

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗΣ
ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗΣ (ΓΕΩΑΦΡΟΣ) ΣΤΗ
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΕΛΑΦΙΚΗΣ
ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΙ
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.**



ΓΑΛΑΝΗ Α. ΜΑΡΙΑ 4925

ΝΤΗΝΙΑΚΟΥ Γ. ΝΙΚΗ 5025

ΡΑΠΤΗ Ν. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ-ΕΛΕΝΗ 5046

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ - 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί ομαδικό έργο, το οποίο απαιτεί συνεχή ενασχόληση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας κ. Ειρήνης Βγενοπούλου και του καθηγητή κ. Γεώργιου Σπηλιωτόπουλου.

Πρώτα απ' όλα, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους όσους βοήθησαν στην πραγματοποίησή της.

Καταρχάς, τον καθηγητή μας, κ. Γεώργιο Σπηλιωτόπουλο για την προθυμία του να μοιραστεί μαζί μας μέρος των γνώσεών του, προκειμένου να εξαλείφει κάθε απορία και προβληματισμός που μας προέκυψε κατά την διάρκεια της διεξαγωγής της εργασίας μας καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές που μας έδωσε καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στον καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών Α.Γ. Αθανασόπουλου, η βοήθεια και η καθοδήγηση του οποίου ήταν αναγκαία και καθοριστική στην διεξαγωγή της παρούσας έρευνας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας γιατί χωρίς όλα αυτά που μας προσέφεραν και συνεχίζουν να μας προσφέρουν, τίποτα απ' όσα έχουμε καταφέρει δεν θα ήταν εφικτό.

Γαλάνη Α. Μαρία

Ντηνιακού Γ. Νίκη

Ράπτη Ν. Αλεξάνδρα-Ελένη

Πάτρα, 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της Διατριβής αποτελεί η διερεύνηση των δυνατοτήτων του Γεωαφρού Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) για τη χρησιμοποίησή του, εκτός των άλλων και ως σεισμικό μονωτικό παρέμβλημα σε συμβατικούς τοίχους εδαφικής αντιστήριξης (τύπου βαρύτητας ή προβόλου) καθώς και σε ακρόβαθρα γεφυρών. Χρησιμοποιείται επίσης και ως δομικό υλικό αλλά και στην οδοποιία αντί του συμβατικού επιχώματος σε ειδικές περιπτώσεις. Η μεθοδολογία του συμπιεστού παρεμβλήματος EPS έχει ήδη αρχίσει να χρησιμοποιείται για τη μείωση των στατικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης (και σε ακρόβαθρα γεφυρών μονολιθικής σύνδεσης) και γι' αυτό αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον η πρόσθετη αξιοποίηση του παρεμβλήματος ως μέσο σεισμικής μόνωσης.

Η παρούσα έρευνα βασίζεται στην αριθμητική ανάλυση της συμπεριφοράς συμβατικών τοίχων αντιστήριξης κάτω από τη δράση οριζόντιας σεισμικής διέγερσης βάσης. Οι αναλύσεις διεξάγονται τόσο για μη-μονωμένους τοίχους όσο και για τοίχους σεισμικά μονωμένους με παρέμβλημα EPS. Το παρέμβλημα έχει τη μορφή κατακόρυφου φύλλου μικρού σχετικά πάχους που τοποθετείται σε επαφή με την πίσω όψη του τοίχου παρεμβαλλόμενο μεταξύ τοίχου και επιχώματος.

Οι αναλύσεις διεξάγονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (κώδικας PLAXIS v.8) με την παραδοχή ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς εδαφικού επιχώματος και κατακόρυφου ελαστικού τοίχου δεδομένης ευκαμψίας και στροφικής αντίστασης της βάσης. Ως δυναμική διέγερση βάσης χρησιμοποιούνται αρμονικές χρονοϊστορίες επιτάχυνσης μεταβαλλόμενου εύρους και συχνότητας. Κατ' αρχήν αξιολογείται η αξιοπιστία της χρησιμοποιούμενης μεθόδου ανάλυσης διεξάγοντας αναλύσεις για περιπτώσεις απλών (μη-μονωμένων) τοίχων αντιστήριξης διαφορετικού ύψους, ευκαμψίας κορμού και στροφικής ευκαμψίας βάσης, υπό αρμονικές διεγέρσεις βάσης κυμαινόμενης έντασης και συχνότητας, και διάφορα μεγέθη δικτύων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η απόκριση του συστήματος τοίχος-επίχωμα είναι γραμμική, δηλαδή δεν εξαρτάται από το ύψος του τοίχου και την ένταση της διέγερσης βάσης. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συγκρίνονται επίσης με ανάλογα δημοσιευμένα αποτελέσματα (που έχουν προκύψει από αναλυτικές ή αριθμητικές επιλύσεις) και διαπιστώνεται πολύ καλή συμφωνία όσον αφορά την τιμή της σεισμικής ώθησης και το ύψος εφαρμογής της από τη βάση του τοίχου. Όσον αφορά την επίδραση της συχνότητας της διέγερσης βάσης, f , διαπιστώνεται ότι η συμπεριφορά μπορεί να χαρακτηρίζεται ως ψευδοστατική (δηλαδή να θεωρείται ανεξάρτητη της συχνότητας) για τιμές $f / f_1 \leq 0.30$, όπου f_1 =θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα του συστήματος τοίχου-επίχωμα. Η συμπεριφορά γίνεται επίσης ανεξάρτητη της συχνότητας όταν $f / f_1 \geq 2.0$, ενώ στο διάστημα $0.30 \leq f / f_1 \leq 2.0$ αναπτύσσονται φαινόμενα συντονισμού και οι τιμές της σεισμικής ώθησης αυξάνονται δραματικά.

Για την περίπτωση των σεισμικά μονωμένων (με παρέμβλημα EPS) τοίχων οι εξεταζόμενες παράμετροι περιλαμβάνουν το σχήμα του παρεμβλήματος, την πυκνότητα και το ποσοστιαίο πάχος του EPS, την ευκαμψία του τοίχου, την καθ' ύψος μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας του EPS και τη συχνότητα διέγερσης της βάσης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η μονωτική ικανότητα αυξάνεται όσο μειώνεται η πυκνότητα του EPS και επομένως επιδιώκεται η χρήση όσο το δυνατόν ελαφρύτερου EPS. Εν τούτοις, για την επιλογή της κατάλληλης πυκνότητας του EPS θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ενδεχόμενο ανάπτυξης ερπυστικών παραμορφώσεων του παρεμβλήματος (υπό στατικές συνθήκες φόρτισης) οι οποίες οδηγούν σε ενδεχομένως μη-επιτρεπόμενες καθιζήσεις του επιχώματος

Σχετικά με το κατά την έννοια του ύψους του τοίχου, σχήμα του παρεμβλήματος διεξήχθησαν αναλύσεις για ορθογωνικό σχήμα και τρία τριγωνικά σχήματα: με μέγιστο πάχος

στην κορυφή, στη βάση και στο μέσο του τοίχου. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν (λαμβάνοντας υπόψη και την κατασκευαστική ευχέρεια), ότι η βέλτιστη αποτελεσματικότητα επιτυγχάνεται με χρήση ορθογωνίου σχήματος, δηλαδή με σταθερό κατά την έννοια του ύψους πάχος παρεμβλήματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ο ΓΕΩΑΦΡΟΣ ΣΑΝ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	7
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΓΕΩΑΦΡΟΣ EPS;	7
2.2 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΓΕΩΑΦΡΟΥ EPS.	8
2.3 ΠΩΣ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ Ο ΓΕΩΑΦΡΟΣ EPS.....	10
2.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΕΩΑΦΡΟΥ EPS.	12
2.4.1 Μικρό βάρος	12
2.4.2 Αντοχή, δομική σταθερότητα και αντοχή στην καταπόνηση (βατότητα).	12
2.4.3 Αντοχή σε θλίψη και μηχανικές καταπονήσεις.	13
2.4.4 Αντίσταση στην υγρασία.	13
2.4.5 Διαχείριση και εγκατάσταση.	14
2.4.6. Συμπεριφορά σε περίπτωση φωτιάς.....	14
2.4.7. Ποιότητα εσωτερικού αέρα.	15
2.4.8. Πιστοποιημένη μονωτική ικανότητα.	16
2.5 Εφαρμογές του EPS.	16
2.5.1 Παραδείγματα εφαρμογών του EPS σε έργα πολιτικού μηχανικού.	17
2.5.1.1 Διακόσμηση – Αρχιτεκτονική - Αναπαλαιώσεις κτιρίων.....	17
2.5.2 Παραδείγματα εφαρμογών του EPS στην συσκευασία.	19
2.5.2.1 Βιομηχανική Συσκευασία.	19
2.5.2.2 Συσκευασία Τροφίμων.....	19
2.5.2.3 Συσκευασία αγροτικών προϊόντων.	20
2.5.2.4 Συσκευασία ευαίσθητων προϊόντων.	21
2.5.2.5 Πλεονεκτήματα του EPS σε τεχνικά έργα.	21
2.5.2.6 EPS και Περιβάλλον.	22
2.6 Πλεονεκτήματα της χρήσης του EPS σε σχέση με το Περιβάλλον.....	23
2.7 Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	24
2.8 Επίδραση στο Περιβάλλον.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΑΦΡΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ	26
3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ.....	26
3.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	34
3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΓΕΩΑΦΡΟ(EPS)	36
3.3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΛΑΙΑ ΜΕΘΟΔΟ (ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ EPS)-ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	37
3.3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	41
3.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΑΦΡΟΥ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	45
4.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ.....	45

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	49
4.2.1 ΨΕΥΔΟΣΤΑΤΙΚΗ (ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ - ΣΤΑΤΙΚΗ) ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	49
4.2.2 ΨΕΥΔΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	49
4.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ	49
4.2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	50
4.2.5 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΑΚ 2000.....	52
4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	54
4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	56
4.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ	58
4.5.1 Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ PLAXIS (v.8) – ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .	58
4.5.2 Η ΕΞΙΔΑΝΙΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	65
4.5.3 Το ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	72
4.6 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....	75
4.6.1 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	75
4.6.2 Επίδραση του Μεγέθους του Δικτύου	77
4.6.3 Επίδραση του Ύψους του Τοίχου	79
4.6.4 Επίδραση της Έντασης της Κίνησης Βάσης.....	80
4.6.5 Επίδραση της Συχνότητας της Κίνησης Βάσης.....	82
4.6.6 Συγκρίσεις με Δημοσιευμένα Αποτελέσματα.....	84
4.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	90
4.7.1 Επίδραση του Σχήματος του Παρεμβλήματος EPS.....	90
4.7.2 Επίδραση της Μεταβαλλόμενης Καθ’ ύψος Δυσκαμψίας του EPS	91
4.7.3 Επίδραση της Πυκνότητας του EPS	94
4.7.4 Επίδραση του Πάχους Παρεμβλήματος EPS.....	95
4.7.5 Ύψος Εφαρμογής της Σεισμικής Συνιστώσας της Φόρτισης	99
4.7.6 Επίδραση της Συχνότητας Διέγερσης της Βάσης	100
4.8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	103
5.1 ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΪΑΣ	105
5.1.1. Ελαφρά μεταβατικά επιχώματα γεφυρών	105
5.1.2. Αποκατάσταση/Βελτίωση ευστάθειας πρανών.....	106
5.1.3. Προστασία υπόγειων κατασκευών	106
5.1.4. Διαμόρφωση Τοπίου	107
5.1.5. Συμπιεστά παρεμβλήματα μείωσης στατικών ωθήσεων τοίχων αντιστήριξης/πρανών	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βασική εφαρμογή του γεωαφρού (EPS) στα τεχνικά έργα αφορά κυρίως την σεισμική μόνωση αυτών, ειδικότερα δε στους τοίχους αντιστήριξης. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων υποδεικνύουν ότι η μονωτική ικανότητα του EPS δεν εξαρτάται από τη μεταβολή καθ' ύψος της ακαμψίας του EPS και αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστιαίο πάχος, t_r , του παρεμβλήματος από EPS. Επίσης υποδεικνύουν ότι είναι δυνατή η επίτευξη των τιμών της αποτελεσματικότητας της σεισμικής μόνωσης ($A_r > 50\%$) για τιμές πάχους $t_r \approx 15\%$. Η προκύπτουσα σχέση $A_r - t_r$ είναι μη γραμμική και γι' αυτό απαιτούνται σχετικά μεγάλα πάχη παρεμβλήματος για τη μείωση της σεισμικής ώθησης σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%. Παρατηρείται επίσης ότι η αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης αυξάνεται όσο αυξάνεται η ευκαμψία του τοίχου. Το ύψος του σημείου εφαρμογής της σεισμικής ώθησης, h , σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων επηρεάζεται σε πολύ μικρό βαθμό (<20%) από την παρουσία του παρεμβλήματος, ενώ η επίδραση της πυκνότητας του EPS είναι αμελητέα. Για άκαμπτους τοίχους προκύπτει ότι $h \approx 0.60H$, ενώ για πολύ εύκαμπτους τοίχους προκύπτει η τιμή $h \approx 0.33H$. Τέλος, όσον αφορά τη μονωτική ικανότητα του παρεμβλήματος στην περιοχή των συχνοτήτων συντονισμού, τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν ότι για την περίπτωση άκαμπτων τοίχων η αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης, A_r , μειώνεται δραματικά (μπορεί να γίνει ίση με 5%). Αντίθετα, για εύκαμπτους τοίχους παρατηρείται πολύ μικρή μείωση της τιμής της A_r .

Με βάση τα αποτελέσματα σχετικής έρευνας, για τον αντισεισμικό σχεδιασμό τοίχων αντιστήριξης, προτείνεται δοκιμαστικά η ακόλουθη διαδικασία :

(α) Διαστασιολόγηση του τοίχου σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000, χρησιμοποιώντας όμως ως τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς, q_w , τη διπλάσια τιμή από αυτή που προτείνει ο ΕΑΚ 2000.

(β) Προσδιορισμός του απαιτούμενου ποσοστιαίου πάχους του παρεμβλήματος EPS (της επιθυμητής πυκνότητας) έτσι ώστε να ισχύει $A_r = 50\%$.

(γ) Εκτίμηση του ύψους εφαρμογής της σεισμικής ώθησης (σεισμικής προσαύξεσης).

Με σκοπό την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων σχετικά με την πρακτική αξία της εξεταζόμενης μεθόδου σεισμικής μόνωσης τοίχων αντιστήριξης, προτείνεται η συνέχιση της ερευνητικής προσπάθειας, χρησιμοποιώντας 1) ελαστοπλαστική ανάλυση για το υλικό του επιχώματος και του εδάφους θεμελίωσης του τοίχου, 2) προσομοιώματα τοίχων με δυνατότητα ολίσθησης και 3) καταγραμμένες από πραγματικούς σεισμούς χρονικά ιστορικά επιταχύνσεων ως διέγερση βάσης. Προτείνεται επίσης η διεξαγωγή δοκιμών σεισμικής τράπεζας σε φυσικά ομοιώματα (υπό κλίμακα) συστημάτων τοίχους-επίχωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ο ΓΕΩΑΦΡΟΣ ΣΑΝ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

2.1 Τι είναι ο γεωαφρός EPS;

Γεωαφρός ονομάζεται ο τύπος διογκωμένης πολυστερίνης που παράγεται και πιστοποιείται, σύμφωνα με το πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 14933**: «Θερμομονωτικά και ελαφροβαρή προϊόντα πλήρωσης για εφαρμογές πολιτικού μηχανικού - Βιομηχανικώς παραγόμενα προϊόντα από διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) – Προδιαγραφή».



Σχήμα 2.1 Κατασκευή «επιχώματος» με πρίσματα γεωαφρού

Η χρήση του Γεωαφρού EPS σε γεωτεχνικές εφαρμογές, ξεκίνησε σε Ευρώπη και Η.Π.Α. στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και περιλαμβάνει τη χρήση του με τη μορφή πρισμάτων, σε ποικίλες εφαρμογές, στις οποίες αξιοποιείται το πολύ μικρό ειδικό βάρος του υλικού (περίπου το 1/100 του αντίστοιχου των εδαφικών υλικών) σε συνδυασμό με την υψηλή αντοχή του (EPS 100 kPs).

Ο γεωαφρός EPS δύναται να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα έργα Πολιτικού Μηχανικού, κυρίως γεωτεχνικά, είτε ως κατασκευαστικό υλικό πλήρωσης, είτε ως υλικό προστασίας έναντι επιβαλλόμενων παραμορφώσεων. Στα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του γεωαφρού EPS συγκαταλέγονται οι προκαθορισμένες μηχανικές ιδιότητες, η υψηλή ταχύτητα κατασκευής, καθώς και η ανθεκτικότητα του υλικού στο χρόνο.



Σχήμα 2.2 Τοποθέτηση πρισμάτων EPS

Οι γεωαφροί αποτελούν μία κατηγορία συνθετικών υλικών με τεράστια ποικιλία όσον αφορά το πλήθος διαφορετικών χρήσεων – εφαρμογών σε έργα Πολιτικού Μηχανικού. Ωστόσο, η εμπειρία έως σήμερα έχει δείξει ότι για τις περισσότερες περιπτώσεις το υλικό γεωαφρού που επιλέγεται είναι το πολυμερές υλικό που ονομάζεται EPS.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την προτίμησή του ως υλικό γεωαφρού. Ο κύριος λόγος είναι ότι η συμπεριφορά του ταιριάζει πολύ με τις ανάγκες των γεωτεχνικών έργων Πολιτικού Μηχανικού και ότι παρασκευάζεται τοπικά, όντας έτσι άμεσα διαθέσιμο στις περισσότερες περιοχές της χώρας.

2.2 Κύρια χαρακτηριστικά του γεωαφρού EPS.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του γεωαφρού EPS είναι τα εξής:

- Έχει πολύ μικρή πυκνότητα ρ , η οποία κυμαίνεται από 10 έως 50 kg/m³. Είναι το ελαφρύτερο από τα συνήθη ελαφροβαρή υλικά που είναι γνωστά μέχρι σήμερα, και έτσι είναι πολύ εύκολη τόσο η μεταφορά του, όσο και η τοποθέτησή του στη θέση του έργου.
- Η συμπιεστότητα του υλικού, η οποία συσχετίζεται ευθέως με την πυκνότητά του, μπορεί να πάρει ιδιαίτερα μικρές τιμές (σε σύγκριση με άλλα υλικά), ενώ παράλληλα μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο με πρόσθετη επεξεργασία κατά την παραγωγή του.
- Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και φιλικό προς το περιβάλλον σε ένα τυπικό τεχνικό έργο.



Σχήμα 2.3 Κατασκευή διπλής στρώσης πρισμάτων EPS σε «επίχωμα»

Επιπρόσθετα η χρήση του γεωαφρού EPS συμβάλλει και στην οικονομία λόγω:

- Επιτάχυνσης της διαδικασίας της κατασκευής του έργου.
- Αντικατάστασης κλασικών κοστοβόρων τεχνικών κατασκευής.
- Απαίτησης πολύ μικρότερης συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.
- Απαίτησης ελάχιστης χειρωνακτικής εργασίας και εξοπλισμού για την κατασκευή, λόγω του μικρού ειδικού βάρους του.

Στις περισσότερες εφαρμογές, τα χαρακτηριστικά που αφορούν τη φέρουσα ικανότητα του EPS είναι μακράν τα πιο σημαντικά. Οι βασικές αρχές που τα καθιστούν σημαντικά αναλύονται ως εξής:

✓ Οι εξαιρετικές ιδιότητες του Γεωαφρού EPS οφείλονται στο γεγονός ότι έχει δυσανάλογα μεγάλη αντοχή σε σχέση με το βάρος του.

✓ Πολλά γεωσυνθετικά πορώδη προϊόντα όταν υποβάλλονται σε θλίψη (η οποία αποτελεί την πρωταρχική μορφή καταπόνησης στην πράξη) δεν αστοχούν με την κλασική έννοια της δημιουργίας ρηγματώσης. Απλά, συνθλίβονται στο στερεό υλικό από το οποίο προήλθαν. Επομένως, η παράμετρος της θλιπτικής αντοχής συχνά δεν έχει άμεση φυσική σημασία από σχεδιαστική άποψη.

✓ Οι περισσότερες εφαρμογές από γεωσυνθετικά πορώδη ελέγχονται ως προς τις παραμορφώσεις του γεωσυνθετικού προϊόντος. Αυτό ισχύει τόσο για τις εφαρμογές «μικρών παραμορφώσεων», όπως είναι π.χ. τα ελαφροβαρή επιχώματα, όσο και για τις εφαρμογές «μεγάλων παραμορφώσεων», όπως είναι τα συμπιεστά παρεμβλήματα. Συνεπώς, οι παραμορφώσεις πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη και να υπολογίζονται. Έτσι, πρέπει να συνυπολογίζονται παράμετροι κατάλληλες και απαραίτητες για την ανάλυση των παραμορφώσεων, όπως η θλιπτική αντοχή και το μέτρο ελαστικής συμπίεσης.

Τα πρίσματα του Γεωαφρού χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλές γεωτεχνικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα για την σεισμική και στατική μόνωση κατασκευών, στα τραίνα υψηλών ταχυτήτων, στη θεμελίωση κτιρίων είτε πρόκειται για συμβατική θεμελίωση, είτε για θεμελίωση τύπου Radie, σε ελαφρά ή μεταβατικά επιχώματα, καθώς και σε πλωτά σπίτια.



Σχήμα 2.4 Μεταφορά γεωαφρού

Με βάση τις ανωτέρω ιδιότητες και την απεριόριστη αντοχή στο χρόνο μπορεί να επιλύσει όλα τα προβλήματα ασφαλούς θεμελίωσης ακόμη και στα πιο προβληματικά εδάφη. Σε χώρες όπως Νορβηγία, Ολλανδία, Βόρεια Γερμανία και Γαλλία, όπου τα εδάφη είναι εξαιρετικά χαλαρά, η διογκωμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται κατά κόρον σε θεμελιώσεις γεφυρών, σε έργα οδοποιίας κ.α. Πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα στον αυτοκινητόδρομο Αθηνών - Θεσσαλονίκης (ΠΑΘΕ) στο ύψος της Λαμίας στις περιοχές Σκάρφεια και Ανθήλη ως ελαφρύ επίχωμα, λόγω της πολύ χαμηλής αντοχής του εδάφους θεμελίωσης.



Σχήμα 2.5 Στρώσεις πρισμάτων EPS σε υπό κατασκευή «επίχωμα»



Σχήμα 2.6 Εγκιβωτισμός «επίχωματος» EPS με λωρίδες συμπιεσμένου εδάφους

2.3 Πώς παράγεται ο γεωαφρός EPS.

Η παραγωγή του EPS συμμορφώνεται με τους πιο αυστηρούς κανόνες υγείας και ασφάλειας στην Ευρώπη. Η διαδικασία παραγωγής του γεωαφρού EPS περιλαμβάνει πέντε στάδια παραγωγής τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Στάδιο 1^ο: Προ-διόγκωση

Οι κόκκοι πολυστερίνης διογκώνονται μέσω της ελεύθερης έκθεσης σε ατμό για να σχηματίσουν μεγαλύτερα σφαιρίδια, που το καθένα τους αποτελείται από μία σειρά μη ενδοσυνδεόμενα κύτταρα.

Στάδιο 2^ο: Ωρίμανση

Μετά τη διόγκωση, τα σφαιρίδια περιέχουν ακόμα μικρές ποσότητες τόσο συμπυκνωμένου ατμού όσο και αερίου πεντανίου. Καθώς ψυχραίνονται, ο αέρας διαχέεται σταδιακά μέσα στους πόρους, αντικαθιστώντας, εν μέρει, τα άλλα συστατικά.

Στάδιο 3^ο: Καλούπωμα

Τα σφαιρίδια τοποθετούνται σε καλούπια για να σχηματίσουν πλάκες, πρίσματα ή προϊόντα κατά παραγγελία. Το καλούπι χρησιμεύει στη σχηματοποίηση του υλικού προ-διόγκωσης, και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ξανά ο ατμός για να συνεχιστεί η διόγκωση. Κατά τη διάρκεια του καλουπώματος, ο ατμός προκαλεί συγκόλληση του κάθε σφαιριδίου με τα γειτονικά του, κι έτσι σχηματίζεται ένα ομοιογενές προϊόν.

Στάδιο 4^ο: Σχηματοποίηση

Μετά από βραχεία περίοδο ψύξης, το καλουπωμένο πρίσμα αφαιρείται από την πρέσα, και μετά από περαιτέρω ωρίμανση, μπορεί να κοπεί ή να σχηματοποιηθεί όπως απαιτείται, χρησιμοποιώντας θερμά σύρματα ή άλλες κατάλληλες τεχνικές.

Στάδιο 5^ο: Μετά-παραγωγική διαδικασία

Το ολοκληρωμένο προϊόν μπορεί να πανελοποιηθεί με μεταλλικά ελάσματα, πλαστικά, πισσόχαρτα οροφής, ινώδεις πλάκες ή με άλλα διακοσμητικά όψης όπως με υλικά επικάλυψης στεγών ή τοίχων.

Στο σχήμα 2.7 φαίνεται σε σχεδιάγραμμα η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή του γεωαφρού EPS.



Σχήμα 2.7 Σχεδιάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας του γεωαφρού EPS

2.4 Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του γεωαφρού EPS.

2.4.1 Μικρό βάρος

Η διογκωμένη πολυστερίνη - EPS αποτελείται από 98% εγκλωβισμένο αέρα μέσα σε μια 2% κυψελωτή δομή και για το λόγο αυτό είναι πολύ ελαφρύ. Οι πυκνότητες μεταξύ 10 και 35 kg/m² επιτρέπουν ελαφριές και ασφαλείς κατασκευές και διευκολύνουν τη μεταφορά, επειδή, λόγω του μικρού βάρους, εξοικονομούνται καύσιμα κατά τη μεταφορά. Το μικρό βάρος του EPS καθιστά το υλικό εύκολο στη χρήση επί τόπου, αφού η ανύψωση μονωτικών υλικών με μεγάλο βάρος γίνεται ολοένα και πιο επικίνδυνη, από άποψη υγείας και ασφάλειας. Οι πλάκες EPS μπορούν να τοποθετηθούν γρήγορα και υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, αφού δεν επηρεάζονται από την υγρασία.

Το εξαιρετικά χαμηλό βάρος της διογκωμένης πολυστερίνης είναι σημαντικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα στα κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται πιο μεγάλο πάχος μόνωσης. Το δομικό φορτίο πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη επειδή έχει σημαντικές επιπτώσεις σε όλη την κατασκευή. Για παράδειγμα, σε μικρού βάρους επίπεδες οροφές βιομηχανικών κτιρίων που στηρίζονται σε μεταλλικά προφίλ. Για τιμή U 0,2 W/(m².K), μια διαφορά περίπου 40kg/m² μεταξύ του EPS με ανώτερες ιδιότητες δυναμικής φόρτισης, και των πιθανών εναλλακτικών λύσεων πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τον κατασκευαστή του κτιρίου. Για άλλες εφαρμογές, όπως στην εξωτερική θερμομόνωση, το μικρό βάρος του EPS μπορεί να αποτρέψει προβλήματα που σχετίζονται με την ανεπαρκή ανθεκτικότητα των μηχανικών συναρμολογήσεων.

Το EPS είναι ένα άριστο αδρανές για υλικά πλήρωσης και για σκυρόδεμα, επειδή μειώνει το φορτίο σε εργασίες που απαιτείται εξοικονόμηση χρόνου. Για τη δουλειά των πολιτικών μηχανικών, ο χρόνος σταθεροποίησης και το κόστος συντήρησης από τη συνεχή καθίζηση του εδάφους είναι κρίσιμος παράγοντας. Σε ολοένα και περισσότερες περιπτώσεις, ο συνδυασμός του μικρού βάρους με τη σημαντική και ανθεκτική δύναμη συμπίεσης, χρησιμοποιείται EPS για εφαρμογές σε κατασκευές με μεγάλο μηχανικό φορτίο.

2.4.2 Αντοχή, δομική σταθερότητα και αντοχή στην καταπόνηση (βατότητα).

Το EPS είναι ένα εξαιρετικά σταθερό υλικό στο χρόνο, δεν γερνάει σε αντίθεση με άλλα θερμομονωτικά υλικά και δεν αποδομείται. Η διάρκεια εργάσιμης ζωής του ξεπερνά τα 100 χρόνια χωρίς καμιά αλλοίωση των τεχνικών του χαρακτηριστικών.

Παράγεται σε διάφορους τύπους με διαφορετικές μηχανικές και θερμομονωτικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά. Κατά συνέπεια μπορεί να καλύψει κάθε κατασκευαστική απαίτηση και να επιλύσει ακόμη και σύνθετα κατασκευαστικά προβλήματα.



Σχήμα 2.8 Κόκκοι διογκωμένης πολυστερίνης

2.4.3 Αντοχή σε θλίψη και μηχανικές καταπονήσεις.

Εκτός από το μικρό βάρος, η μοναδική δομή του EPS έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης αντοχής σε θλίψη. Η διαβροχή του υλικού δεν θα έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση του ή την αλλοίωση άλλων χαρακτηριστικών του. Αυτό σημαίνει πως είναι κατάλληλο για πολλές κατασκευές και εφαρμογές πολιτικού μηχανικού, ιδιαίτερα ως υλικό πλήρωσης, για παράδειγμα στην οδοποιία, σε σιδηροδρομικές γραμμές και σε υποδομές για γέφυρες.

Τεστ αντοχής στο EPS, για μετά από 30 περίπου χρόνια χρήσης κάτω από το έδαφος, έδειξαν πως συνεχώς υπερέβαινε το ελάχιστο απαιτούμενο όριο αντοχής 100KPa. EPS που χρησιμοποιήθηκε στα θεμέλια γέφυρας και είχε υποστεί καταπονήσεις για 40 χρόνια, έδειξε μια παραμόρφωση λιγότερη από 1,3%: το μισό από όσο είχε προβλεφθεί αρχικά. Το πιο σημαντικό είναι πως η σταθερότητα του EPS δεν περιορίζεται με την πάροδο του χρόνου.

Το EPS έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, γεγονός που το καθιστά ιδανική επιλογή για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση ως υλικό για μόνωση σκεπής, για υπόστρωμα σε πεζοδρόμια, για κατασκευές οδοποιίας και γενικά εφαρμογές μόνωσης με μεγάλη καταπόνηση. Με την ευέλικτη διαδικασία παραγωγής του, οι μηχανικές ιδιότητες του EPS μπορούν να προσαρμοστούν για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Εκτεταμένες έρευνες, στα σημαντικότερα ερευνητικά κέντρα παγκοσμίως, απέδειξαν ότι η χρήση του EPS σε πάσης φύσεως τοίχους αντιστήριξης μειώνει τις εδαφικές ωθήσεις σε ποσοστό άνω του 50%.

2.4.4 Αντίσταση στην υγρασία.

Το EPS δεν απορροφά την υγρασία και οι μηχανικές και μονωτικές ιδιότητές του δεν μειώνονται εξαιτίας της παρουσίας νερού ή υγρασίας. Η συμπύκνωση των υδρατμών είναι μεγάλη απειλή για τη δομή του κτιρίου. Στα ψυχρά κλίματα, το νερό από το ζεστό, υγρό εσωτερικό αέρα μπορεί να διαχυθεί μέσα στους εξωτερικούς τοίχους και στις σοφίτες και μπορεί να συμπυκνωθεί καθώς ψύχεται. Στα ζεστά κλίματα, συμβαίνει το αντίθετο. Το νερό από το ζεστό, υγρό, εξωτερικό αέρα εισέρχεται στο κτίριο και καταλαμβάνει τις πιο κρύες περιοχές, όπου συμπυκνώνεται σε υγρό νερό. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που πολλά κτίρια, σε ψυχρά αλλά και θερμά κλίματα, έχουν προβλήματα με μούχλα και σάπια ξύλα. Στα θερμά κλίματα ιδιαίτερα αυτό συμβαίνει αφού τοποθετηθούν εκ των υστέρων κλιματιστικά.

Το EPS είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά μονωτικά υλικά της αγοράς όσον αφορά την υγρασία. Η υγρασία που εξαπλώνεται μέσα στη κατασκευή ή μετά από τυχαία διαρροή θα επηρεάσει μόνο οριακά και πρόσκαιρα την θερμική απόδοση του EPS. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανθεκτικότητα του υλικού για όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Παρόλα αυτά, ο προσεκτικός σχεδιασμός είναι πολύ σημαντικός και πρέπει να περιλαμβάνει φράγματα υδρατμού, όπου χρειάζεται, για να αποτρέπουν τη συμπύκνωση, η οποία μπορεί να συμβεί σε κάθε μονωτικό υλικό κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ροής υδρατμού.

Ακόμη και 40 χρόνια κάτω από το έδαφος, δείγματα EPS που ανακτήθηκαν από σημεία με απόσταση μικρότερη από 200mm από το υπόγειο νερό, έδειξαν λιγότερο από 1% περιεχόμενο σε νερό, ενώ τούβλα που περιοδικά βυθίστηκαν, έδειξαν λιγότερο από 4% περιεχόμενο σε νερό – απόδοση σαφώς καλύτερη από άλλα αφρώδη υλικά. Το EPS χρησιμοποιείται επίσης για πλωτή βάση σε παραποτάμιους, παραθαλάσσιους ή λιμναίους οικισμούς.

Καθώς υπάρχει πολιτική πίεση για νέες δομήσιμες περιοχές σε όλη την Ευρώπη, σταδιακά επιτρέπεται και η επέμβαση σε κομμάτια γης που έχουν υποστεί καταστροφές από πλημμύρες. Η αποκατάσταση των κατεστραμμένων, από πλημμύρες, κτιρίων είναι μια πιο γρήγορη, πιο πρακτική και λιγότερο δαπανηρή διαδικασία αν ο σκελετός το κτιρίου έχει μονωτικά υλικά που δεν απορροφούν το νερό.

Ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι η παρεμπόδιση των αερομεταφερόμενων βακτηρίων, της μούχλας και άλλων μυκήτων να εισέλθουν στο σκελετό του κτιρίου, με σωστό σχεδιασμό που να εμποδίζει την εμφάνιση υγρασίας. Στις ΗΠΑ ο Σύνδεσμος EPS Molders Association (EPSMA) χρηματοδότησε ένα πρόγραμμα δοκιμών που επικεντρώνεται στο EPS και την ανθεκτικότητα του στη μούχλα, τον Ιανουάριο του 2004.

Ο EPSMA ανέθεσε στην SGS U.S. Testing Company να διεξάγει ελέγχους στο EPS εφαρμόζοντας το Πρότυπο ASTM C1338 «Πρότυπη Μέθοδος για καθορισμό της ανθεκτικότητας των μονωτικών υλικών και των προσόψεων κτιρίων στους μύκητες». Διεξήχθησαν ενδεικτικά τεστ για συνηθισμένα προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των περισσότερων κτιρίων. Το EPS υποβλήθηκε στην επιρροή πέντε συγκεκριμένων ειδών μυκήτων προκειμένου να ελεγχθεί η ανάπτυξη τους. Παρόλο που το EPS δεν είναι πλήρως αδιαπέραστο, έχει μεγάλο βαθμό ανθεκτικότητας στην απορρόφηση της υγρασίας. Έχει την ιδιότητα να ελέγχει την υγρασία και το φιλτράρισμα του αέρα, γεγονός το οποίο εμποδίζει την ανάπτυξη μούχλας.

2.4.5 Διαχείριση και εγκατάσταση.

Το EPS είναι ένα υλικό ελαφρύ, συμπαγές και όχι εύθραυστο. Είναι πρακτικό και εύκολο στη διαχείριση και την τοποθέτησή του. Η δυνατότητα διαμόρφωσης σε καλούπι επιτρέπει στο εργοστάσιο να δημιουργήσει σχήματα που να εφαρμόζουν σε όλες τις αρχιτεκτονικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις. Η ευέλικτη διαδικασία παραγωγής επιτρέπει την παράδοση των προϊόντων στη ζητούμενη πυκνότητα, μόνωση και μηχανικές ιδιότητες, σχήμα και μέγεθος, γεγονός που σημαίνει τη δημιουργία λιγότερων απορριμμάτων στο εργοτάξιο. Είναι δυνατό να γίνουν και επί τόπου μετατροπές χωρίς την χρήση ειδικών εργαλείων κοπής. Μπορεί να κοπεί στο επιθυμητό μέγεθος με τη χρήση απλών εργαλείων όπως μαχαίρι ή πριόνι.

Η διαχείριση του υλικού δεν παρουσιάζει κινδύνους για την υγεία κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, της εγκατάστασης, της χρήσης και της κατεδάφισης, καθώς δεν απελευθερώνεται ακτινοβολία, ίνες ή άλλες ουσίες. Μπορεί εύκολα να γίνει η διαχείριση και η επεξεργασία του EPS χωρίς να προκληθεί ερεθισμός, έκζεμα ή έγκαυμα στο δέρμα, στους πνεύμονες ή στα μάτια. Αυτό σημαίνει πως μάσκες, γυαλιά και άλλος προστατευτικός εξοπλισμός δεν είναι απαραίτητος για τη χρήση του EPS.

Το τσιμέντο, ο ασβέστης, ο γύψος, ανυδρίτης και κονίαμα, που έχουν τροποποιηθεί με διασπορά πλαστικού, δεν επηρεάζουν το EPS, και έτσι μπορεί άνετα να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με συμβατικούς τύπους κονιάματος, γύψου και τσιμέντου. Όλα αυτά το καθιστούν ένα υλικό απολύτως ασφαλές και πρακτικό στη χρήση για όλες τις εφαρμογές δόμησης ακόμη και για υπόγειες και θαλάσσιες κατασκευές.

2.4.6. Συμπεριφορά σε περίπτωση φωτιάς.

Το EPS, σε αντίθεση με τα περισσότερα οργανικά δομικά υλικά, είναι αυτοσβεννόμενο. Σε θερμοκρασίες πάνω από 100°C το EPS αρχίζει να μαλακώνει, να διαστέλλεται και τελικά να λιώνει. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες τα αέρια από την καύση σχηματίζονται από την αποσύνθεση της μάζας του λιωμένου υλικού. Εύφλεκτα αέρια σχηματίζονται μόνο σε θερμοκρασίες πάνω από 350°C.

Το EPS παράγεται, όπως και η πλειοψηφία των μονωτικών δομικών υλικών, ως «αυτοσβεννόμενο» ['self extinguishing' (SE)], επειδή περιλαμβάνει στη μάζα του

επιβραδυντικό φωτιάς. Η παρουσία επιβραδυντικών έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη συμπεριφορά σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τα υλικά με τους επιβραδυντές “SE” είναι πιο δύσκολο να αναφλεχθούν, μειώνουν σημαντικά την εξάπλωση της φωτιάς και συνεπώς δίνουν στους πυροσβέστες περισσότερο χρόνο να εκκενώσουν ένα φλεγόμενο κτίριο. Τα πρόσθετα αυτά προκαλούν αναστολή της πυρκαγιάς, έτσι ώστε όταν η πηγή φωτιάς απομακρυνθεί, το EPS θα σταματήσει να καίγεται.

Το λιωμένο EPS-SE δεν μπορεί να αναφλεγεί από σπίθες, αποτσίγαρα ή άλλα μικρά αναμμένα αντικείμενα. Με τη παρουσία μεγάλων εστιών φωτιάς, που περιλαμβάνουν και άλλα υλικά, το EPS-SE σταδιακά θα καεί.

Η μόνωση με χρήση πλαστικών παλιότερα ήταν συνυφασμένη με τον αυξημένο κίνδυνο φωτιάς. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από φωτιές σε μεγάλα αρχιτεκτονικά κτίρια όπου δεν χρησιμοποιήθηκε μόνωση με πρόσθετους επιβραδυντές. Στην πραγματικότητα η συμπεριφορά του EPS κατά τη διάρκεια φωτιάς εξαρτάται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες χρησιμοποιείται. Από τη βιομηχανία συστήνεται το EPS να χρησιμοποιείται μαζί με ένα υλικό επικάλυψης ή πίσω από τοίχο με τούβλα, τσιμέντο, γύψο κλπ.

Παρόλα αυτά ο καλύτερος τρόπος να αποφευχθεί η εξάπλωση φωτιάς είναι με τη σωστή προστασία της μόνωσης από κάθε πηγή ανάφλεξης. Κανένα μονωτικό υλικό δεν χρησιμοποιείται ακάλυπτο, όχι μόνο από άποψη κινδύνου φωτιάς αλλά και για καλύτερη διατήρηση των μηχανικών και μονωτικών ιδιοτήτων.

2.4.7. Ποιότητα εσωτερικού αέρα.

Στατιστικά, οι Ευρωπαίοι περνούν το 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους και συνεπώς η ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την αποδοτικότητα των κατοίκων του. Η άνεση των κατοίκων, από άποψη θερμότητας αλλά και ακουστικής, είναι σημαντικό συστατικό της ποιότητας του εσωτερικού αέρα. Η μόνωση με EPS μπορεί να διατηρήσει μια ομοιόμορφη θερμοκρασία αέρα, παρέχοντας έτσι θερμική άνεση, και επίσης μπορεί να δράσει και ως εμπόδιο ήχου, παρεμποδίζοντας τη μεταφορά του ήχου μέσα από εσωτερικούς και εξωτερικούς τοίχους.

Το EPS κατασκευάζεται με πεντάνιο, έναν υδρογονάνθρακα που δρα ως διασταλτικός παράγοντας, ο οποίος δεν είναι επιβλαβής για τη στρατόσφαιρα και ο οποίος διαχέεται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας καλουπάματος. Από τη στιγμή που ο διασταλτικός παράγοντας αντικαθίσταται από αέρα, η μόνωση που εγκαθίσταται δεν ελευθερώνει σημαντικές ποσότητες πεντανίου ή άλλων ουσιών που μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

Οι οδηγίες της Αμερικανικής Πνευμονολογικής Εταιρείας [American Lung Association’s (ALA)] για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι από τις πιο αυστηρές στον κόσμο. Αναγνωρίζουν το EPS ως ασφαλές υλικό για τη μόνωση τοίχων και δαπέδων. Άλλα σπίτια που έχουν εγγραφεί στη ALA έχουν χρησιμοποιήσει τσιμεντένιες μονώσεις με σκοπό να ακολουθήσουν τις αυστηρές προδιαγραφές τους. Παρόλο που η ALA δεν προωθεί συγκεκριμένα υλικά ή προϊόντα, τονίζει πως τοίχοι που έχουν μονωθεί με EPS δεν απελευθερώνουν ίνες βλαβερές για τους πνεύμονες.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, επειδή το EPS δεν περιέχει θρεπτικά συστατικά για τους μύκητες και δεν ευνοεί την ανάπτυξη της μούχλας και των μυκήτων, αυτό σημαίνει πως η ποιότητα του εσωτερικού αέρα δεν επηρεάζεται αρνητικά από την εμφάνιση τέτοιων μικροοργανισμών.

2.4.8. Πιστοποιημένη μονωτική ικανότητα.

Το μονωτικό υλικό EPS έχει μεγάλο και αποδεδειγμένο ιστορικό ποιότητας και παράγεται κάτω από τη σήμανση CE σύμφωνα με τα CEN στάνταρ της ΕΕ, π.χ. EN 13163. Σε πολλές χώρες, υπάρχουν επιπλέον σημάσεις ποιότητας, εθελοντικά, προκειμένου να υπάρχει καλύτερη εφαρμογή του προϊόντος σε συγκεκριμένες κατασκευές. Αυτή είναι η εγγύηση για τον κατασκευαστή και τον ιδιοκτήτη του σπιτιού ότι το μονωτικό υλικό EPS ικανοποιεί πλήρως όλες τις νομικές προδιαγραφές.

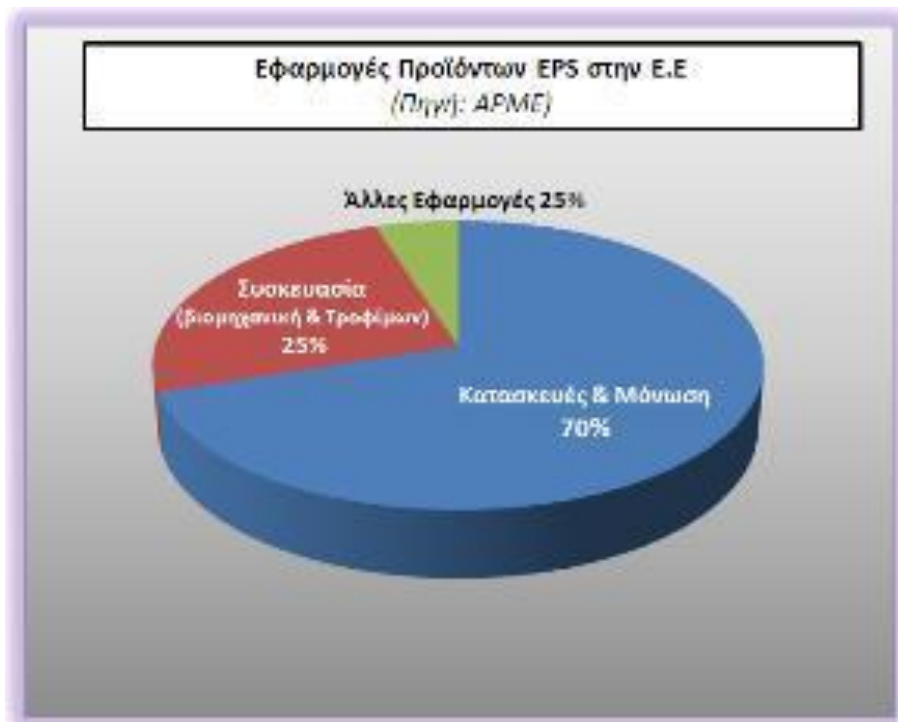
2.5 Εφαρμογές του EPS.

Οι εφαρμογές της διογκωμένης πολυστερίνης κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες. Εφαρμογές σε έργα πολιτικού μηχανικού και εφαρμογές σε προϊόντα και εφαρμογές συσκευασίας.

