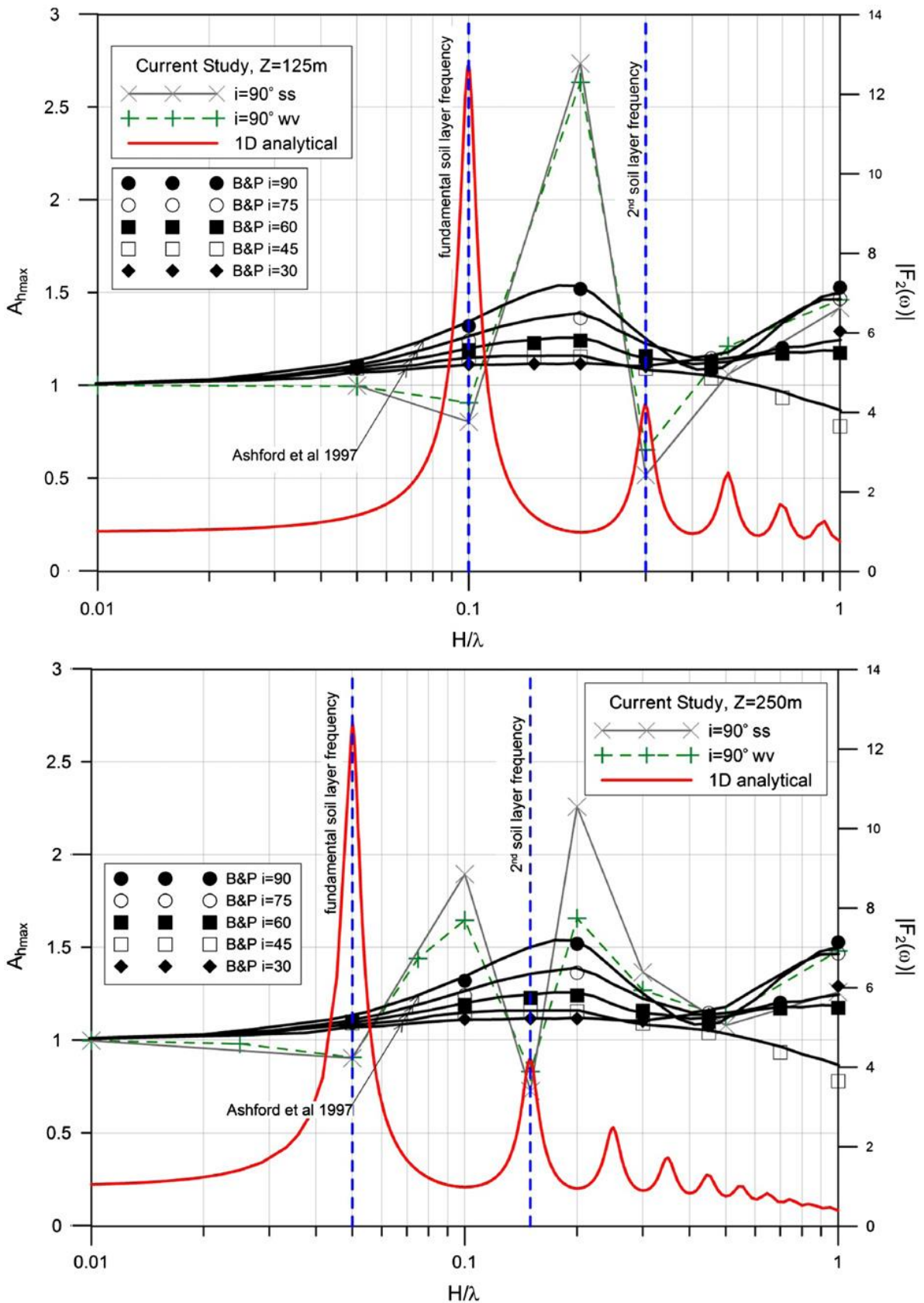
- Κανονικοποιημένο ύψος πρανούς H/λ (όπου λ το δεσπόζον μήκος S κυμάτων)
- Κλίση πρανούς i
- Βάθος εδαφικής στρώσης όπου εμφανίζεται το σεισμικό υπόβαθρο Z

Για τη σωστή διάδοση των κυμάτων μέσα από τον κάνναβο των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν πεπερασμένα στοιχεία με πλευρά μικρότερη από $\lambda/20$, ενώ επιβλήθηκαν κατάλληλες πλευρικές συννοριακές συνθήκες ώστε να προσομοιωθεί ορθά το ελεύθερο πεδίο και να μην υπάρχουν ανακλάσεις κυμάτων. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με εδαφικά μοντέλα ύψους Z και πλάτους 20 m όπου η επιτάχυνση επηρεάζεται μόνο λόγω της στρωματογραφίας και στις οποίες υπολογίζεται σωστά η επιδείνωση στο ελεύθερο πεδίο μακριά από το πρανές.

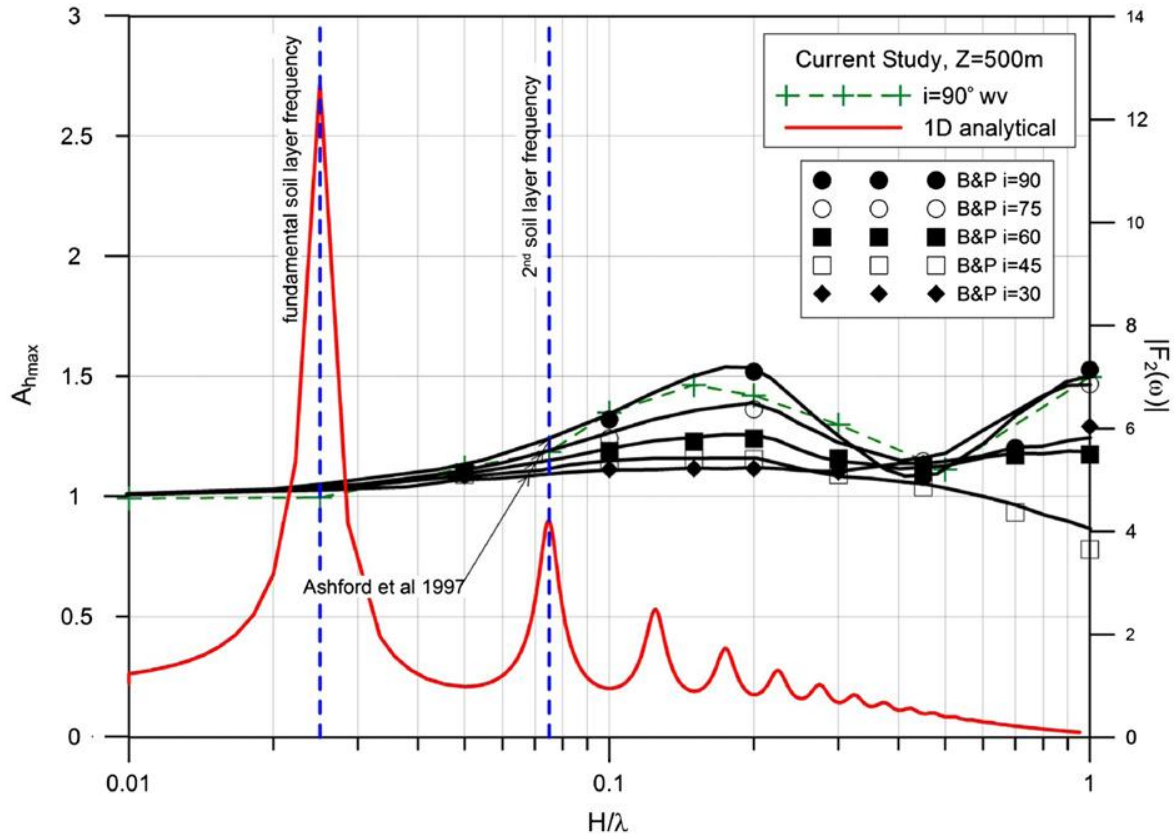
Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προκύπτουν συμπεράσματα ανάλογα με εκείνα για ομοιογενή πρανή (βλ. παράγραφο 2.1), ήτοι:

- Διαφοροποίηση της οριζόντιας σεισμικής κίνησης ως προς την αντίστοιχη στο ελεύθερο πεδίο
- Εμφάνιση παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης
- Εναλλαγή της επίδρασης με την θέση μεταξύ ζωνών ενίσχυσης και απομείωσης
- Εξάρτηση από το λόγο H/λ
- Εξάρτηση από την κλίση του πρανούς

Όμως συγκρίνοντας τη συνολική ενίσχυση με εκείνη στο ελεύθερο πεδίο γίνεται εμφανές ότι η εδαφική ενίσχυση είναι, εν γένει, σημαντικότερη εκείνης λόγω τοπογραφίας. Επίσης, φαίνεται ότι οι κανονικοποιημένες ως προς το ελεύθερο πεδίο τιμές της μέγιστης επιτάχυνσης για πρανές με άκαμπτο υπόβαθρο σε κάποιο βάθος διαφέρουν από αυτές που έχουν υπολογισθεί στην βιβλιογραφία για ομοιογενή πρανή (Bouckovalas & Paradimitriou, 2005 Ashford et al, 1997), γεγονός το οποίο υποδεικνύει σύζευξη μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης (**Σχήματα 2.6 και 2.7**).



Σχήμα 2.6 Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης στη στέψη του πρσανούς και συνάρτηση 1D εδαφικής ενίσχυσης («1d analytical», τιμές δεξιά) για $Z=125, 250$ m. Χάρην σύγκρισης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα από Bouckovalas & Papadimitriou, 2005 (B&P) και Ashford et al., 1997 για ομοιογενή πρνή (Tripe et al. 2013).



Σχήμα 2.7 Τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης στη στέψη του πρανούς και συνάρτηση 1D εδαφικής ενίσχυσης («1d analytical», τιμές δεξιά) για $Z=500$ m. Χάρην σύγκρισης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα από Bouckovalas & Papadimitriou, 2005 (B&P) και Ashford et al., 1997 για ομοιογενή πρανή (Tripe et al. 2013).

Η σύζευξη μεταξύ των δύο φαινομένων είναι πιο έντονη για συχνότητες που σχετίζονται με τη θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα της εδαφικής στρώσης και γενικότερα είναι συνάρτηση της συχνότητας καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολο τον διαχωρισμό της συνεισφοράς των δύο επιμέρους φαινομένων. Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη ενίσχυση αποκλειστικά λόγω τοπογραφίας και αποκλειστικά λόγω στρωματογραφίας δεν εμφανίζεται για την ίδια συχνότητα (ή τον ίδιο λόγο H/λ). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι επίσης ξεκάθαρο ότι όσο το βάθος Z της διεπιφάνειας του άκαμπτου υποβάθρου αυξάνει, τόσο η απόκριση προσεγγίζει τα αποτελέσματα για ομοιογενή πρανή. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω μείωσης της ενίσχυσης με την αύξηση του βάθους, ή εν μέρει, εξαιτίας του ότι οι ιδιοσυχνότητες της εδαφικής στρώσης βρίσκονται έξω από το εύρος των συχνοτήτων για τις οποίες προκύπτει τοπογραφική επιδείνωση.

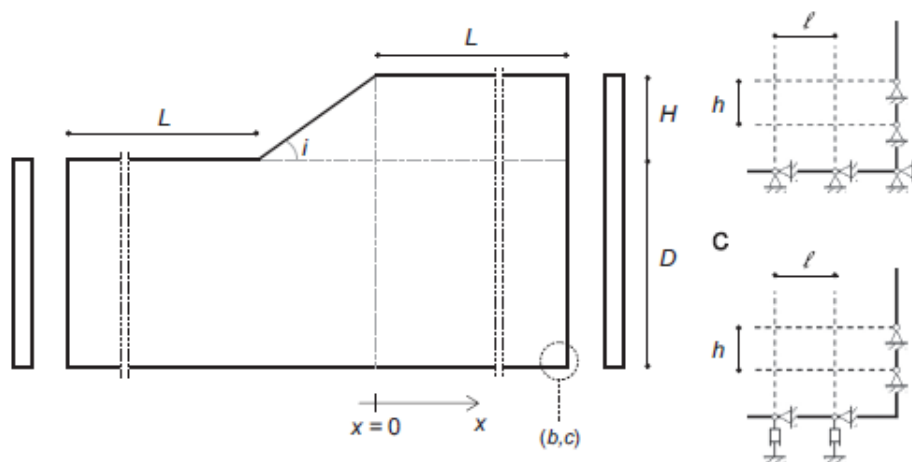
Όμως η έντονη σύζευξη μεταξύ στρωματογραφίας και τοπογραφίας που παρουσιάζουν οι Tripe et al. (2013) είναι και αποτέλεσμα της θεώρησης άκαμπτου υποβάθρου, μια μη-ρεαλιστική θεώρηση για πρανή της πράξης. Έτσι, οι Rizzitano et al (2014) πραγματοποίησαν αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για κατακορύφως διαδιδόμενα διατμητικά κύματα SV για γεωμετρία μονοκλινούς πρανούς, αλλά θεωρώντας και πάλι το πρανές ιζωδο-ελαστικό μέσο αλλά επί ενδόσιμου υποβάθρου (μια ρεαλιστικότερη παραδοχή).

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για μονοκλινές πρανές (**Σχήμα 2.8**) ύψους $H=50$ m με έδαφος ειδικού βάρους $\gamma=20$ kN/m³, ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων $V_s=500$ m/s και λόγου Poisson $\nu=1/3$. Για τη διερεύνηση της περίπτωσης του ενδόσιμου υποβάθρου, το οποίο τοποθετήθηκε σε βάθος $D+H=300$ m, λήφθηκε ως ειδικό βάρος του υποβάθρου $\gamma_b=20$ kN/m³ ενώ η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων θεωρήθηκε για ένα εύρος τιμών $V_{s,b} = (1.6-10)V_s$ το οποίο αντιστοιχεί σε λόγο εμπέδησης $I_R=(\gamma V_s)/(\gamma_b V_{s,b})$ εύρους 0.1-0.625. Αντίστοιχα για την περίπτωση του άκαμπτου υποβάθρου επιλέχθηκε βάθος $D+H=250$ m ώστε να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων με εκείνα των Tripe et al (2013). Τα πλευρικά όρια του μοντέλου τοποθετήθηκαν σε απόσταση $L=1500$ m εκατέρωθεν από την στέψη και τον πόδα του πρανούς, ώστε τα πλευρικά διαδιδόμενα κύματα να αποσβένονται και να μην ανακλώνται στα σύνορα του μοντέλου, γεγονός το οποίο θα είχε παρασιτική επίδραση στα αποτελέσματα της ανάλυσης. Επιπλέον, για τις περιπτώσεις ομοιογενούς πρανούς και ενδόσιμου υποβάθρου στη βάση του προσομοιώματος τέθηκαν αποσβεστήρες ώστε να μην δημιουργούνται ανακλώμενα κύματα, ενώ στην περίπτωση του άκαμπτου υποβάθρου καθορίστηκαν πλήρως η οριζόντια και (μηδενικής) κατακόρυφης μετακίνησης. Για την αποφυγή αριθμητικής αποκοπής των υψίσυχνων κυμάτων η γεωμετρία των στοιχείων του καννάβου επιλέχθηκε ώστε να ικανοποιεί τις παρακάτω δύο συνθήκες :

- $h \leq \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{5}\right) \frac{V_s}{f_{max}}$
- $l \leq 5h$

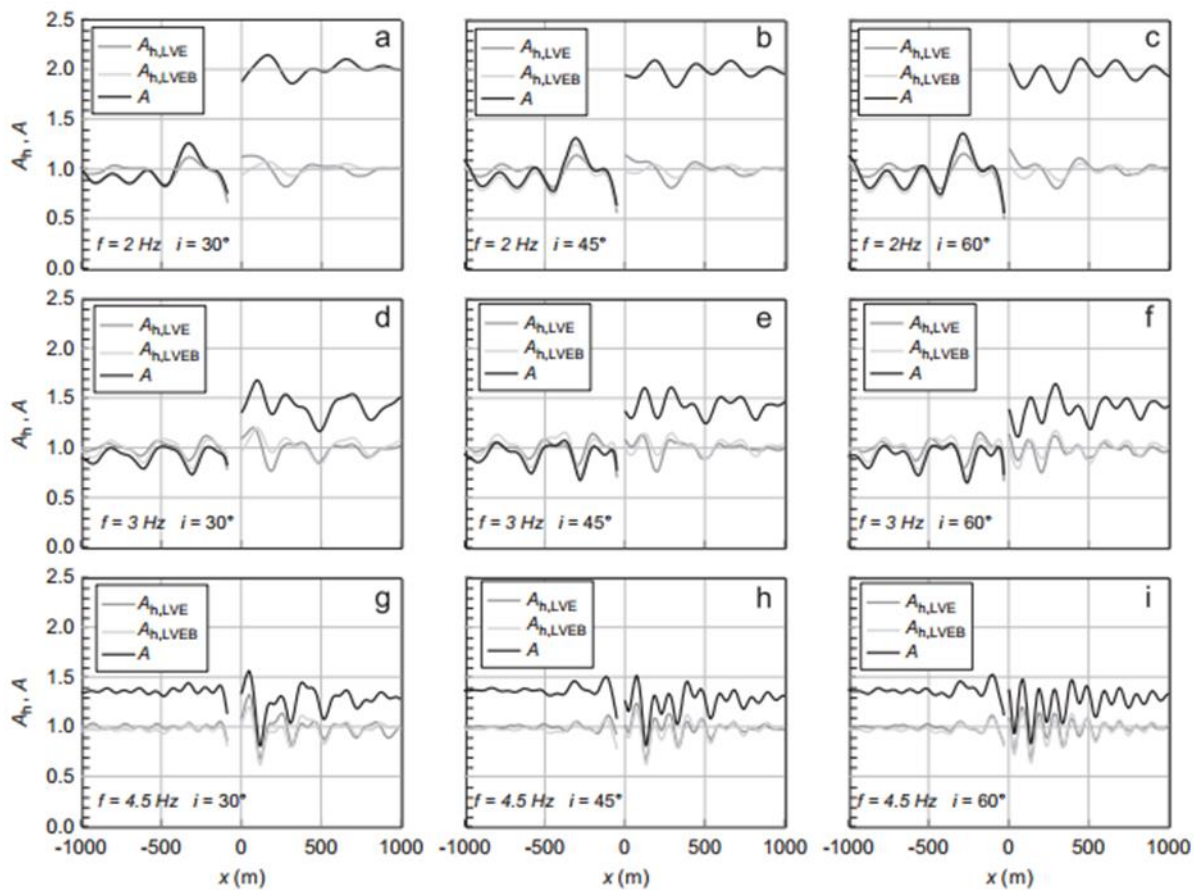
Οι αναλύσεις έλαβαν χώρα για ημιτονοειδή διέγερση πλάτους $a_0=0.1g$ και για απόσβεση Rayleigh με λόγο $\xi=5\%$ από τα αποτελέσματα των οποίων προσδιορίστηκαν οι λόγοι τοπογραφικής επιδείνωσης A_h και A_v όπως στην έρευνα των Bouckonavalas & Papadimitriou (2005). Η παραμετρική ανάλυση για τη συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει τα παρακάτω μεγέθη:

- Κλίση πρανούς i η οποία λαμβάνει τιμές 30 έως και 90 μοίρες
- Συχνότητα διέγερσης f η οποία λαμβάνει τιμές με εύρος 0.1 έως 7 Hz
- Λόγος εμπέδησης I_R με εύρος τιμών 0.1 έως 0.625



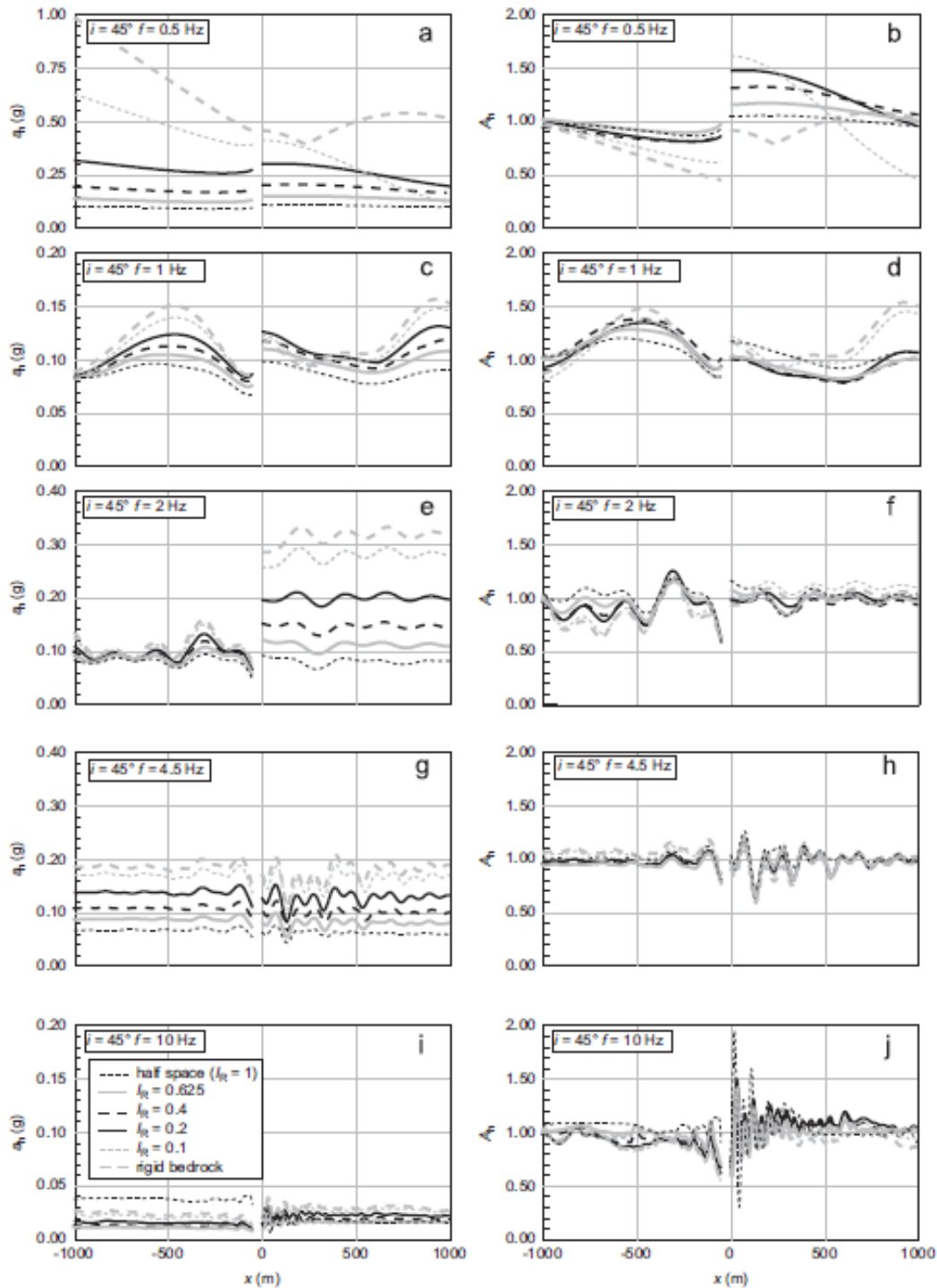
Σχήμα 2.8 Γεωμετρική αναπαράσταση του προσομοιώματος των αναλύσεων (Rizzitano et al, 2004)

Από τα αποτελέσματα των αρχικών αναλύσεων βαθμονόμησης του προσομοιώματος για ομοιογενές πρανές προκύπτει ότι προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό ή και συμπίπτουν με αντίστοιχα αποτελέσματα αναλύσεων προγενέστερων μελετών (Bouckovalas & Papadimitriou 2005, Ashford et al. 1997). Αντίστοιχα για το άκαμπτο υπόβαθρο προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία συμπίπτουν με εκείνα των Tripe et al. (2013), εξασφαλίζοντας έτσι την αξιοπιστία των αναλύσεων. Επιπλέον, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για αναλύσεις ομοιογενούς πρανούς και πρανούς με ενδόσιμο υπόβαθρο με $I_R=0.2$ και τα οποία παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.9** είναι φανερό, ότι η παρουσία του ενδόσιμου υποβάθρου δεν επηρεάζει σημαντικά την τοπογραφική ενίσχυση. Είναι όμως αξιοσημείωτη η επίδρασή του στη συνολική σεισμική απόκριση του πρανούς. 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 των Tripe et al. (2013) εξάγεται το συμπέρασμα για την σύζευξη μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης ακόμα και για παρουσία ενδόσιμου υποβάθρου.



Σχήμα 2.9 Σύγκριση αποτελεσμάτων τοπογραφικής επιδείνωσης οριζόντιας επιτάχυνσης A_h για ομοιογενές πρανές (LVE) και πρανές με ενδόσιμο υπόβαθρο ($I_R=0.2$) (LVEB) (Rizzitano et al. 2014).

Τα παραπάνω αναφέρονται σε μία τιμή του λόγου εμπέδησης ($I_R=0.2$) και έτσι για την γενίκευση των παραπάνω συμπερασμάτων παρουσιάζεται στο **Σχήμα 2.10** ότι προέκυψε από τις αναλύσεις και για τις άλλες τιμές του I_R , από όπου εξάγεται το συμπέρασμα ότι ανεξάρτητα των λοιπών παραμέτρων του προβλήματος (π.χ. η δεσπόζουσα συχνότητα της διέγερσης), οι μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις στην επιφάνεια είναι γενικά μεγαλύτερες όσο πιο μικρές είναι οι τιμές του λόγου εμπέδησης.



Σχήμα 2.10 Επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R στη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση (αριστερά) και στην τοπογραφική επιδείνωση A_h (δεξιά) για πρηνή με κλίση $i=45^\circ$ και για διαφορετικές συχνότητες διέγερσης (Rizzitano et al. 2014).

Τέλος, από το σύνολο των αναλύσεων των Rizzitano et al. (2014) επιβεβαιώνεται το γενικό συμπέρασμα που είχε προκύψει και από την μελέτη των Tripe et al. (2013), σύμφωνα με το οποίο η εδαφική επιδείνωση είναι εντονότερη της τοπογραφικής επιδείνωσης. Αυτό γίνεται ξεκάθαρο για τις τιμές της επιδείνωσης κοντά στις θεμελιώδεις ιδιοσυχνότητες της στρώσης πάνω από το ενδόσιμο υπόβαθρο, όπου λαμβάνονται τιμές επιδείνωσης σημαντικά μεγαλύτερες εκείνων της τοπογραφικής ενίσχυσης που αντιστοιχεί σε ομοιογενές πρηνές με την ίδια κλίση i και το ίδιο κανονικοποιημένο ύψος H/λ υπό την ίδια πάντα διέγερση.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1. Περιγραφή λογισμικού

Για την διερεύνηση του αντικειμένου της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε σύνολο αριθμητικών αναλύσεων σε δισδιάστατα μοντέλα, κάνοντας χρήση του λογισμικού πεπερασμένων διαφορών FLAC (Itasca Inc. 2005). Πρόκειται για λογισμικό που χαρακτηρίζεται από εξειδίκευση στην προσομοίωση της συμπεριφοράς εδάφους και βράχου, δηλαδή προβλημάτων που άπτονται της γεωτεχνικής μηχανικής.

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών αποσκοπεί στην αριθμητική επίλυση της πλήρους διαφορικής εξίσωσης κίνησης, διαδικασία που εξελίσσεται σε υπολογιστικά βήματα όπως περιγράφονται ακολούθως. Το εδαφικό υλικό προσομοιώνεται με ζώνες (ή τετράπλευρα στοιχεία) διαμορφώνοντας έτσι έναν κάνναβο, του οποίου η γεωμετρία ορίζεται από τον χρήστη και ταυτίζεται με εκείνη του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει. Ο κάνναβος δύναται να παραμορφώνεται και να κινείται αντίστοιχα με το έδαφος κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας Lagrange («του κινούμενου παρατηρητή»), αν αυτό απαιτείται από τη φύση του προβλήματος. Για κάθε υπολογιστικό βήμα σε πρώτη φάση πραγματοποιείται ο υπολογισμός των ταχυτήτων των κόμβων του καννάβου όπως αυτές προκύπτουν από τις τάσεις και δυνάμεις του προηγούμενου βήματος. Από τις ταχύτητες αυτές προκύπτει ο υπολογισμός των ρυθμών των παραμορφώσεων για κάθε κόμβο του μοντέλου και από αυτούς οι νέες τάσεις στις ζώνες του δικτύου σύμφωνα με το καταστατικό προσομοίωμα που επιλέγει ο χρήστης του λογισμικού. Κατόπιν υπολογίζονται οι ισοδύναμες δυνάμεις στους κόμβους που οφείλονται στην εντατική κατάσταση του μέσου, η οποία διαμορφώνεται σε κάθε βήμα από τις τάσεις στις ζώνες του μοντέλου. Έτσι, από την επαλληλία των παραπάνω δυνάμεων στους κόμβους μαζί με την δύναμη απόσβεσης καθώς και άλλες εξωτερικές δυνάμεις που ορίζονται από τον χρήστη, προκύπτει η συνισταμένη ισορροπούσα δύναμη ΣF σε κάθε κόμβο και η οποία, όπως ορίζει η διαφορική εξίσωση της κίνησης, θα πρέπει να ταυτίζεται με την αδρανειακή δύναμη. Διαιρώντας την δύναμη ΣF με την ισοδύναμη μάζα m και πολλαπλασιάζοντας με κάποιο αρκετά μικρό χρονικό βήμα Δt , προκύπτει η προσαύξηση της ταχύτητας σε κάθε κόμβο σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$u_{(t+\Delta t/2)} = u_{(t-\Delta t/2)} + (\Sigma F/m) * \Delta t \quad (3.1)$$

Με τον υπολογισμό της νέας ταχύτητας ολοκληρώνεται πλήρως ένα υπολογιστικό βήμα και η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί σύγκλιση του προβλήματος. Σημειώνεται ότι στα δυναμικά προβλήματα τόσο η ισοδύναμη μάζα όσο και η σταθερά απόσβεσεως είναι αυτές που προκύπτουν από τις πραγματικές παραμέτρους του προβλήματος όπως τις έχει θέσει ο χρήστης, ενώ τα χρονικά βήματα υπολογισμού αντιστοιχούν σε πραγματικό χρόνο προβλήματος. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και για τα στατικά προβλήματα όπου η μάζα η σταθερά απόσβεσης και το βήμα υπολογισμού καθορίζονται από το πρόγραμμα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταχύτερη σύγκλιση. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την επίλυση το λογισμικό πραγματοποιεί διαχωρισμό της κάθε τετράπλευρης ζώνης του καννάβου σε τέσσερις μικρότερες τριγωνικού σχήματος υποζώνες, γεγονός που εξασφαλίζει σαφώς ακριβέστερα αποτελέσματα. Ακόμη για όλα τα δυναμικά προβλήματα, προκειμένου να επιτυγχάνεται

ικανοποιητική ακρίβεια, το χρονικό βήμα λαμβάνεται μικρότερο από το κρίσιμο όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\Delta t_{crit} = \min \left[\frac{A_i}{(V_p * d_{max})} \right] \quad (3.2)$$

Ως A_i νοείται το εμβαδόν κάθε τριγωνικής υποζώνης i , ως d_{max} η μεγαλύτερη διαγώνιος της και ως V_p η ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων στην υποζώνη. Το \min αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή του λόγου της παραπάνω σχέσης σε όλο τον κάναβο. Ο περιορισμός αυτός για το χρονικό βήμα υπολογισμού οφείλεται στην ανάγκη η «πληροφορία» για τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και δράσεων να μη διαδίδεται μέσα στον κάναβο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων καθώς κάτι τέτοιο θα αποτελούσε παραβίαση του πραγματικού μηχανισμού που συναντάται στη φύση.

Το FLAC αντιμετωπίζει την ανελαστικότητα στη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων με διάφορα ελαστο-πλαστικά 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 δύναται 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 σημαντικό πλεονέκτημα του προγράμματος αποτελεί το γεγονός ότι διαθέτει ενσωματωμένη γλώσσα προγραμματισμού η οποία ονομάζεται Fish. Πρόκειται για μια γλώσσα βασισμένη στην FORTRAN αλλά προσαρμοσμένη στις δυνατότητες, απαιτήσεις και ανάγκες του FLAC. Η Fish παρέχει τη δυνατότητα να εφοδιάζονται τα αρχεία εισόδου με ρουτίνες και κώδικες που μπορούν να μετατρέπουν ή να συμπληρώνουν καταστατικά προσομοιώματα, αλλά και να εισάγουν νέες μεταβλητές και παραμέτρους.

Πέρα από τα πλεονεκτήματά του, το FLAC και οι μεθοδολογίες που διαθέτει και χρησιμοποιεί εμφανίζουν ορισμένες αδυναμίες που ενδέχεται να οδηγήσουν σε αύξηση των απαιτήσεων σε υπολογιστική ισχύ. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση συντελεστή αποσβέσεως ανάλογου της ακαμψίας, πολύπλοκα καταστατικά προσομοιώματα και άλλες ρουτίνες γραμμένες σε Fish, που παρεμβάλλονται σε κάθε υπολογιστικό βήμα, συνιστούν παράγοντες που αυξάνουν το χρόνο επίλυσης. Το κυριότερο και εντονότερο μειονέκτημα του κώδικα αποτελεί η ανάγκη σε σημαντική υπολογιστική ισχύ καθώς προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση της αδράνειας, οι επιβαλλόμενες ταχύτητες στο σύνορο πρέπει να είναι μικρές. Αυτό ισχύει και για τη στατική επίλυση καθώς λόγω του χαρακτήρα του λογισμικού, η επίδραση της αδράνειας υπεισέρχεται και σε αυτή την ανάλυση.

3.2. Περιγραφή αριθμητικού προσομοιώματος

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο από αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης μονοκλινούς πρανούς (είτε για $T=0\text{sec}$ ή για οποιαδήποτε άλλη περίοδο κατασκευής T). Σε κάθε περίπτωση προκειμένου να υπολογιστεί η επιδείνωση της επιτάχυνσης, πραγματοποιήθηκαν 3 αναλύσεις, μία για το δισδιάστατο πρανές και από μία για το ελεύθερο πεδίο πίσω και μπροστά από τη στέψη και τον πόδα

του πρανούς, αντίστοιχα. Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, το έδαφος θεωρήθηκε ομοιόμορφο ιξωδο-ελαστικό υλικό, με πυκνότητα τόσο του εδάφους όσο και του βραχώδους υπεδάφους, όπου αυτό υπάρχει, ίση με $\rho=2\text{Mg/m}^3$, λόγο Poisson $\nu=1/3$ και ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_s = 500 \text{ m/s}$. Οι μηχανικές παράμετροι που εισάγονται στο προσομοίωμα είναι το μέτρο διάτμησης $G=500 \text{ MPa}$ και το μέτρο ισότροπης συμπίεσης $K=1.333 \text{ MPa}$ που υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$G = V_s^2 * \rho \quad (3.3)$$

$$K = \frac{2G(1+\nu)}{3(1-2\nu)} \quad (3.4)$$

Η επιλογή των διαστάσεων των ζωνών του καννάβου (h το ύψος, l το μήκος) περιορίστηκε σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (συνάρτηση του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ των διατμητικών κυμάτων S), ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή διάδοση της δόνησης χωρίς επίδραση στο συχνοτικό της περιεχόμενο:

$$h \leq \lambda/20 \quad (3.5)$$

$$h/l < 1/4 \quad (3.6)$$

Τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου όπως το ύψος πρανούς $H=50 \text{ m}$, γωνία πρανούς $i=30^\circ$ καθώς επίσης και το συνολικό μήκος 2000 μέτρων , 1000 μέτρα εκατέρωθεν και προς τις 2 κατευθύνσεις από την στέψη του πρανούς, είναι κοινά για τις περισσότερες περιπτώσεις. Η διαφοροποίηση ως προς το ύψος τη μορφή αλλά και τις συνοριακές συνθήκες που επιλέχθηκαν σε κάθε ανάλυση εμφανίζεται κυρίως λόγω του διαφορετικού υποβάθρου κάθε ανάλυσης. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, διακρίνονται 3 κατηγορίες προσομοιωμάτων, ανάλογα με την ύπαρξη και το βάθος του υποβάθρου:

Αναλύσεις ομοιογενούς πρανούς:

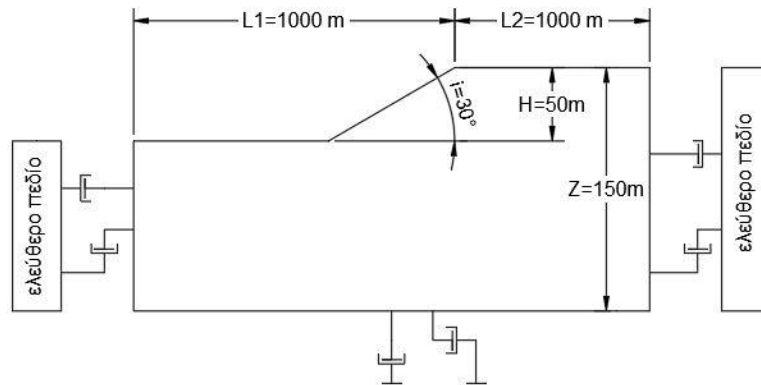
Πρόκειται για αναλύσεις στις οποίες θεωρείται ότι το έδαφος δημιουργεί ομοιογενή ημίχωρο και κατά συνέπεια δεν υπάρχει βραχώδες υπόβαθρο κάτω από το πρανές. Στις αναλύσεις αυτές επιλέχθηκε ύψος μοντέλου $Z=150 \text{ m}$ από την στέψη. Οι συνοριακές συνθήκες επιλέχθηκαν ώστε να γίνεται κατά το δυνατόν βέλτιστη προσομοίωση του πραγματικού προβλήματος, εξασφαλίζοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μικρούς υπολογιστικούς χρόνους και περιορισμένους σε μέγεθος καννάβους. Στο **Σχήμα 3.1** παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση του προσομοιωματος ενώ στο **Σχήμα 3.2** φαίνεται και ο αντίστοιχος κάρναβος.

Στο κάτω όριο του καννάβου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που πραγματοποιείται αν υπάρχει ημίχωρος με τα ίδια μηχανικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η διέγερση αυτών των αναλύσεων εφαρμόστηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Η διατμητική τάση υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau = -2\rho \sqrt{\frac{G}{\rho}} u' \quad (3.7)$$

Για κάθε διέγερση η χρονοϊστορία ταχύτητας του υλικού σημείου (u') υπολογίζεται με αριθμητική ολοκλήρωση της αντίστοιχης χρονοϊστορίας της επιτάχυνσης. Στη βάση του

καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων. Επιπλέον στα πλευρικά όρια του καννάβου εφαρμόζονται συνθήκες ελεύθερου πεδίου, με χρήση του ομώνυμου τύπου συνοριακών συνθηκών που προσφέρει το λογισμικό.



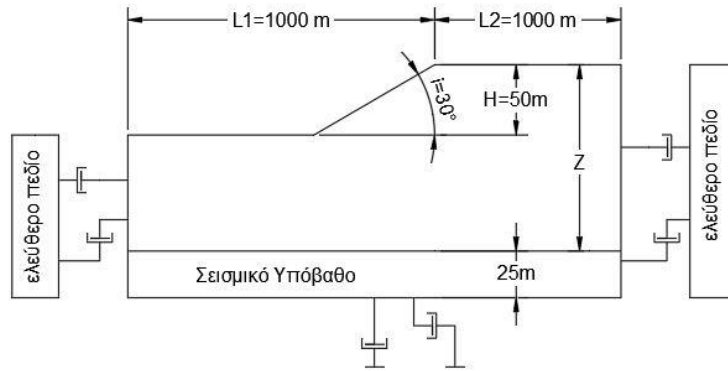
Σχήμα 3.1 Γραφική απεικόνιση προσομοιώματος αναλύσεων για ομοιογενές μονοκλινές πρανές



Σχήμα 3.2 Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για ανάλυση σεισμικής απόκρισης ομοιογενούς μονοκλινούς πρανούς

Αναλύσεις πρανούς επί ενδόσιμου βράχου:

Πρόκειται για αναλύσεις στις οποίες θεωρείται ότι η τοπογραφία βρίσκεται επί ενδόσιμου υποβάθρου το οποίο σχηματίζει ημίχωρο από την διεπιφάνεια και κάτω. Κατά συνέπεια, σε βάθος Z από την στέψη του πρανούς εντοπίζεται η διεπιφάνεια εδάφους-υποβάθρου με ταχύτητα διατμητικών κυμάτων $V_{s,b}$ και πάχος 25 m (οι τιμές των παραμέτρων ποικίλουν ανάλογα με τις τιμές λόγου εμπέδησης που στοχεύεται). Οι συνοριακές συνθήκες τόσο στα πλευρικά όρια του καννάβου όσο και στο κάτω όριο επιλέχθηκαν ανάλογες με εκείνες των αναλύσεων για ομοιογενές πρανές. Η διέγερση εφαρμόσθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο έτσι ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Στο **Σχήμα 3.3** παρουσιάζεται μία γραφική απεικόνιση του προσομοιώματος, ενώ στο **Σχήμα 3.4** φαίνεται και ο αντίστοιχος κάνναβος για μια περίπτωση όπου $Z=125\text{m}$.



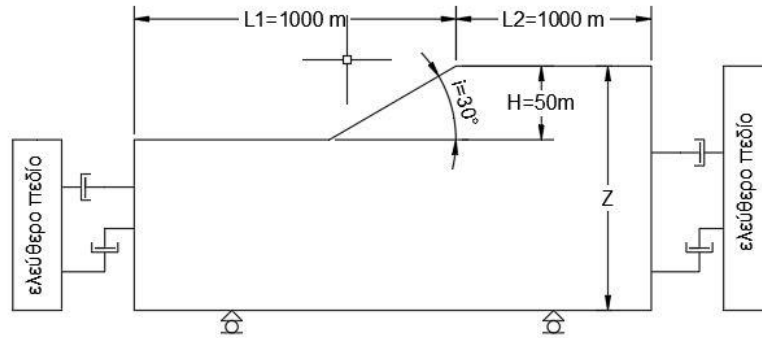
Σχήμα 3.3 Γραφική απεικόνιση προσομοιώματος αναλύσεων για πρανές επί ενδόσιμου υποβάθρου



Σχήμα 3.4 Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για ανάλυση σεισμικής απόκρισης πρανούς επί ενδόσιμου υποβάθρου σε βάθος $Z=125$ m

Αναλύσεις πρανούς επί άκαμπτου υποβάθρου:

Πρόκειται για αναλύσεις στις οποίες θεωρείται ότι η τοπογραφία βρίσκεται επί άκαμπτου υποβάθρου. Κατά συνέπεια το προσομοίωμα είναι ύψους Z από την στέψη του πρανούς έως την βάση του όπου εντοπίζεται το άκαμπτο υπόβαθρο. Σε αντίθεση με το ενδόσιμο υπόβαθρο η ύπαρξη άκαμπτου υποβάθρου επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων συνοριακών συνθηκών. Συγκεκριμένα, στη βάση του προσομοιώματος, η οποία αποτελεί την διεπιφάνεια εδάφους-υποβάθρου, δεν εφαρμόζονται αποσβεστήρες αλλά απευθείας δεσμεύονται οι μετατοπισιακοί βαθμοί ελευθερίας (εφαρμόζονται η χρονοϊστορία οριζόντιας επιτάχυνσης και μια χρονοϊστορία μηδενικής κατακόρυφης επιτάχυνσης). Αυτές οι συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα την ικανοποιητική προσομοίωση του άκαμπτου υποβάθρου, του οποίου η ταλάντωση δεν επηρεάζεται από τα υπερκείμενα στρώματα. Επιπλέον πλευρικά εφαρμόζονται συνθήκες ελεύθερου πεδίου όπως ακριβώς και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Στο **Σχήμα 3.5** παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση του προσομοιώματος, ενώ στο **Σχήμα 3.6** φαίνεται και ο αντίστοιχος κάνναβος για μια περίπτωση όπου $Z=125$ m (χάριν συμβατότητας με τις προηγούμενες περιπτώσεις).



Σχήμα 3.5 Γραφική απεικόνιση προσομοιώματος αναλύσεων για πρανές επί άκαμπτου υποβάθρου



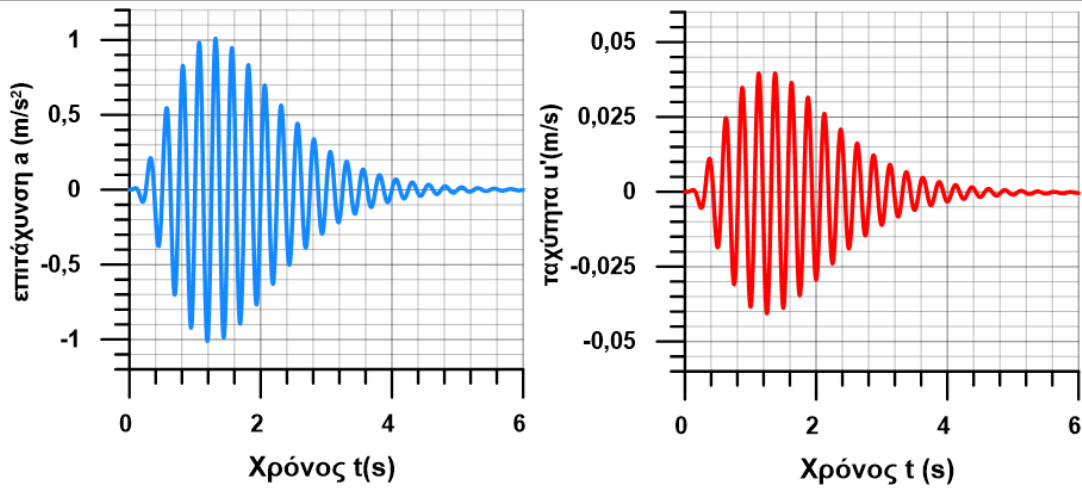
Σχήμα 3.6 Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για ανάλυση σεισμικής απόκρισης πρανούς επί άκαμπτου υποβάθρου σε βάθος $Z=125$ m

3.3. Διεγέρσεις βάσης

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποσκοπεί στην μελέτη του φαινομένου της αλληλεπίδρασης τοπογραφικής και στρωματογραφικής επιδείνωσης τόσο σε επίπεδο μέγιστης επιτάχυνσης όσο και σε επίπεδο φασματικής απόκρισης. Για τη διερεύνηση σε επίπεδο μέγιστης επιτάχυνσης επιλέχθηκε η πάγια κατά την βιβλιογραφία τακτική της χρήσης αρμονικής διέγερσης και συγκεκριμένα επιλέχθηκε ο αρμονικής μορφής παλμός Chang, ο οποίος προσομοιώνει τη σταδιακή αύξηση και κατόπιν μείωση ενός σεισμικού γεγονότος. Η σχέση από την οποία προκύπτει η χρονοϊστορία επιταχύνσεων του παλμού Chang δίνεται από την παρακάτω σχέση:

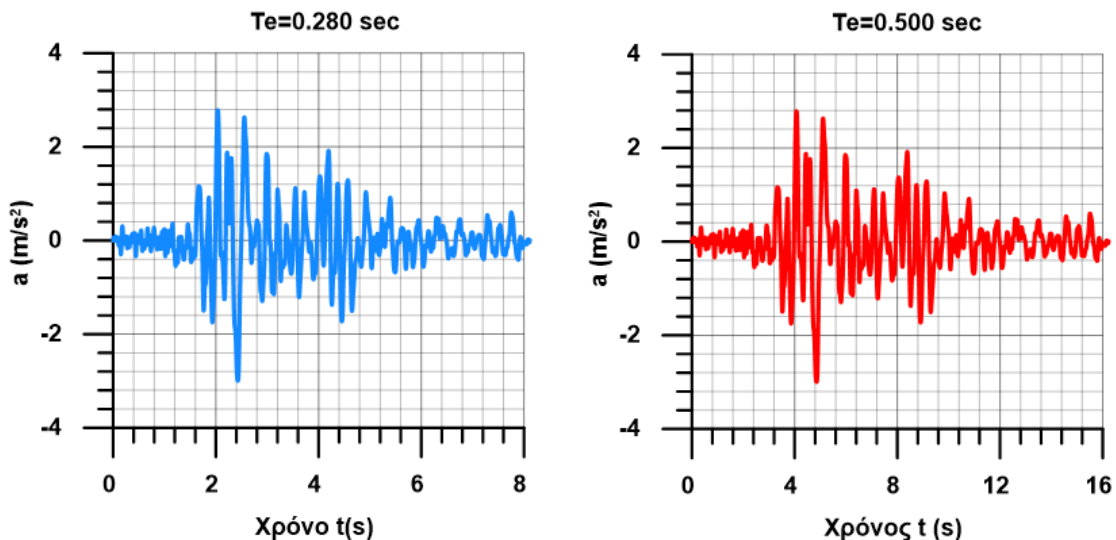
$$a(t) = \sqrt{\beta e^{-at} t^\gamma} * \sin\left(\frac{2\pi t}{T_e}\right) \quad (3.8)$$

Οι συντελεστές α , β , γ επιλέγονται ώστε να ρυθμίσουν την μέγιστη επιτάχυνση και τον ρυθμό αύξηση και μείωσης του παλμού, ενώ T_p είναι η ιδιοπερίοδος του παλμού που επιλέγεται ανάλογα με την ανάλυση. Στο **Σχήμα 3.7** παρουσιάζεται ενδεικτικά η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης με μέγιστη τιμή 1m/s^2 που προκύπτει από την παραπάνω σχέση για $T_e = 0.25$ sec, καθώς επίσης και εκείνη της ταχύτητας η οποία παράγεται από αριθμητική ολοκλήρωση της πρώτης.

