

Η Επιρροή της Ιζηματογενούς Λεκάνης της Θεσσαλονίκης στη Σεισμική Κίνηση

The effect of Thessaloniki's sedimentary valley in seismic motion

ΜΑΚΡΑ, Κ. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Δόκιμος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ
ΡΑΠΤΑΚΗΣ, Δ. Λέκτορας, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ, Α. Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ
ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ, Κ. Καθηγητής, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ -

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα 2Δ θεωρητικής προσομοίωσης της σεισμικής κίνησης σε μία χαρακτηριστική διατομή της ιζηματογενούς λεκάνης της Θεσσαλονίκης. Έμφαση δίνεται στην επιρροή των παραγόμενων επιφανειακών κυμάτων στις πλευρικές ασυνέχειες της λεκάνης στη διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης κατά μήκος της τομής. Από την ανάλυση των θεωρητικών αποτελεσμάτων και τη σύγκρισή τους με καταγραφές αλλά και με αποτελέσματα μονοδιάστατων αναλύσεων προκύπτει ότι τα τοπικά παραγόμενα στις ασυνέχειες της λεκάνης επιφανειακά κύματα ενισχύουν τη σεισμική κίνηση και επιμηκύνουν τη διάρκειά της. Η πρόσθετη αυτή ενίσχυση ποσοτικοποιείται με τη μορφή 2Δ / 1Δ παραγόντων επιβάρυνσης.

ABSTRACT : In this study we present results of 2D numerical modeling of seismic motion along a characteristic cross-section of Thessaloniki's sedimentary valley. Emphasis is given to the effect that the locally generated at the lateral discontinuities surface waves have in seismic motion. Comparison of 2D results are compared with recordings and results from 1D modeling show that locally generated surface waves produce an additional amplification of ground motion and enlargement of its duration with respect to 1D modeling. This extra amplification is quantified with the form of 2D vs 1D aggravation factors

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία της επίδρασης της τοπικής γεωλογίας στην ενίσχυση της σεισμικής διέγερσης είναι ευρέως γνωστή στην τεχνική σεισμολογία και την σεισμική μηχανική. Τα τελευταία 20 χρόνια μεγάλος αριθμός ερευνών αναλώθηκε στην εκτίμηση της σημασίας των διαφόρων παραγόντων που σχετίζονται με τη σεισμική απόκριση μεγάλης κλίμακας γεωλογικών δομών. Παράγοντες όπως η γεωμετρία των ιζηματογενών λεκανών, η αντίθεση (λόγος) της δυσκαμψίας αποθέσεων - βραχώδους υποβάθρου και η εξασθένιση των επιφανειακών κυμάτων που διαδίδονται πλευρικά λόγω φαινομένων περίθλασης στις οριζόντιες επαφές αποθέσεων βράχου, προκαλούν 2Δ και 3Δ φαινόμενα και ενισχύουν επιπροσθέτως την ισχυρή κίνηση.

Παρόλα αυτά υπάρχει πολύς δρόμος ακόμη

να διανυθεί μέχρις ότου οι επιδράσεις των τοπικών συνθηκών στη σεισμική κίνηση συστηματοποιηθούν, γενικευθούν και περιληφθούν στους μελλοντικούς αντισεισμικούς κανονισμούς, μικροζωνικές μελέτες και ιδιαίτερης σημασίας έργα πολιτικού μηχανικού λόγω της ελλιπούς έως ανύπαρκτης γνώσης της εδαφικής δομής σε συνδυασμό με την έλλειψη υψηλής ποιότητας καταγραφών, και της απλής και εύκολης ερμηνείας των αποτελεσμάτων των 1Δ αναλύσεων σε σχέση με τις δυσκολίες που παρουσιάζει αυτή των 2Δ ή ακόμη και 3Δ αναλύσεων. Σε αντιδιαστολή με τις αδυναμίες αυτές, η περίπτωση της Θεσσαλονίκης προσφέρει τη δυνατότητα για μια ολοκληρωμένη μελέτη της σεισμικής απόκρισης που θα έχει ως βάση την ικανοποιητική γνώση της εδαφικής δομής και σεισμικές καταγραφές.

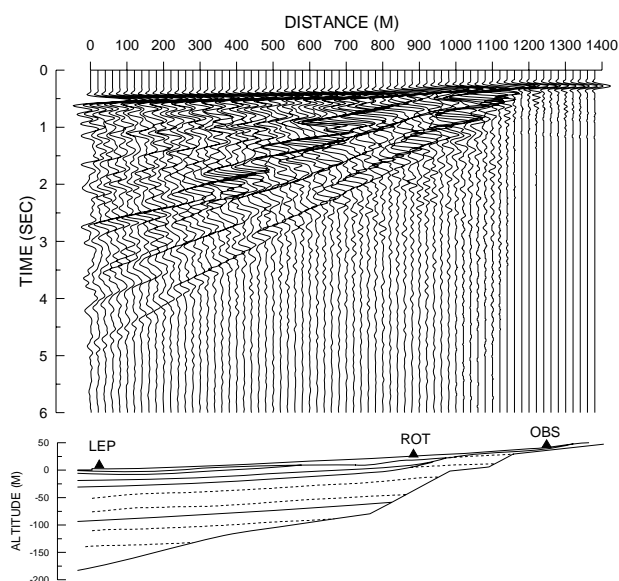
Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα αναλύσεων κυρίως