Στα έργα πολιτικού μηχανικού αναφερόμαστε πλέον διεθνώς σε ένα πολύ ελαφρύ δομικό υλικό πολλαπλών χρήσεων με τις κατωτέρω επιμέρους κατηγορίες:

- Θερμομονωτικά – ηχομονωτικά υλικά κατασκευών, για θερμομόνωση – ηχομόνωση τοίχων (εξωτερική – εσωτερική), δαπέδων, οροφών – δωματίων, πιλοτής.
- Ελαφροβαρή μονωτικά κονιάματα, για την διάστρωση και κατασκευή δαπέδων από πάσης φύσεως υλικά καθώς επίσης για την κατασκευή εξωτερικών και εσωτερικών διακοσμητικών στοιχείων στα κτίρια.
- Γεωαφρός θεμελίωσης, για την κατασκευή θεμελιώσεων κτιρίων, χωρίς τη χρήση ξυλοτύπων.
- Γεωαφρός υποδομών, για την κατασκευή ελαφρών επιχωμάτων σε έργα οδοποιίας, καθώς επίσης μεταβατικών επιχωμάτων σε έργα γεφυροποιίας.
- Γεωαφρός απόσβεσης εδαφικών ωθήσεων, για την στατική και σεισμική θωράκιση των κατασκευών (κτιρίων, τοίχων αντιστήριξης, ακροβάθρων γεφυρών, πυλώνων κ.λπ.) έναντι στατικών & δυναμικών εδαφικών ωθήσεων.
- Γεωαφρός πλωτών κατασκευών, για την κατασκευή θεμελιώσεων πλωτών τεχνικών έργων (κατοικίες, λιμενικά κ.λπ.).

Στη συσκευασία, χρησιμοποιείται για την μεταφορά ευπαθών και ευαίσθητων υλικών και προϊόντων, όπως τρόφιμα (νωπά & κατεψυγμένα), πολύτιμα είδη, ανθρώπινα όργανα για μεταμοσχεύσεις, καθώς επίσης για τη συσκευασία βιομηχανικών ειδών, όπως οικιακές συσκευές (τηλεοράσεις, πλυντήρια κ.τ.λ.) ηλεκτρονικά είδη, πάσης φύσεως βιομηχανικά προϊόντα κ.λπ. Δεν υπάρχει πιο οικονομικό και πιο ασφαλές υλικό από τη διογκωμένη πολυστερίνη.



Σχήμα 2.9 Εφαρμογές EPS

2.5.1 Παραδείγματα εφαρμογών του EPS σε έργα πολιτικού μηχανικού.

2.5.1.1 Διακόσμηση – Αρχιτεκτονική - Αναπαλαιώσεις κτιρίων.

Οι σύγχρονοι αρχιτέκτονες, διακοσμητές και βιομηχανικοί σχεδιαστές έχουν βρει στη διογκωμένη πολυστερίνη ένα νέο, ιδιαίτερα οικονομικό και εύχρηστο υλικό, με απεριόριστες δυνατότητες στη διαμόρφωση οποιουδήποτε σχήματος και σε οποιοδήποτε μέγεθος συλλάβει η φαντασία τους.

Η Διογκωμένη Πολυστερίνη- EPS απελευθέρωσε τη δημιουργική τους σκέψη σε φόρμες και ιδέες, που μέχρι πρότινος ήταν πρακτικά και κατασκευαστικά ανέφικτες.

Για τους αρχιτέκτονες και διακοσμητές έχει εξευρεθεί η λύση να αναπαράγουν φόρμες και ανάγλυφες παραστάσεις, που τους βοηθούν στην αναπαλαίωση κτιρίων όλων των προγενέστερων αρχιτεκτονικών και διακοσμητικών ρευμάτων, με πολύ χαμηλό κόστος, απαράμιλλη ποιότητα και πιστότητα και το σπουδαιότερο από όλα, με τη μικρότερη δυνατή στατική επιβάρυνση των παλαιών κατασκευών. Επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να επιτυγχάνουν ταυτόχρονα την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων.

Οι μέχρι σήμερα αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις στις κατασκευές, αλλά και οι αναπαλαιώσεις ιστορικών μνημείων, με τη βοήθεια διακοσμητικών προϊόντων από EPS, όπως ο Πύργος των Δόγηδων στη Βενετία, εγγυώνται την αντοχή και τη βιωσιμότητα του υλικού σε βάθος χρόνου. Η υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής του EPS, σύμφωνα με διεθνείς μελέτες αλλά και με πρόσφατα αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών του Πανεπιστημίου Πατρών, ξεπερνά κατά πολύ τα 100 έτη και είναι το μοναδικό υλικό που προδιαγράφεται για τέτοιου είδους εφαρμογές.

Ενδεικτικά, οι κατηγορίες υλικών και εφαρμογών διακόσμησης που χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως είναι:

- Κορνίζες, οποιασδήποτε μορφής και μεγέθους
- Αετώματα, Ανάγλυφες παραστάσεις, γλυπτά
- Φουρούσια μπαλκονιών, Μετώπες
- Κίονες, βάσεις, κιονόκρανα
- Τόξα, Τρούλοι
- Διαφημιστικές κατασκευές
- Σκηνικά - Βιτρίνες

Οποιοδήποτε σχήμα ή μέγεθος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ο αρχιτέκτονας και ο διακοσμητής, είναι εφικτό, είτε με τα ειδικά μηχανήματα τρισδιάστατης κοπής και τριών βαθμών ελευθερίας (παντογράφους) είτε με τη χρήση ειδικών καλουπιών.

Η διογκωμένη πολυστερίνη έχει τη δυνατότητα να συνεργάζεται με ένα μεγάλο πλήθος υλικών επικάλυψης, όπως σοβάδες, πλαστικά υλικά και χρώματα, τα οποία σε απόλυτη συνεργασία μεταξύ τους, δίνουν μία σταθερή εφαρμογή, υψηλής αισθητικής, μεγάλης αντοχής και ελάχιστου βάρους.



Σχήμα 2.10 Παρουσίαση εφαρμογών EPS



Σχήμα 2.11 Παρουσίαση εφαρμογών EPS

2.5.2 Παραδείγματα εφαρμογών του EPS στην συσκευασία.

Οι πραγματικά μοναδικές θερμομονωτικές ιδιότητές της διογκωμένης πολυστερίνης ακόμη και σε ακραίες θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με την πολύ υψηλή απορροφητικότητα σε κραδασμούς που διαθέτει, την καθιστούν ένα από τα πλέον δημοφιλή υλικά παγκοσμίως για την μεταφορά πολυτίμων και ευαίσθητων αγαθών, νωπών, θερμών και καταψυγμένων τροφίμων.

Η συσκευασία από EPS μπορεί να διαχωριστεί σε Βιομηχανική συσκευασία, συσκευασία τροφίμων, Συσκευασία αγροτικών προϊόντων και συσκευασία ευαίσθητων προϊόντων.



Σχήμα 2.12 Τρισδιάστατα αντικείμενα από EPS

2.5.2.1 Βιομηχανική Συσκευασία.

Η διογκωμένη πολυστερίνη - EPS προσφέρει μεγάλη προστασία για πολύτιμα ή εύθραυστα αντικείμενα. Όποιος και αν είναι ο τρόπος μεταφοράς των προϊόντων – οδικώς, σιδηροδρομικώς, αεροπορικώς ή μέσω θάλασσας – η συσκευασία από διογκωμένη πολυστερίνη θα εξασφαλίσει ασφαλή μεταφορά. Το EPS είναι 100% ανακυκλώσιμο.

2.5.2.2 Συσκευασία Τροφίμων

Επειδή είναι ζωτικής σημασίας, η διατήρηση με ασφάλεια της ψυχρής αλυσίδας για τα ευαίσθητα στη θερμοκρασία προϊόντα κατά τη διάρκεια μεταφοράς τους, το EPS είναι το πλέον κατάλληλο υλικό. Το EPS έχει εγκριθεί ως υλικό συσκευασίας για τρόφιμα, επειδή μπορεί να έρθει σε επαφή με τα τρόφιμα με ασφάλεια, δεν αναπτύσσει μύκητες ή άλλους επιβλαβείς οργανισμούς.

Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να αποστειρωθεί αποτελεσματικά για να καλύψει ανάγκες μεταφοράς σε πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες.

2.5.2.3 Συσκευασία αγροτικών προϊόντων.

Η διογκωμένη πολυστερίνη - EPS χρησιμοποιείται στην αγροτική βιομηχανία για την κατασκευή τελάρων φύτευσης πολλαπλών θέσεων (σποριόφυτα) και σε άλλα συστήματα ταχείας ανάπτυξης παντός τύπου χλωρίδας. Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή μελισσοκυψελών πολλαπλών χρήσεων.

Σε ειδικές εφαρμογές χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό φυτοχωμάτων σε ειδικές καλλιέργειες, στην ανθοκομία, στην υδροπονία και στα φυτεμένα δώματα.



Σχήμα 2.13 Εφαρμογές EPS σε φυτώρια και γεωργικές καλλιέργειες

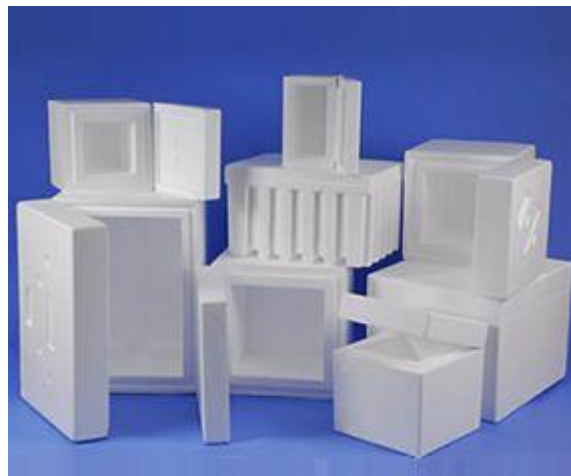


Σχήμα 2.14 Εφαρμογές EPS σε φυτώρια και γεωργικές καλλιέργειες

2.5.2.4 Συσκευασία ευαίσθητων προϊόντων.

Το EPS προσφέρει μεγάλη προστασία για πολύτιμα ή εύθραυστα αντικείμενα. Η αντοχή του και οι μονωτικές του ικανότητες, το αφήνουν ανεπηρέαστο από την υγρασία και επιπλέον δεν είναι εύθραυστο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι συσκευασίες EPS έχουν εκπληκτική θλιπτική αντοχή και πολύ καλό σφράγισμα. Μπορούν να στοιβαχτούν με ασφάλεια χωρίς να προκαλέσουν κάποια ζημιά στα μεταφερόμενα προϊόντα. Το EPS είναι 100% ανακυκλώσιμο.

Παράδειγμα συσκευασίας ευαίσθητων προϊόντων αποτελεί η μεταφορά εμβολίων σε όλο τον κόσμο. Η παγκοσμίως γνωστή φαρμακευτική εταιρεία Schering – Plough, παράγει το Paracox®, το πρώτο εμβόλιο το οποίο προστατεύει τα κοτόπουλα από το coccidiosis, μία ιδιαίτερα μολυσματική παρασιτική μόλυνση, η οποία προσβάλλει τα πουλερικά. Η τεχνολόγος συσκευασίας, Maria Eldridge-Brown, είναι υπεύθυνη για να διασφαλίζει ότι τα εμβόλια μπορούν σταλούν με ασφάλεια σε ολόκληρο τον κόσμο. Δηλώνει: «Εργάζομαι στην εταιρεία LINPAC και σχεδιάζω ένα κουτί που πρέπει να κρατάει τα πλαστικά φιαλίδια ασφαλή στους κραδασμούς και με τη βοήθεια ενός ζελέ, το πακέτο πρέπει να διατηρεί τη θερμοκρασία του σταθερή, όπως απαιτείται για το εμβόλιο. Τα εμβόλια πρέπει να φυλάσσονται σε μία σταθερή θερμοκρασία, μεταξύ 2⁰C και 8⁰C για τη μεταφορά τους μέχρι τη Νέα Ζηλανδία, σε διαδρομές οι οποίες μπορεί να διαρκέσουν έως και 36 ώρες.» Καταλήγει: «Οι πελάτες μας θέλουν τα εμβόλια να συσκευάζονται σε EPS, εξαιτίας των μοναδικών μονωτικών του ιδιοτήτων».



Σχήμα2.15 Συσκευασίες από EPS

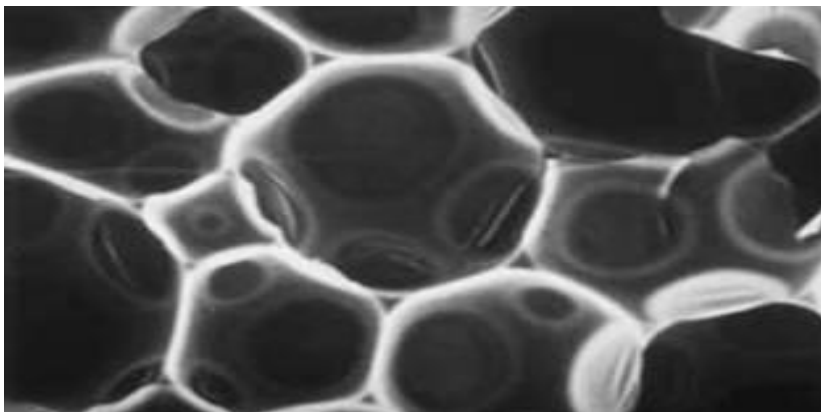
2.5.2.5 Πλεονεκτήματα του EPS σε τεχνικά έργα.

➤ Τα πλεονεκτήματα που απολαμβάνει ο χρήστης από την εφαρμογή της διογκωμένης πολυστερίνης είναι πολυάριθμα. Τα κυριότερα παρατίθενται κατωτέρω:

➤ Άριστη θερμομόνωση: Αποτελείται κατά 98% από αέρα (80%N₂, 20%O₂), εγκλωβισμένο σε κλειστές ερμητικές κυψέλες, γεγονός που το καθιστά άριστο θερμομονωτικό υλικό.

➤ Αποδεδειγμένη ακουστική μόνωση: Απορροφά τον ήχο, τόσο τον ήχο προσκρούσεως στα πλωτά δάπεδα όσο και τον ήχο των τοίχων που μεταφέρεται δι' αέρος. Η ιδιότητα αυτή αυξάνεται σημαντικά έπειτα από ειδική κατεργασία.

- Ανθεκτικό στην υγρασία: Αντιστέκεται στην φθορά που μπορεί να προκαλέσει το νερό ακόμη και αν βρίσκεται βυθισμένο σε αυτό για πάνω από 50 χρόνια, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για πλωτές κατασκευές.
- Διάρκεια εφ' όρου ζωής: Δεν γερνάει, δεν αποσυντίθεται, δεν αποδομείται, κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιείται για πάντα.
- Ευέλικτες μηχανικές ιδιότητες: Η ευέλικτη διαδικασία παραγωγής του καθιστά τις μηχανικές ιδιότητες του EPS εύκολα προσαρμόσιμες σε οποιαδήποτε ιδιάζουσα ή πολύπλοκη εφαρμογή.
- Πολλαπλή χρησιμότητα: Μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε σχήμα ή μέγεθος και συνδυάζεται κατασκευαστικά με μια ευρεία ποικιλία υλικών.
- Οικονομικά συμφέρον: Προσφέρει την καλύτερη αναλογία τιμής - απόδοσης συγκρινόμενο με οποιοδήποτε άλλο θερμομονωτικό υλικό.
- Εύκολη μεταφορά: Είναι εξίσου ελαφρύ όσο κι ο αέρας και συνεπώς χρειάζεται λιγότερα καύσιμα μεταφοράς και λιγότερο κόπο στην τοποθέτηση.
- Εύκολη τοποθέτηση: Είναι ελαφρύ, πρακτικό κι εύκολο στον χειρισμό και στην τοποθέτηση.
- Επιβράδυνση σε περίπτωση πυρκαγιάς: Υπάρχουν δύο ειδών: το «κλασικό» και το «αυτοσβενύμενο», το οποίο και περιέχει επιβραδυντικά στοιχεία σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- Ανακυκλούμενο: Ανακυκλώνεται με διάφορους τρόπους και συνεπώς δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.
- Φιλικό προς το περιβάλλον: Έχει τον αποδοτικότερο κύκλο ζωής από όλα τα θερμομονωτικά υλικά και χρησιμοποιεί την λιγότερη ενέργεια για την παραγωγή και την ανακύκλωσή του.
- Όριο Ζωής: Σύμφωνα με Μελέτη του Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών – Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, με την εφαρμογή της αρχής της επαλληλίας χρόνου-θερμοκρασίας για τον προσδιορισμό της ερπυστικής συμπεριφοράς των Γεωαφρών EPS σε βάθος χρόνου αποδείχθηκε ότι: «Όταν το επιβαλλόμενο φορτίο προκαλεί αρχική παραμόρφωση έως 0.5%, αναμένεται γραμμική απόκριση των γεωαφρών EPS για χρονικό διάστημα έως 100 έτη». Ανθεκτικότητα της θερμικής αντίστασης σε γήρανση και αποδόμηση: «Η θερμική αγωγιμότητα των προϊόντων EPS δε μεταβάλλεται στο χρόνο».



Σχήμα 2.16 Το EPS κάτω από μικροσκόπιο

2.5.2.6 EPS και Περιβάλλον.

Το EPS είναι ένα υλικό 100% ανακυκλώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον. Μπορεί να ανακυκλωθεί με πολλούς τρόπους, όταν δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί. Μερικοί από αυτούς τους τρόπους είναι η απευθείας ανακύκλωσή του σε νέα κατασκευαστικά προϊόντα ή η χρήση του ως καθαρό καύσιμο με σκοπό να ανακτήσει το ενεργειακό περιεχόμενό του. Η

επιλογή της μεθόδου ανακύκλωσης βασίζεται σε τεχνικές, περιβαλλοντολογικές και οικονομικές μελέτες.

Η έννοια ανακυκλώσιμο θα πρέπει υποχρεωτικά να συνδυάζεται με την έννοια της ενέργειας ή καλύτερα της κατανάλωσης ενέργειας. Κάθε τι που ανακυκλώνεται βοηθάει στην εξοικονόμηση ενέργειας επειδή δημιουργείται ένα νέο προϊόν, όμως αυτή η δυνατότητα πρέπει να συνδυάζεται με τον συνολικό κύκλο εργασιμής ζωής του προϊόντος, από την παραγωγή των πρώτων υλών μέχρι την στιγμή που θα επανέλθει στο περιβάλλον σαν τελικό απόρριμμα.

Διότι μπορεί κάποιος να ισχυριστεί ότι είναι οικολογικό ή φιλικό προς το περιβάλλον ένα προϊόν, με βάση την πρώτη ύλη από την οποία παράγεται, όμως δεν έχει αναλογιστεί πόση ενέργεια πρέπει να δαπανήσουμε για να παράγουμε το υλικό στη μορφή που θα το χρησιμοποιήσουμε και στη συνέχεια, κατά πόσο το υλικό αυτό μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί.

Εάν δε, μπορεί να ανακτηθεί μέσω ανακύκλωσης κατά 100% και η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή του είναι κατά πολλές φορές λιγότερη από την ενέργεια που εξοικονομεί λόγω της χρήσης του όπως η διογκωμένη πολυστερίνη, τότε δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το EPS είναι σαφώς οικολογικό.

Τα πιστοποιημένα προϊόντα διογκωμένης πολυστερίνης, που παράγουν τα μέλη του Συνδέσμου, διαθέτουν ευρωπαϊκή οικολογική σήμανση “ECO” και έχουν το μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από ΟΛΑ τα θερμομονωτικά προϊόντα της αγοράς.

2.6 Πλεονεκτήματα της χρήσης του EPS σε σχέση με το Περιβάλλον.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του EPS σε σχέση με το Περιβάλλον είναι τα εξής:

✓ Υπερβολικά ασφαλές: Το EPS δεν είναι τοξικό, είναι εντελώς αδρανές. Δεν περιέχει χλωροφλοράνθρακες (CFCs) ή υδροφλοράνθρακες (HCFCs) καθ’ όλη τη διάρκεια της ζωής του. Επίσης, το EPS δεν περιέχει καμία διατροφική αξία και συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος μυκητιάσεων ή μικροοργανισμών.

✓ Ανακυκλώσιμο: Το EPS μπορεί να ανακυκλωθεί με πολλούς τρόπους όταν δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί στην αρχική του μορφή. Μερικοί από αυτούς τους τρόπους είναι η απευθείας ανακύκλωσή του σε νέα κατασκευαστικά προϊόντα ή η χρήση του σαν καθαρό καύσιμο, με σκοπό να ανακτήσει το ενεργειακό περιεχόμενό του. Η επιλογή της μεθόδου ανακύκλωσης βασίζεται σε τεχνικές, περιβαλλοντολογικές και οικονομικές μελέτες.

✓ Ζητήματα υγείας: Το EPS δε θέτει σε κίνδυνο την υγεία τόσο στην εγκατάσταση όσο και κατά τη διάρκεια της χρήσης. Το EPS δε γρατζουνά τα χέρια, ούτε ερεθίζει το δέρμα ή τις βλεννογόνους. Οι κανόνες των συνθηκών εργασίας δεν απαιτούν τη χρήση γαντιών ή μάσκας όταν χρησιμοποιείται ένα τόσο απαλό και συμπαγές υλικό. Το EPS είναι βιολογικά αδρανές και δεν παράγει καμία παθογενή σκόνη, ακόμα και μακροπρόθεσμα. Κατ’ επέκταση, το EPS είναι εξίσου ασφαλές για αυτούς που το εγκαθιστούν και για αυτούς που το χρησιμοποιούν.

✓ Τηρεί όλες τις προϋποθέσεις πυρκαγιάς κι ασφαλείας: Όλες οι κατασκευαστικές εφαρμογές του EPS, όπως προωθούνται από την Ευρωπαϊκή βιομηχανία του EPS, τηρούν τους τοπικούς κατασκευαστικούς κανονισμούς σε κάθε ευρωπαϊκή χώρα.



Σχήμα2.17 Ευκολίες κατά την χρήση του EPS

2.7 Εξοικονόμηση Ενέργειας.

Η Διογκωμένη Πολυστερίνη EPS είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευαστική βιομηχανία από τα θεμέλια ως την οροφή, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μία φυσική επιλογή για λόγους συσκευασίας.

Το EPS έχει πολλά θετικά γνωρίσματα, ένα εκ των οποίων είναι ο αποδεδειγμένα υψηλός βαθμός ασφαλείας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του – από την παραγωγή και τη χρήση του έως τη επαναχρησιμοποίηση ή την ανακύκλωσή του.

Πως μπορεί να συμβάλλει η διογκωμένη πολυστερίνη στη μείωση της παγκόσμιας ανόδου θερμοκρασίας; Είναι ξεκάθαρο ότι για να μειωθεί η ενέργεια που προκαλεί την παγκόσμια άνοδο της θερμοκρασίας, είναι απαραίτητο να καταναλώνονται λιγότερα απολιθωματικά καύσιμα. Οι έρευνες έδειξαν ότι οι πρωτοβουλίες χρήσης μεθόδων που εξασφαλίζουν ενεργειακή επάρκεια στον κατασκευαστικό τομέα, είναι ανάμεσα στα πιο αποδοτικά μέτρα που είναι διαθέσιμα για τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Αυξάνοντας τα επίπεδα μόνωσης των κτιρίων, μπορούν να μειωθούν οι ενεργειακές τους ανάγκες. Έτσι η περίοδος απόσβεσης της επένδυσης υπολογίζεται να είναι μικρότερο από ένα χρόνο.

Η πρωτογενής ενέργεια που είναι απαραίτητη για την παρασκευή ενός κυβικού μέτρου EPS είναι 151 – 269 kwh, το αντίστοιχο της καύσης 15 – 27 λίτρων καυσίμων. Αυτό αφορά στην ποσότητα της θερμότητας που εξοικονομείται σε έξι μήνες ή λιγότερο, όταν αυτός ο όγκος μονωτικού υλικού χρησιμοποιείται για θερμομόνωση. Από εκεί και πέρα εξοικονομείται ενέργεια όσο το κτίριο χρησιμοποιείται και συνεπώς απαιτεί την καύση λιγότερων απολιθωματικών καυσίμων, γεγονός που οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή CO₂.

2.8 Επίδραση στο Περιβάλλον.

Το EPS είναι ένα από τα καλύτερα μονωτικά υλικά όσον αφορά στο σεβασμό του περιβάλλοντος. Το EPS δεν περιέχει και δεν χρησιμοποιεί CFCs ή HCFCs κατά τη διάρκεια της κατασκευής του και συνεπώς, δε βλάπτει το όζον.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή των πρώτων υλών (διαστελλόμενη σταγόνα πολυστερίνης) και την μετατροπή τους σε μόνωση EPS, είναι πολύ μικρές. Καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του EPS, οι μόνες περιβαλλοντικές πλευρές είναι αυτές των αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα λόγω της παραγωγής της απαιτούμενης ενέργειας.

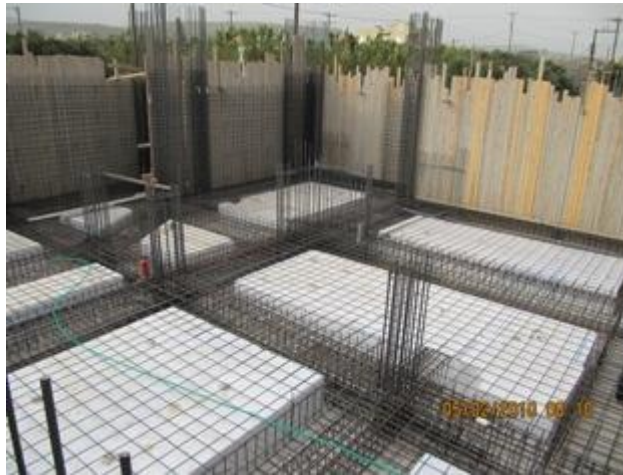
Επίσης κατά τη διάρκεια της μετατροπής των πρώτων υλών σε μονωτικές πλάκες απελευθερώνεται μικρή ποσότητα πεντανίου (χρησιμοποιείται ως μέσον διόγκωσης), το οποίο έπειτα από μακροχρόνιες έρευνες απεδείχθη ότι δεν ενοχοποιείται να συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Όταν το EPS εγκατασταθεί σε ένα κτίριο, τα επίπεδα εκπομπής είναι μηδενικά, εξαιτίας του γεγονότος ότι ο όγκος του αποτελείται κατά 98% από αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΑΦΡΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ

Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες και σημαντικές εφαρμογές του γεωαφρού EPS είναι στη θεμελίωση συμβατικών έργων, καθώς επίσης και έργων υποδομής.



Σχήμα3.1 Θεμελίωση με EPS

Για τα έργα υποδομής οι εφαρμογές αναλύονται στις επιμέρους ενότητες:

- Ελαφρά Επιχώματα
- Μεταβατικά Επιχώματα

Στα συμβατικά έργα, όπως είναι οι θεμελιώσεις κτιρίων, μπορεί να καλύψει όλων των ειδών και τύπων τυπολογίες οι οποίες για λόγους απλοποίησης μπορούν να ταξινομηθούν στις:

- Συμβατικές Θεμελιώσεις
- Radie (γενικές κοιτοστρώσεις)

Και στις δύο περιπτώσεις μπορούμε να επιτύχουμε τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

- Ταχύτητα
- Οικονομία
- Καθαριότητα
- Αξιοπιστία
- Ενιαία αντοχή και συμπεριφορά του φορέα

Ο γεωαφρός EPS μπορεί να επιλύσει ακόμη και σύνθετα προβλήματα θεμελίωσης όπως επί παραδείγματι θεμελίωση ακροβάθρων γεφυρών σε εδάφη με χαμηλή φέρουσα ικανότητα,

αντικαθιστώντας τις συμβατικές πανάκριβες μεθόδους θεμελίωσης (εξυγιάνσεις, πασσάλους, προφορτίσεις κ.λπ.

Με τη χρήση γεωαφρού EPS κερδίζουμε: ΧΡΟΝΟ & ΧΡΗΜΑ



Σχήμα 3.2 Θεμελίωση τύπου γενικής κοιτόστρωσης

Αντικείμενο έρευνας έχει υπάρξει και η μελέτη της συμπεριφοράς της Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) όταν αυτή χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης μεταξύ των πεδιλοδοκών θεμελίωσης κτιριακών οικοδομικών έργων.



Σχήμα 3.3 Τοποθέτηση πλακών EPS σε γενική κοιτόστρωση

Στόχος ήταν να εξετασθεί η ευεργετική δράση του EPS στη διαστασιολόγηση της πλάκας (ισογείου ή υπογείου) η οποία εδράζεται επί πεδιλοδοκών, έτσι ώστε να επιλύσει χρόνια προβλήματα του χώρου των κατασκευών.

Εξετάστηκαν οι πλέον συνήθεις περιπτώσεις έργων θεμελίωσης οι οποίες ουσιαστικά καλύπτουν το σύνολο σχεδόν των έργων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΕΚΥΨΕ :

1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ (5m x 5m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.30m x 1.00m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ}= 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 97 % (EPS 50), 99% (EPS 80) και 100 % (EPS 100) σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός. Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ}=100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 51 % (EPS 50), 91 % (EPS 80) και 94 % (EPS 100) για τις ροπές για την περίπτωση της κεντρικής πλάκας.

2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ (5m x 5m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.25m x 0.70m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ}= 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 100 % (EPS 50), 98 % (EPS 80) και 99 % (EPS 100) σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ}=100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 100% (EPS 50), 93% (EPS 80) και 95% (EPS 100) για τις ροπές για την περίπτωση της κεντρικής πλάκας.

3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ (4m x 7m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.3m x 1.00m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ}= 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 96% (EPS 50), 98% (EPS 80) και 99% (EPS 100) κατά τη διεύθυνση x-x και 97% (EPS 50), 99% (EPS 80) και 100% (EPS 100) κατά τη διεύθυνση ψ-ψ σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ}=100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 100 % (EPS 50), 94% (EPS 80) και 96 % (EPS 100) για τις ροπές για την περίπτωση του κεντρικού ανοίγματος κατά τη διεύθυνση x-x και 100% (EPS 50), 92% (EPS 80) και 94% (EPS 100) κατά τη διεύθυνση ψ-ψ σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ 4m x 7m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.25m x 0.70m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ}= 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 100 % (EPS 50), 97 % (EPS 80) και 98 % (EPS 100) κατά τη διεύθυνση x-x και σε 100 % (EPS 50), 98 % (EPS 100) και 99 % (EPS 100) κατά τη διεύθυνση ψ-ψ σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ}=100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 100 % (EPS 50), 95 % (EPS 80) και 97 % (EPS 100) κατά τη διεύθυνση x-x

και σε 100 % (EPS 50), 91 % (EPS 100) και 93 % (EPS 100) κατά τη διεύθυνση ψ-ψ σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ (6m x 6m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.30m x 1.00m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ} = 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 100 % (EPS 50), 100 % (EPS 80) και 100% (EPS 100) σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός. Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ} = 100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 98 % (EPS 50), 99 % (EPS 80) και 99% (EPS 100) για τις ροπές για την περίπτωση της κεντρικής πλάκας.

6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΩΝ (6m x 6m) ΜΕ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΥΣ (0.25m x 0.70m)

Η ύπαρξη διογκωμένης πολυστερίνης κάτω από τις πλάκες θεμελίωσης πάχους 7 cm για δείκτη εδάφους $K_{εδ} = 10.000 \text{ kN/m}^3$ μειώνει δραματικά τη μέγιστη ροπή ανοίγματος σε ποσοστό της τάξης του 99% (EPS 50), 100% (EPS 80) και 100% (EPS 100) σε σχέση με την περίπτωση πλάκας πάχους 20 cm όπου δεν τοποθετείται γεωαφρός.

Στην περίπτωση πιο δύσκαμπτου εδάφους με $K_{εδ} = 100.000 \text{ kN/m}^3$, οι αντίστοιχες μειώσεις ανέρχονται σε 97% (EPS 50), 99% (EPS 50) και 100% (EPS 100) για τις ροπές για την περίπτωση της κεντρικής πλάκας.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ :

Η θεμελίωση με χρήση γεωαφρού σε σχέση με τις συνήθεις συνθήκες θεμελίωσης επιφέρει:

1. Μείωση κατά 80% σε οπλισμό ανοίγματος και στήριξης
2. Μείωση στον όγκο του σκυροδέματος κατά:
20% ΕΣΧΑΡΑ ΠΛΑΚΩΝ 5x5, 4x7 ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΙ 0.30x1.00
25% ΕΣΧΑΡΑ ΠΛΑΚΩΝ 5x5, 4x7 ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟΙ 0.25 x 0.70

Δεδομένου, όμως, ότι απαιτείται ο ελάχιστος οπλισμός στην περίπτωση χρήσης είτε του EPS 50 ή του EPS 100, προτείνεται η επιλογή του οικονομικότερου εκ των δύο.

Επιπλέον οφέλη:

- α) επιτάχυνση του χρόνου κατασκευής,
- β) οικονομικότερη διαστασιολόγηση της πλάκας ισογείου ή υπογείου, και
- γ) δυνατότητα ρεαλιστικής ανάλυσης της συμπεριφοράς του συστήματος θεμελίωσης.

ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	
ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ EPS
Διαμόρφωση Δαπέδου Θεμελίωσης (Ταμπάνι)	Διαμόρφωση Δαπέδου Θεμελίωσης (Ταμπάνι)
Διάστρωση Σκυροδέματος Καθαριότητας	Διάστρωση Σκυροδέματος Καθαριότητας
Τοποθέτηση Ξυλοτύπου Θεμελίωσης	
Τοποθέτηση Οπλισμών	Τοποθέτηση Οπλισμών
Σκυροδέτηση Θεμελίων ΧΩΡΙΣ Επικάλυψη Άνω Μέρους Σιδήροπλισμων	
Αφαίρεση ξυλοτύπων (φθορά)	
Επιχώσεις Φατνωμάτων σύμφωνα με Πρότυπη Μέθοδο (3 ^α -Διαβροχη-Συμπυκνωση ανά 30 Εκ.	Τοποθέτηση EPS
Επιμελής Καθαρισμός(Πλύσιμο) άνω Τμημάτων Πέδινων - Πεδιλοδοκών	
Τοποθέτηση Σιδήροπλισμου Δαπέδου Υπογείου	Τοποθέτηση Σιδήροπλισμου Δαπέδου Υπογείου
Σκυροδέτηση	Σκυροδέτηση κουστούμι

Πίνακας 3.1

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ EPS
ΧΡΟΝΟΒΟΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΤΑΧΥΤΑΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ 1/10 ΧΡΟΝΟΥ
ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΣΥΝΕΡΓΕΙΩΝ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΣΥΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΕΓΑΛΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	ΜΗΔΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
ΔΙΑΦΟΡΙΚΕΣ ΚΑΘΗΖΗΣΕΙΣ – ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ	ΜΗΔΕΝΙΚΕΣ ΚΑΘΗΖΗΣΕΙΣ – ΑΝΑΚΟΥΦΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ
ΜΕΓΑΛΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΠΟΛΑΠΛΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΕΙΣ	ΜΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ (ΚΟΥΣΤΟΥΜΙ)
ΜΗ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΚΩΝ ΠΛΑΚΑΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ
ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ
ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ~20CM	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΑΧΟΣ ΠΛΑΚΑΣ 7 CM
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ	ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Πίνακας 3.2

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Διαστάσεις πλακών: 5 m x 5 m , 4 m x 7 m

h_1 : Αρχικό πάχος πλάκας $h_1 = 20 \text{ cm}$ → Τελικό πάχος πλάκας $h_1 = 7 \text{ cm}$

h_2 : Πάχος σκυροδέματος εξομάλυνσης $h_2 = 10 \text{ cm}$

Διαστάσεις πεδιλοδοκών:

$b_w \times h$: 0.25m x 0.7m & 0.30m x 1.00m

h_f : Ύψος φτερού πέδιλου

b_f : Πλάτος φτερού πεδιλοδοκού

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θεμελίωση χωρίς EPS

- πλάκα : $0.20 \text{ m} \times 225 \text{ m}^2 \times 210 \text{ €/m}^3 \approx 9.500 \text{ €}$
- γεμίσματα: $200 \text{ m}^3 \times 20 \text{ €/m}^3 = 4.000 \text{ €}$
- ξυλότυποι : $50 \text{ m}^3 \times 60 \text{ €/m}^3 = 3.000 \text{ €}$

Συνολικό κόστος = 16.500 €

Θεμελίωση με EPS50

- πλάκα : $0.07 \text{ m} \times 225 \text{ m}^2 \times 210 \text{ €/m}^3 \approx 3.300 \text{ €}$
- EPS50 : $200 \text{ m}^3 \times 40 \text{ €/m}^3 = 8.000 \text{ €}$

Συνολικό κόστος = 11.300 €



Σχήμα 3.4 Πλήρωση κενών θεμελίων με EPS



Σχήμα 3.5 Οπλισμός δαπέδου πάνω από EPS



Σχήμα 3.6 Σκυροδέτηση δαπέδου πάνω από EPS



Σχήμα 3.7 Σκυροδέτηση δαπέδου πάνω από EPS



Σχήμα 3.8 Δάπεδο πάνω από EPS

Πρόσφατα μελετήθηκε και παρουσιάστηκε από τον Πανελλήνιο Σύνδεσμο EPS, μια νέα και πρωτοπόρα εφαρμογή του γεωαφρού EPS στην θεμελίωση των κτιρίων.

Η εφαρμογή αυτή συνδυάζει τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και τα πλεονεκτήματα του υλικού για να επιλύσει χρόνια προβλήματα του χώρου των κατασκευών.

Με βάση την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την χρησιμοποίηση του υλικού σε εφαρμογές θεμελιώσεων μεγάλων έργων υποδομής το υλικό προτείνεται για την κατασκευή θεμελιώσεων κτιρίων με την τεχνική της γενικής κοιτόστρωσης ή Radier (γαλλική λέξη που προφέρεται: ραντιέ).

Η χρήση του EPS προσφέρεται επειδή:

- Μειώνει σημαντικά το πάχος της πλάκας θεμελίωσης στο ελάχιστο δυνατόν, βάση της μελέτης θεμελίωσης.

- Εμποδίζει - αποσβένει τις διαφορικές καθιζήσεις του εδάφους.

- Μας δίνει την δυνατότητα να θεμελιώσουμε σε μεγαλύτερο (υγιέστερο) βάθος, χωρίς στατική επιβάρυνση του εδάφους θεμελίωσης.

- Καλύπτει κάθε απαίτηση αντοχής αφού μπορεί να παραχθεί με θλιπτικές αντοχές κατά παραγγελία, από:

30 kpa = 0,306 at = 0,306 kg/cm² έως και

500 kpa = 5,10 at = 5,10 kg/cm²

3.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

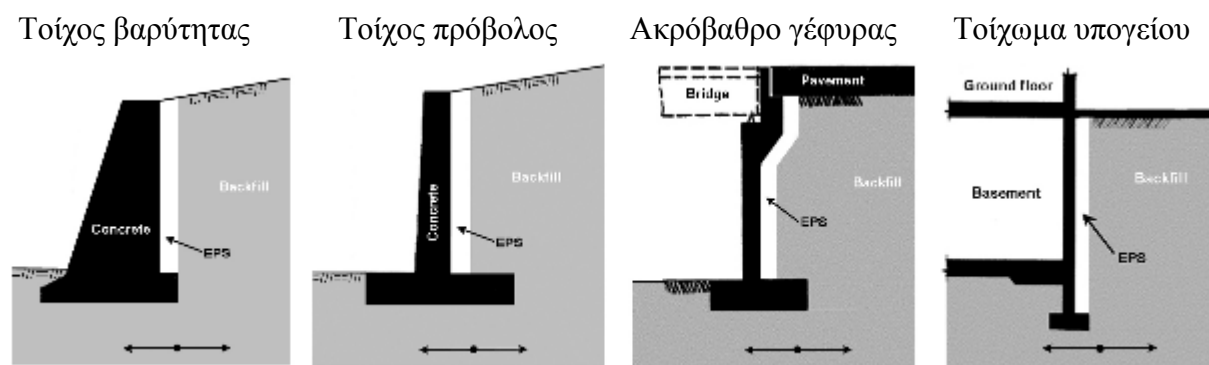
Σημασία σε έργα οδοποιίας (που περιλαμβάνουν δεκάδες χιλιόμετρα κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης) αλλά και σε οικοδομικά έργα.

Η χρησιμοποίηση οι θερμομονωτικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης είναι γνωστές εδώ και αρκετές δεκαετίες και χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές οικοδομικών έργων. Αντίθετα, είναι πολύ λίγο (ή και καθόλου) γνωστό ότι το γεωσυνθετικό αυτό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο μόνωσης (συμπιεστό παρέμβλημα) σε έργα Πολιτικού Μηχανικού έναντι τόσο ΣΤΑΤΙΚΩΝ όσο και ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ εδαφικών φορτίσεων. Σημαντική πρόοδος έχει συντελεστεί κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες στις εφαρμογές διογκωμένης πολυστερίνης για τη μείωση των στατικών εδαφικών ωθήσεων σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης (τοίχοι αντιστήριξης, ακρόβαθρα γεφυρών, τοιχώματα υπογείων χώρων). Στις συγκεκριμένες εφαρμογές, το υλικό τοποθετείται με τη μορφή ορθογώνιων πρισμάτων στην πίσω πλευρά της κατασκευής παρεμβαλλόμενο μεταξύ κατασκευής και εδάφους και γι' αυτό το λόγο ονομάζεται "συμπιεστό παρέμβλημα". Η παρουσία του επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση των πλευρικών εδαφικών ωθήσεων με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ευστάθειας της κατασκευής και τη μείωση των διαστάσεων της και επομένως και του κόστους της. Με βάση τα ανωτέρω δεδομένα ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) συνεργάζεται και υποστηρίζει, κατά τη διάρκεια της τελευταίας πενταετίας, την έρευνα του Εργαστηρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Αντικείμενο της συνεργασίας αποτελεί η ανάπτυξη

τεχνικών λύσεων οι οποίες χωρίς να απαιτούν εξειδικευμένη τεχνογνωσία και ειδικά μέσα κατά την κατασκευή οικοδομικών και άλλων τεχνικών έργων παρέχουν προστασία έναντι των στατικών ωθήσεων.

Λόγω της παρουσίας του EPS, οι στατικές οριζόντιες ωθήσεις μειώνονται μερικώς, αφού το έδαφος είναι δυνατόν να παραμορφώσει περισσότερο το EPS και συνεπώς να κινητοποιήσει τις ενεργές ωθήσεις σε μεγαλύτερο βαθμό. Η μείωση αυτή κυμαίνεται μεταξύ 5% και 30%, καθ' ύψος του τοίχου.

Αναλύσεις κόστους- οφέλους έχουν δείξει ότι η ως άνω βελτιωμένη συμπεριφορά των κατασκευών έχει ως αποτέλεσμα μειώσεις του συνολικού κόστους κατασκευής (δηλαδή συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των παρεμβλημάτων διογκωμένης πολυστερίνης) 30% ή και περισσότερο. Βέβαια το κόστος από την αποφυγή των ζημιών είναι συνήθως ανυπολόγιστο αφού εδώ συμπεριλαμβάνεται η ανθρώπινη ζωή. Γίνεται φανερό ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή της διογκωμένης πολυστερίνης αποκτά ιδιαίτερη παρεμβλημάτων διογκωμένης πολυστερίνης, αναμένεται να οδηγήσει σε κατασκευαστικές λύσεις μεγαλύτερης ευστάθειας σε συνδυασμό με σοβαρές μειώσεις κόστους. Επιπλέον θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι δυνατόν η εφαρμογή να εφαρμοστεί και εκ των υστέρων, δηλαδή σε ήδη έτοιμες κατασκευές βελτιώνοντας έτσι την στατική τους συμπεριφορά.



Σχήμα 3.9 Τύποι κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα τελευταία χρόνια διερευνάται συστηματικά από πολλούς ερευνητές η δυνατότητα χρήσης του Γεωαφρού Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) αλλά και άλλων υλικών (π.χ. τεμαχισμένων παλιών ελαστικών αυτοκινήτων) (Tweedie et al. 1998) για τη σεισμική μόνωση κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης. Ο Γεωαφρός Διογκωμένης Πολυστερίνης ανήκει στην κατηγορία των πλαστικών υλικών που χαρακτηρίζονται ως “αφροί”, ενώ ο όρος “γεωαφρός” χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές της γεωτεχνικής μηχανικής. Στη νέα αυτή προτεινόμενη εφαρμογή, ένα παρέμβλημα EPS τοποθετείται πίσω από την κατασκευή εδαφικής αντιστήριξης - στην πλευρά του επιχώματος - με σκοπό την μείωση των εδαφικών ωθήσεων που ασκούνται στην κατασκευή κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού. Η πρακτική χρησιμότητα της εφαρμογής αυτής γίνεται αντιληπτή λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, έχουν παρατηρηθεί πολλές αστοχίες κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης κατά τη διάρκεια πρόσφατων σεισμών.

Ο Horvath (1995) είναι ο πρώτος ερευνητής που προτείνει τη χρήση παρεμβλήματος EPS για τη μείωση των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης, επισημαίνοντας την ιδιαίτερη χρησιμότητα της εφαρμογής αυτής για την αντισεισμική αναβάθμιση υφισταμένων κατασκευών αντιστήριξης π.χ. ακροβάθρων

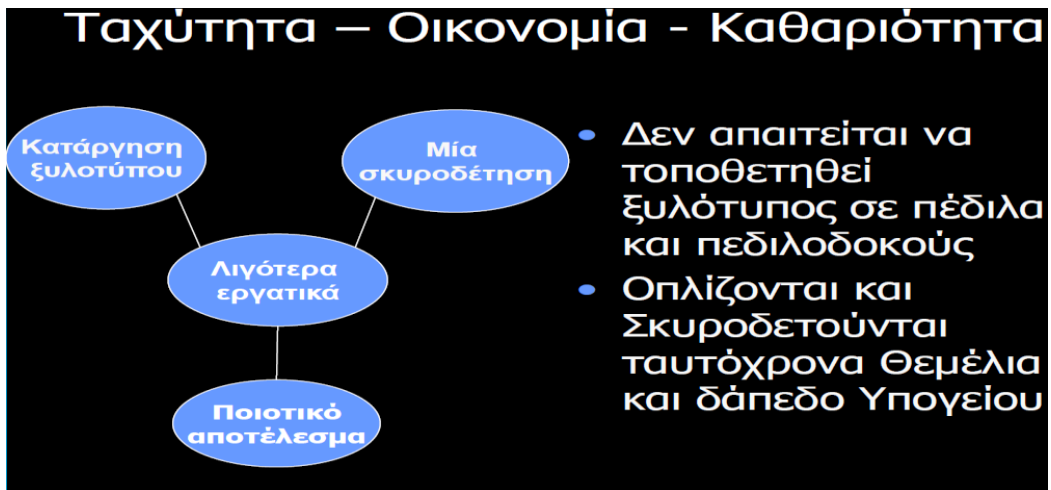
γεφυρών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο EPS χρησιμοποιείται ως συμπιεστό παρέμβλημα για τη μείωση των στατικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης ήδη από τη δεκαετία του 1980. Η ανωτέρω εφαρμογή αξιοποιεί την υψηλή συμπιεστότητα του EPS η οποία προκαλεί “ελεγχόμενη διαρροή” (controlled yielding) του αντιστηριζόμενου εδαφικού επιχώματος έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση των ωθήσεων που ασκούνται στην κατασκευή αντιστήριξης (Karuraru and Bathurst 1992, Tsukamoto et al. 2001, 2002). Σύμφωνα με το Horvath (2004) στις περισσότερες κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης το απαιτούμενο πάχος του συμπιεστού παρεμβλήματος για τη μείωση των στατικών ωθήσεων είναι 30cm, περίπου.