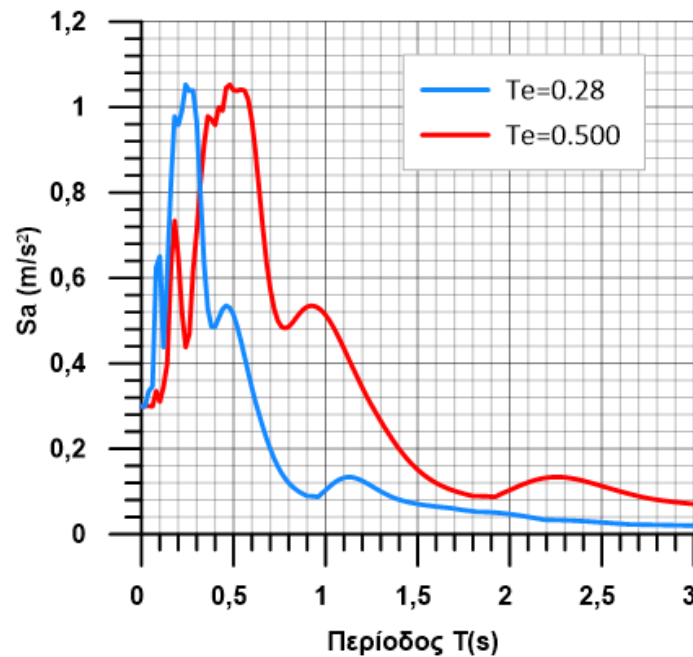


Σχήμα 3.7 Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης και ταχύτητας όπως προκύπτουν από τη σχέση του Chang για δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.25$ sec (για μέγιστη επιτάχυνση ίση με 1m/s^2)

Για την διερεύνηση του φαινομένου σε επίπεδο φασματικής απόκρισης προτιμήθηκε και επιλέχθηκε η χρήση μίας πραγματικής χρονοϊστορίας με ξεκάθαρη δεσπόζουσα περίοδο αλλά με πιο πλούσιο συχνοτικό περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της σεισμικής διέγερσης του σεισμού στα Σεπόλια (1999) με δεσπόζουσα περίοδο $T_e = 0.28\text{s}$. Για τη χρήση της συγκεκριμένης διέγερσης και για άλλες ιδιοπεριόδους απαραίτητες για την κάλυψη του αντικειμένου της εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία ως προς το χρονικό βήμα (αύξηση ή μείωση), έτσι ώστε η νέα επεξεργασμένη χρονοϊστορία να αντιστοιχεί στην ζητούμενη (αυξημένη ή μειωμένη) δεσπόζουσα περίοδο. Στην συνέχεια στο **Σχήμα 3.8** φαίνεται η χρονοϊστορία της πραγματικής διέγερσης με $T_e = 0.28\text{sec}$ και ένα παράδειγμα επεξεργασίας της με $T_e=0.5\text{sec}$ ενώ στο **Σχήμα 3.9** παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ελαστικά φάσματα απόκρισης για απόσβεση $\xi=5\%$.



Σχήμα 3.8 Χρονοϊστορίες επιταχύνσεων για τη σεισμική διέγερση στα Σεπόλια 1999 με την πραγματική δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.28\text{sec}$, καθώς και ένα παράδειγμα επεξεργασίας της ώστε να αποκτήσει $T_e=0.5\text{sec}$ (κατ' αντιστοιχία με τα ελαστικά φάσματα απόκρισης στο Σχήμα 3.9)



Σχήμα 3.9 Ελαστικά φάσματα απόκρισης ($\xi=5\%$) για την σεισμική διέγερση στα Σεπτόλια 1999 για την πραγματική ιδιοπερίοδο $T_e=0.28\text{sec}$ καθώς και το παράδειγμα επεξεργασίας της ώστε να αποκτήσει $T_e=0.5\text{sec}$ (κατ' αντιστοιχία με τις χρονοϊστορίες επιτάχυνσης στο Σχήμα 3.8)

3.4. Απόσβεση Συστήματος

Σε ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις, όπως αυτές που εκτελέστηκαν εδώ, 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 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 $f_e = 1/T_e$ της εκάστοτε σεισμικής διέγερσης. Έτσι, χάριν απλότητας, θεωρείται ότι $f_{\min} = f_e$ σε όλες τις αναλύσεις. Για την προσομοίωση της απόκρισης σε διεγέρσεις μικρής έως μεσαίας έντασης επιλέχθηκε μια τιμή $\xi_{\min}=5\%$, η οποία οδηγεί γενικώς σε σχετικά μεγάλες ενισχύσεις που δε φθίνουν γρήγορα με την απόσταση και οδηγούν σε εν γένει συντηρητική αποτύπωση της τοπογραφικής επιδείνωσης.

3.5. Καταρτισμός παραμετρικών αναλύσεων

Ο καταρτισμός των παραμετρικών αναλύσεων βασίζεται στον εντοπισμό των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος και μετά στον καθορισμό του εύρους μεταβολής αυτών, με γνώμονα έναν εύλογο συνολικό αριθμό παραμετρικών αναλύσεων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οι σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν το πρόβλημα της σύζευξης μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης, καθώς και το σύνολο των τιμών που ελέγχθηκαν στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας είναι οι κάτωθι:

- Το ύψος Z του προσομοιώματος από την στέψη μέχρι το (ενδόσιμο και άκαμπτο) υπόβαθρο επηρεάζει έντονα το φαινόμενο, κυρίως διότι καθορίζει διαφορετική ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης της εδαφικής στήλης πάνω από το υπόβαθρο. Οι βασικές τιμές οι οποίες θεωρήθηκαν για το ύψος Z ήταν 62.5 m και 125 m, για ένα ύψος πρानούς $H = 50$ m. Επιπλέον, έγιναν και επιλεγμένες αναλύσεις για κάποιες τιμές του Z από 55 m έως 250 m.
- Η δεσπόζουσα περίοδος T_e της διέγερσης επηρεάζει σαφώς το φαινόμενο, καθώς επηρεάζει το δεσπόζον μήκος κύματος λ και συνεπώς κανονικοποιεί διαφορετικά το ύψος του πρानούς H . Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για όλες τις περιπτώσεις με διάφορες δεσπόζουσες περιόδους με εύρος τιμών από 0.1 sec έως 2 sec, το οποίο καλύπτει πρακτικώς όλες τις περιπτώσεις της πράξης.
- Ο λόγος εμπέδησης I_R ορίζεται ως ο λόγος του γινομένου της πυκνότητας με την ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του υπερκείμενου εδάφους ως προς το αντίστοιχο γινόμενο για το υποκείμενο υπόβαθρο. Με άλλα λόγια, εκφράζει τη διαφορά της δυστημσίας μεταξύ εδάφους και υποβάθρου, και καθορίζει το ποσό της ενέργειας που ανακλάται συγκριτικά με αυτό που διαθλάται μέσω της διεπιφάνειας εδάφους - υποβάθρου. Με βάση την (ελλιπή) υπάρχουσα βιβλιογραφία, ο λόγος αυτός επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο, και για το λόγο αυτό μελετήθηκε το εύρος τιμών που φαίνεται στον παρακάτω **Πίνακα 3.1**:

| Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων εδάφους V_s (m/s) | Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων Υποβάθρου $V_{s,b}$ (m/s) | Λόγος εμπέδησης I_R |
|--|--|-----------------------|
| 500 | Ομοιογενής Ημίχωρος | 1 |
| | 800 | 0.625 |
| | 1250 | 0.4 |
| | 2500 | 0.2 |
| | 5000 | 0.1 |
| | Άκαμπτος Βράχος | 0 |

Πίνακας 3.1 Εύρος τιμών του λόγου εμπέδησης που λήφθηκε στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας και αντίστοιχες ταχύτητες διατμητικών κυμάτων

Υπογραμμίζεται εδώ, ότι έγιναν και επιλεγμένες αναλύσεις για συνδυασμό παραμέτρων που δεν αναφέρεται σαφώς ανωτέρω, π.χ. αναλύσεις και για πρानή με άλλες τιμές του ύψους H και της ταχύτητας V_s . Οι στοχευμένες αυτές αναλύσεις επισημαίνονται καταλλήλως στα κεφάλαια που ακολουθούν.

4. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

4.1. Γενικά

Σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιεγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις αρμονικών (Chang's) διεγέρσεων των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Από τις αναλύσεις προέκυψαν χρονοϊστορίες των παρασιτικών κατακόρυφων και οριζοντίων επιταχύνσεων κατά μήκος της επιφάνειας του εκάστοτε προσομοιώματος. Από τις χρονοϊστορίες αυτές πραγματοποιήθηκε μία πρώτη επεξεργασία με σκοπό τον υπολογισμό της επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας (A_h) και της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης (A_v) επιτάχυνσης κατά μήκος της επιφάνειας του εκάστοτε προσομοιώματος. Συγκεκριμένα, η επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης για κάθε θέση ορίστηκε ως ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (a_h) προς την αντίστοιχη τιμή του ελεύθερου πεδίου ($a_{h,ff}$) υπό 1Δ σεισμική απόκριση. Αντίστοιχα, η επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ορίστηκε ως ο λόγος της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (a_v) προς την μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση της αντίστοιχης θέσης στο ελεύθερο πεδίο ($a_{h,ff}$) υπό 1Δ συνθήκες, όπως συναντάται και στη βιβλιογραφία (π.χ. Bouckovalas & Papadimitriou 2005). Πιο συγκεκριμένα, οι παραπάνω σχέσεις εκτίμησης της επιδείνωσης παρουσιάζονται παρακάτω:

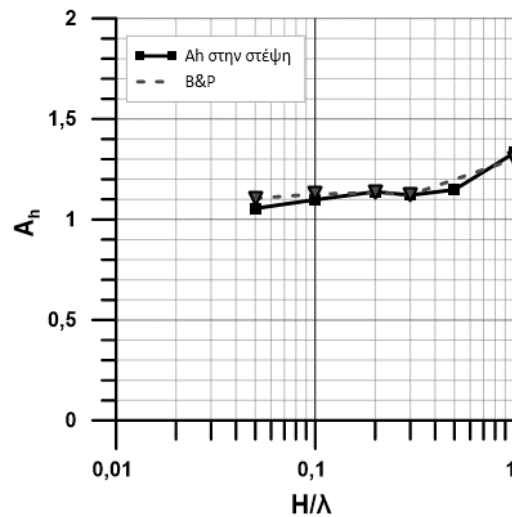
$$A_h = a_h / a_{h,ff} \quad (4.1)$$

$$A_v = a_v / a_{h,ff} \quad (4.2)$$

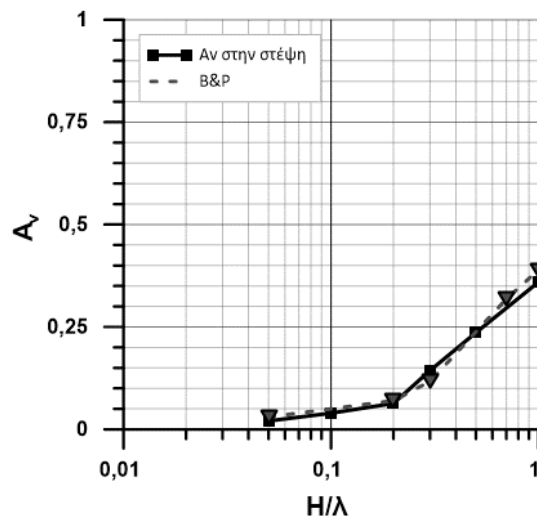
Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει θεωρητική δυσχέρεια του ορισμού όλων των παραπάνω μεγεθών επιδείνωσης στην περιοχή του κεκλιμένου τμήματος του πρανούς, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα 1Δ σεισμική απόκριση που θα έπρεπε να εισαχθεί στους παρονομαστές των σχέσεων ορισμού. Επομένως παραλείπεται η παρουσίαση αποτελεσμάτων κατά μήκος της συγκεκριμένης περιοχής στα σχήματα που ακολουθούν.

4.2. Διακρίβωση αξιοπιστίας

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται κάποια πρώτα αποτελέσματα σε μορφή επιδείνωσης οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης με σκοπό την σύγκριση τους με αντίστοιχα αποτελέσματα από την βιβλιογραφία. Στόχος είναι η διακρίβωση αξιοπιστίας της εφαρμοζόμενης αριθμητικής μεθοδολογίας. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αρχικώς αναλύσεις για ομοιογενές πρανές (η μεθοδολογία και το προσομοίωμα του οποίου παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3), ενώ ταυτόχρονα επιλέχθηκαν κατάλληλοι περίοδοι αρμονικών (Chang's) διεγέρσεων ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα των Bouckovalas & Papadimitriou (2005) για τις ίδιες τιμές κανονικοποιημένου ύψους πρανούς H/λ . Στην συνέχεια, παρουσιάζονται στο **Σχήμα 4.1** και στο **Σχήμα 4.2** τα αποτελέσματα και η σύγκριση τους με τις αντίστοιχες τιμές της βιβλιογραφίας για το σημείο της στέψης μονοκλινούς ομοιογενούς πρανούς:

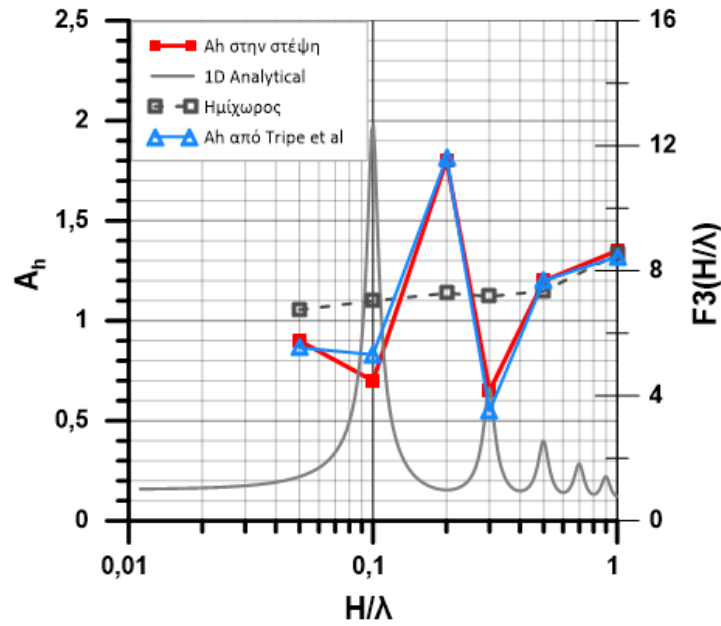


Σχήμα 4.1 Επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ως συνάρτηση του κανονικοποιημένου ύψους πρηνούς H/λ , ακριβώς στη στέψη ομοιογενούς πρηνούς ($H=50\text{m}$, $V_s=500\text{m/s}$, $i=30^\circ$) όπως προέκυψε από Bouckovalas & Papadimitriou (2005) και από την παρούσα εργασία

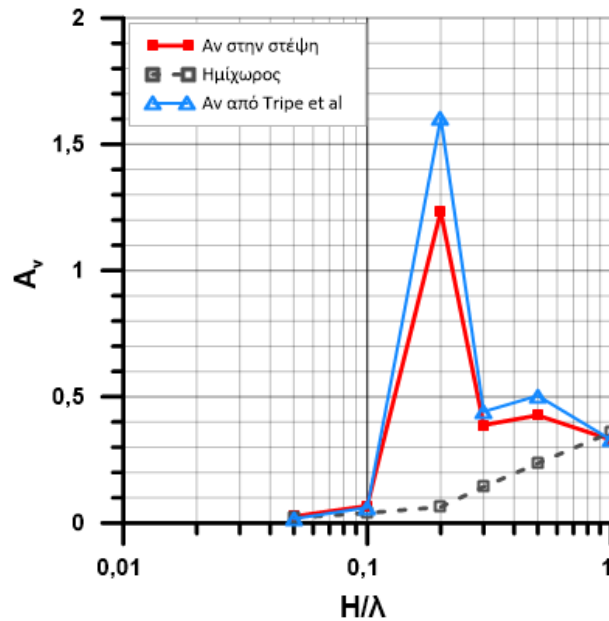


Σχήμα 4.2 Επιδείνωση της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ως συνάρτηση του κανονικοποιημένου ύψους πρηνούς H/λ , ακριβώς στη στέψη ομοιογενούς πρηνούς ($H=50\text{m}$, $V_s=500\text{m/s}$, $i=30^\circ$) όπως προέκυψε από Bouckovalas & Papadimitriou (2005) και από την παρούσα εργασία

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και για πρηνές επί άκαμπτου υποβάθρου για ύψος προσομοιώματος $Z=125\text{ m}$ και για συχνότητες αρμονικών (Chang's) διεγέρσεων τέτοιων ώστε τα αποτελέσματα να είναι άμεσα συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των Tripe et al. (2013). Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο **Σχήμα 4.3** και στο **Σχήμα 4.4** :



Σχήμα 4.3 Επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ως συνάρτηση του λόγου H/λ , ακριβώς στη στέψη πρανούς επί άκαμπτου υποβάθρου ($H=50m$, $V_s=500m/s$, $i=30^\circ$, $Z=125m$) όπως προκύπτει από τη μελέτη των Tripe et al (2013) και από την παρούσα εργασία. Ακόμη φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές για ομοιογενές πρανές και για μονοδιάστατη εδαφική ενίσχυση.



Σχήμα 4.4 Επιδείνωση της μέγιστης παρασιπτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ως συνάρτηση του λόγου H/λ , ακριβώς στη στέψη πρανούς επί άκαμπτου υποβάθρου ($H=50m$, $V_s=500m/s$, $i=30^\circ$, $Z=125m$) όπως προκύπτει από τη μελέτη των Tripe et al (2013) και από την παρούσα εργασία. Ακόμη φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές για ομοιογενές πρανές.

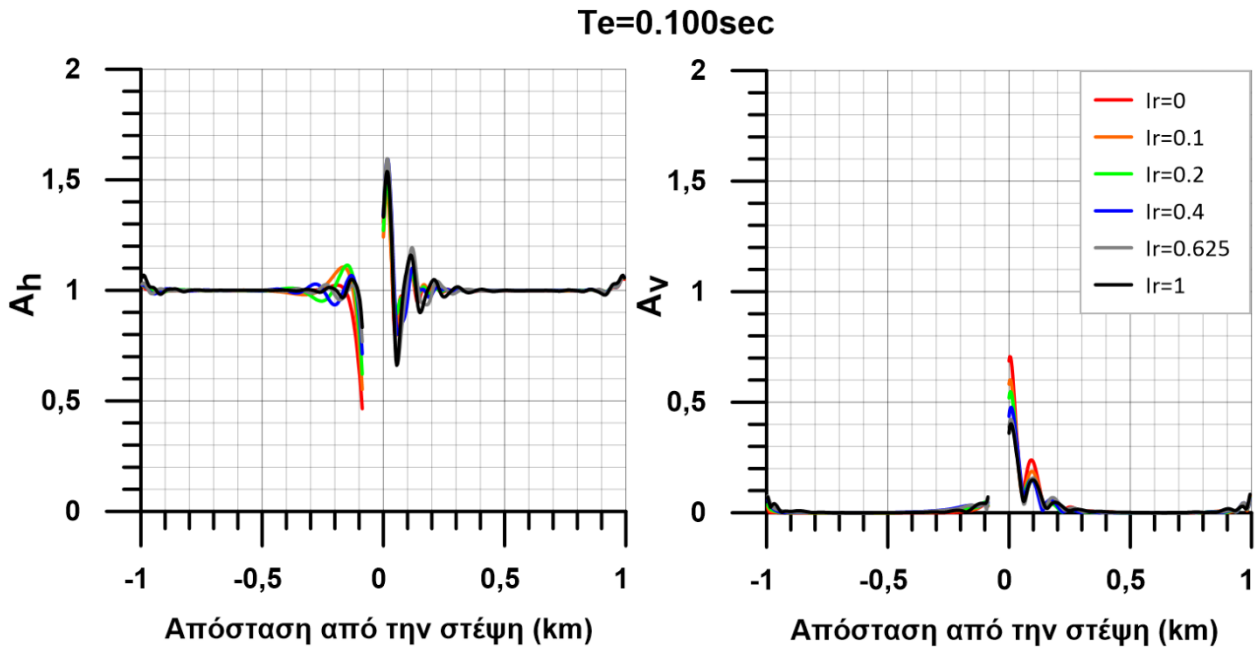
Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων όπως παρουσιάζονται παραπάνω προσεγγίζουν ικανοποιητικά σε σημείο ταύτισης τα αποτελέσματα των αντίστοιχων αναλύσεων από την βιβλιογραφία τόσο για τα προσομοιώματα ομοιογενούς πρανούς όσο και για πρανούς επί άκαμπτου υποβάθρου. Το γεγονός αυτό προσδίδει αξιοπιστία και εγκυρότητα στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για το σύνολο των αναλύσεων της παρούσας εργασίας άρα και των κάτωθι αποτελεσμάτων.

4.3. Απόκριση πρανών με διαφορετικά βάθη υποβάθρου και λόγο εμπέδησης

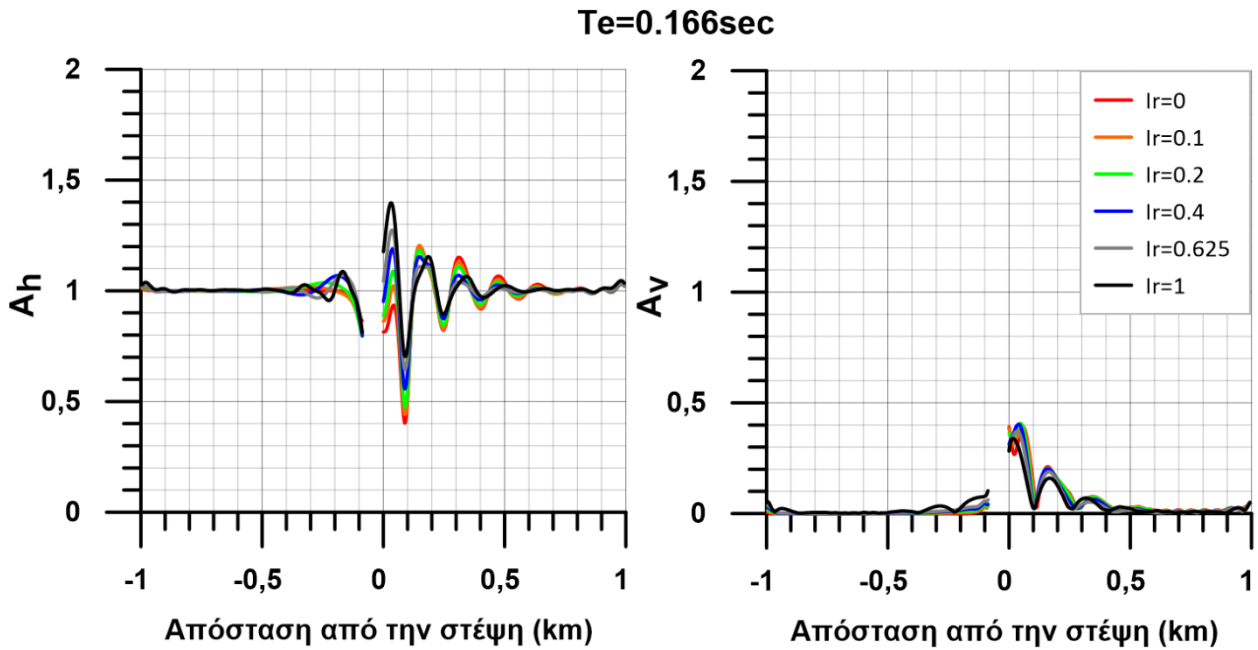
Σκοπός των συγκεκριμένων αναλύσεων όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω αποτελεί η διερεύνηση του φαινομένου της σύζευξης μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης σε όρους οριζόντιων και παρασιτικών κατακόρυφων επιταχύνσεων. Ως εκ τούτου, εδώ παρατίθενται τα αποτελέσματα για τα προσομοιώματα βάθους υποβάθρου $Z = 62.5$ m και $Z = 125$ m όπως προέκυψαν για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , δηλαδή για τις περιπτώσεις ομοιογενούς πρανούς ($I_R = 1$) και πρανούς επί ενδόσιμου ($0 < I_R < 1$), ή άκαμπτου υποβάθρου ($I_R = 0$). Οι αναλύσεις αφορούν παραμετρικά δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης εύρους από 0.1 sec έως και 2 sec καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα διεγέρσεων από αρκετά υψίσυχνες μέχρι ιδιαίτερα χαμηλής συχνότητας.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτυπώνονται σε δύο τύπους σχημάτων. Συγκεκριμένα, ο πρώτος τύπος σχημάτων παρουσιάζει τη χωρική διαφοροποίηση των A_h και A_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για απόσταση ± 1 km, με το 0 να αντιστοιχεί ακριβώς στη στέψη του πρανούς, καλύπτοντας έτσι μία ικανοποιητική απόσταση από την περιοχή του πρανούς μέχρι το ελεύθερο πεδίο μπροστά και πίσω από αυτό. Στο δεύτερο τύπο σχημάτων παρουσιάζεται η επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης σε «σημαντικές» θέσεις κατά μήκος του πρανούς, ήτοι ακριβώς η στέψη του και ακριβώς ο πόδας του. Η επιλογή των συγκεκριμένων σημείων βασίζεται σε τυπικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας, απ' όπου προκύπτει ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές της τοπογραφικής επιδείνωσης εμφανίζονται πολύ κοντά ή επί αυτών των θέσεων. Επιπλέον, οι θέσεις αυτές είναι σαφώς ορισμένες σε όλους τους τύπους πρανών και αποτελούν έτσι ικανοποιητική επιλογή ως σημεία αναφοράς.

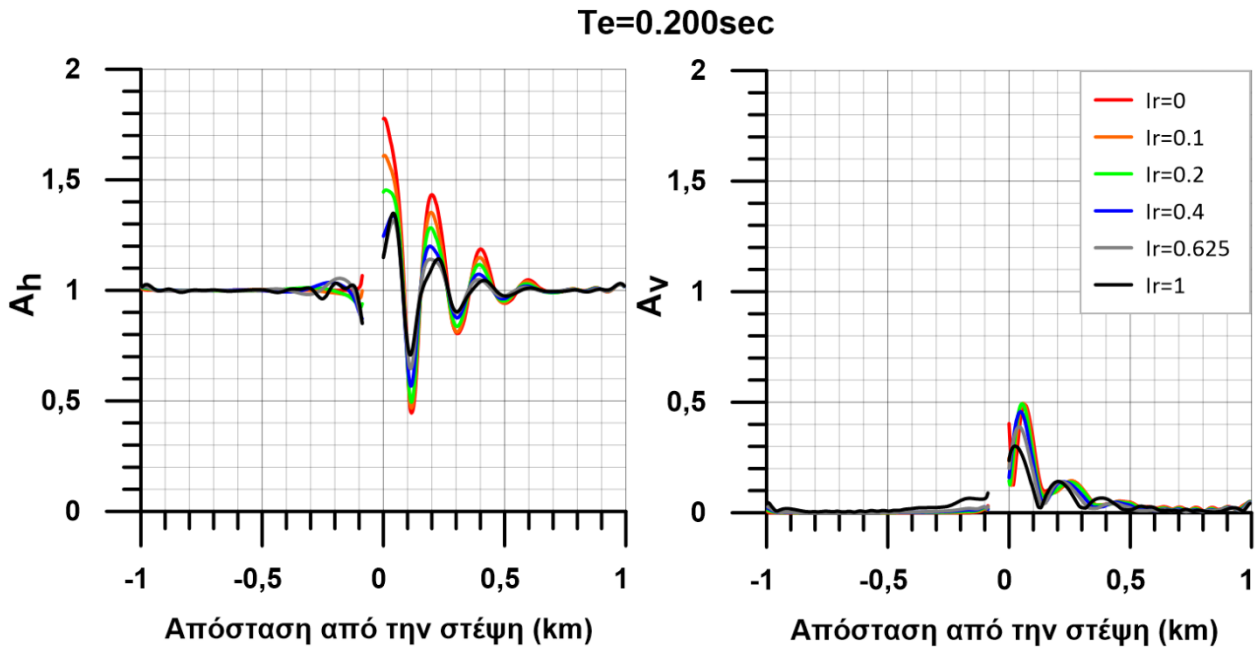
Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=62.5$ m, και αντίστοιχα πρώτα ο πρώτος τύπος σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 4.5 έως 4.12**) και στη συνέχεια ο δεύτερος (επιδεινώσεις σε «σημαντικά» σημεία, **Σχήματα 4.13 και 4.14**). Τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης (**Σχήματα 4.5 έως 4.12**) διαχωρίζουν την επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες, ενώ παρουσιάζονται διαφορετικά σχήματα ανά δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης. Αντίστοιχα, στα αποτελέσματα για «σημαντικά» σημεία γίνεται και πάλι διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες (**Σχήματα 4.13 και 4.14**), ενώ τα σχήματα είναι διαφορετικά ανά σημείο ενδιαφέροντος.



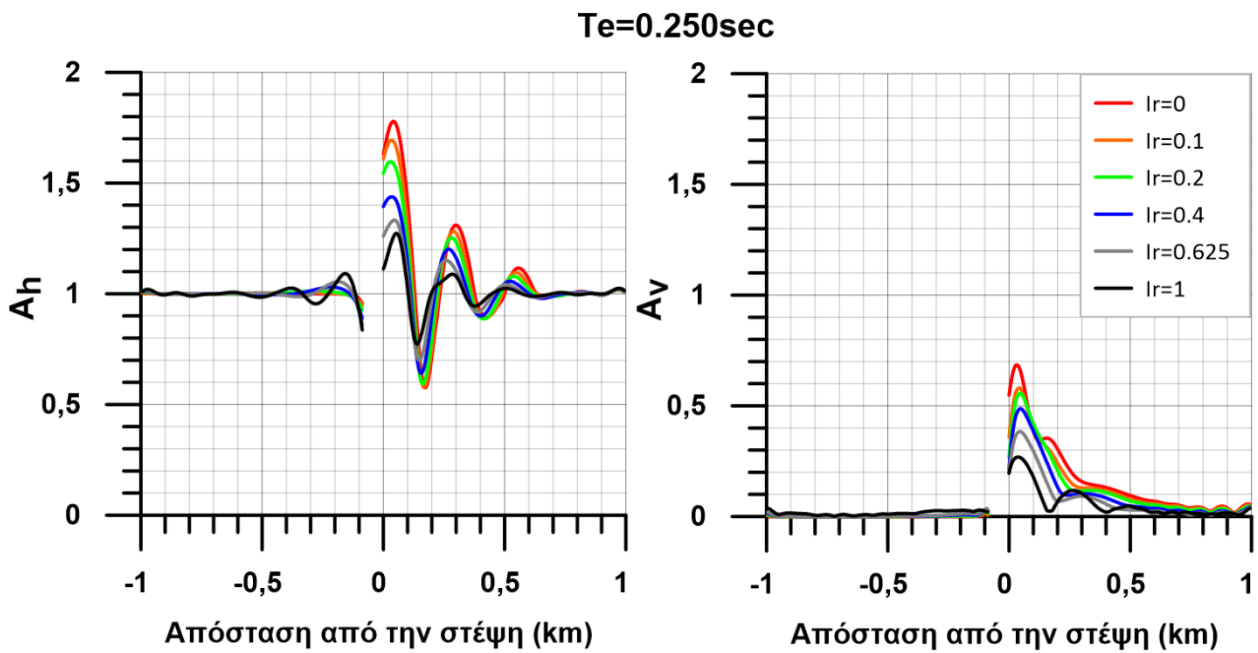
Σχήμα 4.5 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης l_r , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.100sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1$.



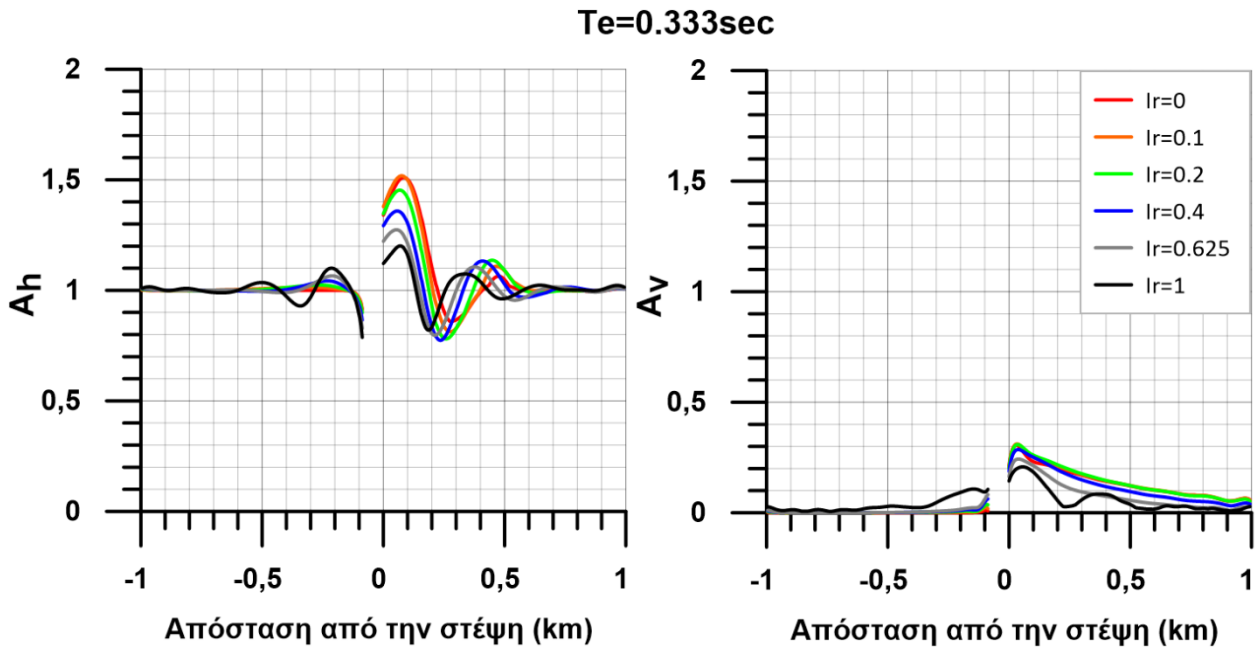
Σχήμα 4.6 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης l_r , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.166sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.6$.



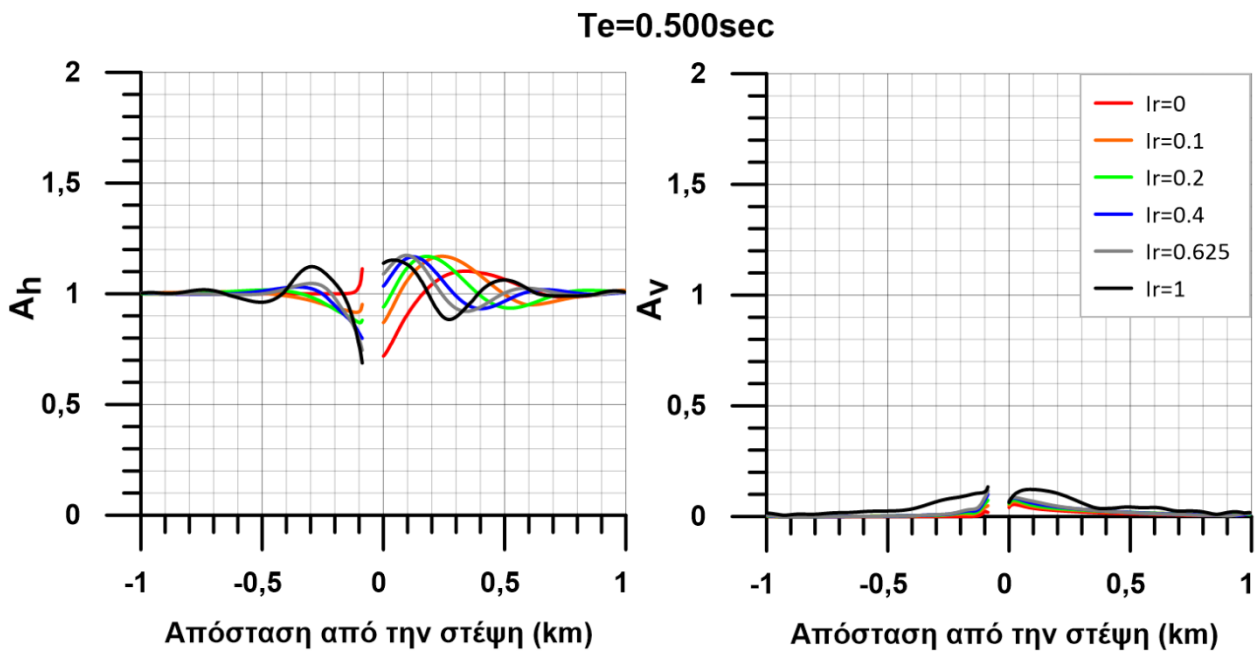
Σχήμα 4.7 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.200sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$.



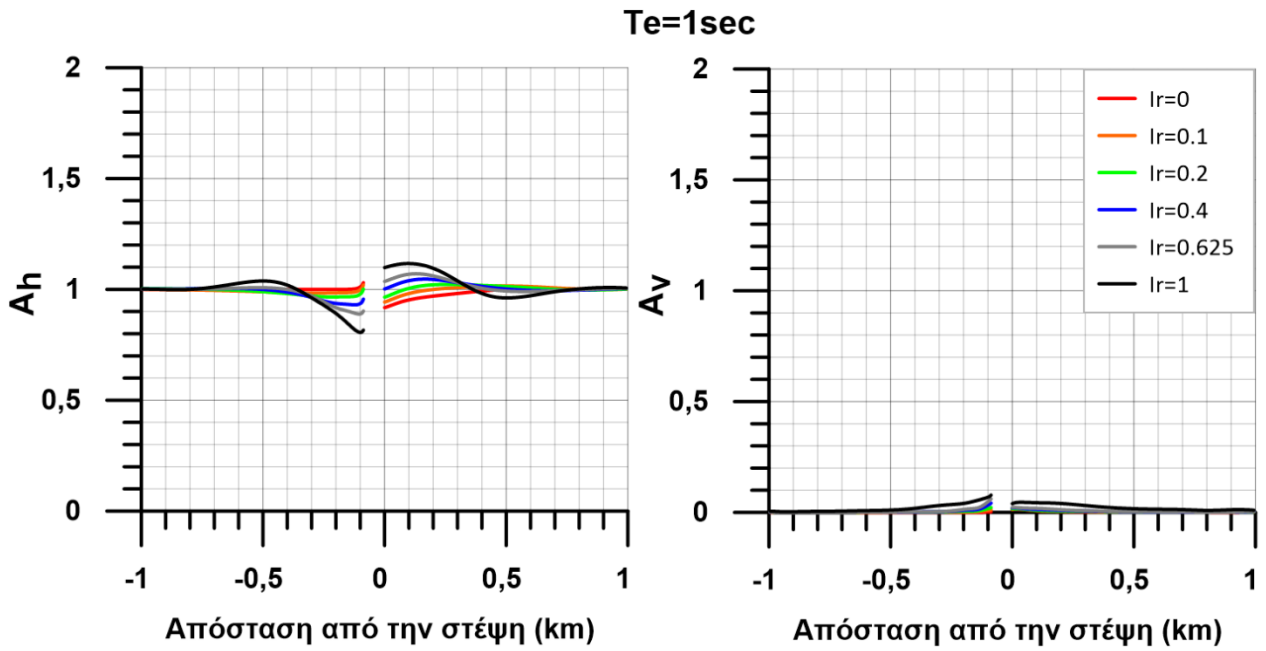
Σχήμα 4.8 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.250sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.4$.



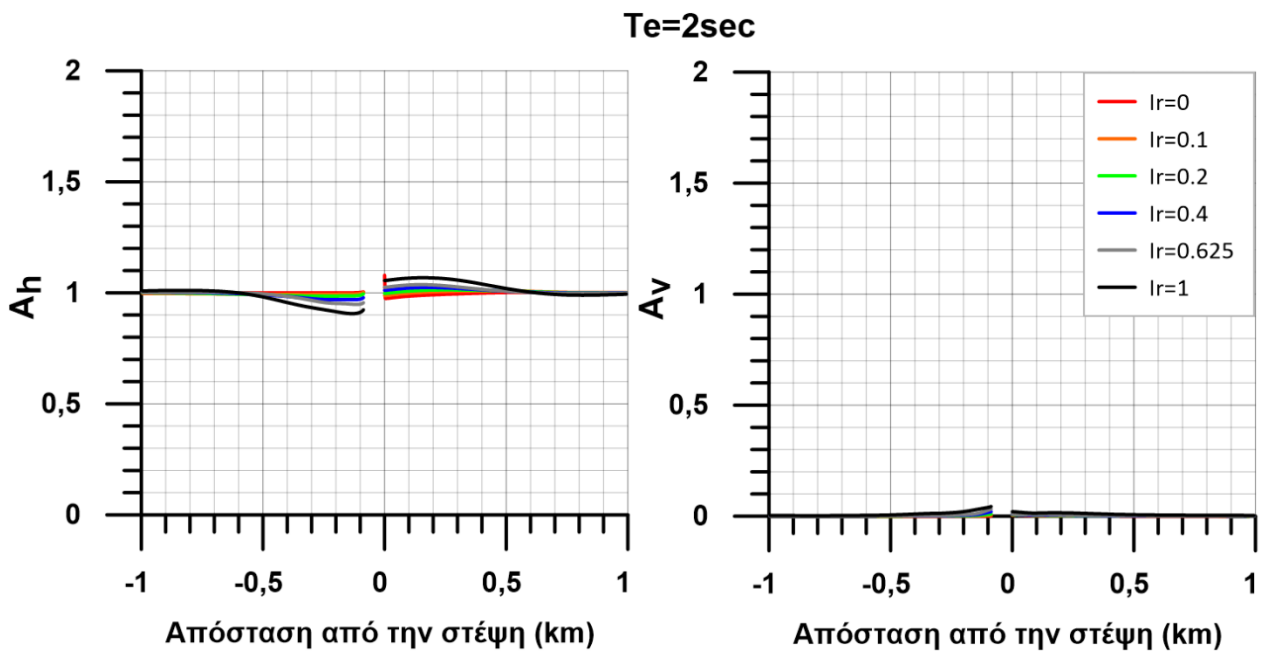
Σχήμα 4.9 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση $T_e=0.333sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.3$.



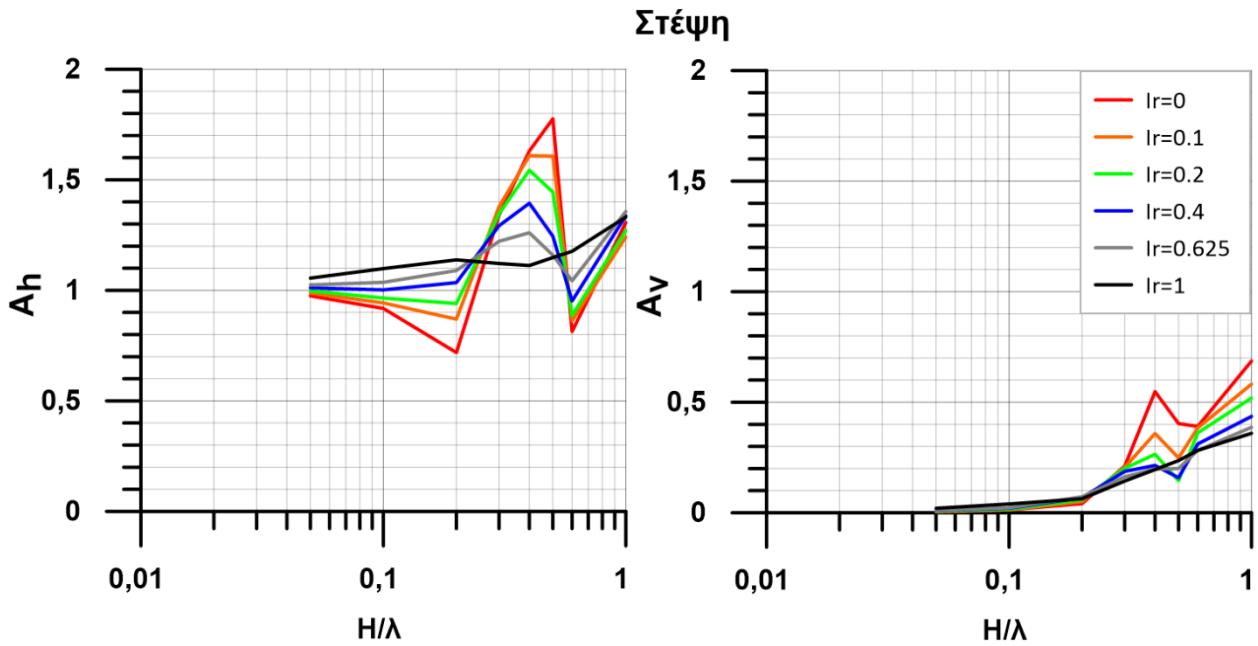
Σχήμα 4.10 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση $T_e=0.500sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$.



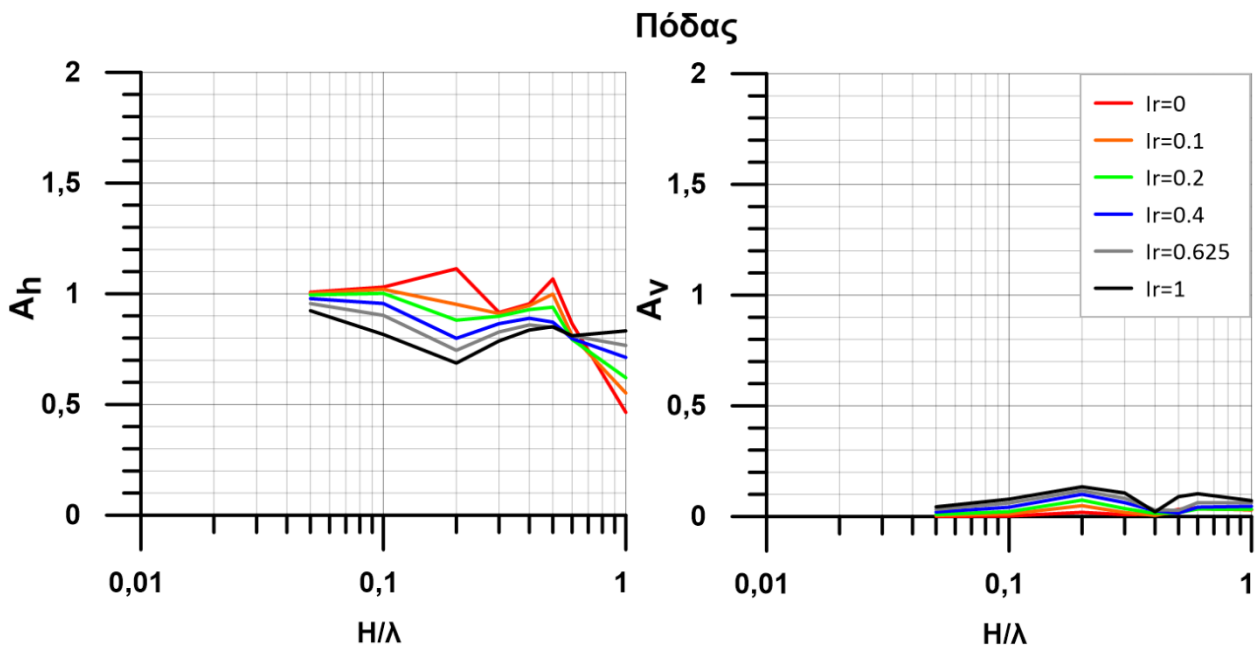
Σχήμα 4.11 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση $T_e=1sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.1$.