από θεωρητικές 1Δ και 2Δ προσομοιώσεις για μία συγκεκριμένη περιοχή. Η περιοχή επιλέχθηκε με κριτήρια που προέκυψαν από τη μελέτη συσχέτισης εδαφικών συνθηκών και μακροσκοπικών παρατηρήσεων των συνεπειών του σεισμού του 1978 (Ραπτάκης και συν., 2001). Στη συνέχεια εξετάζεται η εφαρμογή βασικών συμπερασμάτων με όρους αντισεισμικών κανονισμών και πρακτικής προσέγγισης σε έργα Πολιτικού Μηχανικού με σκοπό την εισαγωγή ενός προβληματισμού για τη χρήση ορισμένων οικείων παραμέτρων, όπως είναι τα φάσματα απόκρισης, οι συντελεστές ενίσχυσης, κ.ά.

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

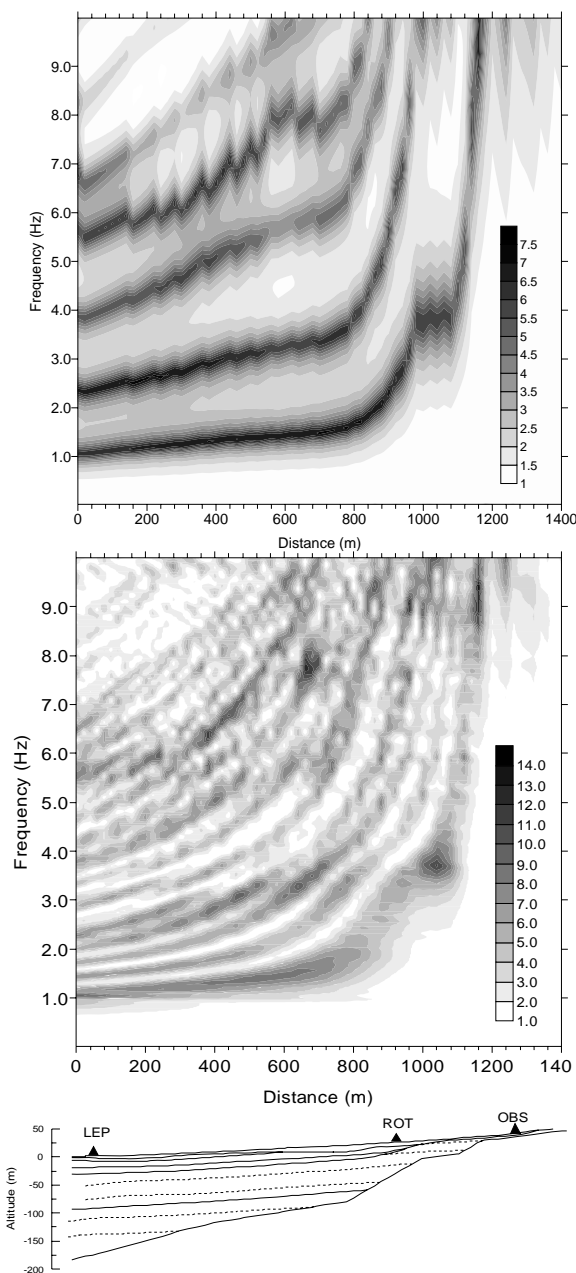
Σε προηγούμενες εργασίες (Raptakis et al. 2004a,b) έχει αποδειχθεί, σε αμφότερα τα πεδία συχνοτήτων και χρόνου, ότι στις επιφανειακές λεκάνες όπως αυτή της Θεσσαλονίκης (ή ακόμη και της Μυγδονίας η οποία μελετήθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό Raptakis et al., 2000, 2005; Chávez-García et al. 2000, και Makra et al. 2001, 2005), προεξάρχον φαινόμενο είναι η πλευρική διάδοση των τοπικά παραγομένων επιφανειακών κυμάτων λόγω φαινομένων περίθλασης στις πλευρικές ασυνέχειες.

Τα κύματα αυτά επιφέρουν πρόσθετη ενίσχυση του πλάτους και επιμήκυνση της διάρκειας διέγερσης σε σχέση με το μονοδιάστατο (1Δ) συντονισμό, που οφείλεται στα κατακόρυφα διαδιδόμενα SH κύματα. Στο σχήμα 1 δίδεται ένα παράδειγμα, στο πεδίο



Σχήμα 1. 2Δ συνθετικές χρονοιστορίες.
Figure 1. 2D synthetics.