Η πρώτη εφαρμογή του EPS για τη σεισμική μόνωση κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης αναφέρεται από τους Inglis et al. (1996). Οι ανωτέρω ερευνητές διεξήγαγαν αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (κώδικας FLAC) για την περίπτωση άκαμπτου τοίχου, ύψους 9m, σεισμικά μονωμένου με παρέμβλημα EPS χαμηλής πυκνότητας, πάχους 45cm έως 60cm, περίπου, και διαπίστωσαν ότι αναμένεται μείωση των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται στον τοίχο κατά 50% (Bathurst and Alfaro 1996, Bathurst et al. 2002).

3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΓΕΩΑΦΡΟ(EPS)

Η θεμελίωση με Γεωαφρό - EPS είναι ο πιο εξελιγμένος τρόπος θεμελίωσης μιας κατασκευής σήμερα. Οι όγκοι από διογκωμένη πολυστερίνη αντικαθιστούν τα υλικά επιχώματος (χώμα, σκύρα, μπάζα κ.α.) και καταργούν παράλληλα τον εσωτερικό ξυλότυπο και τα μηχανικά μέσα. Η σκυροδέτηση δοκαριών - πλάκας γίνεται μαζί προσφέροντας παράλληλα μεγαλύτερη αντισεισμικότητα, ποιότητα κατασκευής, ταχύτητα, καθαριότητα και οικονομία. Έχουμε μηδενικές αστοχίες στο σχεδιασμό, ενιαίες αντοχές και θερμομόνωση πλάκας υπογείου.

Ο Γεωαφρός - EPS δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και το χρόνο, δεν απαιτούνται μηχανικά μέσα για την τοποθέτηση του και διαμορφώνεται εύκολα ακόμα και στο εργοτάξιο. (Τα κομμάτια παραδίδονται κομμένα και αριθμημένα βάση την κάτοψη του ξυλοτύπου για την ευκολότερη και ταχύτερη εφαρμογή τους). Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές εφαρμογές θεμελίωσης με EPS και τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά τόσο από πλευράς ποιότητας εφαρμογής όσο και από ταχύτητας και οικονομίας.



Σχήμα 3.10 Χαρακτηριστικά του EPS

3.3.1 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΛΑΙΑ ΜΕΘΟΔΟ (ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ EPS)-ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Διαμόρφωση δαπέδου θεμελίωσης (ΤΑΜΠΑΝΙ)
- Διάστρωση σκυροδέματος καθαριότητας
- Τοποθέτηση ξυλοτύπου θεμελίωσης
- Τοποθέτηση οπλισμών
- Σκυροδέτηση θεμελιών χωρίς επικάλυψη άνω μέρους σιδήροπλισμων



Σχήμα 3.11 Θεμελίωση με την παλαιά μέθοδο ξυλοτύπου



Σχήμα 3.12 Μπάζωμα θεμελίων με μηχανικά μέσα



Σχήμα 3.13 Υλικά διαβαθμισμένα όχι προϊόντα εκσκαφών



Σχήμα 3.14 Επιχωματώσεις σε στρώσεις ανά 30cm με διάβροξη συμπίκνωση



Σχήμα 3.15 Μετάβαση από φάτνωμα σε φάτνωμα



Σχήμα 3.16 Στράβωμα οπλισμών



Σχήμα 3.17 Συμπύεση επιχωμάτων

Επόμενες εργασίες

- Επιμελής Καθαρισμός(Πλύσιμο) άνω τμημάτων πέλδλων-πεδιλοδοκών
- Τοποθέτηση Σιδήροπλισμου δαπέδου υπογείου
- Σκυροδέτηση

Συμπεράσματα

- Χρονοβόρα διαδικασία
- Εναλλαγή συνεργείων
- Μεγάλα περιθώρια αστοχίας
- Διαφορικές καθιζήσεις-υποχωρήσεις επιχωμάτων
- Μεγάλο κατασκευαστικό κόστος

3.3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟ ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Διαμόρφωση δαπέδου θεμελίωσης(Ταμπάνι)
- Διάστρωση σκυροδέματος καθαριότητας



Σχήμα 3.18 Θεμελίωση με νέα μέθοδο (με χρήση γεωαφρού) - Τοποθέτηση οπλισμών



Σχήμα 3.19 Θεμελίωση με νέα μέθοδο στην επιθυμητή αντοχή



Σχήμα 3.20 Θεμελίωση με νέα μέθοδο θλιπτική αντοχή 30-500kpa

ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟ

- 30 kpa=0,306 at= 0,306 kg/cm²
- 100 kpa=1,02 at=1,02 kg/cm²
- 500 kpa=5,10 at= 5,10 kg/cm²



Σχήμα 3.21 Θεμελίωση με νέα μέθοδο τοποθέτηση οπλισμού πλάκας



Σχήμα 3.22 Σκυροδέτηση κουστύμι



Σχήμα 3.23 Θεμελίωση με νέα μέθοδο πέρας εργασιών

3.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΔΕΛΤΑ

- ✓ ΤΑΧΥΤΑΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ
- ✓ ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΣΥΝΕΡΓΕΙΑ
- ✓ ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ
- ✓ ΕΝΙΑΙΑ ΑΝΤΟΧΗ-ΙΣΟΤΡΟΠΟ ΥΛΙΚΟ
- ✓ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ
- ✓ ΜΕΙΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ-ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

- ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ 50%
- ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΙ Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΠΟΠΕΡΑΤΩΣΗΣ

ΚΥΡΙΑ ΩΦΕΛΗ

- ✓ ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΑ
- ✓ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
- ✓ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ
- ✓ ΑΞΙΟΠΙΣΤΑ
- ✓ ΠΟΙΟΤΗΤΑ
- ✓ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

4.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

Οι θερμομονωτικές ιδιότητες της διογκωμένης πολυστερίνης είναι γνωστές εδώ και αρκετές δεκαετίες και χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές οικοδομικών έργων. Αντίθετα, είναι πολύ λίγο (ή και καθόλου) γνωστό ότι το γεωσυνθετικό αυτό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο μόνωσης (συμπιεστό παρέμβλημα) σε έργα Πολιτικού Μηχανικού έναντι τόσο ΣΤΑΤΙΚΩΝ όσο και ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ εδαφικών φορτίσεων.

Με βάση τα ανωτέρω δεδομένα ο Πανελλήνιος Σύνδεσμος Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) συνεργάζεται και υποστηρίζει, κατά τη διάρκεια της τελευταίας πενταετίας, ερευνητικά προγράμματα του Εργαστηρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, καθώς επίσης του Πανεπιστημίου του Michigan (ΗΠΑ).



Σχήμα 4.1 Θεμελίωση με EPS

Αντικείμενο της συνεργασίας αποτελεί η ανάπτυξη τεχνικών λύσεων οι οποίες χωρίς να απαιτούν εξειδικευμένη τεχνογνωσία και ειδικά μέσα κατά την κατασκευή οικοδομικών και άλλων τεχνικών έργων παρέχουν προστασία έναντι των σεισμικών ωθήσεων.

Γίνεται φανερό ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή της διογκωμένης πολυστερίνης αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε έργα υποδομής αλλά και σε συνήθη οικοδομικά έργα. Οι κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης αποτελούν σημαντικό αντικείμενο των έργων πολιτικού μηχανικού. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι διαφόρων τύπων (π.χ. τοίχοι αντιστήριξης με οπλισμένο σκυρόδεμα - βαρύτητας ή προβόλου, βάθρα γεφυρών, σήραγγες ή τοίχοι υπογείων) και έχουν σχεδιαστεί για να αντισταθούν με ασφάλεια στις οριζόντιες πιέσεις που ασκούνται από τα εδαφικά υλικά.

Στις σεισμογενείς περιοχές μία κατασκευή εδαφικής αντιστήριξης θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να είναι σε θέση να αντέξει τη σεισμική επιφόρτιση σε συνδυασμό και πρόσθετα με τη στατική.

Οι διατάξεις της τρέχουσας σεισμικής νομοθεσίας και των Ευρωκωδίκων για την εκτίμηση της εδαφικής ώθησης στο σεισμικό σχεδιασμό, βασίζονται κυρίως στη μέθοδο Monopobe-Okabe και στα αποτελέσματα από τη χρήση τους με μια σημαντική αύξηση των εδαφικών πιέσεων κάτω από ισχυρή σεισμική δόνηση (Towhata, 2008).

Οι ελλιπείς μελέτες σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές βλάβες ή ακόμα και κατάρρευση της αντιστήριξης, με καταστροφικές συνέπειες για σημαντικά έργα υποδομής. Από την άλλη πλευρά, ο κατάλληλος σχεδιασμός σύμφωνα με την πλευρική-στατική επιφόρτιση, αυξημένη με τα δυναμικά αποτελέσματα, οδηγεί σε σημαντική αύξηση του κόστους κατασκευής.



Σχήμα 4.2 Τοποθέτηση γεωαφρού σε τοίχείο υπογείου

Παρά το γεγονός ότι το κύρος των τρεχουσών διατάξεων του σεισμικού κώδικα, καθώς και η δυνατότητα εφαρμογής των παραδοχών που έγιναν με αναλυτικούς υπολογισμούς σε συνήθεις τοίχους αντιστήριξης είναι αποδεκτά, ετέθη πρόσφατα το ερώτημα (Lew et al, 2010; Nakamura 2006; Al Atik και Sitar, 2008), αν ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση αυτών των τοίχων θα γίνεται, και κατά πάσα πιθανότητα θα συνεχίσει να γίνεται για κάποιο χρονικό διάστημα στο μέλλον, με βάση τους υπάρχοντες κώδικες.

Επιπρόσθετα, πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα από σεισμικές τράπεζες μεγάλης κλίμακας δείχνουν ότι για μεγάλες εδαφικές επιταχύνσεις, καταγράφονται σημαντικές εδαφικές ωθήσεις στις κατασκευές αντιστήριξης (Wilson και Elgamal, 2010). Για αυτούς τους λόγους, μία εφαρμογή μείωσης της σεισμικής ώθησης (ή σεισμικής μόνωσης) θα ήταν ευπρόσδεκτη από τους πολιτικούς μηχανικούς και την κατασκευαστική βιομηχανία (τόσο για τις υπάρχουσες όσο και για τις νέες κατασκευές).

Την τελευταία δεκαετία προτάθηκε μια νέα μέθοδος για την μόνωση των κατασκευών αντιστήριξης σε πλάγιες σεισμικές εδαφικές ωθήσεις (Horvath, 1995; Inglis et al., 1996; Pelekis et al. 2000; Hazarika and Okuzono, 2004; Hazarika, 2005, Athanasopoulos et al., 2007, Zarnani and Bathurst, 2009). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο ένα στρώμα γεωαφρού EPS (έχοντας το ρόλο συμπιεστού παρεμβλήματος) τοποθετείται μεταξύ της πίσω πλευράς του τοίχου αντιστήριξης και του εδαφικού υλικού επίχωσης.

Κατά τη διάρκεια του σεισμού, οι σεισμικές ωθήσεις εφαρμόζονται αρχικά στο στρώμα του EPS. Το στρώμα αυτό λειτουργεί σαν αποσβεστήρας (εξ αιτίας της μεγάλης συμπίεστικότητας του) απορροφώντας το μεγαλύτερο μέρος της πίεσης και μεταφέροντας μόνο ένα μέρος της στην κατασκευή.

Μέχρι σήμερα, η έρευνα σε αυτή την κατεύθυνση έχει εστιαστεί σε δοκιμές σεισμικής τράπεζας με δοκίμια μικρής κλίμακας (Zarnani and Bathurst 2009) και με αριθμητικές αναλυτικές μεθόδους (π.χ. Inglis et al., 1996, Athanasopoulos et al., 2007). Οι δοκιμές μικρής κλίμακας σε σεισμική τράπεζα έχουν δεδομένους περιορισμούς εξ αιτίας των επιδράσεων ορίου και κλίμακας, ενώ οι αριθμητικές αναλύσεις είναι τυπικά περιορισμένες εξαιτίας των παραδοχών για την απόκριση τάσης – παραμόρφωσης του εδάφους.

Για να αναπτυχθεί μία αξιόπιστη μεθοδολογία για τη σεισμική μόνωση και/ή για την αντισεισμική ανακατασκευή των έργων εδαφικής αντιστήριξης, πρέπει να επικυρωθούν τα αποτελέσματα της αριθμητικής ανάλυσης μέσω φυσικών ελέγχων, όπως οι δοκιμές σε φυγόκεντρο, επειδή οι συνθήκες κλίμακας και ορίων επιτρέπουν τη σωστή μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του εδάφους, καθώς επίσης είναι δυνατόν να εκτιμηθούν σωστά, οι οριζόντιες εδαφικές ωθήσεις.

Οι δοκιμές στη φυγόκεντρο προσαρμόζονται ιδανικά και παρουσιάζουν μία μεγάλη ευκαιρία για μοντελοποίηση των κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης, αφενός μεν επειδή οι συνθήκες κλίμακας και ορίων επιτρέπουν τη σωστή προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους, αφετέρου δε είναι δυνατόν να εκτιμηθούν σωστά οι οριζόντιες εδαφικές ωθήσεις. Οι δοκιμές στη φυγόκεντρο είναι επίσης σχετικά οικονομικές και αναπαράξιμες και συνεπώς μία παραμετρική μελέτη μπορεί να προσαρμοστεί, ώστε να ορίσει τις παραμέτρους που επηρεάζουν περισσότερο τη μονωτική αποτελεσματικότητα των παρεμβλημάτων EPS.

Σύμφωνα με αυτή την ερευνητική εργασία παρουσιάζεται η πρώτη ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ πρότυπη κλίμακα (πλήρης κλίμακα) αποτελεσμάτων με σεβασμό στη σεισμική μόνωση των κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης. Παρουσιάζεται επίσης η ευκαιρία να επανακαθοριστεί το ρόλο των φυσικών δοκιμών με την ανάπτυξη νέων αντιλήψεων των προβλημάτων της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους – κατασκευής.

Σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα, θα πρέπει να σχεδιάζονται κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης, ώστε να μπορέσουν να αντέξουν τις σεισμικές ωθήσεις, πέραν των στατικών φορτίων. Την τελευταία δεκαετία, έχει προταθεί μία νέα μέθοδος μόνωσης των κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης έναντι των οριζόντιων σεισμικών και στατικών ωθήσεων, όπου τοποθετείται ένα στρώμα γεωαφρού EPS (παίζοντας το ρόλο ενός συμπίεστου παρεμβλήματος) μεταξύ της πίσω όψης του τοίχου και του υλικού επίχωσης και δρα σαν αποσβεστήρας.

Πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές φυγοκέντρωσης σε μοντέλα τοίχων αντιστήριξης 4 μέτρων και επιχωματώθηκαν με ξηρή, μεσαίας πυκνότητας άμμο Νεβάδας. Τα μοντέλα δονήθηκαν με μία σειρά από ημιτονοειδείς δονήσεις. Αυτές οι δοκιμές έδωσαν το πρώτο σύνολο δεδομένων για τέτοιου είδους project. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα και η επεξεργασία των δεδομένων από τις δοκιμές φυγοκέντρωσης, δείχνουν ότι το στρώμα γεωαφρού EPS, το οποίο συμπεριλήφθηκε στο δεύτερο μοντέλο, έδρασε σαν αποσβεστήρας και συνέβαλλε στη μείωση των σεισμικών ωθήσεων, οι οποίες εφαρμόστηκαν στον τοίχο αντιστήριξης.

Η μονωτική αποτελεσματικότητα του παρεμβλήματος EPS $t_r=10\%$, βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 10% και 50% καθ' ύψος του τοίχου, για επιτάχυνση 0.2g σε συχνότητα 2Hz.

Αυτά τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τις προηγούμενες αριθμητικές αναλύσεις, που πραγματοποιήθηκαν σε παρόμοιους τοίχους και σε παρόμοιες συνθήκες εδάφους. Οι υπόψη δοκιμές φυγοκέντρωσης μας δίνουν δεδομένα υψηλής ποιότητας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη κατανόηση της σεισμικής απόκρισης και για την εκτέλεση έργων εδαφικής αντιστήριξης γενικά.

Η χρησιμοποίηση παρεμβλημάτων διογκωμένης πολυστερίνης, αναμένεται να οδηγήσει σε κατασκευαστικές λύσεις μεγαλύτερης ευστάθειας σε συνδυασμό με σοβαρές μειώσεις κόστους. Επιπλέον θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι δυνατόν η εφαρμογή να εφαρμοστεί και εκ των υστέρων, δηλαδή σε ήδη έτοιμες κατασκευές βελτιώνοντας έτσι την σεισμική τους συμπεριφορά.

Ποσοστιαίο πάχος παρεμβλήματος EPS 20, t_r (%), για επίτευξη αποτελεσματικότητας σεισμικής μόνωσης $A_r=50\%$

Ύψος τοίχου h (m)	Σεισμική Ζώνη		
	I	II	III
2	3	3	4
4	5	6	8
6	5.5	7	10
8	6.5	9.5	13

Πίνακας 4.1

Εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την περίπτωση συνήθους τοίχου προβόλου σκυροδέματος ύψους 4.0m οδηγεί στις ακόλουθες μέσες μειώσεις κόστους (σε σχέση με την κατασκευή συμβατικού τοίχου) για τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου:

Ζώνη	Πάχος συμπιεστού παρεμβλήματος, t_r , %	Μείωση κόστους, %
I	5	11
II	6	30
III	8	40

Πίνακας 4.2

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ανάλυση της συμπεριφοράς τοίχων εδαφικής αντιστήριξης υπό συνθήκες σεισμικής δράσης αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο θέμα που αφορά τα δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελίου-κατασκευής (Αθανασόπουλος 1999.). Ενώ για την περίπτωση των συνθηκών στατικής φόρτισης οι μέθοδοι ανάλυσης ήταν διαθέσιμες ήδη από τον 18ο αιώνα (Coulomb 1776), για την περίπτωση της σεισμικής φόρτισης οι πρώτες συστηματικές προσπάθειες ανάλυσης εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1920.

Η μέθοδος ανάλυσης που αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα των πρώτων συστηματικών προσπαθειών είναι γνωστή ως μέθοδος Mononobe – Okabe (Mononobe and Matsuo 1929, Okabe 1926, βλ. Kramer 1996, Bowles 1996, Day 2002, Murthy 2003, Das 1983, 1993) και χαρακτηρίζεται ως Ψευδοστατική (ή Ισοδύναμη – Στατική) Μέθοδος Ανάλυσης.

4.2.1 Ψευδοστατική (Ισοδύναμη - Στατική) Μέθοδος Ανάλυσης

Για τον προσδιορισμό των πλευρικών εδαφικών ωθήσεων υπό στατική φόρτιση χρησιμοποιούνται κυρίως η μέθοδος Rankine (1857) και η μέθοδος Coulomb (1776). Οι ωθήσεις που προκαλούνται από σεισμικές φορτίσεις σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας την τροποποιημένη μέθοδο Coulomb, η οποία είναι γνωστή ως μέθοδος ισοδύναμης - στατικής (ψευδοστατικής) φόρτισης ή ως μέθοδος Mononobe –Okabe (Mononobe and Matsuo 1929, Okabe 1926) και είναι κατάλληλη για μη συνεκτικά επιχώματα. Η μέθοδος αυτή, η οποία θεωρείται κύρια εκπρόσωπος των μεθόδων οριακής ισορροπίας, αποτελεί άμεση προέκταση της στατικής μεθόδου Coulomb σε ψευδοστατικές συνθήκες προϋποθέτοντας ότι ο τοίχος μετακινείται (ή παραμορφώνεται) επαρκώς ώστε να αναπτυχθεί στο αντιστηριζόμενο έδαφος ενεργητική κατάσταση με ταυτόχρονη δημιουργία ενός πρίσματος εδάφους οριζόμενου από τον τοίχο και μια επίπεδη επιφάνεια αστοχίας. Το αντιστηριζόμενο εδαφικό υλικό κινείται ως απόλυτο στερεό με ομοιόμορφη καθ' ύψος οριζόντια (ή και κατακόρυφη) επιτάχυνση, η οποία ταυτίζεται με την οριζόντια (ή και κατακόρυφη) επιτάχυνση στην βάση του τοίχου. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται οριζόντιες (ή και κατακόρυφες) ψευδοστατικές επιταχύνσεις στο εδαφικό πρίσμα Coulomb ενεργητικής κατάστασης, που έχει δημιουργηθεί. Η ψευδοστατική εδαφική συνισταμένη δύναμη προκύπτει από απλή ισορροπία δυνάμεων του πρίσματος.

4.2.2 Ψευδοδυναμική Μέθοδος Ανάλυσης

Για να ληφθεί υπόψη η επίδραση της διαφοράς φάσης της φόρτισης και της κίνησης κατά την έννοια του ύψους του τοίχου εδαφικής αντιστήριξης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ψευδοδυναμικής ανάλυσης των σεισμικών εδαφικών ωθήσεων (Steedman and Zeng, 1990).

4.2.3 Μέθοδος Επιτρεπόμενων Μετακινήσεων

Στις προαναφερθείσες μεθόδους ανάλυσης της συμπεριφοράς τοίχων αντιστήριξης δε λαμβάνεται υπόψη η αδράνεια του τοίχου καθώς επίσης και το μέγεθος μετακίνησης του. Οι δύο αυτές παράμετροι ελήφθησαν υπόψη από τους Richards and Elms (1979) που χρησιμοποιώντας το μοντέλο του ολισθαίνοντος πρίσματος του Newmark (1965) συνέδεσαν τη μετακίνηση του τοίχου με το επίπεδο της σεισμικής κίνησης.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση τοίχων βαρύτητας για να εξασφαλισθεί επαρκής ασφάλεια έναντι του κινδύνου ολισθήσεως είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και οι αδρανειακές δυνάμεις της μάζας του τοίχου. Ενώ στην στατική περίπτωση η μάζα του τοίχου συμβάλλει στην ευστάθεια του συστήματος, στην περίπτωση δυναμικής φόρτισης, η μάζα αναπτύσσει αδρανειακές δυνάμεις επιδεινώνοντας την κατάσταση.

Οι οριζόντιες δυνάμεις προσθαιρούνται στις σεισμικές ενεργητικές ωθήσεις, ενώ οι κατακόρυφες συντελούν στην αυξομείωση των δυνάμεων τριβής στη βάση. Μάλιστα, οι Richards and Elms (1979) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι οριζόντιες αδρανειακές δυνάμεις που ασκούνται στον τοίχο μπορεί να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις δυναμικές ωθήσεις που προβλέπει η μέθοδος Mononobe – Okabe. Η μέθοδος των Richards-Elms για άκαμπτους τοίχους αντιστήριξης βασίστηκε στην μέθοδο του ολισθαίνοντος πρίσματος που αναπτύχθηκε από το Newmark (1965), για τον προσδιορισμό των μόνιμων μετακινήσεων ενός πρηνούς που υπόκειται σε οποιαδήποτε μορφή κίνηση του εδάφους, και στη λύση των Franklin and Chang (1977) που αναπτύχθηκε για τον προσδιορισμό του άνω ορίου μόνιμων μετακινήσεων για διαφορετικές και σύνθετες εδαφικές κινήσεις. Αυτή η μέθοδος, λοιπόν, επιτρέπει το σχεδιασμό τοίχων αντιστήριξης για ελεγχόμενη μετακίνηση και σε συνδυασμό με τη ψευδοστατική μέθοδο ανάλυσης αποτελεί τη βάση των κανονισμών για το σχεδιασμό ευμετακίνητων τοίχων αντιστήριξης.

4.2.4 Μέθοδοι Ελαστικής Ανάλυσης

Όλες οι προαναφερθείσες μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμού τοίχων αντιστήριξης, δηλαδή η προσέγγιση των Mononobe and Okabe (M-O) (Mononobe and Matsuo 1929, Okabe 1924) και οι παραλλαγές της (Seed and Whitman 1970, Richards and Elms 1979, Nadim and Whitman 1983), θεωρούνται αντιπροσωπευτικές της κατηγορίας των μεθόδων οριακής ισορροπίας, των οποίων η επικράτηση αποδίδεται στην ιδιαίτερη απλότητα και ευχρηστία τους. Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες οι μέθοδοι αυτές παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια μόνο στην περίπτωση που οι παραμορφώσεις του τοίχου (μετατόπιση, στροφή, καμπτική παραμόρφωση, ή οποιοσδήποτε δυνατός συνδυασμός τους) είναι αρκετά μεγάλες ώστε να συνεπάγονται μη-αναστρέψιμες πλαστικές παραμορφώσεις στο αντιστηριζόμενο έδαφος. Το κύριο, λοιπόν, μειονέκτημά τους είναι ότι θεωρώντας σταθερή την επιτάχυνση δε λαμβάνουν υπόψη την πραγματική δυναμική συμπεριφορά του συστήματος τοίχου-εδάφους. Επιπλέον σε αρκετές περιπτώσεις κινηματικοί περιορισμοί που επιβάλλονται σε συστήματα αντιστήριξης, όπως στην περίπτωση τοίχων υπογείων και ακροβάθρων γεφυρών, αποτρέπουν την ανάπτυξη συνθηκών οριακής ισορροπίας. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει πιθανότητα να μην ικανοποιείται η βασική παραδοχή της ενεργητικής κατάστασης και οι δυναμικές εδαφικές ωθήσεις που αναπτύσσονται να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να εκτιμηθούν μέσω αυτών των μεθόδων.

Με αφορμή τους ανωτέρω προβληματισμούς εμφανίστηκαν οι πρώτες ελαστικές λύσεις (Matsuo and Ohara 1960, Scott 1973, Wood 1973) οι οποίες αναπτύχθηκαν ως προσπάθεια προσδιορισμού της δυναμικής απόκρισης των συστημάτων τοίχου- αντιστηριζόμενου εδάφους στις περιπτώσεις που δεν ικανοποιούνται οι παραδοχές των μεθόδων οριακής ισορροπίας. Οι Matsuo and Ohara (1960) ανέπτυξαν μια προσεγγιστική λύση χρησιμοποιώντας διδιάστατο αναλυτικό προσομοίωμα ανένδοτου τοίχου. Απλοποίησαν το πρόβλημα υποθέτοντας μηδενική κατακόρυφη μετατόπιση στην εδαφική μάζα. Αυτή η απλοποίηση οδήγησε σε άπειρες ωθήσεις όταν ο λόγος Poisson ν ισούται με 0.5, τις οποίες προσδιόρισαν επιλύοντας εξισώσεις κυματικής ελαστικού μέσου.

Ο Scott (1973) για να προσομοιώσει τη σεισμική δράση του αντιστηριζόμενου εδάφους πρότεινε ένα απλό προσομοίωμα στο οποίο ο τοίχος αντιστήριξης συνδέεται διαμέσου σειράς ελατηρίων τύπου Winkler με κατακόρυφη μονοδιάστατη διατμητική δοκό που αντιπροσωπεύει τη δράση του εδάφους στο ελεύθερο πεδίο. Το προσομοίωμα του αυτό, όμως, αγνοεί την απόσβεση ακτινοβολίας αλλά και τη μεταφορά διατμητικών δυνάμεων. Η μεταγενέστερη έρευνα των Veletsos and Younan (1994) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το προσομοίωμα του Scott (1973) δεν περιγράφει ικανοποιητικά την απόκριση του συστήματος και μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα.

Ο Wood (1973) παρουσίασε αναλυτικές λύσεις συνοδευόμενες από αριθμητικά αποτελέσματα, για την απόκριση άκαμπτων τοίχων που αντιστηρίζουν ομοιογενές ελαστικό έδαφος πεπερασμένου μήκους και υπόκειται σε αρμονική διέγερση στη βάση του. Πάρο' αυτά η λύση του Wood είναι μαθηματικά πολύπλοκη για να εφαρμοστεί στην πράξη και περιορίζεται στην περίπτωση αρμονικών διεγέρσεων. Ο Wood πρότεινε μια προσεγγιστική ψευδοστατική λύση που οδήγησε σε πολύ καλές εκτιμήσεις της μέγιστης σεισμικής δύναμης στην περίπτωση αρμονικής διέγερσης με αμελητέα δυναμική ενίσχυση. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι η δυναμική ενίσχυση είναι αμελητέα όταν ο λόγος ω / ω_1 είναι μικρότερος του 0.5 (ω είναι η κυκλική συχνότητα της αρμονικής διέγερσης και ω_1 η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα του αντιστηριζόμενου εδάφους). Στις περιπτώσεις που το μήκος του αντιστηριζόμενου εδάφους είναι απεριόριστο, η συνισταμένη δύναμη Q_{bst} , για έδαφος με λόγο Poisson $\nu = 0.4$ και $\omega / \omega_1 < 0.5$ δίδεται από τη σχέση :

$$Q_{bst} \approx \alpha_h \gamma H^2 = A_h \rho H^2 \quad (4.1)$$

όπου $A_h (= a_h g)$ είναι η μέγιστη επιτάχυνση στη βάση του τοίχου.

Το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης βρίσκεται σε ύψος $0.63H$ από τη βάση του τοίχου. Η συγκεκριμένη λύση του Wood χρησιμοποιείται στην πράξη λόγω της απλότητάς της.

Οι Arias et al. (1981) χρησιμοποίησαν μια απλοποιημένη προσομοίωση του εδάφους ως ελαστικού μέσου και κατέληξαν σε σχετικά απλές εκφράσεις για τις εδαφικές ωθήσεις. Πιο συγκεκριμένα, προσομοίωσαν το ελαστικό αντιστηριζόμενο έδαφος χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή του συμβατικού προσομοιώματος διατμητικής δοκού και ανέπτυξαν αναλυτικές εκφράσεις για την απόκριση του τοίχου τόσο σε αρμονικές όσο και σε σεισμικές διεγέρσεις. Οι Veletsos and Younan (1995) έχουν υιοθετήσει το προσομοίωμα των Arias et al. (1981) στην ανάλυση άκαμπτων τοίχων με πεπερασμένου μήκους αντιστηριζόμενο έδαφος. Τέλος οι Wu and Finn (1996) έχουν προτείνει ένα εναλλακτικό προσομοίωμα διατμητικής δοκού το οποίο είναι εφαρμόσιμο τόσο σε ημιάπειρος εκτεινόμενο έδαφος όσο και σε πεπερασμένου μήκους έδαφος.

Όλες οι προαναφερθείσες ελαστικές λύσεις, κυρίως λόγω των δυσχερειών που παρουσιάζονται κατά την επίλυση, βασίστηκαν απλοποιητικός στην υπόθεση ότι οι υπό εξέταση τοίχοι είναι πλήρως άκαμπτοι (απαραμόρφωτοι) και αμετακίνητοι στη βάση τους (πακτωμένοι). Οι δυναμικές ωθήσεις που προκύπτουν υπό αυτές τις συνθήκες είναι περίπου τριπλάσιες σε μέγεθος σε σχέση με τις ωθήσεις που προβλέπουν οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν (μέθοδοι οριακής ισορροπίας). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία εντυπωσιακών αστοχιών σε συστήματα εδαφικής αντιστήριξης, δημιούργησε γενικά την αίσθηση ότι οι ελαστικές μέθοδοι είναι υπερβολικά συντηρητικές και μάλλον

ακατάλληλες για πρακτική εφαρμογή. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος παραγκωνισμού των ελαστικών μεθόδων για ένα ακόμη μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα μειονεκτήματα αυτά των ελαστικών λύσεων αναιρέθηκαν από τα αποτελέσματα των ερευνών των Veletsos and Younan (1994, 1997). Ο κύριος στόχος των ανωτέρω ερευνητών ήταν η εκτίμηση του μεγέθους και της κατανομής των δυναμικών μετατοπίσεων, ωθήσεων και δυνάμεων, που επιβάλλονται από οριζόντια εδαφική διέγερση, σε τοίχους εύκαμπτους και ελαστικά δύστροπους στη βάση, και η αξιολόγηση της επίδρασης και της σχετικής σημασίας των εμπλεκόμενων παραμέτρων.

4.2.5 Η Μέθοδος Ανάλυσης του ΕΑΚ 2000

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (2000) τα έργα αντιστήριξης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκπληρούν το σκοπό τους κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό σχεδιασμού, χωρίς να υποστούν σημαντικές βλάβες, ούτε τα ίδια ούτε τα αντιστηριζόμενα δομήματα. Οι κανόνες εφαρμογής είναι εν γένει επαρκώς συντηρητικοί για τις συνήθεις περιπτώσεις τοίχων αντιστήριξης. Σε ειδικές περιπτώσεις υψηλών τοίχων (με ύψος μεγαλύτερο από 10m) οι οποίοι εδράζονται σε μαλακές εδαφικές επιστρώσεις μεγάλου πάχους (άνω των 30m) πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο ενίσχυσης της δρώσας σεισμικής επιτάχυνσης των γαιών.

Η εκτίμηση των ωθήσεων από τον σεισμό σχεδιασμού μπορεί να γίνεται με τη μέθοδο που περιγράφεται παρακάτω για δύο περιπτώσεις κατηγοριών των τοίχων αντιστήριξης:

•Τοίχοι που διαθέτουν τη δυνατότητα μετακίνησης ή/ και παραμόρφωσης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τοίχοι που είτε διαθέτουν δυνατότητα ολισθήσεως/στροφής βάσης είτε είναι παραμορφώσιμοι με αναμενόμενη μετακίνηση στην κορυφή τουλάχιστον 0.10% του ύψους. Σε αυτήν την κατηγορία οι αυξημένες ωθήσεις κατά τη διάρκεια του σεισμού μπορούν να υπολογίζονται με τη μέθοδο οριακής ισορροπίας Mononobe-Okabe, δηλαδή για επίπεδη επιφάνεια ολισθήσεως που αντιστοιχεί σε πρόσθετη οριζόντια δράση a_h W και πρόσθετη κατακόρυφη δράση $- a_v W$ στο κρίσιμο πρίσμα με βάρος W . Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι βασιζόμενες στη γενική θεωρία παραμορφώσεων (με ελαστική ή ελαστοπλαστική συμπεριφορά του εδάφους) με αναλυτική ή αριθμητική προσομοίωση του εδάφους. Η ανάλυση με τέτοιες μεθόδους πρέπει να ικανοποιεί τους πραγματικούς κινηματικούς περιορισμούς του τοίχου αντιστήριξης και να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στα χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελιώσεως και του αντιστηριζόμενου υλικού. Ο οριζόντιος σεισμικός συντελεστής a_h λαμβάνεται από τη σχέση :

$$a_h = \frac{a}{q_w} \quad (4.2)$$

όπου : a = η ανοιγμένη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους q_w = ο μειωτικός συντελεστής συμπεριφοράς, του οποίου οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 4-3

Ο κατακόρυφος σεισμικός συντελεστής a_v λαμβάνεται ίσος με $0.30a$. Οι σεισμικοί συντελεστές a_h και a_v εφαρμόζονται τόσο στη μάζα του τοίχου όσο και στη μάζα του αντιστηριζόμενου εδάφους που φέρεται άμεσα από το θεμέλιο του τοίχου αντιστήριξης (τοίχοι μορφής L). Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η γωνία τριβής τοίχου-εδάφους στην ωθούμενη παρεία δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από $(2/3)\phi$, όπου ϕ είναι η γωνία διατμητικής αντοχής του εδάφους.

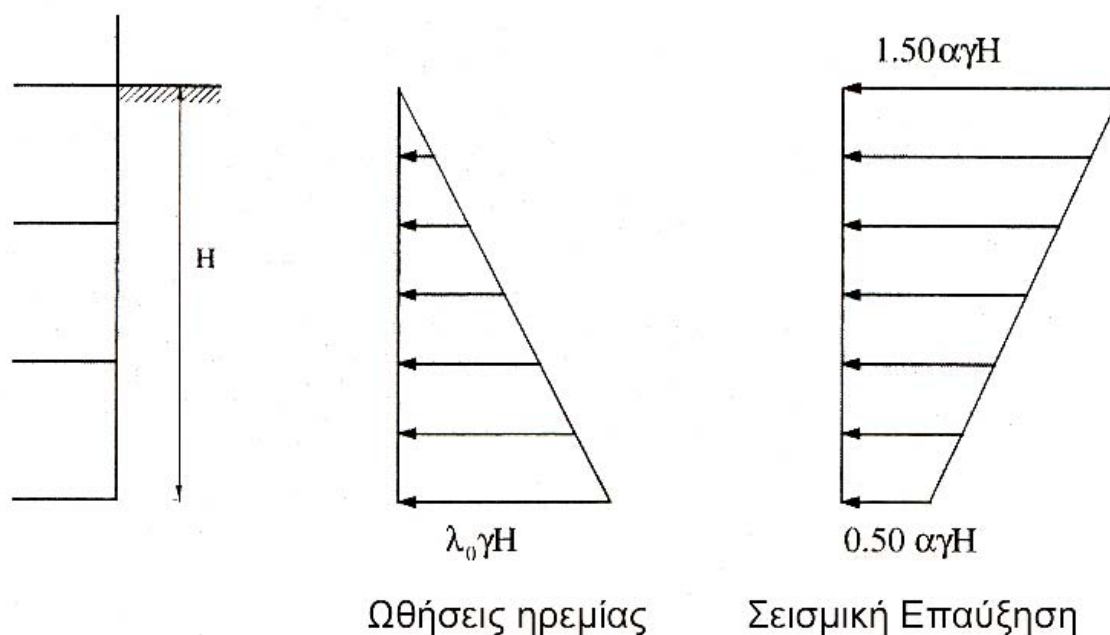
Τύπος τοίχου αντιστήριξης	Συντελεστής q_w
Τοίχος με δυνατότητα ολισθήσεως 300 a (σε mm)	2.00
Τοίχος με δυνατότητα ολισθήσεως 200 a (σε mm)	1.50
Τοίχος με αγκυρώσεις ή αντιστηρίξεις ή εύκαμπτος τοίχος εδραζόμενος σε πασσάλους ή βράχο	1.20
Άκαμπτος τοίχος εδραζόμενος σε βράχο ή πασσάλους	1.00
Τοίχοι αντιστηριζόμενοι με αντηρίδες (θλιπτήρες)	0.70

Πίνακα 4.3: Τιμές του μειωτικού συντελεστή q_w για διάφορους τύπους τοίχου αντιστήριξης

• Ακλόνητοι τοίχοι

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τοίχοι που είναι πρακτικώς απαραμόρφωτοι και έχουν ακλόνητη έδραση. Τέτοιοι τοίχοι είναι π.χ. περιμετρικοί τοίχοι υπογείων ορόφων κτιρίων συνδεδεμένοι με τις πλάκες, τοίχοι φρεάτων και υπογείων δεξαμενών.

Οι στατικές ωθήσεις ηρεμίας που δρουν σε τέτοιους τοίχους επαυξάνονται κατά τη διάρκεια του σεισμού σύμφωνα με το γραμμικό διάγραμμα πρόσθετων οριζοντίων πιέσεων του Σχ. 2-9. Στο διάγραμμα αυτό η μέγιστη τιμή στην επιφάνεια του εδάφους είναι ίση προς $1.50\alpha\gamma H$ ενώ η ελάχιστη τιμή είναι ίση προς $0.50\alpha\gamma H$ στο κατώτατο σημείο του τοίχου, σε βάθος H (γ =ειδικό βάρος του εδάφους). Με τις αυξημένες αυτές ωθήσεις αρκεί εν γένει να ελέγχεται η επάρκεια μόνο των άμεσα επηρεαζόμενων στοιχείων δηλαδή των τοιχωμάτων και των νευρώσεων (αν υπάρχουν).



Σχήμα 4.3 Αναπτυσσόμενες εδαφικές ωθήσεις σε ακλόνητους τοίχους αντιστήριξης σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000.

4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα προκύπτει ότι ο σχεδιασμός κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης υπό συνθήκες σεισμικής φόρτισης αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο πρόβλημα, για το οποίο είναι διαθέσιμος στη βιβλιογραφία μεγάλος αριθμός πληροφοριών. Η αναγκαιότητα του ορθού αντισεισμικού σχεδιασμού κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης γίνεται αντιληπτή λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι έχουν παρατηρηθεί πολλές αστοχίες κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης κατά τη διάρκεια πρόσφατων σεισμών (Puri et al. 2004, Fang et al. 2001, 2003). Συγκεκριμένα, οι Puri et al. (2004) έχουν συγκεντρώσει στοιχεία που αφορούν αστοχίες κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης και κρηπιδότοιχων δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο μέγεθος των μετακινήσεων που επιβάλλονται στις ανωτέρω κατασκευές λόγω σεισμικής φόρτισης.

Ο Carville (2001) αναφέρει την περίπτωση αστοχίας εδαφικού επιχώματος πίσω από κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης κατά τη διάρκεια του σεισμού Northridge (1994). Σημειώνεται ότι λόγω της αστοχίας του εδαφικού επιχώματος προκλήθηκαν βλάβες τόσο στις κατασκευές αντιστήριξης (τοίχοι αντιστήριξης ύψους 3.0 - 3.5m), όσο και στις κατασκευές που εδράζονταν στο εδαφικό επίχωμα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι σύμφωνα με τους Crespellani et al. (2001) παρατηρήθηκαν σημαντικές βλάβες κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων σε τοίχο αντιστήριξης (τοίχο βαρύτητας ύψους 15m, περίπου) στο Ναό του Αγίου Φραγκίσκου της Ασίζης στην Ιταλία. Σύμφωνα με τους ανωτέρω ερευνητές η επικρατούσα μορφή μετακίνησης ήταν τύπου περιστροφής στερεού σώματος, η οποία προκάλεσε μετακίνηση της κορυφής του τοίχου μεγαλύτερη από 20cm, περίπου.

Οι Nagayama et al. (2001) αναφέρουν την περίπτωση βλαβών και αστοχίας κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης αναχωμάτων των σιδηροδρομικών γραμμών που προκλήθηκαν από το σεισμό Hyogoken-nambu στην Ιαπωνία (1995). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Nagayama et al. (2001) παρατηρήθηκε αστοχία σε ολίσθηση και ανατροπή, καθώς επίσης και ρηγματώσεις σε τοίχους αντιστήριξης τόσο τύπου βαρύτητας ή προβόλου όσο και σε τοίχους αντιστήριξης οπλισμένους με γεωφάσματα.

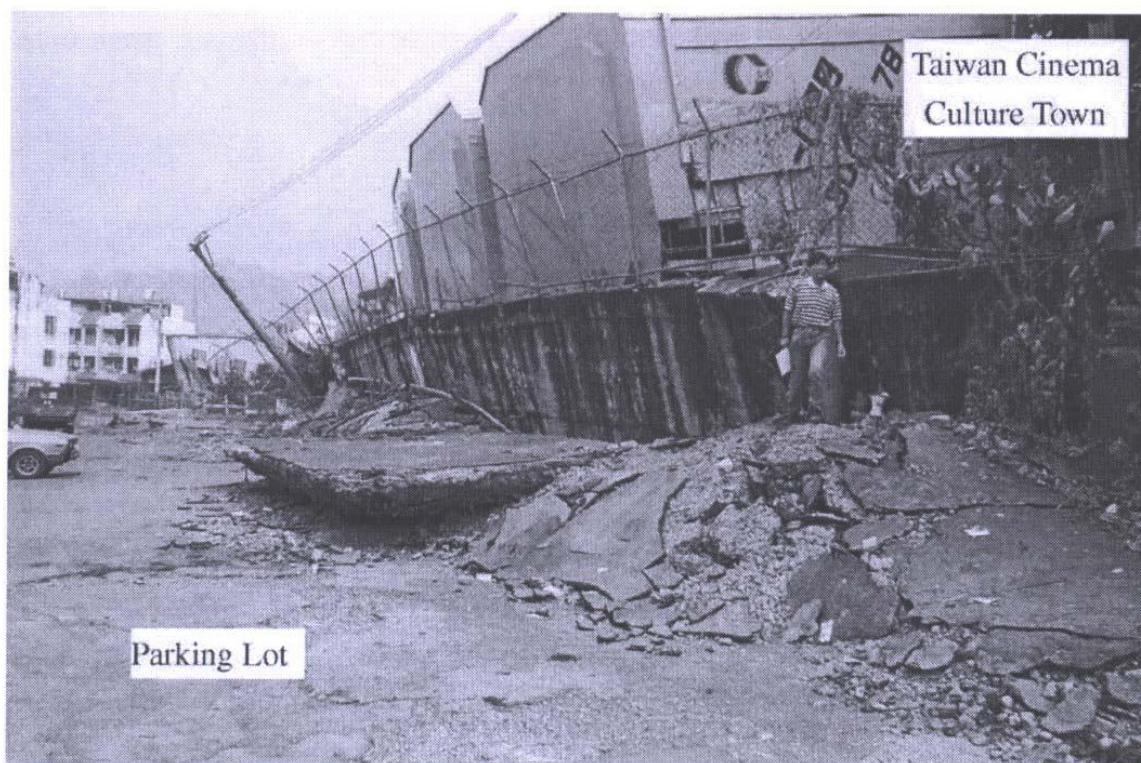
Τέλος, οι Fang et al. (2001, 2003) διερεύνησαν τα αίτια αστοχίας τοίχων αντιστήριξης τύπου βαρύτητας κατά τη διάρκεια του σεισμού του Chi-Chi στην Ταϊβάν (1999). Μια χαρακτηριστική περίπτωση αφορά αστοχία τοίχου σε ολίσθηση (Σχ. 4.4), ενώ παρατηρήθηκαν και αστοχίες τύπου φέρουσας ικανότητας (Σχ. 4.5). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μία συγκεκριμένη περίπτωση στην οποία ο τοίχος αντιστήριξης αστόχησε λόγω του γεγονότος ότι εδραζόταν στη ζώνη επιφανειακής διάρρηξης του σεισμικού ρήγματος, Σχ. 4.6



Σχήμα 4.4 Αστοχία τοίχου βαρύτητας (ολίσθηση μεταξύ κατασκευαστικών αρμών) κατά το σεισμό Chi-Chi της Ταϊβάν (1999) (Fang et al. 2003)



Σχήμα 4.5 Αστοχία τοίχου βαρύτητας λόγω υπέρβασης φέρουσας ικανότητας και ανατροπής κατά το σεισμό Chi-Chi της Ταϊβάν (1999) (Fang et al. 2003)



Σχήμα 4.6 Αστοχία τοίχου βαρύτητας εδραζόμενου στη ζώνη επιφανειακής σεισμικής διάρρηξης, λόγω ολίσθησης και ανατροπής, κατά το σεισμό Chi-Chi της Ταϊβάν (1999) (Fang et al. 2003)

4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

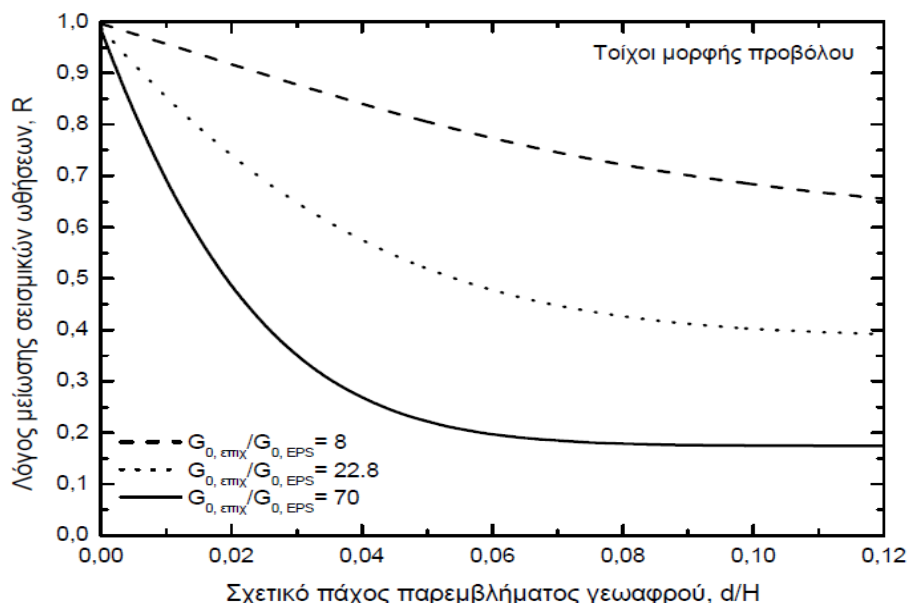
Τα τελευταία χρόνια διερευνάται συστηματικά από πολλούς ερευνητές η δυνατότητα χρήσης του Γεωαφρού Διογκωμένης Πολυστερίνης (EPS) αλλά και άλλων υλικών (π.χ. τεμαχισμένων παλιών ελαστικών αυτοκινήτων) (Tweedie et al. 1998) για τη σεισμική μόνωση κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης. Ο Γεωαφρός Διογκωμένης Πολυστερίνης ανήκει στην κατηγορία των πλαστικών υλικών που χαρακτηρίζονται ως “αφροί”, ενώ ο όρος “γεωαφρός” χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές της γεωτεχνικής μηχανικής. Στη νέα αυτή προτεινόμενη εφαρμογή, ένα παρέμβλημα EPS τοποθετείται πίσω από την κατασκευή εδαφικής αντιστήριξης - στην πλευρά του επιχώματος - με σκοπό την μείωση των εδαφικών ωθήσεων που ασκούνται στην κατασκευή κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού. Η πρακτική χρησιμότητα της εφαρμογής αυτής γίνεται αντιληπτή λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, έχουν παρατηρηθεί πολλές αστοχίες κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης κατά τη διάρκεια πρόσφατων σεισμών.

