

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ
ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΧΩΡΩΝ
ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ**

ΓΛΑΜΠΕΔΑΚΗΣ ΧΡ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

A.M.: 2000.05.0048

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΤΣΟΜΠΑΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής Γενικού Τμήματος (Επιβλέπων)

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΧΑΝΙΑ 2005

Περιεχόμενα.....	i
Ευχαριστίες.....	vii
Πρόλογος.....	viii
1.Περιβαλλοντικά θέματα	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Σύνθεση στερεών αποβλήτων	3
1.3 Κριτήρια επιλογής χώρων εναπόθεσης στερεών αποβλήτων	4
1.3.1 Περιβαλλοντικά κριτήρια	4
1.3.2 Γεωτεχνικά – υδρογεωλογικά κριτήρια.....	5
1.3.3 Κοινωνικά κριτήρια.....	7
1.3.4 Οικονομικά κριτήρια	7
1.4 Τυπικές μορφές ΧΥΤΑ	8
1.5 Κατασκευαστικά στοιχεία.....	10
1.5.1 Στεγάνωση πυθμένα και πρανών.....	10
1.5.2 Σύστημα συλλογής και απομάκρυνσης στραγγίσματος.....	13
1.5.3 Σύστημα συλλογής και ελεγχόμενης επεξεργασίας βιοαερίου	15
1.5.4 Σύστημα τελικής κάλυψης	15
1.6 Προβλήματα κατά τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ.....	18
2.Σεισμολογικά Στοιχεία	21
2.1 Ορισμός, γένεση σεισμών	21
2.2 Είδη σεισμών	23
2.2.1 Τεκτονικοί σεισμοί.....	23
2.2.2 Ηφαιστειογενείς σεισμοί	23
2.2.3 Σεισμοί εγκατακρημνίσεων	23

2.2.4 Σεισμοί προκαλούμενοι από φράγματα.....	24
2.3 Χαρακτηριστικά σεισμών	24
2.3.1 Εστιακή επιφάνεια ή επιφάνεια διάρρηξης	24
2.3.2 Εστιακός μηχανισμός	24
2.3.3 Εστία.....	24
2.3.4 Επίκεντρο	24
2.3.5 Εστιακό βάθος	25
2.3.6 Ταχύτητα διάρρηξης.....	25
2.4 Ανάλυση κυματικής διάδοσης	25
2.4.1 Είδη σεισμικών κυμάτων.....	26
<i>Διαμήκη κύματα</i>	26
<i>Εγκάρσια κύματα</i>	27
<i>Κύματα Rayleigh</i>	27
<i>Κύματα Love</i>	28
2.4.2 Μέτρηση σεισμικής δραστηριότητας.....	29
2.4.3 Εκτίμηση σεισμικής δραστηριότητας.....	31
2.5 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο	34
3.Αντισεισμικός σχεδιασμός ΧΥΤΑ	36
3.1 ΧΥΤΑ & σεισμός.....	36
3.2 Ιστορική αναδρομή	38
3.2.1 Santa Rosa Earthquake	38
3.2.2 San Fernando Earthquake.....	38
3.2.3 Whittier – Narrows Earthquake.....	39
3.2.4 Loma Prieta Earthquake	41
3.2.5 Northridge Earthquake	41
3.3 Κατηγορίες σεισμικών βλαβών σε ΧΥΤΑ	42

3.4 Στοιχεία γεωτεχνικής μελέτης ΧΥΤΑ.....	44
3.5 Ισχύοντες κανονισμοί.....	47
3.5.1 Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας.....	48
3.5.2 Κατάταξη εδαφών	48
3.5.3 Καθορισμός σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού	49
3.5.4 Ευστάθεια αναχωμάτων	49
3.6 Τοπικές συνθήκες.....	51
4.Μέθοδοι ανάλυσης	53
4.1 Εισαγωγή	53
4.2 Ψευδοστατική ανάλυση	54
4.2.1 Μέθοδος των συνολικών μετατοπίσεων-Newmark	55
4.3 Δυναμική ανάλυση	56
4.3.1 Τυπική απόσβεση	57
4.4 Αριθμητικοί μέθοδοι προσομοίωσης.....	62
4.5 Πεπερασμένα στοιχεία (FEM)	63
4.5.1 Ιστορική αναδρομή FEM	64
4.5.2 Μειονεκτήματα της μεθόδου.....	66
4.5.3 Ακρίβεια της μεθόδου	66
4.5.4 Διακριτοποίηση	67
4.6 Ανάλυση ΧΥΤΑ με FEM.....	67
5.Αριθμητικές εφαρμογές.....	69
5.1 Υπολογιστικά προσομοιώματα	69
5.2 Παραδοχές στις ιδιότητες των υλικών.....	72
5.2.1 Στρώση βραχώδους εδαφικού σχηματισμού	72
5.2.2 Στρώση εδαφικού σχηματισμού	72
5.2.3 Απορριμματικό πρανές.....	72

5.3 Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων	73
5.4 Σεισμικές καταγραφές	74
5.5 Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων	77
5.6 Αποτελέσματα ψευδοστατικών αναλύσεων	103
6.Συμπεράσματα – προτάσεις	106
6.1 Εισαγωγή	106
6.2 Συμπεράσματα.....	106
6.3 Προτάσεις	107
A.Το λογισμικό Plaxis.....	108
A.1 Γενικά	108
A.2 Εισαγωγή Δεδομένων - Προεπεξεργασία	109
A.2.1 Γενικές ρυθμίσεις	109
A.2.2 Τύποι στοιχείων	110
A.2.3 Βαρύτητα και επιτάχυνση της βαρύτητας	111
A.2.4 Μονάδες.....	112
A.2.5 Διαστάσεις σχεδιασμού	112
A.2.6 Κάνναβος.....	112
A.2.7 Γεωμετρία προσομοιώματος	112
A.2.8 Φορτία και συνοριακές συνθήκες.....	114
Επιβαλλόμενες μετατοπίσεις	114
Μηδενικές μετατοπίσεις	114
Φορτίσεις.....	115
A.2.9 Ιδιότητες υλικών	115
Γραμμικά ελαστικό μοντέλο.....	116
Μοντέλο Mohr-Coulomb	117
Μέτρο ελαστικότητας του Young (E).....	117

Λόγος Poisson (ν)	118
Γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ)	119
Γωνία διασταλτικότητας (ψ)	120
Ξηρό και υγρό φαινόμενο βάρος (γ_{dry} και γ_{wet})	120
Διαπερατότητα (k_x και k_y)	120
A.2.10 Δημιουργία πλέγματος στοιχείων	121
Ολική πυκνότητα πλέγματος στοιχείων	121
Τοπική πυκνότητα δικτυώματος στοιχείων	122
A.2.11 Αρχικές συνθήκες	124
Υδρολογικές συνθήκες	124
Ειδικό βάρος νερού	125
Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα	125
Δημιουργία πίεσης νερού των πόρων	125
A.3 Ανάλυση	126
A.3.1 Ορίζοντας μια νέα φάση υπολογισμών	126
A.3.2 Γενικές ρυθμίσεις	127
Τύπος ανάλυσης	127
Φάση	127
Σχόλια και πληροφορίες	128
A.3.3 Τύποι υπολογισμών	128
Δυναμική ανάλυση (Dynamic Analysis)	128
Ανάλυση πλαστικής συμπεριφοράς του προτύπου (Plastic Analysis) ...	128
A.3.4 Παράμετροι υπολογισμών	129
Βήματα υπολογισμών	129
Μηδενισμός παραμορφώσεων	130
Αγνόηση μη στραγγιζόμενης συμπεριφοράς	130
Διαγραφή ενδιαμέσων σταδίων	130

Παράμετροι ελέγχου επαναληπτικής διαδικασίας.....	131
A.3.5 Εισαγωγή δεδομένων φόρτισης.....	132
Πολλαπλασιαστές φορτίων	133
Για κάθε στάδιο φόρτισης (incremental multipliers).....	133
Συνολικοί πολλαπλασιαστές (total multipliers).....	134
A.4 Πρόγραμμα εξαγωγής αποτελεσμάτων	135
Παραμορφωμένο δικτύωμα στοιχείων	135
Κατασκευές και διεπιφάνειες.....	136
Πίνακες αποτελεσμάτων	136
Πίνακες μετατοπίσεων και επιταχύνσεων	136
A.5 Πρόγραμμα Σχεδιασμού Καμπύλων.....	137
B.Βιβλιογραφία	139
A. Ελληνική βιβλιογραφία:	139
B. Ξένη βιβλιογραφία:	141

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Γεγονός είναι ότι για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας συνεισέφεραν αρκετά άτομα. Κατ' αχάς, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. **Ιωάννη Τσομπανάκη**, ο οποίος συνέβαλε στην περάτωση αυτής της εργασίας με τις υποδείξεις και τις συμβουλές που μου παρείχε. Επίσης, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, Αναπληρωτές Καθηγητές του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. **Καρατζά Γεώργιο** και κ. **Γιδαράκο Ευάγγελο**. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Πολιτικό Μηχανικό κ. **Πρόδρομο Ψαρρόπουλο**, καθώς και τον Μηχανικό Περιβάλλοντος κ. **Γιάννη Καραμπάτσο** για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Τους ευχαριστώ όλους θερμά

Εμμανουήλ Χρ. Γλαμπεδάκης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην εργασία αυτή γίνεται αριθμητική προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Εξετάστηκε επίσης, κατά πόσο οι εδαφικές συνθήκες και γενικώς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ΧΥΤΑ επηρεάζουν τη λειτουργία τέτοιων χώρων. Ο κύριος λόγος εκπόνησης της παρούσας εργασίας ήταν ότι στην χώρα μας ο αριθμός τέτοιων γεω-κατασκευών συνεχώς αυξάνεται, χωρίς όμως να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον αντισεισμικό τους σχεδιασμό, με αποτέλεσμα η σεισμική τους τρωτότητα να είναι ιδιαίτερα αυξημένη με ότι αυτό συνεπάγεται.

Η αριθμητική προσομοίωση των μοντέλων ΧΥΤΑ που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έγινε με χρήση κατάλληλου λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές, κατάλληλο για την επίλυση διδιάστατων προβλημάτων της γεωτεχνικής μηχανικής. Τα μοντέλα των ΧΥΤΑ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα μοντέλα ενός τυπικού υπέργειου και ενός υπόγειου ΧΥΤΑ. Ακόμη, ο ΧΥΤΑ της Άμφισσας αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης στην παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας διαπιστώνεται ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες καθορίζουν τη σεισμική διέγερση και τη σεισμική απόκριση των ΧΥΤΑ, και για το λόγο αυτό, επιβάλλεται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό τους. Επίσης, η γεωμετρία, οι μηχανικές ιδιότητες του υποβάθρου και των απορριμμάτων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο υπό στατικές όσο και υπό δυναμικές συνθήκες φόρτισης.

Συμπερασματικά, λοιπόν, κρίνεται ότι είναι αναγκαίο να μελετάται ο κάθε ΧΥΤΑ σαν ιδιαίτερη περίπτωση και όχι να χρησιμοποιούνται γενικευμένες και υπεραπλουστευμένες κανονιστικές διατάξεις, οι οποίες είναι πολύ πιθανόν να αποδειχθούν, εκ των υστέρων, ανεπαρκείς με καταστροφικές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

1

Περιβαλλοντικά θέματα

1.1 Εισαγωγή

Κάθε ανθρώπινη κοινωνία παράγει διαφόρων ειδών, κυρίως στερεά, απόβλητα. Η σωστή διαχείριση τους αποτελεί σημαντικό θέμα για την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και τη δημόσια υγεία. Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, το σύνολο των αποβλήτων κατέληγε ανεξέλεγκτα σε χωματερές χωρίς να τηρούνται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας για αποφυγή πιθανής περιβαλλοντικής ρύπανσης. Παλιά λατομεία, ορυχεία και φυσικές κοιλότητες, πολλές απ' αυτές σπάνιας φυσικής ομορφιάς, μετατρέπονταν σε χωματερές με μόνο κριτήριο ότι βρίσκονταν σε απομακρυσμένες θέσεις απ' τα αστικά κέντρα.

Με το πέρασμα των χρόνων οι ανεπτυγμένες κοινωνίες άρχισαν να ευαισθητοποιούνται περισσότερο σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος. Έτσι, με την βοήθεια της ολοένα και περισσότερο αναπτυσσόμενης σχετικής τεχνολογίας άρχισε -και θεωρείται πλέον επιβεβλημένη- η κατασκευή σύγχρονων χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Και σε αυτήν, βέβαια, την περίπτωση τα στερεά απόβλητα δεν εξαφανίζονται, αλλά μετατρέπονται με φυσικές και τεχνικές μεθόδους σε άλλη μορφή στερεών,

υγρών και αερίων αποβλήτων έτσι ώστε με την κατάλληλη επεξεργασία να μην προκαλούν ρύπανση στον αέρα, τον υδροφόρο ορίζοντα και το έδαφος.

Η κατασκευή τέτοιων μονάδων έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της ρύπανσης που προκαλείται από την ανεξέλεγκτη εναπόθεση των απορριμμάτων. Συνοπτικά, η ελεγχόμενη εναπόθεση αποβλήτων είναι η μέθοδος κατά την οποία τα στερεά απόβλητα τοποθετούνται σε στρώσεις, συμπιέζονται και καλύπτονται με κατάλληλα υλικά για πιθανή επαναχρησιμοποίηση της περιοχής για σκοπούς αναψυχής, κ.α. Είναι, λοιπόν, προφανής η αναγκαιότητα σωστού σχεδιασμού και υλοποίησης ενός τέτοιου έργου τόσο κατά τη χρήση του ως ΧΥΤΑ όσο και μετά το πέρας της λειτουργίας του.