του χρόνου, των 2Δ συνθετικών χρονοιστοριών κατά μήκος μιας χαρακτηριστικής 2Δ μηκοτομής κάθετη στην ακτογραμμή και διερχόμενη από ιστορικά μνημεία της πόλης (Λευκός Πύργος, Ροτόντα, ν. Ευαγγελίστριας κ.α). Οι χρονοιστορίες αυτές εκτός από τον πρώτο παλμό που αντιστοιχεί στο κατακόρυφα προσπίπτον S κύμα περιέχουν όλο το κυματικό πεδίο που δημιουργείται στο εσωτερικό των αποθέσεων και κυρίως την πλευρική διάδοση των περιθλώμενων επιφανειακών κυμάτων που γεννώνται τοπικά στις πλευρικές ασυνέχειες του εδαφικού προσωμοιώματος.



Σχήμα 2. Περιγράμματα 1Δ (πάνω) και 2Δ (κάτω) θεωρητικών συναρτήσεων μεταφοράς.
Figure 2. 1D (top) and 2D (bottom) contours of theoretical transfer functions.

Στο πεδίο τιμών των συχνοτήτων, οι διαφορές των 1Δ και 2Δ θεωρητικών συναρτήσεων μεταφοράς ως προς το πλάτος ενίσχυσης και την περιπλοκότητα των μορφών τους είναι καταφανείς, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

Συνεπώς είναι φανερό ότι όταν και εφόσον η γεωλογική δομή είναι περίπλοκη, η μελέτη της σεισμικής απόκρισης δεν πρέπει να εξαντλείται στη λογική των κανονιστικών διατάξεων (ΕΑΚ2000, EC8, UBC97), που βασίζονται στο σημειακό - μονοδιάστατο εδαφικό προσομοίωμα.

3. ΣΥΝΘΕΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η εργασία αυτή προεκτείνεται στην εφαρμογή αυτών των βασικών παρατηρήσεων – συμπερασμάτων σε εφαρμοσμένο επίπεδο με όρους αντισεισμικών κανονισμών και πρακτικής προσέγγισης σε έργα Πολιτικού Μηχανικού. Σκοπός αυτής της προσέγγισης είναι κυρίως η εισαγωγή προβληματισμού για τη χρήση ορισμένων παραμέτρων (φάσματα απόκρισης, συντελεστές ενίσχυσης, PGA, PGV, κ.ά.), παρά η ευθεία πρόταση ποσοτικών μεγεθών στους κανονισμούς, διότι γνωρίζουμε ότι για να ενσωματωθούν σε αυτούς σύνθετα φαινόμενα της σεισμικής απόκρισης χρειάζεται να διανυθεί αρκετός δρόμος ακόμη.

Έχοντας πραγματοποιήσει σειρές θεωρητικών αναλύσεων σε μια (1Δ) και δύο (2Δ) διαστάσεις σε υπαρκτό εδαφικό προσομοίωμα (Anastasiadis et al. 2001) και αφού τα αποτελέσματά τους συσχετίστηκαν με ασθενείς και ισχυρές καταγραφές (Raptakis et al. 2004b), διερευνήθηκαν τα παρακάτω θέματα: α) εάν και κατά πόσο ένας μονότιμος δείκτης όπως αυτός της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης είναι επαρκής για να εκφράσει τη σεισμική απόκριση, β) ο τρόπος προσδιορισμού των φασματικών συντελεστών ενίσχυσης, και γ) η πρόταση ενός παράγοντα επιβάρυνσης που λαβαίνει υπόψη τα δισδιάστατα φαινόμενα στη σεισμική απόκριση.

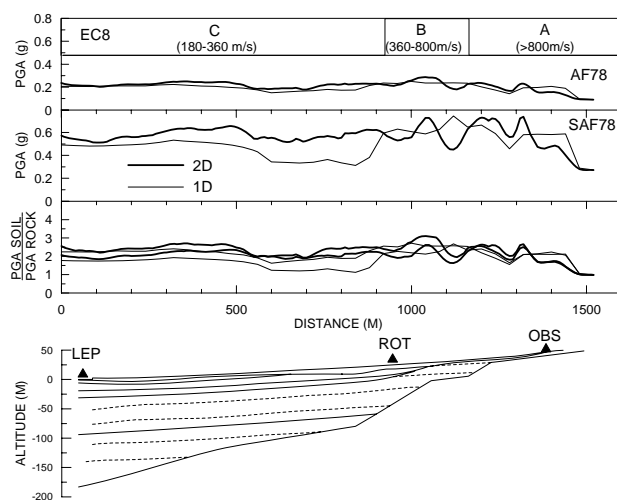
Ως δεδομένα για τη μελέτη των παραπάνω ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω. Οι 1Δ και 2Δ θεωρητικές αναλύσεις απέδωσαν 2X155 συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα (ανά 10 μ.) κατά μήκος της 2Δ μηκοτομής και πραγματοποιήθηκαν με ισοδύναμες μη γραμμικές αναλύσεις (βλ λεπτομέρειες για μεθόδους, χαρακτηριστικά καννάβου, μέγιστες συχνότητες, κ.ά. στην εργασία των Raptakis et al. 2004b). Χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις αυτές ασθενείς και ισχυρές καταγραφές σε σταθμό αναφοράς