Σχήμα 4.12 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση $T_e=2sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.05$.



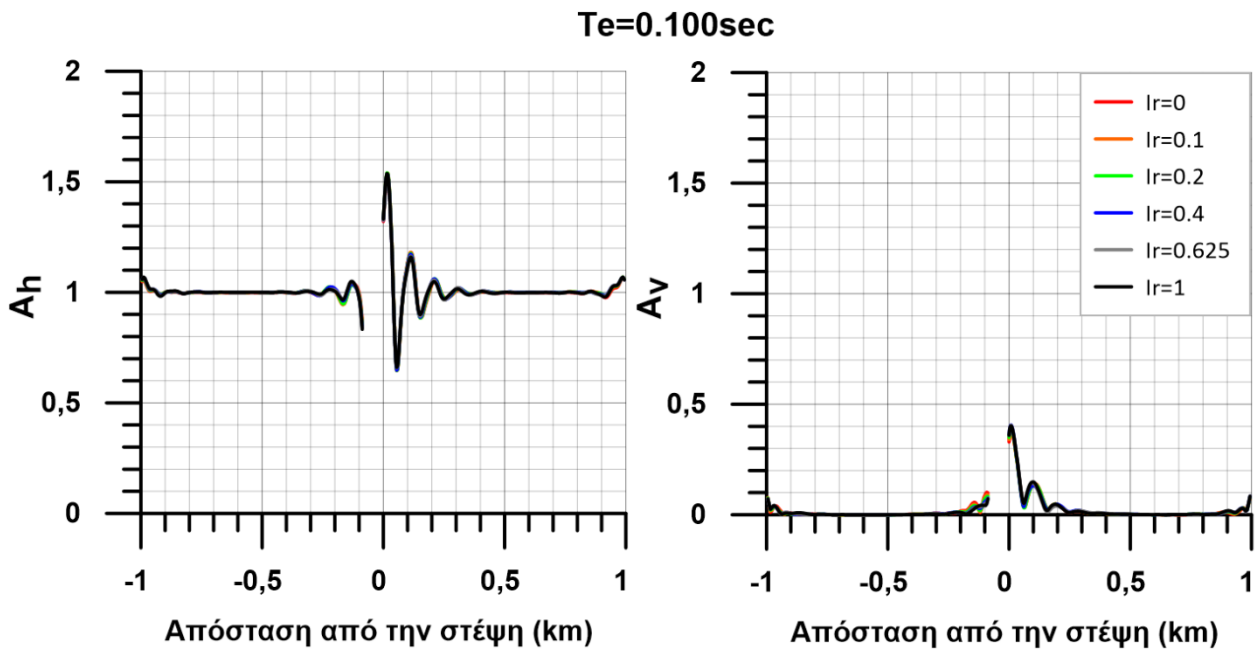
Σχήμα 4.13 Οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης σαν συνάρτηση του λόγου H/λ , για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, ακριβώς στη στέψη μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$.



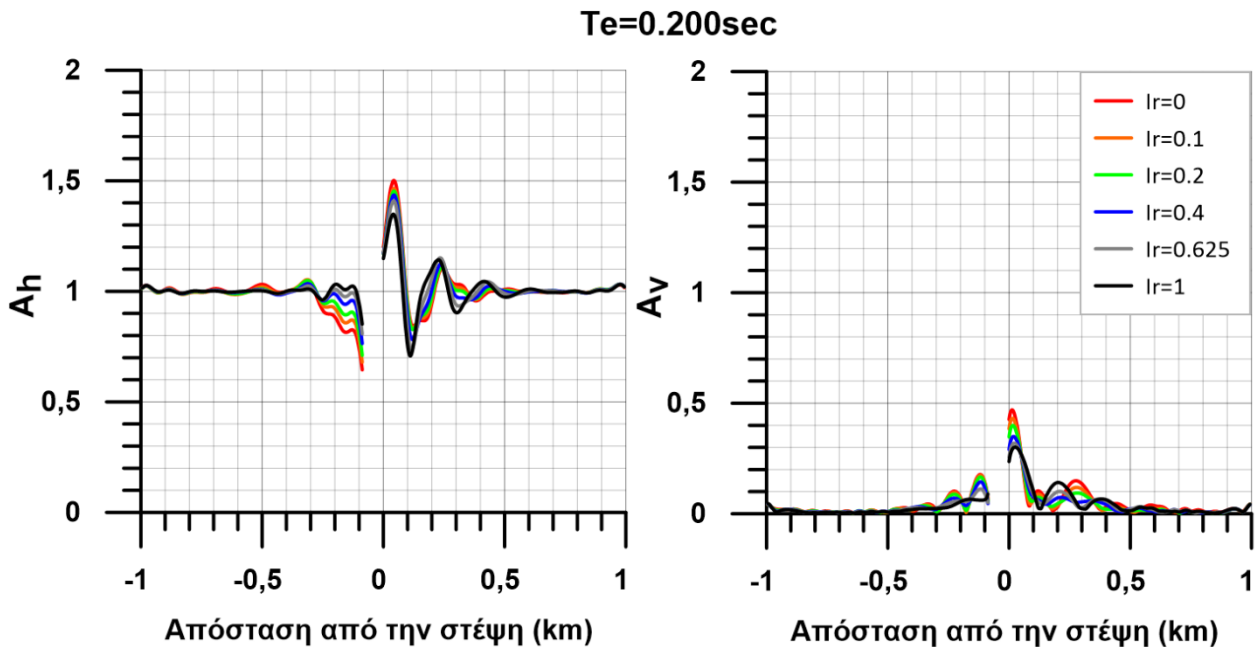
Σχήμα 4.14 Οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης σαν συνάρτηση του λόγου H/λ , για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, ακριβώς στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα, για ένα προσομοίωμα όπου το υπόβαθρο βρίσκεται σε διπλάσιο βάθος ($Z = 125 m$) από την επιφάνεια του εδάφους πίσω από τη στέψη, ενώ το ίδιο το πρανές διατηρεί τα χαρακτηριστικά του. Έτσι, τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης παρουσιάζονται στα **Σχήματα 4.15 έως 4.20** με τη γνωστή μορφή (επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες), ενώ τα αποτελέσματα για «σημαντικά» σημεία παρουσιάζονται στα **Σχήματα**

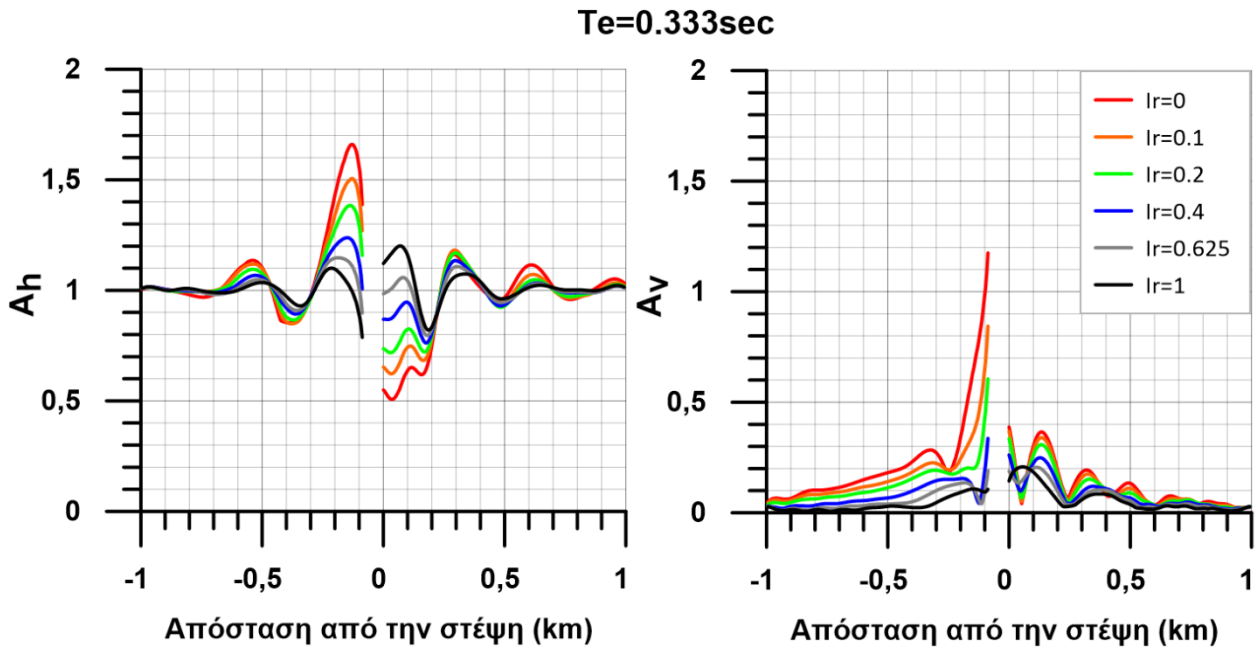
4.21 και 4.22 και πάλι στη γνωστή μορφή (διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες).



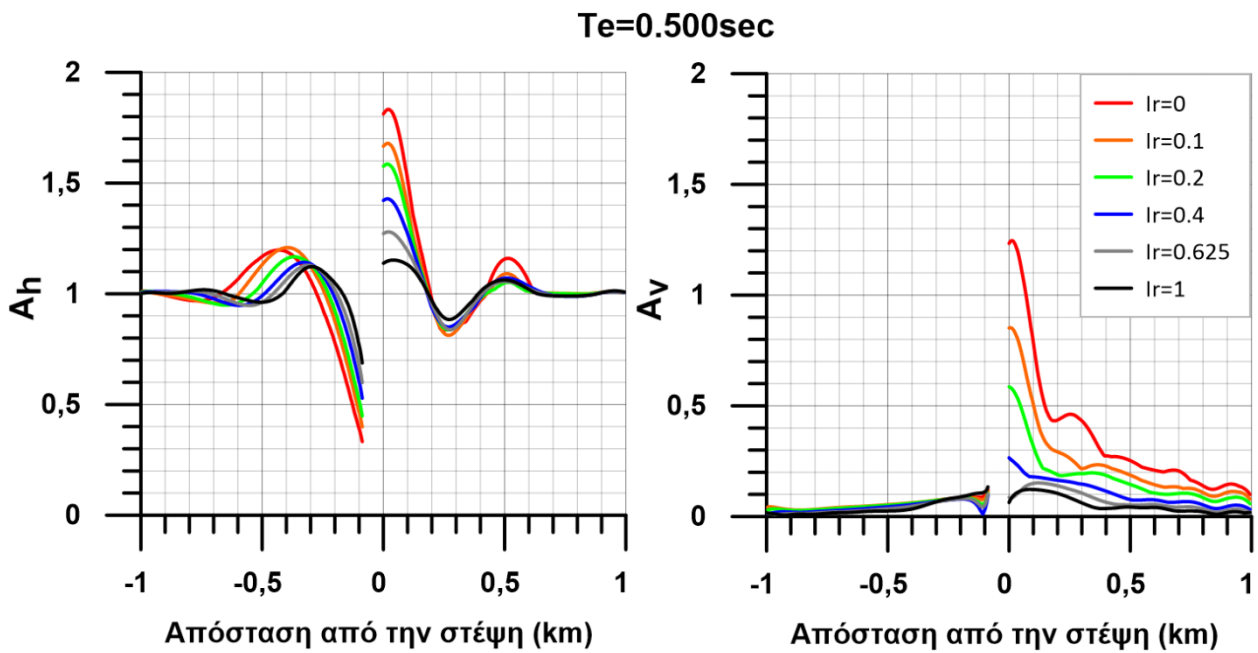
Σχήμα 4.15 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διέγερση με $T_e=0.100\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=1$.



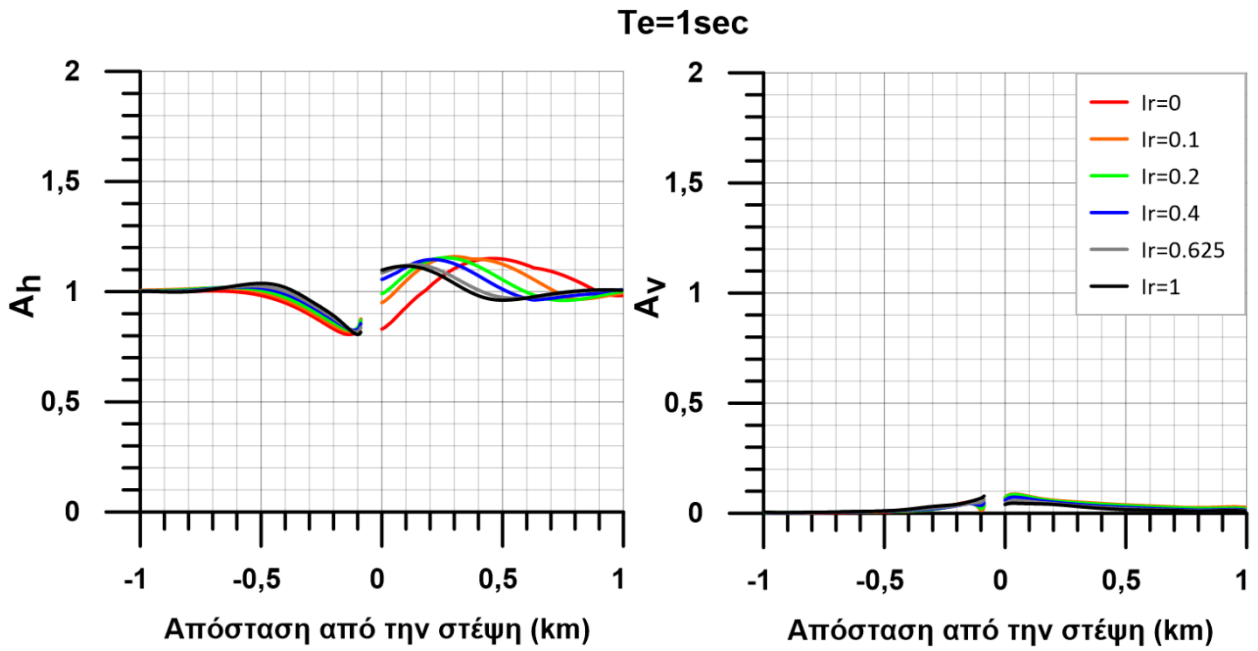
Σχήμα 4.16 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διέγερση με $T_e=0.200\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$.



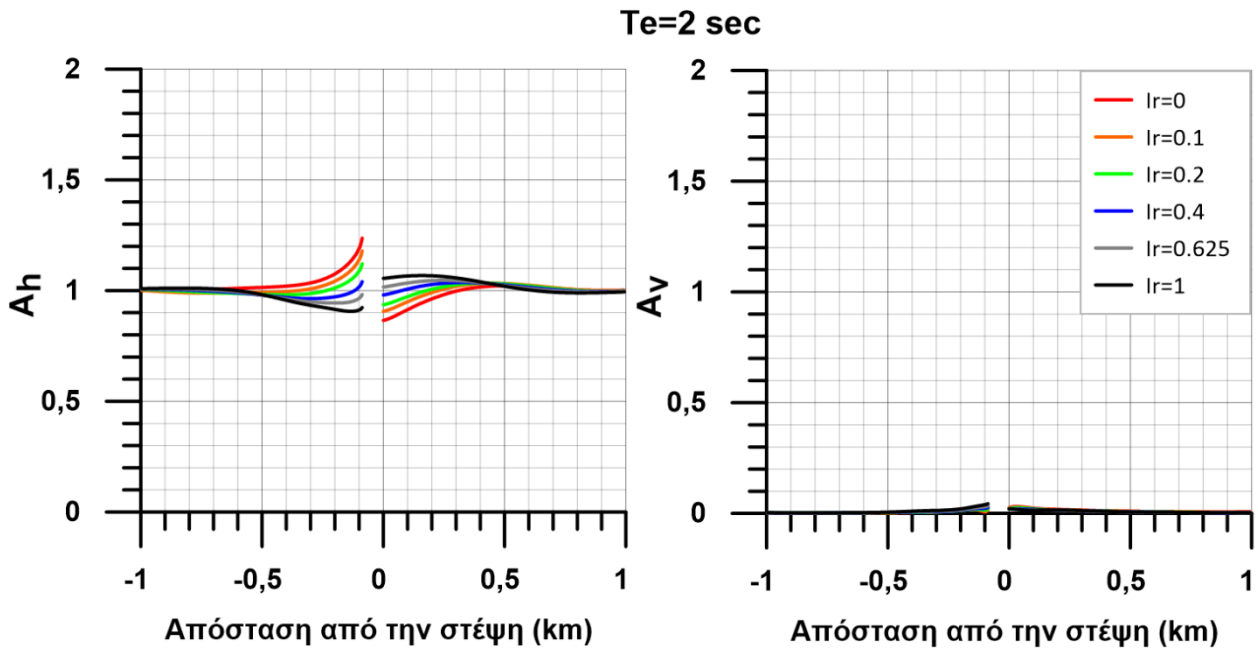
Σχήμα 4.17 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης l_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.333sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.3$.



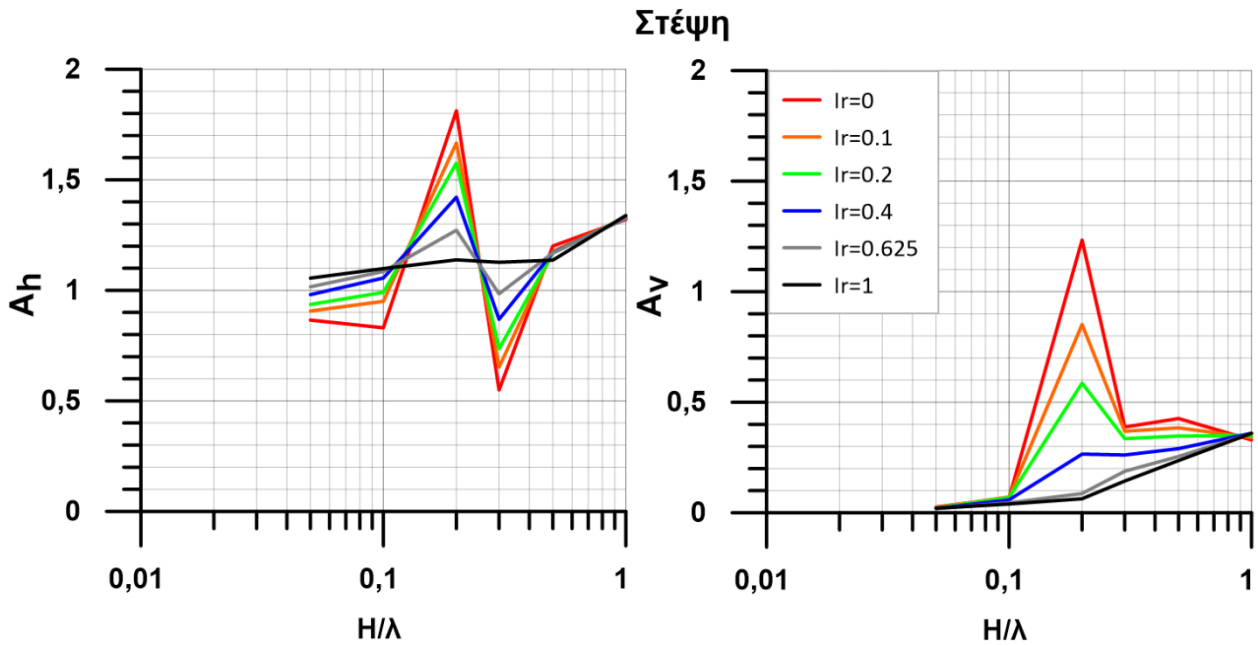
Σχήμα 4.18 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης l_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125m$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διέγερση με $T_e=0.500sec$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$.



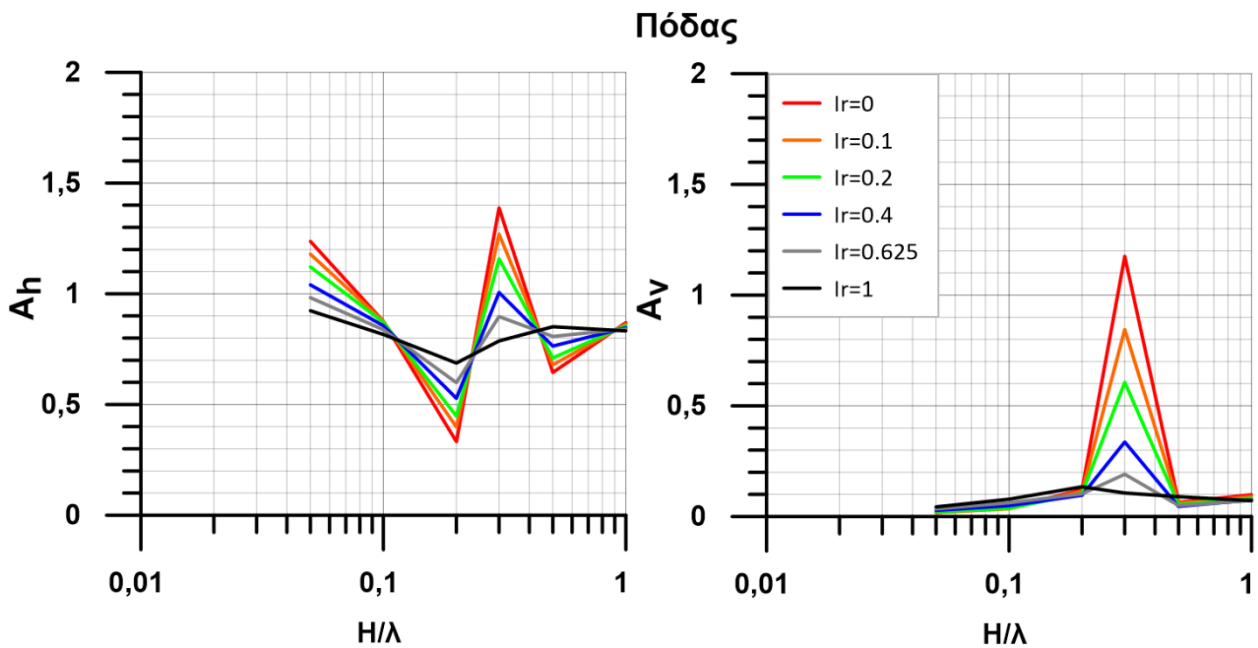
Σχήμα 4.19 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διέγερση με $T_e=1\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.1$.



Σχήμα 4.20 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, στη γειτονιά μονοκλινούς πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διέγερση με $T_e=2\text{sec}$ που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.05$.



Σχήμα 4.21 Οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης σαν συνάρτηση του λόγου H/λ , για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος ύψους $Z=125m$, στο πρώτο σημείο της στέψης μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$.



Σχήμα 4.22 Οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης σαν συνάρτηση του λόγου H/λ , για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , προσομοιώματος ύψους $Z=125m$, στο πρώτο σημείο του πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$.

Με βάση τα **Σχήματα 4.5 έως 4.22** προκύπτει σαφής διαφοροποίηση της σεισμικής απόκρισης ανομοιογενών πρανών (επί άκαμπτου ή εύκαμπτου υποβάθρου) έναντι εκείνης για ομοιογενή πρανή. Πιο συγκεκριμένα, με βάση αναλύσεις για αρμονικές διεγέρσεις (μορφής Chang's signal) προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Επιβεβαιώνεται η παρατήρηση των Tripe et al. (2013), κατά την οποία η σύζευξη μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείωσης σχετίζεται άμεσα με τη θεμελιώδη περίοδο (1Δ) ταλάντωσης T_s της εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο. Συγκεκριμένα, τόσο για τον πόδα όσο και για την στέψη, όταν η διέγερση έχει δεσπόζουσα περίοδο T_e ίδια με την T_s , τότε παρατηρείται απομείωση της επιδείωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης συγκριτικά με εκείνη για ομοιογενές πρηνές. Αντίστοιχες απομειώσεις προκύπτουν και για τη 2^η ιδιομορφή ταλάντωσης, ενώ για ενδιάμεσες τιμές περιόδων για τις οποίες η 1Δ εδαφική ενίσχυση είναι μικρότερη, η τιμή της τοπογραφικής επιδείωσης ενισχύεται.
- Για την κατακόρυφη παρασιτική συνιστώσα της επιδείωσης παρατηρείται μόνο ενίσχυση της τιμής της επιδείωσης συγκριτικά με εκείνη για ομοιογενές πρηνές για τιμές περιόδων $T_e = T_s$, ενώ για όλες τις υπόλοιπες περιόδους (μικρότερες και μεγαλύτερες) η επιδείωση για ανομοιογενή πρηνή είναι συγκρίσιμη με εκείνη για τα ομοιογενή.
- Η σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείωσης εξαρτάται σημαντικά και από τη θέση ενδιαφέροντος. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι το δεσπόζον μήκος κύματος λ είναι ανεξάρτητο από τον λόγο εμπέδησης I_R ή το βάθος υποβάθρου Z , η χωρική διαφοροποίηση της επιδείωσης παραμένει, ως επί το πλείστον, συνάρτηση του μήκους κύματος λ και συμβατή με τα αποτελέσματα για ομοιογενή πρηνή.
- Για ακραίες τιμές (μικρές ή μεγάλες) της δεσπόζουσας περιόδου της διέγερσης παρατηρείται ότι η σύζευξη μεταξύ εδαφικής και τοπογραφικής επιδείωσης περιορίζεται, καθώς οι τιμές της επιδείωσης τόσο για ομοιογενή όσο και για ανομοιογενή πρηνή τείνουν να ταυτιστούν.
- Η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείωσης είναι εντονότερη πλησίον του πρηνούς, και φαίνεται να αμβλύνεται αυξανόμενης της απόστασης από την στέψη ή τον πόδα του πρηνούς. Λίγο ως πολύ, δεν διαφαίνεται σύζευξη σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1 έως 2 δεσπόζοντα μήκη διατμητικών κυμάτων λ , μια απόσταση που ούτως ή άλλως εκμηδενίζει και την επίδραση της τοπογραφίας στη σεισμική κίνηση γενικότερα.
- Η επιδείωση τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης φαίνεται να γίνεται εντονότερη όσο πιο μικρός είναι ο λόγος εμπέδησης. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα για ομοιογενή πρηνή υποεκτιμούν την τοπογραφική επιδείωση.

5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΟΓΟΥ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

5.1. Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο αφορά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων όπως αυτά παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 4 με στόχο την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του λόγου εμπέδησης I_R στην απόκριση ανομοιογενών πρανών σε όρους μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Για το σκοπό αυτό ως ανάλυση αναφοράς θεωρείται το ομοιογενές πρανές ($I_R=1$) και εκτιμώνται διορθωτικοί συντελεστές για τα ανομοιογενή πρανή με λόγο εμπέδησης μικρότερο του 1.0. Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης της τιμής του διορθωτικού συντελεστή επί τη βάση της τιμής του I_R , με έμφαση στην απόκριση στις 2 «σημαντικές» θέσεις του πρανούς, τη στέψη και τον πόδα του. Στο πλαίσιο αυτό γίνεται μια ενδεικτική πρόταση σχεδιασμού και διερευνώνται τα όρια εφαρμογής της.

5.2. Σύγκριση απόκρισης ανομοιογενών πρανών έναντι ομοιογενούς

Δεδομένου ότι η απόκριση ομοιογενών πρανών είναι σημαντικά μελετημένη στη βιβλιογραφία (π.χ. Bouckoualas & Papadimitriou 2005), θεωρείται χρήσιμη η ποσοτική εκτίμηση της διαφοράς στην απόκριση ενός πρανούς υπό αρμονική διέγερση αν σε κάποιο βάθος Z υπάρχει υποβάθρο, συγκριτικά με την απόκριση του ομοιογενούς πρανούς. Για τη διερεύνηση αυτή ορίστηκε ένας *διορθωτικός συντελεστής* τόσο για την οριζόντια (CF_h) όσο και για την παρασιτική κατακόρυφη (CF_v) συνιστώσα της επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα, η οριζόντια συνιστώσα του διορθωτικού αυτού συντελεστή CF_h σε κάθε θέση ορίστηκε ως ο λόγος της οριζόντιας τιμής της επιδείνωσης για ανομοιογενές πρανές επί άκαμπτου ή ενδόσιμου υποβάθρου προς την αντίστοιχη τιμή για ομοιογενές πρανές. Αντίστοιχα η παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή CF_v σε κάθε θέση ορίστηκε ως ο λόγος της παρασιτικής κατακόρυφης τιμής της επιδείνωσης για ανομοιογενές πρανές επί άκαμπτου ή ενδόσιμου υποβάθρου προς την αντίστοιχη τιμή για ομοιογενές πρανές. Οι παραπάνω δύο σχέσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

$$CF_h = A_h(I_R \neq 1) / A_h(I_R = 1) \quad (5.1)$$

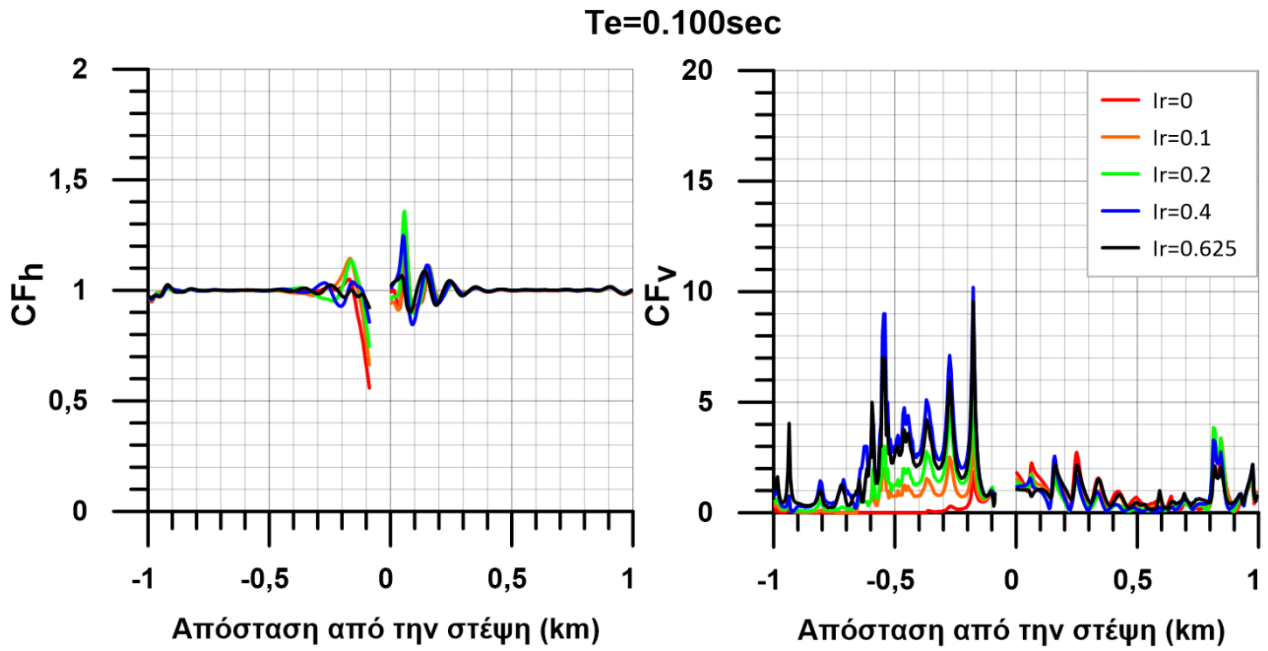
$$CF_v = A_v(I_R \neq 1) / A_v(I_R = 1) \quad (5.2)$$

Έτσι με βάση τον ορισμό του, ο παραπάνω διορθωτικός συντελεστής εκφράζει ποσοτικά τη σύζευξη μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης. Τιμές του συντελεστή μεγαλύτερες της μονάδας συνεπάγονται ενισχυτική επίδραση της ύπαρξης υποβάθρου, ενώ αντίθετα τιμές μικρότερες της μονάδας αντιστοιχούν σε απομειωτική δράση αυτού. Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο εκτιμήθηκαν οι τιμές των διορθωτικών συντελεστών CF_h και CF_v για όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 4.2. Κατ' αντιστοιχία με το Κεφάλαιο 4, τα αποτελέσματα σε όρους CF_h και CF_v αποτυπώνονται σε δύο τύπους σχημάτων. Ο πρώτος τύπος σχήματος παρουσιάζει την χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας ή παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για απόσταση ± 1 km από ακριβώς τη στέψη του πρανούς. Στο δεύτερο τύπο σχήματος παρουσιάζεται η τιμή των συντελεστών CF_h και CF_v στις

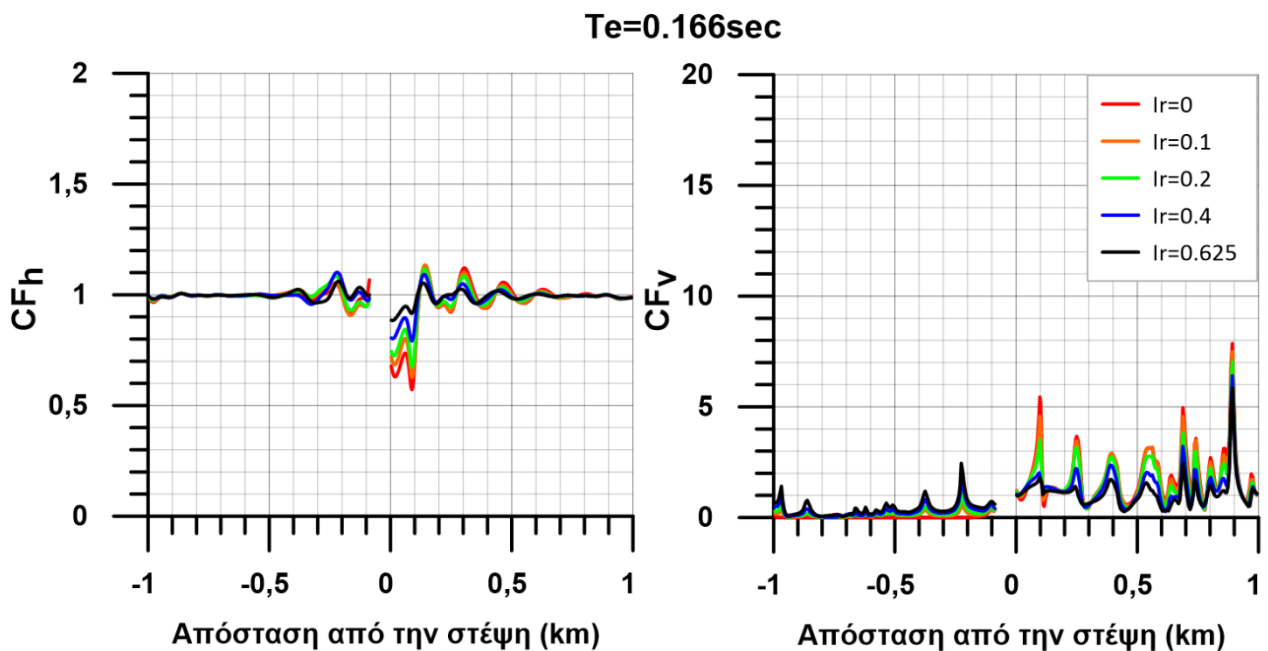
επιλεγμένες «σημαντικές» θέσεις κατά μήκος του πρανούς, ήτοι ακριβώς στη στέψη του και ακριβώς στον πόδα του.

Σημειώνεται ότι σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 4, σε αυτή την παράγραφο οι καμπύλες του δεύτερου τύπου σχήματος παρουσιάζονται συναρτήσει του λόγου της ιδιοπεριόδου ταλάντωσης της εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο προς την δεσπόμενη περίοδο της διέγερσης (T_s/T_e) και όχι του κανονικοποιημένου ύψους πρανούς (H/λ), αξιοποιώντας σχετικό συμπέρασμα του προηγούμενου κεφαλαίου. Η ιδιοπερίοδος της εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο ορίζεται ως ο λόγος του τετραπλάσιου του ύψους της στρώσης προς την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων S , ήτοι υπονοείται 1Δ σεισμική απόκριση. Όμως, καθώς η στέψη βρίσκεται κατά H ($=50\text{m}$, στις περισσότερες αναλύσεις) ψηλότερα από τον πόδα του πρανούς, προκύπτουν διαφορετικές τιμές της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου στη στέψη ($T_{s,c}$) και στον πόδα ($T_{s,t}$) του πρανούς. Αντίστοιχα, για την ίδια δεσπόμενη περίοδο T_e προκύπτουν διαφορετικές τιμές του λόγου T_s/T_e για τον πόδα ($T_{s,t}/T_e$) και τη στέψη ($T_{s,c}/T_e$) του πρανούς, οι οποίες κυμαίνονται σε διαφορετικά εύρη τιμών, και γι' αυτό χρησιμοποιείται διαφορετική κλίμακα στα αντίστοιχα σχήματα για τον πόδα και τη στέψη. Το ίδιο φυσικά συμβαίνει και μεταξύ των προσομοιωμάτων διαφορετικού βάθους υποβάθρου Z , τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές T_s .

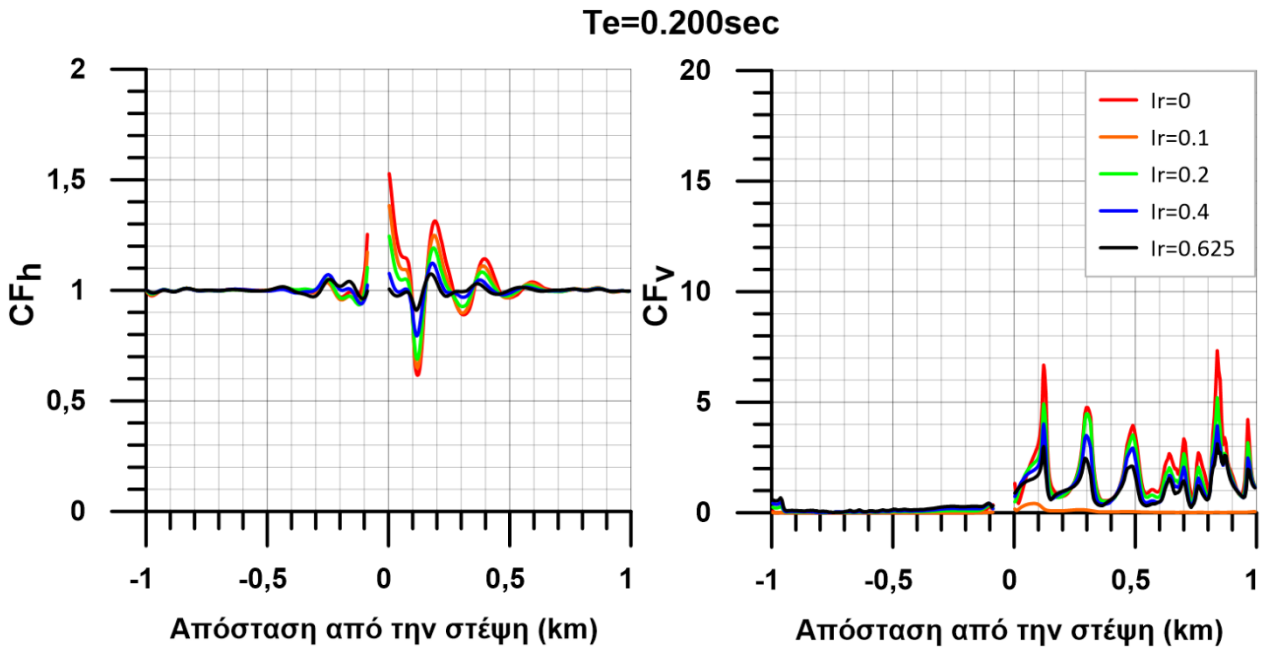
Αρχικά παρουσιάζεται ο διορθωτικός συντελεστής για το πρανές με βάθος υποβάθρου $Z = 62.5 \text{ m}$, ξεκινώντας από τον πρώτο τύπο σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 5.1 έως 5.8**) και συνεχίζοντας στον δεύτερο (επιδεινώσεις σε «σημαντικά» σημεία, **Σχήματα 5.9 και 5.10**). Τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης (**Σχήματα 5.1 έως 5.8**) διαχωρίζουν την επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες, ενώ παρουσιάζονται διαφορετικά σχήματα ανά δεσπόμενη περίοδο διέγερσης. Αντίστοιχα, στα αποτελέσματα για «σημαντικά» σημεία γίνεται και πάλι διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες (**Σχήματα 5.9 και 5.10**), ενώ τα σχήματα είναι διαφορετικά ανά σημείο ενδιαφέροντος.



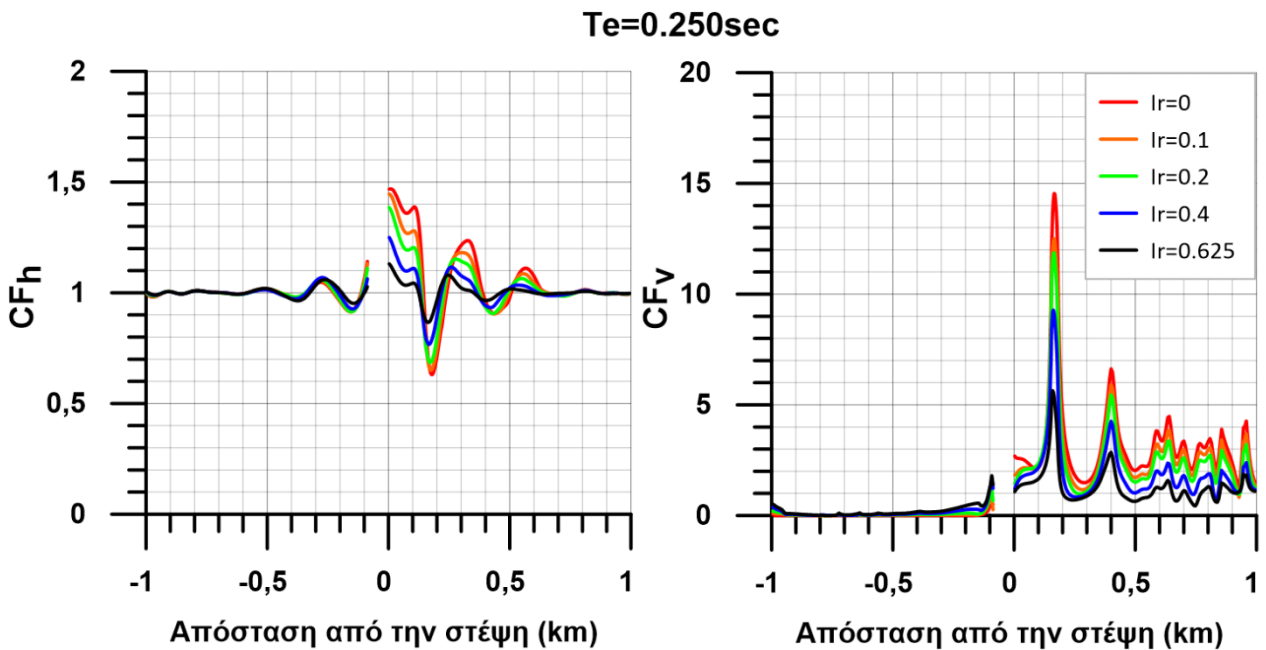
Σχήμα 5.1 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.100\text{sec}$.



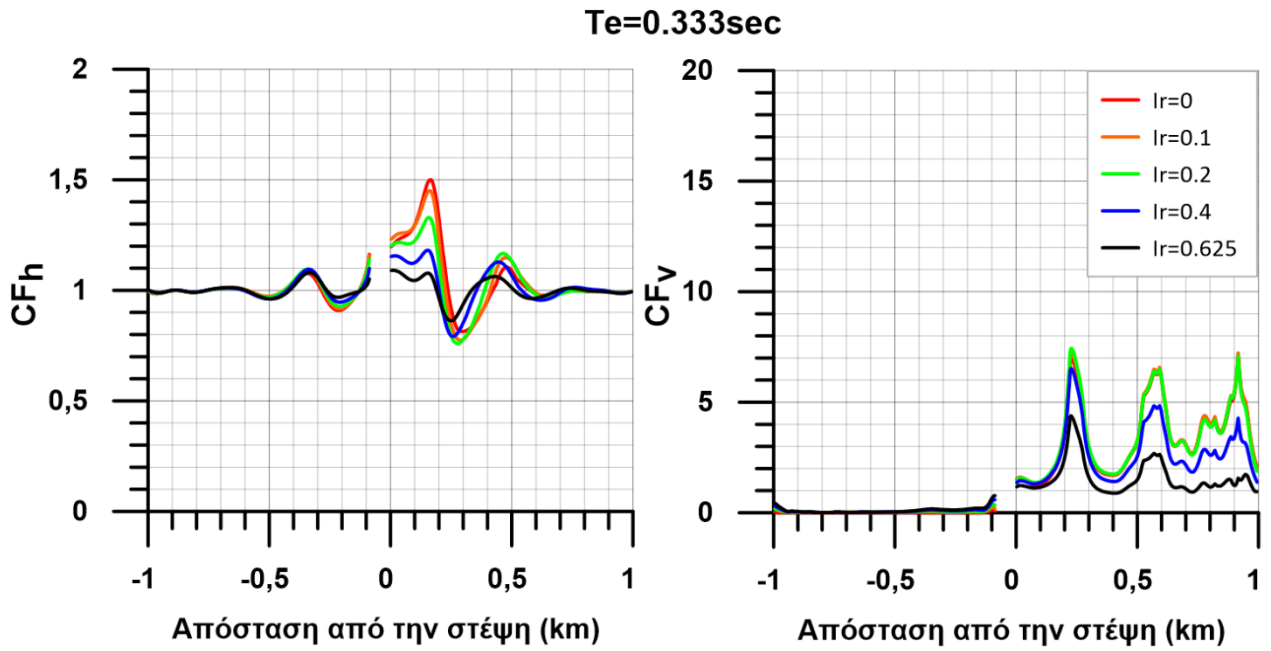
Σχήμα 5.2 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.166\text{sec}$.



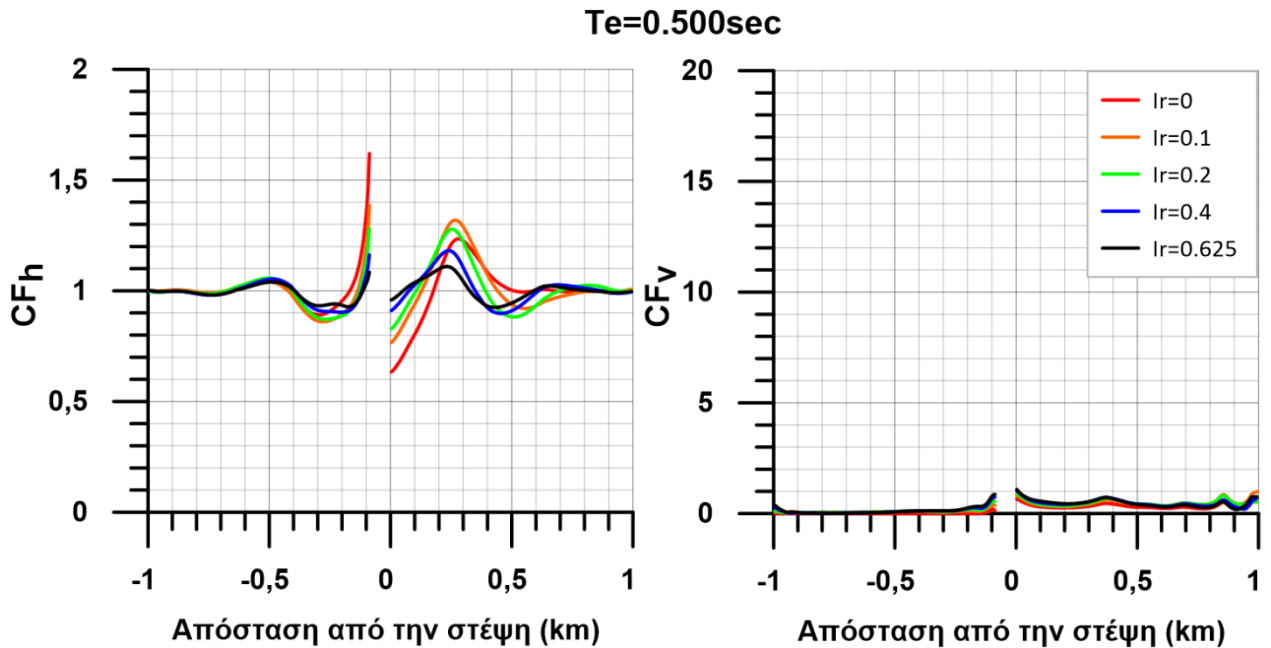
Σχήμα 5.3 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.200sec$.