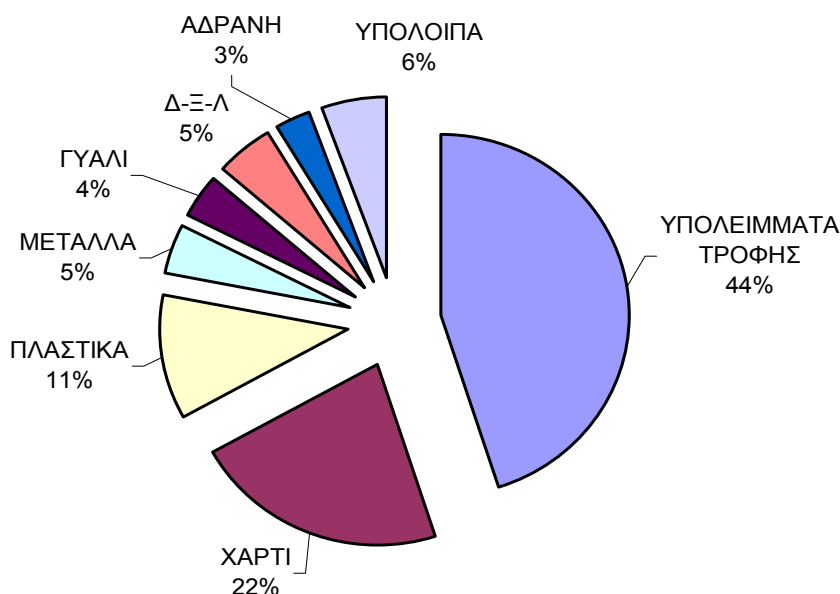
Προβλήματα όμως δημιουργούνται, πολλές φορές, από εξωτερικούς παράγοντες όπως σεισμούς, βροχοπτώσεις, κ.α. Για παράδειγμα, σεισμοί έχουν προξενήσει προβλήματα και αστοχίες σε ΧΥΤΑ επειδή, ενδεχομένως δεν είχαν ληφθεί υπόψη οι πιθανές σεισμικές καταπονήσεις στον σχεδιασμό τους. Στην καλύτερη περίπτωση, ακόμη και αν έγινε κάποιος αντισεισμικός έλεγχος βάσει των ισχύοντων κανονισμών θα ήταν πολύ προσεγγιστικός και το πιθανότερο ανεπαρκής για να προσδιορίσει την πραγματική συμπεριφορά του ΧΥΤΑ σε μια ισχυρή σεισμική δόνηση.

Έτσι, λοιπόν, είναι απαραίτητο να ερευνάται κατά πόσο μπορεί να επηρεάσει η σεισμική δραστηριότητα τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ και ποια μέτρα θα πρέπει αναγκαστικά να λαμβάνονται, ανεξαρτήτως κόστους, κατά τον σχεδιασμό τέτοιων μονάδων σε σειсмоγενείς περιοχές, όπως είναι το σύνολο του ελλαδικού χώρου. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι η μελέτη της σεισμικής απόκρισης ενός πολύπλοκου γεωτεχνικού έργου, όπως είναι ένας ΧΥΤΑ, δεν είναι καθόλου απλή, ούτε μπορεί να ληφθεί υπόψη με βάση κάποιες γενικεύσεις και ψευδοστατικές απλοποιητικές παραδοχές. Η καλύτερη αντιμετώπιση είναι η ενδελεχής ανάλυση κάθε έργου ξεχωριστά με χρήση εξελιγμένων αριθμητικών προσομοιωμάτων και κατάλληλων υπολογιστών μεθόδων δυναμικής ανάλυσης. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η παρούσα διπλωματική εργασία όπου μελετάται η χρονικά μεταβαλλόμενη δυναμική συμπεριφορά χαρακτηριστικών τύπων ΧΥΤΑ υπό διάφορες σεισμικές καταπονήσεις.

1.2 Σύνθεση στερεών αποβλήτων

Ως στερεά αστικά απόβλητα ορίζονται τα στερεά απόβλητα που παράγονται από οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός των ορίων μιας πόλης. Σε αυτά περιλαμβάνονται ζωικά και φυτικά υπολείμματα από την παρασκευή φαγητού, μπουκάλια, πλαστικά, εφημερίδες, κουτιά αλουμινίου και υλικά συσκευασίας. Αντίθετα, δεν περιλαμβάνονται υλικά όπως υπολείμματα οικοδομικών εργασιών, λάσπες προερχόμενες από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τέφρα προερχόμενη από καύση υλικών και απόβλητα βιομηχανικών διεργασιών, ακόμη κι αν τα συγκεκριμένα υλικά διατίθενται συχνά στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Οι κατά άτομο παραγόμενες ποσότητες στερεών αποβλήτων διαφοροποιούνται ανάλογα με το βιοτικό επίπεδο και τις διατροφικές συνήθειες του πληθυσμού, τη συχνότητα συλλογής των απορριμμάτων, τη χρήση σκουπιδοφάγων, την ανάπτυξη προγραμμάτων ανακύκλωσης, κ.α. Στην Ελλάδα, όπως και σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα στερεών αποβλήτων υπολογίζεται σε 1 kg αποβλήτων ανά άτομο. Αντίθετα στις Η.Π.Α. η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα των στερεών αποβλήτων ανά άτομο υπολογίζεται σε 2 kg.



Σχήμα 1.1: Ποσοστιαία σύσταση σκουπιδιών

Παράλληλα με την παραγόμενη ποσότητα των απορριμμάτων, διαφοροποίηση παρατηρείται από χώρα σε χώρα και ως προς τη σύσταση τους, αλλά και ως προς τις μεθόδους διαχείρισης που εφαρμόζονται. Με τον όρο σύσταση περιγράφονται τα συστατικά από τα οποία αποτελείται το ρεύμα των στερεών αποβλήτων και η σχετική κατανομή τους (% κατά βάρος). Η σύσταση των απορριμμάτων στην Ελλάδα παρουσιάζεται στο γράφημα 1.1, όπου ως Δ-Ξ-Λ χαρακτηρίζονται υλικά όπως υφάσματα, ξύλα, λάστιχα και δέρματα.

1.3 Κριτήρια επιλογής χώρων εναπόθεσης στερεών αποβλήτων

Είναι γνωστές οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι αρχές ενός κοινωνικού συνόλου στον καθορισμό των περιοχών που θα φιλοξενήσουν τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Αυτό οφείλεται στον σχετικά μικρό αριθμό διαθέσιμων χώρων σε κάθε περιοχή, στη μη ορθολογική διάθεση των αποβλήτων μέχρι σήμερα, στην αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση των κατοίκων και στο ότι πολλές φορές δεν υπάρχει ο σωστός σχεδιασμός χωροθέτησης τέτοιων έργων. Γι' αυτό, λοιπόν, ο προσδιορισμός τέτοιων χώρων πρέπει να συνοδεύεται από όλα εκείνα τα στοιχεία που αποδεικνύουν την καταλληλότητα των συγκεκριμένων θέσεων.

Τα κριτήρια, λοιπόν, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ, ώστε να μην υπάρχει άμεσος και μακροχρόνιος κίνδυνος για το περιβάλλον, διακρίνονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

- Περιβαλλοντικά.
- Γεωτεχνικά – Υδρογεωλογικά.
- Κοινωνικά.
- Οικονομικά.

1.3.1 Περιβαλλοντικά κριτήρια

Κατ' αρχάς, θα πρέπει να καθοριστεί η ποιότητα και η ποσότητα των στερεών αποβλήτων για να μπορούν να προσδιοριστούν οι αέριες εκπομπές, τα

προϊόντα διήθησης και οι οσμές που εκλύονται κατά τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ. Αμέσως μετά τη διάθεση των απορριμμάτων αρχίζει η φάση της οξείδωσης, η οποία προκαλεί την εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων λιπαρών οξέων. Τα τελευταία, με το πέρασμα του χρόνου, μετασχηματίζονται και έτσι ξεκινά η παραγωγή μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα, κορεσμένων και αλκοφατικών υδρογονανθράκων καθώς και κάποιων οργανικών στοιχείων. Οι ΧΥΤΑ συνεισφέρουν σημαντικά στην παγκόσμια παραγωγή μεθανίου, αλλά συγχρόνως η ύπαρξη τους σε συνάρτηση με την εξάλειψη των χωματερών, συντελεί στη μείωση της παραγωγής του.

Όσον αφορά τα προϊόντα διήθησης, αυτά είναι αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων και του φαινομένου της εξάτμισης. Οργανικός άνθρακας, αμμωνία, χλώριο, σίδηρο, κάλιο, νάτριο υδρογονάνθρακες καθώς και μικρή ποσότητα βαρέων μετάλλων περιέχονται στα προϊόντα διήθησης. Ακόμη, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο θόρυβος που αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα στη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ. Αυτός προέρχεται τόσο από την κυκλοφορία των απορριμματοφόρων κατά τη διάρκεια μεταφοράς των απορριμμάτων, όσο και από τα διάφορα μηχανήματα (π.χ. συμπιεστές, ερπυστριοφόροι προωθητήρες) που λειτουργούν εντός των ΧΥΤΑ. Σε μερικές περιπτώσεις η παρουσία πτηνών (π.χ. γλάρων) που προσελκύονται από τις οσμές και τα σκουπίδια, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία έντονων πρόσθετων θορύβων. Τέλος, σε ΧΥΤΑ προσελκύονται τρωκτικά ζώα και έντομα, γεγονός που αποτελεί για τη δημόσια υγεία των γύρω περιοχών.

1.3.2 Γεωτεχνικά – υδρογεωλογικά κριτήρια

Τα στοιχεία που επιβάλλεται να μελετηθούν είναι η γεωλογική δομή της περιοχής, η κλίση, το πάχος και η διαπερατότητα των στρωμάτων, τα ρήγματα, η σεισμικότητα, η παρουσία υδροφορέων, καθώς και τα καιρικά φαινόμενα της περιοχής. Η σύνθεση και η ποιότητα του υπεδάφους διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο για την επιλογή της θέσης ενός ΧΥΤΑ. Η παρουσία ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε μικρά βάθη καθώς και η παρουσία ρηγμάτων δεν είναι ευνοϊκή για την κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας, λόγω της πιθανής καρστικοποίησης τους αλλά και των πιθανών μεγάλων μετακινήσεων σε περίπτωση σεισμού. Άμεσα συνδεδεμένα με τα παραπάνω είναι η

διαπερατότητα του εδάφους, η οποία επηρεάζει την δυνατότητα διαφυγής των ρύπων προς τους γύρω υδροφορείς. Είναι, βέβαια, προφανές ότι εδάφη μικρής διαπερατότητας προτιμώνται για την κατασκευή ΧΥΤΑ. Επίσης, η παρουσία υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος από τη επιφάνεια οδηγεί σε αποκλεισμό της περιοχής λόγω της πιθανής ρύπανσης σε περίπτωση αστοχίας του έργου.

Επίσης, είναι γενικά προτιμητέες περιοχές με μικρές κλίσεις των φυσικών πρανών. Οι μεγάλες κλίσεις εδάφους μπορεί να δημιουργήσουν επέκταση της ρύπανσης μέσω της ανεξέλεγκτης επιφανειακής απορροής των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Γενικότερα, η εμφάνιση έντονων βροχοπτώσεων σε μια περιοχή μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα στη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ. Σχετική περίπτωση εκτεταμένης αστοχίας λόγω βροχοπτώσεων είναι η περίπτωση του ΧΥΤΑ στο Payatas στις Φιλιππίνες.



Σχήμα 1.2: Κατολίσθηση πρανού ΧΥΤΑ στις Φιλιππίνες λόγω βροχοπτώσεων

Τέλος, η σεισμικότητα της περιοχής πρέπει να αποτελεί βασικότατο κριτήριο στην χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ κάτι που, δυστυχώς, δεν ήταν και ούτε είναι πάντα πάγια πρακτική. Μεγάλος δείκτης σεισμικότητας συνεπάγεται συχνή σεισμική δραστηριότητα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην αστοχία του έργου. Σε μια τέτοια περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί τόσο διαρροή επικίνδυνων στραγγισμάτων, όσο και εκρήξεις ή πυρκαγιές από την διαρροή επικίνδυνων αερίων.

1.3.3 Κοινωνικά κριτήρια

Η περιοχή και ο χώρος που θα επιλεγεί για τη χωροθέτηση ενός τέτοιου έργου θα πρέπει να βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές, αεροδρόμια, καλλιέργειες, φάρμες ζώων, βιομηχανίες, αρχαιολογικούς χώρους καθώς και τουριστικές περιοχές. Τόσο ο θόρυβος, όσο και οι πιθανές διαρροές επικίνδυνων στραγγισμάτων και αερίων είναι παράγοντες που είναι ικανοί να προκαλέσουν σοβαρές δυσλειτουργίες σε ένα κοινωνικό σύνολο. Επίσης η ύπαρξη χιλιάδων πτηνών σε ΧΥΤΑ, όπως συνήθως συμβαίνει, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στις απογειώσεις και προσγειώσεις σε αεροδρόμια καθώς τα διάφορα πτηνά μπλέκονται στις μηχανές των αεροπλάνων.