(επιφανειακός βράχος, θέση 40 Εκκλησιές) ως σεισμοί εισαγωγής. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα που προέκυψαν από τον ισχυρό μετασεισμό AF78 (1978.07.05 με M_w 5.1 και απόσταση 17 km από τη Θεσσαλονίκη), του σεισμού που έπληξε την πόλη στις 1978.06.20 με μέγεθος M_w 6.5. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε η εγκάρσια συνιστώσα, περιστραμμένη σε σχέση με τον Βορρά κατά 114° , καθέτως στο επίπεδο της 2Δ μηκοτομής. Ο λόγος της περιστροφής των οριζοντίων συνιστωσών (με PGA 0.10 g και 0.12 g) είναι για την καλύτερη έκφραση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην ισχυρή κίνηση. Επιπλέον, προκειμένου να εξετασθεί η περίπτωση επιρροής πιθανών μη γραμμικοτήτων στις παραπάνω παραμέτρους χρησιμοποιήθηκε η καταγραφή AF78 μεγενθυμένη κατά 3 φορές (SAF78), με PGA 0.3g στο βράχο, που αποτελεί τιμή – κατώφλι για την εμφάνιση μη γραμμικών φαινομένων (σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία). Στη συνέχεια από τα 1Δ και 2Δ συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα υπολογίστηκαν τα φάσματα απόκρισης στην επιφάνεια για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%, βάσει των οποίων υπολογίστηκαν τα παρακάτω.

3.1 Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση

Είναι γνωστό ότι η πλέον οικεία παράμετρος στην αντισεισμική μηχανική είναι η τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA). Στο παρόν εξετάζεται η χωρική διακύμανση της PGA καθώς και αυτή του λόγου των PGA στις αποθέσεις και στο βράχο, που προέκυψαν από αμφοτέρους τις 1Δ και 2Δ προσομοιώσεις κατά μήκος όλης της 2Δ τομής τόσο για τον μετασεισμό AF78 όσο και για τον SAF78 (σχήμα 3). Καταρχήν σε σχέση με τις εδαφικές κατηγορίες όπως ορίζονται στον EC8 (βλ. κορυφή του σχήματος 3), προκύπτει ότι δεν υπάρχει καμία σημαντική διακύμανση των 1Δ και 2Δ χωρικών PGA καμπυλών για τους σεισμούς εισαγωγής AF78 και SAF78, που να τις διακριτοποιεί κατά μήκος της 2Δ τομής. Επίσης, η διαφοροποίησή τους σε σχέση με τον σεισμό εισαγωγής (AF78 και SAF78) δεν είναι προφανής ώστε να δικαιολογήσει μη γραμμική συμπεριφορά. Οι 2Δ καμπύλες για αμφοτέρους τους σεισμούς εισαγωγής παρόλο που διαφέρουν με τις 1Δ (κυρίως για τον SAF78), δεν φαίνεται να διακριτοποιούν τις 2Δ και 1Δ επιδράσεις των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην PGA. Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν προφανώς και για τους αντίστοιχους λόγους

των PGA. Η εικόνα αυτή δεν θα άλλαζε ούτε εάν στη θέση του ενός σεισμού ελαμβάνοντο οι μέσες τιμές από περισσότερους σεισμούς, όπως έδειξαν οι Chávez-García and Faccioli (2000). Όλες οι παραπάνω συγκρίσεις έδειξαν ότι η PGA, ως μια μόνο τιμή που είναι περισσότερο ευαίσθητη στο επίπεδο διέγερσης και το συχνοτικό περιεχόμενο της, δεν είναι κατάλληλος δείκτης για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης. Συνεπώς, για όλους αυτούς τους λόγους αποφασίστηκε να εξετασθούν άλλες παράμετροι περισσότερο αντιπροσωπευτικές των σύνθετων φαινομένων στη σεισμική απόκριση.



Σχήμα 3. PGA 1D και 2D θεωρητικών συναρτήσεων μεταφοράς.
Figure 3. 1D (top) and 2D (bottom) contours of theoretical transfer functions.