Ο Horvath (1995) είναι ο πρώτος ερευνητής που προτείνει τη χρήση παρεμβλήματος EPS για τη μείωση των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης, επισημαίνοντας την ιδιαίτερη χρησιμότητα της εφαρμογής αυτής για την αντισεισμική αναβάθμιση υφισταμένων κατασκευών αντιστήριξης π.χ. ακροβάθρων γεφυρών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο EPS χρησιμοποιείται ως συμπιεστό παρέμβλημα για τη μείωση των στατικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης ήδη από τη δεκαετία του 1980. Η ανωτέρω εφαρμογή αξιοποιεί την υψηλή συμπιεστότητα του EPS η οποία προκαλεί “ελεγχόμενη διαρροή” (controlled yielding) του αντιστηριζόμενου

εδαφικού επιχώματος έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση των ωθήσεων που ασκούνται στην κατασκευή αντιστήριξης (Karpurapu and Bathurst 1992, Tsukamoto et al. 2001, 2002). Σύμφωνα με το Horvath (2004) στις περισσότερες κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης το απαιτούμενο πάχος του συμπιεστού παρεμβλήματος για τη μείωση των στατικών ωθήσεων είναι 30cm, περίπου.

Η πρώτη εφαρμογή του EPS για τη σεισμική μόνωση κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης αναφέρεται από τους Inglis et al. (1996). Οι ανωτέρω ερευνητές διεξήγαγαν αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (κώδικας FLAC) για την περίπτωση άκαμπτου τοίχου, ύψους 9m, σεισμικά μονωμένου με παρέμβλημα EPS χαμηλής πυκνότητας, πάχους 45cm έως 60cm, περίπου, και διαπίστωσαν ότι αναμένεται μείωση των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται στον τοίχο κατά 50% (Bathurst and Alfaro 1996, Bathurst et al. 2002). Παρόμοια συμπεράσματα δημοσιεύθηκαν και από τους Pelekis et al. (2000) και Ξενάκη κ.α. (2001α, 2001β), οι οποίοι διερεύνησαν την επίδραση της πυκνότητας και του πάχους του παρεμβλήματος EPS στη δυνατότητα μείωσης των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται σε τοίχους αντιστήριξης διεξάγοντας αριθμητικές αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ανωτέρω ερευνητών υποδεικνύουν ότι με χρήση EPS χαμηλής πυκνότητας (10 έως 20 kg/m³) είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση των σεισμικών ωθήσεων σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, Σχ. 4.7.

Τα αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων των Hazarika (2001) και Hazarika et al. (2001) υποδεικνύουν παρόμοια ποσοστά μείωσης (50% έως 60%) των σεισμικών ωθήσεων που ασκούνται σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης με χρήση παρεμβλήματος EPS. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι στις αναλύσεις των ανωτέρω ερευνητών χρησιμοποιήθηκε παρέμβλημα EPS τριγωνικού σχήματος (μέγιστο πάχος στην κορυφή του τοίχου), ενώ διερευνήθηκε τόσο η περίπτωση αρμονικής δυναμικής φόρτισης όσο και η περίπτωση πραγματικής σεισμικής φόρτισης. Τέλος, σημειώνεται ότι οι Hazarika and Okuzono (2004) έχουν προτείνει μοντέλο διεπιφάνειας το οποίο προσομοιώνει ικανοποιητικά τις ιδιότητες της διεπιφάνειας μεταξύ εδάφους, EPS και κατασκευής αντιστήριξης και προτείνεται να χρησιμοποιείται στις αναλύσεις συμπεριφοράς κατασκευών αντιστήριξης σεισμικά μονωμένων με χρήση παρεμβλήματος EPS.



Σχήμα 4.7 Επίδραση του πάχους του παρεμβλήματος γεωαφρού στο λόγο μείωσης των σεισμικών ωθήσεων (Ξενάκη κ.α. 2001α, 2001β)

4.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία διερεύνησης – δηλαδή η μέθοδος αριθμητικής ανάλυσης– που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα. Παρουσιάζεται καταρχήν μια γενική περιγραφή του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων (PLAXIS v.8) που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Στη συνέχεια περιγράφεται το εξιδανικευμένο προσομοίωμα του τοίχου αντιστήριξης που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις και δίνονται στοιχεία για την προσομοίωση του τοίχου, του εδαφικού υλικού του επιχώματος και του παρεμβλήματος EPS καθώς και για την αρμονική διέγερση της βάσης. Τέλος, παρουσιάζεται το δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις και δίνονται πληροφορίες για τις χρησιμοποιηθείσες συνθήκες στα όρια του δικτύου και για τον τρόπο επιβολής της διέγερσης της βάσης.

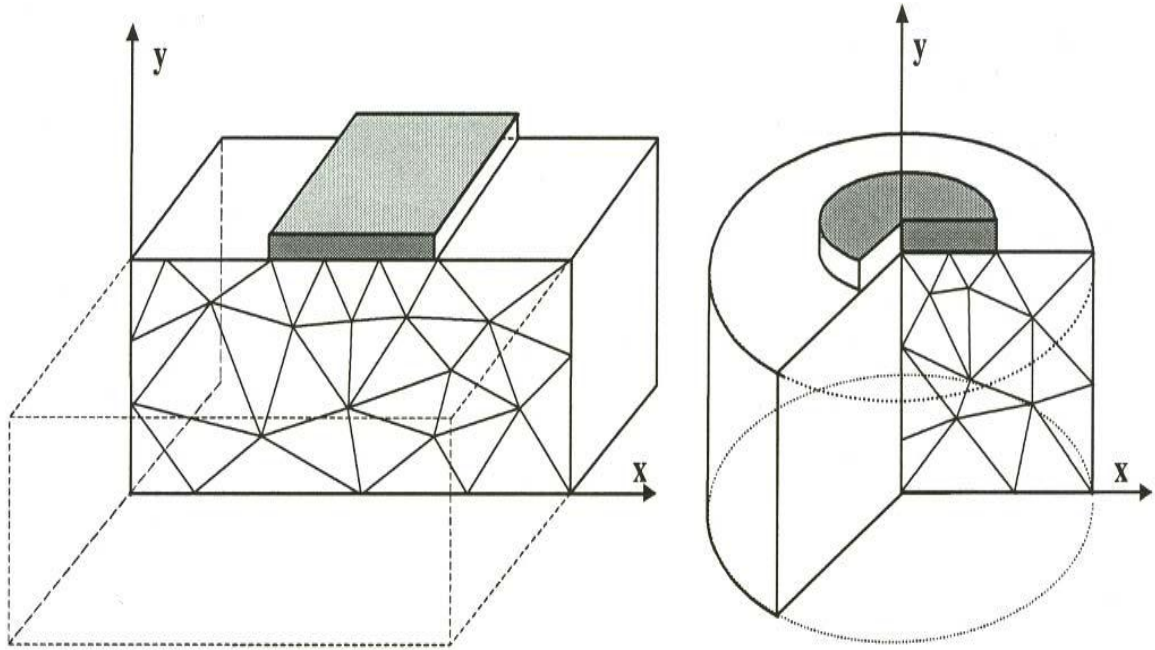
4.5.1 Ο Κώδικας Πεπερασμένων Στοιχείων PLAXIS (v.8) – Γενικά Χαρακτηριστικά

Στην παρούσα εργασία η ανάλυση του βαθμού επιρροής των εξεταζόμενων παραμέτρων γίνεται με χρήση της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων (ΜΠΣ) σε δύο διαστάσεις. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα διακριτοποίησης του χώρου, δηλαδή ο διαχωρισμός του σε μικρών διαστάσεων υποχώρους (στοιχεία). Με αυτόν τον τρόπο ένα ανομοιογενές συνεχές μέσο μπορεί να μετατραπεί σε διακριτό μέσο αποτελούμενο από μικρότερα στοιχεία με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες το καθένα, τα οποία αλληλεπιδρούν μέσω των κοινών κόμβων. Η μέθοδος εξασφαλίζει τη συνολική ισορροπία του κάθε στοιχείου καθώς και την ισορροπία των δράσεων στους κόμβους. Για την περιγραφή της συμπεριφοράς των στοιχείων που προκύπτουν από την διακριτοποίηση του συνεχούς μέσου χρησιμοποιούνται μαθηματικά προσομοιώματα που βασίζονται σε διάφορες θεωρίες.

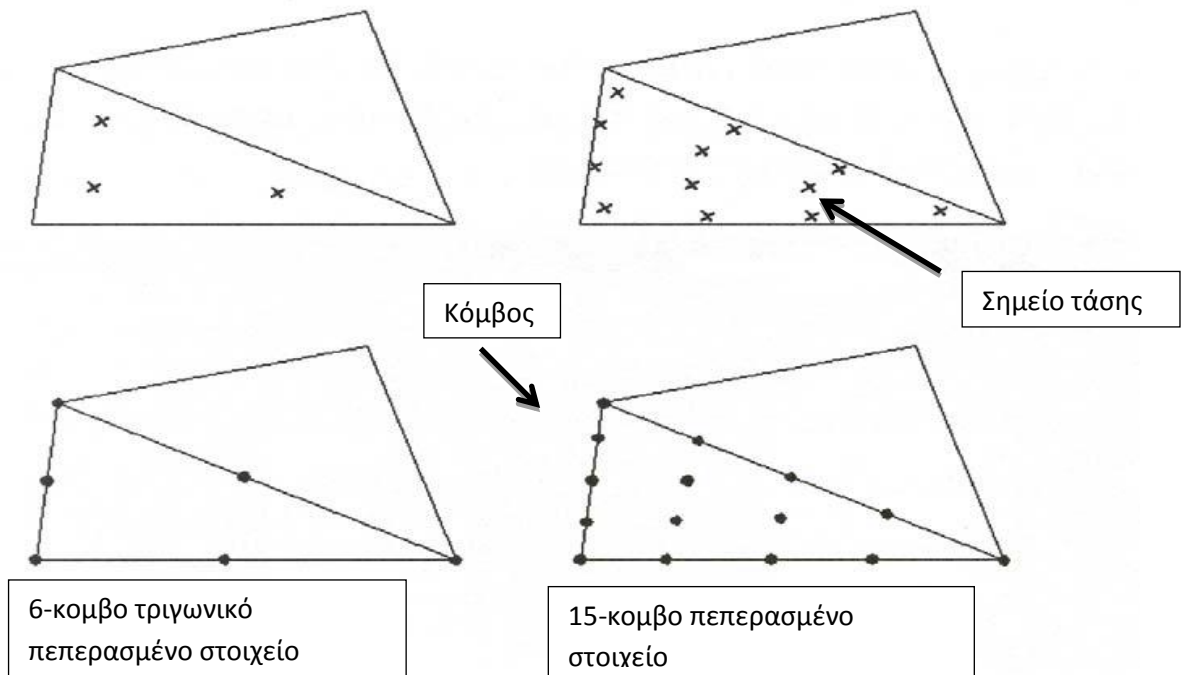
Η μέθοδος αριθμητικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα (Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων) βασίζεται στη χρήση του εμπορικά διαθέσιμου προγράμματος PLAXIS (v.8) και ειδικότερα του δυναμικού μέρους του (Dynamic Module). Το PLAXIS σχεδιάστηκε για την ανάλυση και μελέτη ενός ευρέος φάσματος θεμάτων της γεωτεχνικής μηχανικής. Το δυναμικό μέρος του παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης της συμπεριφοράς του εδάφους κάτω από τη δράση των δυναμικών φορτίσεων και της επίδρασης των εδαφικών ταλαντώσεων σε γειτονικές κατασκευές. Τέτοιες δυναμικές φορτίσεις προκύπτουν από την έμπηξη πασσάλων στο έδαφος, την κίνηση οχημάτων, τη λειτουργία μηχανών και από εκρήξεις. Το Dynamic Module του PLAXIS επιτρέπει επίσης την ανάλυση της εδαφικής συμπεριφοράς κάτω από τη δράση σεισμικών φορτίσεων.

Η προσομοίωση φυσικών προβλημάτων στον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS (v.8) βασίζεται στη μόρφωση είτε δισδιάστατων αξονοσυμμετρικών προσομοιωμάτων (axisymmetric model) είτε δισδιάστατων προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση (plane strain model) με δύο βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο (x και y διεύθυνση). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα και των δύο μορφών προσομοιωμάτων φαίνονται στο Σχ. 4.8. Τα δισδιάστατα αξονοσυμμετρικά προσομοιώματα χρησιμοποιούνται για κυκλικές κατασκευές με ομοιόμορφη ακτινική διατομή και φόρτιση γύρω από ένα κεντρικό άξονα, όπου η κατάσταση παραμορφώσεων και τάσεων θεωρούνται ταυτόσημες σε κάθε ακτινική διεύθυνση. Τα δισδιάστατα προσομοιώματα επίπεδης παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται για κατασκευές με μια (περισσότερο ή λιγότερο) ομοιόμορφη διατομή και

αντίστοιχη κατάσταση τάσεων και φορτίσεων για ένα συγκεκριμένο μήκος κάθετα στο επίπεδο (z διεύθυνση), όπου οι παραμορφώσεις και οι μετακινήσεις θεωρούνται μηδενικές. Παρόλα' αυτά οι ορθές τάσεις και σε αυτή τη διεύθυνση λαμβάνονται πλήρως υπόψη στην ανάλυση.



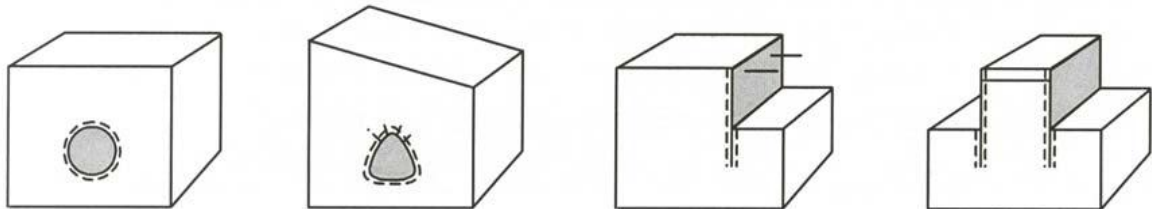
Σχήμα 4.8 Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα διδιάστατου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση και διδιάστατου αξονοσυμμετρικού προσομοιώματος.



Σχήμα 4.9 Θέση των κόμβων και των σημείων υπολογισμού των τάσεων στα εδαφικά πεπερασμένα στοιχεία

Για τη διακριτοποίηση του χώρου είναι δυνατή η χρήση δεκαπεντάκομβων (15- nodes) ή εξάκομβων (6-nodes) τριγωνικού σχήματος πεπερασμένων στοιχείων όπως φαίνεται στο Σχ. 4.9. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεκαπεντάκομβα τριγωνικού σχήματος πεπερασμένα στοιχεία παρέχουν μεγαλύτερης ακρίβειας και ποιότητας αποτελέσματα όσον αφορά την εντατική κατάσταση των εδαφικών και κατασκευαστικών προσομοιωμάτων σε φυσικά προβλήματα με ιδιαίτερες δυσκολίες σε σύγκριση με τα εξάκομβα τριγωνικού σχήματος πεπερασμένα στοιχεία. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι τα πρώτα παρέχουν μια τέταρτης τάξης παρεμβολή για μετακινήσεις και αριθμητική ολοκλήρωση που εμπεριέχει 12 σημεία τάσεων (Gauss points).

Εκτός από τη χρήση στοιχείων εδάφους (soil elements) για τη διακριτοποίηση του χώρου που περιλαμβάνει εδαφικά υλικά, απαραίτητη θεωρείται και η προσομοίωση της συμπεριφοράς τμημάτων κατασκευών, όπως είναι τοίχοι αντιστήριξης, πλάκες και κελύφη, η οποία γίνεται με τη χρήση ανάλογων στοιχείων πλακών (plate elements), όπως φαίνεται και στο Σχ. 4.10. Οι πλάκες είναι κατασκευαστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν λεπτές κατασκευές με δυσκαμψία και ορθή ακαμψία που εκτείνονται στη z-διεύθυνση.

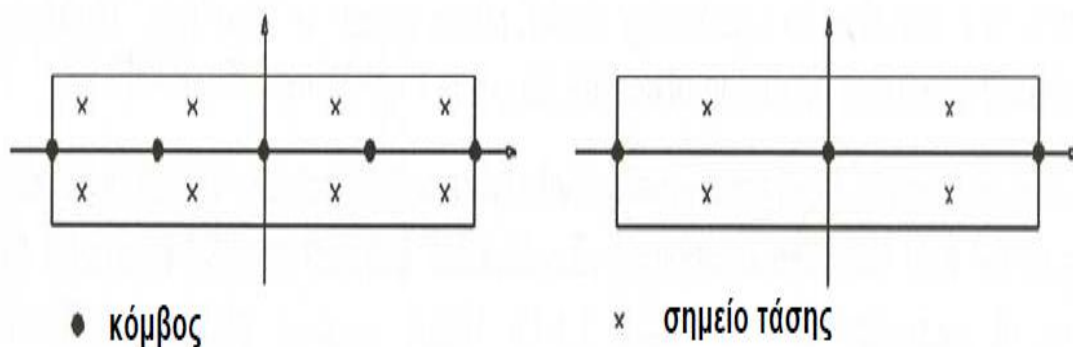


Σχήμα 4.10 Εφαρμογές γεωτεχνικών αναλύσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται στοιχεία πλακών, αγκυρίων και διεπιφάνειας

Οι σημαντικότερες παράμετροι των ιδιοτήτων των υλικών των πλακών περιλαμβάνουν την δυσκαμψία EI και την ατένεια EA . Από αυτές τις δύο παραμέτρους υπολογίζεται και το ισοδύναμο πάχος της πλάκας d_{equal} από την εξίσωση :

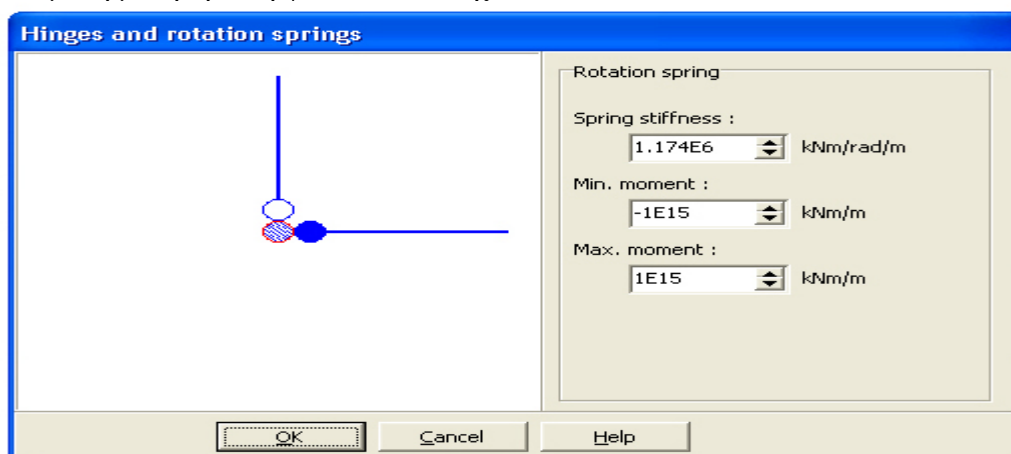
$$d_{equal} = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}} \quad (4-3)$$

Ειδικότερα οι πλάκες σε ένα διδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων αποτελούνται από στοιχεία δοκών (beam elements - γραμμικά στοιχεία) με τρεις βαθμούς ελευθερίας σε κάθε κόμβο : δύο βαθμούς ελευθερίας μετακίνησης στη x και y διεύθυνση (u_x , u_y) και ένα βαθμό ελευθερίας στροφής (στροφή στο επίπεδο x-y, φ_z). Στο Σχ. 3-4 φαίνεται η μορφή των πεπερασμένων στοιχείων των δοκών. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τα στοιχεία δοκών βασίζονται στη θεωρία δοκών του Mindlin (PLAXIS 2002).



Σχήμα 4.11 Θέση των κόμβων και των σημείων υπολογισμού των τάσεων σε 3-κομβά και 5-κομβά πεπερασμένα στοιχεία δοκών.

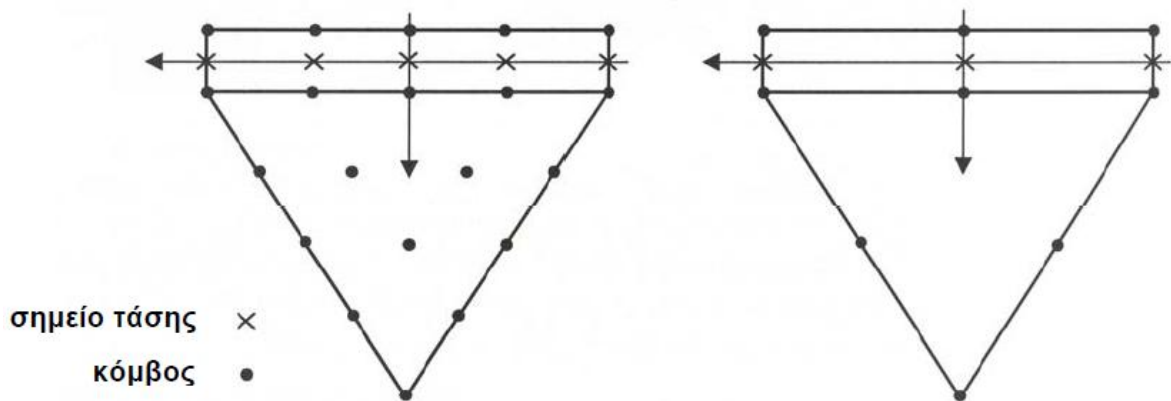
Σε ορισμένα προσομοιώματα κατασκευών που αποτελούνται από πλάκες παρουσιάζεται η ανάγκη προσομοίωσης της στροφής κάποιων τμημάτων τους ή ακόμα και ολόκληρης της κατασκευής. Στον κώδικα PLAXIS αυτή είναι δυνατή με τη χρήση στροφικού ελατηρίου (rotation spring) ή άρθρωσης (hinge) στο σημείο σύνδεσης δύο ή περισσότερων πλακών. Μια σύνδεση με άρθρωση σε ένα κόμβο που αποτελεί ταυτόχρονα και άκρο των πλακών που συνδέονται μεταξύ τους, επιτρέπει ελεύθερη στροφή γύρω από αυτό το σημείο των άκρων τους (λαμβάνοντας υπόψη και τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τις υπόλοιπες πλάκες), ενώ η σύνδεση με στροφικό ελατήριο στο ίδιο κόμβο επιτρέπει μια περιορισμένη στροφή των άκρων των πλακών που συνδέονται μεταξύ τους. Ανάλογα, λοιπόν, με το φυσικό προσομοίωμα επιλέγεται η σύνδεση των πλακών να είναι είτε με άρθρωση είτε με πάκτωση. Το μέγεθος της στροφής που επιτρέπεται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από την τιμή της ροπής στρέψεως που εισάγεται. Αυτό καθίσταται δυνατό μέσω των παραμέτρων του στροφικού ελατηρίου που αποτελούν την δυσκαμψία του ελατηρίου και τη μέγιστη τιμή ροπής στρέψης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η δυστρεψία εκφράζεται ως η ροπή στρέψης ανά ακτίνο (σε μονάδες δύναμης επί μήκος ανά ακτίνο ανά μήκος εκτός του επιπέδου x-y). Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τοποθέτησης στροφικού ελατηρίου μεταξύ δύο στοιχείων δοκών από τις οποίες η μία είναι πακτωμένη με το σημείο σύνδεσης ενώ η άλλη δοκός είναι συνδεδεμένη με άρθρωση φαίνεται στο Σχ. 4.12.



Σχήμα 4.12 Παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων στροφικού ελατηρίου μεταξύ δύο στοιχείων δοκών στον Κώδικα PLAXIS

Υπάρχουν βέβαια και φυσικά προβλήματα όπου το ενδιαφέρον εστιάζεται όχι μόνο στην εντατική κατάσταση και παραμόρφωση των εδαφικών στρωμάτων αλλά και στην αλληλεπίδραση του εδάφους – κατασκευής. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως χρησιμοποιούνται στοιχεία διεπιφάνειας μεταξύ του εδάφους και της κατασκευής που μπορούν να προσομοιώσουν αυτήν την αλληλεπίδραση και να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά της διεπιφάνειας. Ο βαθμός αλληλεπίδρασης καθορίζεται από το συντελεστή μείωσης της αντοχής στη διεπιφάνεια, ο οποίος συσχετίζει την αντοχή του εδάφους (γωνία τριβής και συνοχή) με την αντοχή της διεπιφάνειας τοίχου-εδάφους (γωνία τριβής διεπιφάνειας και συνάφεια). Κάθε διεπιφάνεια αποτελείται από πεπερασμένα στοιχεία, τα οποία συνδέονται με τα εδαφικά στοιχεία και διαθέτει επίσης συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες που καθορίζονται από τα διάφορα προσομοιώματα των εδαφικών υλικών.

Πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι τα στοιχεία της διεπιφάνειας εμφανίζονται να έχουν πεπερασμένο πάχος, ενώ ουσιαστικά στη μόρφωση των δισδιάστατων προσομοιωμάτων το πάχος αυτό είναι μηδενικό εφόσον οι συντεταγμένες του κάθε ζεύγους κόμβων ταυτίζονται.



Σχήμα 4.13 Κατανομή των κόμβων και των σημείων υπολογισμού των τάσεων σε στοιχεία διεπιφάνειας και ο τρόπος σύνδεσης τους με τα εδαφικά στοιχεία

Η ανάλυση συγκεκριμένου προσομοιώματος είναι δυνατόν να εμπεριέχει εκτός από τις στατικές φορτίσεις και δυναμικές εδαφικές φορτίσεις, των οποίων η προσομοίωση είναι δυνατή με τη χρήση του δυναμικού μέρους (Dynamic module) του κώδικα PLAXIS (v.8). Η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της χρονικά εξαρτώμενης κίνησης στοιχείου εδάφους, στο οποίο εφαρμόζεται δυναμικό φορτίο, δίνεται από την Εξ. 4.4:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \quad (4-4)$$

όπου :

- M : μητρώο μάζας
- C : μητρώο απόσβεσης
- K : μητρώο ακαμψίας
- F : διάνυσμα φόρτισης
- u : διάνυσμα μετακίνησης, το οποίο μπορεί να μεταβάλλεται χρονικά
- \dot{u} : χρονικά εξαρτώμενη ταχύτητα ταλάντωσης
- \ddot{u} : χρονικά εξαρτώμενη επιτάχυνση ταλάντωσης

Η ανωτέρω εξίσωση επιλύεται χρησιμοποιώντας έμμεση ολοκλήρωση ως προς το χρόνο (implicit integration) με τη μέθοδο Newmark, με τη χρήση κατάλληλου χρονικού

βήματος. Το μητρώο ακαμψίας, K , περιλαμβάνει τις ακαμψίες όλων των υλικών και το διάνυσμα φόρτισης, F , τις συνιστώσες της φόρτισης. Το μητρώο μάζας, M , περιλαμβάνει τις μάζες όλων των υλικών που υπεισέρχονται στο πρόβλημα (έδαφος, νερό, κατασκευή) και το μητρώο, C , περιλαμβάνει την απόσβεση όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε ανάλυση.

Η απόσβεση των υλικών που οφείλεται στις ιξώδεις ιδιότητες του εδάφους, την τριβή και την πλαστικότητα έχει ως αποτέλεσμα μέρος της ελαστικής ενέργειας κατά τη διάδοση των κυμάτων σε κάθε εδαφικό υλικό να μετατρέπεται σε θερμότητα γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση του πλάτους των κυμάτων με την απόσταση. Για τον προσδιορισμό όμως του μητρώου, C , δηλαδή του όρου της Εξ. 4-4 που σχετίζεται με την απόσβεση, απαιτούνται επιπρόσθετες παράμετροι, οι οποίες δύσκολα μπορούν να προσδιοριστούν με δοκιμές. Γι' αυτό το λόγο το μητρώο C συχνά γράφεται και ως συνδυασμός του μητρώου μάζας και του μητρώου ακαμψίας (απόσβεση τύπου Rayleigh) :

$$C = a_R M + \beta_R K$$

όπου a_R, β_R : συντελεστές Rayleigh

(4-5)

Εάν δεν υπάρχει απόσβεση υλικού αλλά μόνο γεωμετρική απόσβεση, τότε ισχύει $a_R = \beta_R = 0$. Ο συντελεστής a_R είναι παράμετρος που καθορίζει την επίδραση της μάζας στην απόσβεση του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του a_R τόσο ευκολότερα αποσβένονται οι χαμηλότερες συχνότητες. Ο συντελεστής β_R είναι παράμετρος που καθορίζει την επίδραση της ακαμψίας στην απόσβεση του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του β_R τόσο ευκολότερα αποσβένονται οι μεγαλύτερες συχνότητες.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στις δυναμικές αναλύσεις με τον κώδικα PLAXIS είναι κατ' αρχήν δυνατή η προσομοίωση της συμπεριφοράς των υλικών ως γραμμική ελαστική. Είναι όμως δυνατή και η εφαρμογή των υπόλοιπων προσομοιωμάτων του προγράμματος για διαφορετική συμπεριφορά των υλικών.

Η επιλογή των διαστάσεων του κάναβου που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις βασίστηκε στο γεγονός ότι ήταν απαραίτητη η αποφυγή προβλημάτων ανάκλασης των κυμάτων στα πλευρικά όρια του δικτύου καθώς επίσης και αύξησης των τάσεων που προκαλούνται κατά τη δυναμική φόρτιση στα όρια του δικτύου. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων δίνεται η δυνατότητα χρήσης απορροφητικών ορίων στα πλευρικά όρια του δικτύου (absorbent boundaries). Γενικά, όμως, τα όρια του διακριτοποιημένου χώρου πρέπει να βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από την περιοχή ενδιαφέροντος των αναλύσεων προκειμένου να αποφεύγονται αριθμητικά σφάλματα τα οποία εμφανίζονται συνήθως στην περιοχή των ορίων του διακριτοποιημένου χώρου. Για την αποφυγή των σφαλμάτων που σχετίζονται με τη διάδοση των κυμάτων στο διακριτοποιημένο χώρο και συγκεκριμένα διαμέσου των δεκαπεντάκομβων τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων εφαρμόστηκε ο ακόλουθος κανόνας διακριτοποίησης που προτείνουν οι Takemiya et al. (1994) (βλ. PLAXIS 2002): "Το μέσο πλάτος των τριγωνικών στοιχείων πρέπει να είναι μικρότερο από το $1/6$ του L_R ", όπου L_R

είναι το μήκος του κύματος Rayleigh. Το μέσο πλάτος κάθε τριγωνικού στοιχείου σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του PLAXIS v.8 δίνεται από την Εξ. 4-6 :

$$l_e = \sqrt{\frac{(X_{\max} - X_{\min}) \cdot (Y_{\max} - Y_{\min})}{n_c}} \quad (4-6)$$

όπου : l_e = το μέσο πλάτος του τριγωνικού στοιχείου
 $X_{\max}, X_{\min}, Y_{\max}, Y_{\min}$ = οι εξωτερικές διαστάσεις του δικτύου
 n_c = αριθμός που καθορίζει την πυκνότητα του δικτύου των τριγωνικού σχήματος πεπερασμένων στοιχείων

Όπως είναι γνωστό το μήκος κύματος συνδέεται με τη συχνότητα ταλάντωσης και την ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων με την σχέση :

$$L = \frac{V_s}{f} \quad (4-7)$$

όπου : V_s = ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιων κυμάτων (m/sec)
 f = συχνότητα ταλάντωσης ή δυναμικής φόρτισης (Hz)

Σε όλες τις αναλύσεις της παρούσας έρευνας γινόταν έλεγχος της ισχύος του κανόνα διακριτοποίησης που προαναφέρθηκε και πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση ισχύει:

$$l_e < \frac{L}{6} \quad (4-8)$$

Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις δυναμικές αναλύσεις με το πρόγραμμα PLAXIS είναι η επιλογή του κατάλληλου χρονικού βήματος για τους αριθμητικούς υπολογισμούς. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του προγράμματος το χρονικό βήμα των αριθμητικών υπολογισμών είναι σταθερό και δίνεται από την Εξ.4-9:

$$\delta_t = \frac{\Delta t}{(n \cdot m)} \quad (4-9)$$

όπου :

δ_t = σταθερό χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται στο δυναμικό υπολογισμό
 Δt = χρονική διάρκεια της δυναμικής φόρτισης
 n = αριθμός βημάτων (1-250) που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της φάσης
 m = αριθμός των δυναμικών βημάτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εφαρμογής της δυναμικής φόρτισης

Η διάρκεια του χρονικού βήματος επίλυσης, δ_t , επιλέγεται έτσι ώστε να είναι βέβαιο ότι κατά τη διάρκεια του ενός βήματος το κύμα δε θα διανύσει απόσταση μεγαλύτερη από το μικρότερο μέγεθος κάποιου πεπερασμένου στοιχείου. Γι' αυτό το λόγο σε κάθε προσομοίωμα για την αποφυγή αριθμητικών σφαλμάτων και σημαντικών αποκλίσεων στα αποτελέσματα κρίνεται απαραίτητο να ισχύει ότι: $\delta_t \leq \Delta t_{critical}$. Το κρίσιμο χρονικό βήμα $\Delta t_{critical}$ δίνεται από την Εξ. 3-7 :

$$\Delta t_{critical} = \frac{B}{\alpha \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \sqrt{1 + \frac{B^4}{4S^2} - \frac{B^2}{2S} \left[1 + \frac{1-2\nu}{4} \frac{2S}{B^2} \right]}}} \quad (4-10)$$

όπου :

α = συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο των πεπερασμένων στοιχείων

Για 6-κομβά τριγωνικά στοιχεία : $\alpha = \frac{1}{6\sqrt{c_6}}$ όπου = 5.1282, και $C_6=5.1282$, και για 15κομβά τριγωνικά στοιχεία $\alpha = \frac{1}{19\sqrt{c_{15}}}$, όπου $C_{15} = 4.9479$

ν = λόγος Poisson

B = μέσο πλάτος του πεπερασμένου στοιχείου

S = μέση επιφάνεια του στοιχείου

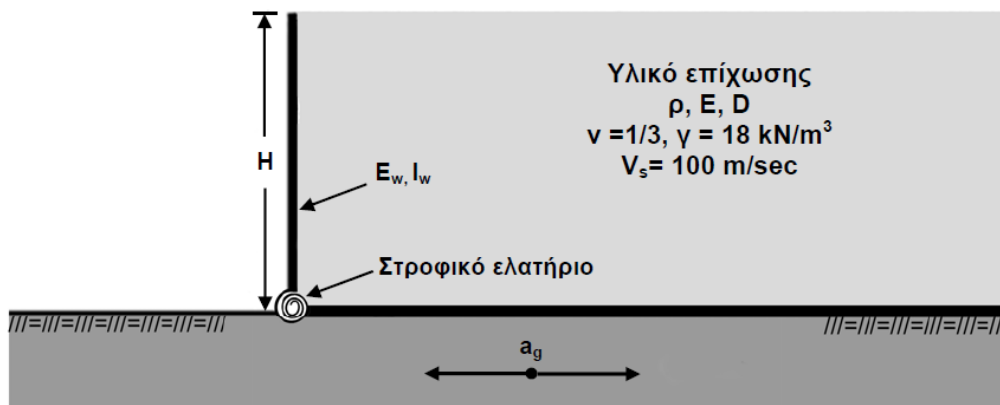
E = μέτρο ελαστικότητας του εδάφους

ρ = πυκνότητα του εδάφους

Στις αναλύσεις που διεξήχθησαν στην παρούσα έρευνα υπολογίζονταν κάθε φορά το κρίσιμο χρονικό βήμα με βάση $\Delta t_{critical}$ την Εξ. 4-10, και αν το χρονικό βήμα προέκυπτε $\delta t > \Delta t_{critical}$, τότε μεταβαλλόταν είτε ο αριθμός n των βημάτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της φάσης, είτε ο αριθμός m των δυναμικών βημάτων που απαιτούνται για την εφαρμογή της δυναμικής φόρτισης.

4.5.2 Η Εξιδανίκευση του Τοίχου Αντιστήριξης

Η τρισδιάστατη φύση του φυσικού προβλήματος ενός τοίχου εδαφικής αντιστήριξης προσομοιώνεται ικανοποιητικά με τη χρήση διδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων με επίπεδη παραμόρφωση. Το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις φαίνεται στο Σχ. 4.14.



Σχήμα 4.14 Το προσομοίωμα του συστήματος τοίχου αντιστήριξης και εδαφικού επιχώματος που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις

Για την προσομοίωση του τοίχου αντιστήριξης χρησιμοποιήθηκε κατακόρυφο στοιχείο δοκού δεδομένης δυσκαμψίας, πάχους t_w , μάζας ανά μονάδα επιφάνειας μ , λόγου Poisson ν_w και μέτρου ελαστικότητας, E_w , που προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις για διαφορετικές τιμές του συντελεστή σχετικής ευκαμψίας του τοίχου, d_w :

$$d_w = GH^3 / D_w \quad (4-11)$$

και

$$D_w = \frac{E_w t_w^3}{12(1 - \nu_w^2)} \quad (4-12)$$

όπου :

D_w = μέγεθος που εκφράζει τη δυσκαμψία του τοίχου αντιστήριξης ανά μονάδα μήκους του

H = ύψος του τοίχου αντιστήριξης (m)

G = μέτρο διάτμησης του υλικού του επιχώματος (kPa)

E_w = μέτρο ελαστικότητας του τοίχου αντιστήριξης (kPa)

t_w = πάχος του τοίχου αντιστήριξης (m)

ν_w = λόγος Poisson για το υλικό του τοίχου αντιστήριξης

Για την προσομοίωση της απαραμόρφωτης βάσης έδρασης του τοίχου και του επιχώματος χρησιμοποιήθηκε οριζόντιο άκαμπτο στοιχείο δοκού σταθερής δυσκαμψίας. Οι ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιήθηκαν για τον τοίχο αντιστήριξης και για τη βάση έδρασης, καθώς επίσης και οι διαστάσεις των αντίστοιχων στοιχείων δίνονται στον Πίνακα.4-4 Οι αναλύσεις διεξήχθησαν για τοίχους αντιστήριξης ύψους 4m και 8m, των οποίων οι τιμές της μεταβαλλόμενης δυσκαμψίας δίνονται στον Πίνακα 4-4.

Στοιχείο	Ιδιότητες Υλικού και Διαστάσεις
Τοίχος αντιστήριξης (από σκυρόδεμα)	Γραμμική Ελαστική Συμπεριφορά $t_w = 0.20\text{m}$, $\mu_w = 25 \text{ kN/m}^2$, $\nu_w = 0.2$
Βάση έδρασης	Γραμμική Ελαστική συμπεριφορά $EA = 1 \times 10^{17} \text{ kN/m}$, $EI = 1 \times 10^{17} \text{ kNm}^2/\text{m}$ $\mu_w = 25 \text{ kN/m}^2$, $\nu_w = 0.2$

Πίνακας 4.4 Οι ιδιότητες της βάσης έδρασης και του τοίχου αντιστήριξης

Τοίχος αντιστήριξης ύψους (m)	Τιμές ατένειας και δυσκαμψίας	Συντελεστές σχετικής ευκαμψίας
H = 4m	$E_w A = 3 \times 10^{12}$ kN/m, $E_w I = 1 \times 10^{10}$ kNm ² /m	$d_w = 0$
	$E_w A = 3.38 \times 10^8$ kN/m, $E_w I = 1.13 \times 10^6$ kNm ² /m	$d_w = 1$
	$E_w A = 6.76 \times 10^7$ kN/m, $E_w I = 2.25 \times 10^5$ kNm ² /m	$d_w = 5$
	$E_w A = 8.46 \times 10^6$ kN/m, $E_w I = 2.82 \times 10^4$ kNm ² /m	$d_w = 40$
H = 8m	$E_w A = 3 \times 10^{12}$ kN/m, $E_w I = 1 \times 10^{10}$ kNm ² /m	$d_w = 0$
	$E_w A = 2.71 \times 10^9$ kN/m, $E_w I = 9.02 \times 10^6$ kNm ² /m	$d_w = 1$
	$E_w A = 5.41 \times 10^8$ kN/m, $E_w I = 1.80 \times 10^6$ kNm ² /m	$d_w = 5$
	$E_w A = 6.76 \times 10^7$ kN/m, $E_w I = 2.25 \times 10^5$ kNm ² /m	$d_w = 40$

Πίνακας 4.5 Οι συντελεστές σχετικής ευκαμψίας του τοίχου αντιστήριξης και οι αντίστοιχες τιμές ατένειας και δυσκαμψίας

Η σύνδεση του τοίχου αντιστήριξης με την άκαμπτη βάση πραγματοποιήθηκε με στροφικό ελατήριο μεταβλητής δυσκαμψίας ώστε να υπάρχει η δυνατότητα στροφής του τοίχου γύρω από τη βάση του. Οι ιδιότητες του στροφικού ελατηρίου δίδονται στον Πίνακα 4-5. Η στροφική δυσκαμψία του ελατηρίου προκύπτει από το συντελεστή σχετικής δυστρεψίας της βάσης έδρασης του τοίχου, d_θ , που δίνεται από τη σχέση :

$$d_\theta = GH^2 / R_\theta \quad (4-13)$$

όπου :

R_θ = δυσκαμψία του στροφικού ελατηρίου
 H = ύψος του τοίχου αντιστήριξης (m)
 G = μέτρο διάτμησης του εδάφους (kPa)

Τοίχος αντιστήριξης ύψους (m)	Τιμές δυσκαμψίας στροφικού ελατηρίου	Συντελεστές σχετικής δυστρεψίας βάσης έδρασης
H = 4m	$R_\theta = 1 \times 10^9$ kNm/rad/m	$d_\theta = 0$
	$R_\theta = 5.87 \times 10^5$ kNm/rad/m	$d_\theta = 0.5$
	$R_\theta = 2.94 \times 10^5$ kNm/rad/m	$d_\theta = 1$
	$R_\theta = 5.87 \times 10^4$ kNm/rad/m	$d_\theta = 5$
H = 8m	$R_\theta = 1 \times 10^9$ kNm/rad/m	$d_\theta = 0$
	$R_\theta = 2.35 \times 10^6$ kNm/rad/m	$d_\theta = 0.5$
	$R_\theta = 1.17 \times 10^6$ kNm/rad/m	$d_\theta = 1$
	$R_\theta = 2.35 \times 10^5$ kNm/rad/m	$d_\theta = 5$

Πίνακας 4.6 Οι συντελεστές σχετικής δυστρεψίας της βάσης έδρασης του τοίχου και οι αντίστοιχες τιμές δυσκαμψίας του στροφικού ελατηρίου

Το σύστημα τοίχου αντιστήριξης και εδαφικού επιχώματος υπόκειται σε οριζόντια σεισμική διέγερση που επιβάλλεται στη βάση έδρασης του τοίχου. Η σεισμική αυτή διέγερση επιβλήθηκε με τη μορφή εξαναγκασμένης μετακίνησης στη βάση του προσομοιώματος. Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε η περίπτωση αρμονικής διέγερσης της μορφής :

$$a_g(t) = a_0 \sin \omega t \quad (4-14)$$

όπου :

$a_g(t)$ = χρονικά μεταβαλλόμενη επιτάχυνση της σεισμικής διέγερσης (m/sec²)

a_0 = μέγιστη τιμή της σεισμικής διέγερσης

ω = κυκλική συχνότητα της σεισμικής διέγερσης (rad/sec)

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τιμές της κυκλικής συχνότητας, ω , και (αντίστοιχης συχνότητας f) της σεισμικής διέγερσης, οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 4.7.