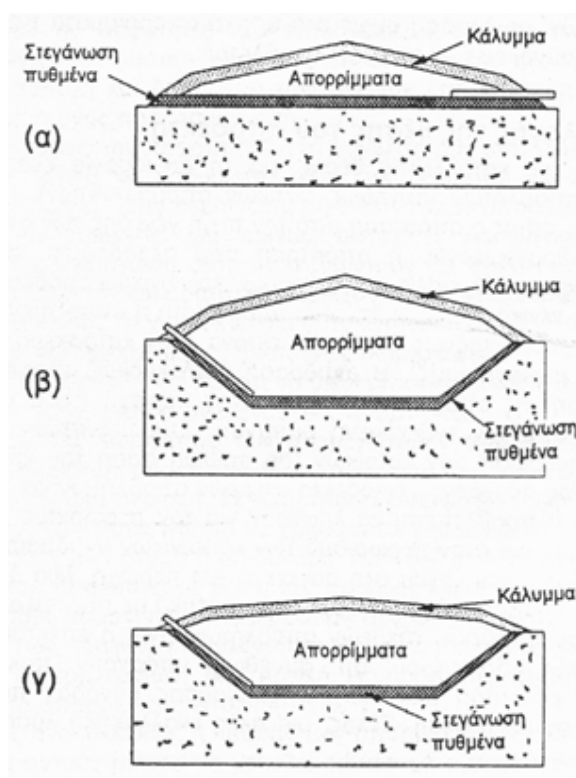
1.3.4 Οικονομικά κριτήρια

Τα κριτήρια αυτά αφορούν τα διάφορα έξοδα για την κατασκευή, την οργάνωση λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ αλλά και το κόστος επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων. Η διαθεσιμότητα του εξεταζόμενου χώρου, σε συνδυασμό με το κόστος κατασκευής και λειτουργίας, έχει υψίστη σημασία στην επιλογή του κατάλληλου χώρου. Προφανώς η διαθεσιμότητα του χώρου εξαρτάται από το ιδιοκτησιακό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή, το οποίο και καθορίζει την αξία της γης. Οι μικρές και λογικές αποστάσεις από τα κέντρα μεταφόρτωσης είναι επιθυμητές, χωρίς φυσικά να παραβιάζονται τα άλλα κριτήρια που προαναφέρθηκαν. Σε αυτήν την περίπτωση ελαχιστοποιείται το κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων και γίνεται ταχύτερη η πρόσβαση στον ΧΥΤΑ.

Τέλος, οι ανάγκες ενός ή περισσότερων δήμων όσο και η προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου θα πρέπει να καθορίζουν την επιφάνεια και τον όγκο του χώρου ώστε να είναι εφικτή η απόσβεση του κόστους από τους εμπλεκόμενους φορείς που χρηματοδοτούν την κατασκευή και λειτουργία του ΧΥΤΑ. Δεν είναι τυχαίο ότι στις ΗΠΑ οι ΧΥΤΑ αποτελούν μια πολύ προσοδοφόρα επιχειρηματική δραστηριότητα.

1.4 Τυπικές μορφές ΧΥΤΑ

Ένας ΧΥΤΑ είναι μια πολύπλοκη κατασκευή, η οποία συνήθως λαμβάνει σταδιακά την τελική της μορφή μετά από πολυετή λειτουργία. Ένας ΧΥΤΑ μπορεί να είναι υπέργειος, ημι-υπόγειος ή ακόμη και υπόγειος. Χαρακτηριστικές τομές παρατίθενται στο σχήμα 1.3. Γενικά, η απόθεση των σκουπιδιών γίνεται σε στρώσεις, μέσου πάχους 5 m περίπου, οι οποίες συνήθως καλύπτονται με ενδιάμεσες στρώσεις αργιλικών υλικών. Αυτό γίνεται για να περιοριστούν στο ελάχιστο οι αναθυμιάσεις, ο κίνδυνος αυτοανάφλεξης και η κατείσδυση των υδάτων από τις βροχοπτώσεις.



Σχήμα 1.3: Τυπικές διατάξεις ΧΥΤΑ: (α) υπέργειος (β) ημι-υπόγειος (γ) υπόγειος

Οι υπέργειοι ΧΥΤΑ προτιμώνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και συνεπώς οποιαδήποτε εκσκαφή θα μειώσει το πάχος της εδαφικής στρώσης μεταξύ του πυθμένα του έργου και της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Ακόμη, σε υπέργειες κατασκευές τα στραγγίσματα καταλήγουν στον πυθμένα και απομακρύνονται χωρίς καμία περαιτέρω διεργασία (π.χ. άντληση).

Επίσης, η κατασκευή της στεγανωτικής στρώσης στον πυθμένα του ΧΥΤΑ είναι περισσότερο ευχερής καθώς κατασκευάζεται στη διαμορφωμένη επιφάνεια του εδάφους.



(α)



Σχήμα 1.4: Κατασκευή ΧΥΤΑ σε: (α) πλαγιά, (β) κοιλάδα

Αντιθέτως, οι ημι-υπόγειοι και οι υπόγειοι ΧΥΤΑ πλεονεκτούν ως προς την χωρητικότητα και επιπλέον τα αργιλικά υλικά των εκσκαφών μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως υλικά για τις ενδιάμεσες στρώσεις μεταξύ των σκουπιδιών. Επίσης, έχουν το πλεονέκτημα ότι η περιοχή μπορεί να επιπεδωθεί μετά την πλήρωση της και να ξαναχρησιμοποιηθεί χωρίς να

επηρεάζεται από την καλυμμένη πλέον κυψέλη των σκουπιδιών, εφόσον έχουν φυσικά τηρηθεί όλα τα αναγκαία μέτρα (στεγανώσεων, κλπ).

Συνήθως, η μορφή του ΧΥΤΑ εξαρτάται από το τοπογραφικό ανάγλυφο της κάθε περιοχής. Για παράδειγμα, υπάρχει πιθανότητα η μονάδα υγειονομικής ταφής απορριμμάτων να κατασκευαστεί σε μια φυσική κοιλότητα ή σε κάποιο εγκατελειμένο ορυχείο, αφού ερευνηθεί αν τηρεί τις προϋποθέσεις που προαναφέρθηκαν. Έτσι, το κόστος των εκσκαφών ελαχιστοποιείται και η μονάδα, στην τελική της φάση, γίνεται μέρος του φυσικού περιβάλλοντος καθώς δεν δημιουργεί οπτική υποβάθμιση της υφιστάμενης περιοχής. Το ανάγλυφο του ελλαδικού χώρου επιτρέπει την κατασκευή μονάδων σε κοιλάδες ή πλαγιές λόφων και βουνών (σχετικά παραδείγματα παρουσιάζονται στο σχήμα 1.4).

1.5 Κατασκευαστικά στοιχεία

Οι σύγχρονοι χώροι εναπόθεσης στερεών αποβλήτων για να έχουν ασφαλή λειτουργία πρέπει να διαθέτουν:

- 1) Στεγνωτική στρώση στον πυθμένα και τα περιμετρικά πρηνή.
- 2) Σύστημα συλλογής και απομάκρυνσης των παραγόμενων στραγγισμάτων.
- 3) Σύστημα συλλογής και ελεγχόμενης απομάκρυνσης του βιοαερίου
- 4) Μελέτη για πλήρη αποκατάσταση μετά την πλήρωση της χωρητικότητας.

Παρακάτω αναλύονται λεπτομερώς τα ανωτέρω και δίνονται γενικές λεπτομέρειες για τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός σύγχρονου αποδέκτη απορριμμάτων.

1.5.1 Στεγάνωση πυθμένα και πρηνών

Η μόνωση της βάσης ενός ΧΥΤΑ γίνεται με στρώσεις συμπυκνωμένης αργίλου και με συνθετικές μεμβράνες. Τα αργιλικά υλικά όταν συμπυκνωθούν με κατάλληλη υγρασία αποκτούν μικρή διαπερατότητα και μπορούν να λειτουργήσουν ως στεγανωτικές μεμβράνες. Κατά τις επιτόπου εργασίες

συμπύκνωσης θα πρέπει να δίνεται προσοχή στη σύνθεση του μείγματος, το οποίο δεν πρέπει να περιέχει περισσότερο από 30% χάλικες. Επιπροσθέτως, η διάμετρος των κόκκων πρέπει να είναι μεταξύ 25 και 50 mm. Πολλές φορές, η παρουσία υψηλού ποσοστού χάλικων μπορεί να δημιουργήσει κενά στο μείγμα, γεγονός που αυξάνει τη διαπερατότητα του.

Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η παρατεταμένη έκθεση της αργιλικής στρώσης σε ηλιακή ακτινοβολία πριν τη χρησιμοποίησή της, για να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ρηγμάτωσης της (λόγω της ξηρασίας). Σε περιοχές που έχουν χαμηλές θερμοκρασίες υπάρχει περίπτωση παρατήρησης βλαβών της αργιλικής στρώσης λόγω παγετού. Τέλος, τα υγρά στραγγίσματα είναι ικανά να επηρεάσουν τη συμπυκνωμένη αργιλική στρώση και να μεταβάλλουν τις ιδιότητες της. Γι' αυτό, άλλωστε, είναι αναγκαία η εκτέλεση ειδικών δοκιμών συμβατότητας για να είναι γνωστή εκ των προτέρων η επιρροή των μελλοντικών στραγγισμάτων των απορριμμάτων στα αργιλικά υλικά.



Σχήμα 1.5: Τοποθέτηση αργιλικών υλικών και γεωμεμβρανών

Η κλίση των αργιλικών στρώσεων είναι αναγκαίο να ακολουθεί πάντα την κλίση του εδάφους. Κατά συνέπεια, στα πρανή πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε η διεπιφάνεια μεταξύ των επάλληλων στρώσεων να έχει κλίση προς το εσωτερικό του αποδέκτη. Έτσι, αποφεύγονται οι διαφυγές του υγρού στραγγίσματος από τα πρανή αφού συγκεντρώνονται στον πυθμένα του αποδέκτη, απ' όπου και συλλέγεται με κατάλληλες διατάξεις.

Επειδή μέχρι και σήμερα δεν είναι πλήρως εξακριβωμένο αν αυτές οι αργιλικές στρώσεις είναι σε θέση να στεγανώσουν πλήρως έναν ΧΥΤΑ, για

περισσότερη ασφάλεια, χρησιμοποιούνται επιπλέον, και σύνθετες στεγανωτικές μεμβράνες. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες πολυμερών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωμεμβρανών:

- i) τα θερμοσκληρυνόμενα ελαστομερή,
- ii) τα βιτεμενιούχα (ασφαλτικά) πολυμερή,
- iii) τα θερμοπλαστικά πολυμερή.



Σχήμα 1.6: Τοποθέτηση γεωμεμβρανών

Τα θερμοπλαστικά είναι τα πιο δημοφιλή γιατί έχουν την ιδιότητα να μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση εφόσον ψυχθούν. Είναι προφανές, ότι αυτή η ιδιότητα τους έχει ως αποτέλεσμα την τέλεια συρραφή των φύλλων της μεμβράνης, καθώς λόγω της μεγάλης έκτασης της επιφάνειας που καλύπτεται σε έναν ΧΥΤΑ είναι απαραίτητη η ύπαρξη ραφών.

Γενικά, οι κάθε είδους μεμβράνες μπορούν να επιτύχουν πλήρη μόνωση, όμως είναι ευαίσθητες τόσο σε διάτρηση από τα αιχμηρά αντικείμενα όσο και στην υπεριώδη ακτινοβολία. Οπότε, ούτως ή άλλως, πρέπει να καλύπτονται από μικρού πάχους αργιλική στρώση. Επίσης, σε περίπτωση κατασκευής του ΧΥΤΑ σε περιοχή όπου η μόνιμη στάθμη του υπογείου ορίζοντα είναι υψηλότερη από την στάθμη του πυθμένα του αποδέκτη, η στεγανωτική μεμβράνη πρέπει να ελέγχεται έναντι υδροστατικής ανύψωσης. Συνήθως τοποθετούνται δυο στρώσεις μεμβρανών για περισσότερη ασφάλεια και το ενδιάμεσο κενό πληρώνεται με αργιλικά υλικά. Τέλος, παρόλο που οι μεμβράνες έχουν μεγάλη ελαστικότητα, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος καταστροφής τους - και κατά συνέπεια αστοχίας του ΧΥΤΑ - από

μετακινήσεις του εδάφους (λόγω διαφορικών καθιζήσεων, βροχοπτώσεων, σεισμικών μετακινήσεων, κ.α.). Γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα προστασίας τους.

1.5.2 Σύστημα συλλογής και απομάκρυνσης στραγγίσματος

Κατά τις χημικές αντιδράσεις αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών παράγεται υγρό στράγγισμα με σημαντικό ρυπαντικό φορτίο. Σε συνδυασμό με την φυσική υγρασία των απορριμμάτων και την εισροή επιφανειακών υδάτων που προέρχονται από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις προκαλείται συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων υγρών στραγγισμάτων στον πυθμένα ενός ΧΥΤΑ.