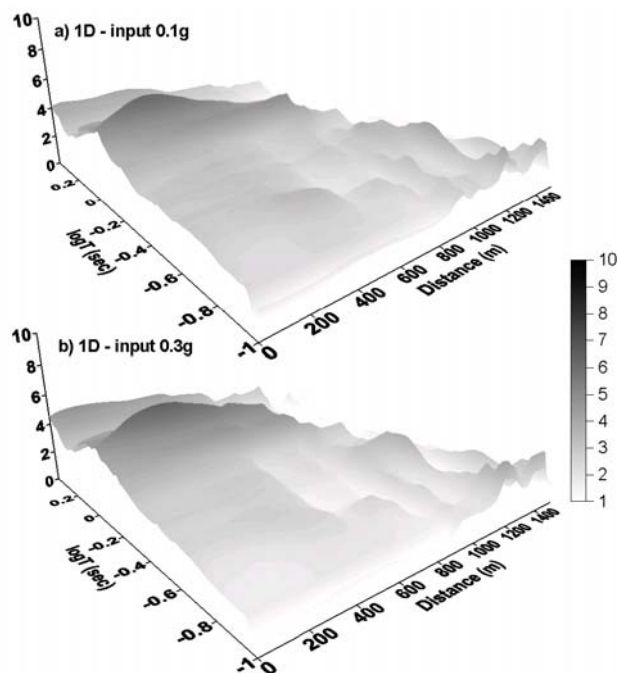
3.2 Φασματικοί συντελεστές ενίσχυσης

Έχοντας υπόψη τους διορθωτικούς συντελεστές ανά κατηγορία εδάφους που προτείνουν οι αντισεισμικοί κανονισμοί και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ανακύπτουν δύο ζητήματα σχετικά με τους φασματικούς συντελεστές και την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης σε περίπλοκες εδαφικές συνθήκες, α) πως θα πρέπει να προσδιορίζονται οι συντελεστές αυτοί και β) η εξάρτησή τους από το επίπεδο της PGA.

Έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα των 1D και 2D προσομοιώσεων υπολογίστηκαν οι φασματικοί συντελεστές ενίσχυσης, σε 155 θέσεις κατά μήκος της 2D τομής και για ευρύ φάσμα περιόδων, με το λόγο των φασμάτων απόκρισης στις αποθέσεις με αυτό στον «οιωνεί» βράχο. Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν για αμφότερους τους σεισμούς εισαγωγής (AF78 και

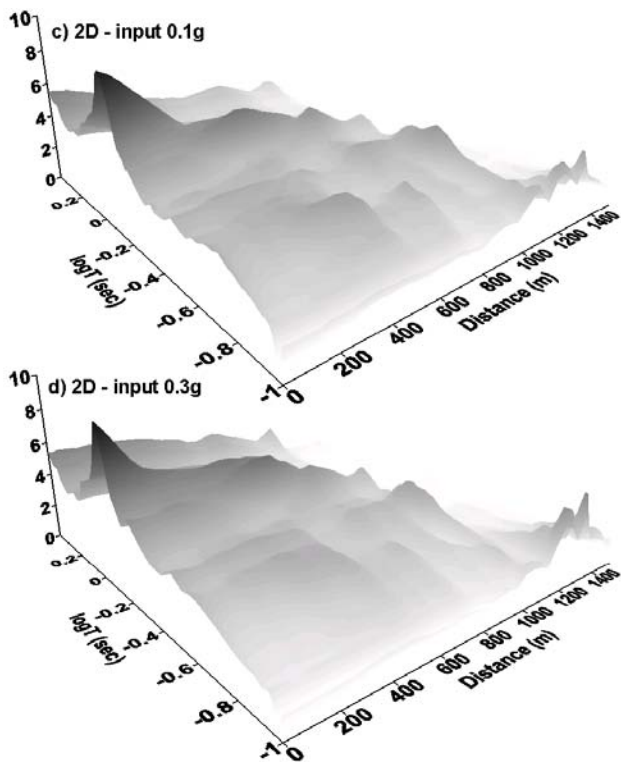
SAF78).

Για την περίπτωση του AF78 η χωρική κατανομή των 1D φασματικών συντελεστών, που δίνεται με την επιφάνεια του σχήματος 4, δείχνει το μέγιστο επίπεδο ενίσχυσης, περίπου 6.25, σε μια ζώνη μεταξύ 100 και 500 m από την ακτογραμμή στην περίοδο του θεμελιώδη συντονισμού στο 1.0 sec (σχήμα 4). Αντίθετα, στην αντίστοιχη χωρική κατανομή των 2D συντελεστών (σχήμα 5) ο μέγιστος παράγοντας ενίσχυσης για όλη τη μηκοτομή είναι 10.0 στην περίοδο του θεμελιώδη συντονισμού (1.0 sec), και εμφανίζεται μόνο στη στενή περιοχή της ακτογραμμής. Στην περίπτωση του κατά 3 φορές ισχυρότερου σεισμού εισαγωγής SAF78, τα αποτελέσματα που περιγράφονται παραπάνω δεν αλλάζουν ποιοτικά παρά μόνο ποσοτικά και μάλιστα είναι ελαφρώς αυξητικά (σχήματα 4 & 5). Συνεπώς, δεν παρατηρούνται ενδείξεις μη γραμμικής συμπεριφοράς των υποκείμενων εδαφικών σχηματισμών.