Ύψος τοίχου αντιστήριξης (m)					
H = 4m			H = 8m		
T (sec)	f (Hz)	ω (rad/sec)	T (sec)	f (Hz)	ω (rad/sec)
0.96	1.04	6.55	1.92	0.52	3.27
0.48	2.08	13.09	0.96	1.04	6.55
0.32	3.125	19.63	0.64	1.56	9.82
0.24	4.17	26.18	0.48	2.08	13.09
0.20	5.00	31.42	0.40	2.50	15.71
0.16	6.25	39.27	0.32	3.125	19.63
0.125	8.00	50.27	0.25	4.00	25.13
0.08	12.50	78.54	0.16	6.25	39.27
0.053	18.75	117.81	0.1067	9.38	58.90
			0.08	12.50	78.54
			0.053	18.75	117.81

Περιοχή συντονισμού

Πίνακας 4.7 Οι τιμές συχνότητας, f , της κυκλικής συχνότητας, ω , και της περιόδου, T , διέγερσης της βάσης έδρασης

Θεωρείται αναγκαίο να αναφερθεί ότι η συχνότητα της αρμονικής διέγερσης της βάσης θεμελίωσης ελήφθη ως πολλαπλάσιο της θεμελιώδους συχνότητας του εδαφικού επιχώματος, f_1 , η οποία υπολογίστηκε σε κάθε περίπτωση από τη σχέση :

$$f_1 = \frac{V_{s0}}{4H} \quad (4-15)$$

όπου :

V_{s0} = ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων στο υλικό του επιχώματος (m/sec)

H = ύψος του τοίχου αντιστήριξης (m)

Όπως είναι γνωστό η κυκλική συχνότητα ω και η περίοδος, T , μιας δυναμικής διέγερσης συνδέονται με την συχνότητα, f , της διέγερσης με τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\omega=2\pi f \quad (4-16)$$

$$T=1/f \quad (4-17)$$

Κρίνεται επίσης σκόπιμο να αναφερθεί ότι η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης του τοίχου και του αντιστηριζόμενου εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διεπιφάνειας. Για τη συγκεκριμένη διεπιφάνεια υιοθετήθηκαν οι παραδοχές των Veletsos and Younan (1997) και Ψαρρόπουλου (2000), δηλαδή θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει δυνατότητα αποκόλλησης και ολίσθησης μεταξύ τοίχου και αντιστηριζόμενου εδάφους. Αυτό επιτεύχθηκε επιλέγοντας την τιμή του συντελεστή μείωσης της αντοχής, R_{inter} , της διεπιφάνειας, ως $R_{inter}=1$. Επιπλέον, οι μηχανικές ιδιότητες της διεπιφάνειας ταυτίζονταν με τις αντίστοιχες του αντιστηριζόμενου εδαφικού στρώματος και του υλικού του παρεμβλήματος EPS στην περίπτωση χρήσης στρώματος EPS μεταξύ τοίχου και εδαφικού επιχώματος.

Το αντιστηριζόμενο εδαφικό υλικό θεωρήθηκε ιξωδοελαστικό και προσομοιώθηκε ως μια ομοιόμορφη, γραμμική ελαστική στρώση πάχους ίσου με το ύψος του τοίχου αντιστήριξης, ημιάπειρης έκτασης στην οριζόντια διεύθυνση και με συντελεστή απόσβεσης $D=5\%$. Όσον αφορά την απόσβεση του υλικού που λαμβάνεται υπόψη μέσω των συντελεστών Rayleigh (α_R, β_R), πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε η τιμή $\alpha_R=0$, οπότε η τιμή β_R για το υλικό του εδαφικού επιχώματος δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα διέγερσης της βάσης f . Οι τιμές του β_R για τις διαφορετικές τιμές της συχνότητας της διέγερσης της βάσης και για τοίχους αντιστήριξης ύψους 4m και 8m για τις οποίες διεξήχθησαν οι αναλύσεις δίδονται στον Πίνακα 4-8. Για όλες τις αναλύσεις το ειδικό βάρος του εδαφικού επιχώματος ελήφθη $\gamma=18\text{kN/m}^3$, η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων στο υλικό του επιχώματος $V_s = 100\text{m/sec}$ και ο λόγος Poisson $\nu=1/3$. Οι ελαστικές παράμετροι του εδάφους, το μέτρο ελαστικότητας E και ο λόγος Poisson υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4-18)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4-19)$$

όπου :

V_s = ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων στο υλικό του επιχώματος (m/sec)

G = μέτρο διάτμησης του εδάφους (kPa)

ρ = πυκνότητα του εδαφικού υλικού (kN/m^3)

E = μέτρο ελαστικότητας του εδαφικού υλικού (kPa)

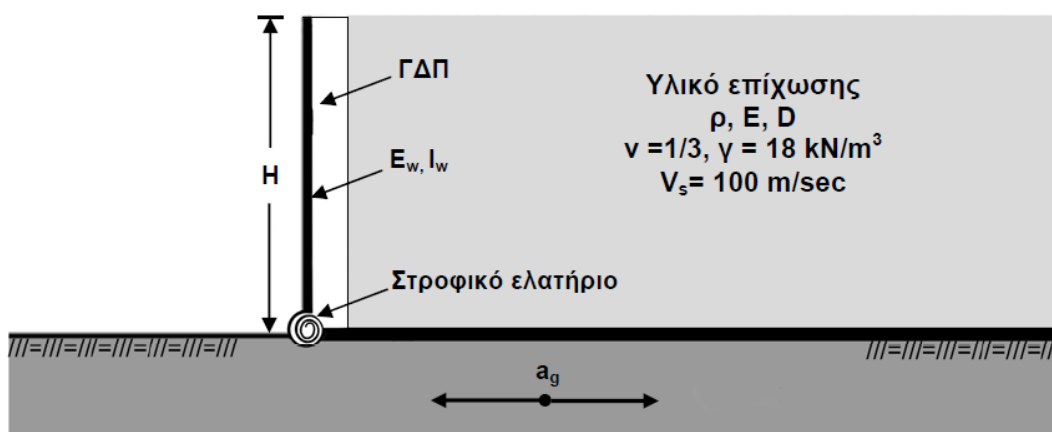
ν = λόγος Poisson

Ύψος τοίχου αντιστήριξης (m)					
H = 4m			H = 8m		
f	f (Hz)	β_R	f	f (Hz)	β_R
$\frac{1}{6}f_1$	1.04	7×10^{-5}	$\frac{1}{6}f_1$	0.52	3.5×10^{-5}
$\frac{2}{6}f_1$	2.08	1.4×10^{-4}	$\frac{2}{6}f_1$	1.04	7×10^{-5}
$\frac{3}{6}f_1$	3.125	2.1×10^{-4}	$\frac{3}{6}f_1$	1.56	1.05×10^{-4}
$\frac{4}{6}f_1$	4.17	2.8×10^{-4}	$\frac{4}{6}f_1$	2.08	1.4×10^{-4}
$0.8f_1$	5.00	3.4×10^{-4}	$0.8f_1$	2.50	1.7×10^{-4}
f_1	6.25	4.2×10^{-4}	f_1	3.125	2.1×10^{-4}
$1.28f_1$	8.00	5.4×10^{-4}	$1.28f_1$	4.00	2.7×10^{-4}
$2f_1$	12.50	8.4×10^{-4}	$2f_1$	6.25	4.2×10^{-4}
$3f_1$	18.75	1.3×10^{-3}	$3f_1$	9.38	6.3×10^{-4}
			$4f_1$	12.50	8.4×10^{-4}
			$6f_1$	18.75	1.3×10^{-3}

Περιοχή συντονισμού

Πίνακας 4.8 Οι τιμές του β_R του εδαφικού υλικού του επιχώματος για διαφορετικές τιμές της συχνότητας διέγερσης, f , της βάσης έδρασης

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διεξήχθησαν παρεμβάλλοντας μια στρώση υλικού EPS καθοριζόμενου πάχους, μεταβαλλόμενου σχήματος και διαφορετικής πυκνότητας μεταξύ του τοίχου αντιστήριξης και του εδαφικού επιχώματος, Σχ. 4.15. Η συμπεριφορά του EPS προσομοιώθηκε ως γραμμική ελαστική, όπως αυτή του εδαφικού επιχώματος. Επίσης θεωρήθηκε ότι για το υλικό του παρεμβλήματος EPS, λαμβάνοντας υπόψη τις μικρές σχετικά παραμορφώσεις που αναπτύσσονται ακόμα και για ισχυρή κίνηση της βάσης, η απόσβεση του υλικού είναι αμελητέα (ο λόγος απόσβεσης, D , κυμαίνεται σύμφωνα με την Ξενάκη (2005) από 0.5% έως 2.5%) και γι' αυτό το λόγο έγινε δεκτό ότι $a_R = \beta_R = 0$.



Σχήμα 4.15 Το προσομοίωμα του συστήματος τοίχου αντιστήριξης και εδαφικού επιχώματος με χρήση παρεμβλήματος EPS μεταξύ του τοίχου και του αντιστηριζόμενου εδάφους που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις

Πιο συγκεκριμένα για το υλικό του παρεμβλήματος χρησιμοποιήθηκαν τιμές πυκνότητας $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ (EPS15), $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ (EPS20) και $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ (EPS25) και αντίστοιχων μηχανικών παραμέτρων E_{EPS} , ν που δίνονται στους Πίνακες 4-9 και 4-10.

Ύψος τοίχου αντιστήριξης (m)					
$H = 4 \text{ m}$					
ΓΔΠ15		ΓΔΠ20		ΓΔΠ25	
Μέτρο Ελαστικότητας $E_{\text{ΓΔΠ}}$					
$E_{\text{av.}}$ (kPa)	$E_{\text{inc.}}$ (kPa)	$E_{\text{av.}}$ (kPa)	$E_{\text{inc.}}$ (kPa)	$E_{\text{av.}}$ (kPa)	$E_{\text{inc.}}$ (kPa)
5920	603h+4088	9694	370h+8520	13346	257.75h+12469
Λόγος Poisson $\nu_{\text{ΓΔΠ}}$					
0.13		0.17		0.19	

Πίνακας 4.9 Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων του υλικού του παρεμβλήματος EPS που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις για τοίχο ύψους 4m

Ύψος τοίχου αντιστήριξης (m)		
$H = 8 \text{ m}$		
ΓΔΠ20		ΓΔΠ25
Μέτρο Ελαστικότητας $E_{\text{ΓΔΠ}}$		
$E_{\text{av.}}$ (kPa)	$E_{\text{inc.}}$ (kPa)	$E_{\text{av.}}$ (kPa)
8520	747.125h+4023	12469
Λόγος Poisson $\nu_{\text{ΓΔΠ}}$		
0.07		0.14

Πίνακας 4.10 Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων του υλικού του παρεμβλήματος EPS που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις για τοίχο ύψους 8m

Οι τιμές των ελαστικών παραμέτρων για το υλικό του παρεμβλήματος EPS προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις (Ξενάκη 2005) :

$$\sigma_{c10} = 7.68 \rho - 4.83 \quad (4-20)$$

όπου : σ_{c10} = θλιπτική αντοχή του EPS για παραμόρφωση ίση με 10% (kPa)
 ρ = πυκνότητα EPS (kg/m^3)

$$E_0 = -4 + 0.7 \rho \quad (4-21)$$

όπου :

E_0 = μέτρο ελαστικότητας του EPS για μικρές παραμορφώσεις και για μηδενική περιβάλλουσα τάση (A)

ρ = πυκνότητα EPS (kg/m^3)

$$\frac{E_{0(\sigma_3)}}{E_{0(\sigma_3=0)}} = 1.015 - 0.043 \frac{\sigma_3}{\sigma_c} - 0.69 \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{c10}} \right)^2 \quad (4-22)$$

όπου :

$E_{0(\sigma_3)}$ = μέτρο ελαστικότητας του EPS για μικρές παραμορφώσεις για συγκεκριμένη τιμή περιβάλλουσας τάσης (MPa)

$E_{0(\sigma_3=0)}$ = μέτρο ελαστικότητας του EPS για μικρές παραμορφώσεις για μηδενική περιβάλλουσα τάση (MPa)

σ_3 = περιβάλλουσα τάση (kPa)

σ_{c10} = θλιπτική αντοχή του EPS (kPa)

$$\nu_0 = 0.25 - 0.33 \frac{\sigma_3}{\sigma_{c10}} \quad (4-23)$$

όπου :

ν_0 = λόγος Poisson του EPS για μικρές παραμορφώσεις

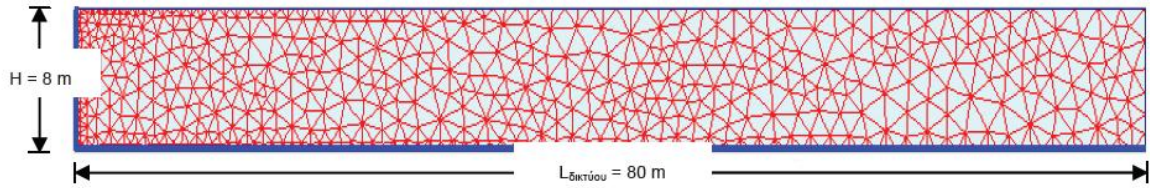
σ_3 = περιβάλλουσα τάση (kPa)

σ_{c10} = θλιπτική αντοχή του EPS (kPa)

4.5.3 Το Προσομοίωμα Πεπερασμένων Στοιχείων

Το προσομοίωμα του συστήματος του τοίχου αντιστήριξης και του εδαφικού επιχώματος διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με βάση των κώδικα Πεπερασμένων Στοιχείων PLAXIS. Για τη διακριτοποίηση του αντιστηριζόμενου εδάφους χρησιμοποιήθηκαν 15-κομβα τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία και για τη δημιουργία του κάναβου επιλέχθηκε το πυκνό δίκτυο (fine). Σε όλες τις αναλύσεις, όμως, που διεξήχθησαν επιλέχθηκε πύκνωση του δικτύου πίσω από τον τοίχο αντιστήριξης (refine line) τόσες φορές όσες κρίνονταν απαραίτητο σε κάθε περίπτωση έτσι ώστε να είναι δυνατή η λήψη των τιμών των αναπτυσσόμενων σεισμικών ωθήσεων όσο πιο κοντά στην επιφάνεια του τοίχου αντιστήριξης ήταν δυνατό. Αυτό το γεγονός στηρίχθηκε στο ότι το κύριο ενδιαφέρον της παρούσας έρευνας εστιάζεται στο μέγεθος των σεισμικών εδαφικών ωθήσεων που αναπτύσσονται στον τοίχο αντιστήριξης. Η πύκνωση του δικτύου πίσω από τον τοίχο αντιστήριξης, η οποία πραγματοποιήθηκε με μέγιστη τιμή τις 2 φορές, είχε ως αποτέλεσμα να υπολογιστούν οι σεισμικές ωθήσεις σε απόσταση 1-3 cm από τον τοίχο αντιστήριξης. Περαιτέρω πύκνωση δεν είχε σημαντική επίδραση στο μέγεθος των σεισμικών εδαφικών ωθήσεων και επιπλέον είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του αριθμού των πεπερασμένων στοιχείων του προσομοιώματος με αποτέλεσμα η διαδικασία επίλυσης να είναι υπερβολικά μακρόχρονη.

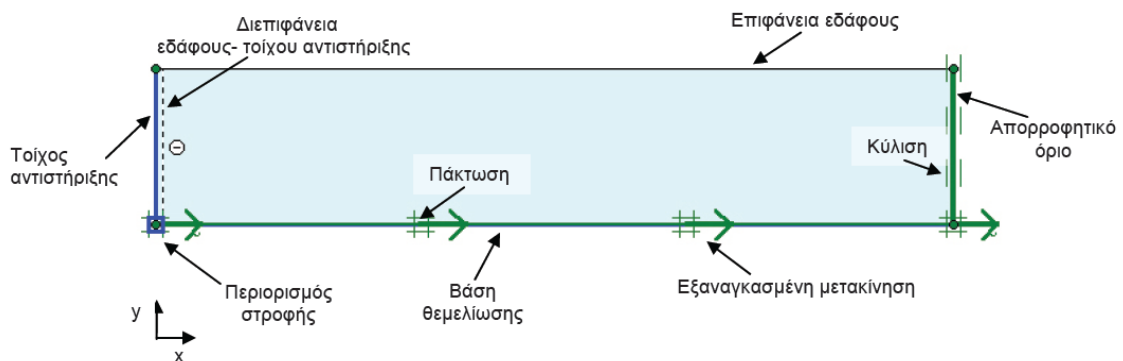
Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τέτοιου δικτύου πεπερασμένων στοιχείων που δημιουργήθηκε με τον Κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS v.8. φαίνεται στο Σχ. 4-16.



Σχήμα 4.16 Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα διδιάστατου δικτύου επίπεδης παραμόρφωσης πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκε με τον Κώδικα Πεπερασμένων Στοιχείων PLAXIS v.8

Είναι γνωστό ότι η κύρια δυσκολία της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων έγκειται στην εφαρμογή των κατάλληλων συνθηκών στα όρια του δικτύου έτσι ώστε να αποφεύγονται τα φαινόμενα ανεπιθύμητης ανάκλασης των κυμάτων, τα οποία είναι εντονότερα κατά τις δυναμικές αναλύσεις. Ειδικότερα η επιλογή της θέσης και του είδους των συνοριακών συνθηκών θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική στην κατασκευή προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων.

Ένα τυπικό παράδειγμα του διδιάστατου προσομοιώματος επίπεδης παραμόρφωσης πεπερασμένων στοιχείων από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις φαίνεται στο Σχ. 4.17.



Σχήμα 4.17 Προσομοίωση του συστήματος τοίχου αντιστήριξης – εδαφικού επιχώματος και οι συνθήκες –περιορισμοί που επιβάλλονται στα όρια του δικτύου

Το αριστερό όριο του δικτύου ταυτίζεται με τον κατακόρυφο άξονα y . Όπως φαίνεται στο Σχ. 4.17 στο δεξιό όριο εφαρμόζονται συνθήκες κατακόρυφης κύλισης και στο κάτω όριο συνθήκες πάκτωσης. Επιπλέον το δεξιό όριο δηλώνεται ως απορροφητικό όριο και τοποθετούνται αποσβεστήρες ταλάντωσης. Οι αποσβεστήρες αυτοί συμβάλλουν τόσο στην απορρόφηση των κυμάτων που προσπίπτουν στο συγκεκριμένο όριο όσο και οποιασδήποτε αύξησης τάσης παρουσιαστεί. Τα κύματα αυτά, στην περίπτωση που το όριο δεν ήταν απορροφητικό, θα υφίσταντο ανάκλαση και θα παρέμεναν στο εσωτερικό του προσομοιώματος προκαλώντας διατάραξη του φαινομένου. Η ύπαρξη του απορροφητικού ορίου στο δεξιό όριο διασφαλίζει την παραδοχή της άπειρης έκτασης της αντιστηριζόμενης εδαφικής στρώσης.

Κατά τη μετάβαση από στατική σε δυναμική ανάλυση, οι περιορισμοί κίνησης (κυλίσεις και πακτώσεις) που προαναφέρθηκαν, παύουν να ισχύουν, με αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες τάσεις στο όριο λόγω αυτών των κινηματικών περιορισμών να απαλείφονται. Η αρχική τάση στο όριο μετατρέπεται σε μία αρχική (πλασματική) ταχύτητα η οποία υπολογίζεται στην αρχή της δυναμικής ανάλυσης και συνεπώς βασίζεται στις αρχικές τάσεις στο όριο. Όταν υπολογίζονται νέες τάσεις, η αρχική ταχύτητα στο όριο πρέπει να αφαιρεθεί από τη νέα

πραγματική ταχύτητα. Σημειώνεται επίσης ότι η χρήση των αποσβεστήρων ταλάντωσης κατά μήκος των ορίων του δικτύου του PLAXIS βασίζεται στη μέθοδο των Lusmer και Kuhlmeier (1969) (βλ. PLAXIS v.8 2002).

Θεωρείται αναγκαίο να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα των απορροφητήρων ταλάντωσης που τοποθετούνται στο δεξιό όριο του δικτύου δεν είναι εξασφαλισμένη με αποτέλεσμα οι ανακλάσεις των κυμάτων να μην εξαλείφονται πλήρως λόγω υπολογιστικών σφαλμάτων. Γι' αυτό το λόγο, όπως έχει προαναφερθεί στην ενότητα 4.5.1, τα όρια του δικτύου πρέπει να βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από την περιοχή ενδιαφέροντος των αναλύσεων (περιοχή του τοίχου αντιστήριξης στην παρούσα έρευνα) προκειμένου να μην εμφανίζονται αριθμητικά σφάλματα όπως γίνεται συνήθως στην περιοχή κοντά στα όρια του διακριτοποιημένου χώρου. Για την αποφυγή τέτοιων σφαλμάτων επιλέχθηκε πλάτος κάναβου (μέγεθος δικτύου $L_{\text{δικτύου}}/10H$, όπου H το ύψος του τοίχου αντιστήριξης. Η επιλογή του συγκεκριμένου πλάτους κάναβου βασίστηκε σε αναλύσεις που διεξήχθησαν για διαφορετικά μεγέθη δικτύου του προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων και των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται διεξοδικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε προσομοιώματα που εμπεριέχουν σεισμικές διεγέρσεις, το δυναμικό μέρος του προγράμματος PLAXIS δημιουργεί απορροφητικά όρια τόσο στο δεξιό όσο και στο αριστερό όριο του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, δηλαδή στα κατακόρυφα όρια του γεωμετρικού προσομοιώματος. Στην παρούσα έρευνα η γεωμετρική θέση του αριστερού ορίου του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων ταυτίζεται με τη γεωμετρική θέση του τοίχου αντιστήριξης. Γι' αυτό το λόγο σε όλες τις αναλύσεις της παρούσας έρευνας δεν χρησιμοποιήθηκαν (απενεργοποιήθηκαν) οι συγκεκριμένες συνθήκες στο αριστερό όριο. Επιπλέον δημιουργείται (από το δυναμικό μέρος του προγράμματος PLAXIS) μοναδιαία εξαναγκασμένη μετακίνηση στο κάτω όριο του γεωμετρικού προσομοιώματος, η οποία πολλαπλασιαζόμενη με το μέγεθος της δυναμικής φόρτισης που επιλέγεται κάθε φορά, έχει ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η εφαρμογή της πραγματικής δυναμικής φόρτισης που απαιτείται για την ανάλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Με τη μορφή, λοιπόν, εξαναγκασμένης οριζόντιας μετακίνησης επιβάλλεται η δυναμική-σεισμική φόρτιση στη βάση του προσομοιώματος, η οποία στην παρούσα έρευνα αποτελεί και τη βάση έδρασης του τοίχου αντιστήριξης. Επιπρόσθετα, με το δυναμικό μέρος του προγράμματος PLAXIS υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού και της μορφής της σεισμικής διέγερσης, η οποία μπορεί να είναι είτε αρμονική είτε συγκεκριμένο επιταχυνσιογράφημα. Αυτό καθίσταται δυνατό μέσω της δημιουργίας ενός αρχείου συγκεκριμένου τύπου (SMC-αρχείο) το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα από την καταγραφή σεισμών και ισχυρών δυναμικών φορτίσεων ή ASCII αρχείο, το οποίο δημιουργείται ανάλογα με τις απαιτήσεις του φυσικού προβλήματος και του αντίστοιχου προσομοιώματος. Στην περίπτωση που η μορφή της σεισμικής διέγερσης εισάγεται μέσω κάποιου αρχείου παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού του ως αρχείου επιταχύνσεων, ταχυτήτων ή ακόμα και μετακινήσεων.

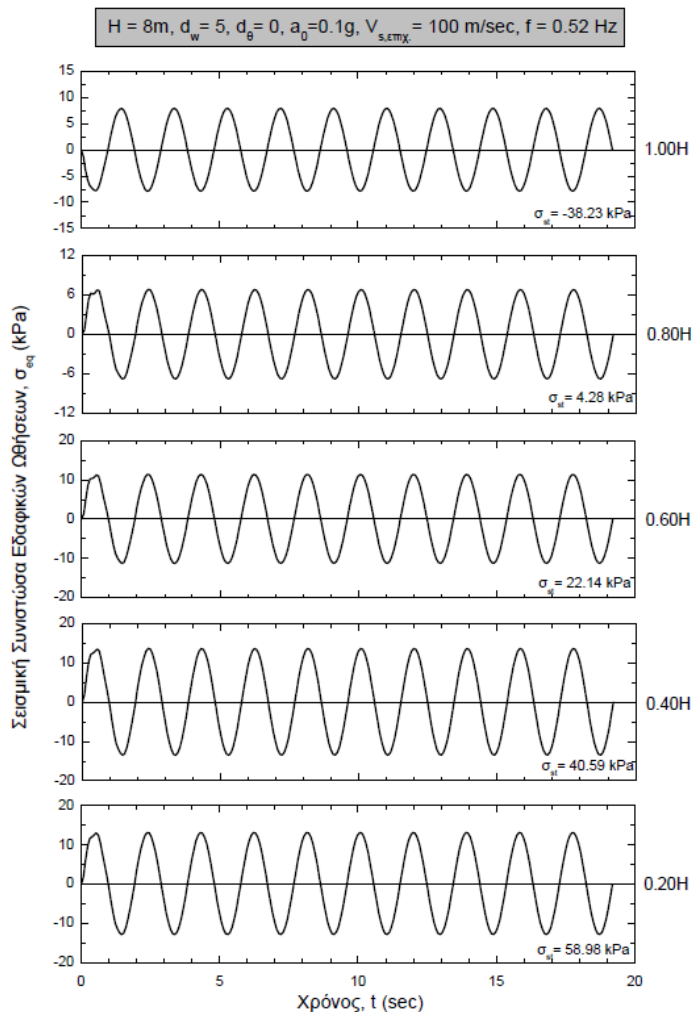
Στην παρούσα έρευνα αποφασίστηκε η επιβολή αρμονικής διέγερσης στη βάση θεμελίωσης, η οποία ορίζεται ως αρχείο επιταχύνσεων. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί στην ενότητα 4.5.2 χρησιμοποιήθηκαν αρμονικές σεισμικές διεγέρσεις με διαφορετικές τιμές κυκλικής συχνότητας ω και με μέγιστες τιμές επιτάχυνσης $a_0 = 0.1g$ και $a_0 = 0.5g$. Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στην ενότητα 4.6, όπου ελέγχεται η επίδραση της έντασης και της συχνότητας της κίνησης της βάσης έδρασης του τοίχου αντιστήριξης στο μέγεθος των αναπτυσσόμενων δυναμικών εδαφικών ωθήσεων.

4.6 ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό διερευνάται η αξιοπιστία της μεθόδου ανάλυσης της συμπεριφοράς του εξιδανικευμένου προσομοιώματος του τοίχου αντιστήριξης που περιγράφηκε στην ενότητα 4.5 . Η διερεύνηση πραγματοποιείται εξετάζοντας την καθ' ύψος του τοίχου κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης και την στάθμη εφαρμογής της συνισταμένης των σεισμικών ωθήσεων. Μετά την περιγραφή του τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων εξετάζεται κατ' αρχήν η επίδραση του μεγέθους του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων. Στη συνέχεια εξετάζεται η ισχύς της παραδοχής της γραμμικής συμπεριφοράς του συστήματος δηλαδή εάν πράγματι η υπολογιζόμενη συμπεριφορά προκύπτει ανεξάρτητη του ύψους του τοίχου και της έντασης της αρμονικής διέγερσης βάσης. Τέλος, εξετάζεται και η επίδραση της συχνότητας της αρμονικής διέγερσης βάσης στη συμπεριφορά του συστήματος τοίχος – επίχωμα και οριοθετείται η περιοχή ισχύος της παραδοχής συνθηκών ψευδοστατικής και υψίσυχνης σεισμικής φόρτισης καθώς και η περιοχή εκδήλωσης φαινομένων συντονισμού. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων ελέγχεται διαμέσου συγκρίσεων με ανάλογα δημοσιευμένα αποτελέσματα.

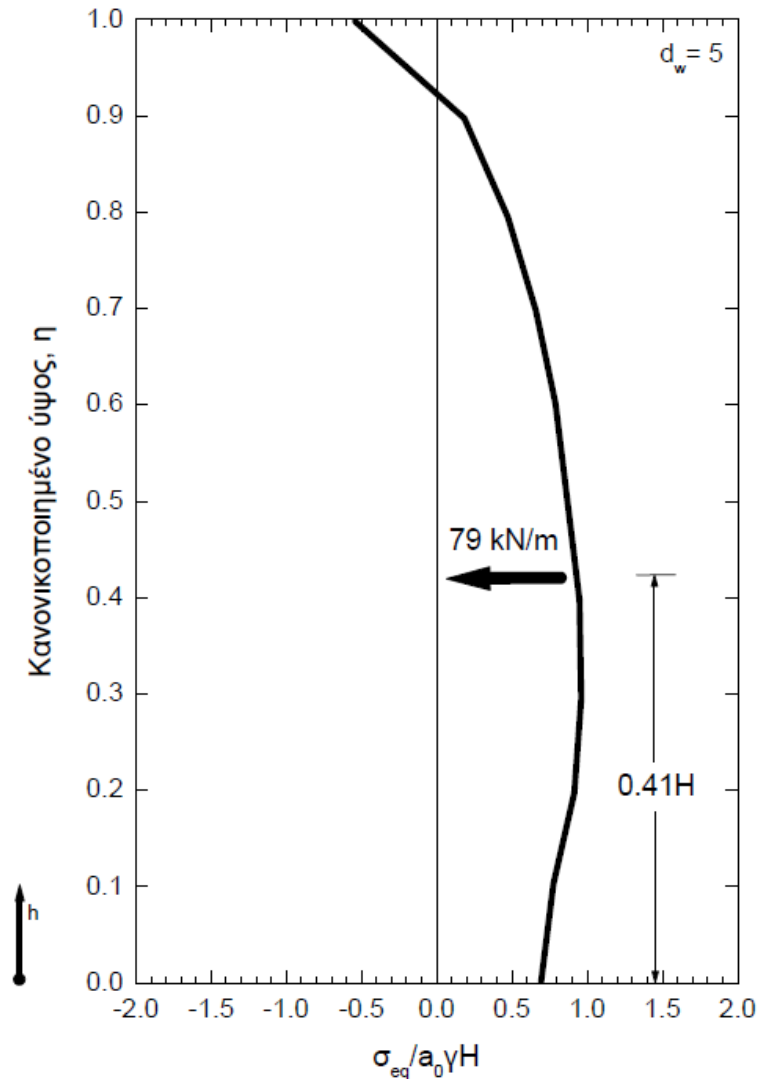
4.6.1 Τρόπος Παρουσίασης των Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της συμπεριφοράς του τοίχου αντιστήριξης παρουσιάζονται στην παρούσα έρευνα καταρχήν με τη μορφή διαγραμμάτων των χρονικών ιστοριών της αναπτυσσόμενης δυναμικής ορθής τάσης (σεισμική προσαύξηση) σε διάφορα καθ' ύψος σημεία του τοίχου. Διευκρινίζεται ότι οι τιμές της σεισμικής (ή δυναμικής) προσαύξησης υπολογίζονται ως η διαφορά μεταξύ των συνολικών τιμών που προκύπτουν κατά την εφαρμογή της σεισμικής διέγερσης της βάσης και των αντίστοιχων τιμών της στατικής φόρτισης. Στο διάγραμμα του Σχ. 4-18 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της μεταβολής των χρονικών ιστοριών της οριζόντιας σεισμικής φόρτισης (προσαύξησης) σε 5 σημεία από τη βάση μέχρι την κορυφή του τοίχου αντιστήριξης ύψους 8m με τιμή συντελεστή δυσκαμψίας $d_w=5$, στροφικής αντίστασης βάσης $d_\theta=0$, κίνησης βάσης $a_0=0.1g$ και συχνότητας $f=0.52Hz$. Παρατηρείται ότι στα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε κάθε στάθμη του τοίχου αναφέρεται και η τιμή της στατικής εδαφικής ώθησης στην αντίστοιχη στάθμη. Σημειώνεται επίσης ότι οι θλιπτικές ορθές τάσεις συμβολίζονται με θετικό πρόσημο ενώ οι εφελκυστικές τάσεις (οι οποίες αναπτύσσονται επειδή το υλικό του επιχώματος λαμβάνεται υπόψη ως συγκολλημένο με τον τοίχο) συμβολίζονται με αρνητικό πρόσημο.



Σχήμα 4.18 Χρονικές ιστορίες της σεισμικής συνιστώσας των εδαφικών ωθήσεων σε πέντε σημεία καθ' ύψος τοίχου ύψους 8m

Από τις χρονικές ιστορίες των διαγραμμάτων του Σχ. 4-18 είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μέγιστων τιμών της εδαφικής ώθησης (ή εφελκυστικής τάσης) στην αντίστοιχη στάθμη και ο προσδιορισμός της κατανομής των τιμών αυτών κατά την έννοια του ύψους του τοίχου. Στο διάγραμμα του Σχ. 4-19 παρουσιάζεται η κατανομή των ωθήσεων που προκύπτει με βάση τις χρονικές ιστορίες του Σχ. 4-18. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι στο ανώτερο τμήμα του τοίχου αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις και διαφορά φάσης της κίνησης. Στην παρούσα έρευνα οι εφελκυστικές αυτές τάσεις δε λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της συνισταμένης σεισμικής προσαύξησης, η οποία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το εμβαδόν του διαγράμματος των θλιπτικών μόνο τάσεων. Παρατηρείται ότι στο διάγραμμα του Σχ. 4-19 περιλαμβάνεται τόσο η υπολογιζόμενη τιμή της δύναμης της σεισμικής προσαύξησης (ανά τρ.μέτρο), όσο και η απόσταση της στάθμης εφαρμογής της από τη βάση του τοίχου.

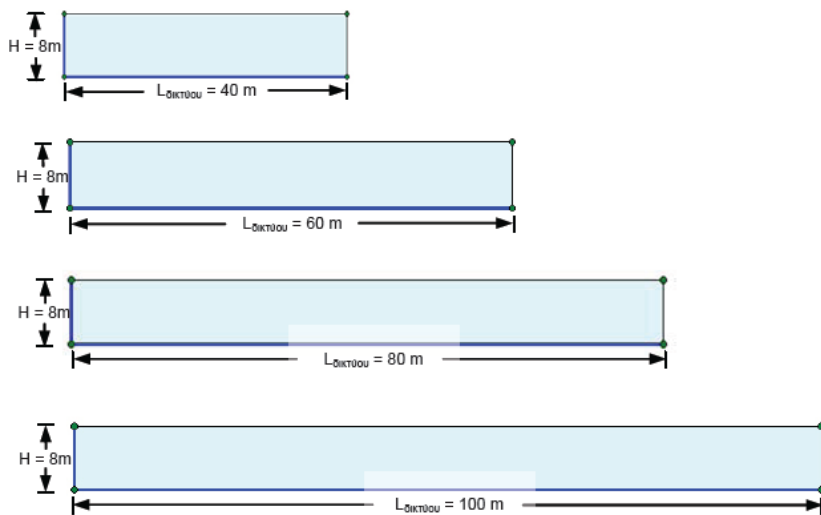


Σχήμα 4.19 Κατανομή των μέγιστων τιμών της σεισμικής συνιστώσας των εδαφικών ωθήσεων καθ' ύψος του τοίχου του Σχ. 4.18

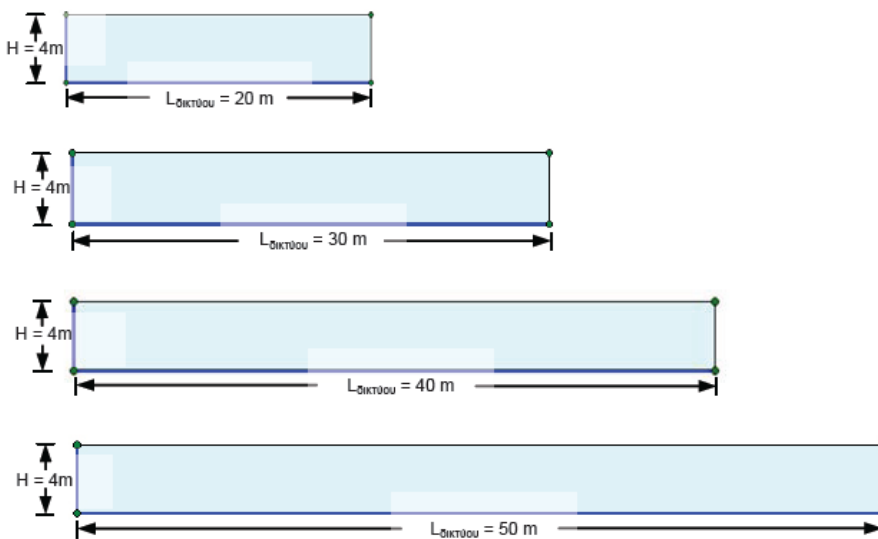
Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών διερευνήσεων σχετικά με την επίδραση του μεγέθους του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, του ύψους του τοίχου και της έντασης και της συχνότητας της αρμονικής διέγερσης βάσης.

4.6.2 Επίδραση του Μεγέθους του Δικτύου

Κατά τις αναλύσεις με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις δυναμικών φορτίσεων) είναι απαραίτητη η διερεύνηση της επίδρασης του μεγέθους του δικτύου (δηλαδή η επίδραση των ορίων) ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διεξήχθησαν για τοίχο ύψους 8m και τέσσερα διαφορετικά μεγέθη δικτύου : 40m, 60m, 80m, 100m καθώς και για τοίχο ύψους 4m και αντίστοιχα μεγέθη δικτύου : 20m, 30m, 40m και 50m (Σχ. 4.20, Σχ. 4.21).

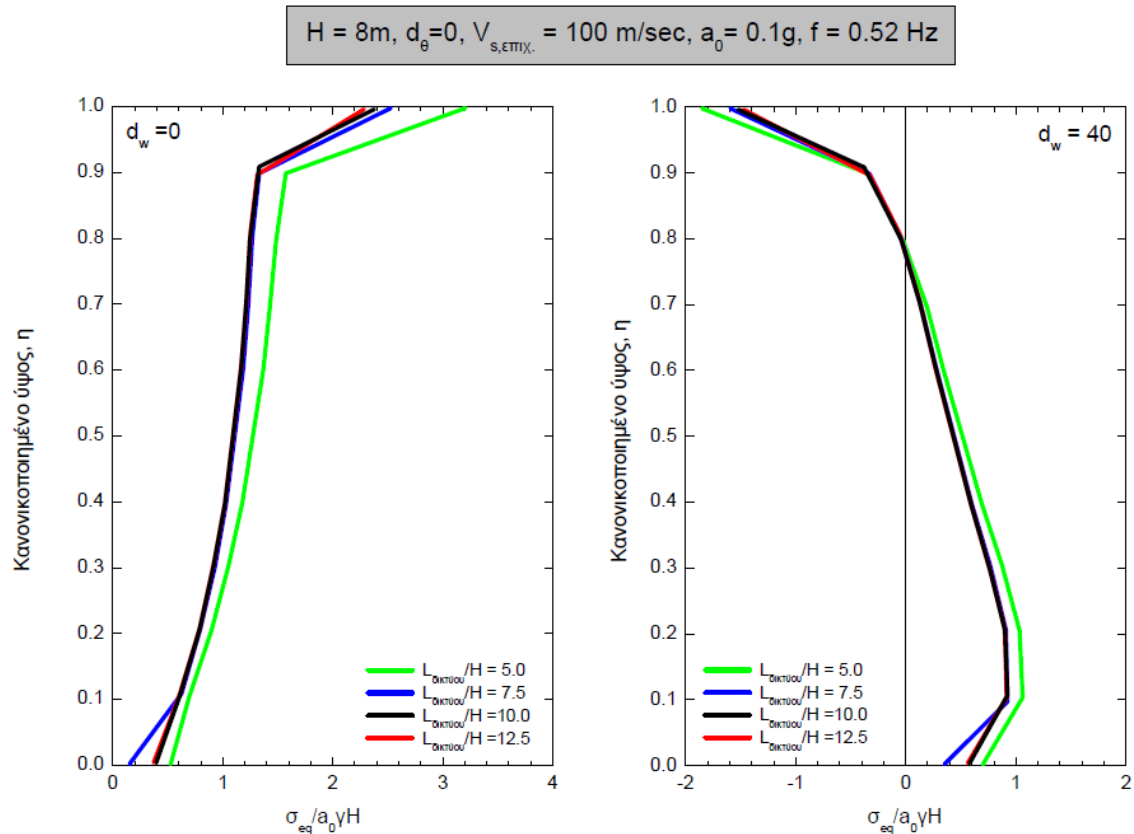


Σχήμα 4.20 Τα τέσσερα μεγέθη δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της συμπεριφοράς τοίχου ύψους 8m



Σχήμα 4.21 Τα τέσσερα μεγέθη δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της συμπεριφοράς τοίχου ύψους 4m

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 4.22 για την περίπτωση άκαμπτου ($d_w=0$) και πολύ εύκαμπτου ($d_w=40$) τοίχου. Παρατηρείται ότι για μέγεθος δικτύου μεγαλύτερο των 80m (δεκαπλάσιο του ύψους του τοίχου) η κατανομή των ωθήσεων πάει να μεταβάλλεται.



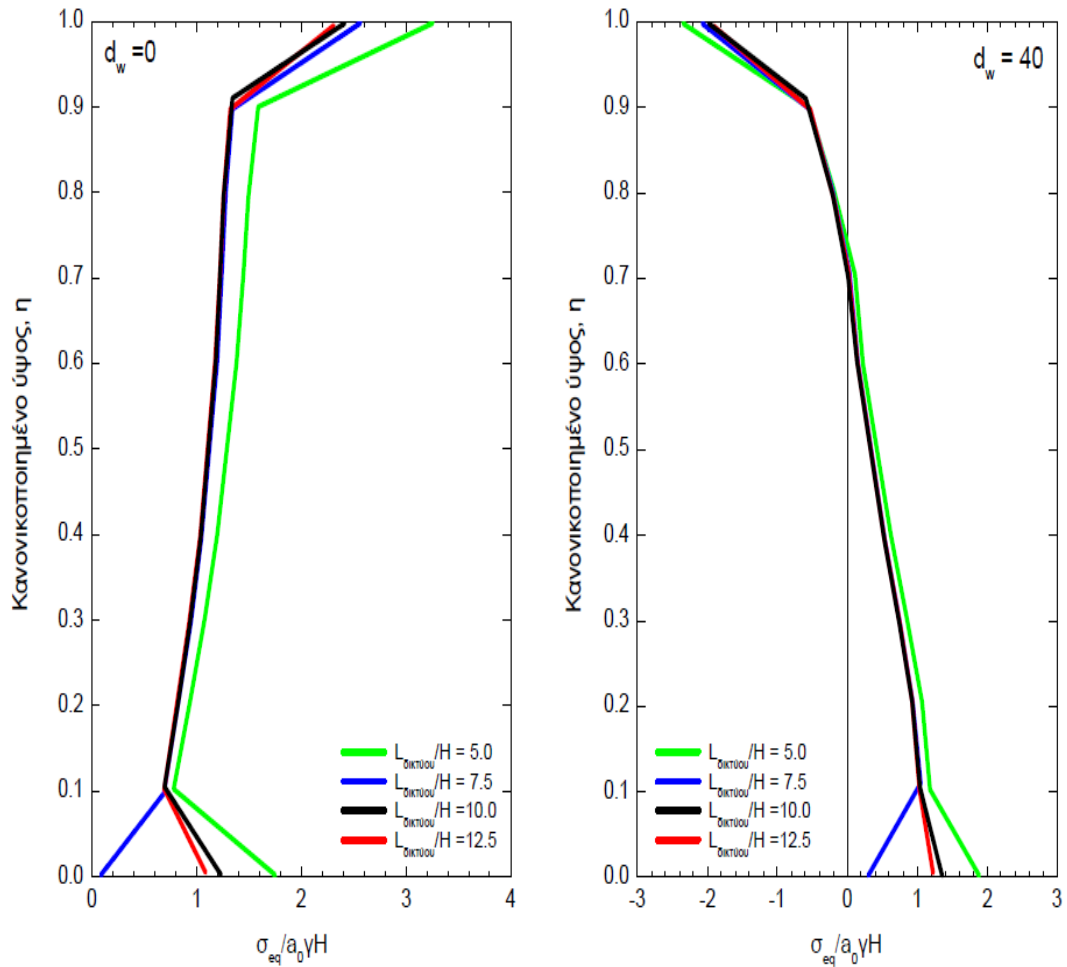
Σχήμα 4.22 Επίδραση του μήκους του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης (ύψος τοίχου, $H = 8\text{m}$)

Παρόμοια αποτελέσματα για τοίχο ύψους 4m παρουσιάζονται στο Σχ. 4.23 σύμφωνα με το οποίο παύει η επίδραση των ορίων όταν το μέγεθος δικτύου γίνεται δεκαπλάσιο του ύψους του τοίχου ($L_{\text{δικτύου}} = 40\text{m}$). Με βάση τις ανωτέρω διαπιστώσεις αποφασίσθηκε όλες οι αναλύσεις της παρούσας έρευνας να διεξαχθούν χρησιμοποιώντας μέγεθος δικτύου δεκαπλάσιο σε σχέση με το ύψος του εξεταζόμενου τοίχου αντιστήριξης.

4.6.3 Επίδραση του Ύψους του Τοίχου

Για τη διερεύνηση της επίδρασης του ύψους του τοίχου στη μορφή της κατανομής της δυναμικής συνιστώσας των εδαφικών ωθήσεων διεξήχθησαν αναλύσεις για την περίπτωση τοίχων ύψους 4m και 8m (τα υπόλοιπα δεδομένα της ανάλυσης περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο σχήμα). Στα διαγράμματα του Σχ. 4.24 παρουσιάζονται (σε κανονικοποιημένη μορφή) τα αποτελέσματα των αναλύσεων για μεταβαλλόμενη ευκαμψία του τοίχου. Παρατηρείται ότι η κατανομή των δυναμικών ωθήσεων δεν εξαρτάται από το ύψος του τοίχου με εξαίρεση την περιοχή της βάσης του τοίχου.