Η ζώνη αποστράγγισης τοποθετείται πάνω από τη μόνωση και κάτω από τα στερεά απόβλητα. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι χάλικες, οι οποίες απαιτούν ειδική επεξεργασία προτού χρησιμοποιηθούν. Στην ανώτερη επιφάνεια τους φέρουν στρώση από άμμο με σκοπό την προστασία της υποκείμενης στρώσης στράγγισης από ογκώδη και αιχμηρά αντικείμενα αλλά



Σχήμα 1.7: Τυπική μορφή αγωγού συλλογής στραγγισμάτων

και την κατακράτηση στερεών κόκκων που αιωρούνται εντός του στραγγίσματος. Κατά διαστήματα, εντός της στρώσης στράγγισης τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες (βλέπε σχήμα 1.7) για την ταχεία συλλογή και αποστράγγιση των παραγόμενων υγρών. Οι σωλήνες αυτοί καταλήγουν

σε φρεάτια, απ' όπου το στραγγίσμα απομακρύνεται είτε με φυσική ροή, είτε με άντληση.

Το προαναφερθέν σύστημα είναι το κύριο σύστημα συλλογής του στραγγίσματος. Το δευτερεύον σύστημα συλλογής αποτελείται από μία στρώση άμμου και τοποθετείται συνήθως μεταξύ των δυο μεμβρανών. Όπως στο πρωτεύον έτσι και στο δευτερεύον σύστημα προβλέπεται συλλογή πιθανών διαρροών του στραγγίσματος μέσω σωλήνων, φρεατίων, κλπ. Έτσι μπορεί εύκολα να εντοπιστεί η θέση και το μέγεθος των διαρροών των στραγγισμάτων και να αποφευχθούν ανεξέλεγκτες και επικίνδυνες διαφυγές.

Ένα από τα κυριότερα θέματα για την εύρυθμη και απρόσκοπτη λειτουργία των παραπάνω συστημάτων είναι η αποφυγή της έμφραξης τους κατά τη λειτουργία του ΧΥΤΑ. Η έμφραξη του συστήματος μπορεί να συμβεί είτε με συγκράτηση των στερεών ουσιών του στραγγίσματος στους πόρους της στρώσης αποστράγγισης, οπότε μειώνεται το πορώδες της, είτε από την προσρόφηση ρύπων στην επιφάνεια των κόκκων της στρώσης αποστράγγισης. Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων, τα υλικά της στρώσης στράγγισης πρέπει να είναι χονδρόκοκκα (βλέπε σχήμα 1.8) και η διαπερατότητα τους να είναι υψηλή, καθώς και να υπάρχει σύστημα φιλτραρίσματος στην ανώτερη επιφάνεια της στρώσης στράγγισης.



Σχήμα 1.8: Τοποθετημένος αγωγός συλλογής στραγγισμάτων

Τέλος, ανάλογα με την ποιοτική σύσταση των στραγγισμάτων, αυτά είναι δυνατόν είτε να επανακυκλοφορούν στον όγκο των αποτιθέμενων απορριμμάτων, είτε να αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία. Με την ανακυκλοφορία των στραγγισμάτων επιτυγχάνεται ταχύτερη βιοαποικοδόμηση των απορριμμάτων. Αν όμως αυτό δεν μπορεί να γίνει

λόγω της σύστασης τους τότε με το κατάλληλο σύστημα βιολογικού καθαρισμού γίνεται η επεξεργασία τους και στη συνέχεια διατίθενται για άρδευση των γύρω περιοχών.

1.5.3 Σύστημα συλλογής και ελεγχόμενης επεξεργασίας βιοαερίου

Κατά την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών παράγονται σημαντικές ποσότητες βιοαερίου. Κατά την αερόβια αποσύνθεση των σκουπιδιών παράγεται κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, ενώ κατά την αναερόβια αποσύνθεση παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το τελευταίο είναι βαρύτερο απ' τον αέρα με αποτέλεσμα να κινείται προς τον πυθμένα του αποδέκτη απορριμμάτων, όπου διαλύεται εντός του υγρού στραγγίσματος.

Αντίθετα, το μεθάνιο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και κινείται προς την επιφάνεια των απορριμμάτων και τελικώς εγκλωβίζεται κάτω από τις στρώσεις κάλυψης. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός συστήματος το οποίο θα συλλέγει το παραγόμενο βιοαέριο. Στις μέρες μας, ανάλογα με το μέγεθος του ΧΥΤΑ, χρησιμοποιείται είτε παθητικό είτε ενεργητικό σύστημα συλλογής βιοαερίου.

Τα συστήματα παθητικής απαγωγής αποτελούνται από απλούς αγωγούς εξερισμού που τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία των στρώσεων κάλυψης. Η συλλογή και η μεταφορά του βιοαερίου πραγματοποιείται με τη δική του πίεση. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε ΧΥΤΑ χωρητικότητας μέχρι 4000 m³, όπου εκλύονται μικρές ποσότητες βιοαερίου. Τα συστήματα ενεργητικής απορρόφησης αποτελούνται από διάτρητους σωλήνες που είναι τοποθετημένες σε βαθιές γεωτρήσεις. Οι κεφαλές των σωλήνων είναι συνδεδεμένες με οριζόντιους αγωγούς που καταλήγουν σε αντλητικό συγκρότημα που λειτουργεί με υποπίεση. Έτσι, το βιοαέριο αντλείται και μεταφέρεται είτε σε σύστημα απλής καύσης είτε σε μονάδες παραγωγής ενέργειας.

1.5.4 Σύστημα τελικής κάλυψης

Σκοπός του συστήματος της τελικής κάλυψης είναι η αποτροπή οποιοδήποτε αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και στον άνθρωπο από στερεά, υγρά και αέρια απόβλητα μιας μονάδας ελεγχόμενης εναπόθεσης απορριμμάτων. Η

τελική επικάλυψη του ΧΥΤΑ πρέπει να εξασφαλίζει πλήρη μόνωση του εσωτερικού του κελύφους με το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και την αισθητική αποκατάσταση της περιοχής του ΧΥΤΑ.

Τα υλικά κάλυψης αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι στην φάση κατασκευής ενός ΧΥΤΑ καθώς σχετίζονται με την προστασία και την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Είναι αντιληπτό ότι η πρώτη αλλά και πολλές φορές η ανώτερη στρώση του χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων επιβάλλεται να είναι στεγανές ώστε οι κυψέλες των εναποθετημένων αποβλήτων να είναι ανεξάρτητες από το γύρω φυσικό περιβάλλον.

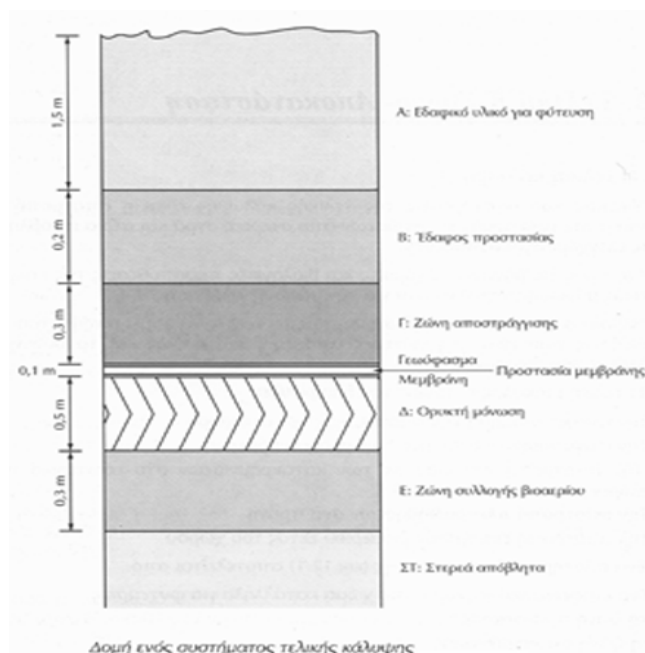
Μέχρι λίγα χρόνια πριν τα υλικά κάλυψης ήταν μεγάλες και παχύς στρώσεις από συμπιεσμένα ή βελτιωμένα αργιλικά υλικά. Η συμπίεση προσέφερε σχετικά μεγάλη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους, οπότε κατά αυτόν τον τρόπο, ο ΧΥΤΑ ήταν πλήρως μονωμένος. Παράλληλα, στην επιφάνεια αυτής της στρώσης αναπτυσσόταν ελεγχόμενη βλάστηση με αποτέλεσμα, πολλές φορές, ο επισκέπτης να αδυνατεί να εντοπίσει την ύπαρξη του ΧΥΤΑ σε βάθος λίγων, μόλις, μέτρων. Σε μη σεισμογενείς περιοχές, η παραπάνω κατασκευή είναι απλή καθώς δεν μας ενδιαφέρει η συμπεριφορά της σε κάποιες ενδεχόμενες σεισμικές δονήσεις.

Στις Η.Π.Α., κατεγράφησαν υποχωρήσεις και κατολισθήσεις της ανώτερης στρώσης εξαιτίας της φόρτισης που προήλθε από σεισμούς. Οι μελετητές μηχανικοί άρχισαν να προβληματίζονται προσπαθώντας να βρουν τη βέλτιστη λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται πλέον υλικά που αντέχουν ενδεχόμενη σεισμική φόρτιση, χωρίς βέβαια αυτό να αποτρέψει την συνέχιση της έρευνας για την εξεύρεση καλύτερων λύσεων. Εξάλλου με το να μειώνεται το πάχος της αργιλικής στρώσης μειώνεται και η αποτελεσματικότητα της μόνωσης. Οπότε πλέον κρίθηκε απαραίτητη η χρησιμοποίηση κατάλληλων γεωμεμβρανών στη διεπιφάνεια μεταξύ των εναποθετημένων απορριμμάτων και των υλικών κάλυψης για την καλύτερη στεγάνωση του ΧΥΤΑ.



Σχήμα 1.9: Διαμορφωμένος ΧΥΤΑ

Πριν την τοποθέτηση της τελικής κάλυψης πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο τελευταίο στρώμα των στερεών αποβλήτων. Επιβάλλεται η κατασκευή ζώνη συλλογής βιοαερίου και μιας ζώνης αργιλικής μόνωσης πάνω από τα στερεά απόβλητα. Η δομή ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 1.10.



Σχήμα 1.10: Δομή συστήματος τελικής κάλυψης

Ο σχεδιασμός της αποκατάστασης είναι αναγκαίο να στηρίζεται στα χαρακτηριστικά της περιοχής και του ανάγλυφου της, την προστασία των βιοτόπων και της γεωργίας. Επικίνδυνα αέρια και στραγγίσματα, για πολλά χρόνια μετά το τέλος της εναπόθεσης απορριμμάτων στον ΧΥΤΑ μπορούν να έχουν αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Συνεπώς η “επανένταξη” του ΧΥΤΑ στην περιοχή επιβάλλει την προσεκτική και συνεχή παρακολούθηση των παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα και την ποσότητα των πιθανών αερίων και υγρών εκλύσεων που παράγει ο ΧΥΤΑ, οι οποίες σε κάθε περίπτωση πρέπει να είναι ελεγχόμενες.

1.6 Προβλήματα κατά τη λειτουργία ενός ΧΥΤΑ

Παρόλο που οι σύγχρονοι ΧΥΤΑ σχεδιάζονται έχοντας ως πρωταρχικό στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, πολλές φορές δημιουργούν προβλήματα τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στη δημόσια υγεία. Κάποιος λάθος υπολογισμός κατά τον σχεδιασμό ή ακόμη και κάποιο κατασκευαστικό λάθος μπορεί να προξενήσει σοβαρές βλάβες στο περιβάλλον. Σ’ αυτό συντελούν τόσο οι ανεξέλεγκτες διαφυγές αερίων και στραγγισμάτων, όσο και οι οσμές ή ο θόρυβος που δημιουργούνται από την λειτουργία ενός ΧΥΤΑ. Από τα παραγόμενα αέρια δύναται να προκληθούν πυρκαγιές, εκρήξεις και οσμές. Οι οσμές γίνονται περισσότερο αντιληπτές κατά την διάρκεια θερμοκρασιακών αναστροφών. Επίσης τα αέρια αυτά μπορεί να είναι ακόμα και καρκινογόνα για τον άνθρωπο.

Από την άλλη πλευρά, τα στραγγίσματα που τυχόν διαρρέουν προκαλούν μολύνσεις στους παρακείμενους υδροφορείς και καλλιέργειες με αποτέλεσμα να απειλείται άμεσα η δημόσια υγεία. Οι υγροί ρύποι μεταφέρονται με μεγάλες ταχύτητες, είτε με διάλυση είτε με αιώρηση, εντός των εδαφικών πόρων βάσει των ακόλουθων τριών μηχανισμών:

1) Μεταγωγή: Οι ρύποι παρασύρονται από το υπόγειο νερό κατά την κίνηση του διαμέσου των πόρων λόγω υδραυλικής κλίσης (δηλαδή από περιοχές υψηλής ενέργειας προς περιοχές χαμηλής ενέργειας). Κατά τη μεταγωγή η συγκέντρωση του ρύπου σε μια συγκεκριμένη θέση μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς από τη θέση αυτή διέρχονται συνεχώς νέα μόρια

νερού στα οποία η συγκέντρωση του ρύπου γενικώς διαφέρει. Αντίθετα κατά τη μεταγωγή η συγκέντρωση του ρύπου σε κάποιον συγκεκριμένο όγκο νερού δεν μεταβάλλεται καθώς ο όγκος αυτός μετακινείται παρακολουθώντας την ροή, λόγω της αρχής διατηρήσεως της μάζας του ρύπου εντός του όγκου. Τέλος, αν δεν υπάρχει ροή του υπογείου νερού, η μεταγωγή δεν προκαλεί μεταφορά του ρύπου από θέση σε θέση.