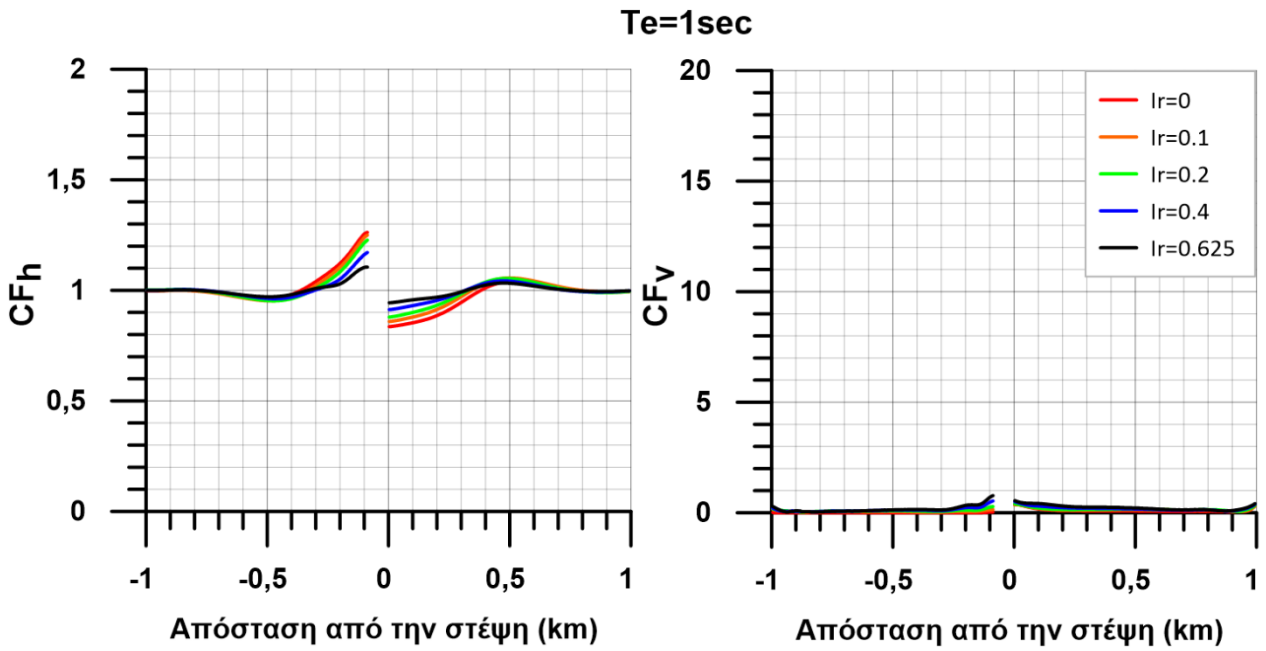
Σχήμα 5.4 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.250sec$.



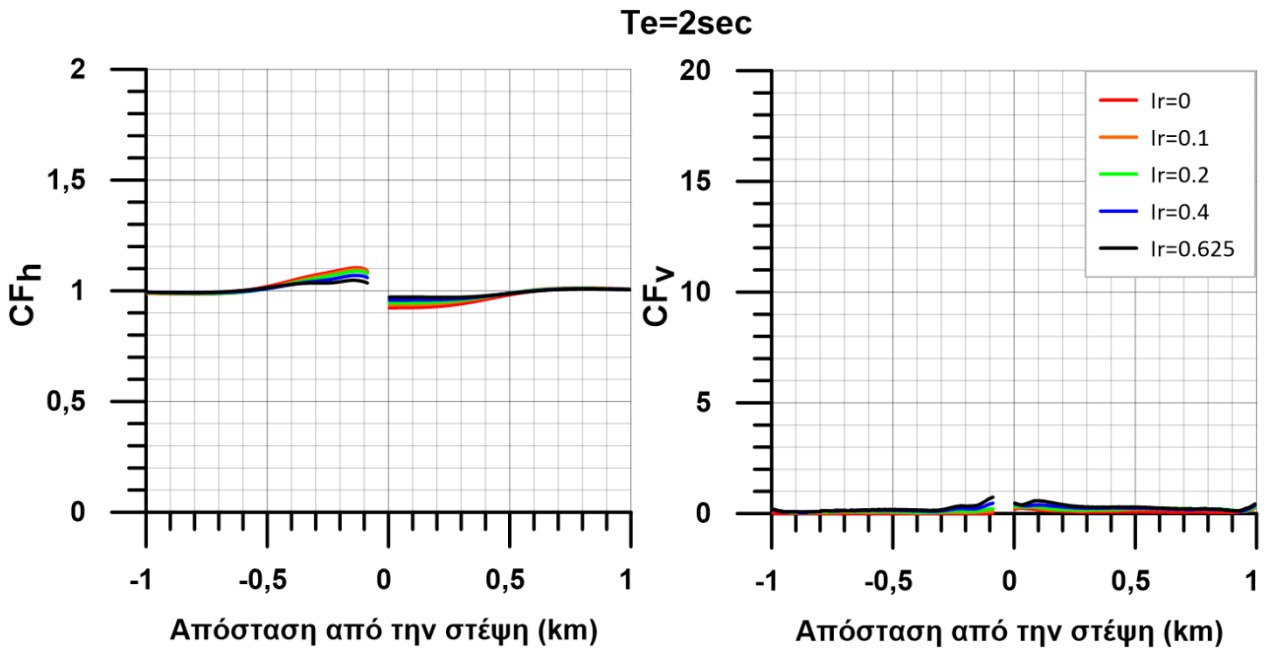
Σχήμα 5.5 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.333\text{sec}$.



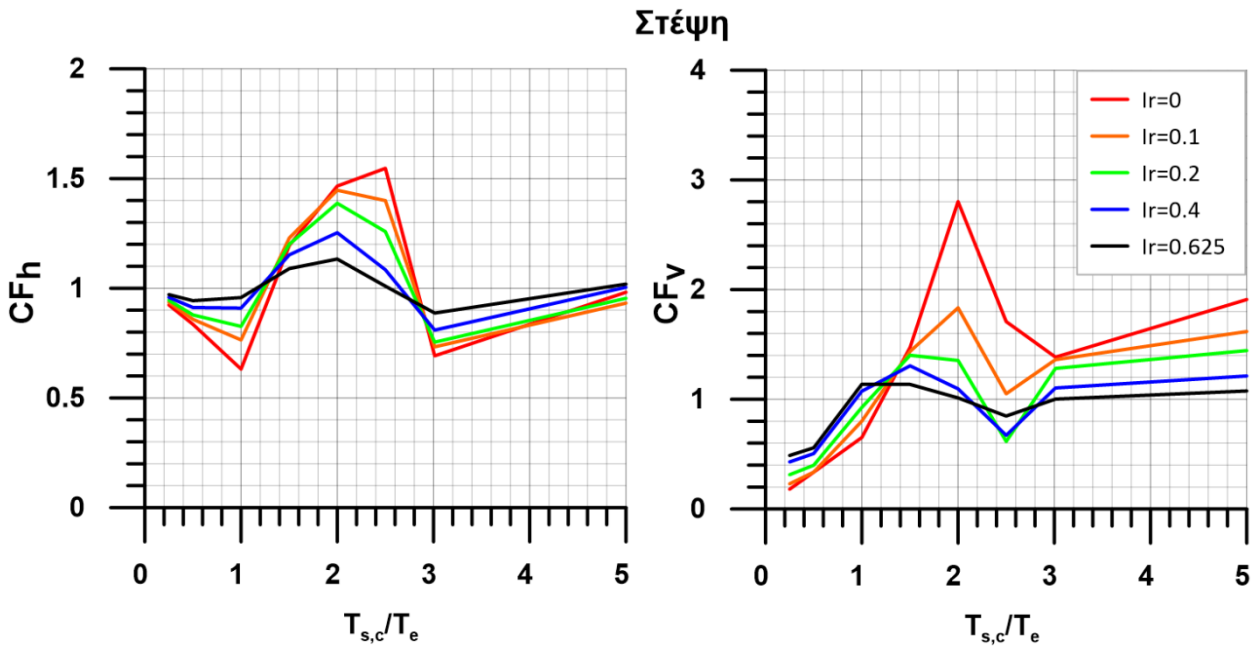
Σχήμα 5.6 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.500\text{sec}$.



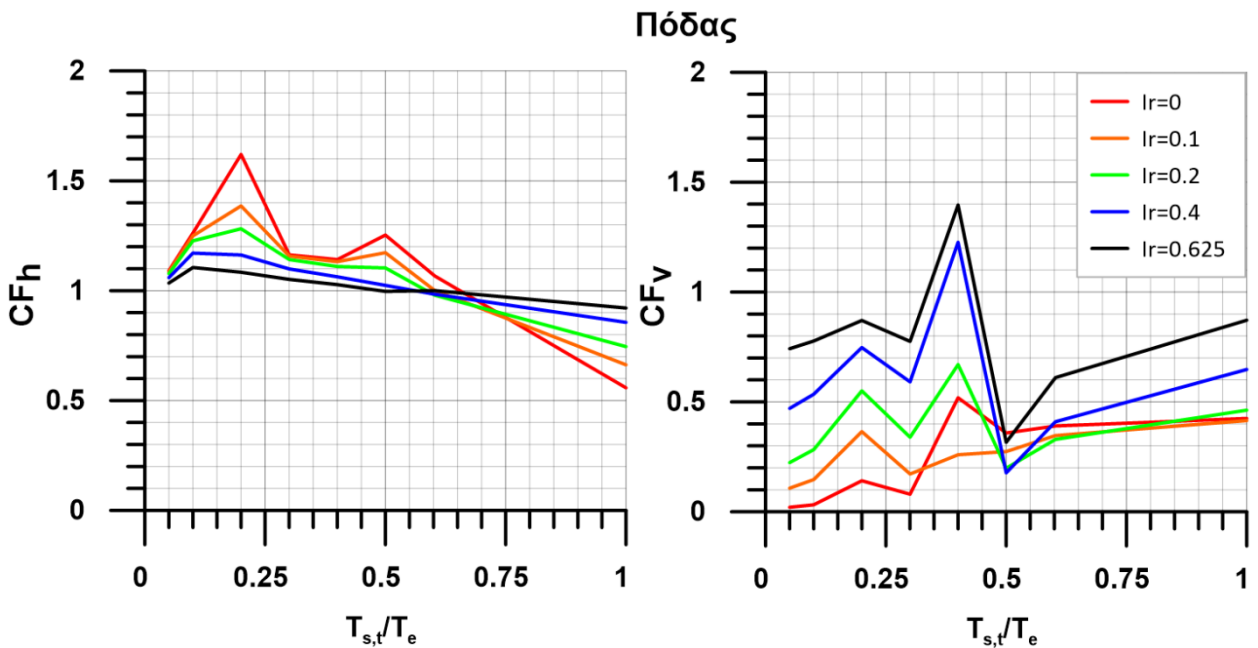
Σχήμα 5.7 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=1sec$.



Σχήμα 5.8 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=2sec$.



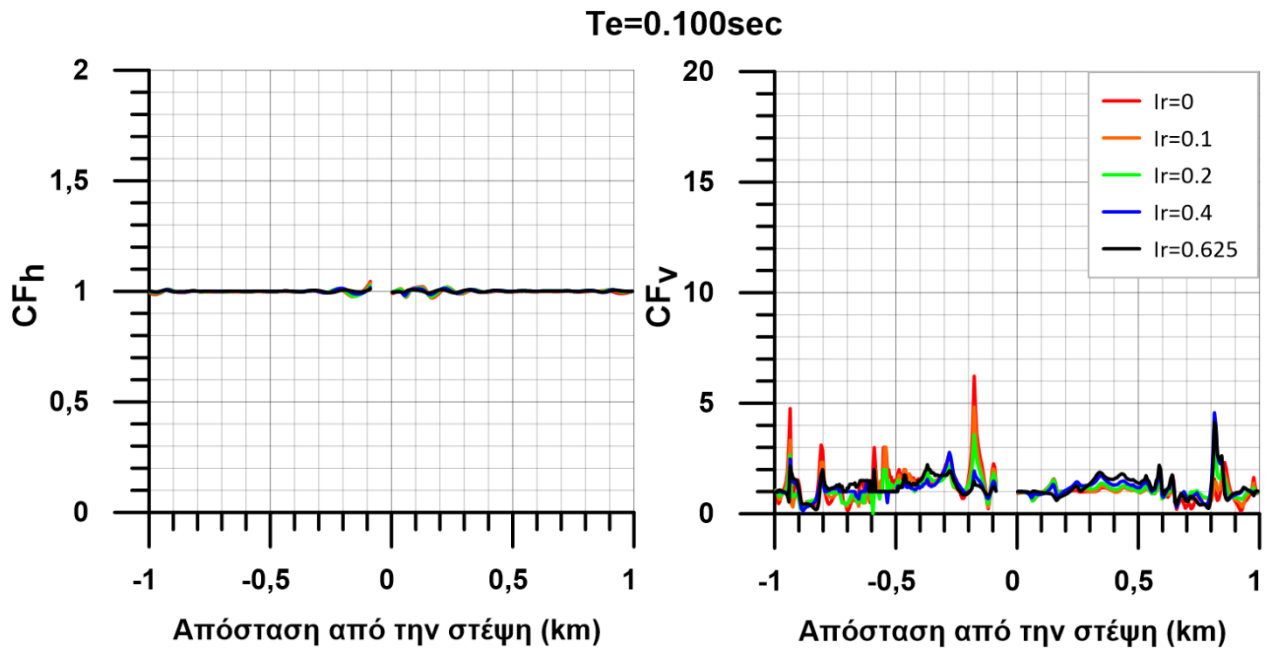
Σχήμα 5.9 Επίδραση του λόγου περιόδων $T_{s,c}/T_e$ στην οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$



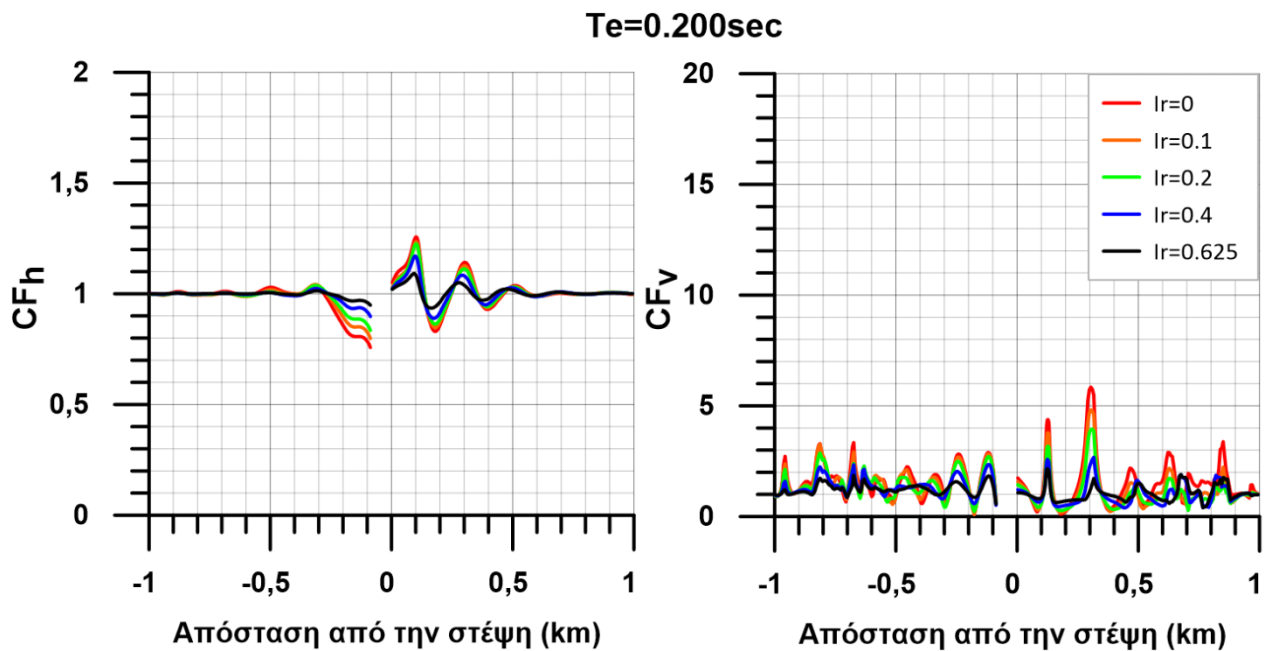
Σχήμα 5.10 Επίδραση του λόγου περιόδων $T_{s,t}/T_e$ στην οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές του διορθωτικού συντελεστή στις δύο διευθύνσεις (CF_h και CF_v) για πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=125m$ από την επιφάνεια του εδάφους πίσω από τη στέψη, ενώ το ίδιο το πρανές διατηρεί τα χαρακτηριστικά του (κλίση $i=30^\circ$, ύψος $H=50m$, $V_s=500m/s$). Η χωρική διαφοροποίηση του συντελεστή παρουσιάζεται στα **Σχήματα 5.11 έως 5.16** με τη γνωστή μορφή (επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες), ενώ τα αποτελέσματα για «σημαντικά» σημεία

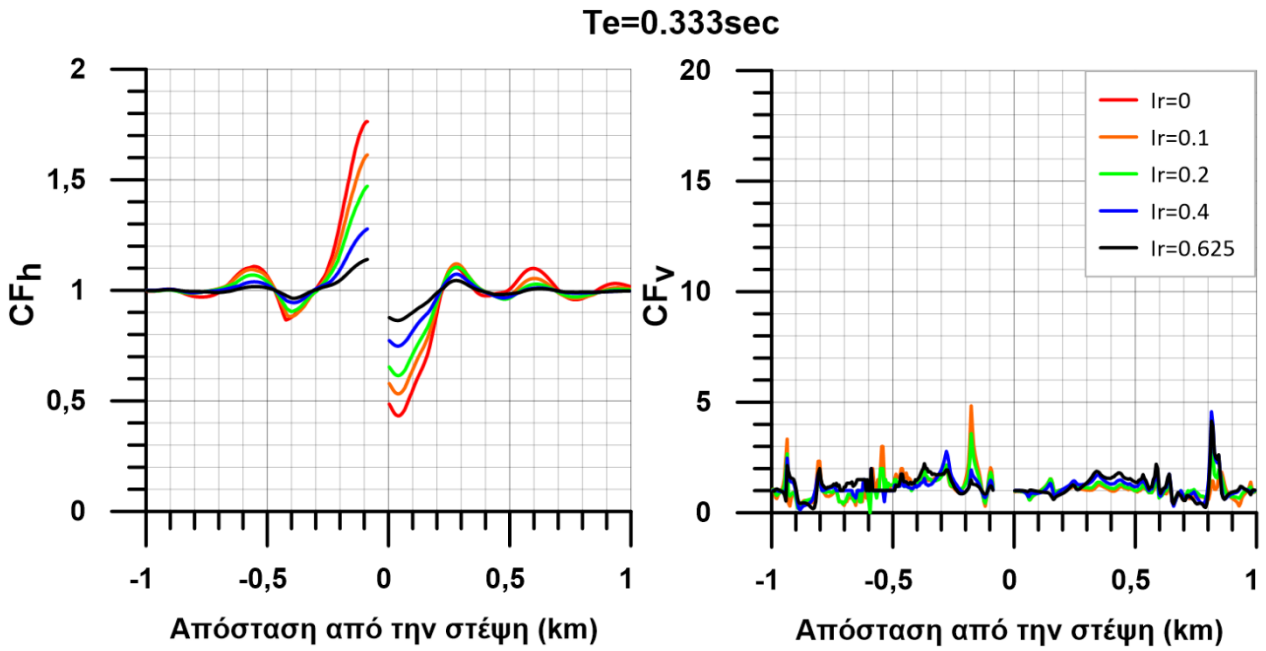
παρουσιάζονται στα **Σχήματα 5.17 και 5.18** με την ίδια μορφή (διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες).



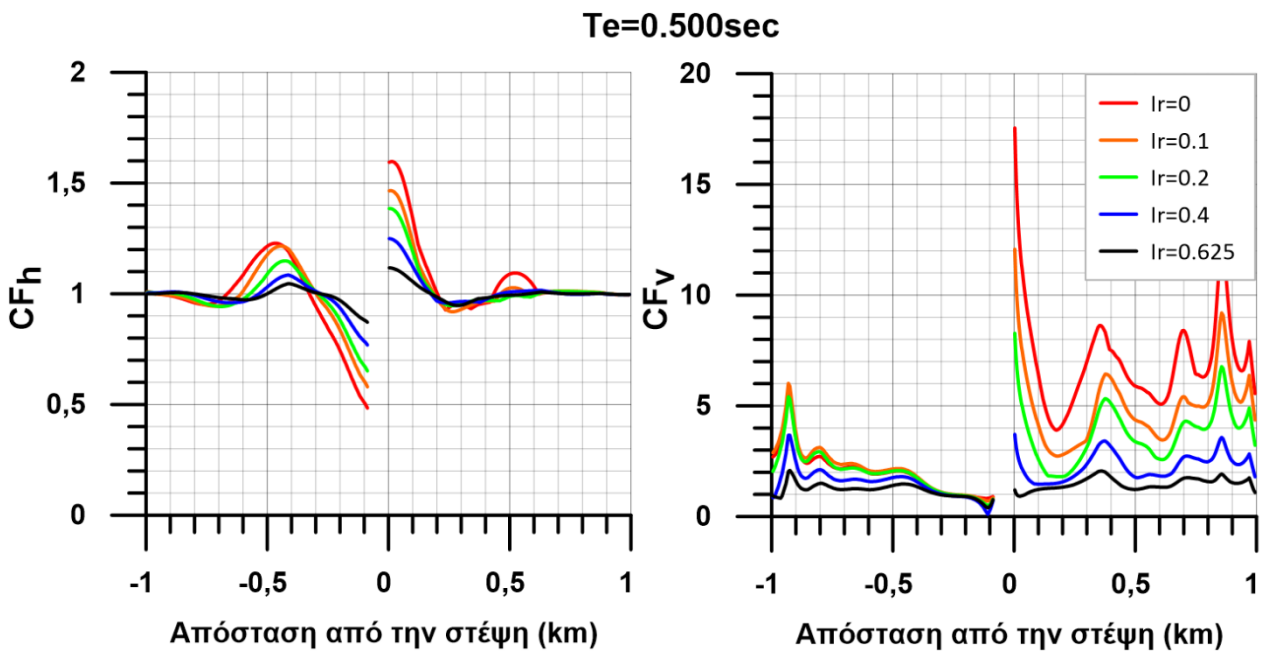
Σχήμα 5.11 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.100\text{sec}$.



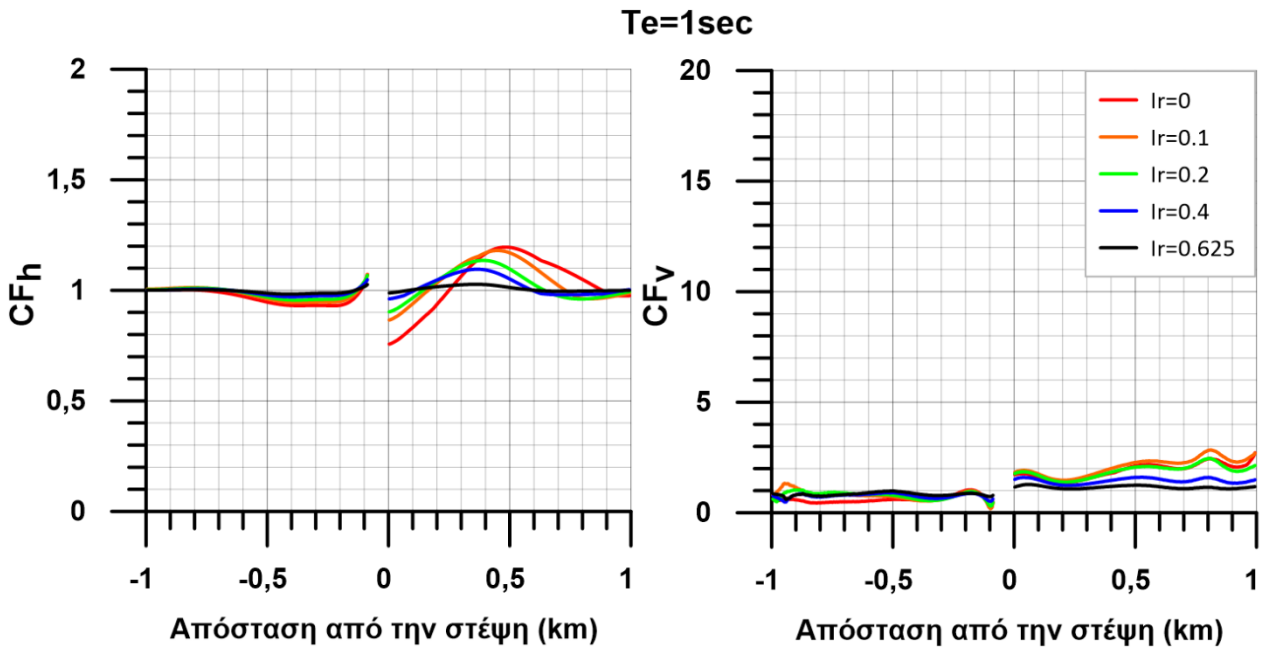
Σχήμα 5.12 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.200\text{sec}$.



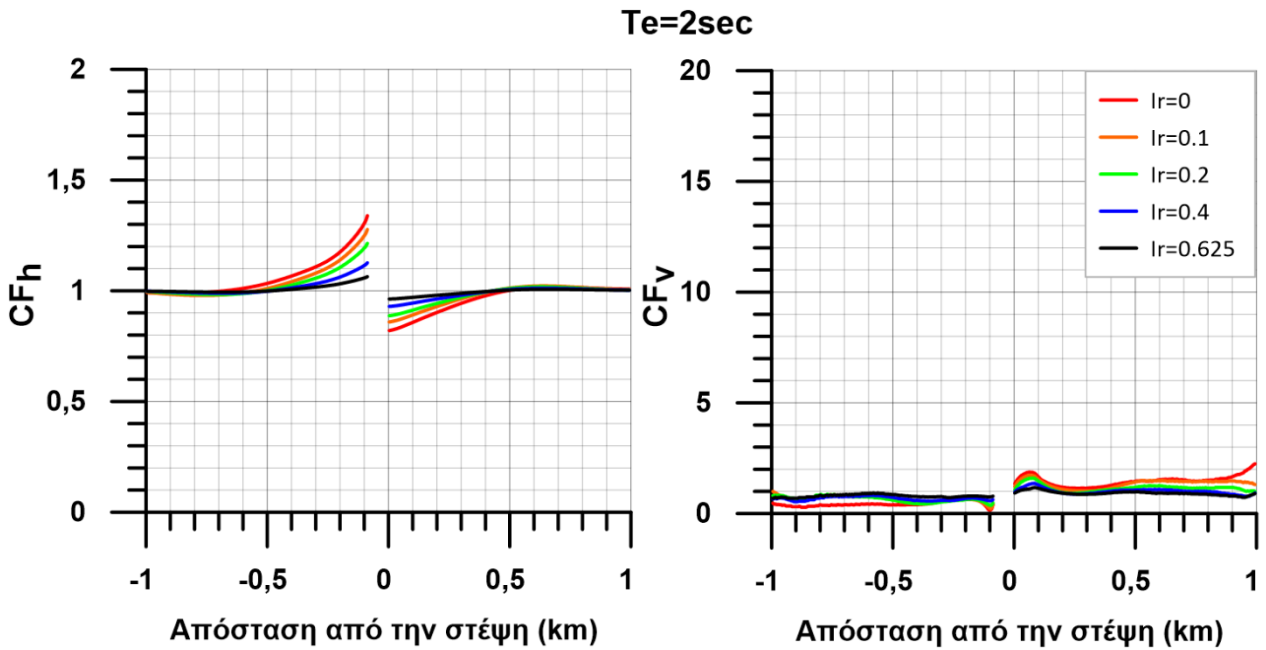
Σχήμα 5.13 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.333sec$.



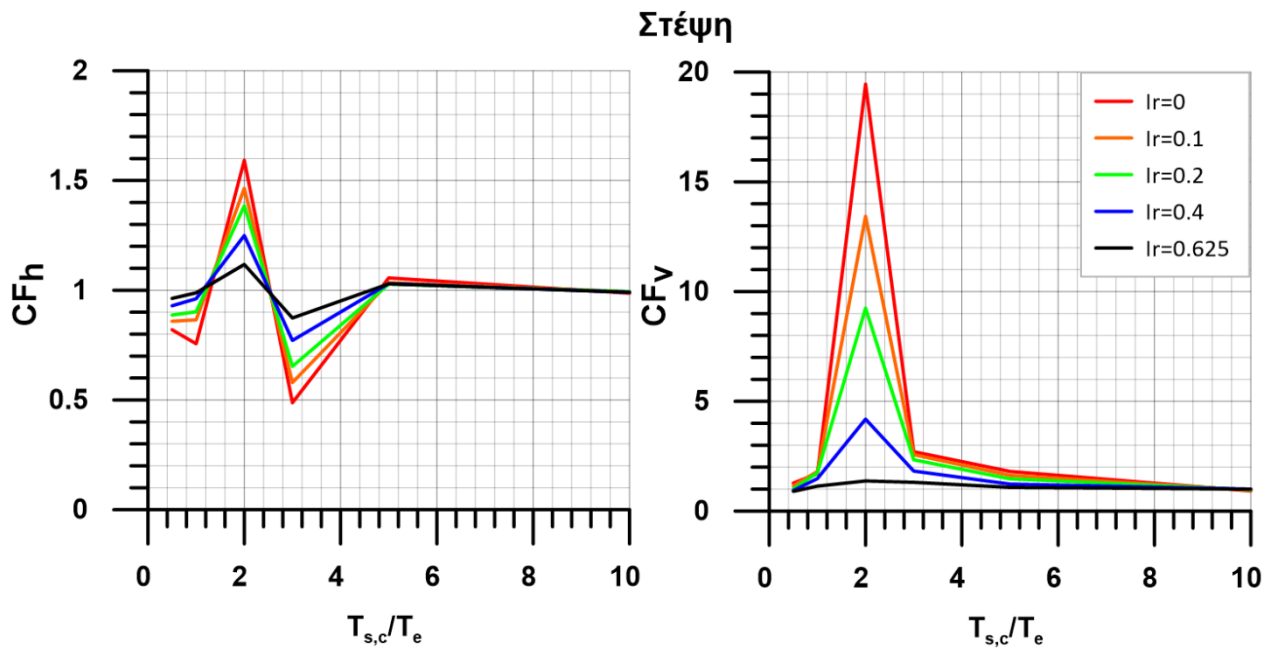
Σχήμα 5.14 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=0.500sec$.



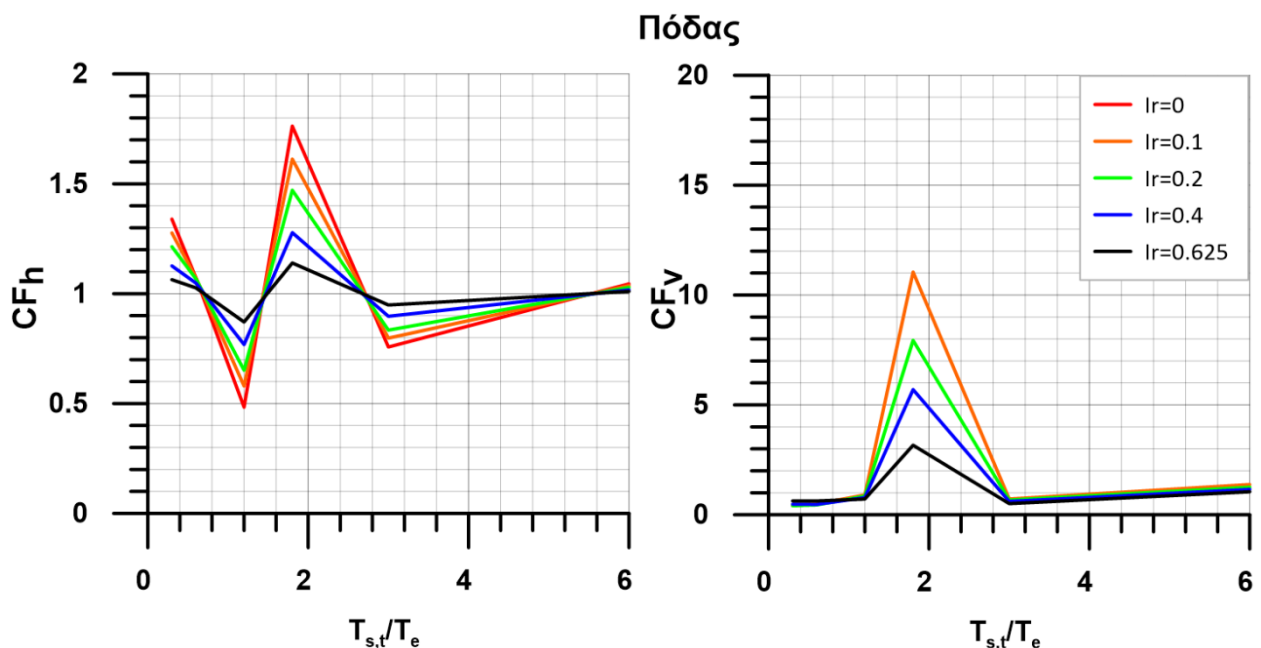
Σχήμα 5.15 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=1sec$.



Σχήμα 5.16 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας και παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης l_R , στη γειτονιά πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό αρμονική διέγερση $T_e=2sec$.



Σχήμα 5.17 Επίδραση του λόγου περιόδων T_s/T_e στην οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=125m$.



Σχήμα 5.18 Επίδραση του λόγου περιόδων T_s/T_e στην οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=125m$.

Από τα **Σχήματα 5.1 έως 5.18** προκύπτει η επίδραση των σημαντικών παραμέτρων αλλά και η χωρική διαφοροποίηση του διορθωτικού συντελεστή για την οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης με

βάση αρμονικές διεγέρσεις. Από τη μελέτη των παραπάνω σχημάτων προκύπτουν τα κάτωθι γενικά συμπεράσματα:

- Οι τιμές του CF_h έχουν πολύ μικρότερο εύρος μεταβολής (περί το 1.0) συγκριτικά με τις τιμές του CF_v που μπορούν να γίνουν πολύ μικρότερες (π.χ. 0.1) και πολύ μεγαλύτερες (π.χ. 10) από το 1.0.
- Οι τιμές των CF_h και CF_v ανά θέση εξαρτώνται, εκτός από το λόγο εμπέδησης I_R , και από το βάθος υποβάθρου Z (και μέσω αυτού της ιδιοπεριόδου T_s) και τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης T_e .

Από εκεί και πέρα, προκύπτουν ειδικά συμπεράσματα για:

α) την τιμή του CF_h στις «σημαντικές» θέσεις του πρανούς

Για τη στέψη του πρανούς προκύπτει ότι και για τις δύο τιμές βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$ και $Z=125m$, η επίδραση του λόγου εμπέδησης δείχνει να είναι συνάρτηση του λόγου περιόδων $T_{s,c}/T_e$ και δε σχετίζεται τόσο με το κανονικοποιημένο ύψος πρανούς H/λ . Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μεγιστοποίηση του συντελεστή λαμβάνοντας τιμές μεγαλύτερες της μονάδας για $T_{s,c}/T_e=2$ και ελαχιστοποίηση με τιμές μικρότερες της μονάδας για $T_{s,c}/T_e=1$ και $T_{s,c}/T_e=3$. Για τιμές του λόγου περιόδων μικρότερες του 1 και μεγαλύτερες του 3, η επίδραση του λόγου εμπέδησης δείχνει να αμβλύνεται με το διορθωτικό συντελεστή να προσεγγίζει την μονάδα. Επιβεβαιώνεται επίσης η παρατήρηση του προηγούμενου κεφαλαίου σύμφωνα με την οποία το φαινόμενο τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης είναι εντονότερο για μικρότερες τιμές του λόγου εμπέδησης.

Αντίστοιχη συμπεριφορά παρατηρείται και στον πόδα του πρανούς, όπου ο διορθωτικός συντελεστής φαίνεται να εμφανίζει τοπικά ακρότατα σε αντίστοιχες με την στέψη τιμές του λόγου περιόδων $T_{s,t}/T_e$, ενώ για τις υπόλοιπες τιμές του λόγου συγκλίνει στη μονάδα. Παρόλα αυτά προκύπτουν ορισμένες διαφορές, π.χ. για μικρές τιμές του λόγου $T_{s,t}/T_e < 0.5$ (δηλαδή για χαμηλής συχνότητας διεγέρσεις) παρατηρείται ότι ο διορθωτικός συντελεστής λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας σε αντίθεση με την αντίστοιχη περιοχή στην στέψη όπου προκύπτουν τιμές μικρότερες της μονάδας. Το ανωτέρω προκύπτει από τις αναλύσεις για $Z=125m$, καθώς όταν το Z είναι λίγο μεγαλύτερο από το H , στον πόδα η τιμή του $T_{s,t}$ είναι πολύ μικρή και τα συμπεράσματα δυσχερή (π.χ. **Σχήμα 5.10** για $Z=62.5m > H=50m$).

β) την τιμή του CF_v στις «σημαντικές» θέσεις του πρανούς

Για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα στην περιοχή της στέψης και του πόδα προέκυψαν γενικώς ιδιαίτερα υψηλές τιμές του διορθωτικού συντελεστή, γεγονός που οφείλεται στις πολύ μικρές τιμές της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας της επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για ομοιογενές πρανές ($I_R=1$). Ως γενική παρατήρηση από τα αντίστοιχα σχήματα (**Σχήματα 5.9, 5.10, 5.17, 5.18**) προκύπτει η μεγιστοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CF_v για τιμή του λόγου $T_s/T_e=2$ ή πλησίον της. Ωστόσο, πέραν αυτής της μεγιστοποίησης, δεν μπορούν να εξαχθούν περαιτέρω συμπεράσματα γενικής χρήσης για αυτό το διορθωτικό συντελεστή, και για το λόγο αυτό η επεξεργασία στην εργασία αυτή επικεντρώθηκε στην παράγραφο 5.3 στον CF_h .

γ) Χωρική διαφοροποίηση των CF_h και CF_v

Όπως προκύπτει από τα σχετικά σχήματα (**Σχήματα 5.1–5.8, 5.11–5.16**), οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες τιμές του διορθωτικού συντελεστή δεν εμφανίζονται απαραίτητα στις

«σημαντικές» θέσεις στέψης και πόδα. Παρόλα αυτά, οι θέσεις αυτές εμφανίζουν συνήθως χαρακτηριστικές τιμές του αναμενόμενου εύρους των CF_h και CF_v στην περιοχή του πρανούς και έτσι δικαιολογείται η έμφαση που δίνεται σε αυτές τις θέσεις. Επιπλέον προκύπτει ότι οι τιμές του CF_h απομειώνονται με την απόσταση από το πρανές, ενώ οι τιμές του CF_v όχι αναγκαστικά.

5.3. Ποσοτικοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CF_h

Με την εισαγωγή του διορθωτικού συντελεστή επιτυγχάνεται η απομόνωση της επίδρασης του υποβάθρου στην τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης. Είναι φανερό όμως ότι η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει και την ένταση του φαινομένου αποτελεί η ενδοσιμότητα του υποβάθρου που ποσοτικοποιείται από τον λόγο εμπέδησης I_R . Με στόχο μια ευχερή ποσοτικοποίηση της τιμής του συντελεστή CF_h εδώ υιοθετείται μια πολύ απλή σχέση ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R :

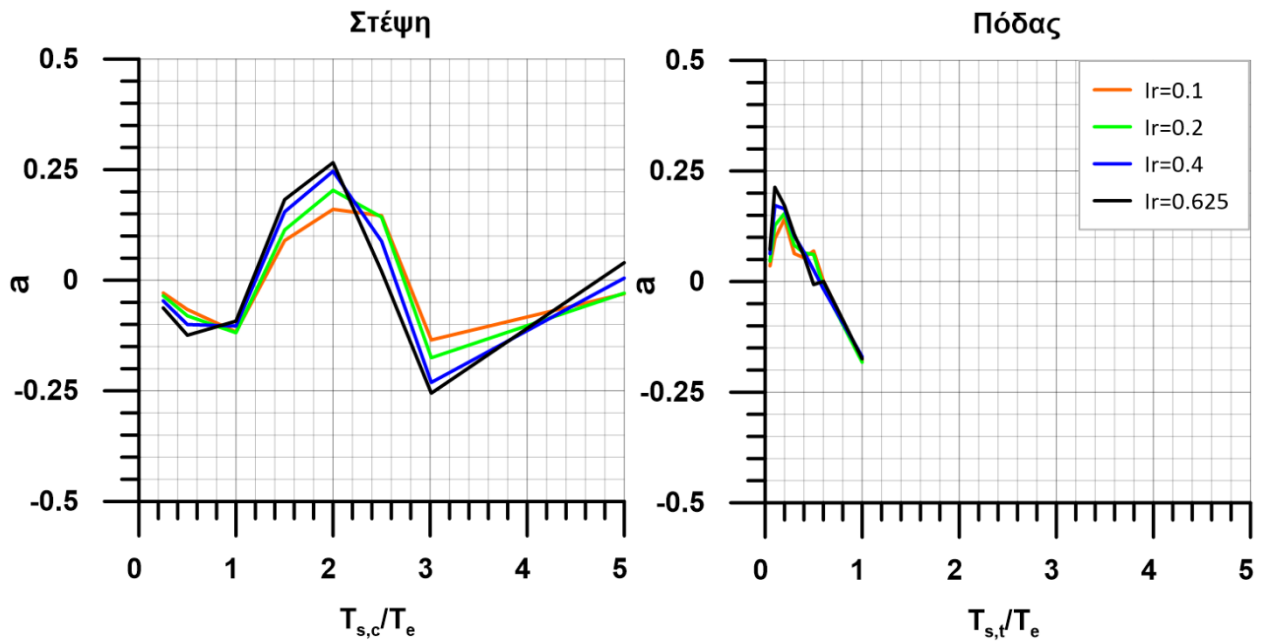
$$CF_h = I_R^{-a} \quad (5.3)$$

Όπου a είναι ένας εκθέτης που μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές, Στόχος λοιπόν είναι εδώ να ποσοτικοποιηθεί η τιμή του εκθέτη, με βάση τα αποτελέσματα για τις «σημαντικές» θέσεις της στέψης και του πόδα. Για να γίνει αυτό η σχέση (5.3) μετεγγράφεται ως:

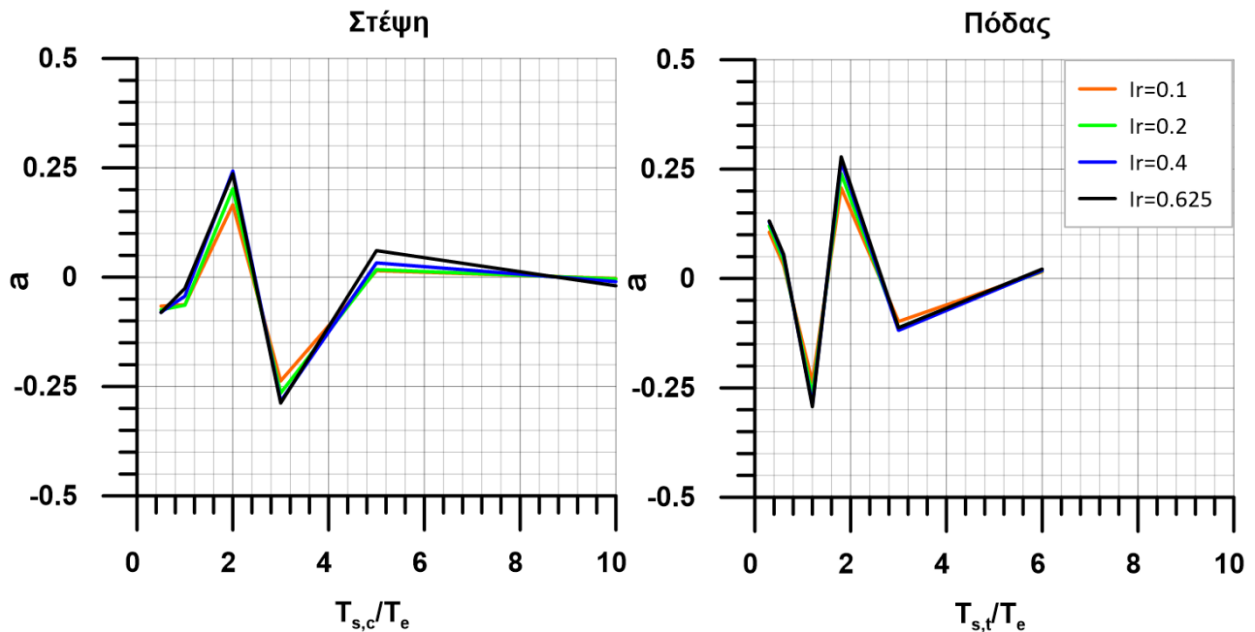
$$\alpha = - \frac{\text{Log}(CF_h)}{\text{Log}(I_R)} \quad (5.4)$$

Σύμφωνα με τη σχέση (5.4), θετικές τιμές του εκθέτη a αντιστοιχούν σε ενισχυτική επίδραση της σύζευξης μεταξύ εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης (ήτοι αύξηση της τοπογραφικής επιδείνωσης A_h), αρνητικές τιμές του εκθέτη σε απομειωτική επίδραση, ενώ για $a = 0$ προκύπτει $CF_h = 1.0$, δηλαδή η θεώρηση ομοιογενούς πρανούς. Επίσης είναι φανερό ότι με βάση την Σχέση 5.4 συντελεστής a για άκαμπτο υπόβαθρο (όπου ο συντελεστής εμπέδησης λαμβάνει μηδενική τιμή) δεν ορίζεται. Αυτό δεν θεωρείται όμως περιορισμός της παρούσας εργασίας, καθώς υπόθεση άκαμπτου βράχου είναι μια θεωρητική παραδοχή και δεν υπάρχει στη φύση.

Παρακάτω παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.19** ο συντελεστής a ως συνάρτηση του λόγου T_s/T_e , για τις θέσεις ακριβώς στον πόδα και στη στέψη του πρανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$ και αντίστοιχα στο **Σχήμα 5.20** για πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$. Ο διαχωρισμός της επίδρασης του λόγου εμπέδησης I_R πραγματοποιείται με διαφορετικού χρώματος καμπύλες.



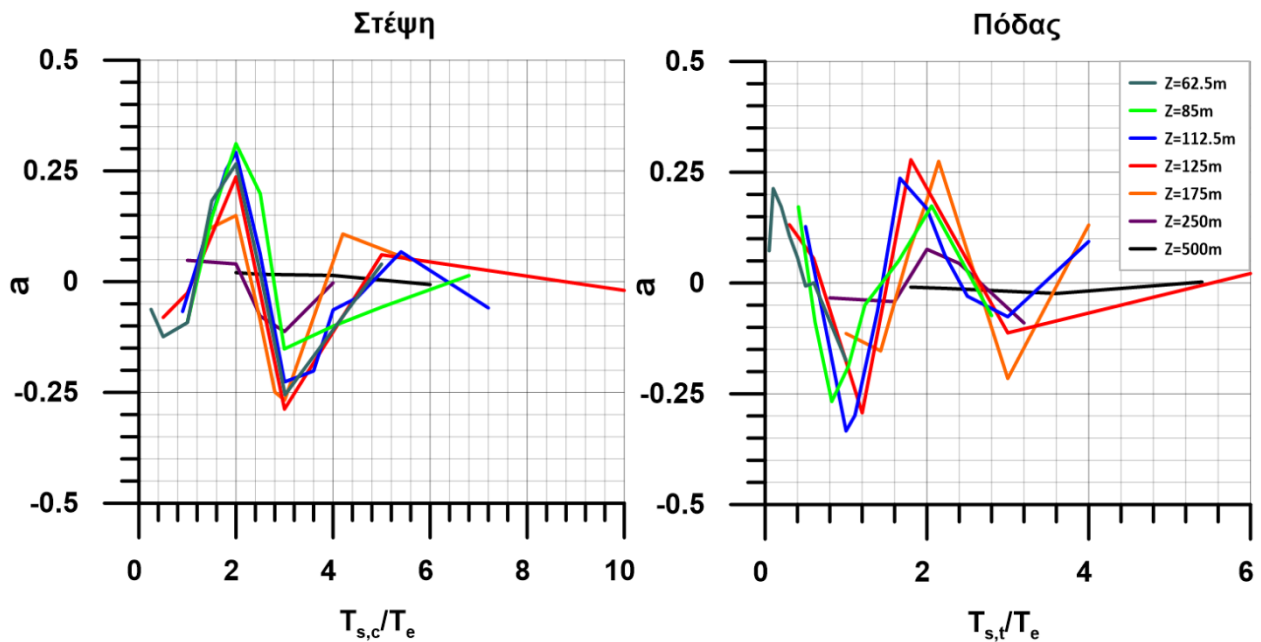
Σχήμα 5.19 Επίδραση του λόγου περιόδων T_s/T_e στον εκθέτη α που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης CF_h ως προς το λόγο εμπέδησης l_R ακριβώς στη στέψη και στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$.