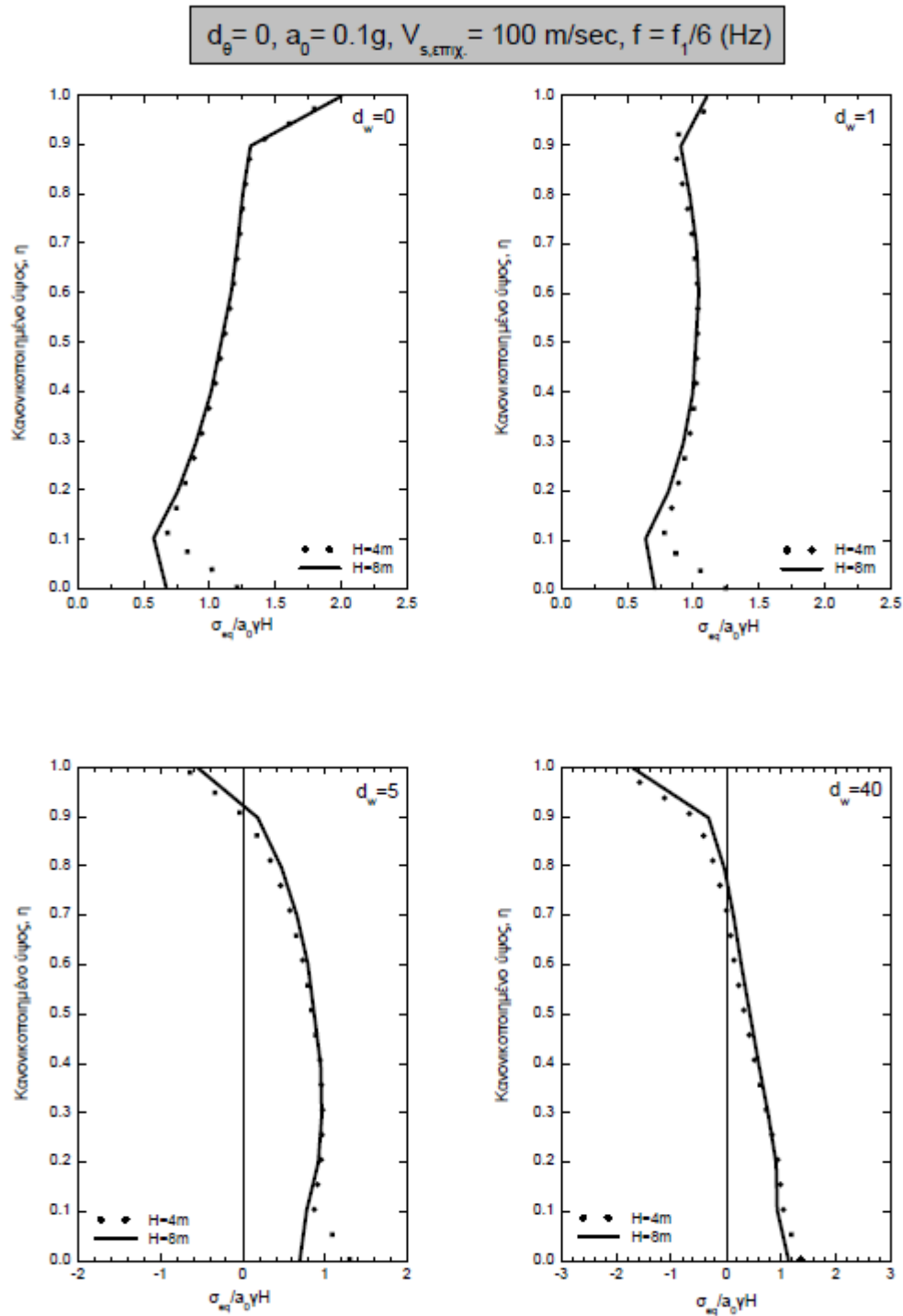
$H = 4\text{m}$, $d_{\theta} = 0$, $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $a_0 = 0.1\text{g}$, $f = 1.04\text{ Hz}$



Σχήμα 4.23 Επίδραση του μήκους του δικτύου πεπερασμένων στοιχείων στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης (ύψος τοίχου, $H = 4\text{m}$)

4.6.4 Επίδραση της Έντασης της Κίνησης Βάσης

Για τη διερεύνηση της επίδρασης του πλάτους της αρμονικής διέγερσης βάσης στην κατανομή της δυναμικής συνιστώσας των εδαφικών ωθήσεων διεξήχθησαν αναλύσεις για την περίπτωση τοίχου ύψους 8m και διεγέρσεις βάσης 0.1g και 0.5g (τα υπόλοιπα δεδομένα της ανάλυσης περιλαμβάνονται στο αντίστοιχο σχήμα).



Σχήμα 4.24 Επίδραση του ύψους του τοίχου στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης (μεταβαλλόμενη ευκαμψία του τοίχου)

Στα διαγράμματα του Σχ. 4.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων για μεταβαλλόμενη ευκαμψία του τοίχου. Παρατηρείται ότι δεν προκύπτει εξάρτηση της κατανομής των δυναμικών ωθήσεων από την ένταση της κίνησης βάσης.

4.6.5 Επίδραση της Συχνότητας της Κίνησης Βάσης

Στην περίπτωση των δυναμικών (ή σεισμικών) φορτίσεων σε κατασκευές εδαφικής αντιστήριξης ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της επίδρασης της συχνότητας φόρτισης στην συμπεριφορά του συστήματος τοίχος-επίχωμα. Στην παρούσα έρευνα διεξήχθησαν αναλύσεις για την περίπτωση τοίχου 8m και συχνότητα της αρμονικής διέγερσης βάσης κυμαινόμενης από ($f_1/6 = 0.52\text{Hz}$) έως ($6 f_1 = 18.75\text{Hz}$), όπου f_1 είναι η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα του συστήματος, υπολογιζόμενη προσεγγιστικά από την ακόλουθη σχέση:

$$f_1 = \frac{V_{s0}}{4H} \quad (4-24)$$

όπου :

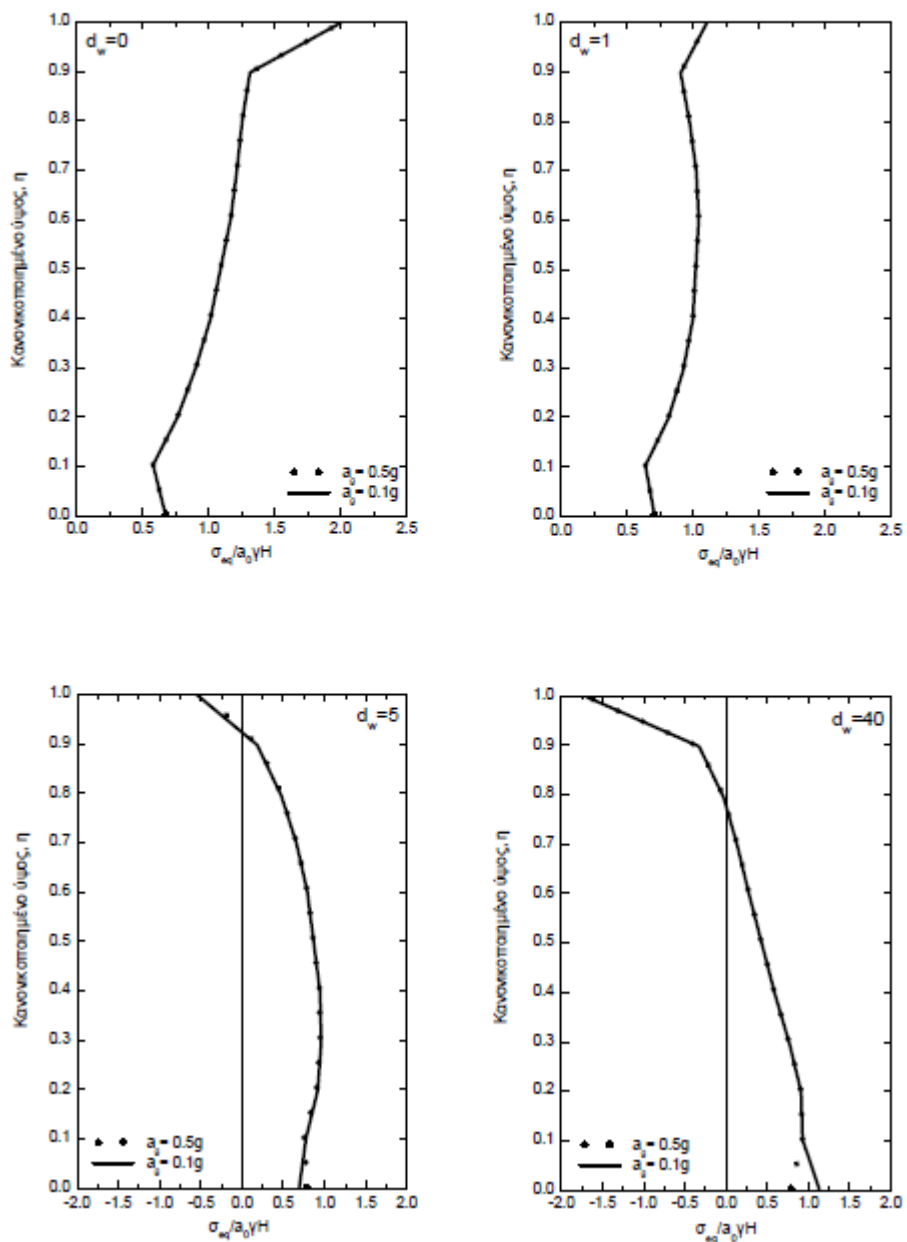
V_{s0} = ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων στο υλικό του επιχώματος (m/sec)
 H = ύψος του τοίχου αντιστήριξης (m)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στο Σχ. 4-28 για άκαμπτο τοίχο ($d_w=0$) και πολύ εύκαμπτο τοίχο ($d_w=40$). Παρατηρείται ότι η τιμή της σεισμικής προσαύξησης P_{eq} (η οποία είναι πάντα μειωμένη για εύκαμπτο σε σχέση με δύσκαμπτο τοίχο) αυξάνεται δραματικά στην περιοχή του συντονισμού. Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχ. 4-28 είναι δυνατόν να οριοθετηθούν τρεις περιοχές απόκρισης του συστήματος:

- 1) η περιοχή ψευδοστατικής συμπεριφοράς, η οποία αντιστοιχεί σε χαμηλές συχνότητες διέγερσης ($f/f_1 \leq 0.30$)
- 2) η περιοχή υψίσυχνης συμπεριφοράς ($f/f_1 \geq 2.0$)
- 3) η περιοχή συντονισμού ($0.30 \leq f/f_1 \leq 2.0$)

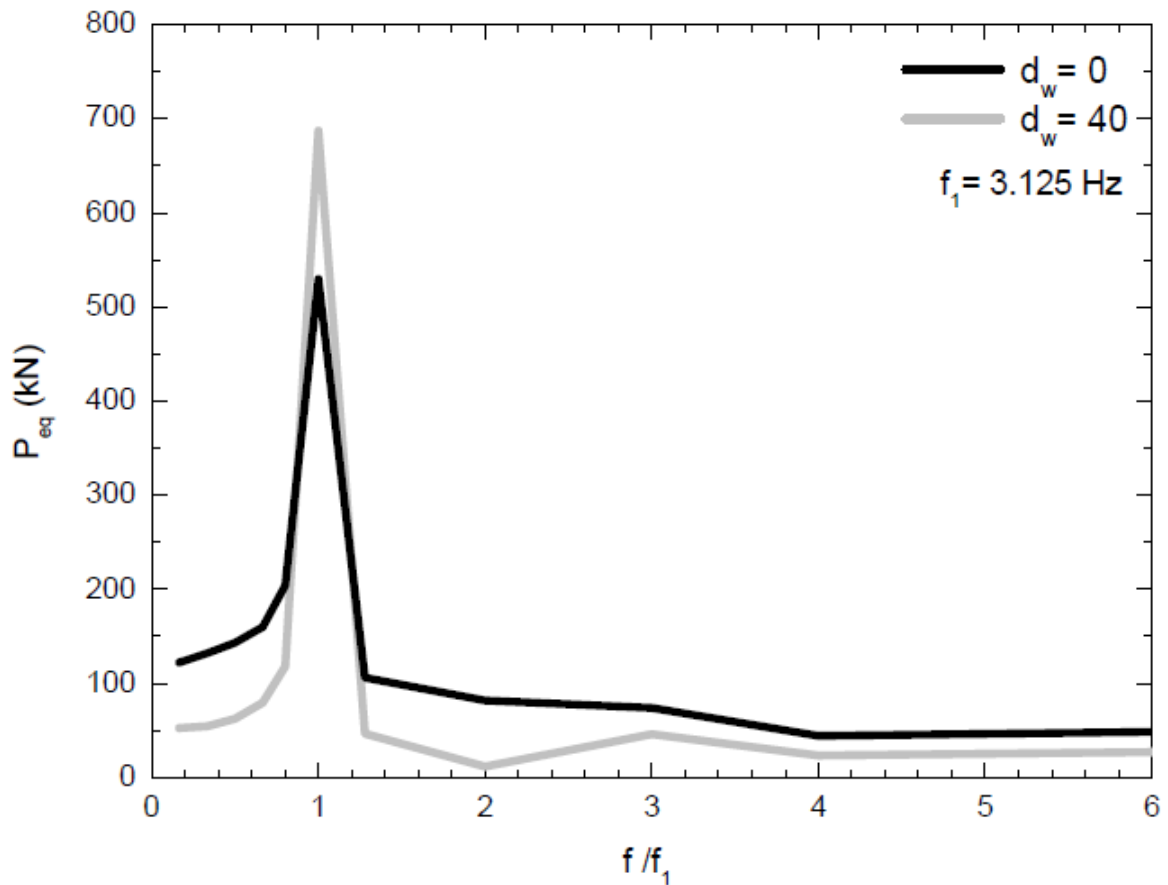
Λαμβάνοντας υπόψη ότι 1) η περιοχή των κυριαρχουσών συχνοτήτων της πλειοψηφίας των σεισμών είναι $f=2\text{Hz}$ έως $f=10\text{Hz}$, 2) τα συνήθη ύψη τοίχων κυμαίνονται από 3m έως 8m και 3) τα συνήθη υλικά επίχωσης πίσω από τοίχους αντιστήριξης χαρακτηρίζονται από τιμές V_{s0} κυμαινόμενες από 100m/sec έως 200m/sec, συμπεραίνεται ότι ο λόγος f/f_1 για τις περιπτώσεις της πράξης μπορεί να λάβει τιμές που κυμαίνονται από 0.12 έως 3.2, δηλαδή τιμές που καλύπτουν τμήματα των περιοχών τόσο της ψευδοστατικής όσο και της υψίσυχνης συμπεριφοράς, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής συντονισμού. Εντούτοις για την πλειονότητα των περιπτώσεων εκτιμάται ότι ισχύουν οι τιμές $H=4\text{m}$, $V_{s0}=200\text{m/sec}$ και $f_1=5\text{Hz}$ οπότε η τιμή του λόγου προκύπτει ίση με 0.24. Η τιμή αυτή ανήκει στην περιοχή της ψευδοστατικής συμπεριφοράς και για το λόγο αυτό η πλειονότητα των αναλύσεων της παρούσας έρευνας διεξήχθησαν για χαμηλές τιμές της συχνότητας της αρμονικής διέγερσης βάσης.

$H = 8\text{m}$, $d_{\theta} = 0$, $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.25 Επίδραση της έντασης της διέγερσης βάσης στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης (μεταβαλλόμενη ευκαμψία του τοίχου)

$H=8\text{m}, d_{\theta}=0, a_0=0.1\text{g}, V_{s,\text{επιχ.}}=100\text{ m/sec}$



Σχήμα 4.26 Επίδραση της συχνότητας της διέγερσης βάσης στην τιμή της σεισμικής προσαύξησης της ώθησης του τοίχου για την περίπτωση άκαμπτου και πολύ εύκαμπτου τοίχου

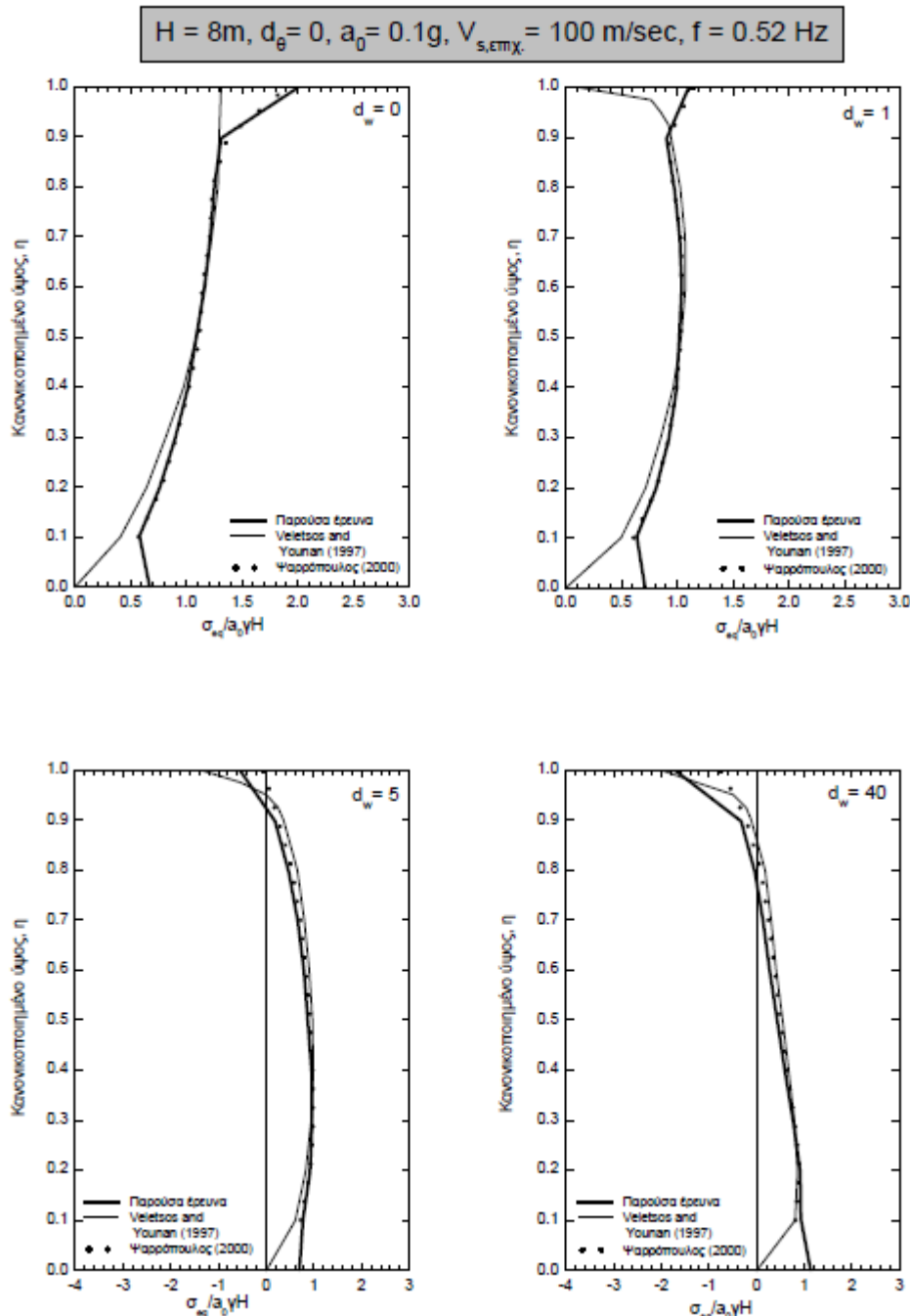
4.6.6 Συγκρίσεις με Δημοσιευμένα Αποτελέσματα

Για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των αναλύσεων της παρούσας έρευνας κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών για παρόμοιες περιπτώσεις τοίχων αντιστήριξης. Θεωρήθηκε, καταρχήν απαραίτητη η σύγκριση με τη μεθοδολογία της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης των Veletsos and Younan (1997). Ιδιαίτερα χρήσιμη θεωρήθηκε, επίσης, και η σύγκριση με τα αποτελέσματα του Ψαρρόπουλου (2000), ο οποίος χρησιμοποίησε τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (με την παραδοχή γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς).

Οι συγκρίσεις των αποτελεσμάτων αφορούν τοίχο ύψους 8m και παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 4.27 έως Σχ. 4.31. Συγκεκριμένα, στο Σχ. 4.27 παρουσιάζεται σύγκριση αποτελεσμάτων για την περίπτωση τοίχου μη-περιστρεπτής βάσης ($d_{\theta}=0$) και μεταβαλλόμενης ευκαμψίας ($d_w=0$ έως $d_w=40$). Στο Σχ. 4.28 παρουσιάζονται συγκρίσεις για την περίπτωση άκαμπτου τοίχου ($d_w=0$) και μεταβαλλόμενης δυστρεψιάς της βάσης ($d_{\theta}=0$ έως $d_{\theta}=5$). Τέλος, στα Σχ. 4.29 έως 4.31 παρουσιάζονται συγκρίσεις αποτελεσμάτων της

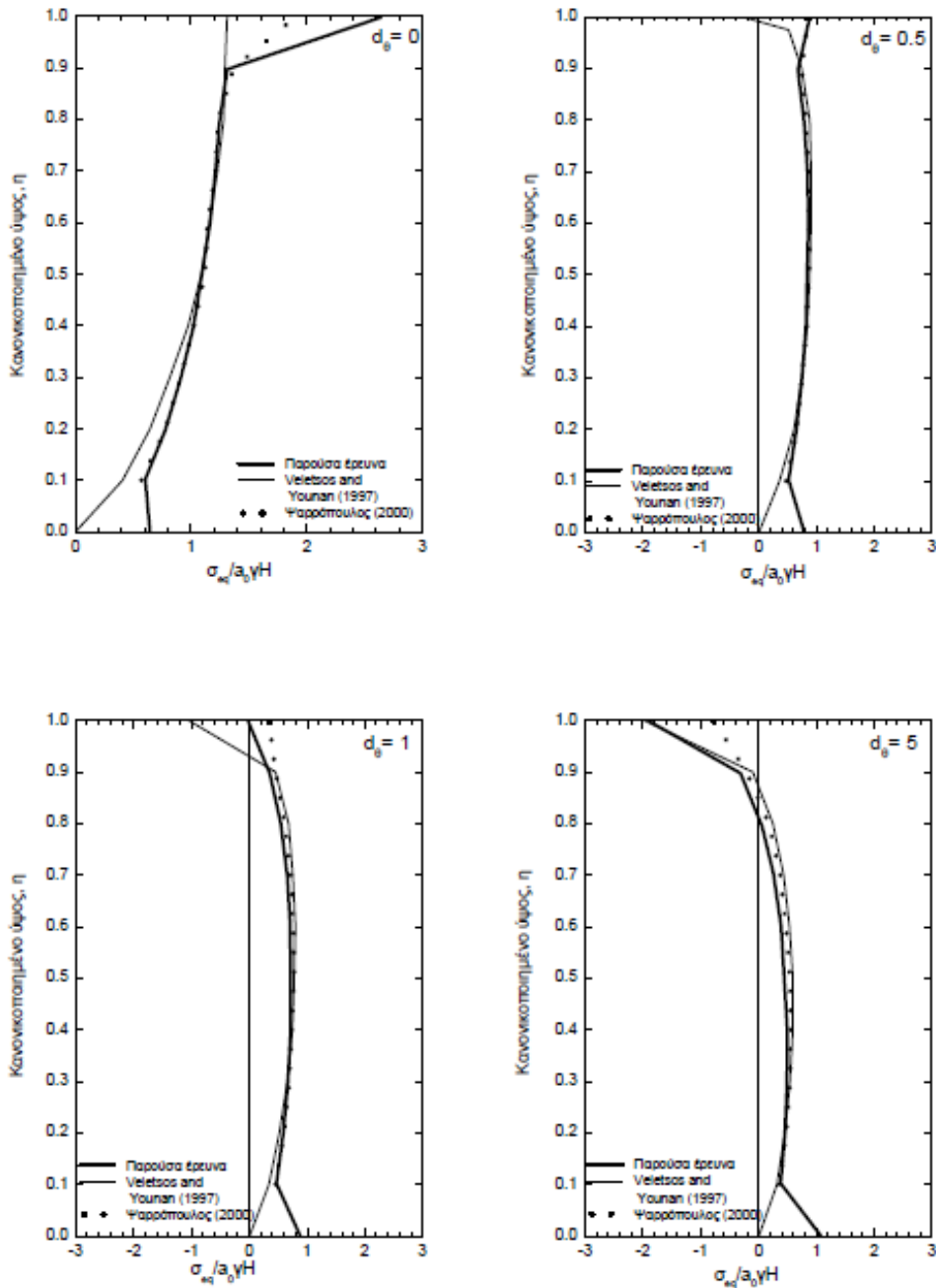
μεθοδολογίας της παρούσας έρευνας με αυτή του Ψαρρόπουλος (2000) για συνδυασμούς τιμών ευκαμψίας του τοίχου (παράμετρος d_w) και της δυστρεψίας της βάσης του τοίχου(παράμετρος d_θ).

Η παρατήρηση όλων των διαγραμμάτων οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα ότι η συμφωνία των διαφόρων μεθόδων ανάλυσης είναι γενικά ικανοποιητική, με εξαίρεση τις περιοχές της βάσης και της κορυφής του τοίχου.

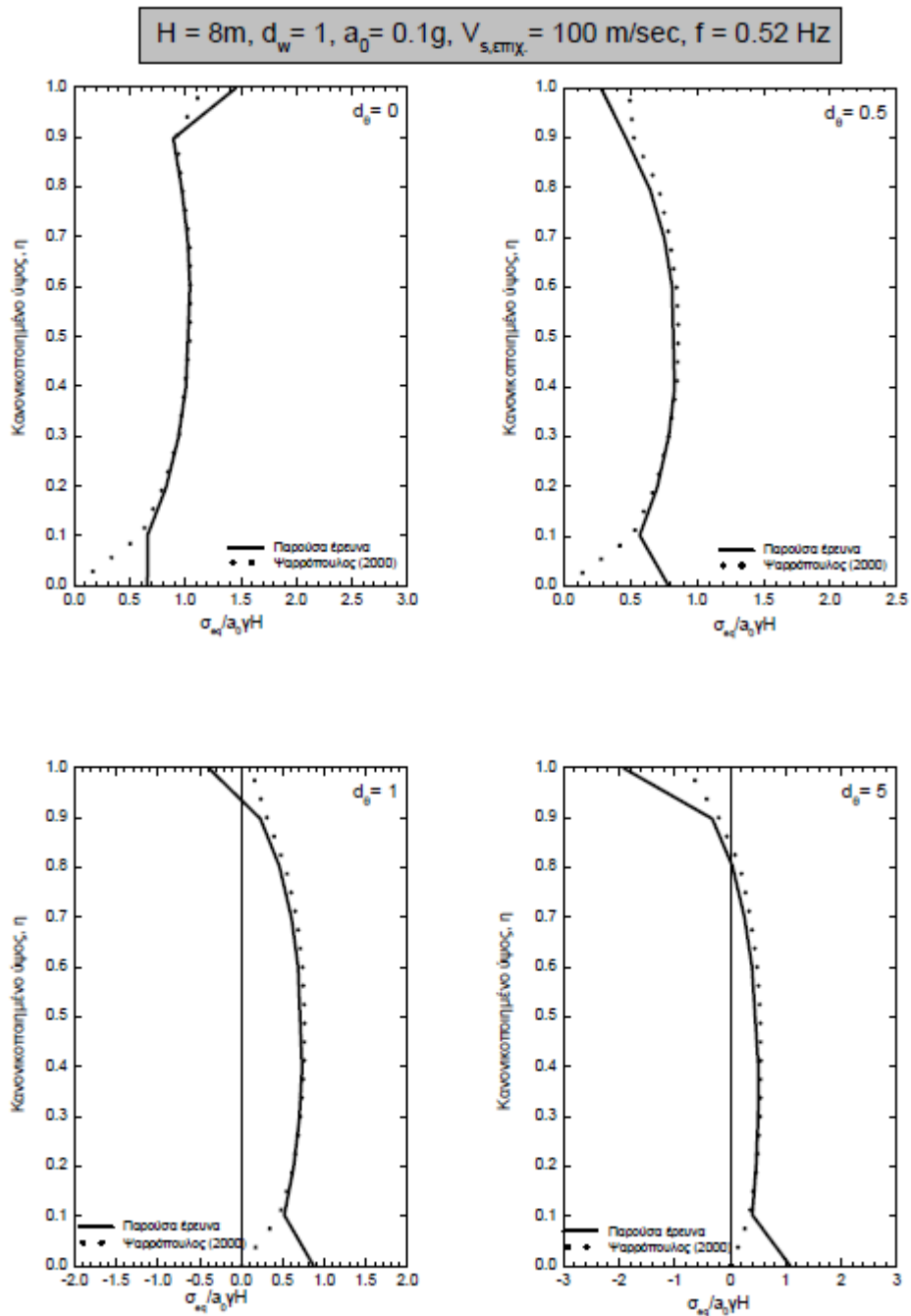


Σχήμα 4.27 Σύγκριση της κατανομής των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης καθ' ύψος του τοίχου, που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, με αντίστοιχα αποτελέσματα των Veletsos and Younan (1997) και Ψαρρόπουλος (2000) (επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου)

$H = 8\text{ m}$, $d_w = 0$, $a_0 = 0.1\text{ g}$, $V_{s,εμχ} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$

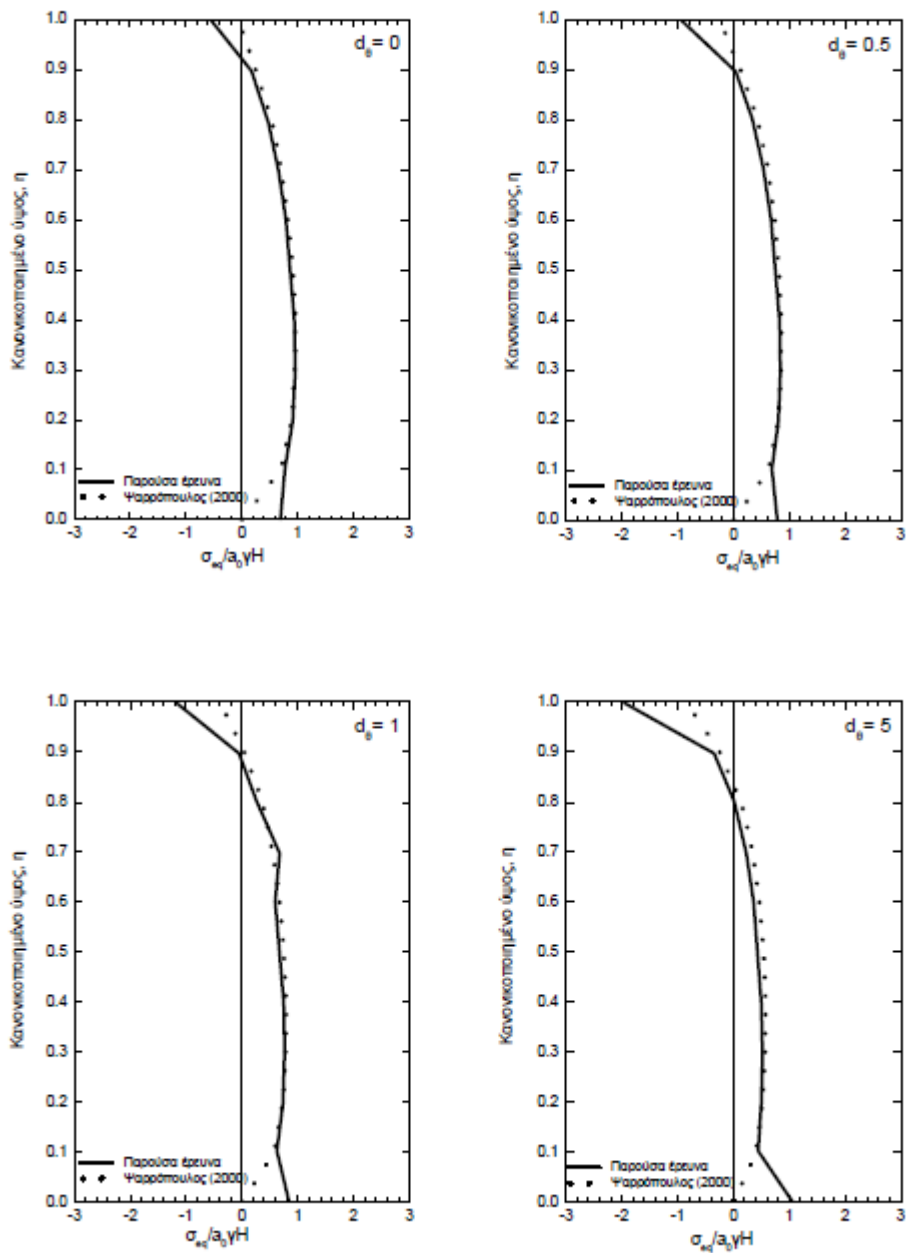


Σχήμα 4.28 Σύγκριση της κατανομής των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης καθ' ύψος του τοίχου, που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, με αντίστοιχα αποτελέσματα των Veletsos and Younan(1997) και Ψαρρόπουλος (2000) (επίδραση της δυστρεψιάς της βάσης έδρασης του τοίχου)



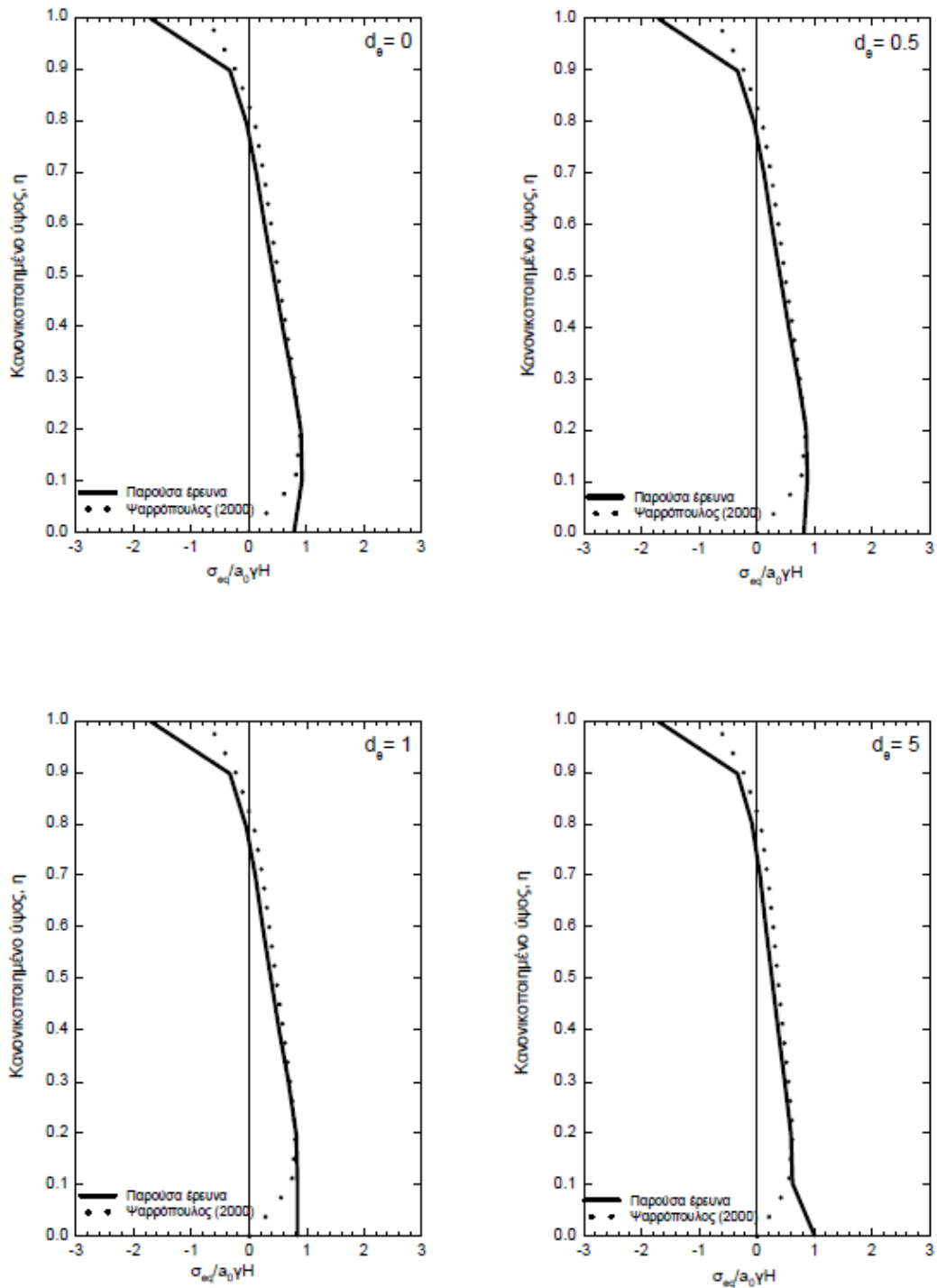
Σχήμα 4.29 Σύγκριση της κατανομής των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης καθ' ύψος του τοίχου, που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, με αντίστοιχα αποτελέσματα του Ψαρρόπουλου (2000) (επίδραση της δυστρεψιάς της βάσης έδρασης του τοίχου για τοίχο με συντελεστή ευκαμψίας $d_w = 1$)

$H = 8\text{ m}, d_w = 5, a_0 = 0.1\text{ g}, V_{s,εππχ} = 100\text{ m/sec}, f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.30 Σύγκριση της κατανομής των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης καθ' ύψος του τοίχου, που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, με αντίστοιχα αποτελέσματα του Φαρρόπουλου (2000) (επίδραση της δυστρεψιάς της βάσης έδρασης του τοίχου για τοίχο με συντελεστή ευκαμψιάς $d_w = 5$)

$H = 8\text{m}, d_w = 40, a_0 = 0.1\text{g}, V_{\text{σεισμ.}} = 100\text{ m/sec}, f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.31 Σύγκριση της κατανομής των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης καθ' ύψος του τοίχου, που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της παρούσας έρευνας, με αντίστοιχα αποτελέσματα του Ψαρρόπουλου (2000) (επίδραση της δυστρενιάς της βάσης έδρασης του τοίχου για τοίχο με συντελεστή ευκαμψίας $d_w = 40$)

4.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αφορούν την αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης τοίχων αντιστήριξης που επιτυγχάνεται με χρήση παρεμβλήματος EPS. Παρουσιάζονται κατ' αρχήν τα αποτελέσματα που αφορούν την επίδραση του σχήματος του παρεμβλήματος EPS στην επιτυγχανόμενη αποτελεσματικότητα σύμφωνα με τα οποία θεωρείται ως βέλτιστη η χρήση του ορθογωνίου σχήματος. Στη συνέχεια εξετάζεται η επίδραση της καθ' ύψος ανομοιογένειας του παρεμβλήματος EPS όσον αφορά την τιμή του μέτρου ελαστικότητας και διαπιστώνεται ότι είναι δυνατή η χρήση μιας ενιαίας μέσης τιμής, χωρίς να επηρεάζεται η ακρίβεια των αναλύσεων. Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την επίδραση της πυκνότητας του EPS στο μέγεθος των αναπτυσσόμενων σεισμικών εδαφικών ωθήσεων και στην τιμή του αντίστοιχου λόγου μείωσης. Παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα των αναλύσεων που αφορούν την επιρροή των σημαντικών παραμέτρων του προβλήματος στο ύψος εφαρμογής της συνισταμένης σεισμικής προσαύξησης. Τέλος, εξετάζεται η επιρροή της ευκαμψίας του τοίχου, του πάχους και της πυκνότητας του παρεμβλήματος EPS και της συχνότητας της διέγερσης βάσης στην τιμή της αποτελεσματικότητας της σεισμικής μόνωσης.

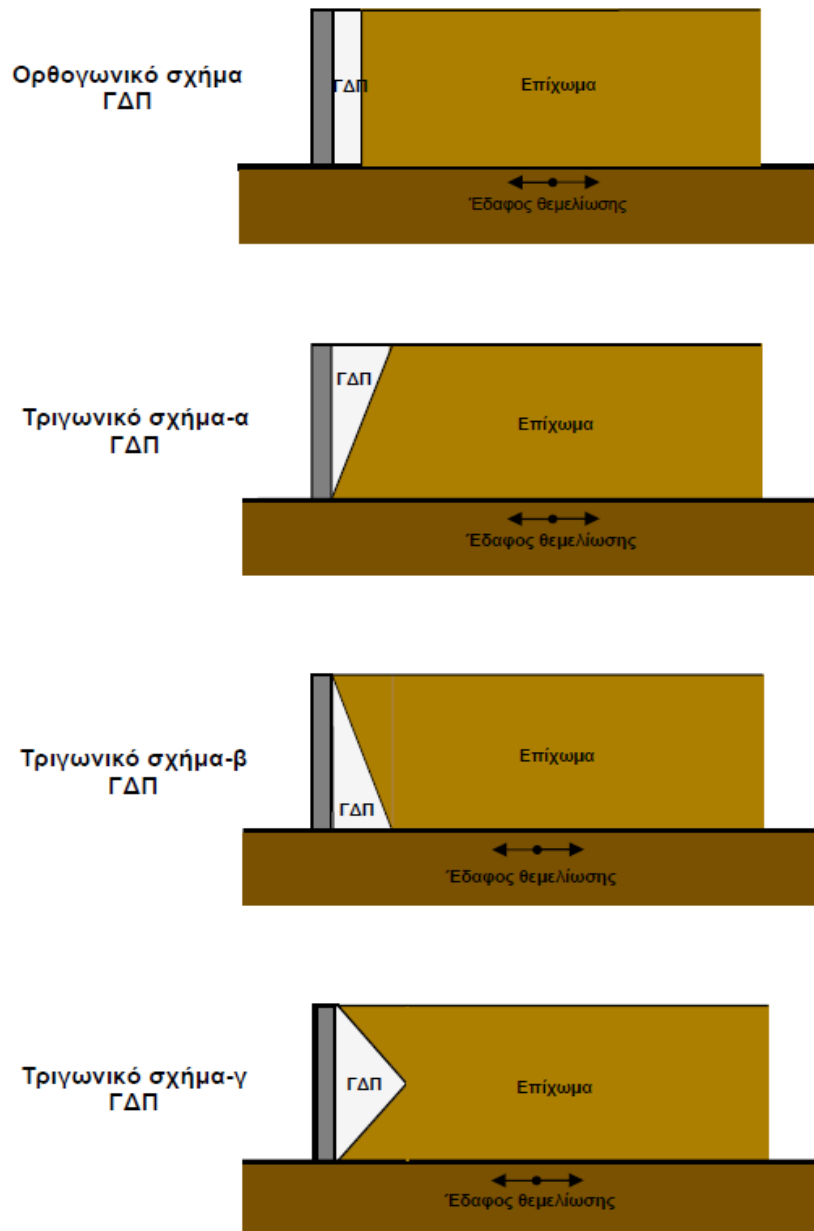
4.7.1 Επίδραση του Σχήματος του Παρεμβλήματος EPS

Λαμβάνοντας υπόψη την ανομοιομορφη καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης είναι αναμενόμενο ότι το σχήμα του παρεμβλήματος EPS θα επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της επιτυγχανόμενης σεισμικής μόνωσης. Στην ενότητα αυτή διερευνάται η αποτελεσματικότητα τεσσάρων διαφορετικών σχημάτων EPS, που παρουσιάζονται στο Σχ. 4-32. Η μονωτική ικανότητα του παρεμβλήματος σε κάθε περίπτωση περιγράφεται ποσοτικά με τον συντελεστή μείωσης, γ , που ορίζεται όπως στο σχήμα 4.32.

Επισημαίνεται ότι ανεξάρτητα από το σχήμα του παρεμβλήματος EPS, ο όγκος του ανά τρέχον μέτρο τοίχου παραμένει σταθερός (δηλαδή όλα τα σχήματα παρεμβλήματος έχουν κοινή τιμή του μέσου πάχους, t_r).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στα διαγράμματα του Σχ. 4.33 για την περίπτωση τοίχου ύψους 8m με διαφορετική κάθε φορά δυσκαμψία και αυξανόμενες τιμές του μέσου ποσοστιαίου πάχους παρεμβλήματος, t_r . Τα διαγράμματα υποδεικνύουν ότι ο λόγος μείωσης γ των σεισμικών ωθήσεων μειώνεται γενικά με την αύξηση του μέσου πάχους του παρεμβλήματος και ότι η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα αντιστοιχεί στο τριγωνικό σχήμα-α και στο ορθογωνικό σχήμα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι γενικότερα η εγκατάσταση ορθογωνίου σχήματος παρεμβλήματος είναι ευχερέστερη και απλούστερη καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για δεδομένο όγκο υλικού το βέλτιστο σχήμα παρεμβλήματος είναι το ορθογωνικό.

Η παρατήρηση των διαγραμμάτων του Σχ. 4-33 υποδεικνύει επίσης ότι η αύξηση του μέσου πάχους του παρεμβλήματος συνοδεύεται από αντίστοιχη ελάττωση (με ταχύ ρυθμό) του λόγου μείωσης, γ , μέχρι τη μέγιστη εξετασθείσα τιμή $t_r=40\%$. Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι για ποσοστιαίο πάχος παρεμβλήματος $t_r \approx 15\%$ η αντίστοιχη τιμή του λόγου μείωσης είναι $\gamma=0.5$, δηλαδή προκύπτει μείωση της δύναμης της σεισμικής προσαύξησης κατά 50%!

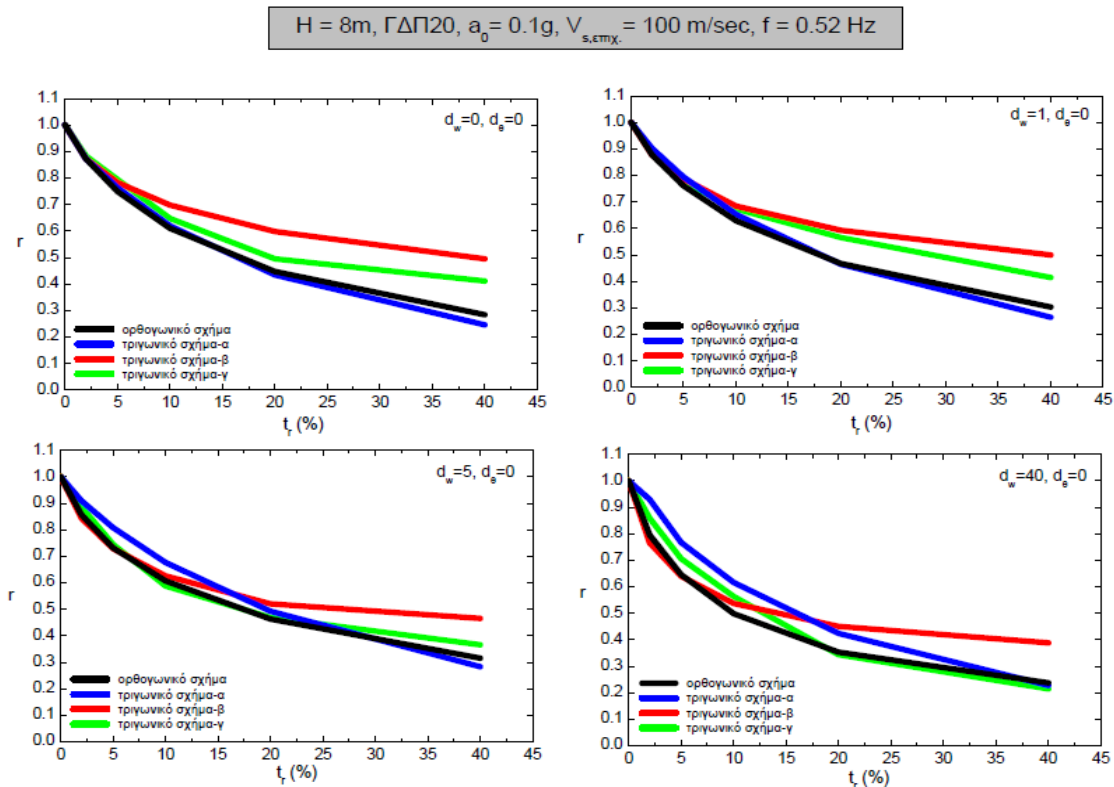


Σχήμα 4.32 Τέσσερα διαφορετικά σχήματα παρεμβλήματος EPS η αποτελεσματικότητα των οποίων διερευνάται στην παρούσα εργασία $r = \text{λόγος μείωσης} = \text{o λόγος της σεισμικής ώθησης (σεισμική προσαύξηση)}$ με χρήση του παρεμβλήματος EPS, προς την αντίστοιχη τιμή που ισχύει χωρίς το μονωτικό παρέμβλημα.