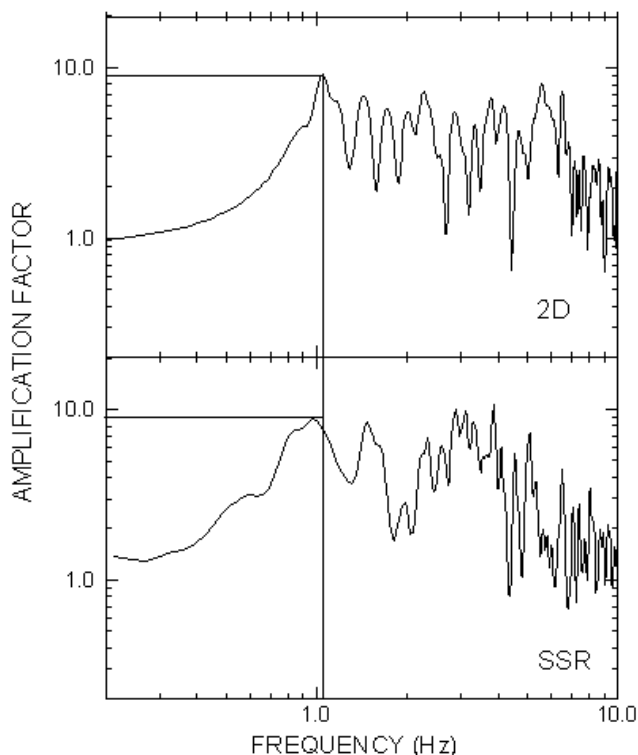


Σχήμα 4. Επιφάνεια 1D φασματικών συντελεστών αποθέσεις προς βράχο.
Figure 4. Surface 1D spectral coefficients soil to rock.

Τα 2D αποτελέσματα για το πλάτος ενίσχυσης και τη συχνότητα του θεμελιώδη συντονισμού είναι συμβατά με αυτά της εμπειρικής συνάρτησης μεταφοράς στη θέση LEP (σχήμα 6) στην ακτογραμμή (Raptakis et al., 2004a) καθώς επίσης και με αυτά της 2D προσομοίωσης (σχήμα 6) με πεπερασμένες διαφορές (Raptakis et al., 2004b). Οι ποιοτικές και ποσοτικές



Σχήμα 5. Επιφάνεια 2D φασματικών συντελεστών αποθέσεις προς βράχο.
Figure 5. Surface 2D spectral coefficients soil to rock.



Σχήμα 6. 2D (πάνω) και εμπειρική (κάτω) συναρτήσεις μεταφοράς στη θέση LEP
Figure 6. 2D (top) and empirical (bottom) transfer functions at site LEP

διαφορές μεταξύ των 2Δ και 1Δ φασματικών συντελεστών δείχνουν και πάλι την ακαταλληλότητα της 1Δ εκτίμησης στο να περιλάβει τα σύνθετα φαινόμενα της απόκρισης, παρά το γεγονός ότι ο 1Δ συντονισμός είναι προεξάρχων στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης. Εξάλλου οι φασματικοί συντελεστές ενίσχυσης δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται ούτε ως προς τις εδαφικές κατηγορίες στις οποίες κατατάχθηκαν τα εδάφη της μηκοτομής σύμφωνα με τον EC8.

Συνεπώς οι προτεινόμενοι φασματικοί συντελεστές σχεδιασμού στους κανονισμούς που βασίζονται σε μελέτη 1Δ απόκρισης θα πρέπει να αναθεωρούνται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις 2Δ φαινομένων.

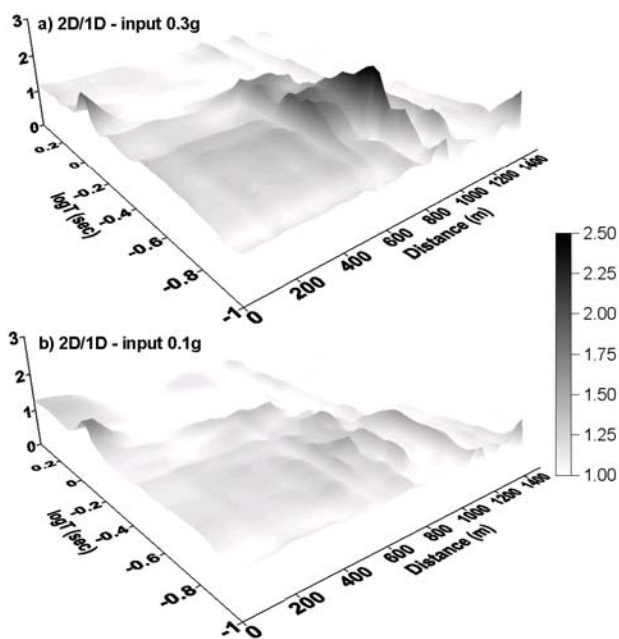
3.3 Παράγοντας επιβάρυνσης

Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η 2Δ προσέγγιση για μεγάλο εύρος περιόδων και με πυκνή χωρική κατανομή περιγράφει καλύτερα από την 1Δ τα χαρακτηριστικά της σεισμικής απόκρισης. Από την άλλη, η 1Δ θεώρηση είναι κυρίαρχη στην κοινή πρακτική του μηχανικού καθώς και στη φιλοσοφία των αντισεισμικών κανονισμών, δεδομένων των δυσκολιών που συνεπάγεται η 2Δ ή/και 3Δ προσέγγιση.