Σχήμα 5.20 Επίδραση του λόγου περιόδων T_s/T_e στον εκθέτη α που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης CF_h ως προς το λόγο εμπέδησης l_R ακριβώς στη στέψη και στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=125m$.

Όπως παρατηρείται στα **Σχήματα 5.19 και 5.20** ο εκθέτης α παίρνει παρόμοιες τιμές ανά λόγο περιόδων T_s/T_e ανεξαρτήτως λόγου εμπέδησης l_R και βάθους υποβάθρου Z , και διαφοροποιείται μόνο (και όχι ιδιαίτερα σημαντικά) ανά «σημαντική» θέση. Συνεπώς μπορεί να καταρτιστεί ένα διάγραμμα «σχεδιασμού» ανά «σημαντική» θέση για την εκτίμηση του εκθέτη α , και μέσω της σχέσης 5.3, του διορθωτικού συντελεστή CF_h .

Για να καταστεί ένα τέτοιο διάγραμμα αξιόπιστο, θα πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο οι προβλέψεις του συγκλίνουν και διάφορες τιμές του βάθους υποβάθρου Z , πέραν των $Z=62.5\text{m}$ και $Z=125\text{m}$ τα αποτελέσματα των οποίων συγκλίνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν επιπλέον παραμετρικές αναλύσεις ως προς το βάθος υποβάθρου Z για σταθερή τιμή του λόγου εμπέδησης $I_R=0.625$ (ενδεικτικά). Ποιοτικά τα αποτελέσματα μοιάζουν με εκείνα του Κεφαλαίου 4 και δεν παρουσιάζονται αναλυτικά. Σημασία εδώ έχουν τα επεξεργασμένα αποτελέσματα σε όρους τιμών εκθέτη a , τα οποία παρατίθενται στο **Σχήμα 5.21** συναρτήσει του λόγου περιόδων T_s/T_e , ξεχωριστά για ακριβώς τη στέψη και τον πόδα του πρανούς, δηλαδή στη μορφή των **Σχημάτων 5.19** και **5.20**.



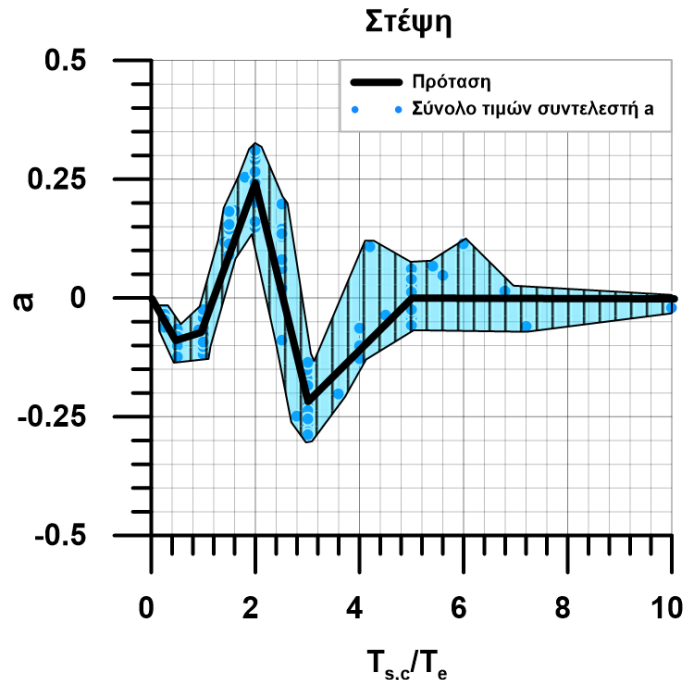
Σχήμα 5.21 Επίδραση του λόγου περιόδων T_s/T_e στον εκθέτη a που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης CF_h ως προς το βάθος υποβάθρου Z με λόγο εμπέδησης $I_R = 0.625$ ακριβώς στη στέψη και στον πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ και ύψους $H=50\text{m}$.

Από το **Σχήμα 5.21** προκύπτει ότι η απόκριση ακριβώς στη στέψη είναι αντίστοιχη με εκείνη για βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$ και $Z=125\text{m}$. Επιπλέον παρατηρείται και δεύτερο πιθανό τοπικό μέγιστο για $T_{s,c}/T_e=4$ αλλά σίγουρα μικρότερης έντασης. Ακόμη αξίζει να σημειωθεί πως αυξανόμενου του βάθους υποβάθρου Z προσεγγίζονται συνθήκες του ομοιογενούς πρανούς και φαίνεται να αμβλύνεται η ένταση του φαινομένου σύζευξης μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής ενίσχυσης με το συντελεστή a να προσεγγίζει το μηδέν, σε ποιοτική συμφωνία με τα αποτελέσματα των Tripe et al. (2013).

Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για την απόκριση ακριβώς στον πόδα, δηλαδή ότι για όλα τις τιμές Z που εξετάστηκαν η απόκριση είναι συνεπής με εκείνη για βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$ και $Z=125\text{m}$. Απλά ίσως υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά συγκριτικά με ό,τι παρατηρήθηκε ακριβώς στη στέψη.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα και παρατηρήσεις, δίνεται η δυνατότητα πρότασης μιας σχετικώς αξιόπιστης τιμής του εκθέτη a για την εκτίμηση της τιμής του διορθωτικού συντελεστή CF_h (Σχέση 5.1) ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R (Σχέση 5.3), ξεχωριστά για τα «σημαντικά» σημεία ακριβώς στη στέψη και στον πόδα του πρανούς.

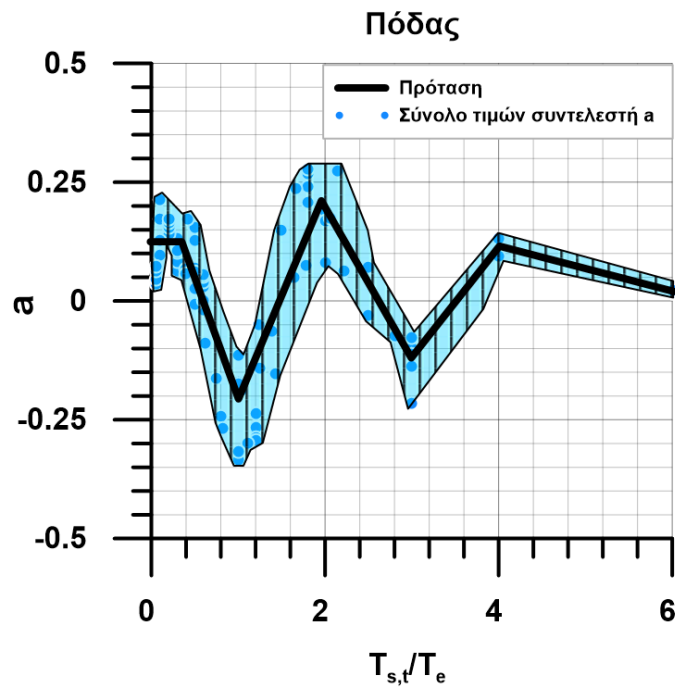
Αυτά δίνονται στα **Σχήματα 5.22 και 5.23** αντίστοιχα, ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e , με βάση όλες τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις για πρानές με $H=50\text{m}$ και κλίσης $i=30^\circ$ και διάφορα βάθη υποβάθρου $Z = 62.5$ έως 200m και λόγους εμπέδησης $I_R = 0.1$ έως 0.625 (τιμή $I_R=0$ δεν έχει φυσικό νόημα, ενώ $I_R=1$ είναι η τιμή αναφοράς του ομοιογενούς πρानούς).



Σχήμα 5.22 Διάγραμμα εκτίμησης εκθέτη a του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης CF_h ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e για το σημείο της στέψης μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ και ύψους $H=50\text{m}$ (δεδομένα για $1.25 \leq Z/H \leq 4$).

Στα Σχήματα αυτά προτείνεται επιπλέον μια μέση καμπύλη «σχεδιασμού» καθώς επίσης φαίνεται και το αναμενόμενο εύρος τιμών. Δεδομένων των παρατηρήσεων στο **Σχήμα 5.21** προκύπτει ότι αυξανόμενου του βάθους υποβάθρου Z προσεγγίζονται συνθήκες ομοιογενούς πρανούς. Συνεπώς, η μέση καμπύλη «σχεδιασμού» των **Σχημάτων 5.22 και 5.23** προτείνεται προς χρήση για ένα εύρος του λόγου Z/H από 1.25 (τιμή που αντιστοιχεί σε βάθος υποβάθρου στην στέψη λίγο μεγαλύτερο από το ύψος του πρανούς H) έως 4. Για τιμές του λόγου Z/H μεγαλύτερες από 4 και έως 10 προτείνεται η λήψη εκθέτη $a' = a/2$, ενώ για τιμές του λόγου $Z/H > 10$ μπορεί να αγνοηθεί η επίδραση του υποβάθρου και κατά συνέπεια προτείνεται να λαμβάνεται μηδενική τιμή για τον εκθέτη a (δηλαδή διορθωτικός συντελεστής $CF_h=1$).

Με βάση τις προτάσεις σχεδιασμού των **Σχημάτων 5.22 και 5.23** και όσα αναφέρονται ανωτέρω για την επίδραση του λόγου Z/H γίνεται δυνατή η εκτίμηση του εκθέτη a της σχέσης υπολογισμού (5.3) του διορθωτικού συντελεστή CF_h , που «διορθώνει» την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ακριβώς στη στέψη και τον πόδα του ομοιογενούς πρανούς, λόγω ύπαρξης υποβάθρου σε βάθος Z με λόγο εμπέδησης I_R . Υπενθυμίζεται ότι η τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ενός ομοιογενούς πρανούς μπορεί να εκτιμηθεί με βάση προτάσεις της βιβλιογραφίας (π.χ. Bouckovalas & Papadimitriou 2005, 2006).



Σχήμα 5.23 Διάγραμμα εκτίμησης εκθέτη α του διορθωτικού συντελεστή τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης CF_h ως συνάρτηση του λόγου περιόδων $T_{s,t}/T_e$ για το σημείο του πόδα μονοκλινούς πρανούς κλίσης $i=30^\circ$ και ύψους $H=50m$ (δεδομένα για $1.25 \leq Z/H \leq 4$)

5.4. Διερεύνηση αξιοπιστίας διορθωτικού συντελεστή CF_h

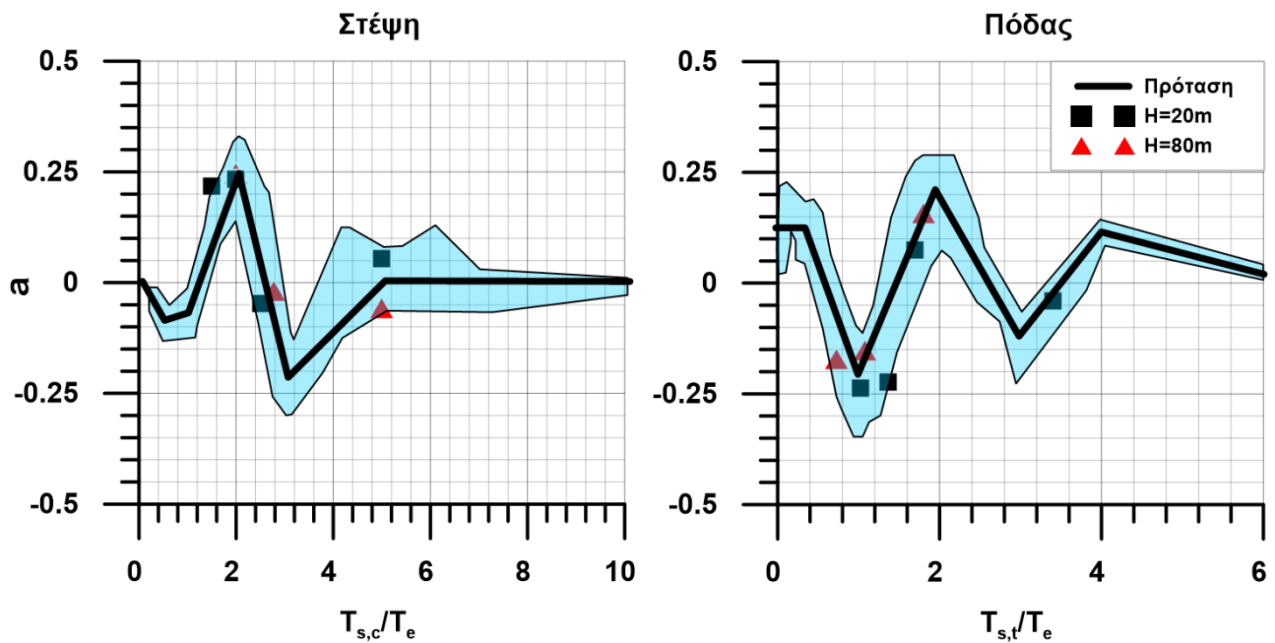
Η παραπάνω επεξεργασία και πρόταση εκτίμησης του διορθωτικού συντελεστή CF_h ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R μέσω του εκθέτη α βασίστηκε αποκλειστικά σε αποτελέσματα αναλύσεων για μονοκλινές πρανές ύψους $H=50m$, ταχύτητας $V_s=500m/s$ και κλίσης $i=30^\circ$. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα ενδεικτικών επιπλέον αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν μεταβάλλοντας τις τιμές αναφοράς των ανωτέρω βασικών παραμέτρων του πρανούς με σκοπό την διερεύνηση της αξιοπιστίας της πρότασης για τιμές ύψους και κλίσης που ξεφεύγουν των ανωτέρω τιμών αναφοράς.

Επίδραση ύψους H του πρανούς:

Για τον έλεγχο της επίδρασης του ύψους H πραγματοποιήθηκαν επιπλέον αναλύσεις για ανομοιογενή πρανή με διαφορετικά ύψη και λοιπά χαρακτηριστικά που φαίνονται στον **Πίνακα 5.1**. Αφορούν αναλύσεις για διάφορες τιμές του λόγου περιόδων T_s/T_e , αλλά για σταθερό λόγο εμπέδησης $I_R=0.625$. Τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά εδώ, αλλά μόνο σε όρους τιμών του εκθέτη α του συντελεστή CF_h στο **Σχήμα 5.24**.

| Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών | | | | |
|------------------------------------|------|------|-------------|------------------|
| | H(m) | Z(m) | V_s (m/s) | i ($^\circ$) |
| 1 | 20 | 62.5 | 500 | 30 |
| 2 | 80 | 125 | 500 | 30 |

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών μικρότερου και μεγαλύτερου ύψους που διερευνήθηκαν για την εκτίμηση αξιοπιστίας της πρότασης εκτίμησης του εκθέτη α για τον υπολογισμό του διορθωτικού συντελεστή CF_h



Σχήμα 5.24 Τιμές εκθέτη α συντελεστή CF_h ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e στη στέψη και στον πόδα για περιπτώσεις πρανών υψηλότερου και χαμηλότερου ύψους σε σύγκριση με πρόταση εκτίμησης αυτού με βάση αναλύσεις για πρανές με $H=50m$.

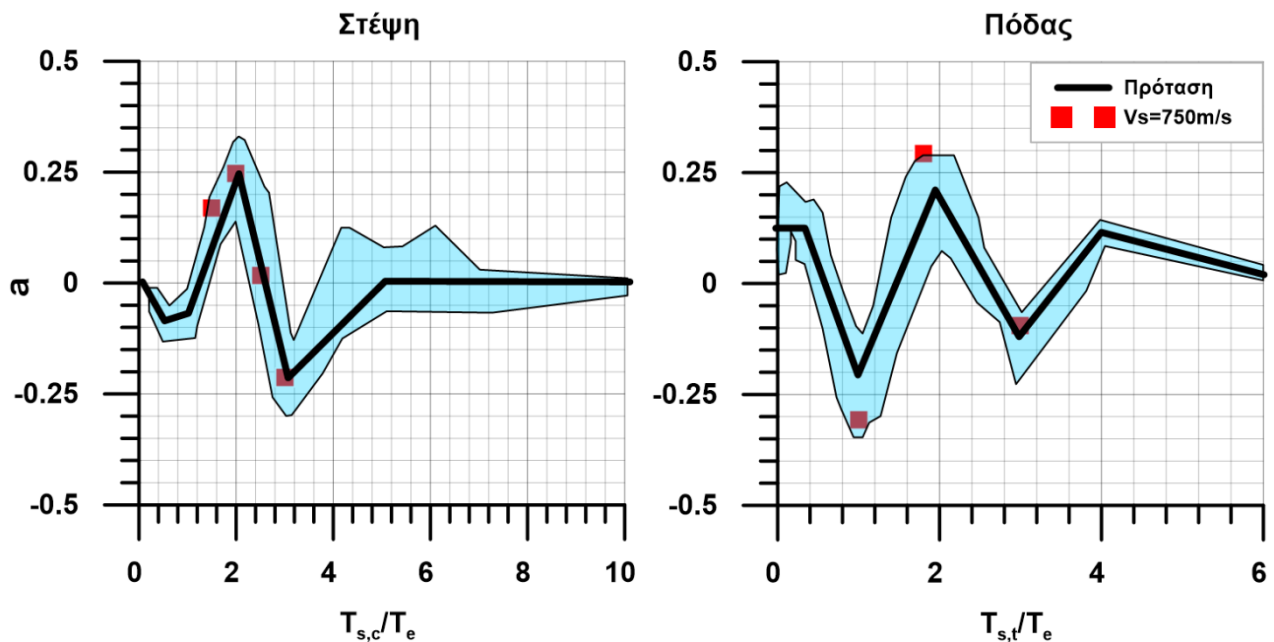
Με βάση το **Σχήμα 5.24** προκύπτει ότι για τις διαφορετικές τιμές του ύψους πρανού H οι τιμές του εκθέτη α βρίσκονται πολύ κοντά στην πρόταση, και σε κάθε περίπτωση εντός του προβλεπόμενου εύρους τιμών ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e . Συνεπώς, η πρόταση κρίνεται αξιόπιστη για όλες τις πιθανές τιμές του ύψους πρανού H που αναμένονται στην πράξη. Επιπλέον, επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα κατά το οποίο το φαινόμενο της σύζευξης τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης είναι ανεξάρτητο του ύψους πρανού H , και κατ' επέκταση του λόγου H/λ .

Επίδραση ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s :

Για τον έλεγχο της επίδρασης της ταχύτητας διάδοσης V_s των διατμητικών κυμάτων S του εδάφους πραγματοποιήθηκαν επιπλέον αναλύσεις για ανομοιογενή πρανή με μεγαλύτερη τιμή $V_s = 750 \text{ m/s}$ ($\gg 500 \text{ m/s}$) και λοιπά χαρακτηριστικά που δίνονται στον **Πίνακα 5.2**. Αφορούν αναλύσεις για διάφορες τιμές του λόγου περιόδων T_s/T_e , αλλά για σταθερό λόγο εμπέδησης $I_R=0.625$. Επισημαίνεται ότι τιμές $V_s \ll 500 \text{ m/s}$ αντιστοιχούν σε πρανή με έδαφος χαμηλής αντοχής που πιθανότατα θα είχε προβλήματα στατικής ευστάθειας και αναλύσεις σεισμικής απόκρισης δεν έχουν πρακτικό νόημα. Τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά εδώ, αλλά μόνο σε όρους τιμών του εκθέτη α του συντελεστή CF_h στο **Σχήμα 5.25**.

| Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών | | | | |
|------------------------------------|-------------|------|------|---------|
| | V_s (m/s) | Z(m) | H(m) | i (°) |
| Στέψη | 750 | 62.5 | 50 | 30 |
| Πόδας | 750 | 125 | 50 | 30 |

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών μεγαλύτερης ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s που διερευνήθηκαν για την εκτίμηση αξιοπιστίας της πρότασης εκτίμησης του εκθέτη α για τον υπολογισμό του διορθωτικού συντελεστή CF_h



Σχήμα 5.25 Τιμές εκθέτη α συντελεστή CF_h ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e στη στέψη και στον πόδα για περιπτώσεις πρανών υψηλότερης ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s σε σύγκριση με πρόταση εκτίμησης αυτού με βάση αναλύσεις για πρανές με $V_s=500$ m/s.

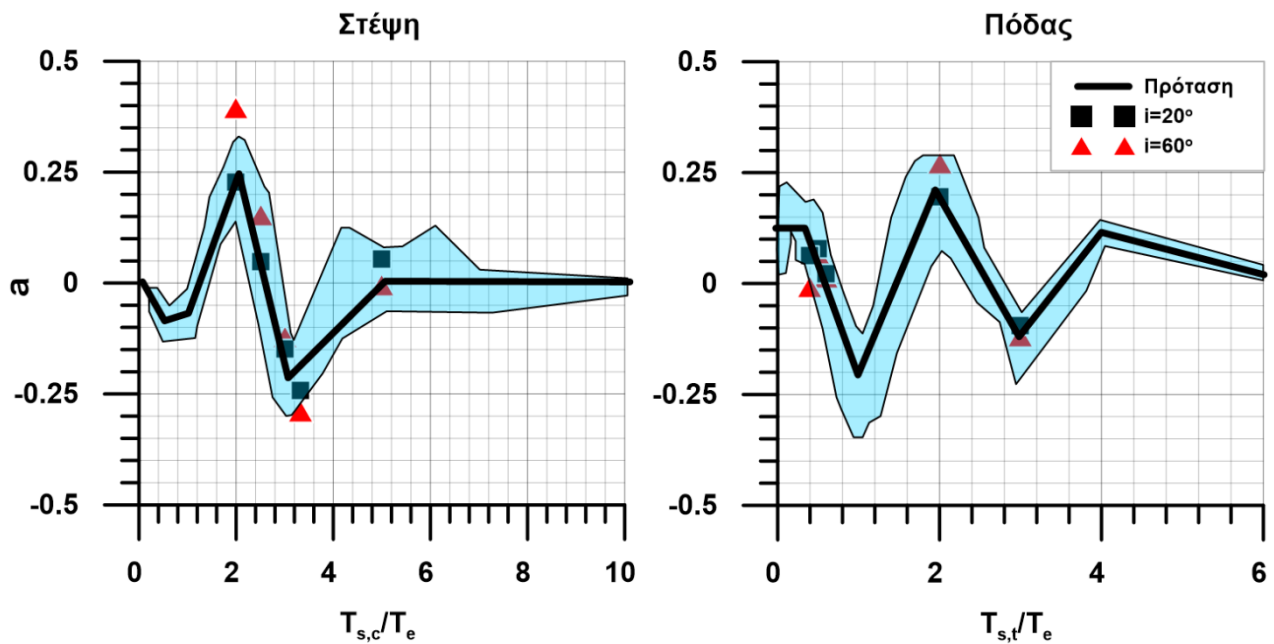
Βάσει του **Σχήματος 5.25** προκύπτουν και πάλι τιμές του εκθέτη α πολύ κοντά στην πρόταση, και σε όλες τις περιπτώσεις (πλην μίας) εντός του προβλεπόμενου εύρους τιμών. Συνεπώς, η πρόταση κρίνεται, εν γένει, αξιόπιστη για όλες τις πιθανές τιμές της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων V_s που αναμένονται για πρανή χωρίς θέματα στατικής ευστάθειας. Επιπλέον, επιβεβαιώνεται και πάλι εμμέσως το συμπέρασμα κατά το οποίο η σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης είναι ανεξάρτητη του λόγου H/λ , όπου η V_s υπεισέρχεται στην εκτίμηση του δεσπόζοντος μήκους κύματος λ .

Επίδραση κλίσης πρανούς i :

Για τον έλεγχο της επίδρασης της κλίση πρανούς i πραγματοποιήθηκαν επιπλέον αναλύσεις για ανομοιογενή πρανή με διαφορετικές κλίσεις και λοιπά χαρακτηριστικά που φαίνονται στον **Πίνακα 5.3**. Αφορούν αναλύσεις για διάφορες τιμές του λόγου περιόδων T_s/T_e , αλλά για σταθερό λόγο εμπέδησης $I_R=0.625$. Τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά εδώ, αλλά μόνο σε όρους τιμών του εκθέτη α του συντελεστή CF_h στο **Σχήμα 5.26**.

| Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών | | | | |
|------------------------------------|-------------|------|------|---------------|
| | V_s (m/s) | Z(m) | H(m) | $i(^{\circ})$ |
| 1 | 500 | 62.5 | 50 | 20 |
| 2 | 500 | 125 | 50 | 20 |
| 3 | 500 | 62.5 | 50 | 60 |
| 4 | 500 | 125 | 50 | 60 |

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά ανομοιογενών πρανών μικρότερης και μεγαλύτερης κλίσης i που διερευνήθηκαν για την εκτίμηση αξιοπιστίας της πρότασης εκτίμησης του εκθέτη a για τον υπολογισμό του διορθωτικού συντελεστή CF_h



Σχήμα 5.26 Τιμές εκθέτη a συντελεστή CF_h ως συνάρτηση του λόγου περιόδων T_s/T_e στη στέψη και στον πόδα για περιπτώσεις πρανών υψηλότερης και χαμηλότερης κλίσης σε σύγκριση με πρόταση εκτίμησης αυτού με βάση αναλύσεις για πρανές με κλίση $i=30^{\circ}$.

Από το **Σχήμα 5.26** προκύπτουν τιμές του εκθέτη a πολύ κοντά στην πρόταση, και σε όλες τις περιπτώσεις (πλην μίας) εντός του προβλεπόμενου εύρους τιμών. Η εξαίρεση σχετίζεται με πολύ υψηλή κλίση $i=60^{\circ}$ που συναντάται σπάνια στη φύση, και συνεπώς η σχετικώς μη-ορθή εκτίμηση δεν είναι πρακτικώς σημαντική. Συνολικά, και πάλι, η πρόταση κρίνεται αξιόπιστη ανεξαρτήτως κλίσης i . Συνεπώς, η σύζευξη τοπογραφικής και εδαφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη και της κλίσης i του πρανούς, δηλαδή της δεύτερης σημαντικής παραμέτρου που καθορίζει την τοπογραφική επιδείνωση πρανών (πέραν του κανονικοποιημένου ύψους H/λ).

5.5. Χωρική διαφοροποίηση τοπογραφικής επιδείνωσης ανομοιογενών πρανών

Η παραπάνω επεξεργασία και ποσοτικοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CF_h στόχευσε στις «σημαντικές θέσεις», ήτοι ακριβώς στον πόδα και ακριβώς στη στέψη του πρανούς. Ωστόσο όπως προκύπτει από τα **Σχήματα 5.1 έως 5.8 και 5.11 έως 5.16** ο CF_h εμφανίζει έντονη χωρική διαφοροποίηση εκατέρωθεν των «σημαντικών» θέσεων, δηλαδή πίσω από την στέψη και μπροστά από τον πόδα του πρανούς. Έτσι με σκοπό την

εκτίμηση της συζευγμένης επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης κατά μήκος ανομοιογενών πρανών, προτείνεται η χρήση των τιμών του διορθωτικού συντελεστή CF_h σε συνδυασμό με την πρόταση «περιβάλλουσας» της χωρικής διαφοροποίησης της τοπογραφικής επιδείνωσης ομοιογενών πρανών των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006).

Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 4 προκύπτει ότι η χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης για ανομοιογενές πρανές είναι ποιοτικά αντίστοιχης μορφής, αλλά διαφορετικού εύρους από την αντίστοιχη επιδείνωση του ομοιογενούς πρανού. Αξιοποιώντας τις τιμές του CF_h για τη στέψη και τον πόδα, προτείνεται η εκτίμηση μιας νέας τιμής $A_{h,max}'$ που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης πίσω από τη στέψη ως συνάρτηση της $A_{h,max}$ των Bouckovalas & Papadimitriou (2005):

$$A_{h,max}' = \begin{cases} A_{h,max} & a \leq 0 \\ CF_h A_{h,max} & a > 0 \end{cases} \quad (5.6)$$

Με βάση τη σχέση 5.6 προτείνεται η επαύξηση της τιμής της $A_{h,max}$ του ομοιογενούς πρανού μόνο όταν για τη στέψη ο εκθέτης $a > 0$ (**Σχήμα 5.22**), δηλαδή μόνο όταν $CF_h > 1$, και να αγνοείται συντηρητικά η απομείωση αυτής στις περιπτώσεις όπου $a \leq 0$.

Για την περιοχή μπροστά από τον πόδα του πρανού, στην περίπτωση του ομοιογενούς πρανού αναμένεται συνήθως απομείωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης και ως εκ τούτου οι Bouckovalas & Papadimitriou (2006) προτείνουν συντηρητικά μέγιστη οριζόντια επιδείνωση κατά μήκος της επιφάνειας μεταξύ 1.0 και 1.1 (απλουστευτικά 1.1 ακριβώς στον πόδα, και μικραίνει γρήγορα με την απόσταση χωρίς να γίνει μικρότερη από 1.0). Με βάση το Κεφάλαιο 4 παρατηρούνται περιπτώσεις όπου υπάρχει ενίσχυση της μέγιστης επιτάχυνσης για $I_R < 1$, και θα ήταν χρήσιμο να λαμβάνεται αυτή υπόψη στο σχεδιασμό. Έτσι, ορίζουμε ένα $A_{h,toe}$ σαν την τιμή της «περιβάλλουσας» ακριβώς στον πόδα, σύμφωνα με:

$$A_{h,toe} = \begin{cases} 1.0 \text{ έως } 1.1 & a \leq 0 \\ A_{h,max}' & a > 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

Η σχέση 5.7 υπονοεί απόκριση ομοιογενούς πρανού αν για τον πόδα ο εκθέτης $a \leq 0$ (**Σχήμα 5.23**), ενώ αν η προβλέπεται ενίσχυση ($a > 0$), τότε να λαμβάνεται ως τιμή στον πόδα εκείνη που έχει εκτιμηθεί και για τη στέψη από τη Σχέση (5.6). Στην περίπτωση αυτή, η «περιβάλλουσα» σχεδιασμού $A_{h,d}$ αποκτά τιμή ίση με $A_{h,max}'$ σε όλο το εύρος από τον πόδα μέχρι και απόσταση $0.2D_h$ πίσω από τη στέψη. Συνεπώς ορίζονται 2 περιπτώσεις «περιβάλλουσας» σχεδιασμού $A_{h,d}$, ανάλογα με την τιμή του $A_{h,toe}$, ή πιο επακριβώς με βάση την τιμή του εκθέτη a για τον πόδα (**Σχήμα 5.23**). Συγκεκριμένα:

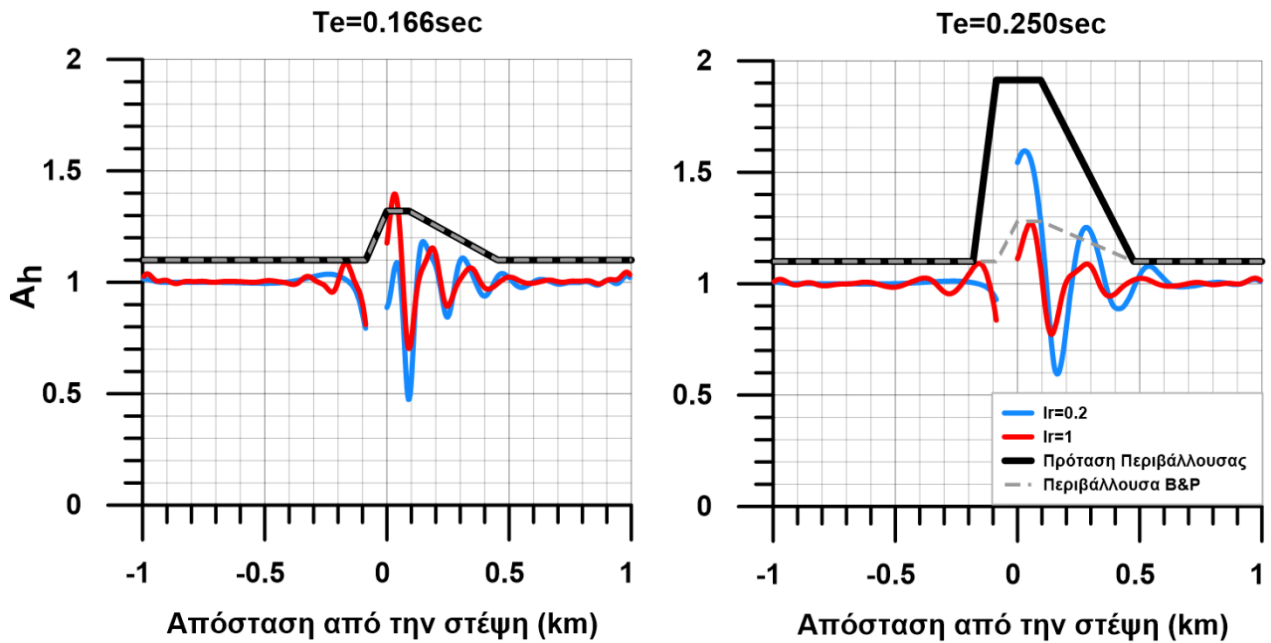
Αν $a \leq 0$ για τον πόδα, τότε

$$A_{h,d'} = \begin{cases} 1.0 \text{ έως } 1.1 & x \leq -B \\ 1.1 + \frac{A_{h,max}' - 1.1}{B}(x + B) & -B \leq x \leq 0 \\ A_{h,max}' & 0 \leq x \leq 0.2D_h \\ A_{h,max}' - \frac{A_{h,max}' - 1.1}{0.8D_h}(x - 0.2D_h) & 0.2D_h \leq x \leq D_h \\ 1.0 \text{ έως } 1.1 & D_h \leq x \end{cases} \quad (5.8)$$

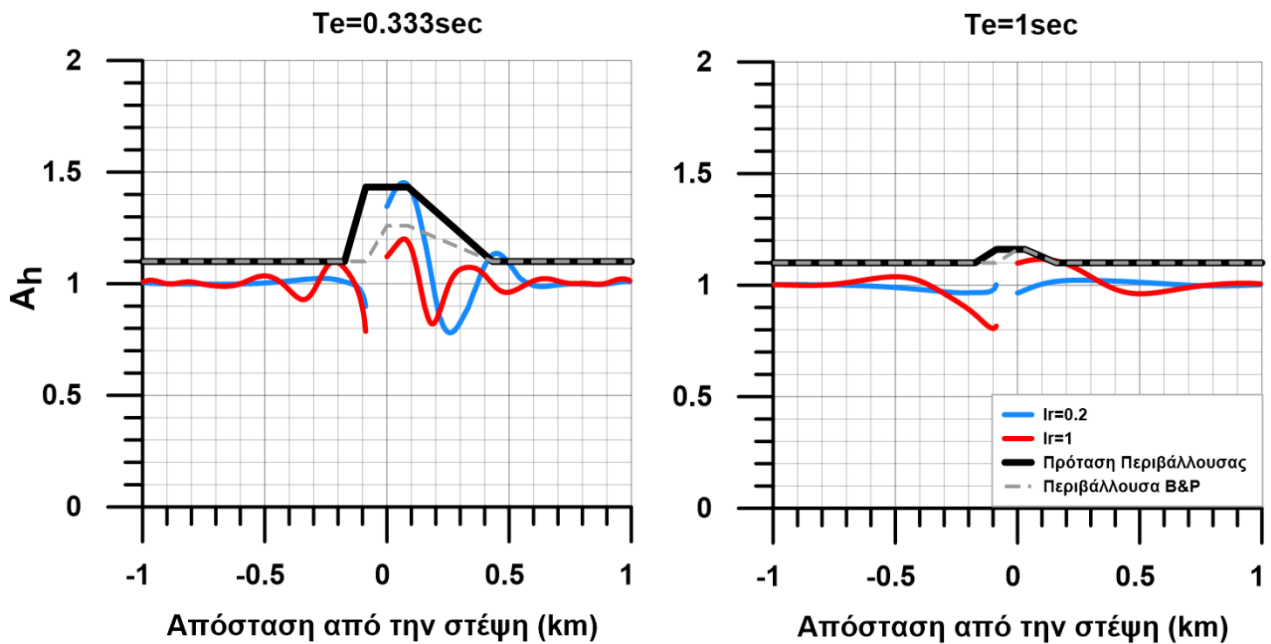
Αν $a > 0$ για τον πόδα, τότε:

$$A_{h,d'} = \begin{cases} 1.0 \text{ έως } 1.1 & x \leq -(B + 0.2D_h) \\ 1.1 + \frac{A_{h,max}' - 1.1}{B}(x + 2B) & -(2B) \leq x \leq -B \\ A_{h,max}' & -B \leq x \leq 0.2D_h \\ A_{h,max}' - \frac{A_{h,max}' - 1.1}{0.8D_h}(x - 0.2D_h) & 0.2D_h \leq x \leq D_h \\ 1.0 \text{ έως } 1.1 & D_h \leq x \end{cases} \quad (5.9)$$

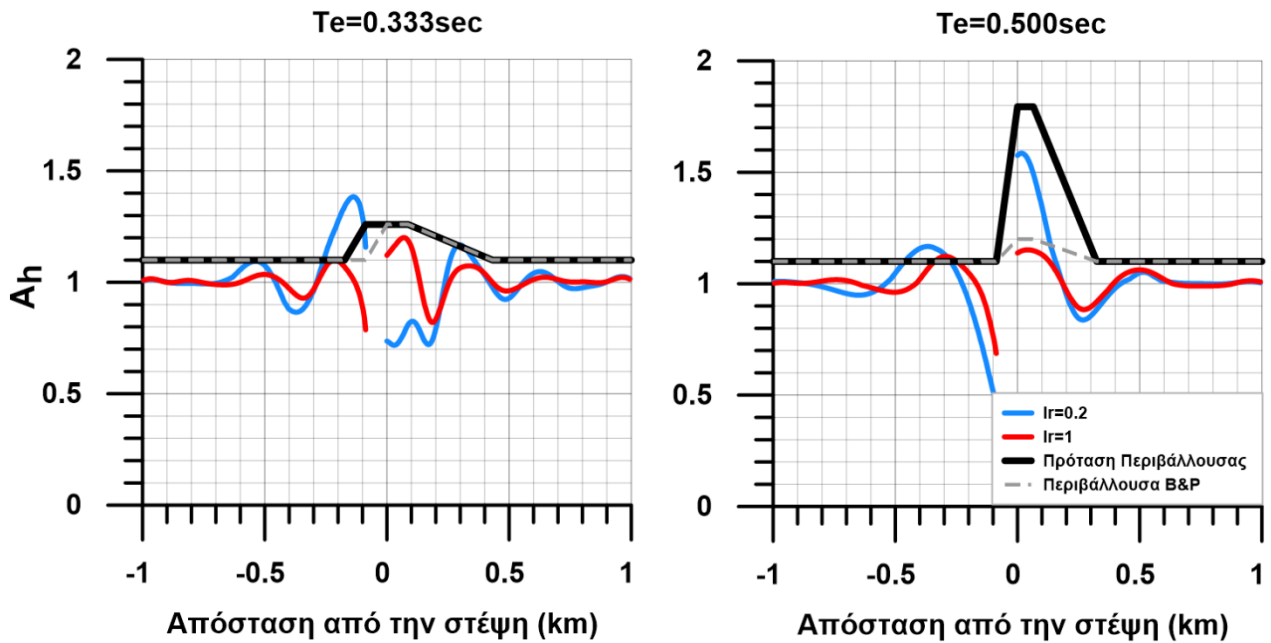
Στην συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα με παραδείγματα χωρικής διαφοροποίησης της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης (A_h) για ομοιογενή ($I_R=1$) και έντονα ανομοιογενή πρηνή ($I_R = 0.2$) μαζί με την «περιβάλλουσα» σχεδιασμού για το ομοιογενές και ανομοιογενές πρηνές (Σχέσεις 5.8 και 5.9) προς αξιολόγηση της εγκυρότητας και αποτελεσματικότητας της εν λόγω πρότασης. Τα διαγράμματα περιλαμβάνουν περιπτώσεις πρηνών που εμφανίζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$ (Σχήματα 5.27 και 5.28) και $Z=125m$ (Σχήματα 5.29 και 5.30) για διάφορες δεσπόζουσες περιόδους διέγερσης T_e , εξετάζοντας τόσο περιπτώσεις όπου ο εκθέτης a λαμβάνει θετικές όσο και αρνητικές τιμές σε στέψη και πόδα. Επιπροσθέτως παρουσιάζεται και η περίπτωση ανομοιογενούς ($I_R=0.625$) πρηνούς με βάθος υποβάθρου $Z=250m$ (Σχήματα 5.31 και 5.32) όπου αντιστοιχεί σε λόγο $Z/H > 4$ για τον οποίο προτείνεται απλουστευτικά εκθέτης $a' = a/2$.



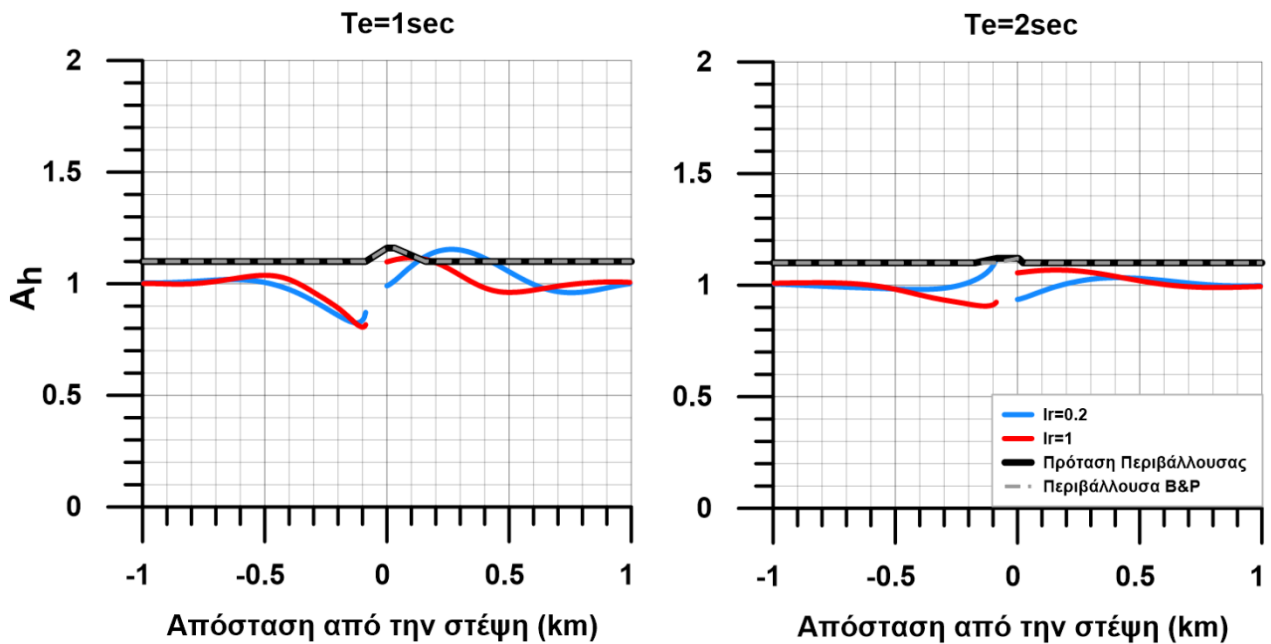
Σχήμα 5.27 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.2$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρηνούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z = 62.5m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=0.166sec$ ($T_{s,c}/T_e=3$ και $T_{s,t}/T_e=0.6$), β) $T_e=0.250sec$ ($T_{s,c}/T_e=2$ και $T_{s,t}/T_e=0.4$).



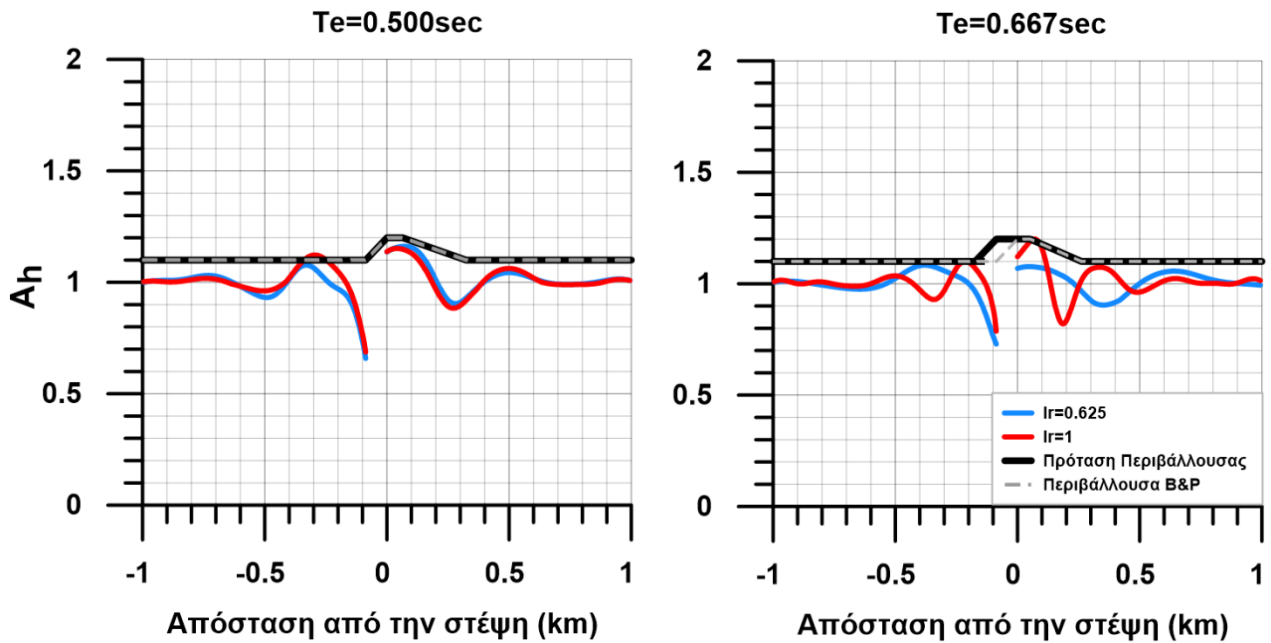
Σχήμα 5.28 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.2$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρηνούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=0.333sec$ ($T_{s,c}/T_e=1.5$ και $T_{s,t}/T_e=0.3$), β) $T_e=1sec$ ($T_{s,c}/T_e=0.5$ και $T_{s,t}/T_e=0.1$).