4.7.2 Επίδραση της Μεταβαλλόμενης Καθ' ύψος Δυσκαμψίας του EPS

Πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας του EPS μειώνεται όσο αυξάνεται η μέση περιβάλλουσα τάση σ_0 (Ξενάκη 2005, Μισυρλής 2003). Επομένως στην περίπτωση του παρεμβλήματος EPS το μέτρο ελαστικότητας θα μειώνεται από την κορυφή προς τη βάση του τοίχου ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης τιμής

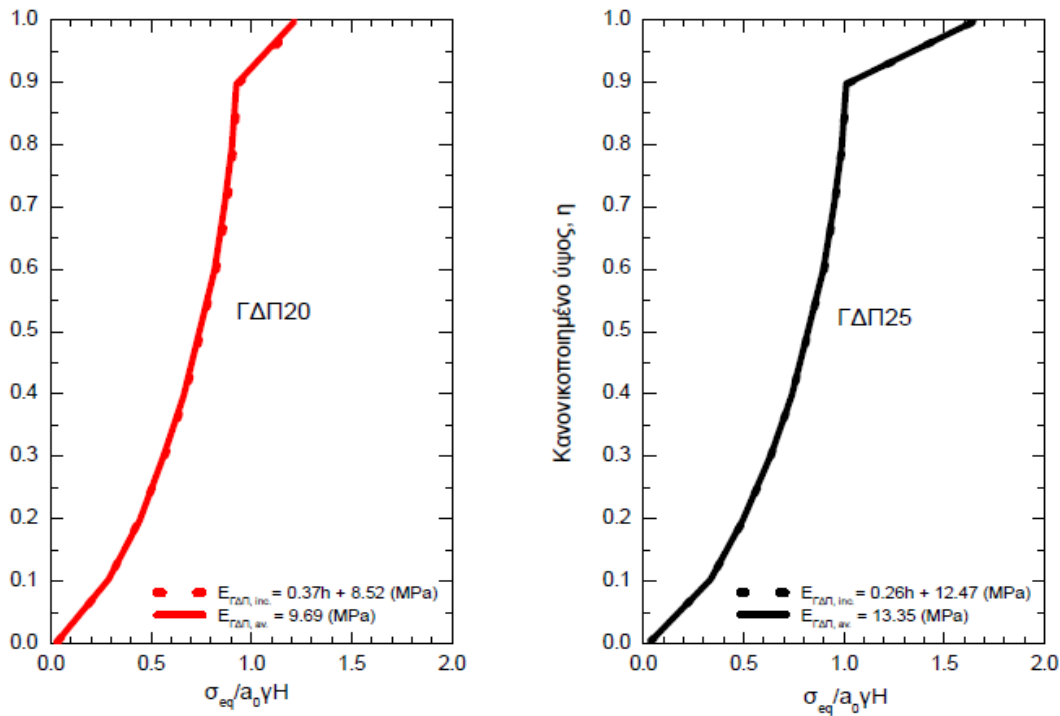
των στατικών εδαφικών ωθήσεων. Αποκτά, επομένως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον η διερεύνηση της επίδρασης της μεταβαλλόμενης καθ' ύψος δυσκαμψίας του EPS, συγκρινόμενης με την περίπτωση χρήσης ενιαίας καθ' ύψος μέσης τιμής.



Σχήμα 4.33 Επίδραση του ποσοστιαίου πάχους του παρεμβλήματος EPS20 στην τιμή του Λόγου Μείωσης της Σεισμικής Προσαύξεσης, r , για τέσσερα διαφορετικά σχήματα παρεμβλήματος

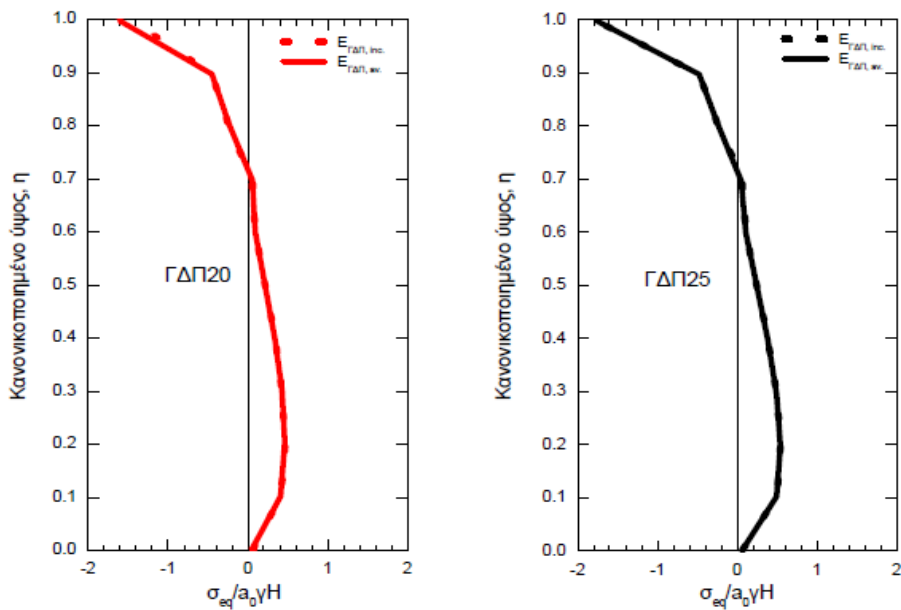
Στα διαγράμματα των Σχ. 4.34, Σχ. 4.35 και Σχ. 4.36 παρουσιάζεται η κατανομή των σεισμικών ωθήσεων καθ' ύψος του τοίχου για την περίπτωση μέτρου ελαστικότητας μειούμενου με το βάθος και για την περίπτωση χρήσης ενιαίας καθ' ύψος τιμής ίσης με την τιμή που αντιστοιχεί στο $\frac{1}{2}$ του ύψους του τοίχου. Στα διαγράμματα του Σχ. 4.34 παρουσιάζεται η περίπτωση δύσκαμπτου τοίχου ύψους 4m και συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματα, για τις δύο περιπτώσεις κατανομής των τιμών του μ , ταυτίζονται. Ανάλογο συμπέρασμα προκύπτει και για την περίπτωση πολύ εύκαμπτου τοίχου ίδιου ύψους, Σχ. 4.35. Τέλος, στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων για την περίπτωση τοίχου ύψους 8m, Σχ. 4.36.

H = 4m, $d_w = 0$, $d_g = 0$, $a_0 = 0.1g$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ ($t_r = 10\%$), $V_{s,επιχ.} = 100$ m/sec, $f = 1.04$ Hz



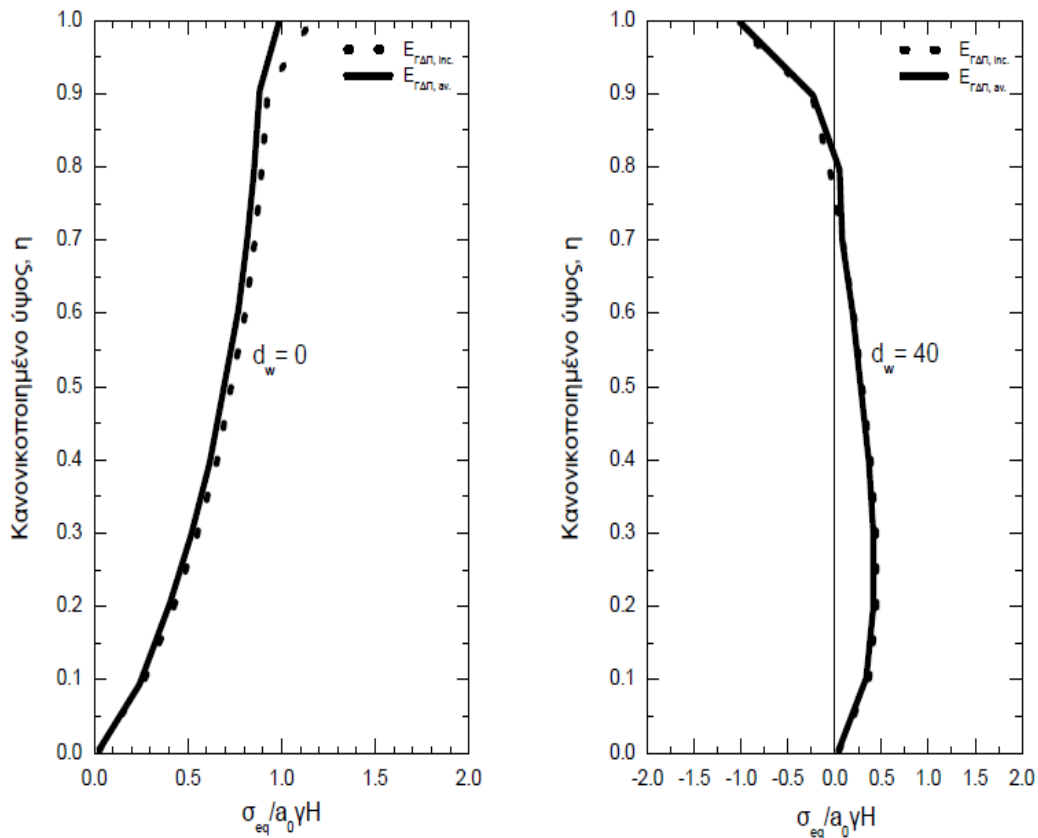
Σχήμα 4.34 Επίδραση της μεταβολής της δυσκαμψίας του παρεμβλήματος EPS κατά την έννοια του ύψους του τοίχου, στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης για **άκαμπτο τοίχο** ύψους 4m και δύο πυκνότητες EPS (EPS20 και EPS25)

H = 4m, $d_w = 40$, $d_g = 0$, $a_0 = 0.1g$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ ($t_r = 10\%$), $V_{s,επιχ.} = 100$ m/sec, $f = 1.04$ Hz
 $E_{ΓΔΠ25, inc.} = 0.26h + 12.47$ (MPa), $E_{ΓΔΠ25, av.} = 13.35$ (MPa), $E_{ΓΔΠ20, inc.} = 0.37h + 8.52$ (MPa), $E_{ΓΔΠ20, av.} = 9.69$ (MPa)



Σχήμα 4.35 Επίδραση της μεταβολής της δυσκαμψίας του παρεμβλήματος EPS κατά την έννοια του ύψους του τοίχου, στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης για **πολύ εύκαμπτο τοίχο** ύψους 4m και δύο πυκνότητες EPS (EPS20 και EPS25)

$H = 8\text{m}$, $d_g = 0$, $a_0 = 0.1\text{g}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ20 ($t_r = 10\%$), $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$
 $E_{ΓΔΠ20, av.} = 8.52\text{ MPa}$, $E_{ΓΔΠ20, inc.} = 0.75h + 4.02\text{ (MPa)}$

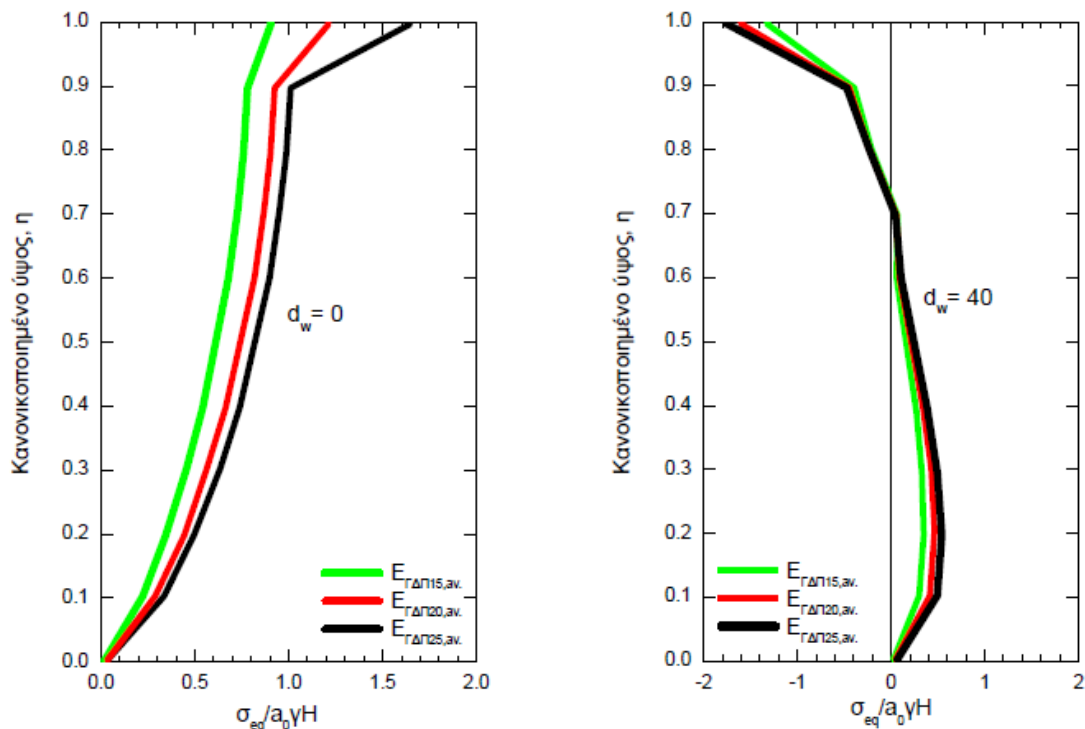


Σχήμα 4-36 Επίδραση της μεταβολής της δυσκαμψίας του παρεμβλήματος EPS κατά την έννοια του ύψους του τοίχου, στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξεσης (περιπτώσεις άκαμπτου και πολύ εύκαμπτου τοίχου ύψους 8m)

4.7.3 Επίδραση της Πυκνότητας του EPS

Για τη διερεύνηση της επίδρασης της πυκνότητας του EPS στην αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης διεξήχθησαν αναλύσεις απόκρισης για τοίχο ύψους 4m με παρέμβλημα ορθογωνίου σχήματος ποσοστιαίου πάχους $t_r=10\%$. Στα διαγράμματα του Σχ. 4-37 παρουσιάζεται η κατανομή των σεισμικών ωθήσεων για τρεις τιμές της πυκνότητας του EPS : 15kg/m^3 , 20kg/m^3 και 25kg/m^3 . Παρατηρείται ότι οι σεισμικές ωθήσεις μειώνονται όσο μειώνεται η πυκνότητα του EPS και η διαφοροποίηση αυτή είναι πολύ πιο έντονη για τον άκαμπτο σε σχέση με τον εύκαμπτο τοίχο.

H = 4m, $d_g = 0$, $a_0 = 0.1g$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ ($t = 10\%$), $V_{s,επιχ.} = 100 \text{ m/sec}$, $f = 1.04 \text{ Hz}$
 $E_{\Gamma\Delta\text{Π}15,av.} = 5.92 \text{ MPa}$, $E_{\Gamma\Delta\text{Π}20,av.} = 9.69 \text{ MPa}$, $E_{\Gamma\Delta\text{Π}25,av.} = 13.35 \text{ MPa}$



Σχήμα 4.37 Επίδραση της πυκνότητας του (ορθογωνίου σχήματος) παρεμβλήματος EPS στην καθ' ύψος κατανομή των ωθήσεων της σεισμικής προσαύξησης για άκαμπτο και πολύ εύκαμπτο τοίχο ύψους 4m (ποσοστιαίο πάχος παρεμβλήματος $t=10\%$)

Συμπεραίνεται, επομένως, ότι η αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης αυξάνεται όσο ελαττώνεται η πυκνότητα του EPS. Παρά την ευνοϊκή αυτή συμπεριφορά του EPS μικρής πυκνότητας θα πρέπει να ληφθεί εντούτοις υπόψη και η αύξηση των παραμορφώσεων ερπυσμού η οποία συνοδεύει την ελάττωση της πυκνότητας του υλικού. Οι αυξανόμενες αυτές παραμορφώσεις του παρεμβλήματος θα έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου του και την ανάπτυξη ενδεχομένως μη-επιτρεπόμενων καθιζήσεων του επιχώματος του τοίχου κάτω από συνθήκες στατικής φόρτισης. Λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά αποτελέσματα της Ξενάκη(2005) εκτιμάται ότι η πυκνότητα του EPS που θα χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένη εφαρμογή θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε στο μέσον του ύψους του τοίχου η μέση περιβάλλουσα τάση, σ , να παραμένει μικρότερη του $\frac{\sigma_{c10}}{2}$, όπου σ_{c10} = αντοχή ανεμόδιστης θλίψης του EPS για αξονική παραμόρφωση ίση με 10%.

4.7.4 Επίδραση του Πάχους Παρεμβλήματος EPS

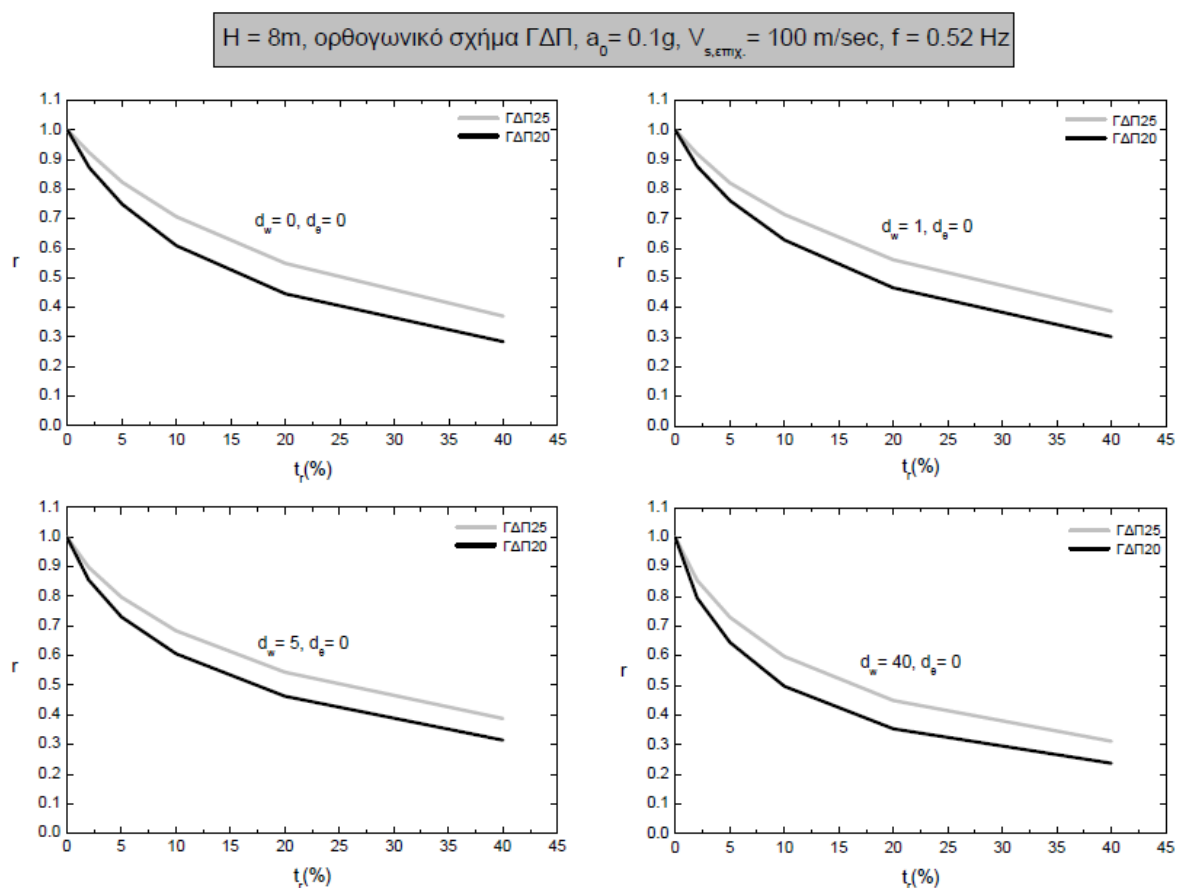
Με βάση τα διαγράμματα του Σχ. 4.35 έχει ήδη διαπιστωθεί ότι η αύξηση του ποσοστιαίου πάχους του παρεμβλήματος EPS αυξάνει την αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης. Η επίδραση αυτή διαπιστώνεται και με τη βοήθεια των διαγραμμάτων των Σχ. 4.40 και Σχ.4.41, τα οποία συνοψίζουν τα αποτελέσματα αναλύσεων για τοίχο ύψους 8m, με μεταβαλλόμενη δυσκαμψία και παρέμβλημα EPS δύο πυκνοτήτων: 20kg/m^3 και 25kg/m^3 . Σύμφωνα με τα

ανωτέρω διαγράμματα επιτυγχάνεται μείωση της συνισταμένης σεισμικής δύναμης κατά 45% έως 55%, περίπου, εφόσον χρησιμοποιείται παρέμβλημα EPS ποσοστιαίου πάχους $t_r=15\%$ και πυκνότητας 25kg/m^3 έως 20kg/m^3 ανεξάρτητα της ευκαμψίας του τοίχου. Σύμφωνα με τα διαγράμματα, μείωση της πυκνότητας του EPS από 25kg/m^3 σε 20kg/m^3 έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του λόγου, r , κατά 18%, περίπου.

Από τα διαγράμματα προκύπτει, επίσης, η παρατήρηση που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, ότι η βέλτιστη τιμή του ποσοστιαίου πάχους του παρεμβλήματος -με βάση τεχνικο-οικονομικά κριτήρια- κυμαίνεται περί το 15%. Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και από τα διαγράμματα των Σχ. 4.40 και Σχ. 4.41 στα οποία η μονωτική ικανότητα του παρεμβλήματος EPS περιγράφεται με την αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_r , που ορίζεται ως :

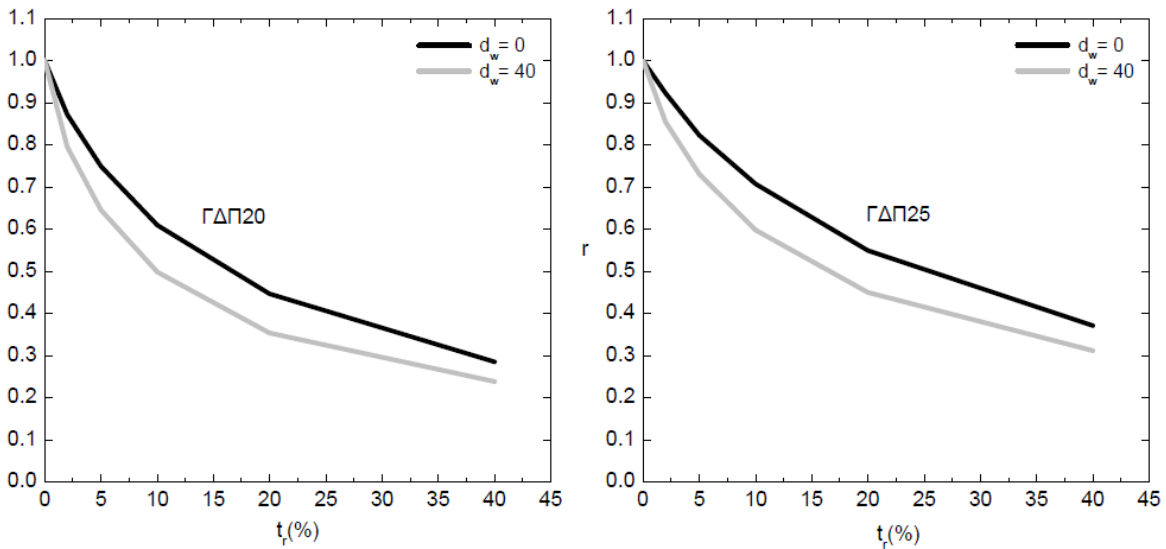
$A_r = \text{Αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης} = \text{ο λόγος της μείωσης της σεισμικής προσαύξεσης λόγω της παρουσίας του παρεμβλήματος, προς την τιμή της σεισμικής προσαύξεσης χωρίς το παρέμβλημα EPS}$

Οπότε είναι : $A_r = (1-r) \times 100$



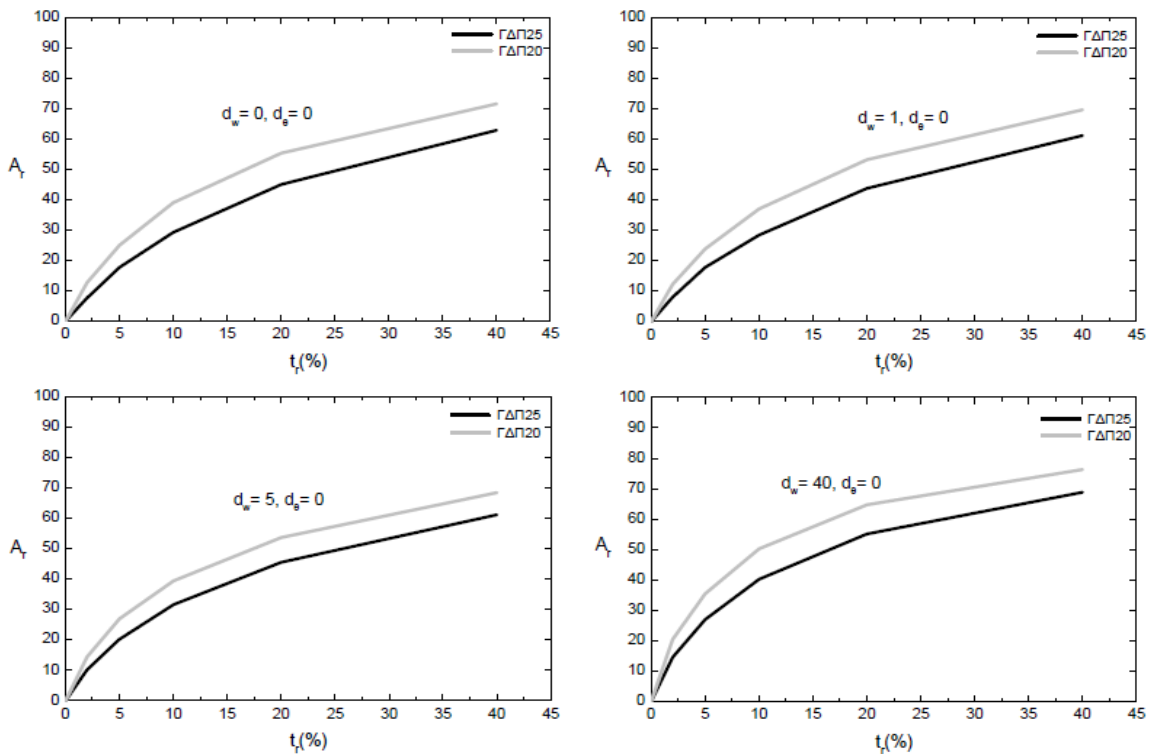
Σχήμα 4.38 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου και της πυκνότητας του EPS στη συσχέτιση του πάχους ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS και του αντίστοιχου Λόγου Μείωσης της Σεισμικής Προσαύξεσης

$H = 8\text{m}$, $d_g = 0$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1\text{g}$, $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



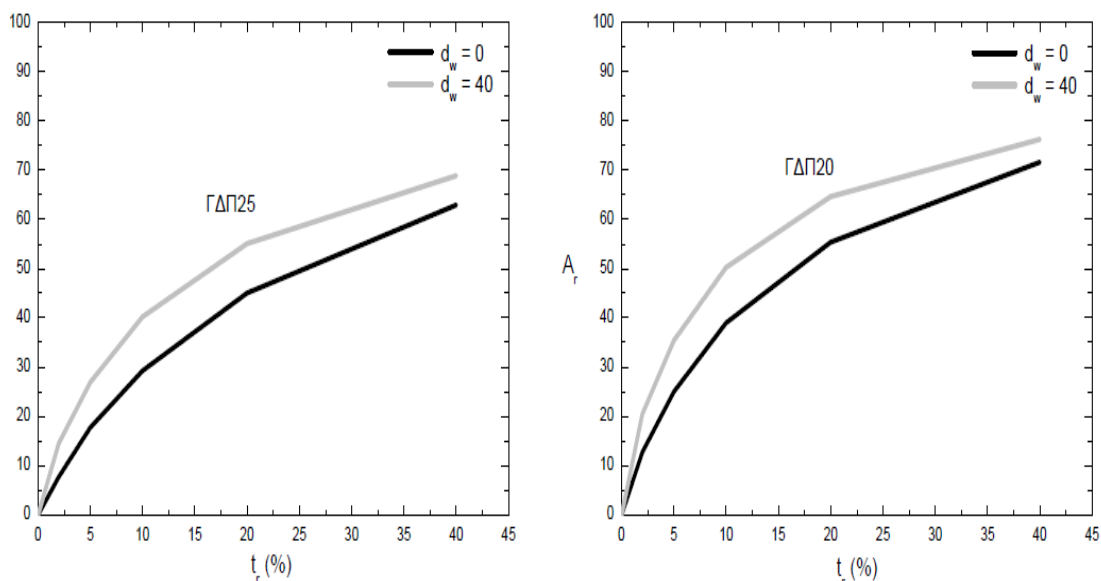
Σχήμα 4.39 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου στο Λόγο Μείωσης της Σεισμικής Προσαύξεσης, r , που επιτυγχάνεται για αυξανόμενες τιμές πάχους ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS (περιπτώσεις EPS20 και EPS25)

$H = 8\text{m}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1\text{g}$, $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.40 Επίδραση του ποσοστιαίου πάχους και πυκνότητας ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS και της ευκαμψίας του τοίχου στην προκύπτουσα αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_t

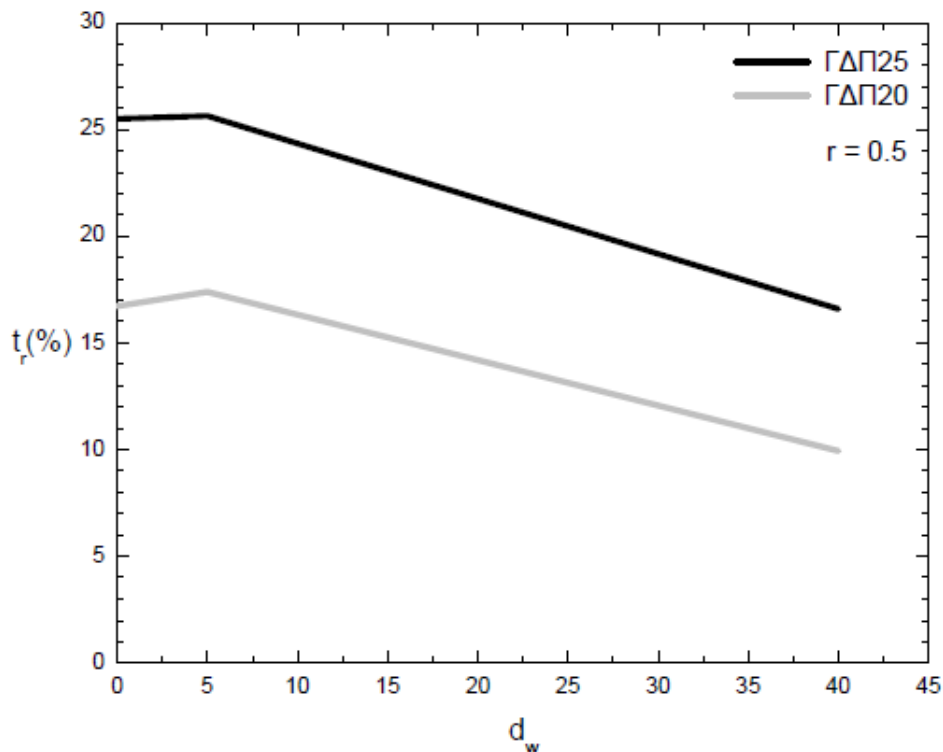
$H = 8\text{m}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1g$, $V_{s,επιχ.} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.41 Επίδραση του ποσοστιαίου πάχους και πυκνότητας ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS και της ευκαμψίας του τοίχου στην προκύπτουσα αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_r (περιπτώσεις άκαμπτου και πολύ εύκαμπτου τοίχου)

Στα ανωτέρω διαγράμματα παρουσιάζεται η εξάρτηση της αποτελεσματικότητας της σεισμικής μόνωσης, A_r , από το ποσοστιαίο πάχος, t_r , την πυκνότητα του EPS και την ευκαμψία του τοίχου. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την τιμή $t_r = 15\%$ και μικρή σχετικά πυκνότητα EPS ($\approx 20\text{kg/m}^3$) επιτυγχάνεται αποτελεσματικότητα $A_r \approx 50\%$, δηλαδή η συνισταμένη σεισμική δύναμη (σεισμική προσαύξηση) προκύπτει μειωμένη κατά 50%. Το γεγονός αυτό είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός τοίχου αντιστήριξης υπό σεισμική φόρτιση, χρησιμοποιώντας τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς, q_w , διπλάσιες σε σχέση με τις προτεινόμενες από τον ΕΑΚ 2000. Στο διάγραμμα του Σχ. 4-42 παρουσιάζεται η απαιτούμενη τιμή του ποσοστιαίου πάχους, t_r , ώστε για τοίχο δεδομένης ευκαμψίας (και δύο τιμές πυκνότητας EPS) να προκύπτει αποτελεσματικότητα $A_r = 50\%$ (ή $r = 0.5$). Σύμφωνα με το ανωτέρω διάγραμμα για την περίπτωση παρεμβλήματος EPS20 το απαιτούμενο ποσοστιαίο πάχος, ώστε να ισχύει $r = 0.5$, κυμαίνεται από 16% (για άκαμπτο τοίχο) έως 10% (για πολύ εύκαμπτο τοίχο).

$H = 8\text{m}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1\text{g}$, $V_{\text{σεισμχ}} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.42 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου στο πάχος του ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS που απαιτείται για την εξασφάλιση λόγου μείωσης ίσου με $r=0.5$ (περίπτωση EPS20 και EPS25)

4.7.5 Ύψος Εφαρμογής της Σεισμικής Συνιστώσας της Φόρτισης

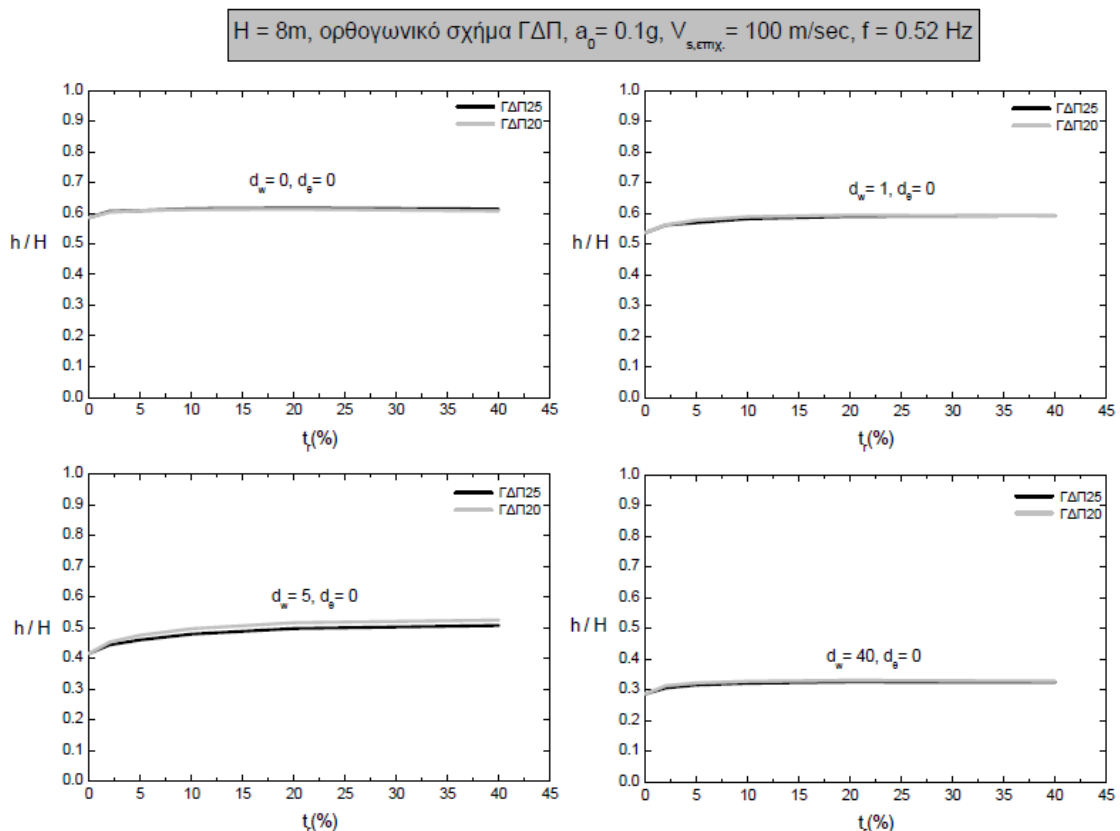
Έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα ότι όσο αυξάνεται η ευκαμψία του τοίχου αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο ανώτερο τμήμα του. Επειδή οι εφελκυστικές αυτές τάσεις δε λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της σεισμικής συνιστώσας της φόρτισης, είναι αναμενόμενο ότι το σημείο εφαρμογής της τελευταίας θα κινείται προς τη βάση του τοίχου όσο αυξάνεται η ευκαμψία του.

Στα διαγράμματα του Σχ. 4.43 παρουσιάζεται το κανονικοποιημένο ύψος εφαρμογής της σεισμικής δύναμης (h/H) ως συνάρτηση του ποσοστιαίου πάχους, t_r , της πυκνότητας του EPS και της ευκαμψίας του τοίχου. Παρατηρείται ότι ο λόγος h/H εξαρτάται μόνο από την ευκαμψία του τοίχου και κυμαίνεται από 0.63 (για άκαμπτο τοίχο) μέχρι 0.33 (για πολύ εύκαμπτο τοίχο). Για την περίπτωση που το πάχος του παρεμβλήματος EPS επιλέγεται έτσι ώστε να προκύπτει $r=0.5$ (δηλαδή αποτελεσματικότητα 50%), το διάγραμμα του Σχ. 4.44 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συσχέτιση του κανονικοποιημένου ύψους h/H με την ευκαμψία του τοίχου (συντελεστής d_w).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση της παρουσίας του παρεμβλήματος EPS στο ύψος εφαρμογής της σεισμικής δύναμης. Στα διαγράμματα του Σχ. 5-14 συσχετίζεται ο λόγος h/H με το συντελεστή ευκαμψίας του τοίχου, d_w , για την περίπτωση τοίχου ύψους 8m, με παρέμβλημα EPS και χωρίς παρέμβλημα EPS. Παρατηρείται ότι η ύπαρξη παρεμβλήματος συνεπάγεται την αύξηση του ύψους εφαρμογής της σεισμικής δύναμης σε μικρό όμως ποσοστό ($\approx 20\%$).

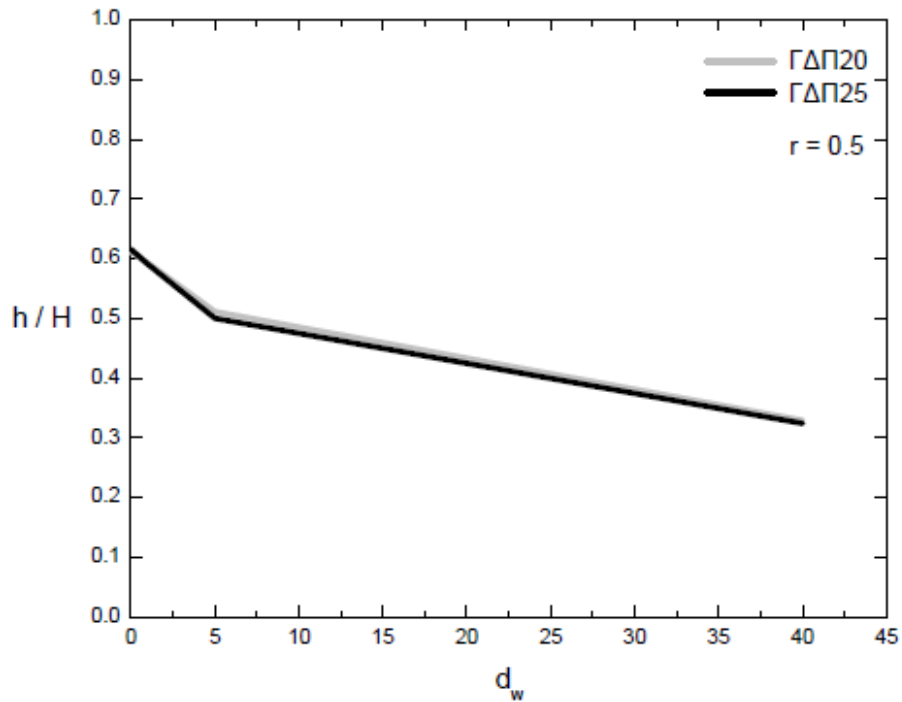
4.7.6 Επίδραση της Συχνότητας Διέγερσης της Βάσης

Στη προηγούμενη ενότητα (ΕΝΟΤΗΤΑ 4.6) διατυπώθηκε η άποψη ότι κατά μέσο όρο (δηλαδή για τους πλέον συνήθεις τοίχους αντιστήριξης και στους πλέον συνήθεις σεισμούς) η σεισμική φόρτιση είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως χαμηλόσυχνη φόρτιση σε σχέση με την ιδιοσυχνότητα του τοίχου. Ενδέχεται όμως να υπάρξουν περιπτώσεις συντονισμού του τοίχου αντιστήριξης κατά τις οποίες οι αδρανειακές δυνάμεις αυξάνονται δραματικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του παρεμβλήματος EPS.



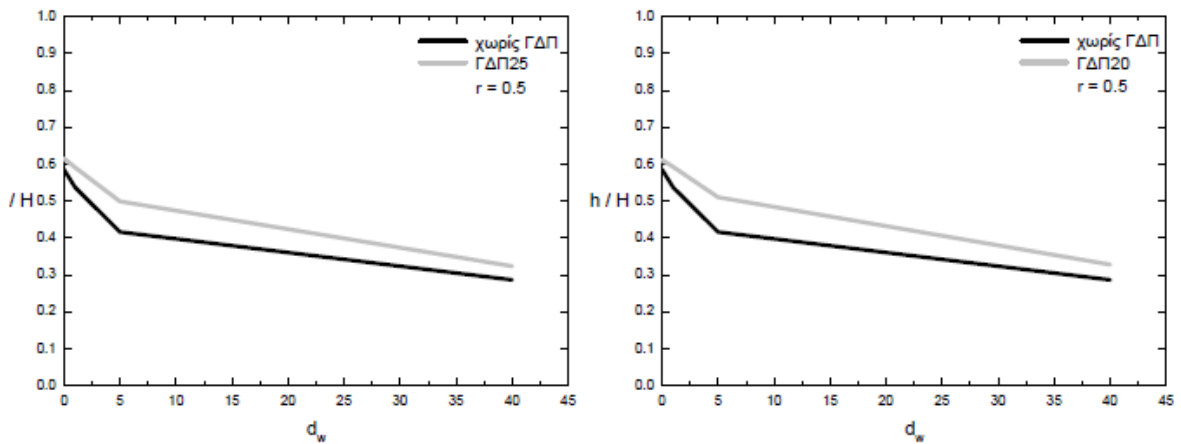
Σχήμα 4.43 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου και της πυκνότητας ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS στις τιμές του κανονικοποιημένου ύψους εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης σεισμικής προσαύξησης.