2) Διάχυση: Οι ρύποι διαχέονται εντός του υπογείου νερού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης τους. Πιο συγκεκριμένα, μετακινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης, μέχρι τελικώς οι συγκεντρώσεις να εξισωθούν. Σύμφωνα με αυτόν τον μηχανισμό, η διάχυση του ρύπου δεν εξαρτάται από την κίνηση του νερού και συνεπώς διάχυση συμβαίνει ακόμα και στην περίπτωση που το νερό των πόρων βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας.

3) Διασπορά: Η κίνηση των ρύπων οφείλεται στην παρουσία αλληλοσυνδεόμενων πόρων του εδαφικού σκελετού με τυχαίες διευθύνσεις και σχήματα. Έτσι στην μικροκλίμακα των εδαφικών πόρων η ταχύτητα κίνησης του νερού εντός των πόρων μεταβάλλεται ακανόνιστα με αποτέλεσμα να αποκλίνει σημαντικά από τη μέση ταχύτητα της υπόγειας ροής. Αυτό έχει ως συνέπεια οι ρύποι που παρασύρονται να διασπείρονται τόσο κατά μήκος, όσο και εγκάρσια προς τη μέση διεύθυνση της κίνησης του υπογείου νερού. Όπως η διάχυση έτσι και η διασπορά εξαρτάται από τη διαφορά συγκέντρωσης από θέση σε θέση και λαμβάνει χώρα από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης προς περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης.

Επίσης, η δημόσια υγεία απειλείται από την παρουσία εντόμων και τρωκτικών που κατοικούν σε έναν ΧΥΤΑ. Μύγες, κουνούπια και ποντίκια είναι πολλές φορές η αιτία για τη μετάδοση επικίνδυνων ασθενειών για τον άνθρωπο (π.χ. σαλμονέλα, στρεπτόκοκκος, κ.α), καθώς τέτοια μικρόβια αναπτύσσονται ευκολότερα έχοντας ως υπόβαθρο το οργανικό φορτίο που υπάρχει στους ΧΥΤΑ.

Τέλος, κατά τη διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ μπορούν να προκληθούν εργατικά ατυχήματα, ακόμα και να χαθούν ανθρώπινες ζωές. Τα ατυχήματα αυτά συνήθως οφείλονται σε πτώσεις, ανατροπές, καθώς και

συγκρούσεις οχημάτων, εισπνοές επικίνδυνων αερίων και τέλος από κάποια μεταδιδόμενη ασθένεια που μπορεί να προκύψει στους εργαζόμενους στον χώρο εναπόθεσης.

2

Σεισμολογικά Στοιχεία

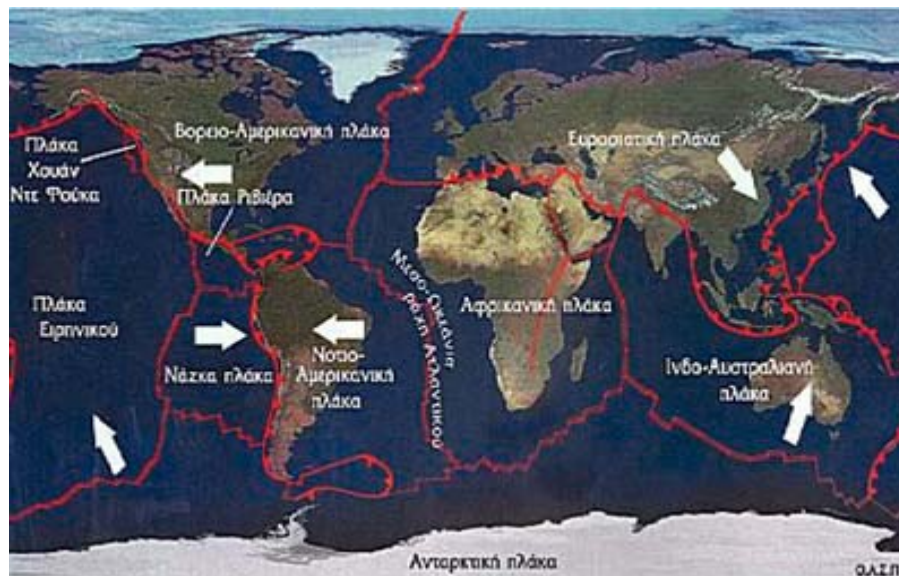
2.1 Ορισμός, γένεση σεισμών

Σεισμός είναι μια απότομη κίνηση ή δόνηση του στερεού φλοιού της γης. Συνήθως προέρχεται από τη διάρρηξη ή την απότομη μετατόπιση γεωλογικών στρωμάτων κάτω από την επιφάνεια της γης. Η θεωρία που περιγράφει πιο ολοκληρωμένα την σεισμική δραστηριότητα είναι η θεωρία της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών. Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, οι σεισμοί δημιουργούνται στη λιθόσφαιρα και εντοπίζονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Η λιθόσφαιρα χωρίζεται σε επτά πολύ μεγάλες πλάκες, αλλά υπάρχει κι ένα πλήθος άλλων μικρότερων πλακών (π.χ. στην περιοχή του Αιγαίου υπάρχουν πολλές μικρές πλάκες).

Οι πλάκες επιπλέουν στην πλαστική ασθενόσφαιρα. Στα όρια μεταξύ των πλακών μπορεί να συμβούν τριών ειδών κινήσεις, οι οποίες είναι οι εξής:

1) Δημιουργία (επέκταση) πλάκας: Σε μέσο-ωκεάνια ρήγματα οι πλάκες απομακρύνονται (κατά μερικά cm/year) και στις περιοχές αποκόλλησης λιωμένα πετρώματα αναδύονται και δημιουργούν νέο ωκεάνιο δάπεδο στις δύο πλευρές του ρήγματος. Στο όριο αυτό δημιουργείται από το αναδύόμενο πέτρωμα μια μέσο-ωκεάνια ράχη (οροσειρά). Καθώς ψύχεται το νέο πέτρωμα

τα μαγνητικά του υλικά προσανατολίζονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του γήϊνου μαγνητικού πεδίου την εποχή εκείνη. Καθώς το γεωμαγνητικό πεδίο αλλάζει φορά κάθε ένα εκατομμύριο έτη στην άκρη της ράχης παρατηρούνται στρώματα με εναλλασσόμενη μαγνήτιση.



Σχήμα 2.1: Λιθοσφαιρικές πλάκες

2) Καταστροφή πλάκας (λόγω καταβύθισης μέρους της): Σε αυτήν την περίπτωση μία πλάκα γλιστρά κάτω από μία άλλη και λιώνει καθώς εισχωρεί στον μανδύα. Αυτή η περιοχή ονομάζεται ζώνη καταβύθισης και δημιουργεί μέσο-ωκεάνιες τάφρους. Εκεί όπου τα ελαφρότερα μέρη της καταβυθιζόμενης πλάκας λιώνουν δημιουργούνται ηφαίστεια από τα λιωμένα πετρώματα που ανέρχονται στην επιφάνεια. Όταν ηπειρωτικά τμήματα από αντίθετες πλάκες συμπιέζονται σε μία ζώνη καταβύθισης τότε επειδή αυτά είναι ελαφρότερα από το βυθιζόμενο υπόστρωμα αναγκάζονται να καμφθούν και να σχηματίσουν υπέργειες οροσειρές.

3) Κίνηση πλακών: Σε μερικά όρια οι γειτονικές πλάκες γλιστρούν μεταξύ τους χωρίς να συγκρούονται ή να αποχωρίζονται. Τα όρια αυτά όπου έχουμε μόνο οριζόντια κίνηση λέγονται ζώνες θραύσης (ή ρήγματα μετασχηματισμού). Εκεί οι σεισμοί είναι συχνό φαινόμενο λόγω της τριβής ανάμεσα στα όρια των πλακών.

Εν γένει λοιπόν μία λιθοσφαιρική πλάκα θα έχει μία πλευρά σε ζώνη καταβύθισης, την απέναντι σε ζώνη ανύψωσης και τις πλάγιες πλευρές να γλιστρούν οριζόντια σε σχέση με τις γειτονικές της.

2.2 Είδη σεισμών

Ανάλογα με τα αίτια που τους δημιουργούν, οι σεισμοί μπορούν να χωρισθούν στις εξής κατηγορίες:

- Τεκτονικοί.
- Ηφαιστειογενείς.
- Σεισμοί εγκατακρημνίσεων.
- Σεισμοί προκαλούμενοι από τεχνικά έργα (π.χ. φράγματα).

2.2.1 Τεκτονικοί σεισμοί

Οι περισσότεροι σεισμοί οφείλονται σε απότομες διαδικασίες θραύσης του φλοιού της γης. Ο φλοιός της γης είναι μια σχετικά λεπτή στρώση με πάχος μεταξύ 10 και 70 km. Ο φλοιός επιπλέει σε κάποια τμήματα του πάνω στο μαλακό εσωτερικό της γης και βρίσκεται, λόγω γεωθερμικών ρευμάτων και άλλων αιτιών, σε συνεχή κίνηση. Οι μετατοπίσεις είναι συνεχείς και εκδηλώνονται με αργό ρυθμό σαν ελαστικές παραμορφώσεις με αποτέλεσμα η εντατική κατάσταση στο φλοιό της γης να αλλάζει συνεχώς. Στην περιοχή του φλοιού αυξάνονται οι τάσεις με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την θραύση του. Όταν οι τάσεις φθάσουν στην αντοχή θραύσης του πετρώματος, τότε επέρχεται η θραύση του που συνοδεύεται από μεγάλες και απότομες μετατοπίσεις. Έτσι γεννιέται ένας σεισμός. Όπως προαναφέρθηκε, οι απότομες μετατοπίσεις συμβαίνουν συχνά κοντά σε ρήγματα και στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών.

2.2.2 Ηφαιστειογενείς σεισμοί

Τέτοιοι σεισμοί είναι πιθανόν να προκληθούν από ηφαιστειακές δράσεις. Οι απότομες μεταβολές πίεσης και θερμοκρασίας στα κοντινά πετρώματα πολλές φορές προκαλούν δυνατούς σεισμούς.

2.2.3 Σεισμοί εγκατακρημνίσεων

Σεισμοί μπορούν επίσης να προκληθούν από την κατάρρευση της οροφής μεγάλων κενών πετρωμάτων. Αυτά τα κενά είναι δυνατόν να προέρχονται από φυσικά κενά που υπάρχουν σε καρστικές περιοχές ή από τεχνητά κενά που δημιουργήθηκαν από μεταλλευτικά έργα.

2.2.4 Σεισμοί προκαλούμενοι από φράγματα

Κατά την πλήρωση, συνήθως την πρώτη φορά, μια τεχνητής λίμνης κάποιου φράγματος μπορεί το υδάτινο φορτίο να προκαλέσει θραύσεις πετρωμάτων στην γύρω περιοχή. Οι απότομες μετακινήσεις του υπεδάφους δημιουργούν, πολλές φορές, δυνατούς σεισμούς. Παραδείγματα τέτοιων σεισμών έχουν καταγραφεί στις τεχνητές λίμνες της πόλης Κοyna στην Ινδία το 1967 και στην τεχνητή λίμνη του Vogorno στο Verzascatal (Tessin).

2.3 Χαρακτηριστικά σεισμών

Για να καθοριστεί η θέση, το είδος και το μέγεθος ενός σεισμού χρησιμοποιούνται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

2.3.1 Εστιακή επιφάνεια ή επιφάνεια διάρρηξης

Στους τεκτονικούς σεισμούς η διάρρηξη επέρχεται στο φλοιό της γης κατά μήκος μιας επιφάνειας που ονομάζεται επιφάνεια διάρρηξης ή εστιακή επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή δεν είναι επίπεδη, αλλά απλοποιητικά θεωρείται συνήθως επίπεδη. Η εστιακή επιφάνεια μπορεί να καταλαμβάνει οποιαδήποτε θέση. Το μήκος της μπορεί να είναι από λίγα μέτρα έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα και το βάθος της μπορεί να φθάσει έως και 700 km. Σε τέτοια μεγάλα βάθη τα πετρώματα είναι πλέον ψαθυρά και ιξωδοπλαστικά και γι' αυτό συμβαίνουν απότομες μεταβολές φάσεων.

2.3.2 Εστιακός μηχανισμός

Σαν εστιακός μηχανισμός χαρακτηρίζεται ο τεκτονικός μηχανισμός στην εστία και μπορεί να είναι: οριζόντια μετατόπιση, απομάκρυνση, ώθηση προς τα πάνω, καταβύθιση, κ.α.