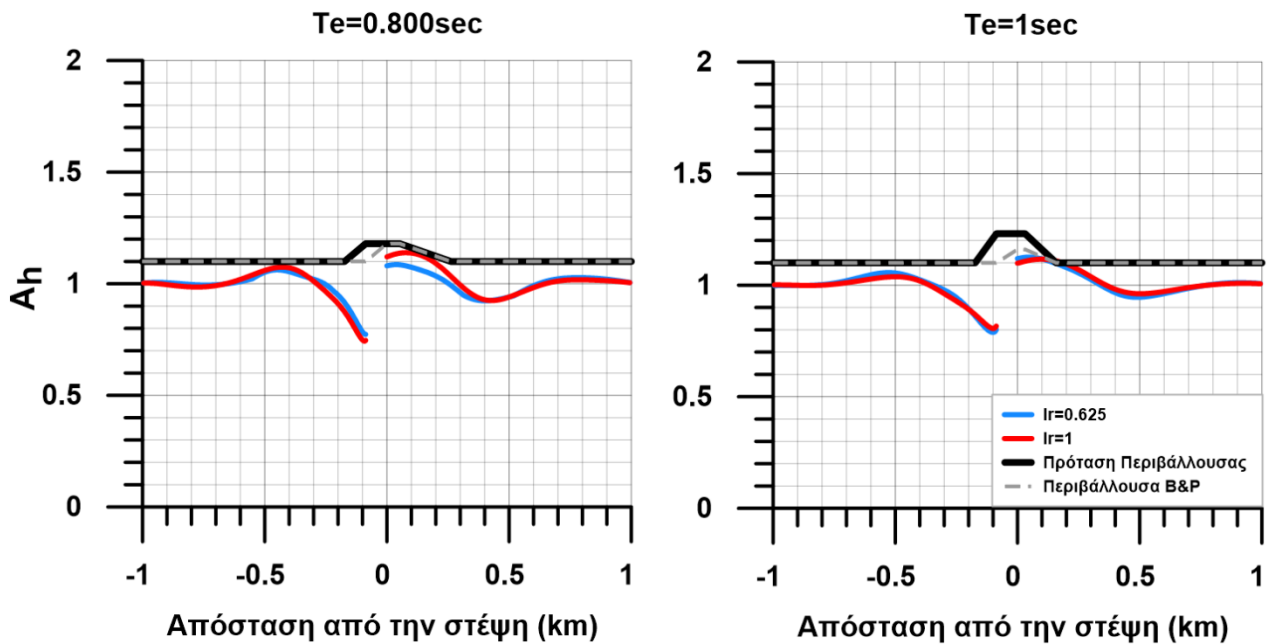
Σχήμα 5.29 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.2$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z=125m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=0.333sec$ ($T_{s,c}/T_e=3$ και $T_{s,t}/T_e=1.8$), β) $T_e=0.500sec$ ($T_{s,c}/T_e=2$ και $T_{s,t}/T_e=1.2$).



Σχήμα 5.30 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.2$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z=125m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=1sec$ ($T_{s,c}/T_e=1$ και $T_{s,t}/T_e=0.6$), β) $T_e=2sec$ ($T_{s,c}/T_e=0.5$ και $T_{s,t}/T_e=0.3$).



Σχήμα 5.31 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.625$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z=250m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=0.500sec$ ($T_{s,c}/T_e=4$ και $T_{s,t}/T_e=3.2$), β) $T_e=0.667sec$ ($T_{s,c}/T_e=3$ και $T_{s,t}/T_e=2.4$).



Σχήμα 5.32 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης ανομοιογενούς ($I_R=0.625$) και ομοιογενούς ($I_R=1$) πρανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$, βάθους υποβάθρου $Z=250m$ και σύγκριση με «περιβάλλουσες» σχεδιασμού για διέγερση: α) $T_e=0.800sec$ ($T_{s,c}/T_e=2.5$ και $T_{s,t}/T_e=2$), β) $T_e=1sec$ ($T_{s,c}/T_e=2$ και $T_{s,t}/T_e=1.6$).

Από τα **Σχήματα 5.27** έως **5.32** παρατηρείται ότι η προτεινόμενη «περιβάλλουσα» σχεδιασμού σε γενικές γραμμές προβλέπει ικανοποιητικά την συζευγμένη οριζόντια επιδείνωση κατά μήκος της επιφάνειας του πρανούς τόσο στην περιοχή μπροστά από τον πόδα όσο και πίσω από την στέψη. Επιπλέον διαφαίνεται ότι υπήρχε ανάγκη για την πρόταση αυτή, καθώς η «περιβάλλουσα» σχεδιασμού των Vouckovalas & Paradimitriou (2005, 2006) δείχνει αξιόπιστη μόνο για τα ομοιογενή πρανή και για τα οποία προτάθηκε.

6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΥΠΟ ΜΗ-ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

6.1. Γενικά

Σύμφωνα με την μεθοδολογία που περιεγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και με μη-αρμονική διέγερση, που βασίζεται σε πραγματική καταγραφή (Σεπόλια, 1999). Τα αποτελέσματα και η επεξεργασία των εν λόγω αναλύσεων παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Η διαδικασία επεξεργασίας είναι αντίστοιχη με εκείνης για αρμονική διέγερση, αλλά πραγματοποιείται για ολόκληρο το ελαστικό φάσμα απόκρισης (5% απόσβεση). Στόχος της επεξεργασίας είναι ο υπολογισμός της φασματικής επιδείνωσης της οριζόντιας (AS_{ah}) και της παρασιτικής κατακόρυφης (AS_{av}) επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα, η επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην οριζόντια διεύθυνση ορίστηκε ως ο λόγος της ελαστικού φάσματος απόκρισης (S_{ah}) για την οριζόντια επιτάχυνση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρानούς προς το αντίστοιχο φάσμα στο ελεύθερο πεδίο ($S_{ah,ff}$) υπό 1Δ σεισμική απόκριση. Αντίστοιχα, η επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην παρασιτική κατακόρυφη διεύθυνση ορίστηκε ως ο λόγος του ελαστικού φάσματος απόκρισης (S_{av}) για την παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση κάθε σημείου της επιφάνειας του μονοκλινούς πρानούς προς το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης στο ελεύθερο πεδίο ($S_{ah,ff}$) υπό 1Δ σεισμική απόκριση, καθώς στο ελεύθερο πεδίο δεν προκύπτει κατακόρυφη κίνηση. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα ελαστικά φάσματα απόκρισης προέκυψαν για απόσβεση κατασκευής 5%, ενώ όλοι οι παραπάνω φασματικοί λόγοι αποτελούν συναρτήσεις της θέσης του σημείου (x) και της περιόδου κατασκευής (T_{str}). Οι παραπάνω σχέσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

$$AS_{ah} = S_{ah} / S_{ah,ff} \quad (6.1)$$

$$AS_{av} = S_{av} / S_{ah,ff} \quad (6.2)$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει θεωρητική δυσχέρεια του ορισμού όλων των παραπάνω μεγεθών φασματικής επιδείνωσης στην περιοχή του κεκλιμένου τμήματος του πρानούς, καθώς δεν είναι σαφής η αντιστοιχούσα 1Δ σεισμική απόκριση που θα έπρεπε να εισαχθεί στους παρονομαστές των σχέσεων ορισμού. Επομένως παραλείπεται η παρουσίαση αποτελεσμάτων κατά μήκος της συγκεκριμένης περιοχής στα σχήματα που ακολουθούν, όπως ακριβώς συνέβη και για τις αναλύσεις για αρμονική διέγερση.

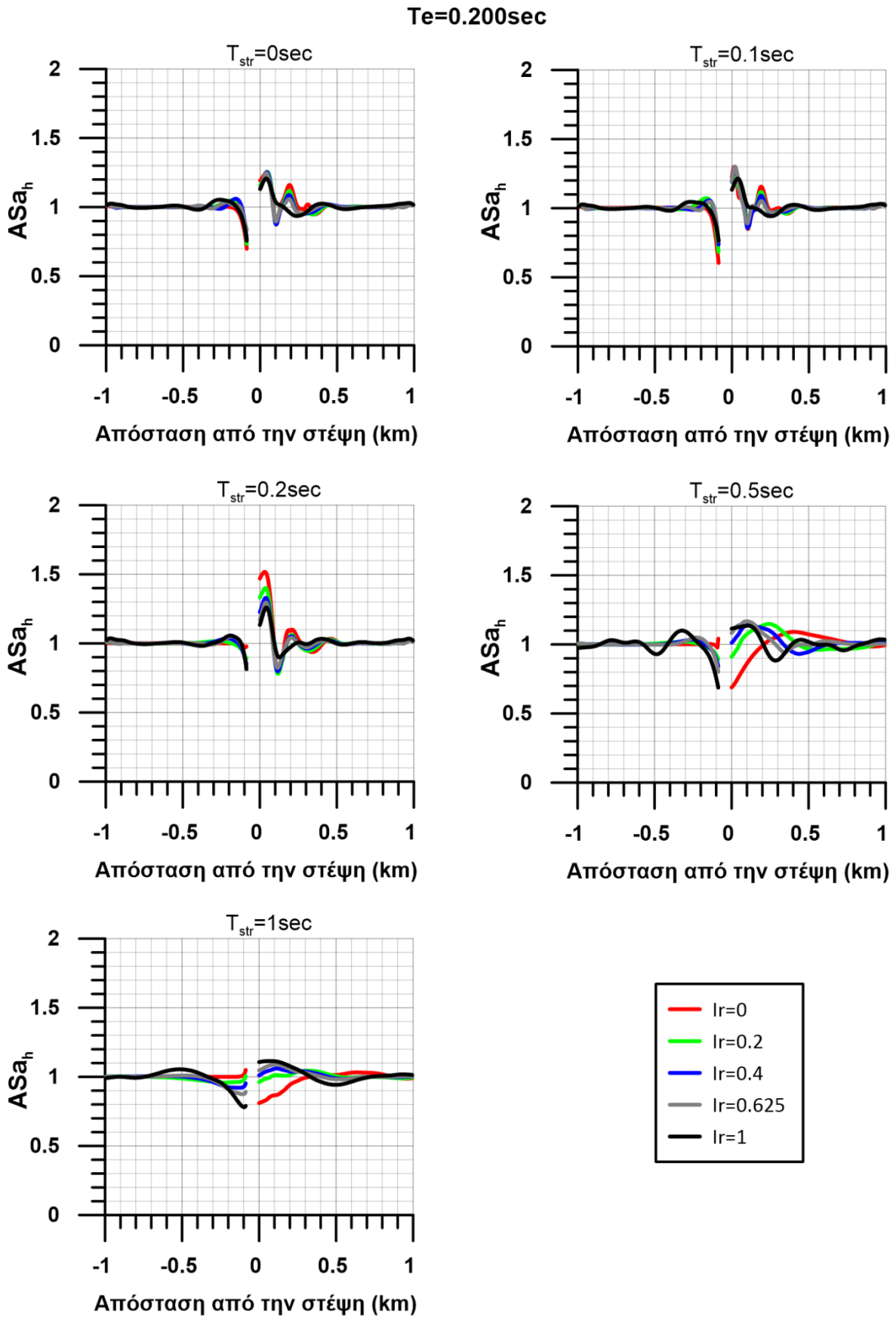
6.2. Απόκριση πρानών με διαφορετικά βάθη υποβάθρου και λόγο εμπέδησης

Σκοπός των συγκεκριμένων αναλύσεων αποτελεί η διερεύνηση της σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης σε επίπεδο ελαστικού φάσματος απόκρισης. Ως εκ τούτου, εδώ παρατίθενται τα αποτελέσματα για τα προσομοιώματα βάθους υποβάθρου $Z=62.5$ m και $Z=125$ m όπως προέκυψαν για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R , δηλαδή για τις

περιπτώσεις ομοιογενούς πρανούς ($I_R = 1$) και πρανούς επί ενδόσιμου ($0 < I_R < 1$), ή άκαμπτου υποβάθρου ($I_R = 0$). Οι αναλύσεις αφορούν παραμετρικά δεσπόζουσες περιόδους διέγερσης T_e από 0.1 έως και 1sec καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα διεγέρσεων της πράξης, από αρκετά υψίσυχνες μέχρι πολύ χαμηλής συχνότητας.

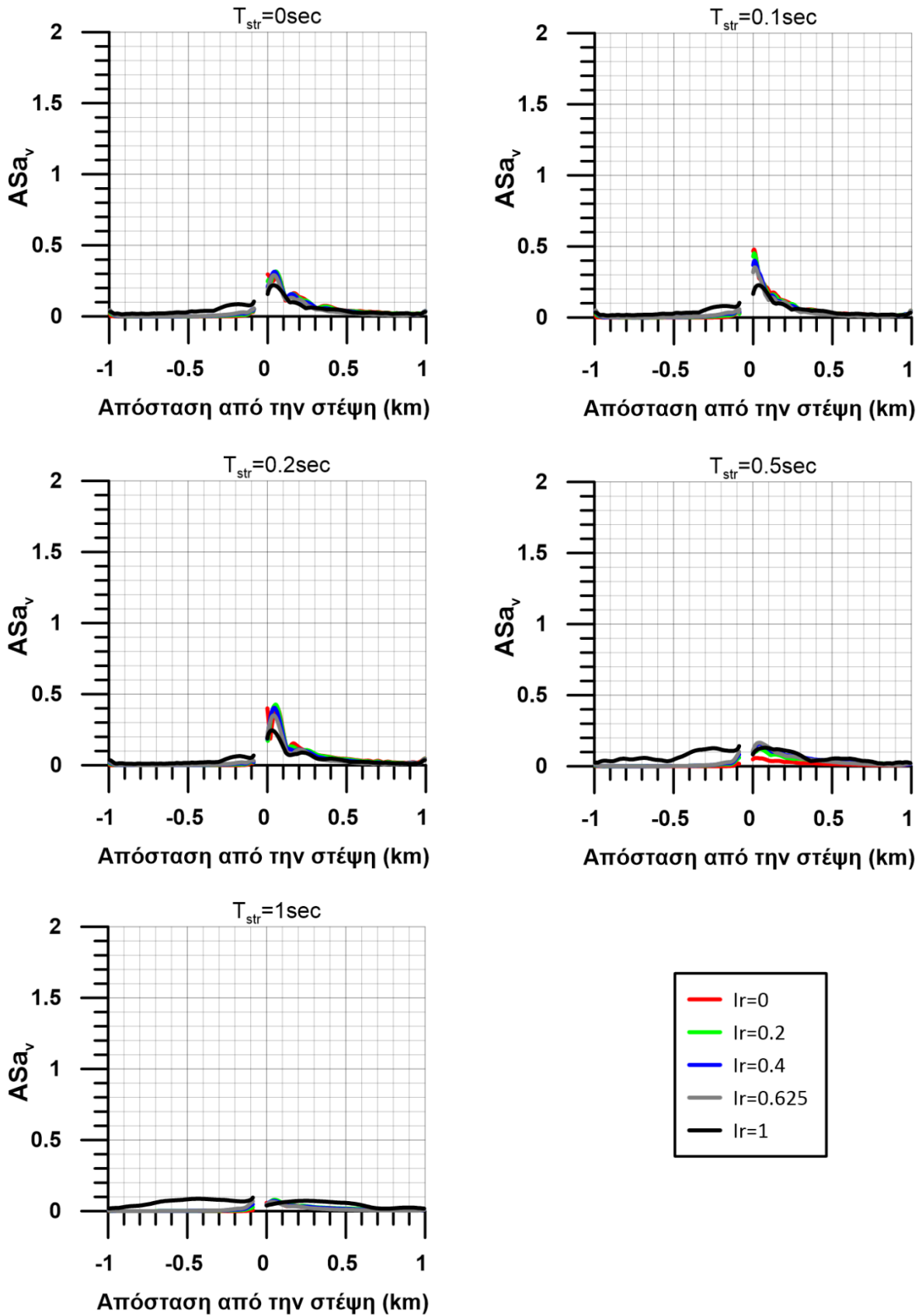
Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτυπώνονται σε δύο τύπους σχημάτων. Συγκεκριμένα, ο πρώτος τύπος σχήματος παρουσιάζει την χωρική διαφοροποίηση των ASa_h και ASa_v κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για απόσταση ± 1 km, με το 0 να αντιστοιχεί ακριβώς στην στέψη του μονοκλινούς πρανούς. Έτσι, καλύπτεται μία ικανοποιητική απόσταση από την περιοχή του πρανούς μέχρι το ελεύθερο πεδίο μπροστά και πίσω από αυτό. Ο πρώτος τύπος σχήματος παρουσιάζεται ενδεικτικά για δύο τιμές δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης $T_e = 0.2$ sec (υψίσυχη) και $T_e = 0.5$ sec (χαμηλή συχνότητα) και για πέντε τιμές της ιδιοπεριόδου κατασκευής $T_{str} = 0, 0.1, 0.2, 0.5, 1$ sec. Στο δεύτερο τύπο σχήματος αναπαρίσταται η επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης σε «σημαντικές» θέσεις κατά μήκος της επιφάνειάς του, ήτοι ακριβώς στη στέψη του και ακριβώς στον πόδα του. Δηλαδή, επελέγησαν οι ίδιες ακριβώς «σημαντικές» θέσεις, όπως και για την αρμονική διέγερση, και για τους ίδιους ακριβώς λόγους που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 4. Όλα τα αποτελέσματα αφορούν κατασκευή μονοβάθμιου ταλαντωτή απόσβεσης $\zeta=5\%$ και ιδιοπεριόδου T_{str} .

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=62.5$ m, του πρώτου τύπου σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 6.1 έως 6.4**) και στη συνέχεια του δεύτερου (επιδείνωση σε «σημαντικά» σημεία, **Σχήματα 6.5 έως 6.8**). Τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης (**Σχήματα 6.1 έως 6.4**) παρουσιάζονται με διαφορετικά σχήματα ανά δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης και ανά ιδιοπερίοδο κατασκευής T_{str} , ενώ η επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R διαχωρίζεται με διαφορετικού χρώματος καμπύλες. Αντίστοιχα, στα αποτελέσματα για «σημαντικά» σημεία γίνεται και πάλι διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες (**Σχήματα 6.5 έως 6.8**), ενώ τα σχήματα είναι διαφορετικά ανά σημείο ενδιαφέροντος και δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης.

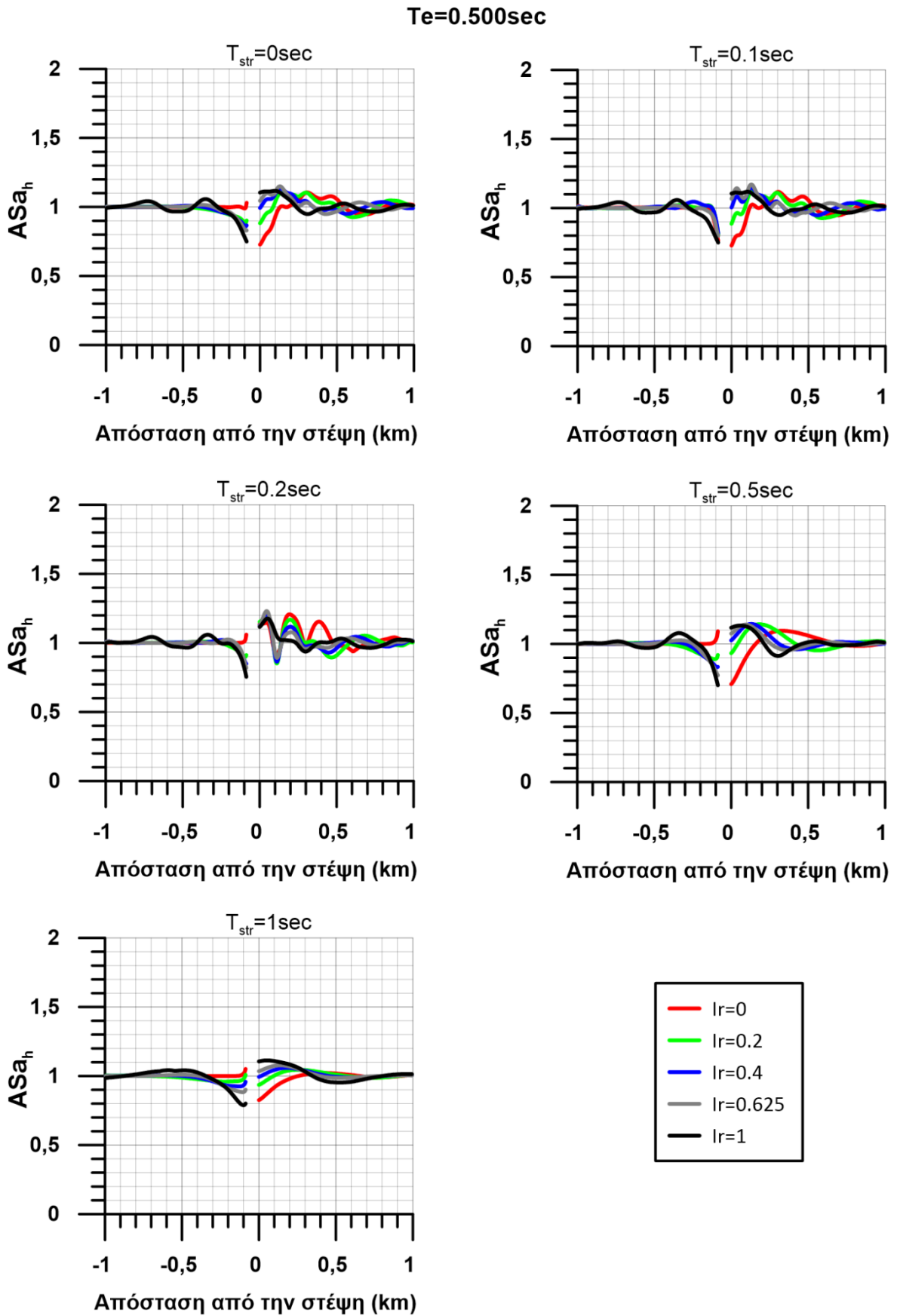


Σχήμα 6.1 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).

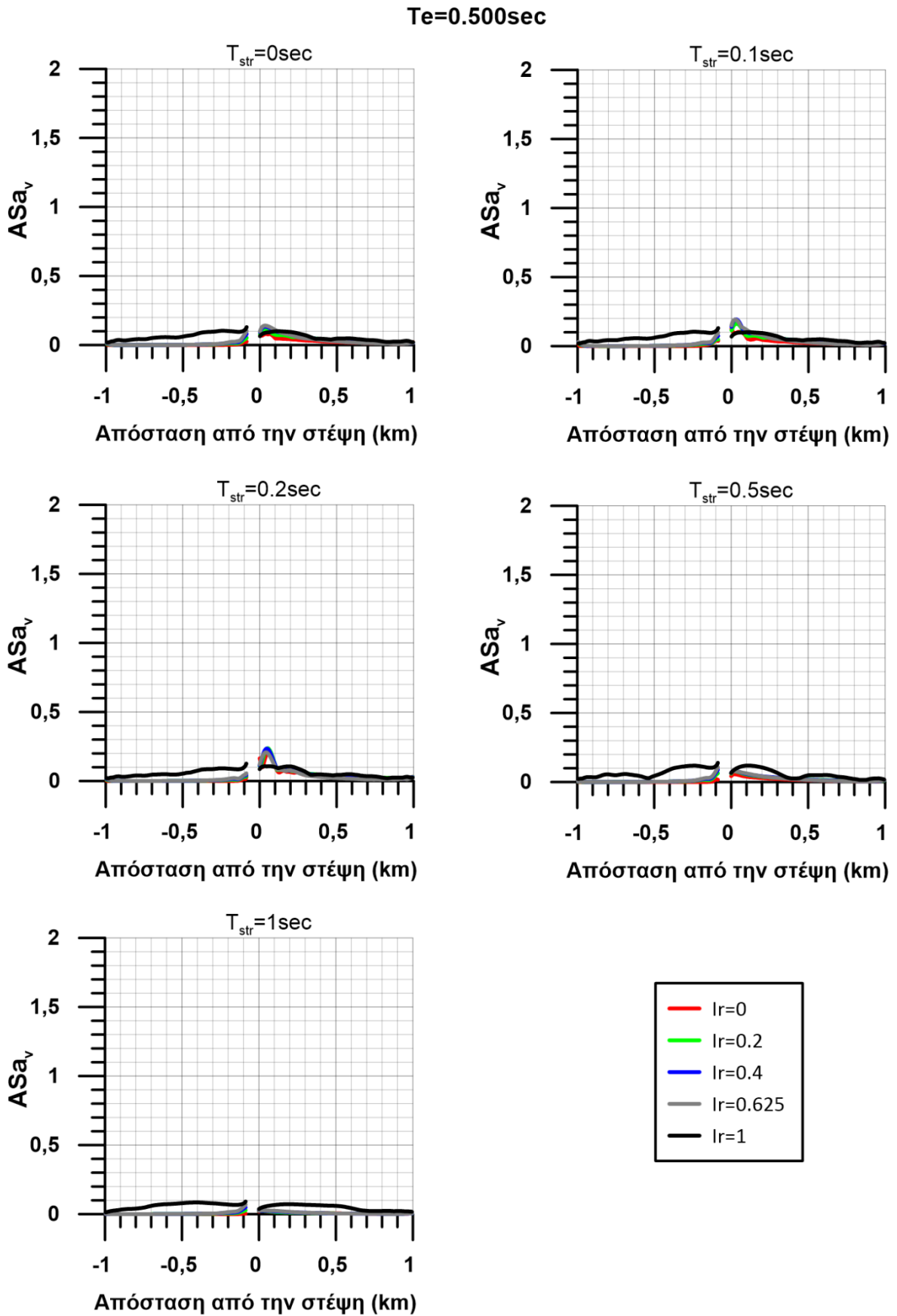
$T_e=0.200\text{sec}$



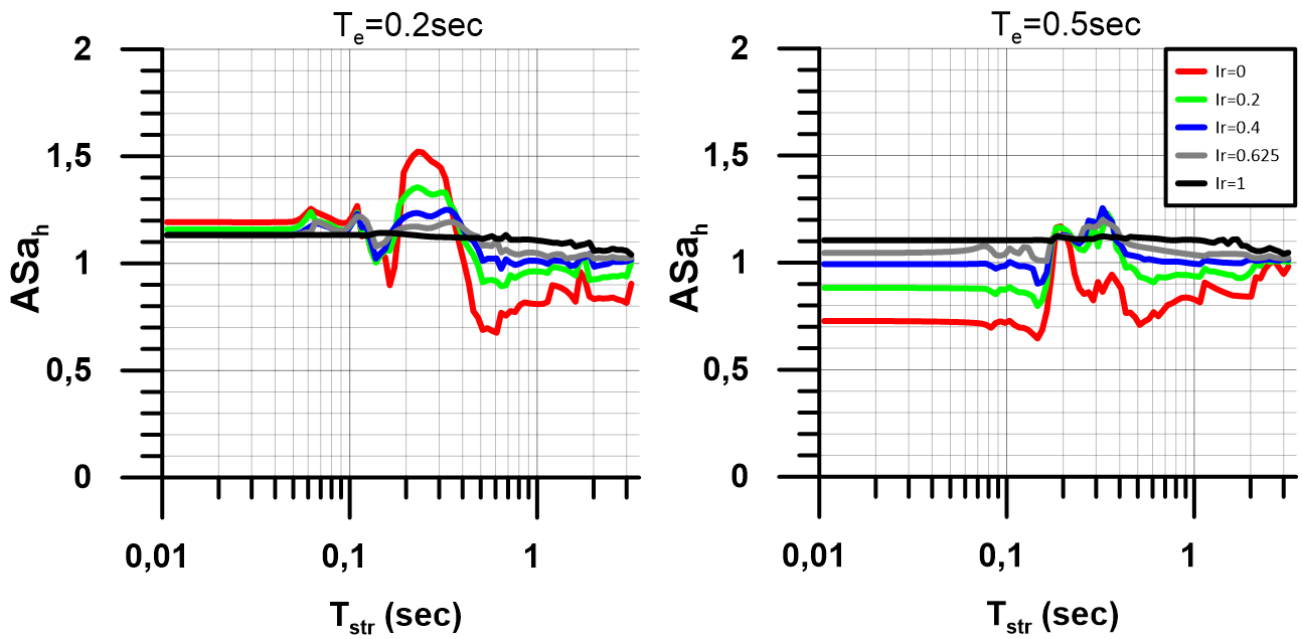
Σχήμα 6.2 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρηνές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπτόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).



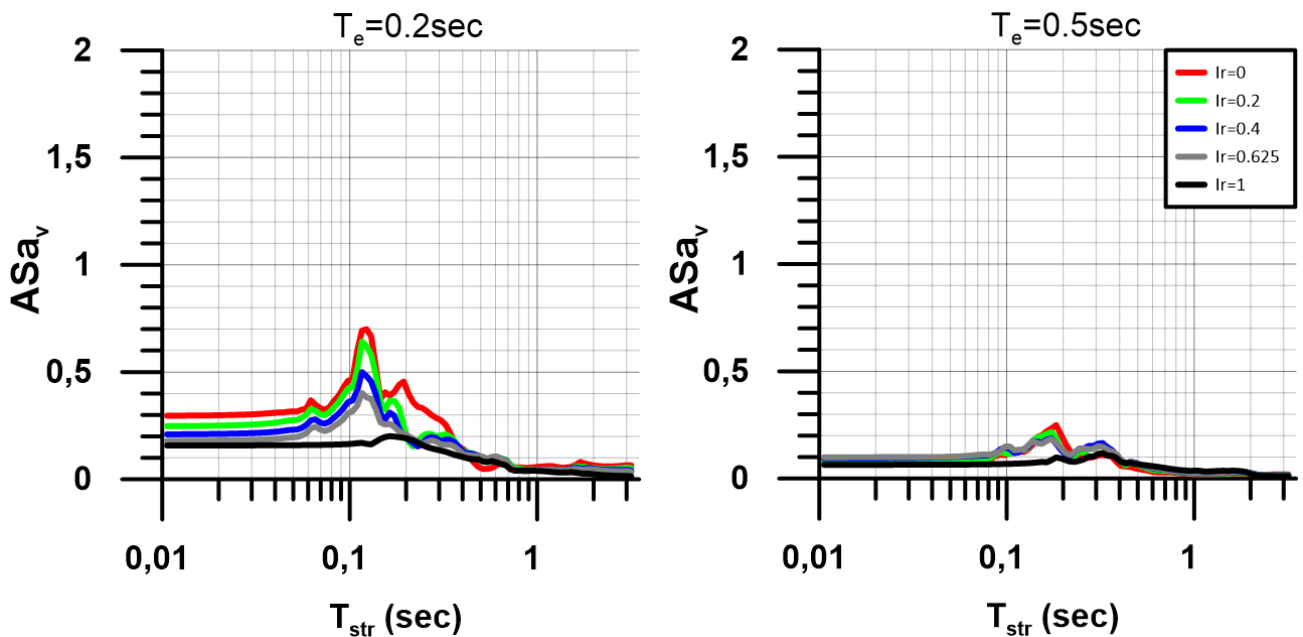
Σχήμα 6.3 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



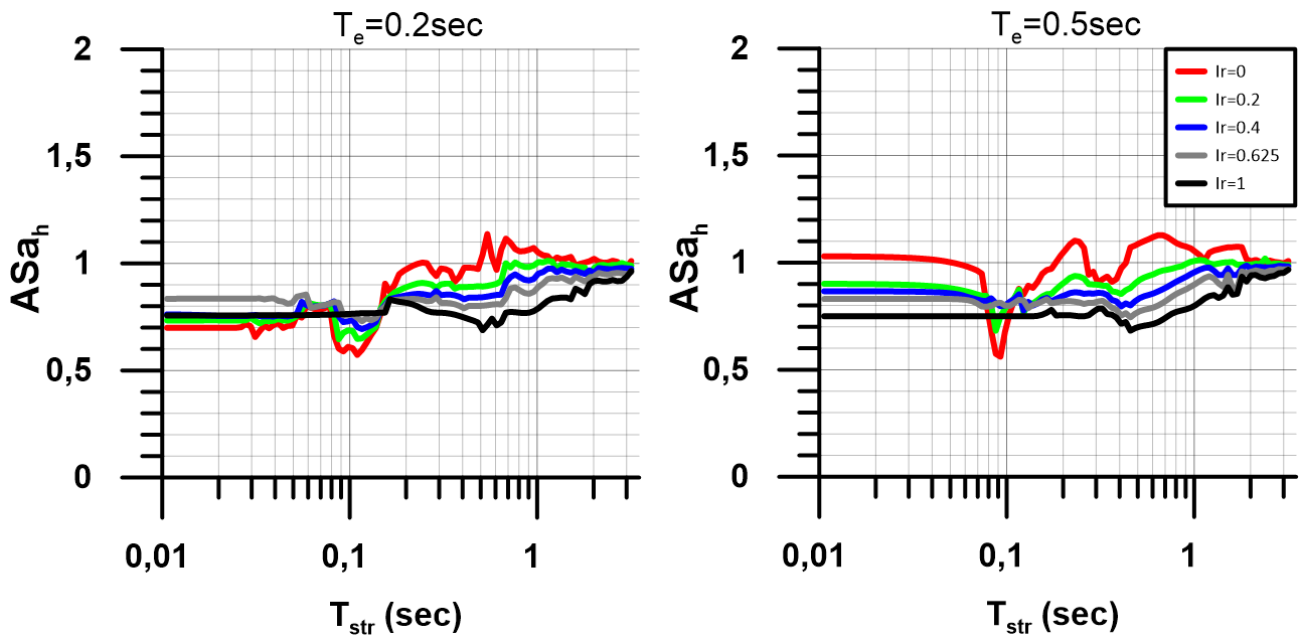
Σχήμα 6.4 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρηνές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



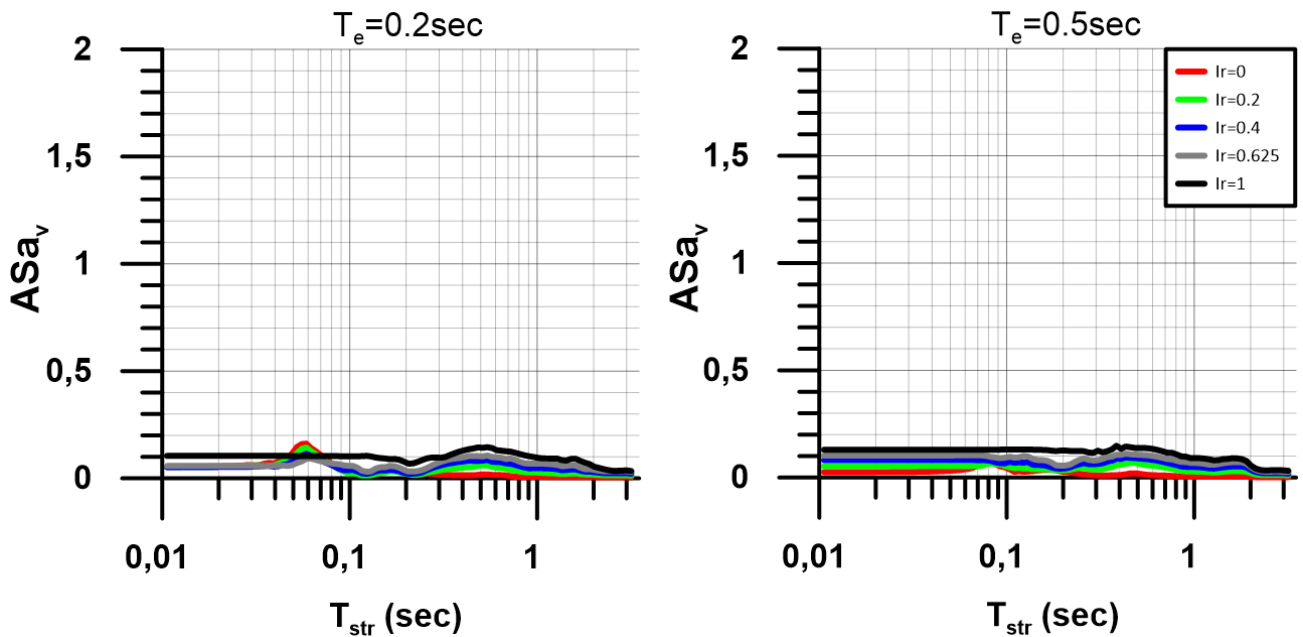
Σχήμα 6.5 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.6 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).

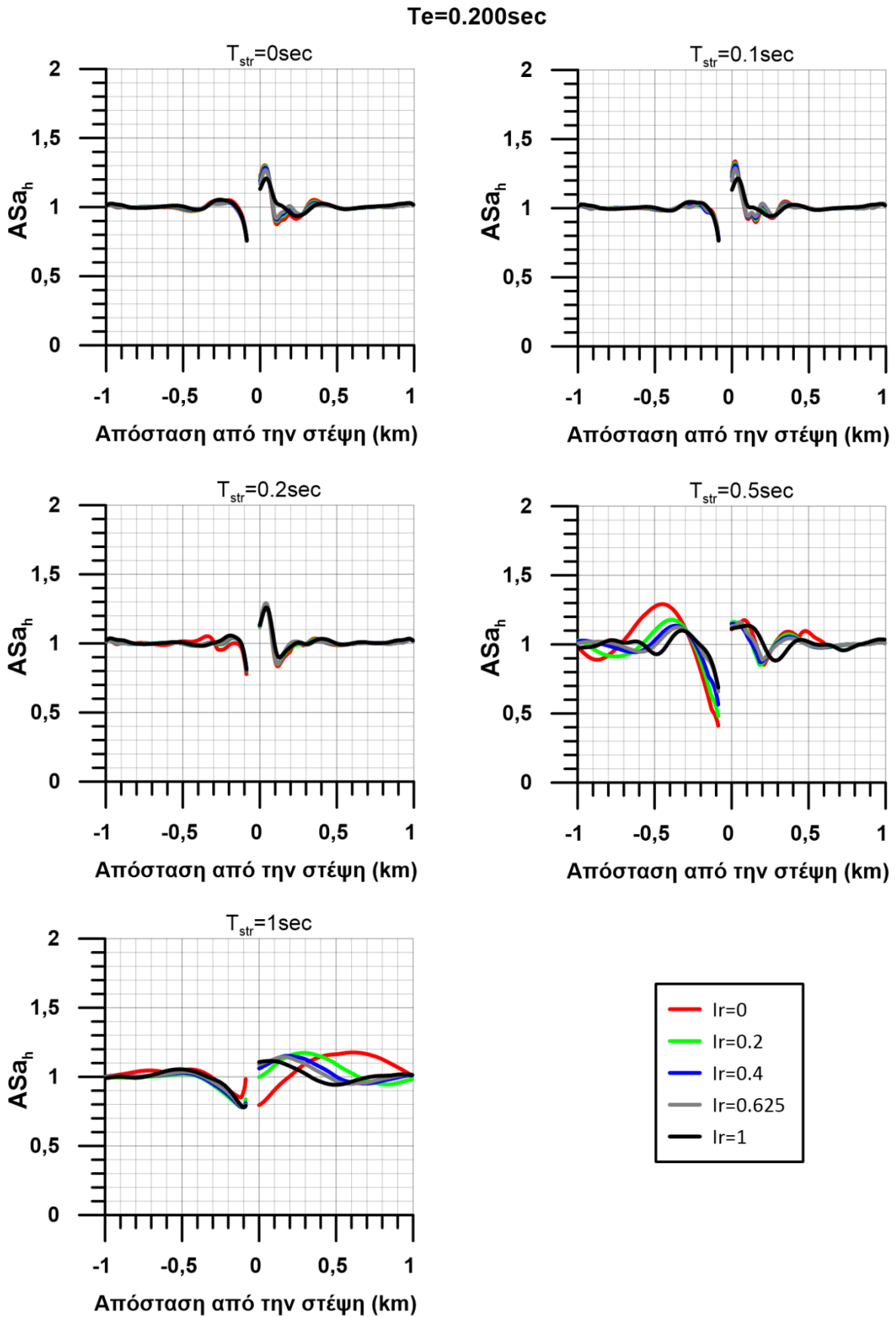


Σχήμα 6.7 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρσανούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).



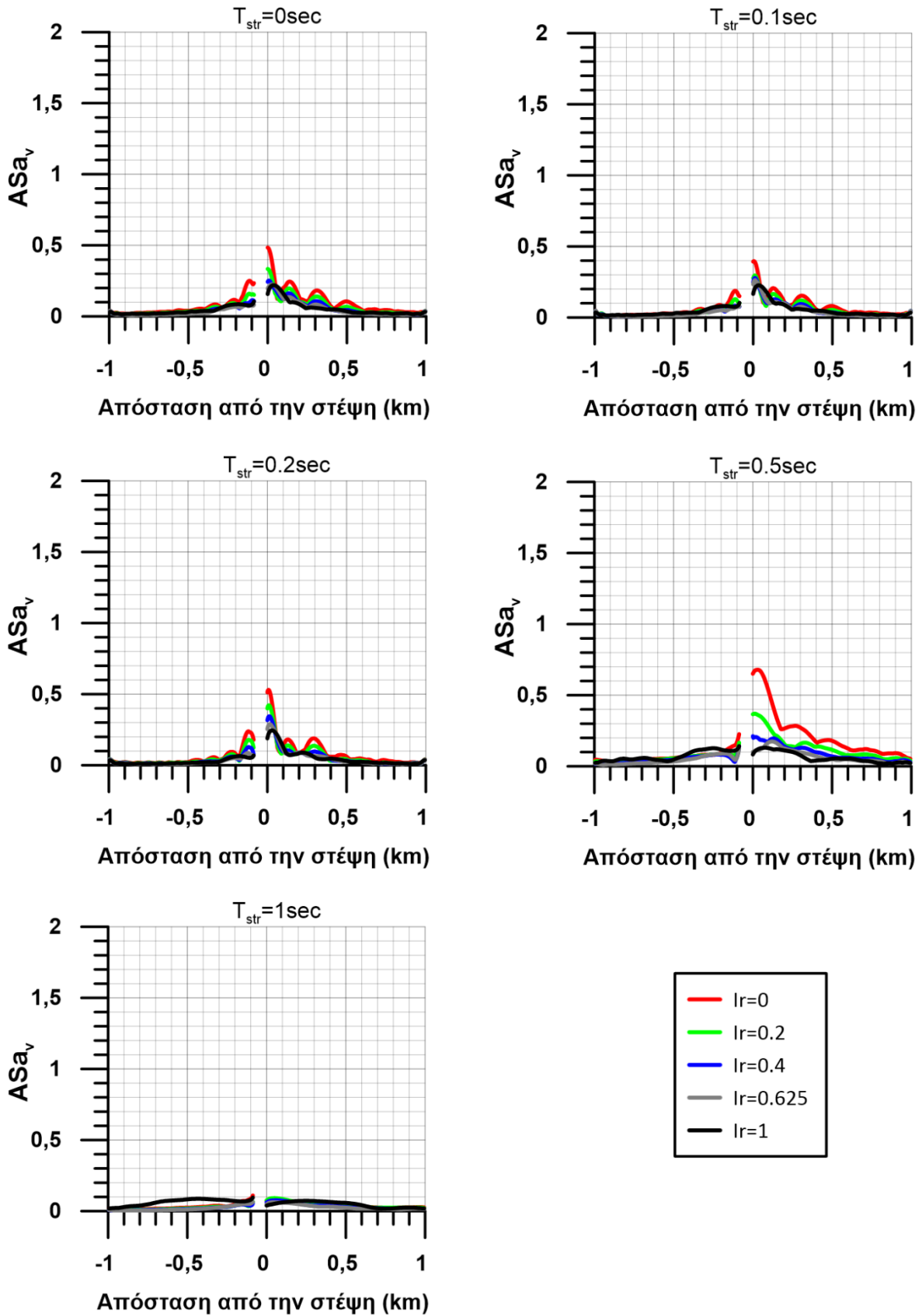
Σχήμα 6.8 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρσανούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το ανομοιογενές πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=125$ m, του πρώτου τύπου σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 6.9 έως 6.12**) και στη συνέχεια του δεύτερου (επιδείνωση σε «σημαντικές» θέσεις, **Σχήματα 6.13 έως 6.16**).

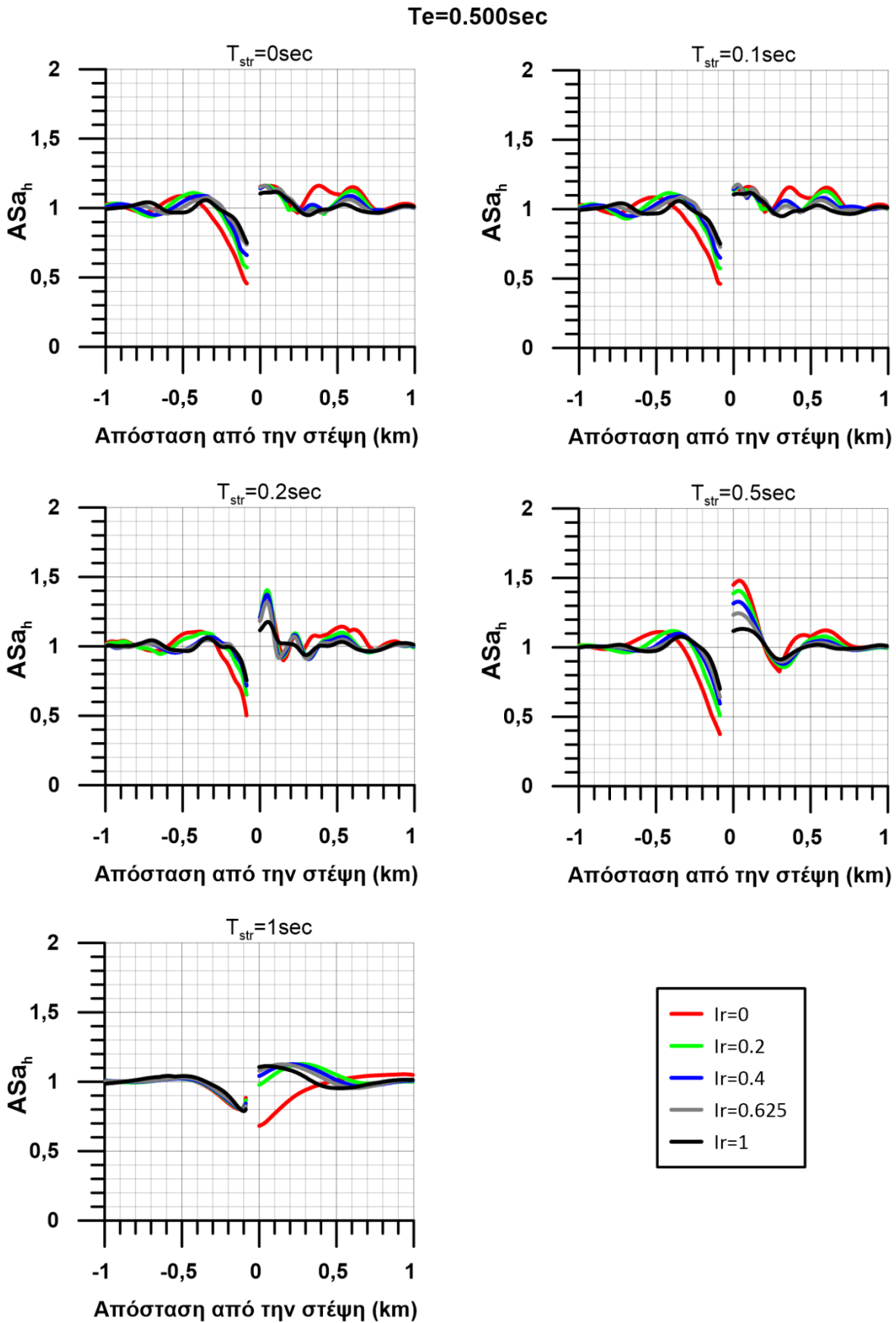


Σχήμα 6.9 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διεγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).