$H = 8\text{m}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1g$, $V_{\text{ε,επχ}} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.44 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου στο κανονικοποιημένο ύψος εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης σεισμικής προσαύξησης (ορθογωνικό παρέμβλημα EPS με πάχος τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται η τιμή $r=0.5$)

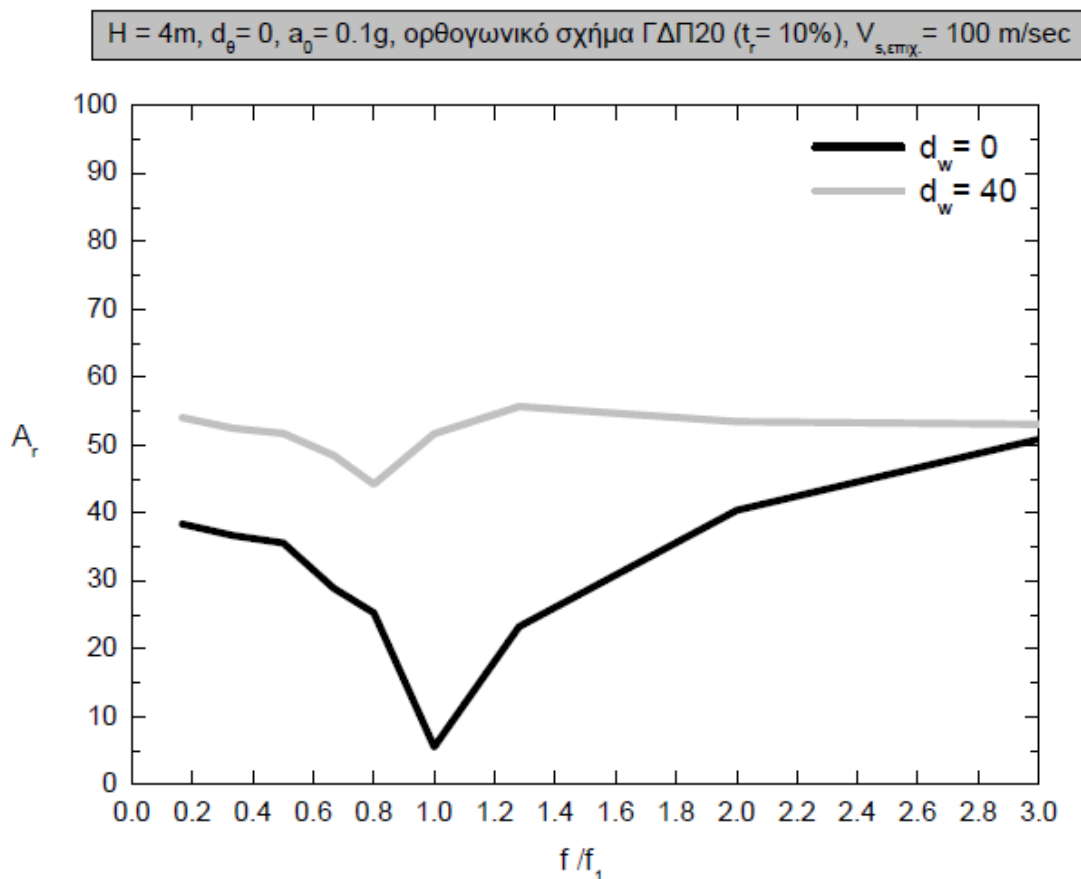
$H = 8\text{m}$, ορθογωνικό σχήμα ΓΔΠ, $a_0 = 0.1g$, $V_{\text{ε,επχ}} = 100\text{ m/sec}$, $f = 0.52\text{ Hz}$



Σχήμα 4.45 Επίδραση της ευκαμψίας του τοίχου και της ύπαρξης ορθογωνίου παρεμβλήματος EPS (EPS20 και EPS25) στις τιμές του κανονικοποιημένου ύψους εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης σεισμικής προσαύξησης (περίπτωση πάχους παρεμβλήματος τέτοιου ώστε να επιτυγχάνεται $r=0.5$)

Στο διάγραμμα του Σχ. 4.46 συνοψίζονται τα αποτελέσματα αναλύσεων για τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας σεισμικής μόνωσης ως συνάρτηση της κανονικοποιημένης συχνότητας διέγερσης βάσης f/f_1 , για τοίχο ύψους 4m. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αποτελεσματικότητα παραμένει υψηλή (50%) για τιμές του f/f_1 0.30 και f/f_1 2.0. Στην περιοχή συντονισμού, εντούτοις, και για την περίπτωση άκαμπτου τοίχου, η αποτελεσματικότητα μειώνεται δραματικά και μπορεί να γίνει ίση με 5%!! Αντίθετα στην περίπτωση του εύκαμπτου τοίχου η μονωτική ικανότητα του παρεμβλήματος EPS παραμένει πρακτικά αμετάβλητη, γεγονός ιδιαίτερης σημασίας για τη σεισμική προστασία εύκαμπτων τοίχων στην περιοχή συντονισμού.

Συμπεραίνεται, επομένως, ότι κατά το σχεδιασμό τοίχων εδαφικής αντιστήριξης με παρέμβλημα EPS, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η δεσπόζουσα συχνότητα της αναμενόμενης σεισμικής φόρτισης όσο και η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα του συστήματος τοίχος- επίχωμα.



Σχήμα 4.46 Επίδραση της συχνότητας της αρμονικής διέγερσης βάσης στην προκύπτουσα αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_r , για τις περιπτώσεις άκαμπτου και πολύ εύκαμπτου τοίχου με ορθογωνικό παρέμβλημα EPS20 ποσοστιαίου πάχους $t_r=10\%$

4.8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα Διατριβή διερευνήθηκε με αριθμητική ανάλυση η αποτελεσματικότητα του EPS ως μέσο σεισμικής μόνωσης κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης έναντι σεισμικών ωθήσεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της σεισμικής δράσης. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και η κατασκευή αντιστήριξης προσομοιώθηκε ως ελαστικό κατακόρυφο στοιχείο με αμετάθετη βάση υπό συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Ο EPS θεωρήθηκε ότι τοποθετείται με τη μορφή κατακόρυφου παρεμβλήματος συγκεκριμένου πάχους μεταξύ της οπίσθιας πλευράς της κατασκευής αντιστήριξης και του εδαφικού επιχώματος. Στις αναλύσεις έγινε δεκτή ιξωδοελαστική συμπεριφορά του υλικού του επιχώματος του τοίχου, ελαστική συμπεριφορά του EPS και χρησιμοποιήθηκε οριζόντια αρμονική διέγερση βάσης μεταβαλλόμενης συχνότητας. Έγινε επίσης δεκτό ότι το παρέμβλημα EPS είναι πλήρως συνδεδεμένο τόσο με την κατασκευή αντιστήριξης όσο και με το εδαφικό επίχωμα (δηλαδή δεν είναι δυνατή η αποκόλληση και η ολίσθησή του). Το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του επιχώματος τηρήθηκε σταθερό σε όλες τις αναλύσεις και ίσο με $E = 49000 \text{ kN/m}^2$.

Για την ποσοτική περιγραφή της αποτελεσματικότητας της εξεταζόμενης μεθόδου σεισμικής μόνωσης χρησιμοποιούνται δύο αριθμητικά μεγέθη : η αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_r , και ο λόγος μείωσης, r . Τα μεγέθη αυτά ορίζονται ως εξής :

Λόγος μείωσης, $r = \text{ο λόγος της σεισμικής ώθησης (σεισμική προσαύξηση) με χρήση του παρεμβλήματος EPS, προς την αντίστοιχη τιμή που ισχύει χωρίς το μονωτικό παρέμβλημα.}$

Αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης, A_r , (%) = ο λόγος της μείωσης της σεισμικής προσαύξησης λόγω της παρουσίας του παρεμβλήματος, προς την τιμή της σεισμικής προσαύξησης χωρίς το παρέμβλημα EPS

Οι εξετασθείσες παράμετροι περιέλαβαν : την πυκνότητα του EPS εκφραζόμενη σε kg/m^3 , το ποσοστιαίο πάχος του παρεμβλήματος, t_r (εκφραζόμενο ως ποσοστό του ύψους του τοίχου), το σχήμα του παρεμβλήματος (ορθογωνικό, τριγωνικό) και την ευκαμψία του τοίχου αντιστήριξης (συντελεστής σχετικής ευκαμψίας, d_w). Με βάση τα αποτελέσματα αναλύσεων είναι δυνατόν να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η απόκριση του συστήματος τοίχος-επίχωμα στην αρμονική διέγερση βάσης (δηλαδή η κατανομή των σεισμικών ωθήσεων και η συνισταμένη σεισμική δύναμη στον τοίχο) προκύπτει γραμμική ως προς το ύψος του τοίχου και την ένταση κίνησης βάσης (όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της παραδοχής ελαστικής συμπεριφοράς του τοίχου και του εδάφους). Είναι επομένως δυνατή η παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας κανονικοποιημένες τιμές ως προς το ύψος του τοίχου, H , και το πλάτος της επιτάχυνσης βάσης, a_0 . Σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων με αντίστοιχα αποτελέσματα (ελαστική ανάλυση) της βιβλιογραφίας έδειξε πολύ καλή συμφωνία.

2. Το βέλτιστο σχήμα του παρεμβλήματος EPS είναι το ορθογωνικό (σταθερό καθ' ύψος) και η αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης αυξάνεται με το πάχος του. Η μονωτική ικανότητα του παρεμβλήματος αυξάνεται με το πάχος με μειούμενο ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός μειώνεται σημαντικά για τιμές του ποσοστιαίου (σε σχέση με το ύψος του τοίχου) πάχους, t_r , μεγαλύτερες του 15% και προτείνεται ως βέλτιστη τιμή (λαμβάνοντας υπόψη και οικονομικά

κριτήρια) η τιμή $t_r \approx 15\%$. Η τιμή του ποσοστιαίου πάχους που απαιτείται για την επίτευξη συγκεκριμένης αποτελεσματικότητας μειώνεται όσο αυξάνεται η ευκαμψία του τοίχου.

3. Η αποτελεσματικότητα σεισμικής μόνωσης του παρεμβλήματος EPS αυξάνεται όσο μειώνεται η πυκνότητα του EPS. Για παράδειγμα, η αποτελεσματικότητα του παρεμβλήματος πάχους $t=15\%$, αυξάνεται από 37% σε 47% όταν χρησιμοποιηθεί EPS20 αντί για EPS25. Είναι επιθυμητή επομένως στις εφαρμογές η χρήση EPS μικρών πυκνοτήτων σε συνδυασμό με κατάλληλο έλεγχο των ερπυστικών παραμορφώσεων του παρεμβλήματος EPS ώστε η καθιζήσεις του επιχώματος του τοίχου να παραμένουν στα επιτρεπτά όρια.

4. Το ύψος εφαρμογής της σεισμικής δύναμης από τη βάση του τοίχου, αυξάνεται στην περίπτωση χρήσης παρεμβλήματος EPS σε σχέση με τοίχους χωρίς σεισμική μόνωση, (μέση αύξηση $\approx 20\%$) και εξαρτάται μόνο από την ευκαμψία του τοίχου ($h / H = 0.6$ για άκαμπτο τοίχο και $h / H \approx 0.33$ για πολύ εύκαμπτο τοίχο).

5. Η αποτελεσματικότητα της σεισμικής μόνωσης που επιτυγχάνεται με χρήση παρεμβλήματος EPS εξαρτάται από τη σχέση της συχνότητας της διέγερσης βάσης προς τη θεμελιώδη ιδιοσυχνότητα του συστήματος τοίχος-επίχωμα. Στην περιοχή συντονισμού ($f / f_i \geq 0.30$ έως $f / f_i \leq 2.0$) η αποτελεσματικότητα μειώνεται δραματικά στην περίπτωση άκαμπτου τοίχου ενώ η μείωση είναι σχεδόν αμελητέα στην περίπτωση πολύ εύκαμπτων τοίχων.

6. Για τον αντισεισμικό σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κατασκευών εδαφικής αντιστήριξης προτείνεται η εφαρμογή (προσωρινά) της εξής διαδικασίας :

α) Σχεδιασμός της κατασκευής σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ΕΑΚ2000, χρησιμοποιώντας όμως τιμές του συντελεστή q_w διπλάσιες από τις προτεινόμενες στον κανονισμό (π.χ. για τοίχο θεμελιωμένο επί πασσάλων $q_w=2$).

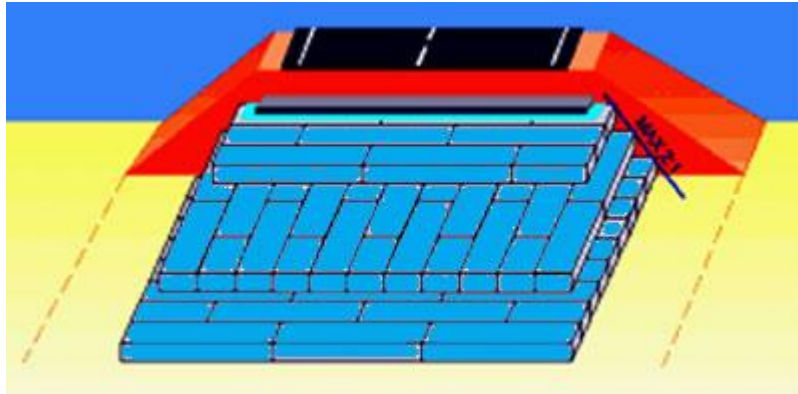
β) Υπολογισμός του συντελεστή ευκαμψίας του τοίχου, d_w .

γ) Υπολογισμός του απαιτούμενου ποσοστιαίου πάχους παρεμβλήματος, t_r , από το διάγραμμα του Σχ. 4.42 με βάση την υπολογισθείσα τιμή, d_w , και την πυκνότητα του EPS που θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

δ) Υπολογισμός του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης σεισμικής δύναμης από τα διαγράμματα του Σχ. 4.45.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ EPS ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΪΑΣ

5.1 ΕΛΑΦΡΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΪΑΣ



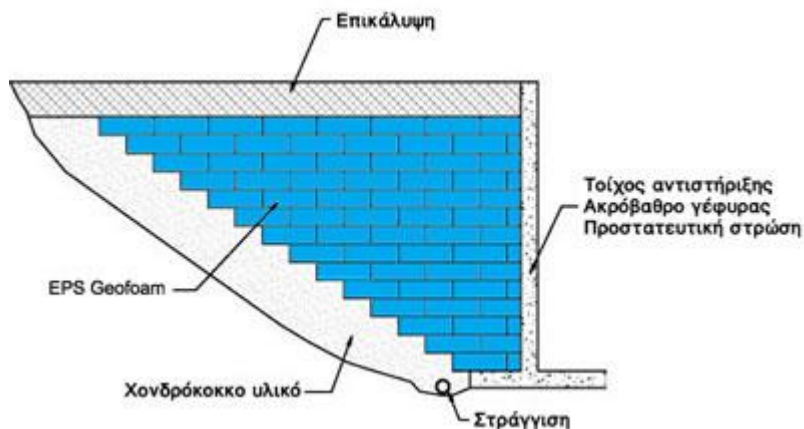
Σχήμα 5.1 Ελαφρά επιχώματα έργων οδοποιίας

Το χαμηλό βάρος και η ιδιαίτερη μηχανική του συμπεριφορά καθιστούν το γεωαφρό EPS μια αξιόπιστη λύση για την κατασκευή ελαφρών επιχωμάτων πάνω σε μαλακά / συμπιεστά εδάφη.

Ο γεωαφρός EPS ζυγίζει από 0.5% έως 2.5% του βάρους των συμβατικών επιχωμάτων και κατά την εφαρμογή ελαχιστοποιούνται οι εργασίες βελτίωσης του φυσικού εδάφους.

- Ελαχιστοποιούνται προβλήματα καθιζήσεων.
- Μειώνεται του κόστους συντήρησης του έργου.

5.1.1. Ελαφρά μεταβατικά επιχώματα γεφυρών

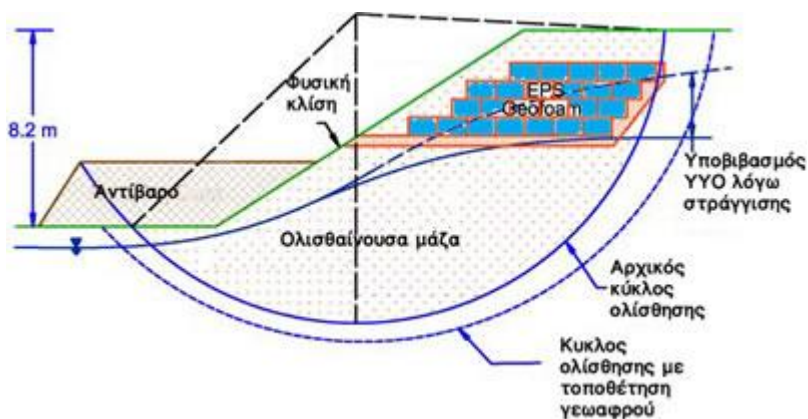


Σχήμα 5.2 Ελαφρά μεταβατικά επιχώματα γεφυρών

- Μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής
- Αμελητέες καθιζήσεις του συμπιεστού υπεδάφους

- Ικανότητα διαμόρφωσης κατακόρυφων παρειών
- Δραστική μείωση οριζόντιων φορτίων στο ακρόβαθρο της γέφυρας

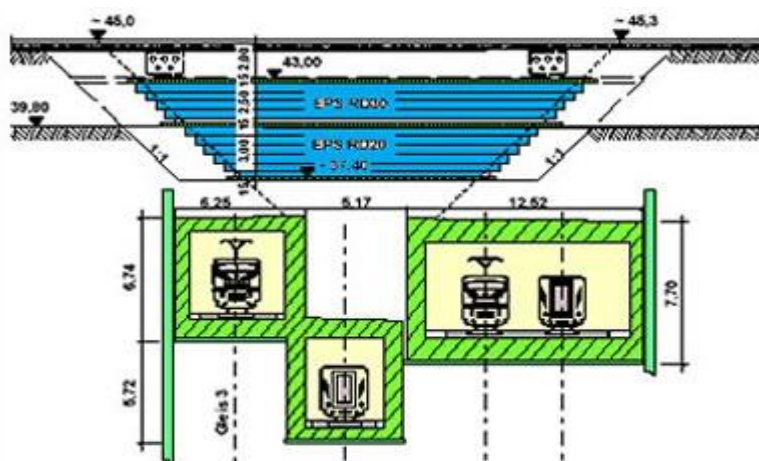
5.1.2. Αποκατάσταση/Βελτίωση ευστάθειας πρανών



Σχήμα 5.3 Αποκατάσταση/Βελτίωση ευστάθειας πρανών

- Μείωση της δρώσας μάζας ολίσθησης.
- Δυνατότητα κατασκευής κατακόρυφου μετώπου.
- Αύξηση του συντελεστή ασφάλειας.
- Ταχεία αποκατάσταση οδών σε περιοχές κατολισθήσεων.

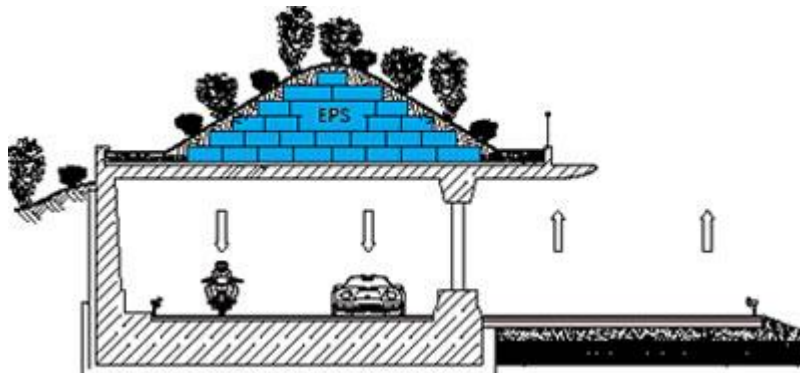
5.1.3. Προστασία υπόγειων κατασκευών



Σχήμα 5.4 Προστασία υπόγειων κατασκευών

- Σημαντική απομείωση της επιφόρτισης σε υπόγειες κατασκευές.
- Δυνατότητα ανύψωσης της στάθμης εδάφους χωρίς επιβάρυνση της υπάρχουσας κατασκευής.

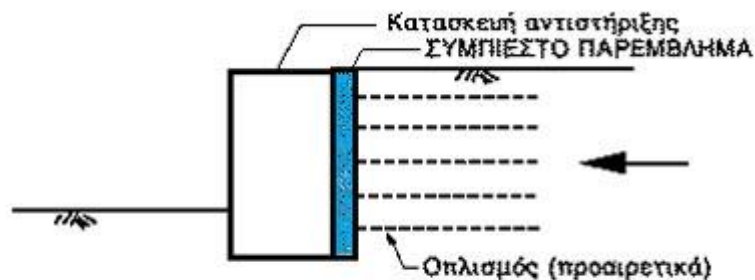
5.1.4. Διαμόρφωση Τοπίου



Σχήμα 5.5 Διαμόρφωση τοπίου

- Διαμόρφωση όγκου με μικρή επιφόρτιση των υποκείμενων εδαφών ή κατασκευών.
- Ευελιξία στο σχεδιασμό.
- Προστασία σηράγγων από καταπτώσεις βράχων.

5.1.5. Συμπιεστά παρεμβλήματα μείωσης στατικών ωθήσεων τοίχων αντιστήριξης/πρανών



Σχήμα 5.6 Συμπιεστά παρεμβλήματα

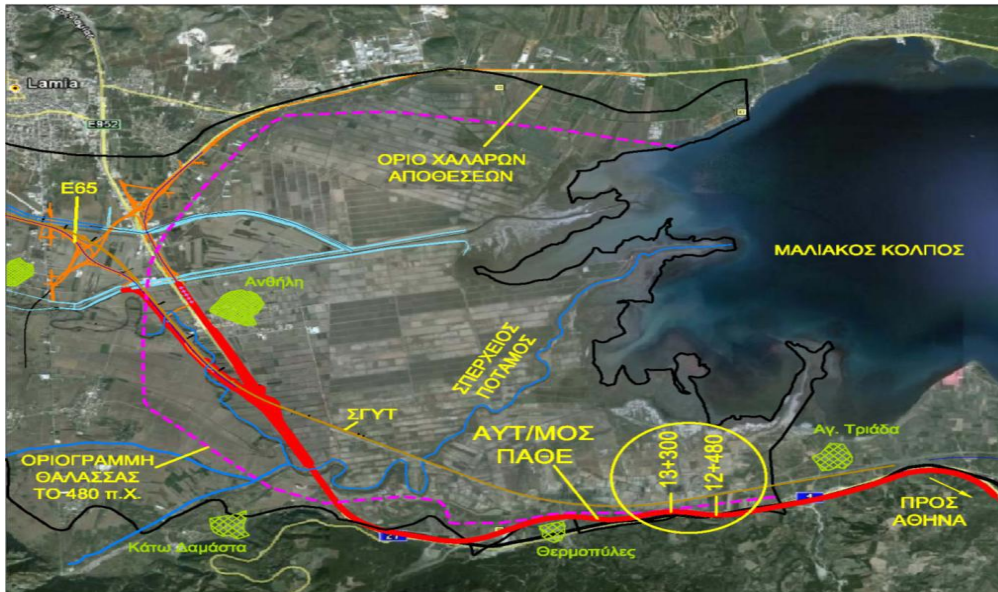
Ο γεωαφρός EPS ζυγίζει από 1%-1,5% του βάρους των συμβατικών επιχωμάτων και κατά την εφαρμογή ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα των καθιζήσεων ενώ παράλληλα μειώνεται το κόστος συντήρησης του έργου.

- Μείωση δυναμικών φορτίων λόγω σεισμού
- Έχει αποδειχτεί πειραματικά η ευεργετική δράση του γεωαφρού στην απομείωση των στατικών και δυναμικών φορτίσεων που ασκούνται σε τοίχους αντιστήριξης σταθερής και κινούμενης βάσης από τα εδαφικά υλικά.

5.2. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΙΚΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΕΠΙ ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ, ΑΠΟ ΕΛΑΦΡΑ ΥΛΙΚΑ ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗΣ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗΣ

- Επιχώματα από ελαφρά υλικά
- Μείωση επιβαλλόμενου φορτίου και καταπόνηση εδάφους => αντιμετώπιση προβλημάτων έδρασης επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη

5.2.1. Πεδίο εφαρμογής



Σχήμα 5.7 Πεδίο εφαρμογής

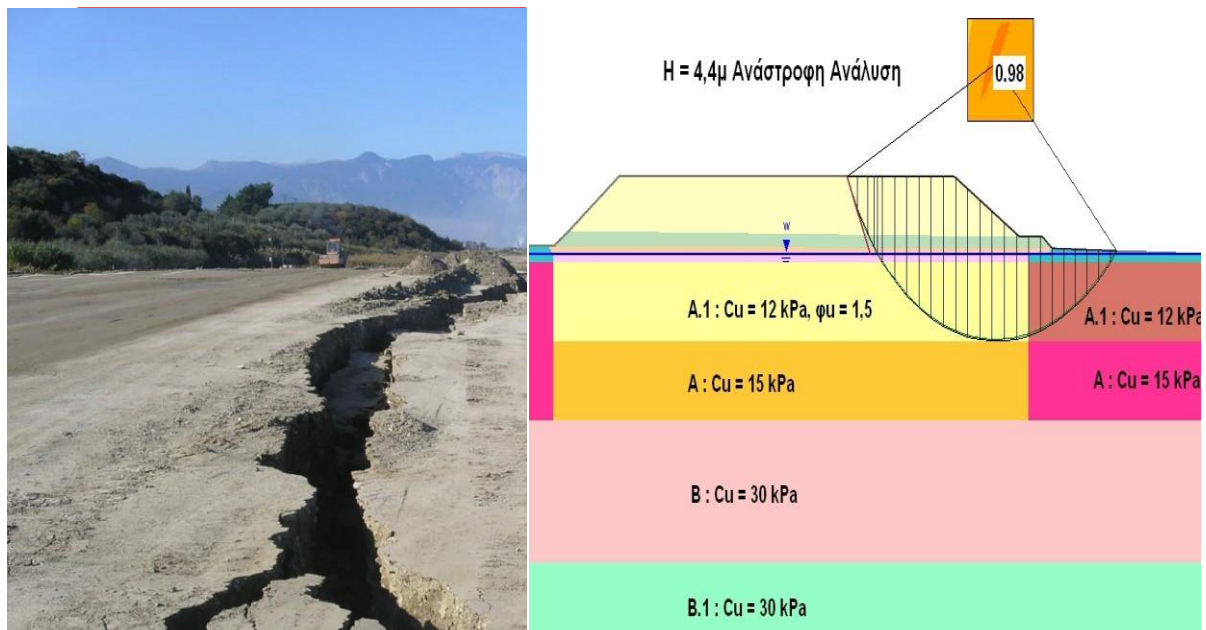


Σχήμα 5.8 Εδαφικό προφίλ

- Αυτ/μος ΠΑΘΕ/ Α Θερμοπυλών
- Επίπεδη βαλτώδης περιοχή, ΣΦΕ \approx ΣΥΟ \approx +1m, σύγχρονες θαλάσσιες αποθέσεις πολύ πτωχές
- Επιχώματα $H_{\max}=8,5\text{m}$ / εξυγίανση και χαλικοπάσσαλοι

5.2.2. Αστοχία-προβλήματα

Σε ύψος 4m αστοχία $L=200\text{m}$, ρωγή άνοιγμα $\geq 2//$ άξονα.



Σχήμα 5.8. Αστοχία-προβλήματα

Αστοχία σε βάθος $5 \div 10\text{m}$ (στρώση Α)

Καθιζήσεις 20% H (έως βάθος 25 m)/ βραδείες (μόλις 50% σε 1 έτος)

Ανάγκη ταχείας ολοκλήρωσης πετάλου Μαλιακού => Λύση EPS

5.2.3. Σχεδιασμός ελαφρού επιχώματος

Μέγιστος δυνατός περιορισμός γαιώδους επιχώματος/ υψομετρική διαφορά άκρων λόγω επίκλησης

- ✓ Αφαίρεση κατασκευασθέντος επιχώματος και υπεδάφους έως βάθος 0.75m



Σχήμα 5.9 Στρώσεις στράγγισης

- ✓ Περιορισμός στρώσεων στράγγισης –εξυγίανσης σε min 50 cm :
- α)στρώση 25 cm, δάπεδο εργασίας
- β)γεωφάσμα διαχωρισμού και ξέπλεγμα υψηλής αντοχής



Σχήμα 5.10 Στρώσεις στράγγισης

γ) στρώση στράγγισης-εξομάλυνσης μεταβλητού πάχους $0.25 \div 0.75\text{m}$, με τελική κεκλιμένη επιφάνεια// κατά μήκος κλίσης και επίκλησης της οδού



Σχήμα 5.11 Ελαφρό επίχωμα

- ✓ Ελαφρό επίχωμα: μπλόκ EPS 100, $\sigma_c 10=100\text{kpa}$, $B_{\min} \times L_{\min}=1,0 \times 2,5\text{m}$, στρώσεις $\geq 50\text{cm}$, κλιμακωτή διάταξη, μέση κλίση πρανών 2:3(υ:β)



Σχήμα 5.12 Αποφυγή κατακόρυφων αρμών

- ✓ Αποφυγή κατακόρυφων αρμών: εναλλάξ τοποθέτηση των μπλόκ με τη μεγάλη διάσταση κατά μήκος και κατά πλάτος αντίστοιχα



Σχήμα 5.13 Σύνδεση με μεταλλικά στοιχεία

- ✓ Αποφυγή ολίσθησης κατά την ενσωμάτωση: σύνδεση με μεταλλικά στοιχεία



Σχήμα 5.14 Κατασκευή ελαφρού επιχώματος

5.2.4. Χαρακτηριστικά κατασκευής

Στοιχεία κατασκευής

- ✓ Μήκος οδών: 1030m
- ✓ Όγκος EPS: 65.000m³
- ✓ Διάστημα ολοκλήρωσης: 2,5 μήνες (06-08 /2008)
- ✓ Παράδοση έργου: 18/09/08
- ✓ Ρυθμός παραγωγής: 1000m³/ ημέρα (με μέτρα προστασίας και ελέγχους)

Γεωτεχνική παρακολούθηση – καθιζήσεις

Μάρτυρες σε 11 θέσεις

Μετασκευαστικές Καθιζήσεις ομοιόμορφες <1 cm και <<προβλεπομένων
Καθίζηση 3 μηνών << γειτονικές με ευμενέστερες συνθήκες, χαλικοπασσάλους

5.2.5 Συμπεράσματα

- ✓ 1η εφαρμογή στην Ελλάδα σε επιχώματα ύψους έως 8,5m σε εξαιρετικά δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες – πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά
- ✓ Λύση EPS επέτρεψε την ταχύτατη κατασκευή και αντιμετώπιση σημαντικών προβλημάτων και αστοχιών
- ✓ Περαιτέρω αξιοποίηση σε έδραση επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη και ανακούφιση ακροβάθρων γεφυρών
- ✓ Κάλυψη πρανών: μεμβράνη PE 1mm γεώφασμα διαχωρισμού
ελαφρά συμπυκνωμένα υλικά E1 κλίση 2:3 (υ:β)
επικάλυψη με φυτική στρώση 0,3m



Σχήμα 5.15 Στέψη

- ✓ Στέψη: πλάκα σκυροδέματος C20/25, 15cm, με δομικό πλέγμα T196 προστασία
EPS/ φέρουσα ικανότητα έδρασης οδοστρώματος



Σχήμα 5.16 Στρώση στράγγισης

- ✓ Οδόστρωμα: διατηρεί τα χαρακτηριστικά και το πάχος του, στράγγιση μέσω μονοκλινούς στραγγιστικής στρώσης επί της πλάκας Ω.Σ.

5.2.6. Έλεγχοι και αναλύσεις

Έλεγχος	Θεωρήσεις – Παραδοχές	Αποτέλεσμα ($H_{MAX} = 8,5m$)
Γενική Ευστάθεια: Βαθιά Θραύση Εδάφους	$c_{uEPS}=100kPa$, $\gamma_{EPS} = 0,5 kN/m^3$, $c_{u\text{soil}}=12kPa$	F.S.=4,3 από <0,7
Καθίζηση Υπεδάφους		$s_{pc} = 5cm$ από >1m
Ανύψωση λόγω Άνωσης	$\gamma_{eps}=0,2kN/m^3$, $\Delta\Sigma Y=1,0m$, δίκτυο τάφρων	F.S. = $W_p+W_{sl}+W_{eps} / A \approx 2,0 > 1,3$
Εσωτερική Ευστάθεια: Ολίσθηση σε επίπεδο επαφής στρώσεων	α) στατική (λόγω κλίσης)	F.S.>2,0
	β) ανεμοπίεση	F.S.>1,2
	γ) σεισμός	F.S. >1,0
Επιτρεπόμενη τάση EPS	$p=20\div 25kPa$	< 30% $\sigma_{cult} \rightarrow$ όχι ερπυσμός
Παραμόρφωση EPS	$E_{EPS} = 5000 kPa$	$s_{EPS} \approx 1\div 3cm$
Τάσεις από κυκλοφορία	συμβολή πλάκας Ω.Σ.	$q < 15kPa$

Σχήμα 5.17 Έλεγχοι και αναλύσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Arias A., Sanchez-Sesma F. J., Ovando-Shelley E., 1981, “A Simplified Elastic Model for Seismic Analysis of Earth-Retaining Structures with Limited Displacements”, Proceedings of the 1st International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, April 26-May 3 1981, St. Louis, Missouri, MO, Vol. 1, pp. 235-240
2. Bathurst, R. J. and Alfaro, M.C. 1996, “Review of Seismic Design, Analysis and Performance of Geosynthetic Reinforced Walls, Slopes and Embankments”, Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Kyushu, Japan, November 1996, H. Ochiai, N. Yasufuku and K. Omine Eds. Balkema, 1997, Vol.2, pp. 887-915
3. Bathurst, R. J., Hatami, K. and Alfaro, M. C., 2002, “Geosynthetic-Reinforced Soil Walls and Slopes-Seismic Aspects”, Chapter 14 of Geosynthetics and their Applications, S. K. Shukla Ed., Thomas Telford Ltd.
4. Bolton, M. D. and Steedman, R. S., 1985, “Modeling the Seismic Resistance of Retaining Structures”, Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, 12-16 August 1985, A. A. Balkema, Rotterdam, Vol. 4, pp. 1845-1848
5. Bowles, J. E., 1996, “Foundation Analysis and Design”, Mc Graw-Hill Companies, Inc., 1175p., 1996
6. Bray, J. D., 2003, “Retaining Structures”, Chapter 22 in The Civil Engineering Handbook, 2nd Edition, W. F. Chen and J. Y. Richard Liew Eds., CRC Press, USA
7. Carville, C. A., 2001, “Damage from Collapsed Backfill Rock and Soils Behind Retaining Walls Caused by Earthquake Shaking”, Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, March 26-31, 2001, 3p.
8. Coulomb, C. A., 1776, “Essai sur une Application des Règles des Maximis et Minimis à quelques Problèmes de Statique Relatifs à l’ Architecture” (An Attempt to Apply the Rules of Maxima and Minima to Several Problems of Stability Related to Architecture), Mém. Acad. Roy. des Sciences, Paris, Vol. 7, pp. 343-382
9. Crespellani, T., Madiari, C. and Vannucchi, G., 2001, “A Case History: Seismic Analysis of the Retaining Wall of the “Sacro Convento” in Assisi (Italy)”, Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, March 26-31, 2001, 7p.
10. Das, B. M., 1983, “Fundamentals of Soil Dynamics”, Elsevier Science Publishing Co., 399p., 1983
11. Das, B. M., 1993, “Principles of Soil Dynamics”, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 570p., 1993
12. Day, R. W., 2002, “Geotechnical Earthquake Engineering Handbook”, Mc Graw-Hill, 2002
13. Elms, D. G. and Richards, R. Jr., 1990, “Seismic Design of Retaining Walls”, Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication No. 25, Ithaca, New York, June 18-21, 1990, P. C. Lambe and L. A. Hansen Eds., pp.854-871
14. Fang, Y. S., Yang, Y. C. and Chen, T. J., 2003, “Retaining Walls Damaged in the Chi-Chi Earthquake”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40, pp. 1142-1153
15. Fang, Y.-S., Cben, T.-J., Yang, Y.-C. and Tang, C.-C., 2001, “The Behavior of Retaining Walls Under 1999 Chi-Chi Earthquake”, Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics

and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, March 26-31, 2001, 6p.

16. Hazarika, H., 2001, "Mitigation of Seismic Hazard on Retaining Structures – A Numerical Experiment", Proceedings of the Eleventh (2001) International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway, June 17-22, 2001, International Society of Offshore and Polar Engineers, pp. 459-464

17. Hazarika, H., Nakazawa, J., Matsuzawa, H. and Negussey, D., 2001, "On the Seismic Earth Pressure Reduction Against Retaining Structures Using Lightweight Geofoam Fill", Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, USA, March 26-31, 2001, S. Prakash Ed., 6p.

18. Hazarika, H. and Okuzono, S., 2004, "Modeling the Behavior of a Hybrid Interactive System Involving Soil, Structure and EPS Geofoam", Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, October 2004, Vol. 44, No. 5, pp. 149-162

19. Horvath, J. S., 1995, "Geofoam Geosynthetic", Horvath Engineering, P.C. Scarsdale, N.Y. U.S.A., 217p.

20. Horvath, J. S., 2004, "Geofoam Compressible Inclusions: The New Frontier in Earth Retaining Structures", Geotechnical Engineering for Transportation Projects, Proceedings of Geo-Trans 2004, ASCE Geotechnical Special Publication No. 126, July 27-31, 2004, Los Angeles, California, M. K. Yegian and E. Kavazanjian Eds., Vol. 2, pp. 1925-1934

21. Inglis, D., Macleod, G., Naesgaard, E. and Zergoun, M., 1996, "Basement Wall with Seismic Earth Pressure and Novel Expanded Polystyrene Foam Buffer Layer", Proceedings of 10th Annual Symposium of the Vancouver Geotechnical Society, Vancouver, B.C., 18p.

22. Karpurapu, R. and Bathurst, R. J., 1992, "Numerical Investigation of Controlled Yielding of Soil-Retaining Wall Structures", Geotextiles and Geomembranes, Vol.11, No. 2, pp. 115-131

23. Kramer, S. L., 1996, "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 653 p., 1996

24. Li, X., 2000, "Dynamic Analysis of Rigid Walls Considering Flexible Foundation", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 125, No. 9, September 1999, pp. 803-806

25. Murthy, V. N. S., 2003, "Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering", Marcel Dekker, Inc., 1029p., 2003

26. Nadim, F. and Whitman R. V., 1983, "Seismically Induced Movement of Retaining Walls", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. 7, July, 1983, pp. 915-931

27. Nagayama, Y., Matsui, T., Yasukawa, I. and Kasai, H., 2001, "A Field Study and Dynamic Finite Element Analysis of Railway Retaining Structures Damaged by the Hogoken-Nambu Earthquake (1995)", Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, March 26-31, 2001, 6p.

28. Newmark, N. M., 1965, "Effect of Earthquakes on Dams and Embankments", Geotechnique, Vol. 15, No. 2, pp. 139-160

29. Ouyang, Y., Drnevich, V. P. and Allen, D. L., 1991, "Analysis of Bridges for Seismic Hazard Mitigation in Kentucky", Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis, Missouri, pp. 769-777

30. Paruvakat, N., 1984, Discussion on "Earth Pressures Against Rigid Retaining Walls" by M. A. Sherif, I. Ishibashi and C. D. Lee, (Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 108, No. GT5, pp. 679-695), Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 110, No. GT1, January 1984, pp. 117-118

31. Pelekis, P. C., Xenaki, V. C. and Athanasopoulos, G. A., 2000, "Use of EPS Geofom for Seismic Isolation of Earth Retaining Structures: Results of a FEM Study", Proceedings of the 2nd European Geosynthetics Conference, EuroGeo 2000, Bologna, Italy, October 2000, A. Cancelli, D. Cazzuffi and C. Soccodato Eds., Vol. 2, pp. 843-846
32. Phatak, D. R. and Pathak, S. R., 2000, Discussion on "Seismic Earth Pressures on Retaining Structures" by R. Richards Jr., C. Huang and K. L. Fishman, (Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 125, No. 9, pp. 771-778), Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 12, December 2000, pp. 1216-1217
33. PLAXIS, "A Finite Element Code for Soil and Rock Analyses", R. B. J. Brinkgreve, Professional Version 8.1, 2002, Balkema, Lisse
34. Prakash, S., 1981, "Soil Dynamics", Mc Graw-Hill, New York, 426p., 1981
35. Prakash, S., 1981, "Analysis of Rigid Retaining Walls During Earthquakes", Proceedings of the 1st International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, April 26-May 3 1981, St. Louis, Missouri, MO, Vol. 3, pp. 993-1020
36. Prakash, S., Joshi, V. H. and Saran, S., 1984, "On Displacement of Rigid Retaining Walls", Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 3, San Francisco, 1984, pp. 493-500
37. Puri, V. K., Prakash, S. and Widanarti, R., 2004, "Retaining Walls under Seismic Loading", Proceedings of the Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, NY, April 13-17, 2004, 7p.
38. Richards, R. Jr. and Elms, D. G., 1979, "Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.105, No. GT4, pp.449-464
39. Richards, R. Jr., Huang, C. and Fishman. K. L., 1999, "Seismic Earth Pressure o Retaining Structures", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 125, No. 9, September 1999, pp. 771-778
40. Richards, R., Jr., Fishman, K. L. and Divito R. C., 1996, "Threshold Accelerations for Rotation or Sliding of Bridge Abutments", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 9, September 1996, pp. 752-759
41. Seed, H. B. and Whitman, R.V., 1970, "Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads", Proceedings of ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, pp. 103-147
42. Sherif M. A., Ishibashi, I. and Lee C. D., 1982, "Earth Pressures Against Rigid Retaining Walls", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 108, No. GT5, May 1982, pp. 679-695
43. Silvestri, V., 1984, Discussion on "Earth Pressures Against Rigid Retaining Walls" by M. A. Sherif, I. Ishibashi and C. D. Lee, (Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 108, No. GT5, pp. 679-695), Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 110, No. GT1, January 1984, pp. 115-116
44. Stamatopoulos, C. A., 1996, Discussion on " Dynamic Modeling and Response of Soil-Wall Systems" by A. S. Veletsos and A. H. Younan, (Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 12, pp. 2155-2179), Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 7, July 1996, pp. 603-604
45. Steedman, R. S. and Zeng, X., 1990, "The Influence of Phase on the Calculation of Pseudo-Static Earth Pressure on a Retaining Wall", Geotechnique, Vol. 40, No. 1, pp. 103-112

46. Theodorakopoulos, D. D. and Beskos, D. E., 2003, "Dynamic Pressures on a Pair of Rigid Walls Experiencing Base Rotation and Retaining Poroelastic Soil", *Engineering Structures*, Vol. 25, pp. 359-370
47. Theodorakopoulos, D. D., 2003, "Dynamic Pressures on a Pair of Rigid Walls Retaining Poroelastic Soil", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 23, No. 1, pp. 41-51
48. Theodorakopoulos, D. D., Chassiakos, A. P. and Beskos, D. E., 2001, "Dynamic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Poroelastic Soil Media. Part II. Second Method of Solution", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 21, pp. 339-364
49. Theodorakopoulos, D. D., Chassiakos, A. P. and Beskos, D. E., 2001, "Dynamic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Poroelastic Soil Media. Part I. First Method of Solution", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 21, pp. 315-338
50. Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Kon, H. and Masuo, T., 2002, "Use of Compressible Expanded Polystyrene Blocks and Geogrids for Retaining Wall Structures", *Soils and Foundations*, Japanese Geotechnical Society, Vol. 42, No. 4, August 2002, pp. 29-41
51. Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Nakazawa H., Kon, H., Masuo, T. and Hara, K., 2001, "Combined Reinforcement by Means of EPS Blocks and Geogrids for Retaining Wall Structures", *Landmarks in Earth Reinforcement*, Proceedings of International Symposium on Earth Reinforcement, Ochiai, Otani, Yasufuku and Omine Eds., Swets & Zeitlinger 2001, pp. 483-487
52. Tweedie, J. J., Humphrey, D. N., and Sandford, T. C., 1998, "Tire Shreds as Lightweight Retaining Wall Backfill: Active Conditions", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 124, No. 11, November 1998, pp. 1061-1070
53. Veletsos A. S. and Younan A. H., 1997, "Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 123, No. 2, February 1997, pp.161-172
54. Veletsos, A. S. and Younan, A. H., 1994, "Dynamic Modeling and Response of Soil-Wall Systems", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 120, No. 12, December, 1994, pp. 2155-2179
55. Veletsos, A. S. and Younan, A. H., 1995, "Dynamic Soil Pressures on Vertical Walls", *State of the Art*, Proceedings of the 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, April 2-7 1995, St. Louis, Missouri, Vol. 3, pp. 1589-1604
56. Veletsos, A. S. and Younan, A. H., 1996, "Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls", *Analysis and Design of Retaining Structures Against Earthquakes*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 60, Washington, November 10-14, 1996, S. Prakash Ed., pp. 19-20
57. Whitman, R. V., 1990 α , "Seismic Design of Gravity Retaining Walls", *Proceedings of the International Conference on Earthquake Resistant Construction and Design*, Berlin, June 13-16, 1989, S. A. Savidis Ed., pp. 223-244
58. Whitman, R.V., 1990 β , "Seismic Design and Behavior of Gravity Retaining Walls", *Design and Performance of Earth Retaining Structures*, Geotechnical Special Publication No. 25, Ithaca, New York, June 18-21, 1990, P. C. Lambe and L. A. Hansen Eds., pp.817- 842
59. Whitman, R. V., 1991, "Seismic Design of Earth Retaining Structures", *State of the Art Paper*, Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis, Missouri, pp. 1767-1778
60. Whitman, R.V. and Liao, S., 1984, "Seismic Design of Gravity Retaining Walls", *Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 3, San Francisco, 1984, pp. 533-540

61. Wu, G. and Finn, W. D. L., 1996, "Seismic Pressures Against Rigid Walls", Analysis and Design of Retaining Structures Against Earthquakes, ASCE Geotechnical Special Publication No. 60, Washington, November 10-14, 1996, S. Prakash Ed., pp. 1-18
62. Younan, A. H. and Veletsos, A. S., 2000, "Dynamic Response of Flexible Retaining Walls", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.29, pp. 1815-1844
63. Αθανασόπουλος Γ. Α., 1999, "Μαθήματα Γεωτεχνικής Σεισμικής Μηχανικής", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 197 σελ., 1999
64. Γιαρλέλης, Χ., 2001, "Δυναμική Απόκριση Συστημάτων Τοίχου-Εδάφους", 2ο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 28-30 Νοεμβρίου, 2001, Θεσσαλονίκη, Τόμος Α', σελ. 375-384
65. Μισυρλής, Ε.Γ., 2003, "Συμβολή στην Τεκμηρίωση της Μηχανικής Συμπεριφοράς Γεωφρών EPS για Γεωτεχνικές Κατασκευές", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ιούνιος 2003, 283 σελίδες
66. Ξενάκη, Β. Κ., 2005, "Πειραματική Διερεύνηση της Μηχανικής Συμπεριφοράς Γεωφρών Διογκωμένης Πολυστερίνης υπό Συνθήκες Στατικής και Δυναμικής/Κυκλικής Φόρτισης", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Μάρτιος 2005, 334 σελίδες.
67. Ξενάκη, Β. Κ., Πελέκης, Π. Κ. και Αθανασόπουλος, Γ. Α., 2001α, "Χρήση του Γεωφρού Διογκωμένης Πολυστερίνης για τη Σεισμική Μόνωση Τοίχων Αντιστήριξης: Ανάλυση με τη ΜΠΣ", Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα, 30 Μαΐου – 1 Ιουνίου 2001, Τόμος 1, σελ. 475-482
68. Ξενάκη, Β. Κ., Πελέκης, Π. Κ., Αθανασόπουλος, Γ. Α., 2001β, "Μείωση των Σεισμικών Ωθήσεων σε Τοίχους Αντιστήριξης με χρήση του Γεωφρού Διογκωμένης Πολυστερίνης: Ανάλυση με τη ΜΠΣ", 2ο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 28-30 Νοεμβρίου, 2001, Θεσσαλονίκη, Τόμος Α', σελ. 235-244
69. Ψαρρόπουλος, Π. Ν., 2000, "Αριθμητική Εδαφοδυναμική Προσομοίωση στην Σεισμική Ανάλυση Βάθρων και Ακροβάθρων Γεφυρών", Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000
70. Ψαρρόπουλος, Π., Κλωνάρης, Γ. και Γκαζέτας, Γ., 2001, "Σεισμική Απόκριση Τοίχων Αντιστηρίξεως", Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα, 30 Μαΐου – 1 Ιουνίου 2001, Τόμος 2, σελ. 377-384