2.3.3 Εστία

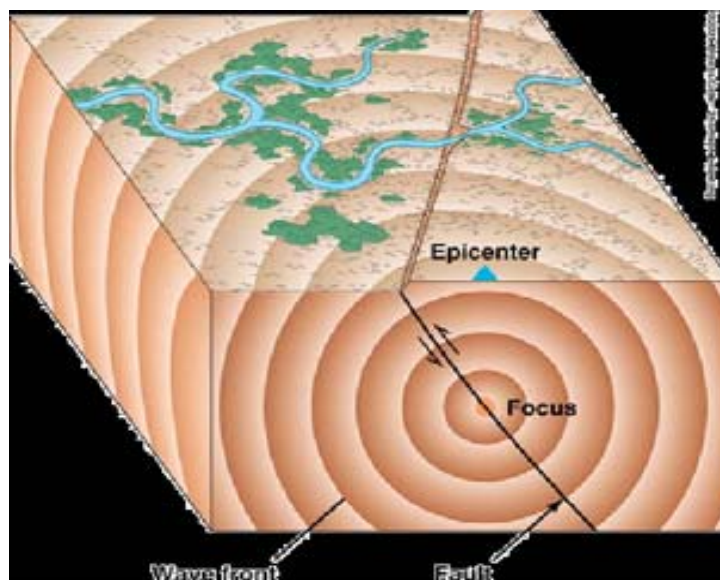
Η εστία, που ονομάζεται και υπόκεντρο, είναι η θέση όπου αρχίζει η θραύση του φλοιού της γης. Σαν εστία όμως συνήθως θεωρείται το κέντρο της ζώνης διάρρηξης και πολλές φορές χαρακτηρίζεται και σαν σεισμική πηγή.

2.3.4 Επίκεντρο

Το επίκεντρο είναι το σημείο της επιφάνειας της γης πάνω από την εστία.

2.3.5 Εστιακό βάθος

Το εστιακό βάθος είναι η απόσταση της εστίας από την επιφάνεια της γης, δηλαδή από το επίκεντρο. Ανάλογα με το βάθος χαρακτηρίζονται οι σεισμοί ως αβαθείς (<70 km) και μεγάλου βάθους (>70km).



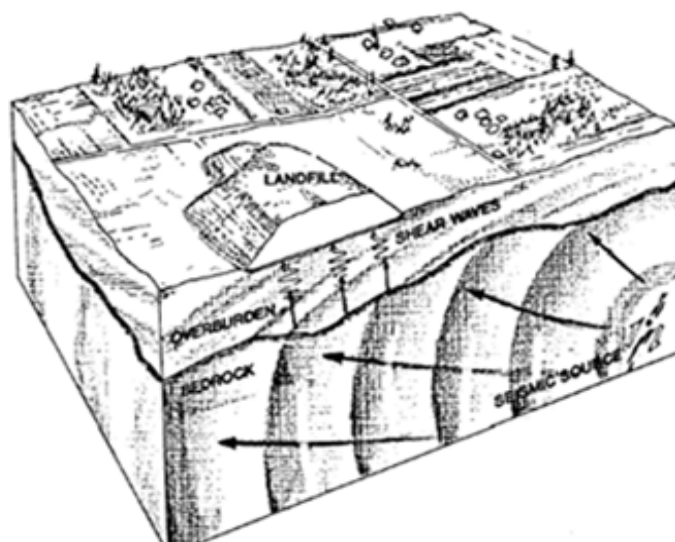
Σχήμα 2.2: Παρουσίαση εστίας και επίκεντρου

2.3.6 Ταχύτητα διάρρηξης

Στα σκληρά πετρώματα του γήινου φλοιού η θραύση αρχίζει οπουδήποτε και συνήθως διαδίδεται με μια ταχύτητα περίπου ίση με 3 km/s.

2.4 Ανάλυση κυματικής διάδοσης

Κάθε σεισμός γίνεται αισθητός λόγω των σεισμικών κυμάτων που δημιουργούνται. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την σεισμική κίνηση της γύρω περιοχής είναι το επίκεντρο του σεισμού, τα μονοπάτια διάδοσης των κυμάτων και οι τοπικές συνθήκες του υπεδάφους. Το σχήμα 2.3 δείχνει την διαδικασία διάδοσης των σεισμικών κυμάτων από το επίκεντρο στην επιφάνεια της γης.



Σχήμα 2.3: Διάδοση σεισμικών κυμάτων

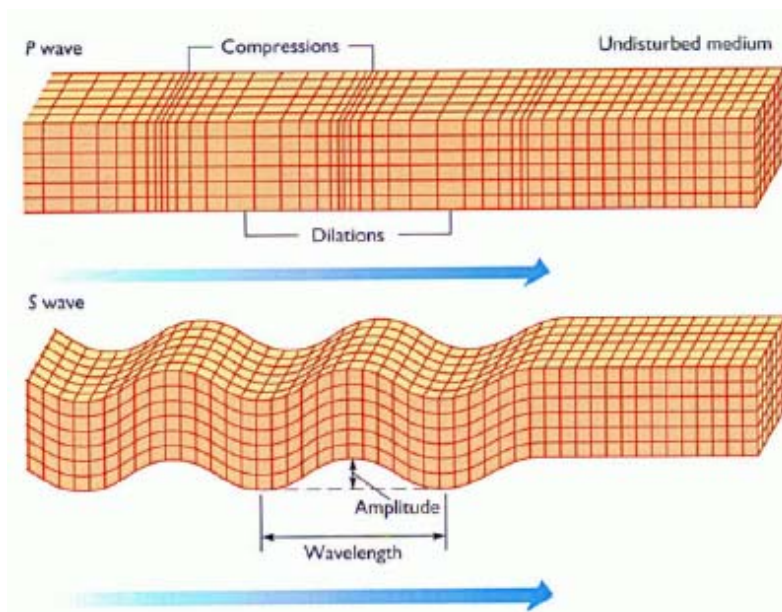
2.4.1 Είδη σεισμικών κυμάτων

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διάφορα είδη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσης τους. Υπάρχουν δυο μεγάλες κατηγορίες: στην πρώτη ανήκουν τα κύματα χώρου και στη δεύτερη τα επιφανειακά κύματα. Στα κύματα χώρου η κίνηση διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις, ενώ στα επιφανειακά κύματα η κίνηση διαδίδεται μέσω διαχωριστικών επιφανειών όπως η επιφάνεια της γης.

Διαμήκη κύματα

Τα διαμήκη κύματα ανήκουν στην κατηγορία των κυμάτων χώρου. Το χαρακτηριστικό των διαμηκών κυμάτων είναι, ότι η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων (μετατόπιση) συμπίπτει με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα διαμήκη κύματα ή πρωτεύοντα (Primary) συμβολίζονται με το **P** από το λατινικό Primus, καθώς λόγω του ότι διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα, φθάνουν στο σταθμό παρατήρησης πριν από τα άλλα είδη σεισμικών κυμάτων. Η ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας **E**, τον λόγο του Poisson **ν** και από την πυκνότητα του μέσου διάδοσης **ρ**:

$$\alpha = \sqrt{\frac{E + 2\nu}{\rho}} \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.4: Διαμήκη και Εγκάρσια κύματα

Εγκάρσια κύματα

Στα εγκάρσια ή δευτερεύοντα (Secondary) κύματα η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων δίνεται από την σχέση:

$$\beta = \sqrt{\frac{\nu}{\rho}} \quad (2.2)$$

Από τη σύγκριση των σχέσεων (2.1) και (2.2) προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων. Γι' αυτό τα εγκάρσια κύματα φθάνουν σε κάποιο σταθμό καταγραφής μετά τα διαμήκη και συμβολίζονται με το **S**.

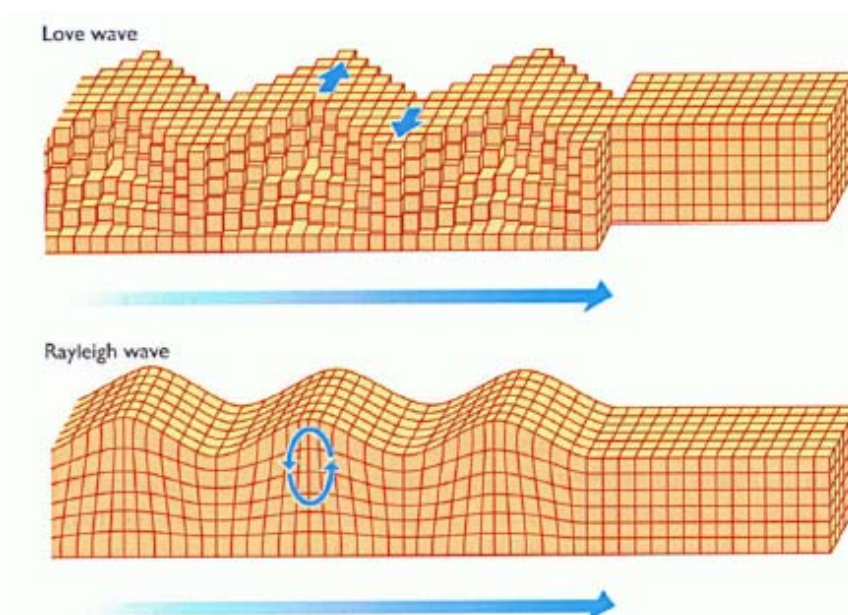
Τα εγκάρσια κύματα μπορούν να διαδοθούν σε οποιοδήποτε μέσο, αρκεί αυτό να έχει μια ελάχιστη αντίσταση σε κάμψη, δηλαδή ο λόγος Poisson να είναι διάφορος του μηδενός. Στα ρευστά όμως $\nu=0$, οπότε και η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων είναι ίση με μηδέν, γι' αυτό και τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά (υγρά και αέρια).

Κύματα Rayleigh

Στην επιφάνεια της γης διαδίδονται επιφανειακά κύματα τύπου Rayleigh, Love και ψευδό-Rayleigh. Το κυριότερο χαρακτηριστικό των επιφανειακών κυμάτων

είναι ότι το πλάτος τους ελαττώνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση της πηγής τους από την επιφάνεια της γης. Σε απόσταση λ από τη διαχωριστική επιφάνεια, όπου λ το μήκος κύματος, το πλάτος του επιφανειακού κύματος πρακτικά μηδενίζεται.

Τα κύματα Rayleigh είναι σύνθετα κύματα αποτελούμενα από διαμήκη (P) και κατακόρυφα εγκάρσια (SV) με αναλογία πλατών 1:1.5. Γίνεται αντιληπτό ότι οι ταλαντώσεις των υλικών σημείων γίνονται στο κατακόρυφο επίπεδο το οποίο εμπεριέχει τη διεύθυνση διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων. Οι ταλαντώσεις υλικού σημείου που αντιστοιχούν σε P και SV συνιστώσες της μετατόπισης είναι ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής φάσης με αποτέλεσμα το υλικό σημείο να ακολουθεί ελλειπτική τροχιά με φορά αντίθετη της φοράς των δεικτών του ρολογιού. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων Rayleigh είναι μικρότερη από την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων και εξαρτάται από τις ελαστικές σταθερές, τη πυκνότητα αλλά και από την συχνότητα, όταν τα κύματα Rayleigh διαδίδονται σε ανομοιογενή μέσα.



Σχήμα 2.5: Κύματα Love και Rayleigh.

Κύματα Love

Τα κύματα Love και ψευδο-Rayleigh δημιουργούνται από τη συμβολή πολλαπλά ανακλώμενων χωρικών κυμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία αυτών των κυμάτων είναι η ύπαρξη λεπτού γεωλογικού στρώματος κοντά στην επιφάνεια της γης. Τα κύματα Love είναι κύματα

συμβολής πολλαπλά ανακλώμενων οριζοντίων εγκαρσίων κυμάτων (SH). Τα υλικά σημεία κατά την διάδοση των κυμάτων Love πραγματοποιούν ταλαντώσεις οριζόντιας διεύθυνσης κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η ταχύτητα των κυμάτων Love εξαρτάται από τη συχνότητα της ταλάντωσης και είναι συνήθως μικρότερη από την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων. Στις υψηλές συχνότητες τα κύματα Love διαδίδονται με ταχύτητες συγκρίσιμες των κυμάτων S. Ομοίως, τα κύματα τύπου ψευδό-Rayleigh δημιουργούνται από τη συμβολή πολλαπλά ανακλώμενων κυμάτων P και SV.

2.4.2 Μέτρηση σεισμικής δραστηριότητας

Η μέτρηση της σεισμικής δραστηριότητας συνήθως γίνεται με δυο μεγέθη: την ένταση και το μέγεθος του σεισμού. Το μέγεθος **M** ενός σεισμού αποτελεί ένα μέτρο για την εκλυόμενη εστιακή ενέργεια, αποτελεί δηλαδή ένα μέτρο για την ενέργεια που εκπέμπεται από την η εστία, υπό μορφή ελαστικών κυμάτων, κατά τη διάρκεια του σεισμού. Το μέγεθος προσδιορίζεται με μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων των σεισμικών κυμάτων. Οι κλίμακες μέτρησης ενός σεισμού είναι:

- Η κλίμακα τοπικού μεγέθους ή κλίμακα Richter, M_L .
- Η κλίμακα επιφανειακού μεγέθους M_S .
- Η κλίμακα χωρικού μεγέθους m_B .
- Η κλίμακα μεγέθους διάρκειας M_V .
- Η κλίμακα μεγέθους σεισμικής ροπής M_w .

Η δεύτερη ποσότητα με την οποία μετράμε τη σεισμική δραστηριότητα είναι η ένταση του σεισμού (intensity). Η ένταση ενός σεισμού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού, η γεωλογία της περιοχής, κλπ. Η ένταση είναι το μέτρο των επιπτώσεων της σεισμικής δόνησης στους ανθρώπους και τα τεχνικά έργα.