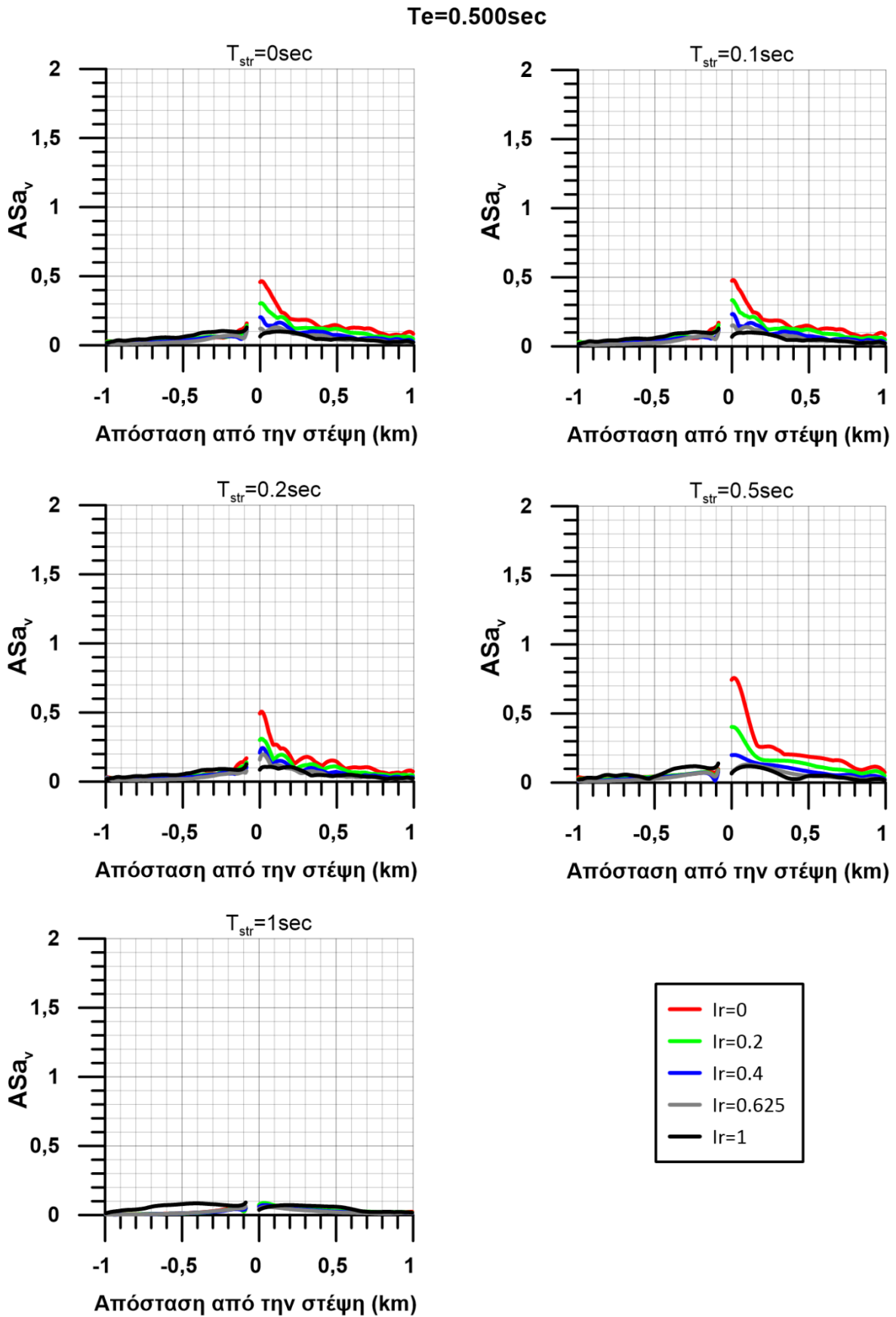
$T_e=0.200\text{sec}$



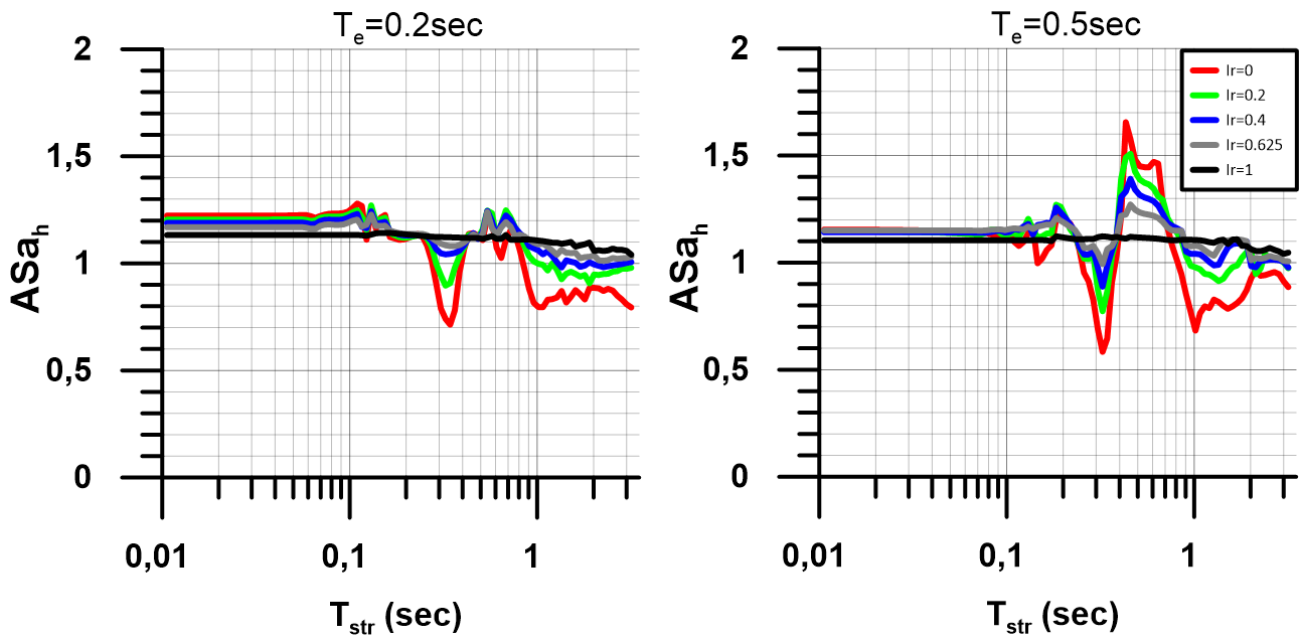
Σχήμα 6.10 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπτόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).



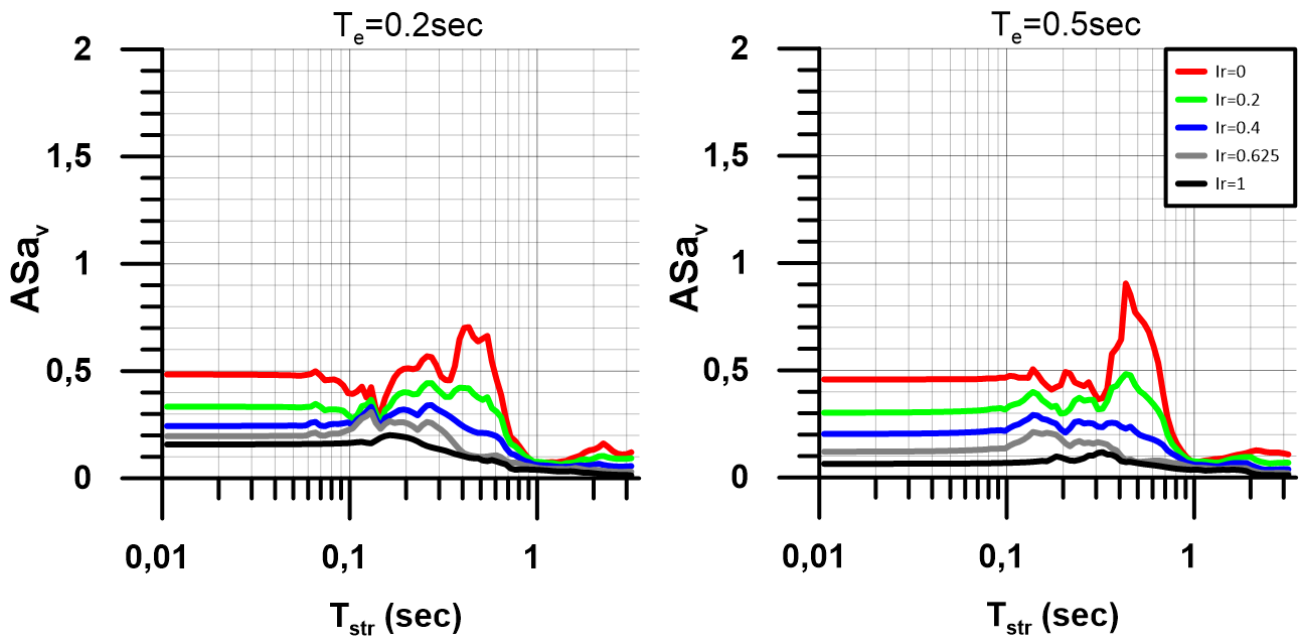
Σχήμα 6.11 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



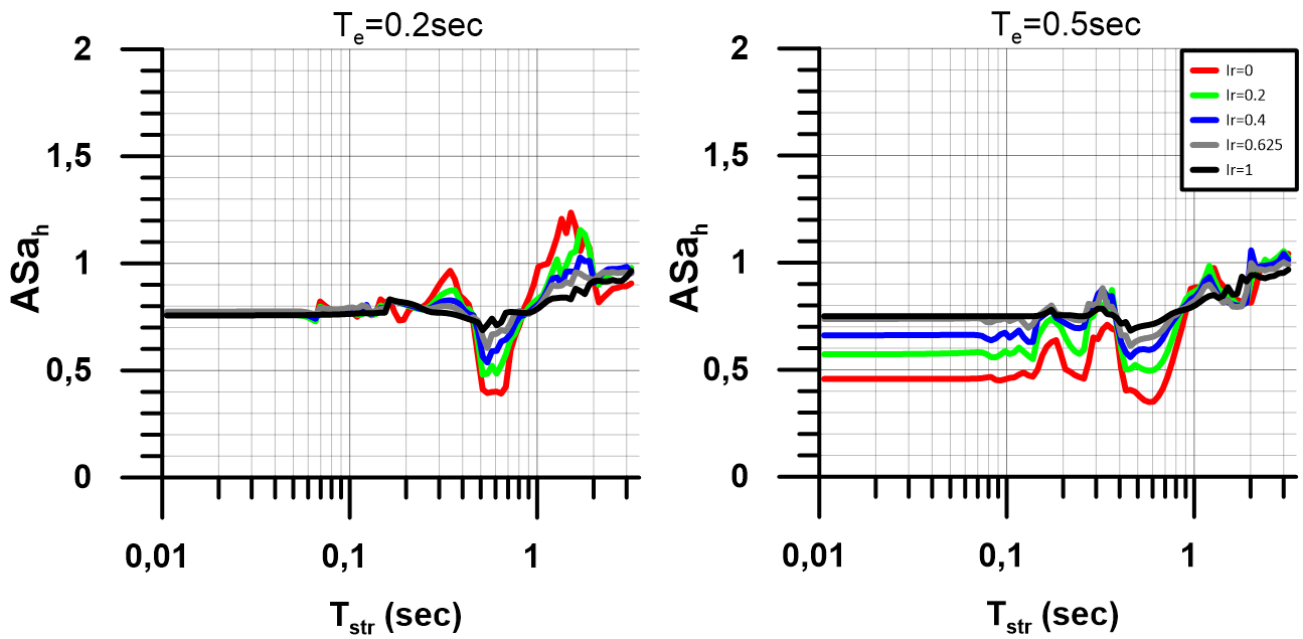
Σχήμα 6.12 Χωρική διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



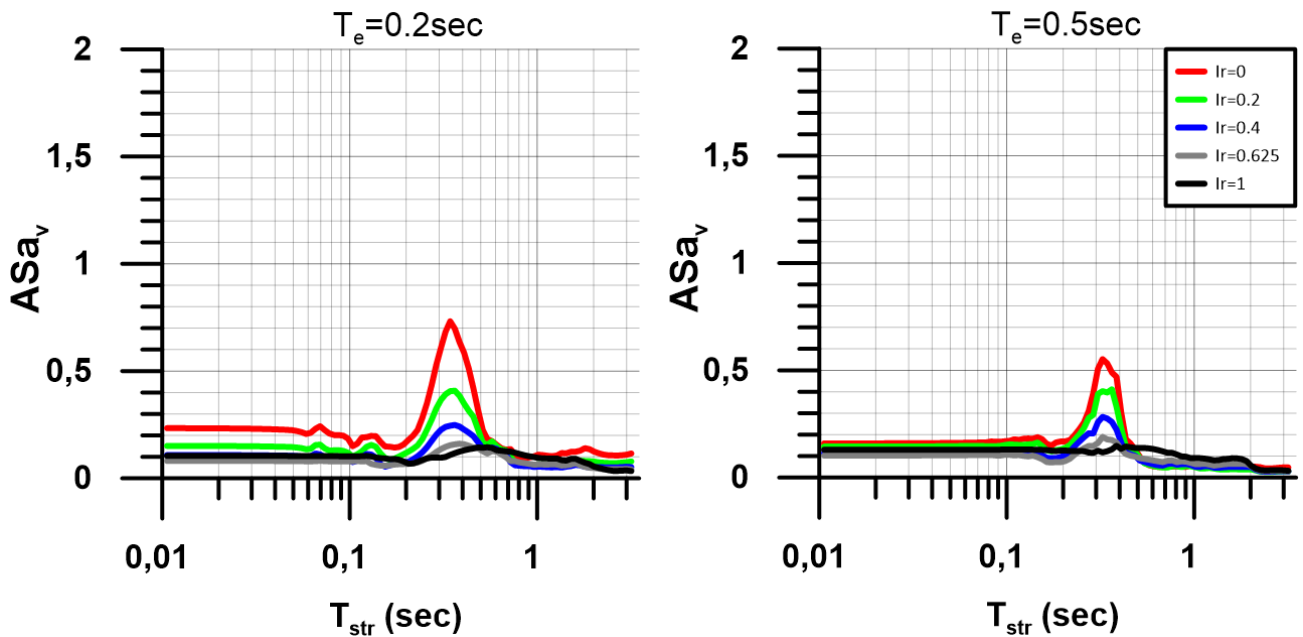
Σχήμα 6.13 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.14 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.15 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρानούσ βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπτόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.16 Τοπογραφική επιδείνωση του ελαστικού φάσματος απόκρισης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρानούσ βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπτόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).

Με βάση τα **Σχήματα 6.1 έως 6.16** προκύπτει σαφής διαφοροποίηση της φασματικής επιδείνωσης ανομοιογενών πρानών (επί άκαμπτου ή εύκαμπτου υποβάθρου) έναντι εκείνης για ομοιογενή πρानή. Πιο συγκεκριμένα, με βάση αναλύσεις για μη-αρμονική

διέγερση, που βασίζεται σε πραγματική καταγραφή (Σεπόλια, 1999) προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Με βάση τα προηγούμενα Κεφάλαια, η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης εξαρτάται κυρίως από το λόγο εμπέδησης και τον λόγο περιόδων T_s/T_e . Τα παρόντα αποτελέσματα προσθέτουν στις κύριες παραμέτρους του προβλήματος και την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης της κατασκευής T_{str} .
- Ακριβώς στη στέψη και στον πόδα, η ανομοιογένεια του πρανούς προκαλεί επιπλέον ενίσχυση ή απομείωση της οριζόντιας φασματικής επιδείνωσης σε σχέση με το ομοιογενές πρανές, ανάλογα και με την ιδιοπερίοδο της κατασκευής. Αντιθέτως, στις «σημαντικές» θέσεις αυτές, η ανομοιογένεια προκαλεί κυρίως ενίσχυση της παρασιτικής φασματικής επιδείνωσης συγκριτικά με το ομοιογενές πρανές, πρακτικώς για όλες τις ιδιοπεριόδους T_{str} .
- Η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης εξαρτάται σημαντικά και από τη θέση ενδιαφέροντος. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι το δεσπόζον μήκος κύματος λ είναι ανεξάρτητο από τον λόγο εμπέδησης I_R ή το βάθος υποβάθρου Z , η χωρική διαφοροποίηση της επιδείνωσης παραμένει σε γενικές γραμμές συνάρτηση του μήκους κύματος λ και συμβατή ποιοτικά με τα αποτελέσματα για ομοιογενή πρανή.
- Η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης είναι εντονότερη πλησίον του πρανούς, και φαίνεται να αμβλύνεται αυξανόμενης της απόστασης από την στέψη ή τον πόδα του πρανούς. Λίγο ως πολύ, δεν διαφαίνεται σύζευξη σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 1 έως 2 δεσπόζοντα μήκη διατμητικών κυμάτων λ , μια απόσταση που ούτως ή άλλως εκμηδενίζει και την επίδραση της τοπογραφίας στη σεισμική κίνηση γενικότερα.
- Η φασματική επιδείνωση τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης φαίνεται να γίνεται εντονότερη όσο πιο μικρός είναι ο λόγος εμπέδησης. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα για ομοιογενή πρανή υποεκτιμούν την τοπογραφική επιδείνωση.

6.3. Σύγκριση φασματικής απόκρισης ανομοιογενών πρανών έναντι ομοιογενούς

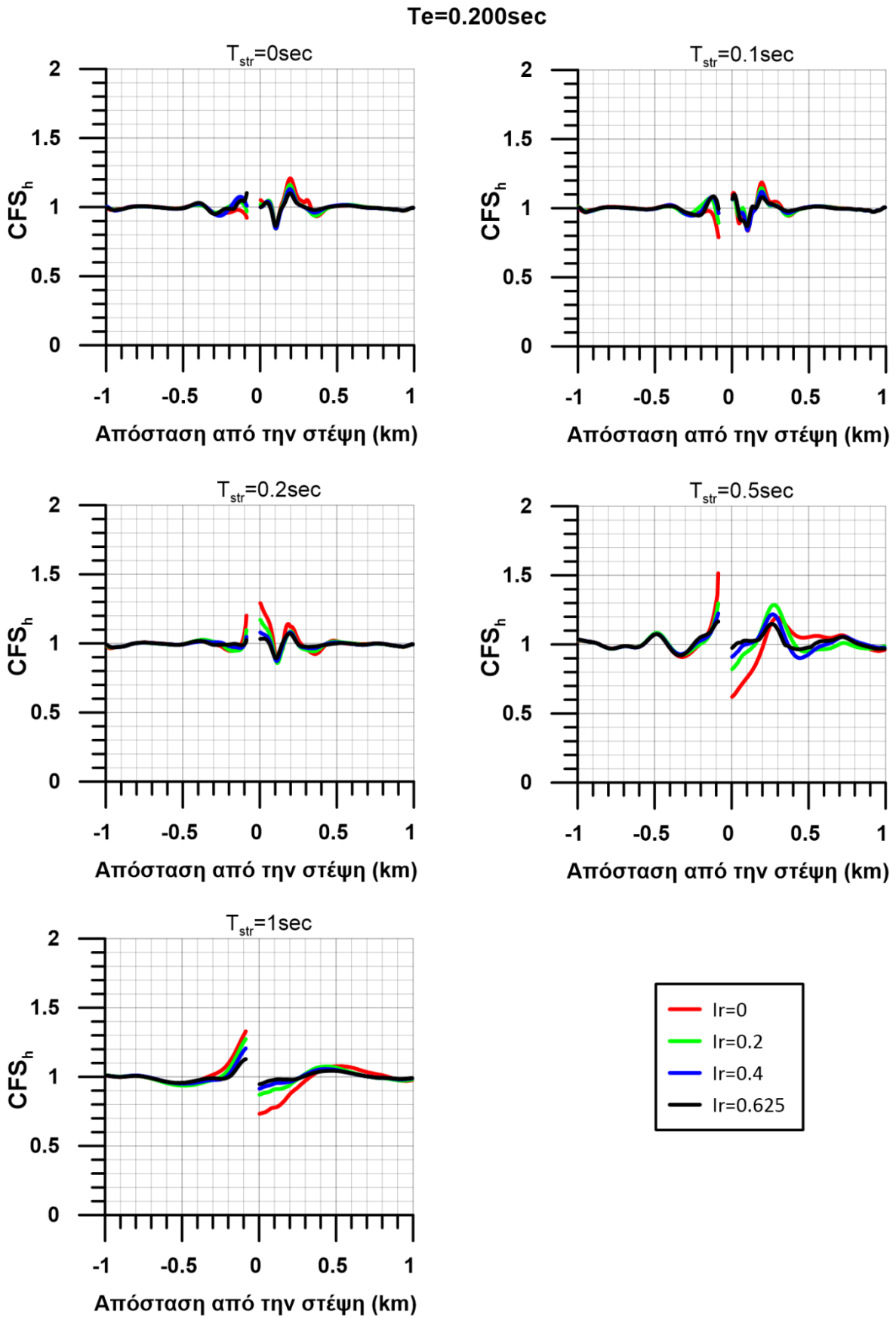
Στα πρότυπα της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 5 και με σκοπό την ποσοτική εκτίμηση της διαφοράς της φασματικής επιδείνωσης μεταξύ ανομοιογενούς και ομοιογενούς πρανούς, ορίστηκε αντίστοιχα *διορθωτικός συντελεστής* τόσο για την οριζόντια (CFS_h) όσο και για την παρασιτική κατακόρυφη (CFS_v) συνιστώσα της φασματικής επιδείνωσης. Συγκεκριμένα, η οριζόντια συνιστώσα του διορθωτικού αυτού συντελεστή CFS_h σε κάθε θέση ορίστηκε ως ο λόγος της οριζόντιας τιμής της φασματικής επιδείνωσης για ανομοιογενές πρανές επί άκαμπτου ή ενδόσιμου υποβάθρου προς την αντίστοιχη τιμή για ομοιογενές πρανές. Αντίστοιχα η παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα του διορθωτικού συντελεστή CFS_v σε κάθε θέση ορίστηκε ως ο λόγος της παρασιτικής κατακόρυφης τιμής της φασματικής επιδείνωσης για ανομοιογενές πρανές επί άκαμπτου ή ενδόσιμου υποβάθρου προς την αντίστοιχη τιμή για ομοιογενές πρανές. Οι παραπάνω δύο σχέσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

$$CFS_h(T_{str}) = ASa_h(I_R \neq 1) / ASa_h(I_R = 1) \quad (6.1)$$

$$CFS_v(T_{str}) = ASa_v(I_R \neq 1) / ASa_v(I_R = 1) \quad (6.2)$$

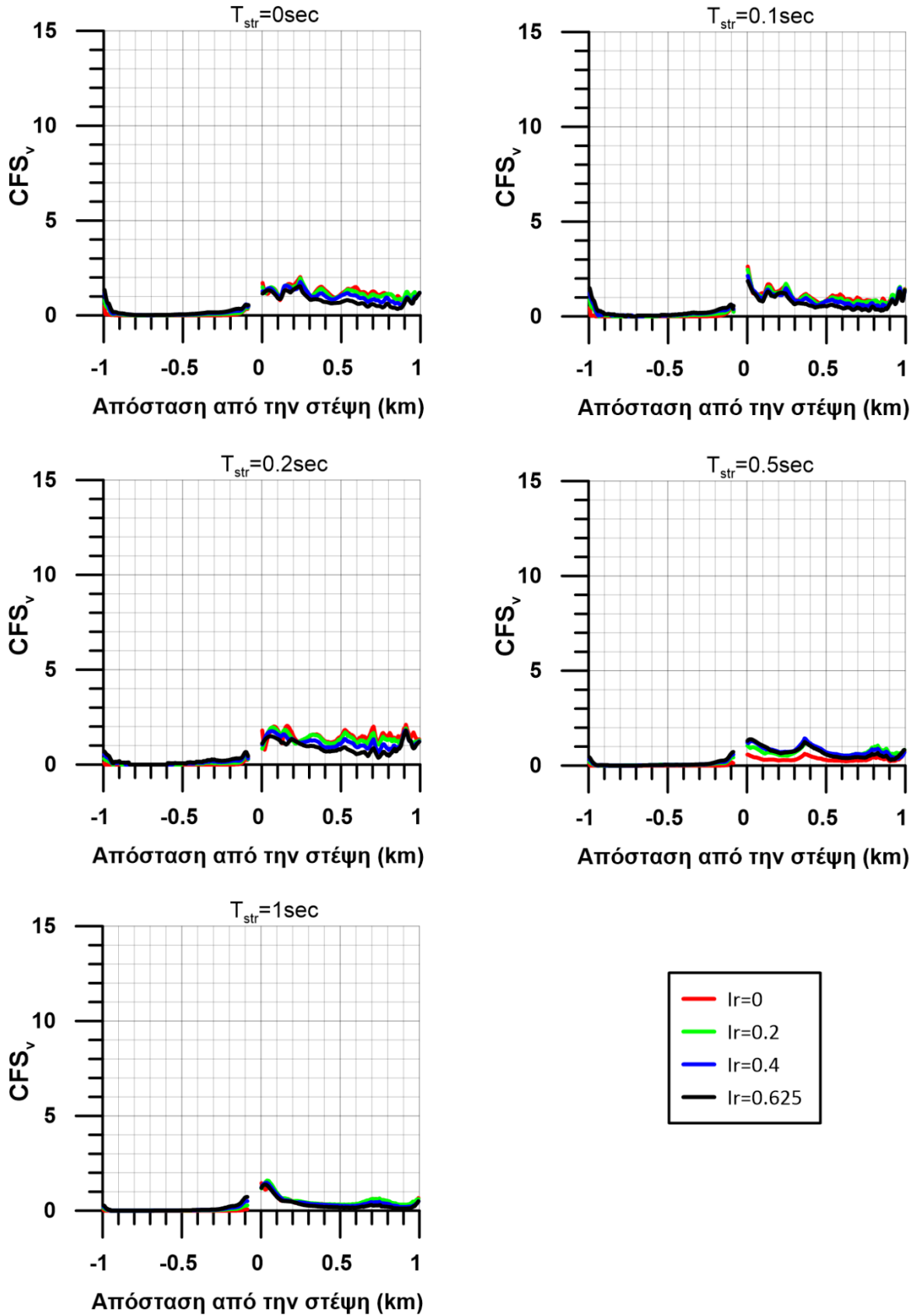
Έτσι με βάση τον ορισμό του, ο παραπάνω *διορθωτικός συντελεστής* εκφράζει ποσοτικά τη σύζευξη μεταξύ τοπογραφικής και εδαφικής φασματικής επιδείνωσης. Τιμές του συντελεστή μεγαλύτερες της μονάδας συνεπάγονται ενισχυτική επίδραση της ύπαρξης υποβάθρου, ενώ αντίθετα τιμές μικρότερες της μονάδας αντιστοιχούν σε απομειωτική δράση αυτού. Κατόπιν, στο παρόν κεφάλαιο εκτιμήθηκαν οι τιμές των διορθωτικών συντελεστών CFS_h και CFS_v για όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 6.2. Ο πρώτος τύπος σχήματος παρουσιάζει την χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας ή παρασιπικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους για απόσταση ± 1 km από ακριβώς τη στέψη του πρανούς. Στο δεύτερο τύπο σχήματος παρουσιάζεται η τιμή των συντελεστών CFS_h και CFS_v στις επιλεγμένες «σημαντικές» θέσεις κατά μήκος του πρανούς συναρτήσει της ιδιοπεριόδου ταλάντωσης της κατασκευής T_{str} , ήτοι ακριβώς στη στέψη του και ακριβώς στον πόδα του.

Αρχικά παρουσιάζεται ο διορθωτικός συντελεστής για το πρανές με βάθος υποβάθρου $Z = 62.5$ m, ξεκινώντας από τον πρώτο τύπο σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 6.17 έως 6.20**) και συνεχίζοντας στον δεύτερο (σε «σημαντικές» θέσεις, **Σχήματα 6.21 και 6.24**). Τα αποτελέσματα της χωρικής διαφοροποίησης (**Σχήματα 6.17 έως 6.20**) διαχωρίζουν την επίδραση του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες, ενώ παρουσιάζονται διαφορετικά σχήματα ανά δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης T_e ιδιοπερίοδο κατασκευής T_{str} . Αντίστοιχα, στα αποτελέσματα για «σημαντικές» θέσεις γίνεται και πάλι διαφοροποίηση ανά τιμή του λόγου εμπέδησης I_R με διαφορετικού χρώματος καμπύλες (**Σχήματα 6.17 και 6.20**), ενώ τα σχήματα είναι διαφορετικά ανά θέση ενδιαφέροντος και δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης T_e .

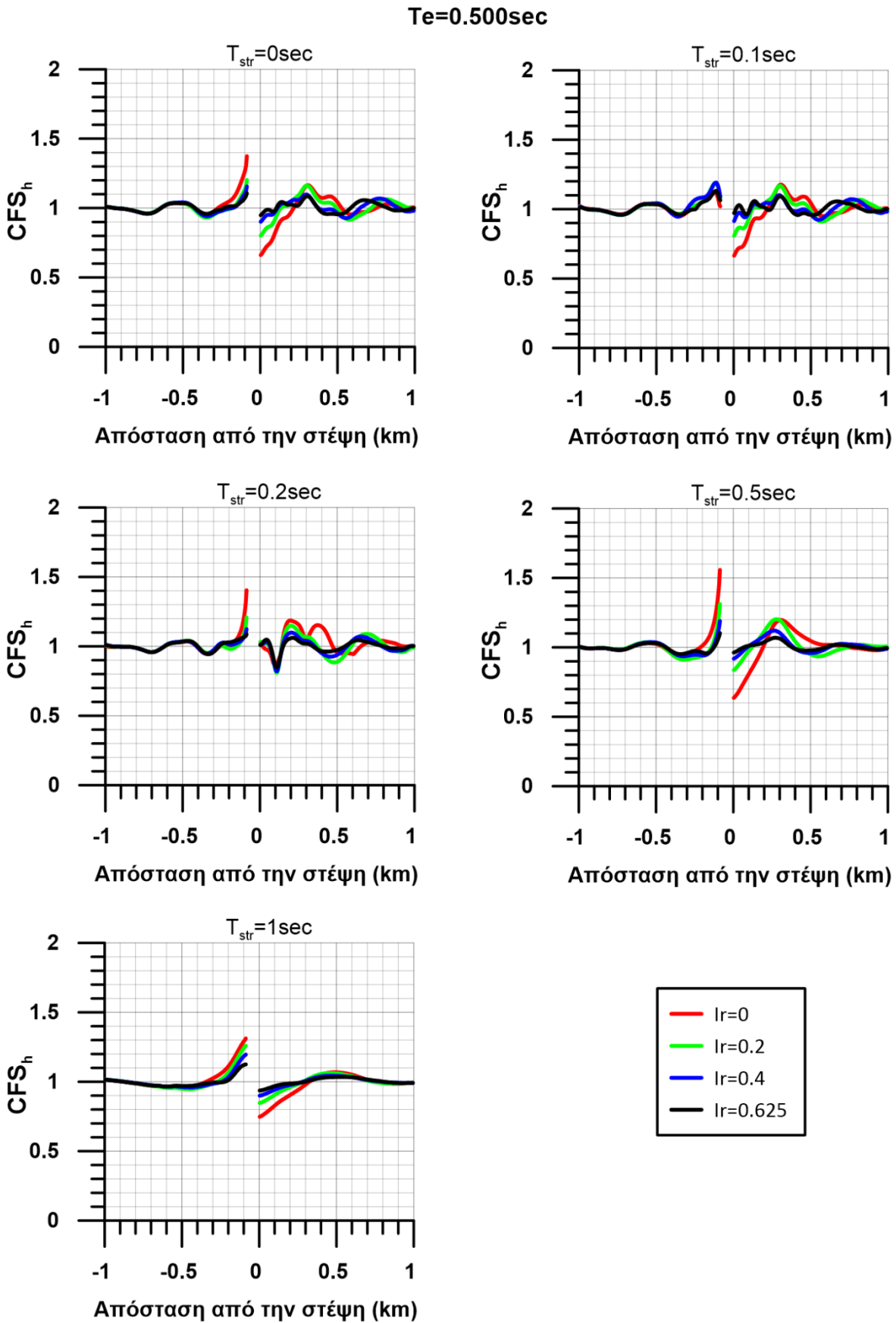


Σχήμα 6.17 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρηνές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).

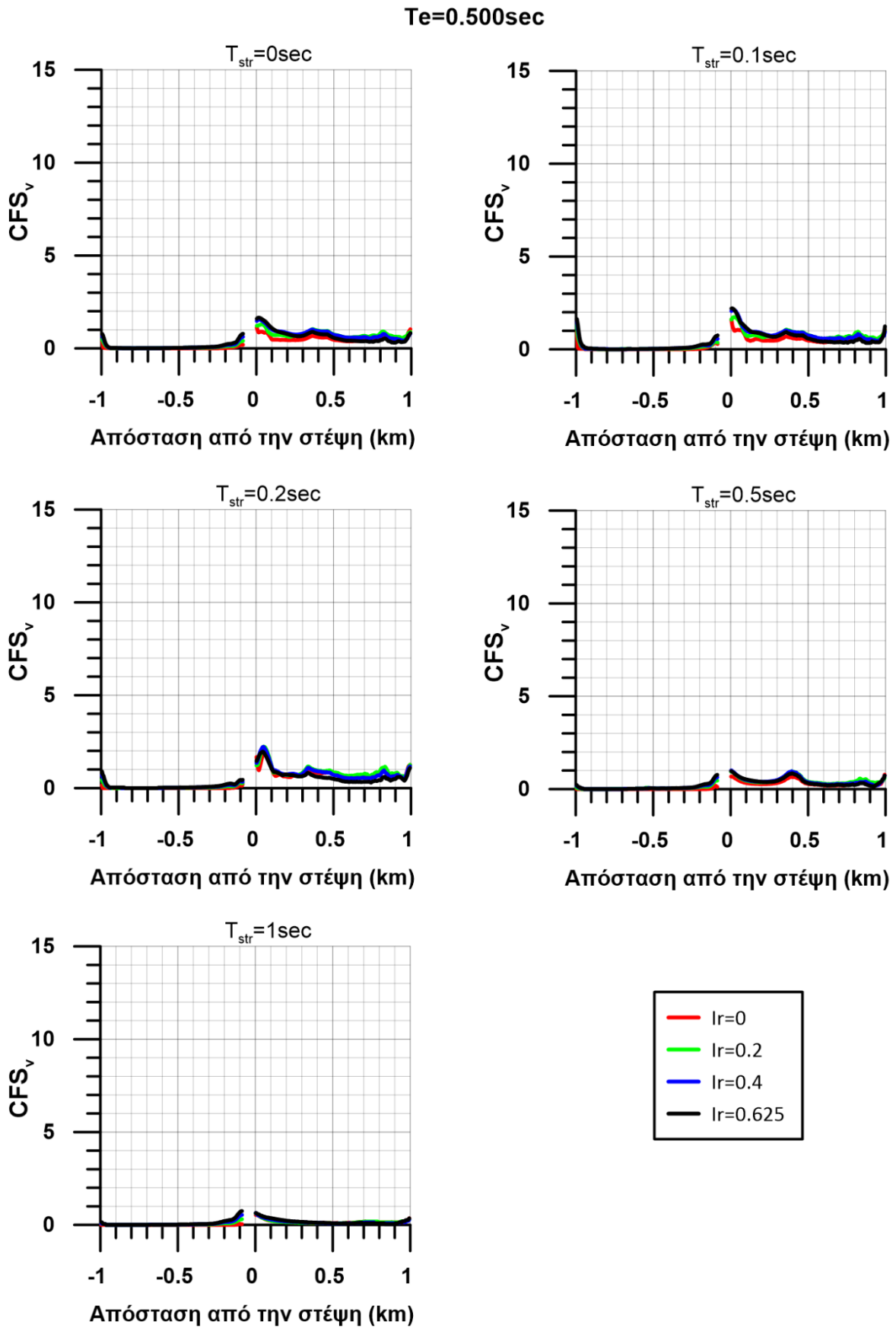
$T_e=0.200\text{sec}$



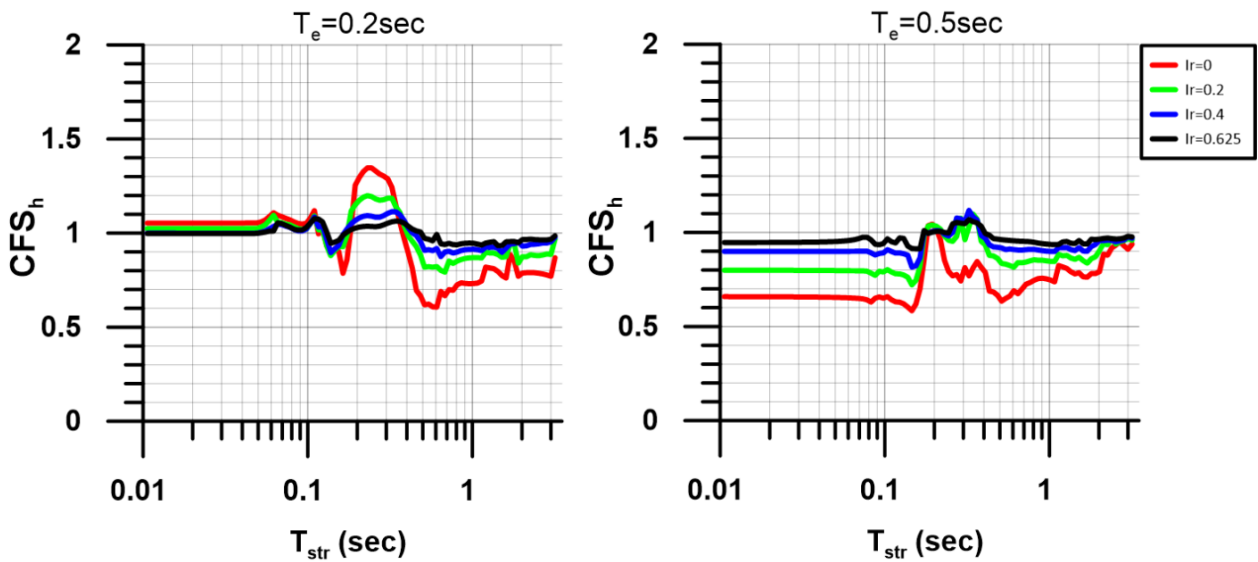
Σχήμα 6.18 Χωρική διαφοροποίηση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθος υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).



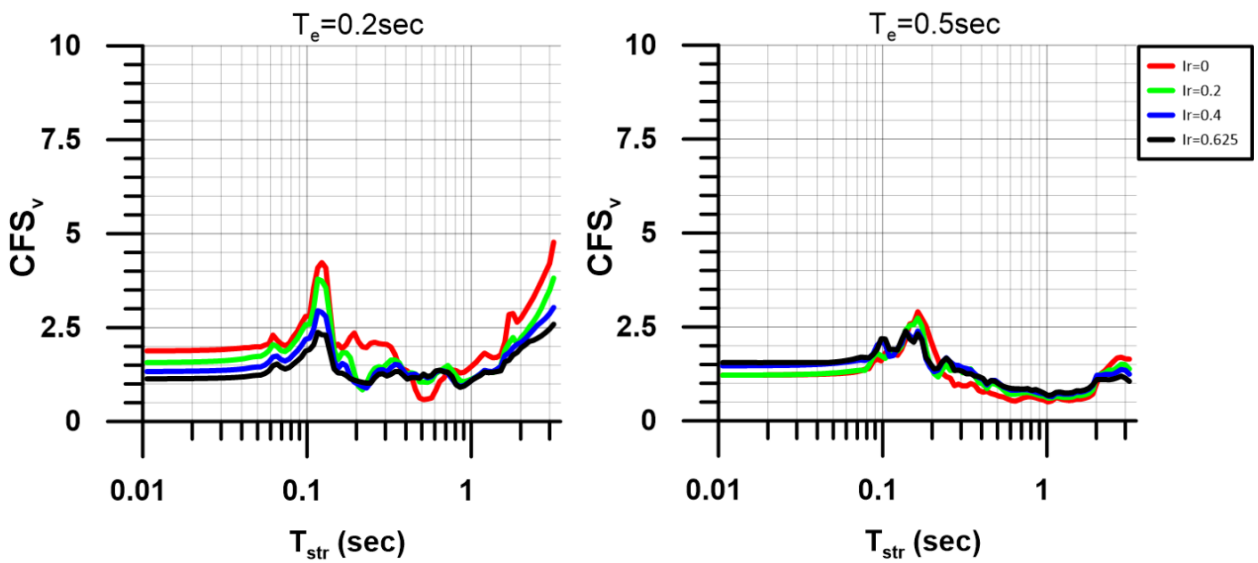
Σχήμα 6.19 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



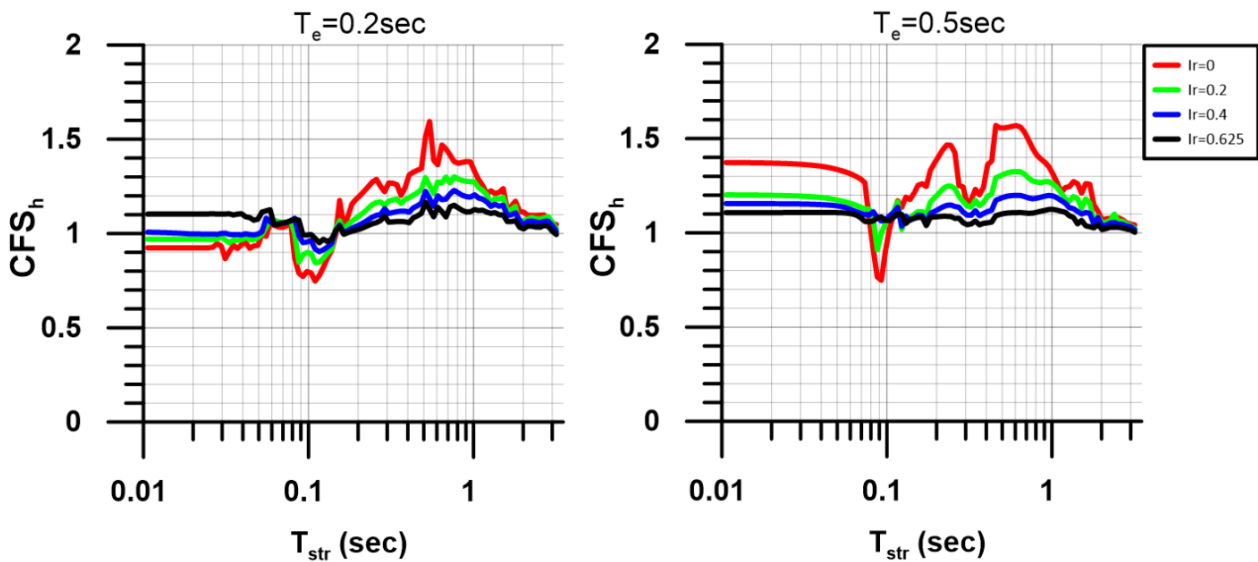
Σχήμα 6.20 Χωρική διαφοροποίηση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



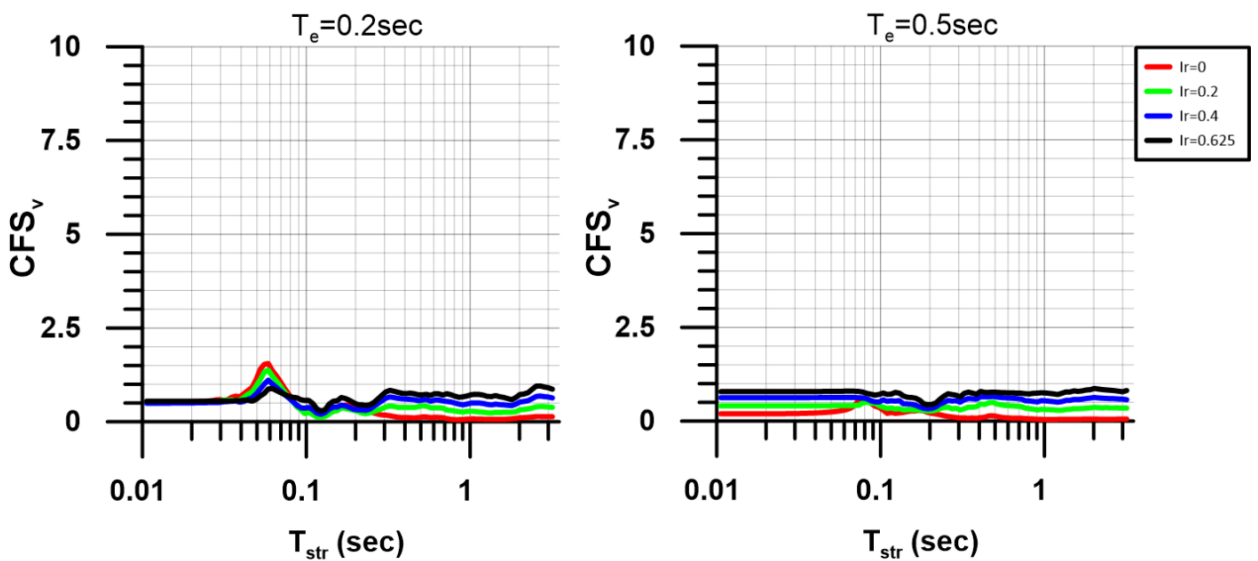
Σχήμα 6.21 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.22 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρानούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).

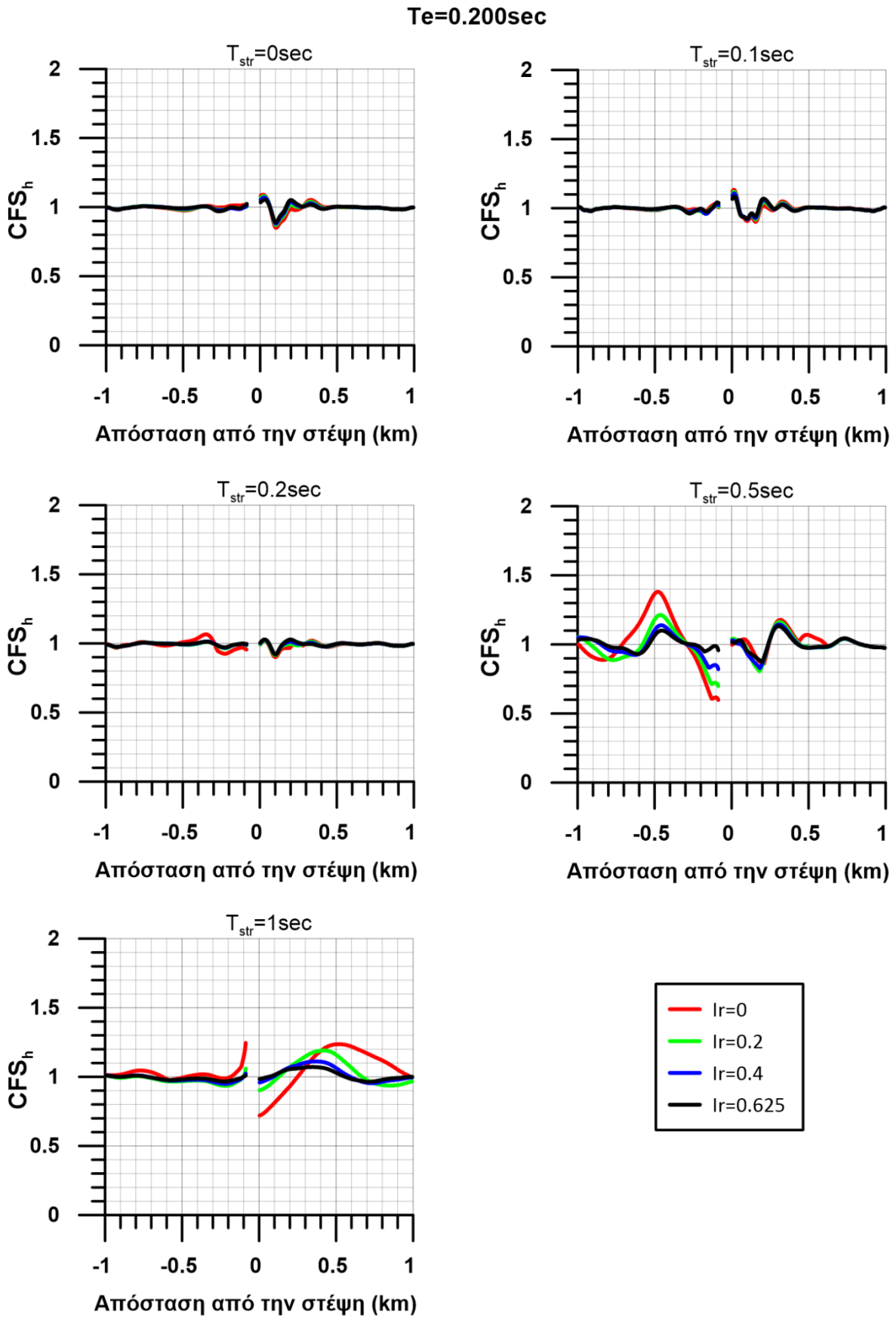


Σχήμα 6.23 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρανούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2\text{ sec}$ (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).