Παρόλα αυτά η ενσωμάτωση της πρόσθετης ενίσχυσης λόγω 2Δ φαινομένων με όρους φασμάτων απόκρισης θα μπορούσε να επιτευχθεί με την εισαγωγή της έννοιας του παράγοντα επιβάρυνσης, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του 2Δ φάσματος απόκρισης προς το αντίστοιχο 1Δ.

Με αυτή την έννοια υπολογίσθηκε ο παράγοντας επιβάρυνσης για κάθε θέση από τις 155 κατά μήκος της 2Δ τομής, για μεγάλο εύρος περιόδων και αμφότερους τους σεισμούς AF78 και SAF78. Το αποτέλεσμα για τον AF78 δείχνει ότι ο παράγοντας επιβάρυνσης είναι μεγαλύτερος του 1 για όλη τη χωρική κατανομή του και φθάνει στην τιμή 2 στη θεμελιώδη περίοδο στην περιοχή της ακτογραμμής (σχήμα 7). Η ίδια παρατήρηση ισχύει και για τον σεισμό SAF78 (σχήμα 7). Η μόνη διαφορά στις δύο περιπτώσεις είναι ποσοτικής φύσης και δεν υπερβαίνει το 25% σε περιόδους μικρότερες από αυτή του συντονισμού.

Αμφότερες οι επιφάνειες δείχνουν ότι τα 2Δ φάσματα απόκρισης είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα 1Δ, κυρίως στην περιοχή της ακτογραμμής όπου αναμένοντο οι πρόσθετες ενισχύσεις καθώς και σε δυο άλλες ζώνες όπου υπάρχουν πλευρικές ασυνέχειες στο εδαφικό προσομοίωμα (μεταξύ 700 και 800 μ.



Σχήμα 7. Συντελεστές επιβάρυνσης a) SAF78 και b) AF78
Figure 7. Aggravation factors a) SAF78 and b) AF78

και μεταξύ 1000 and 1100 μ . από την ακτογραμμή). Αυτό το γεγονός μαζί με τις αποενισχύσεις σε άλλες θέσεις οφείλονται στις πιθανόν έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων τύπων κυμάτων (επιφανειακά δημιουργούμενα στις πλευρικές ασυνέχειες και απευθείας κύματα χώρου), οι οποίες μπορούν να διαπιστωθούν μόνο με 2Δ αναλύσεις εφόσον βέβαια είναι γνωστό το προσομοίωμα).

Η ευθεία σύγκριση (σχήμα 2) μεταξύ των 1Δ και 2Δ συνάρτησεων μεταφοράς (Raptakis et al. 2004a,b) επιβεβαιώνει την περιπλοκότητα του κυματικού πεδίου σε υψηλές συχνότητες στην περιοχή των ασυνεχειών. Στην περίπτωση του SAF78 εισάγονται ισχυρότερες αλληλεπιδράσεις οι οποίες και μπορούν να εξηγήσουν τις μεγαλύτερες τιμές του παράγοντα επιβάρυνσης στις ασυνέχειες της λεκάνης.

Γενικά τα αποτελέσματα αυτά είναι συμβατά με αυτά που προέκυψαν από τις εμπειρικές συναρτήσεις μεταφοράς (Raptakis et al. 2004a), τα θεωρητικά (Raptakis et al. 2004b), τους φασματικούς συντελεστές όπως ορίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και τέλος με την κατανομή των ζημιών από τον ισχυρό σεισμό του 1978 (Anastasiadis et al. 2001).

Το γεγονός ότι ο παράγοντας επιβάρυνσης παρουσιάζει μέγιστο στην περίοδο του θεμελιώδη συντονισμού για κάθε θέση μελέτης είναι επιβεβαιωμένο και στις λίγες δημοσιεύσεις (Chavez-Garcia and Faccioli 2000, και Makra

et al. 2001, 2002), που υπάρχουν διεθνώς και που αφορούν είτε ενόργανες παρατηρήσεις είτε αυτοτελώς θεωρητικές έρευνες, σε λεκάνες υπαρκτές ή υποθετικές, άλλες από αυτή της Θεσσαλονίκης με διαφορετική γεωμετρία και ιδιότητες. Στην περίπτωση αυτή ο παράγοντας επιβάρυνσης είναι ο μικρότερος στη βιβλιογραφία (κυμαίνονται μεταξύ 2.5 και 4) και αυτό οφείλεται στη μάλλον ομαλή γεωμετρία του 2Δ εδαφικού προσομοιώματος (χωρίς έντονες κλίσεις των ασυνεχειών) σε συνδυασμό με την υψηλή δυστημψία και απόσβεση (μέση V_s 600m/sec και Q_s μεταξύ 8 and 30) των βασικών εδαφικών σχηματισμών.