Η βασική κλίμακα μέτρησης της έντασης μιας σεισμικής δόνησης είναι η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (MM) η περιγραφή της οποίας δίδεται στον πίνακα 2.1. Η κλίμακα Mercalli είναι δωδεκαβάθμια και κάθε βαθμός της περιγράφει επιπτώσεις της συγκεκριμένης σεισμικής δραστηριότητας. Άλλες

Συνοπτική περιγραφή της κλίμακας Mercalli	
I	Δεν γίνεται αισθητός
II	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους ψηλότερους ορόφους κτιρίων.
III	Αισθητός μέσα στα σπίτια. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. Δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό.
IV	Τίθονται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες.
V	Αισθητός στην ύπαιθρο. Αυτοί που κοιμούνται ξυπνούν. Αιώρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
VI	Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μικρές καμπάνες ηχούν. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Βλάβες λίγες, ελαφρές.
VII	Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλούνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
VIII	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Λίγες βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δέντρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια.
IX	Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Σε περιοχές με αλλούβια αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
X	Καταστροφή μερικών καλά κατασκευασμένων ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Οι περισσότερες κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταστρέφονται μαζί με τα θεμέλια. Σοβαρές ζημιές σε φράγματα, υδροφράχτες και αναχώματα. Μεγάλες κατολισθήσεις. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται.
XI	Μεγάλες ρωγμές στο έδαφος. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Υπόγειοι αγωγοί καταστρέφονται εντελώς.
XII	Ολική καταστροφή. Αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Μεταβάλλεται η επιφάνεια του εδάφους και η γραμμή του ορίζοντα.

Πίνακας 2.1: Περιγραφή της κλίμακας Mercalli

κλίμακες μέτρησης της έντασης ενός σεισμού είναι η κλίμακα των Medvedev, Sponheuer, Karnik (MSK) που είναι και αυτή δωδεκαβάθμια και η οκταβάθμια JMA (Japanese Meteorological Agency) που χρησιμοποιείται κυρίως από τους Ιάπωνες.

Η μέτρηση της έντασης ενός σεισμού μπορεί να γίνει και μέσω της μέτρησης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (PGA – Peak Ground Acceleration). Η εδαφική επιτάχυνση εκφράζεται σαν πολλαπλάσιο του g (επιτάχυνση της βαρύτητας). Ακόμη, άλλοι τρόποι έκφρασης της έντασης μιας σεισμικής δόνησης είναι η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV – Peak Ground Velocity), η μέγιστη εδαφική μετατόπιση (PGD – Peak Ground Displacement), αλλά και η φασματική επιτάχυνση (SA - Spectral Acceleration).

Το μέγεθος και η ένταση του σεισμού μπορούν να συσχετιστούν με τη βοήθεια διάφορων μαθηματικών σχέσεων που προκύπτουν μέσα από τα στατιστικά στοιχεία της σεισμικότητας της κάθε περιοχής. Για τον ελληνικό χώρο έχει βρεθεί πως τα δυο μεγέθη συσχετίζονται μέσω της σχέσης:

$$I_0 = \alpha + \beta M \quad (2.3)$$

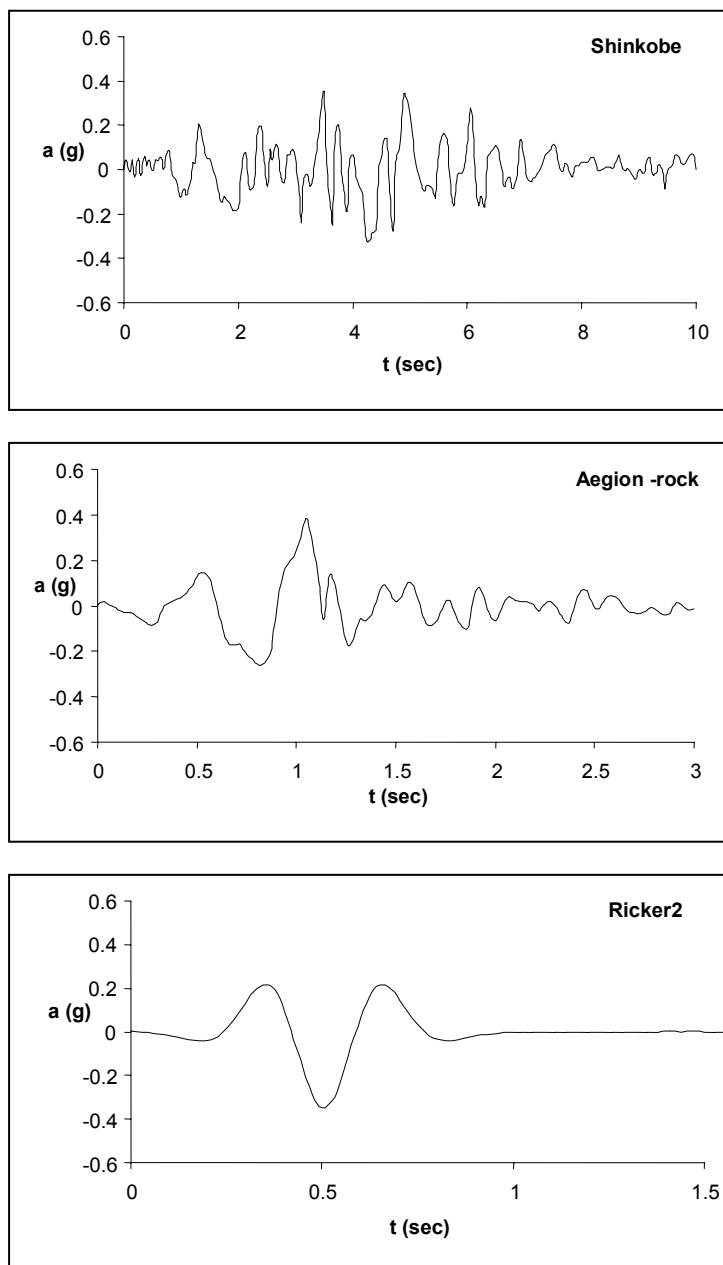
όπου I_0 η επικεντρική ένταση του σεισμού. Για επιφανειακούς σεισμούς οι τιμές των συντελεστών είναι $\alpha=1.23$ και $\beta=1.18$.

2.4.3 Εκτίμηση σεισμικής δραστηριότητας

Η αξιολόγηση των σεισμογραφικών καταγραφών, τόσο για τις ήδη καταγεγραμμένες δονήσεις όσο και για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, γίνεται με δύο εξαιρετικά σπουδαία εργαλεία της αντισεισμικής μηχανικής, τα επιταχυνσιογραφήματα ή χρονοϊστορίες και τα φάσματα απόκρισης. Ως χρονοϊστορία ορίζεται η γραφική παράσταση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης, η οποία μπορεί να είναι επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετατόπιση, σε σχέση με τον χρόνο. Ως φάσμα απόκρισης ορίζεται η γραφική παράσταση των τιμών της μέγιστης απόκρισης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή όταν αυτός διεγείρεται με μια συγκεκριμένη εδαφική σεισμική κίνηση σε σχέση με τη φυσική του συχνότητα ή περίοδο ταλάντωσης και του συντελεστή απόσβεσης.

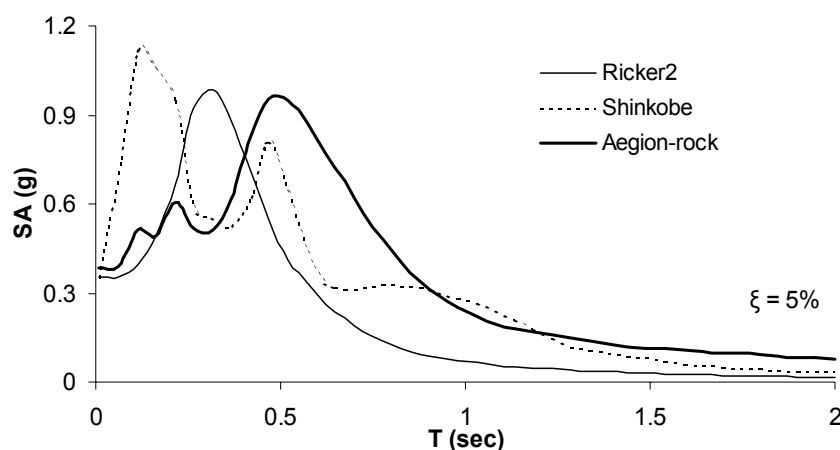
Για να κατασκευαστεί ένα φάσμα απόκρισης ακολουθείται μια απλή διαδικασία. Πλήθος ελαστικών μονοβάθμιων ταλαντωτών με την ίδια τιμή

απόσβεσης, ο καθένας όμως με μια διαφορετική ιδιοσυχνότητα f (ή αντίστοιχα περίοδο T_a) διεγείρονται μέσω της ίδιας χρονικά μεταβαλλόμενης εδαφικής επιτάχυνσης έτσι ώστε ο κάθε ταλαντωτής να εκτελεί μια διαφορετική ταλάντωση. Στην συνέχεια, καθορίζεται η χρονική εξέλιξη των ταλαντώσεων απόκρισης όλων των μονοβάθμιων ταλαντωτών που δύναται να είναι η



Σχήμα 2.6: Χρονοϊστορίες ελαστικής απόκρισης των σεισμικών διεγέρσεων του Kobe, Αιγίου και ενός παλμού Ricker με ιδιοσυχνότητα 2 Hz

χρονική εξέλιξη της σχετικής μετατόπισης, της σχετικής ταχύτητας ή της σχετικής επιτάχυνσης. Οι μέγιστες τιμές των ταλαντώσεων απόκρισης που καταγράφονται χαρακτηρίζονται σαν φασματικές τιμές S_d , S_v και S_a και παρουσιάζονται συναρτήσει της ιδιοσυχνότητας ή της ιδιοπεριόδου. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένα φάσμα απόκρισης. Στα σχήματα 2.6 και 2.7 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες και τα φάσματα απόκρισης για τις τρεις διαφορετικές χρονοϊστορίες επιταχύνσεων που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 2.7: Φάσματα ελαστικής απόκρισης των σεισμικών διεγέρσεων του Kobe, Αιγίου και ενός παλμού Ricker με ιδιοσυχνότητα 2 Hz

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των χρονοϊστοριών είναι οι τοπικές εδαφικές (γεωλογικές και τοπογραφικές) συνθήκες, οι μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα για τη διάδοση της σεισμικής ενέργειας, το μέγεθος του σεισμού και η επικεντρική απόσταση, κ.α. Οι ιδιαιτερότητες των διαφόρων σεισμικών κινήσεων αντανακλώνται στην ακανόνιστη μορφή των φασμάτων απόκρισης με τις απότομες αυξομειώσεις των φασματικών τεταγμένων για μικρές μεταβολές της ιδιοπεριόδου, όπως επίσης και στις μεγάλες κατά κανόνα διαφορές μεταξύ διαφορετικών φασμάτων. Γενικά, σεισμοί ενδιάμεσου ή μεγάλου βάθους έχουν χρονοϊστορίες και ελαστικά φάσματα απόκρισης “πλούσια” στις χαμηλές συχνότητες. Επιφανειακοί σεισμοί σε συνδυασμό με μικρές επικεντρικές αποστάσεις έχουν ως αποτέλεσμα χρονοϊστορίες και φάσματα “πλούσια” στις υψηλές συχνότητες.

2.5 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο

Ο ελληνικός χώρος παρουσιάζει μεγάλη σεισμικότητα καθώς βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της ευρασιατικής πλάκας με την αφρικανική. Η αφρικανική λιθوسفαιρική πλάκα βυθίζεται λόγω βαρύτητας κάτω από την ευρασιατική στην περιοχή της χώρας μας με αποτέλεσμα ο ελλαδικός χώρος να βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς συμπίεσης. Αποτέλεσμα της συμπίεσης αυτής είναι η δημιουργία του ηφαιστειακού τόξου του νότιου Αιγαίου (σχήμα 2.6). Στην περιοχή του ελληνικού τόξου, οι δυο λιθوسفαιρικές πλάκες συγκλίνουν με σχετική ταχύτητα 2.5 cm ανά έτος.

Όμως υπάρχουν και επιμέρους κινήσεις μικρότερων τμημάτων τα οποία δημιουργούν έντονη σεισμική δραστηριότητα σε όλη την έκταση του ελλαδικού χώρου. Κατ' αρχάς, η κίνηση προς τα δυτικά της Τουρκίας με ενεργοποίηση του ρήγματος της Ανατολίας. Ακόμη, εφελκυστικές τάσεις στο χώρο του Αιγαίου εξ' αιτίας των υποκείμενων ρευμάτων μεταφοράς μάγματος στην ασθενόσφαιρα και τέλος, η αριστερόστροφη περιστροφή της πλάκας Αδριατικής – Απουλίας, η οποία συμπίεζει τον Ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 2.7 : Το Ελληνικό τόξο

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, τις Νέες Εβρίδες, το Περού

και την Χιλή. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται από τα συνεχή ισχυρά κτυπήματα του εγκέλαδου. Το παρήγορο είναι ότι οι κανονισμοί και οι κατάσκευές στη χώρα μας εξελίσσονται συνεχώς για την καλύτερη αντιμετώπιση αυτού του αναπόφευκτου φυσικού φαινομένου. Μόνο στη μελέτη και στους σχετικούς κανονισμούς γεωτεχνικών έργων, όπως οι ΧΥΤΑ, παρατηρείται μια σχετική υστέρηση (όχι φυσικά μόνο στη χώρα μας) και εκεί είναι που γίνονται ιδιαίτερες προσπάθειες από τους επιστήμονες, τόσο σε πειραματικό όσο και σε υπολογιστικό επίπεδο, για την κάλυψη των υφιστάμενων κενών και ατελειών των κανονισμών.