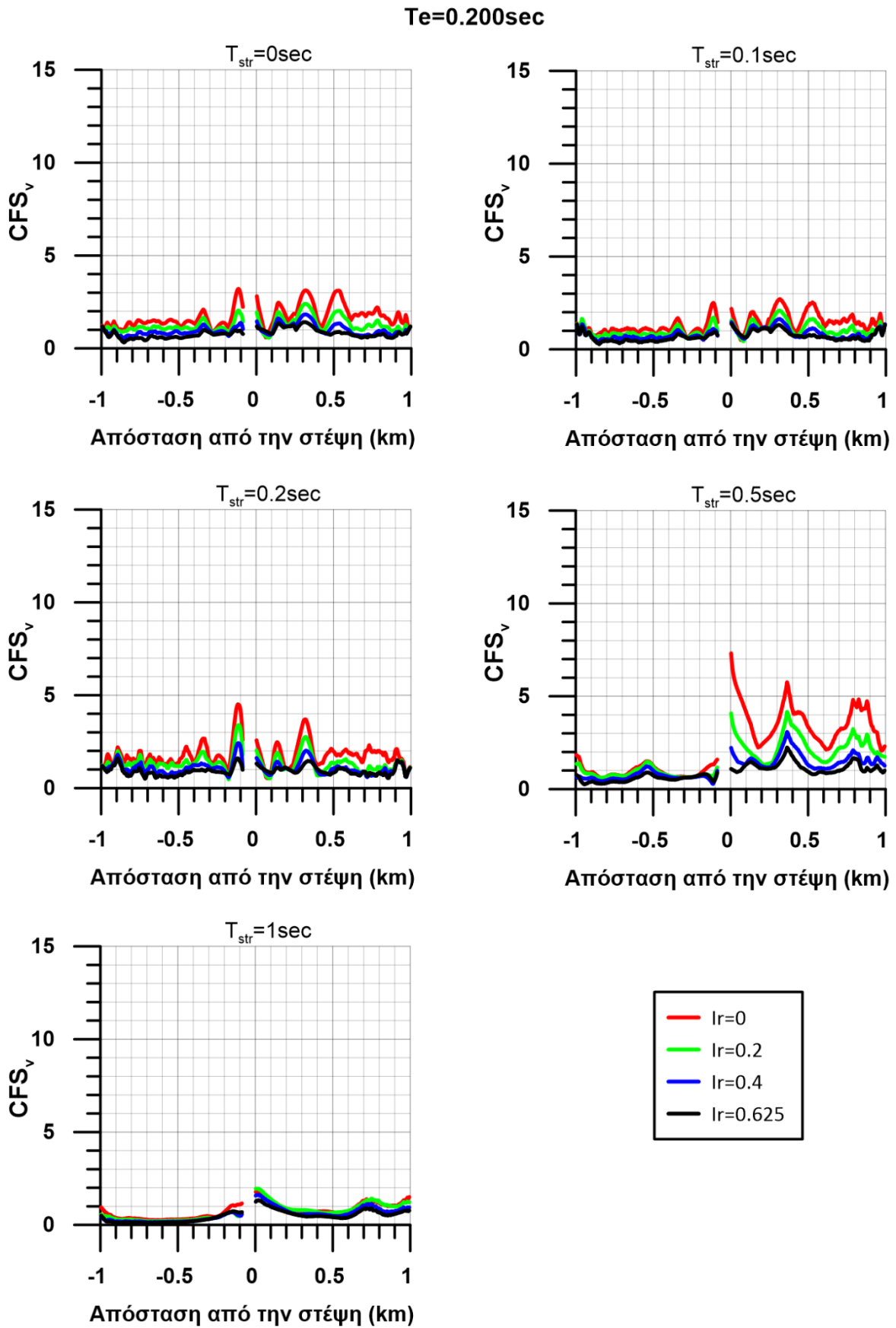


Σχήμα 6.24 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρανούς βάθους υποβάθρου $Z=62.5\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2\text{ sec}$ (υψίσυχνη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχνη, για $H/\lambda=0.2$).

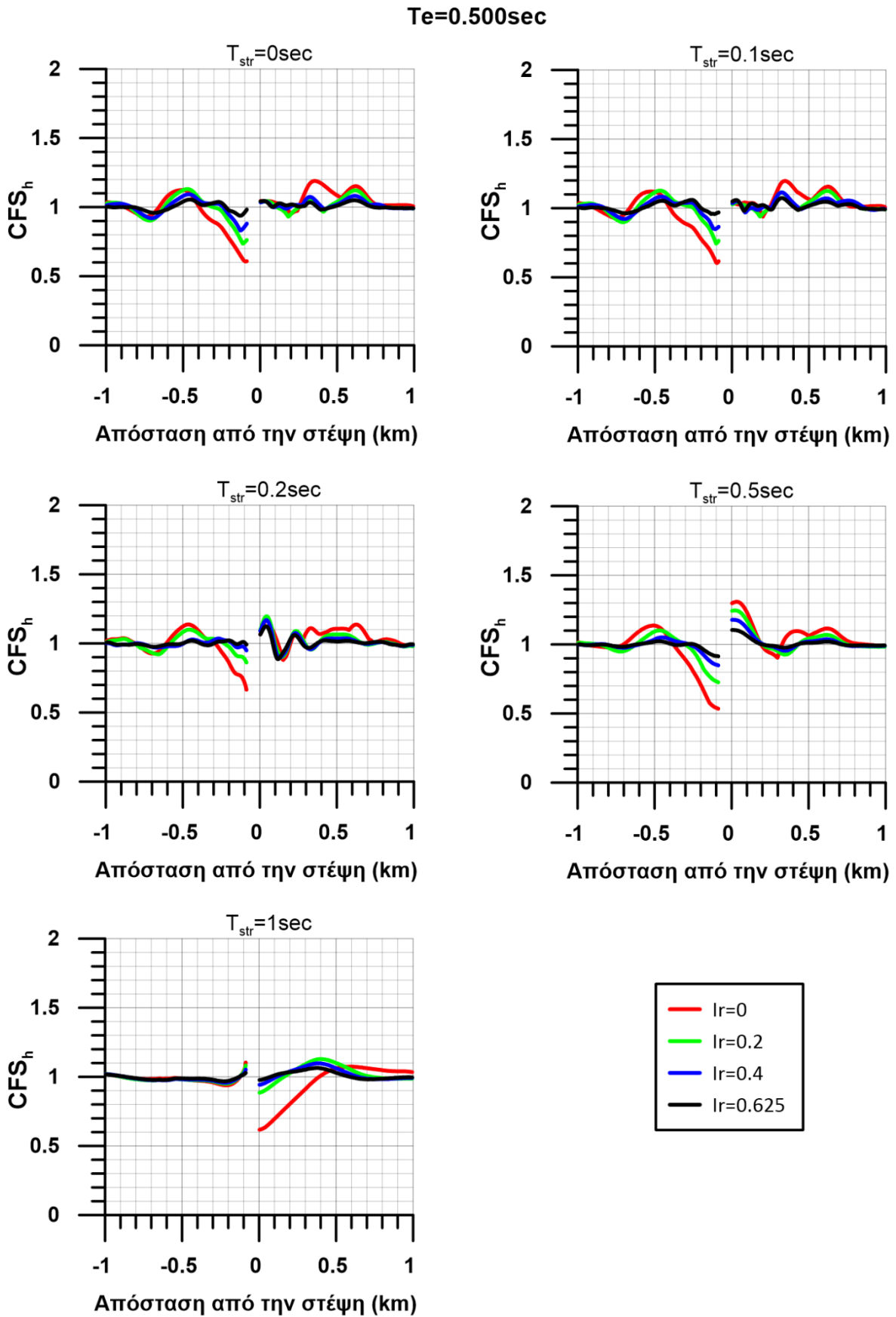
Στην συνέχεια, παρουσιάζονται σε αντίστοιχα σχήματα οι διορθωτικοί συντελεστές της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για το ανομοιογενές πρανές με βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$, ξεκινώντας από τον πρώτο τύπο σχημάτων (χωρική διαφοροποίηση, **Σχήματα 6.25 έως 6.28**) και συνεχίζοντας στον δεύτερο (σε «σημαντικές» θέσεις, **Σχήματα 6.29 και 6.32**).



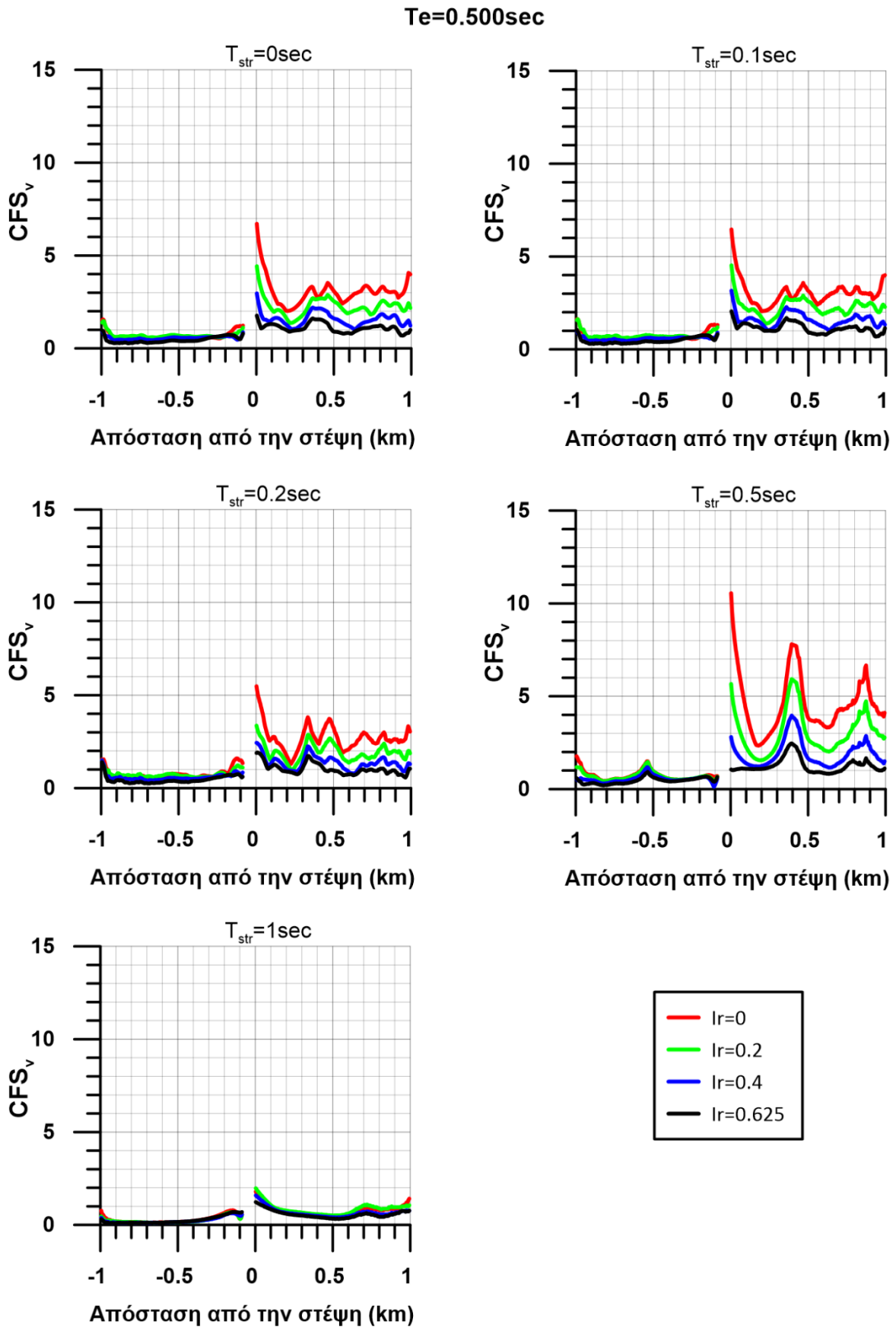
Σχήμα 6.25 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσποζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).



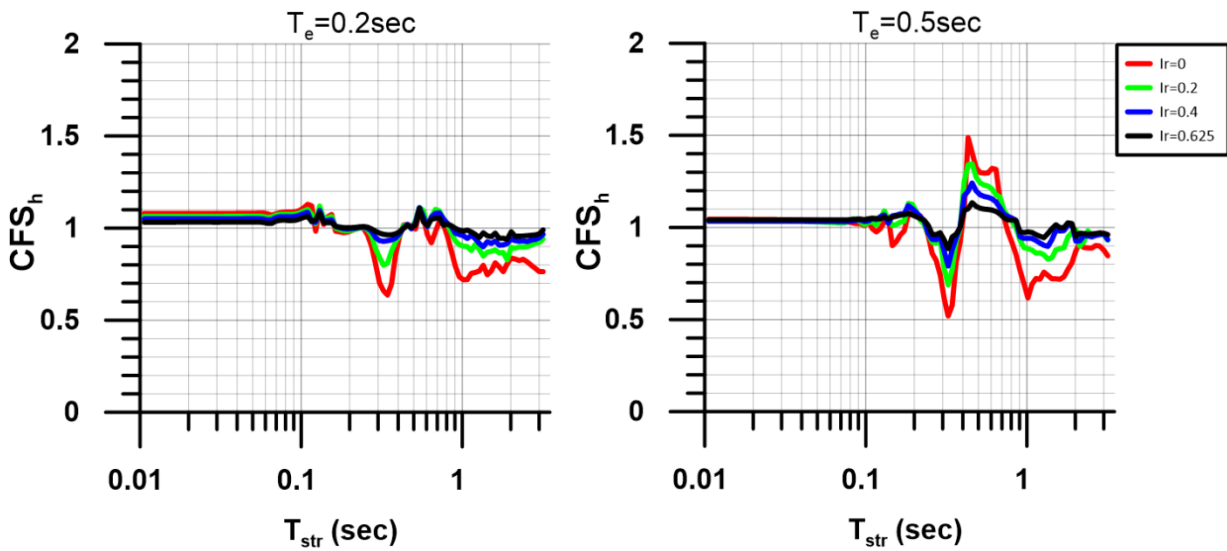
Σχήμα 6.26 Χωρική διαφοροποίηση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.200\text{sec}$ (υψίσυχνη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.5$).



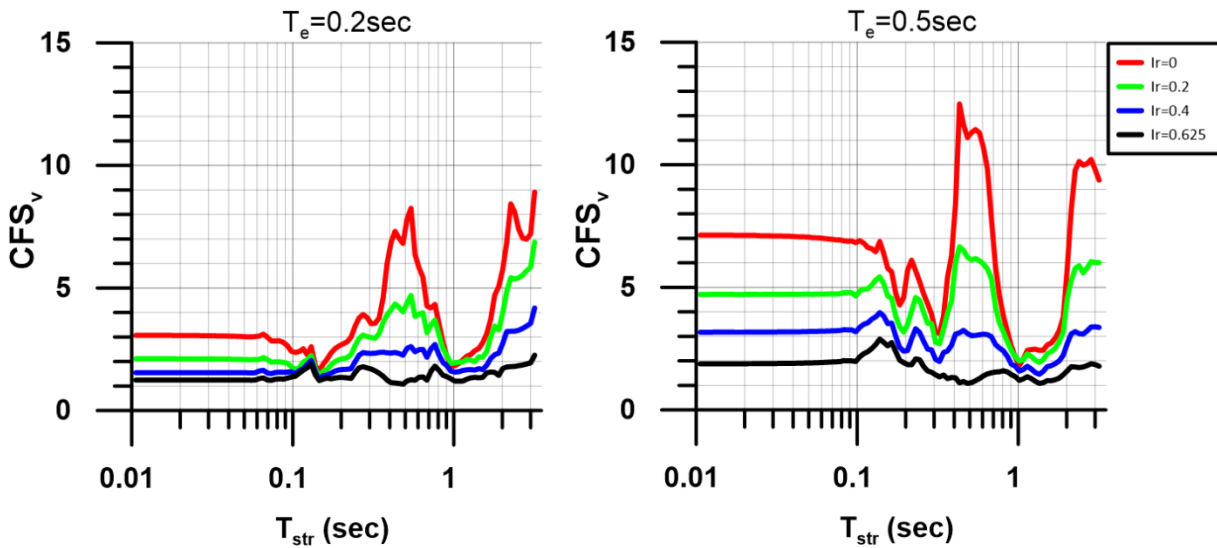
Σχήμα 6.27 Χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



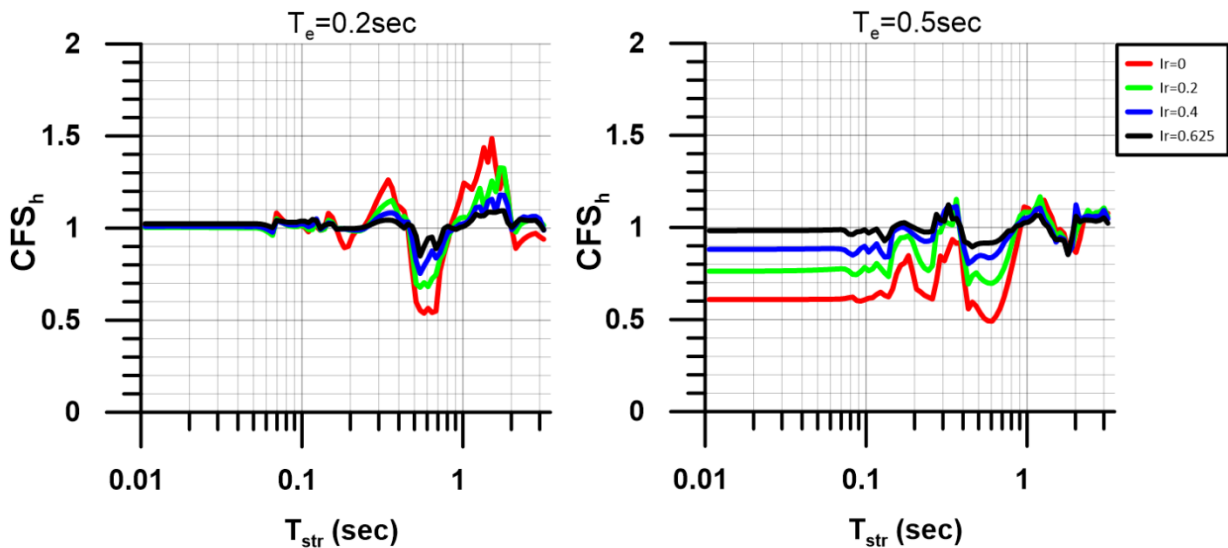
Σχήμα 6.28 Χωρική διαφοροποίηση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας του διορθωτικού συντελεστή φασματικής επιδείνωσης για κατασκευές ιδιοπεριόδου $T_{str}=0, 0.1, 0.2, 0.5$ και 1sec (και απόσβεσης $\zeta=5\%$), για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_r όπως προέκυψαν για ανομοιογενές πρανές βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ υπό διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.500\text{sec}$ (χαμηλόσυχη, που αντιστοιχεί σε $H/\lambda=0.2$).



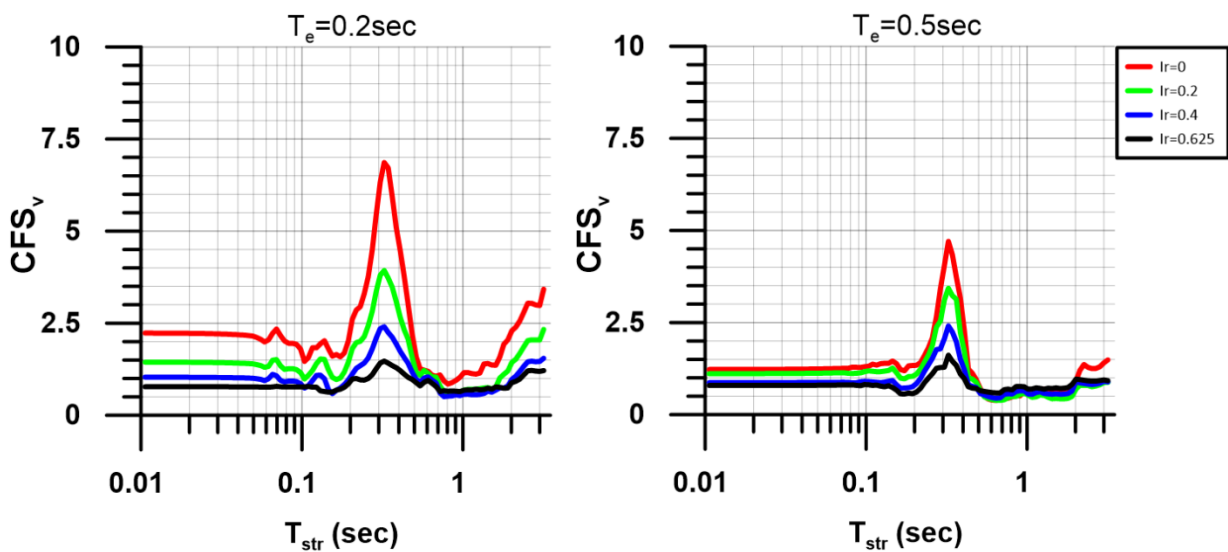
Σχήμα 6.29 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρανούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.30 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη ανομοιογενούς πρανούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.23 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της οριζόντιας επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρτανούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπτόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).



Σχήμα 6.24 Διορθωτικός συντελεστής της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης της παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης (για κατασκευή απόσβεσης $\zeta=5\%$) για όλες τις τιμές του λόγου εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα ανομοιογενούς πρτανούς βάθους υποβάθρου $Z=125m$, κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και υπό διεγέρσεις με δεσπτόζουσα περίοδο $T_e=0.2$ sec (υψίσυχη, για $H/\lambda=0.5$) και 0.5 sec (χαμηλόσυχη, για $H/\lambda=0.2$).

Από τα **Σχήματα 6.17 έως 6.24** προκύπτει η επίδραση των σημαντικών παραμέτρων αλλά και η χωρική διαφοροποίηση του διορθωτικού συντελεστή για την οριζόντια και παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα της τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης υπό μη-αρμονική διέγερση, η οποία όμως προκύπτει από επεξεργασίας πραγματικής καταγραφής (Σεπόλια, 1999). Από τη μελέτη των παραπάνω σχημάτων προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό συμπίπτουν με τα αντίστοιχα του Κεφαλαίου

5 για τον διορθωτικό συντελεστή CFS_h της τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης:

- Όπως προκύπτει οι ανά θέση τιμές των CFS_h και CFS_v εκτός από το λόγο εμπέδησης I_R , το βάθος υποβάθρου Z και τη δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης T_e εξαρτώνται επίσης και από την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης της κατασκευής T_{str} , ενώ δεν προκύπτει εξάρτηση από το κανονικοποιημένο ύψος πρानούς H/λ .
- Επιβεβαιώνεται η παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου, σύμφωνα με την οποία το φαινόμενο τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης είναι εντονότερο για μικρότερες τιμές του λόγου εμπέδησης I_R .
- Από την χωρική διαφοροποίηση των CFS_h και CFS_v προκύπτει ότι η μέγιστες τιμές δεν εμφανίζονται απαραίτητα στις «σημαντικές» θέσεις στέψης και πόδα. Ωστόσο στις θέσεις αυτές εμφανίζονται πάντα τιμές χαρακτηριστικές του αναμενόμενου εύρους διακύμανσης ανά περίπτωση, γεγονός που δικαιολογεί την επιλογή των θέσεων αυτών για περαιτέρω επεξεργασία.
- Οι τιμές του CFS_h εμφανίζουν μικρό και σταθερό, μεταξύ των αποτελεσμάτων διαφορετικών αναλύσεων, εύρος μεταβολής (περί το 1.0) όπου συγκεκριμένα κυμαίνεται μεταξύ του 0.5 και 1.5. Αντίθετα οι τιμές του CFS_v μπορούν να γίνουν πολύ μικρότερες (π.χ. 0.1) και πολύ μεγαλύτερες (π.χ. 10) από το 1.0. Αυτό το πελώριο εύρος τιμών της CFS_v πιθανότατα οφείλεται στις πολύ μικρές τιμές της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης για ομοιογενές πρानές ($I_R=1$). Ως εκ τούτου, η έμφαση στην επόμενη παράγραφο θα περιοριστεί στην ποσοτικοποίηση μόνο του διορθωτικού συντελεστή CFS_h .

6.4. Ποσοτικοποίηση του διορθωτικού συντελεστή CFS_h

Με την εισαγωγή του διορθωτικού συντελεστή στοχεύεται η απομόνωση της επίδρασης του υποβάθρου στην τοπογραφική φασματική επιδείνωση. Ωστόσο, η ενδοσιμότητα του υποβάθρου που ποσοτικοποιείται από τον λόγο εμπέδησης I_R αποτελεί την σημαντικότερη παράμετρο και καθορίζει την ένταση του φαινομένου. Συνεπώς, με στόχο την ποσοτικοποίηση της τιμής του συντελεστή CFS_h υιοθετείται και πάλι η ακόλουθη απλή σχέση ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R , ακριβώς αντίστοιχη με εκείνη του Κεφαλαίου 5:

$$CFS_h(T_{str}) = I_R^{-a_s(T_{str})} \quad (6.3)$$

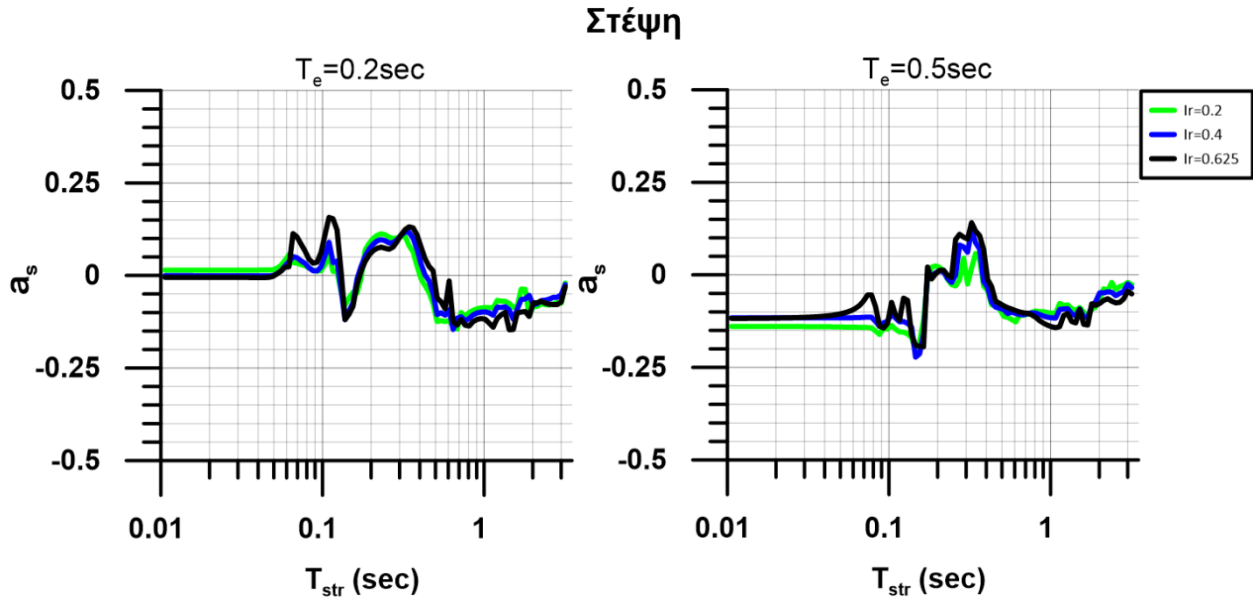
όπου a_s είναι ένας εκθέτης που μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές, και ως συνάρτηση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} . Στην συνέχεια, και κατ' αντιστοιχία με την επεξεργασία του Κεφαλαίου 5, πραγματοποιήθηκε ποσοτικοποίηση της τιμής του εκθέτη a_s με βάση τα αποτελέσματα για τις «σημαντικές» θέσεις της στέψης και του πόδα. Για το σκοπό αυτό η σχέση 6.3 μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$a_s(T_{str}) = - \frac{\text{Log}(CFS_h(T_{str}))}{\text{Log}(I_R)} \quad (6.4)$$

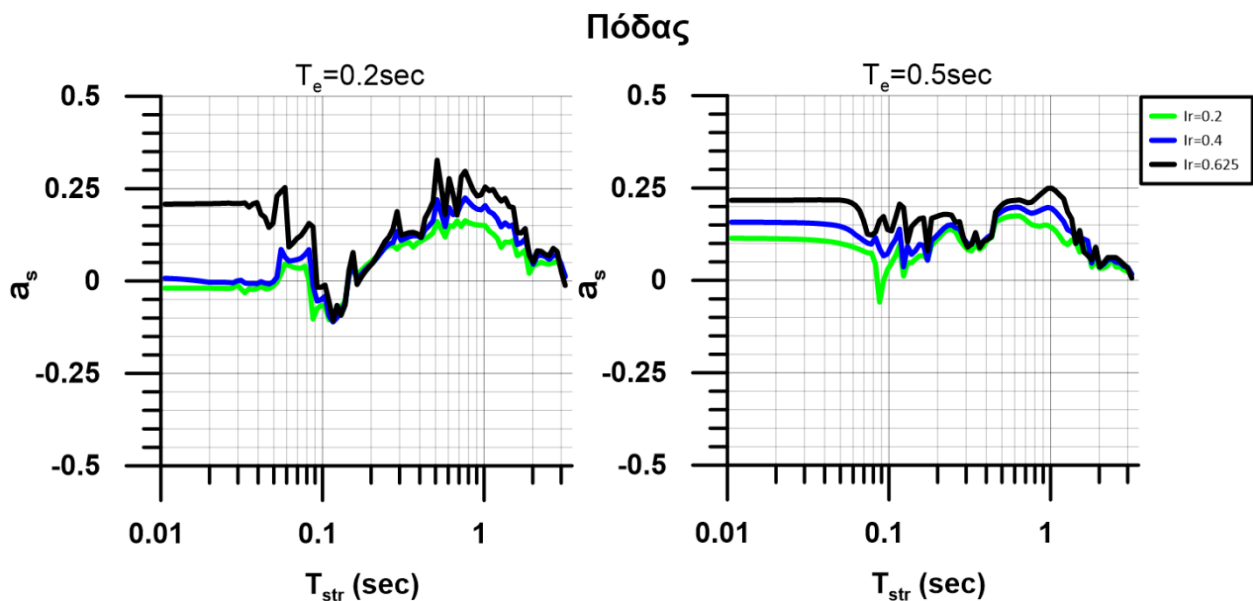
Σύμφωνα με τη σχέση 6.4, θετικές τιμές του εκθέτη a_s αντιστοιχούν σε ενισχυτική επίδραση της σύζευξης μεταξύ εδαφικής και τοπογραφικής οριζόντιας φασματικής επιδείνωσης, αρνητικές τιμές του εκθέτη σε απομειωτική επίδραση, ενώ για $a_s = 0$ προκύπτει $CFS_h = 1.0$, δηλαδή η θεώρηση ομοιογενούς πρανούς. Επίσης είναι φανερό ότι με βάση την σχέση 6.4 συντελεστής a_s για άκαμπτο υπόβαθρο (όπου ο συντελεστής

εμπέδησης λαμβάνει μηδενική τιμή) δεν ορίζεται. Αυτό όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο Κεφάλαιο δεν θεωρείται περιορισμός στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς η υπόθεση άκαμπτου βράχου είναι θεωρητική παραδοχή και δεν υφίσταται στη πραγματικότητα.

Παρακάτω, στα **Σχήματα 6.25 και 6.26** παρουσιάζεται ο εκθέτης a_s ως συνάρτηση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} , για τη στέψη και τον πόδα ανομοιογενούς πρσανούς με βάθος υποβάθρου $Z=62.5m$. Διαφορετικού χρώματος καμπύλες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για διαφορετικές τιμές του λόγου εμπέδησης I_R .

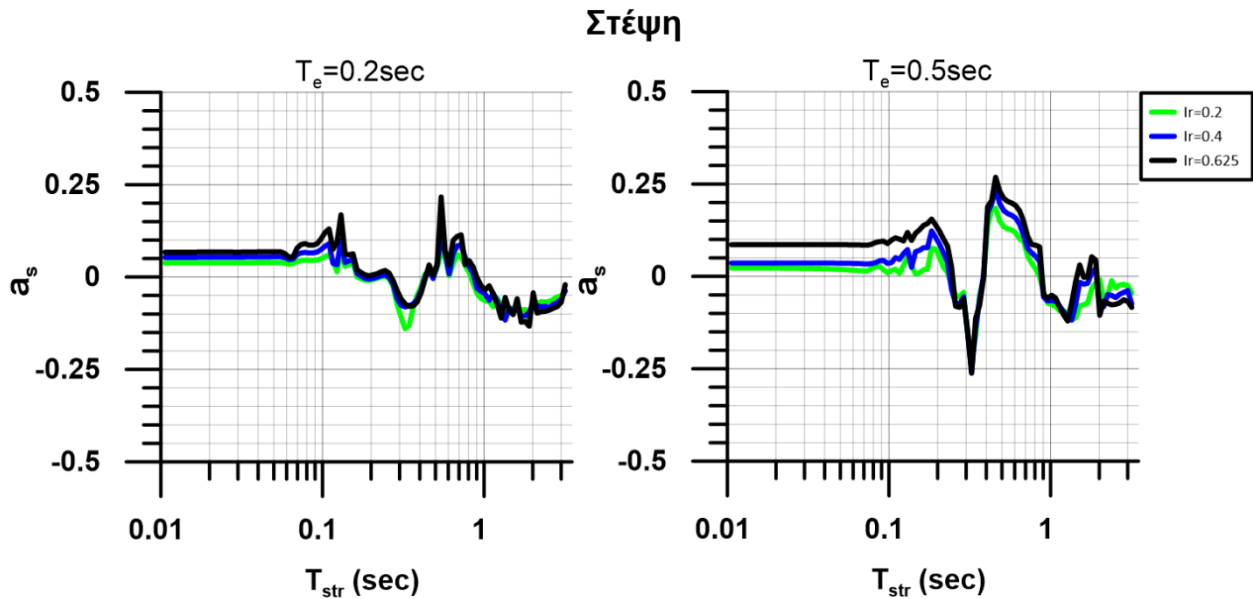


Σχήμα 6.25 Επίδραση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} (με απόσβεση κατασκευής $\zeta=5\%$) στον εκθέτη a_s που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης CFS_h ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$ υπό μη-αρμονική διέγερση δεσπτόζουσας περιόδου $T_e=0.2sec$ και $T_e=0.5sec$.

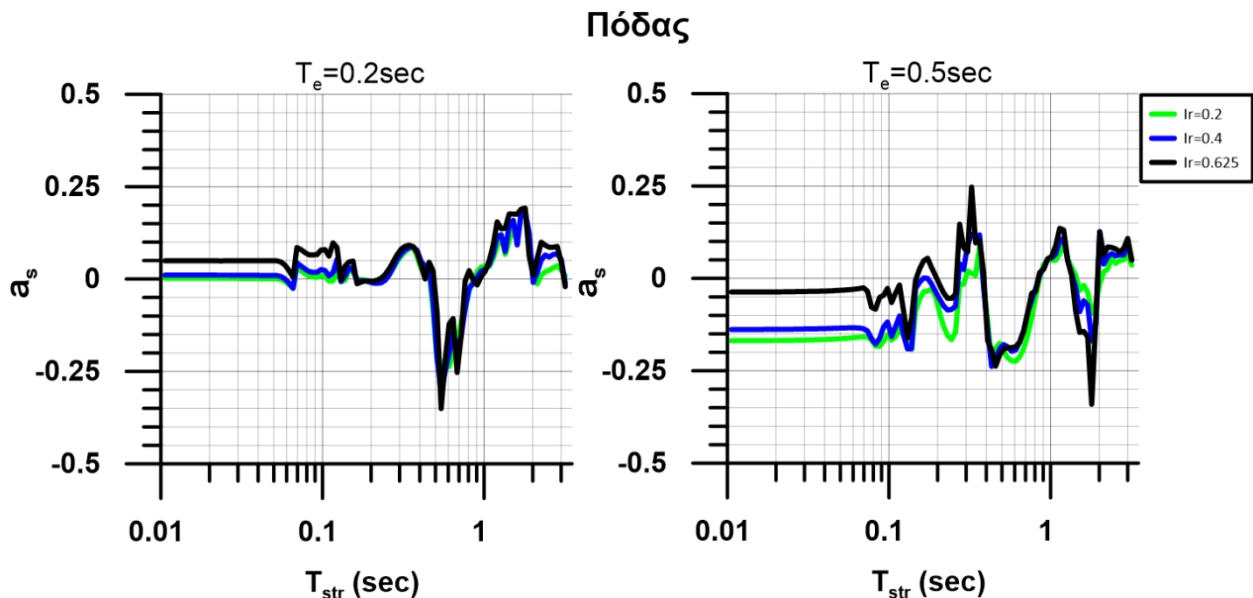


Σχήμα 6.26 Επίδραση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} (με απόσβεση κατασκευής $\zeta=5\%$) στον εκθέτη a_s που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης CFS_h ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα πρσανούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50m$ και βάθους υποβάθρου $Z=62.5m$ υπό μη-αρμονική διέγερση δεσπτόζουσας περιόδου $T_e=0.2sec$ και $T_e=0.5sec$.

Το κάθε ένα από τα σχήματα αυτά έχει ξεχωριστό υπο-σχήμα για τις διαφορετικές δεσπόζουσες περιόδους διέγερσης $T_e = 0.2\text{sec}$ και 0.5sec , που αντιστοιχούν αδρά σε υψίσυχνη και χαμηλόσυχνη διέγερση. Στη συνέχεια, στα **Σχήματα 6.27 και 6.28** παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για ανομοιογενές πρηνές με βάθος υποβάθρου $Z=125\text{m}$.



Σχήμα 6.27 Επίδραση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} (με απόσβεση κατασκευής $\zeta=5\%$) στον εκθέτη a_s που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης CFS_h ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στη στέψη πρηνούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$ υπό μη-αρμονική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.2\text{sec}$ και $T_e=0.5\text{sec}$.



Σχήμα 6.28 Επίδραση της ιδιοπεριόδου κατασκευής T_{str} (με απόσβεση κατασκευής $\zeta=5\%$) στον εκθέτη a_s που καθορίζει το διορθωτικό συντελεστή της φασματικής τοπογραφικής επιδείνωσης CFS_h ως προς το λόγο εμπέδησης I_R ακριβώς στον πόδα πρηνούς κλίσης $i=30^\circ$, ύψους $H=50\text{m}$ και βάθους υποβάθρου $Z=125\text{m}$ υπό μη-αρμονική διέγερση δεσπόζουσας περιόδου $T_e=0.2\text{sec}$ και $T_e=0.5\text{sec}$.

Με βάση τα αποτελέσματα στα **Σχήματα 6.25 έως 6.28**, η σύζευξη μεταξύ εδαφικής και τοπογραφικής φασματικής επιδείνωσης εξαρτάται, εκτός από το βάθος υποβάθρου Z , την δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης T_e και τον λόγο εμπέδησης I_R , σε μεγάλο βαθμό και από

την ιδιοπερίοδο της κατασκευής T_{str} . Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό και με την περιορισμένη σε έκταση παραμετρική ανάλυση που παρουσιάζεται εδώ καθιστά δυσχερή την εξαγωγή πλήρων και ποσοτικά επακριβών συμπερασμάτων ως προς τον εκθέτη a_s . Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα αυτά θεωρείται ότι αρκούν για τα κάτωθι γενικά συμπεράσματα:

- Ο εκθέτης a_s παίρνει παρόμοιες, σχεδόν ταυτόσημες, τιμές ανά ιδιοπερίοδο κατασκευής T_{str} ανεξαρτήτως λόγου εμπέδησης I_R , ενώ διαφοροποιείται ανά «σημαντική» θέση, βάθος υποβάθρου Z και δεσπόζουσα περίοδο διέγερσης T_e . Εξαιρέση αποτελούν κάποιες διαφοροποιήσεις ανά I_R για πολύ μικρές ιδιοπεριόδους κατασκευής T_{str} ($\leq 0.1\text{sec}$). Κατά συνέπεια μπορεί να θεωρηθεί ότι, σε γενικές γραμμές, ο εκθέτης a_s δείχνει ανεξάρτητος του λόγου εμπέδησης I_R .
- Ο εκθέτης a_s λαμβάνει τιμές από περίπου -0.3 έως 0.3, εύρος το οποίο ταυτίζεται με εκείνο για τον εκθέτη a που προκύπτει από την πρόταση του Κεφαλαίου 5 (**Σχήματα 5.22 και 5.23**) και καθορίζει τον διορθωτικό συντελεστή CF_h για την τοπογραφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης

Η αριθμητική διερεύνηση του φαινομένου της σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε ανομοιογενή πρηνή αποτέλεσε το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η ανομοιογένεια που διερευνήθηκε αφορά στην ύπαρξη διεπιφάνειας με πιο στιβαρό βραχώδες υπόβαθρο σε κάποιο βάθος υπό τον πόδα του πρηνούς. Ακολούθως παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων σεισμικής απόκρισης ανομοιογενών μονοκλινών πρηνών υπό αρμονική διέγερση:

- Η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σχετίζεται άμεσα με την θεμελιώδη περίοδο (1Δ) ταλάντωσης T_s της εκάστοτε εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο (διαφορετική σε πόδα και στέψη). Συγκεκριμένα, ακριβώς στον πόδα και στην στέψη ενός ανομοιογενούς μονοκλινούς πρηνούς, για τιμές $T_s/T_e = 1$ και 3 (όπου T_e η δεσπόζουσα περίοδος της διέγερσης) όπου αναμένεται 1Δ εδαφική ενίσχυση, παρατηρείται απομείωση της τοπογραφικής επιδείνωσης συγκριτικά με εκείνη για ομοιογενές πρηνές. Αντιθέτως για ενδιάμεσες τιμές περιόδων όπου η 1Δ εδαφική ενίσχυση είναι μικρότερη (π.χ. για $T_s/T_e = 2$), η τοπογραφική επιδείνωση ενισχύεται, ενώ για υψίσυχνες διεγέρσεις ή για πολύ μεγάλο βάθος υποβάθρου (π.χ. $T_s/T_e > 5$) η σύζευξη παύει να είναι σημαντική, και η ύπαρξη υποβάθρου πάει να καθορίζει την τοπογραφική επιδείνωση.
- Ομοίως, και για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα της επιδείνωσης προκύπτει σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης με την θεμελιώδη περίοδο (1Δ) ταλάντωσης T_s της εκάστοτε εδαφικής στρώσης πάνω από το υπόβαθρο (διαφορετική σε πόδα και στέψη), αλλά διαφορετικής μορφής. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σημαντική ενίσχυση της τιμής της επιδείνωσης συγκριτικά με εκείνη για ομοιογενές πρηνές όταν $T_s/T_e = 2$, ενώ για τις υπόλοιπες περιόδους η επιδείνωση για ανομοιογενή πρηνή είναι συγκρίσιμη με εκείνη για ομοιογενή.
- Η επίδραση του υποβάθρου στην επιδείνωση τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης φαίνεται να γίνεται εντονότερη όσο πιο μικρός είναι ο λόγος εμπέδησης I_R . Κατά συνέπεια προκύπτει ότι τα δημοσιευμένα αποτελέσματα για ομοιογενή πρηνή μάλλον υποεκτιμούν την τοπογραφική επιδείνωση. Διασαφηνίζεται εδώ, ότι η δυσμησία του εδάφους σε πρηνή χωρίς προβλήματα ευστάθειας δεν μπορεί να είναι μικρή, οπότε δεν αναμένονται στη φύση πολύ μικρές τιμές του I_R . Συνεπώς, η θεώρηση ομοιογενούς πρηνούς δεν κρίνεται μη-ρεαλιστική στις περισσότερες των περιπτώσεων στη φύση.
- Η χωρική διαφοροποίηση της επιδείνωσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε ανομοιογενή πρηνή είναι συμβατή με την χωρική διαφοροποίηση του ομοιογενούς πρηνούς, αλλά με διαφορετικό εύρος τιμών ενίσχυσης και απομείωσης λόγω της σύζευξης με την εδαφική επιδείνωση.
- Η επίδραση του υποβάθρου στην τοπογραφική επιδείνωση απομειώνεται (τείνοντας στο μηδέν) με αύξηση του βάθους του, όσο και για ακραίες τιμές της δεσπόζουσας περιόδου διέγερσης (πολύ μικρές ή πολύ μεγάλες).

Έπειτα από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 5 όπου προέκυψαν και οι προτάσεις εκτίμησης του εκθέτη a (που καθορίζει τον διορθωτικό συντελεστή της τοπογραφικής επιδείνωσης CF_h της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R) και της «περιβάλλουσας» σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης σε ανομοιογενή πρηνή, εξήχθησαν τα επιπρόσθετα κάτωθι συμπεράσματα:

- Η μέγιστη επίδραση της σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης δεν προκύπτει απαραίτητα ακριβώς σε πόδα ή στέψη, όπου επικεντρώθηκε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά, οι θέσεις αυτές είναι τοπογραφικά σαφείς και η απόκρισή τους δίνει χαρακτηριστικές τιμές ως προς το αναμενόμενο εύρος της τοπογραφικής επιδείνωσης στη γειτονιά του πρηνούς. Συνεπώς, οι θέσεις αυτές αποτελούν ικανοποιητικά σημεία αναφοράς.
- Από την παραμετρική διεύρυνση των ορίων της πρότασης εκτίμησης του εκθέτη a προέκυψε ότι το φαινόμενο της σύζευξης είναι ανεξάρτητο του κανονικοποιημένου ύψους πρηνούς H/λ , καθώς από τα αποτελέσματα δεν προέκυψε επίδραση του ύψους πρηνούς H ή της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων V_s . Επιπλέον διαφαίνεται ότι το φαινόμενο δεν επηρεάζεται ούτε από την άλλη σημαντική παράμετρο της τοπογραφικής επιδείνωσης, δηλαδή την κλίση i του πρηνούς.
- Η προτεινόμενη «περιβάλλουσα» σχεδιασμού για τη χωρική διαφοροποίηση της τοπογραφικής επιδείνωσης σε ανομοιογενή πρηνή δίνει ικανοποιητική πρόβλεψη της συζευγμένης οριζόντιας επιδείνωσης κατά μήκος της επιφάνειας του πρηνούς τόσο στην περιοχή μπροστά από τον πόδα όσο και πίσω από την στέψη. Επιπλέον διαφαίνεται η χρησιμότητα της πρότασης αυτής, καθώς η αντίστοιχη «περιβάλλουσα» σχεδιασμού των Bouckovalas & Papadimitriou (2005, 2006) δείχνει αξιόπιστη μόνο για τα ομοιογενή πρηνή και για τα οποία προτάθηκε.

7.2. Σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης ελαστικού φάσματος απόκρισης

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε περιορισμένη αριθμητική διερεύνηση της σύζευξης εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης της επιτάχυνσης. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν αριθμητικές αναλύσεις για τη σεισμική απόκριση ανομοιογενών μονοκλινών πρηνών με μη-αρμονική διέγερση (που προέκυψε από επεξεργασία πραγματικής καταγραφής στα Σετόλια (1999)). Τα αποτελέσματα αυτής οδήγησαν στα κάτωθι ενδεικτικά συμπεράσματα:

- Όπως και για αρμονική διέγερση, η σύζευξη εδαφικής και τοπογραφικής επιδείνωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης σχετίζεται με την θεμελιώδη συχνότητα ($1/\Delta$) ταλάντωσης της εκάστοτε εδαφικής στρώσης T_s πάνω από το υπόβαθρο (διαφορετικό σε στέψη και πόδα). Αντίστοιχα, η επίδραση του υποβάθρου στην φασματική επιδείνωση τόσο σε όρους ενίσχυσης όσο και σε όρους απομείωσης φαίνεται να γίνεται εντονότερη όσο μειώνεται ο λόγος εμπέδησης I_R .
- Επιπλέον, η χωρική διαφοροποίηση της συζευγμένης φασματικής επιδείνωσης για κάθε ιδιοπερίοδο κατασκευής T_{str} είναι σε γενικές γραμμές αντίστοιχη με εκείνη για ομοιογενή πρηνή αλλά με διαφορετικό εύρος τιμών, αντίστοιχα με ότι προκύπτει και για αρμονική διέγερση.
- Όμως, επιπλέον των ανωτέρω, η σύζευξη της φασματικής επιδείνωσης επηρεάζεται σημαντικά και από την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης της κατασκευής T_{str} .

- Για το ελαστικό φάσμα απόκρισης της οριζόντιας επιτάχυνσης μπορεί να οριστεί και πάλι διορθωτικός συντελεστής τοπογραφικής επιδείνωσης CFS_h ως συνάρτηση του λόγου εμπέδησης I_R , οι τιμές του οποίου εξαρτώνται και από την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης της κατασκευής T_{str} , αλλά ως εύρος κυμαίνονται στο εύρος του αντίστοιχου συντελεστή CF_h για τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση.
- Για την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα της φασματικής επιδείνωσης σε ανομοιογενή πρηνή δεν παρατηρείται σημαντική απομείωση της επιδείνωσης συγκριτικά με εκείνη για ομοιογενές πρηνές.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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
2. 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
3. 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
4. Geli L, Bard P-Y, Jullien B. The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results. Bulletin of the Seismological Society of America 1988;78(No. 1):42–63
5. Pedersen H, Le Brun B, Hatzfield D, Campillo M, Bard P-Y. Ground motion amplitude across ridges. Bulletin of the Seismological Society of America 1994;84(No. 6):1786–800.
6. 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)
7. 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)