Η μάλλον σταθερά μέγιστη τιμή του παράγοντα επιβάρυνσης σε διαφορετικές θέσεις στη 2Δ μηκοτομή ανεξάρτητα από τις ειδικές εδαφικές συνθήκες, για την περίπτωση του SAF78 ή ενός ισχυρού μελλοντικού σεισμού, υποδεικνύει με μια πρώτη συντηρητική προσέγγιση την υιοθέτηση ενός παράγοντα επιβάρυνσης για όλη την περιοχή μελέτης όχι μικρότερου του 2.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πλευρική διάδοση των επιφανειακών κυμάτων, που δημιουργούνται λόγω φαινομένων περίθλασης στις οριζόντιες ασυνέχειες και κυρίως αποθέσεων - βράχου, προκαλεί 2Δ φαινόμενα που υπεισέρχονται στη σεισμική απόκριση με αποτέλεσμα την επιπρόσθετη ενίσχυση και διάρκεια στην ισχυρή κίνηση, πέρα του 1Δ συντονισμού. Η γενική αυτή διαπίστωση ισχύει και στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης που παρουσιάζει μια σχεδόν 1Δ δομή με εξομαλυμένη γεωμετρία (όχι έντονες κλίσεις των πλευρικών ασυνεχειών) και υψηλή δυστημψία και απόσβεση των βασικών γεωλογικών σχηματισμών. Τα χαρακτηριστικά της πλευρικής διάδοσης είναι εμφανή σε αμφότερα τα πεδία χρόνου και συχνότητας.

Κάτω από αυτό το πρίσμα η «πρακτική» εφαρμογή της παραπάνω διαπίστωσης ανέδειξε α) την αδυναμία της 1Δ προσέγγισης στη μελέτη της σεισμικής απόκρισης, β) την αδυναμία μιας μονότιμης παραμέτρου όπως είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση να εκφράσει τα σύνθετα φαινόμενα που μετέχουν στη σεισμική απόκριση και να αντιστοιχηθεί με τις προτεινόμενες στους κανονισμούς εδαφικές κατηγορίες, γ) την ανάγκη επαναπροσδιορισμού των εδαφικών συντελεστών ενίσχυσης εισάγοντας ένα διορθωτικό συντελεστή εδάφους - βράχου, που να λαβαίνει υπόψη τα 2Δ φαινόμενα και δ) την υιοθέτηση ενός καταρχήν ενιαίου και συ-

ντηρητικού συντελεστή επιβάρυνσης, για το σύνολο των περιόδων που ενδιαφέρουν για μια ευρύτερη περιοχή με περίπλοκη γεωλογική δομή, όχι μικρότερου από 2.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anastasiadis, A., Raptakis, D. and Pitilakis, K. (2001). "Thessaloniki's Detailed Micro-zoning: Subsurface Structure as Basis of Site Response Analysis", *Pure and Applied Geophysics*, 158 (11), 2597-2533.
- Chavez-Garcia, F.J., Stephenson, W.R. and Rodriguez, M. (1999). "Lateral propagation effects observed at Parkway, New Zealand: a case history to compare 1D versus 2D side effects" *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(3), 718-732
- Chávez-García, F.J. and Faccioli, E. (2000). "Complex site effects and building codes: Making the leap". *Journal of Seismology*, 4, 23-40.
- Makra, K., Raptakis, D., Chávez-García, F. J. and Pitilakis, K. (2001). "Site effects and design provisions: The case of Euroseis-test". *Pure and Applied Geophysics*, 158(11), 2349-2367.
- Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J. and Pitilakis, K. (2002). "How important is the detailed knowledge of a 2D soil structure for site response evaluation". *Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, United Kingdom, September 9-13, CDROM paper No. 682.*
- Makra K., F.J. Chávez-García, D. Raptakis & K. Pitilakis (2005). "Parametric analysis of the seismic response of a 2D sedimentary valley: Implications for code implementations of complex site effects". *Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, 25, 303-315.
- Ραπτάκης, Δ.Γ., Κ.Α. Μάκρα, Α.Ι. Αναστασιάδης & Κ.Δ. Πιτιλάκης (2001). "Επίδραση της Εδαφικής Δομής στην Ισχυρή Κίνηση στη Θεσσαλονίκη: Σύγκριση Καταγραφών, 1D και 2D Προσομοίωσης". Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής, 27-30 Νοεμβρίου, 2001, Θεσσαλονίκη.
- Raptakis D., K. Makra, A. Anastasiadis & K. Pitilakis (2004a). "Complex site effects in Thessaloniki (Greece): I. Soil structure and confrontation of observations with 1D analysis". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2(3), 271-300
- Raptakis D., K. Makra, A. Anastasiadis & K. Pitilakis (2004b). "Complex site effects in Thessaloniki (Greece): II. 2D SH modeling and engineering insights". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2(3), 301-327
- Raptakis, D.G., M.V. Manakou, F.J. Chávez-García, K.A. Makra, & K.D. Pitilakis (2005). "3D configuration of mygdonian basin and preliminary estimate of its site response". *Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, 25, 871-887.