3

Αντισεισμικός σχεδιασμός ΧΥΤΑ

3.1 ΧΥΤΑ & σεισμός

Όπως σε κάθε τεχνικό έργο έτσι και στους ΧΥΤΑ μπορούν να καταγραφούν σημαντικά προβλήματα και βλάβες λόγω εδαφικών μετακινήσεων. Σε σειсмоγενείς χώρες, όπως η Ελλάδα, οι ΧΥΤΑ πέραν των στατικών φορτίων που φέρουν (απορριμματικός όγκος, εγκαταστάσεις, κ.α.), υπόκεινται και στον ιδιαίτερα σοβαρό κίνδυνο δυναμικής καταπόνησης κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμικού γεγονότος.

Η επιπρόσθετη αυτή καταπόνηση δύναται να επιβληθεί ως εξής:

- α) Λόγω αδρανειακών καταπονήσεων (επιταχύνσεων, και κατά συνέπεια δυνάμεων), οι οποίες αναπτύσσονται στο σώμα της απορριμματικής μάζας και στις υπόλοιπες εγκαταστάσεις, λόγω σεισμικής διέγερσης στο υπόβαθρο του ΧΥΤΑ.
- β) Λόγω κινηματικών καταπονήσεων (διατμητικών κυρίως παραμορφώσεων) οι οποίες ενδέχεται να επιβληθούν στη βάση του απορριμματικού πρανούς, είτε λόγω επιφανειακής εκδήλωσης της διάρρηξης ενεργών σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων, είτε λόγω δυναμικής

αστοχίας του υποκείμενου εδάφους (λόγω ρευστοποίησης ή διατμητικής συνίζησης).

Είναι προφανές ότι και στις δύο περιπτώσεις οι συνέπειες ενδέχεται να είναι σημαντικές, τόσο όσον αφορά την ασφάλεια, όσο και τη λειτουργικότητα του ΧΥΤΑ. Στην πρώτη περίπτωση ο κίνδυνος τοπικής ή και καθολικής αστάθειας του απορριμματικού πρανούς είναι μεγάλος, ενώ στη δεύτερη οι επιβαλλόμενες παραμορφώσεις στη βάση του ΧΥΤΑ ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβες στις στεγανωτικές μεμβράνες του πυθμένα καθώς και στα συστήματα συλλογής και μεταφοράς των στραγγισμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις ο περιβαλλοντικός κίνδυνος είναι τεράστιος, ενώ οι οικονομικό-κοινωνικές συνέπειες ενδέχεται να είναι ανυπολόγιστες. Πολλές φορές τέτοιες ζημιές είναι δύσκολο να παρατηρηθούν, διότι τα παραπάνω μέρη του ΧΥΤΑ είναι καλυμμένα με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλοι έλεγχοι. Έτσι έχει επικρατήσει η ψευδαίσθηση ότι οι ΧΥΤΑ δεν έχουν πρόβλημα από σεισμούς.

Επιπροσθέτως, βλάβες μπορούν να προκληθούν στα συστήματα συλλογής και διαφυγής των αερίων είτε λόγω πτώσης ισχύος στον σταθμό καύσης αερίων είτε γιατί εμφανίζονται ρωγμές στα φρεάτια και στις γραμμές συλλογής των αερίων. Επίσης, ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα διάφορα έργα υποδομής του ΧΥΤΑ. Υπάρχει πιθανότητα καταστροφής των υδατοδεξαμενών, όπου γίνεται επεξεργασία των στραγγισμάτων, καθώς και κατάρρευσης των κτιρίων διοίκησης. Τέλος, από έναν σεισμό μπορούν να καταστραφούν οι δρόμοι που οδηγούν ή βρίσκονται εντός του ΧΥΤΑ.

Ζημιές σε ΧΥΤΑ που οφείλονται σε σεισμικές δονήσεις έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια κυρίως στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία. Στις ΗΠΑ, ειδικά στην Καλιφόρνια, εδώ και δεκαπέντε έτη έχουν τοποθετηθεί ειδικά όργανα σε ΧΥΤΑ για την ακριβή καταγραφή της συμπεριφοράς τους σε μικρούς και μεγάλους σεισμούς (π.χ. στον ΧΥΤΑ με την κωδική ονομασία OII, βλέπε σχήμα 3.1). Στην Ευρώπη, δυστυχώς, δεν υπάρχουν αντίστοιχες καταγραφές. Αυτό οφείλεται αφενός στο γεγονός ότι ο επιστημονικός σχεδιασμός των ΧΥΤΑ εφαρμόζεται στην πράξη μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια και αφετέρου στο γεγονός ότι δεν έχει συμβεί κάποιος καταστρεπτικός σεισμός μεγάλου μεγέθους που να έχει δημιουργήσει την ανάγκη για πληρέστερο αντισεισμικό

σχεδιασμό και παρακολούθηση των ΧΥΤΑ. Τέλος, ακόμα και εάν υπάρξουν αστοχίες στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ αυτές είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτές, και να μετρηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα, ειδικά όταν δεν προϋπάρχουν κατάλληλα όργανα μετρήσεων εγκαταστημένα στον ΧΥΤΑ.

3.2 Ιστορική αναδρομή

Η περαιτέρω ανάλυση των καταστροφών που προέρχονται από ένα σεισμό, βοηθούν στη σύνταξη των κατάλληλων κανονισμών και προδιαγραφών των σχετικών μελετών. Παρακάτω αναφέρονται σεισμοί που προξένησαν πρόβλημα στη λειτουργία μονάδων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στις Η.Π.Α. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν αντίστοιχες καταγραφές βλαβών από σεισμικές δονήσεις σε ΧΥΤΑ γιατί η κατασκευή τέτοιων μονάδων έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια. Ακόμα και στην περίπτωση του σχετικά πρόσφατου σεισμού της Πάρνηθας ο μεγάλος ΧΥΤΑ των Αθηνών στα Λιόσια δεν εμφάνισε κάποια ορατά προβλήματα και έτσι οι αρμόδιες υπηρεσίες, ακολουθώντας την πάγια αντίληψη που προαναφέρθηκε, θεωρούν ότι δεν υπάρχει θέμα.

3.2.1 Santa Rosa Earthquake

Αυτή η σεισμική δόνηση έγινε το 1969 και ήταν μεγέθους 5.7 βαθμών της κλίμακας Richter. Το επίκεντρο του σεισμού ήταν 35 km από τον ΧΥΤΑ του Redwood και ήταν η πρώτη μονάδα υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στην οποία κατεγράφησαν ζημιές από σεισμική δόνηση. Κάποιες εσωτερικές κυψέλες σκουπιδιών κατέρρευσαν αλλά στα περιμετρικά πρανή του ΧΥΤΑ δεν παρατηρήθηκαν παρόμοιες αστοχίες εδάφους.

3.2.2 San Fernando Earthquake

Ο σεισμός αυτός έγινε το 1971 και ήταν μεγέθους 6.6 βαθμών της κλίμακας Richter. Το επίκεντρο του σεισμού βρισκόταν σε βάθος 13 km από την επιφάνεια της γης. Έντεκα ΧΥΤΑ βρίσκονταν σε ακτίνα μικρότερη των 60 km από το επίκεντρο του σεισμού και μόνο ένας βρισκόταν πάνω στο ρήγμα του σεισμού. Οι τιμές της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (PGA) που μετρήθηκαν ήταν από 0.05g έως και 0.9g. Σημαντικές βλάβες εμφανίστηκαν στον ΧΥΤΑ

Russel Moe, ο οποίος δεν διέθετε σύστημα συλλογής βιοαερίου με αποτέλεσμα στις ρωγμές που δημιουργήθηκαν να υπάρξουν φωτιές που οφείλονταν στο βιοαέριο που διέφευγε στην ατμόσφαιρα. Στον ΧΥΤΑ Sunshine Canyon, ο οποίος βρισκόταν 13 km από το επίκεντρο του σεισμού, μετρήθηκαν μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις έως και 0.30g. Σε αυτήν τη μονάδα εμφανίσθηκαν ρωγμές στην ανατολική της πλευρά και στις τελευταίες στρώσεις των σκουπιδιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μεγαλύτερη ρωγμή είχε μήκος 100 m και πλάτος 38 cm.



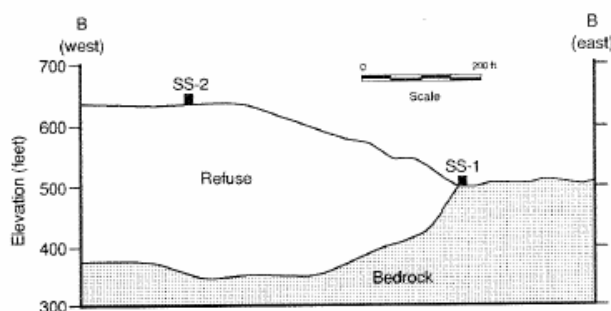
Σχήμα 3.1: Καταγραφές ζημιών στο ΧΥΤΑ San Fernando

3.2.3 Whittier – Narrows Earthquake

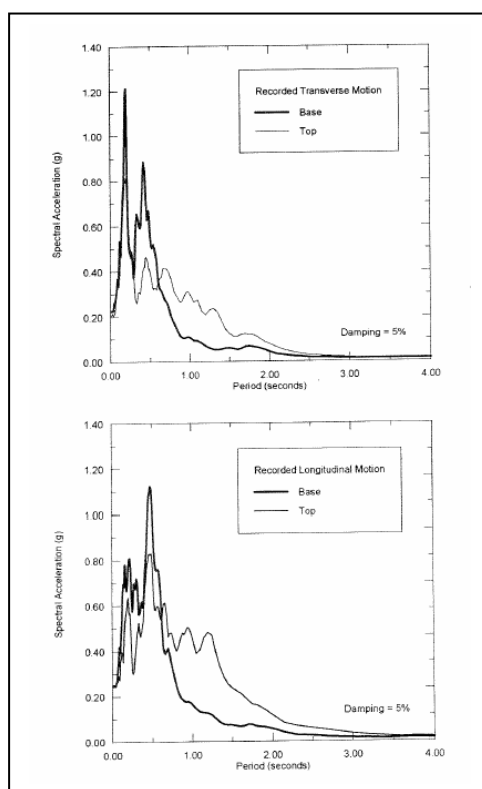
Ο σεισμός αυτός έγινε το 1987 και ήταν μεγέθους 6.0 βαθμών της κλίμακας Richter. Το επίκεντρο του σεισμού βρισκόταν σε βάθος 10 km από την επιφάνεια της γης και επηρέασε πέντε ΧΥΤΑ που βρισκόταν στην γύρω περιοχή. Στον ΧΥΤΑ Operating Industries, Inc (OII), ο οποίος βρισκόταν 11.5 km από το επίκεντρο του σεισμού, μετρήθηκε μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση ίση με 0.25g. Οι άλλοι τέσσερις ΧΥΤΑ που βρισκόταν σε ακτίνα έως και 15 km από το επίκεντρο του σεισμού δεν υπέστησαν βλάβες από την παραπάνω σεισμική δόνηση.

Ο συγκεκριμένος ΧΥΤΑ (OII) λειτούργησε από το 1948 έως το 1984 και τα τελευταία οκτώ χρόνια λειτουργίας του δέχονταν μεγάλες ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Παρατηρήθηκαν ρωγμές στις ανωτέρω στρώσεις

μήκους άνω των 90 m και πλάτους έως και 40 mm, χωρίς όμως να εμφανιστούν μεγάλες καθιζήσεις και μετακινήσεις των απορριμμάτων. Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι ο εν λόγω ΧΥΤΑ (ΟΙΙ) ήταν ο πρώτος που είχε πλήρες σύστημα σεισμικών καταγραφών (βλ. σχήμα 3.2). Με βάση αυτές τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πλήθος αριθμητικών αναλύσεων για την βαθύτερη διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης του σε πολλές μεταγενέστερες δονήσεις (π.χ. σεισμός Northridge).



(α)



(β)

Σχήμα 3.2: (α) Επιταχυνσιογράφοι στη βάση και στη στέψη στον ΧΥΤΑ με τη κωδική ονομασία ΟΙΙ (β) φάσματα καταγραφών από τον παραπάνω ΧΥΤΑ

3.2.4 Loma Prieta Earthquake

Ο σεισμός αυτός έγινε τον Οκτώβριο του 1989 και ήταν μεγέθους 6,9 βαθμών της κλίμακας Richter. Το επίκεντρο του σεισμού βρισκόταν βορειανατολικά της πόλης Santa Cruz και ήταν σε βάθος 18 km από την επιφάνεια της γης. Οι ΧΥΤΑ που επηρεάστηκαν περισσότερο από αυτόν τον σεισμό ήταν οι παρακάτω: Guadalupe, Ben Lomond, Kirby Canyon και ο Santa Cruz. Οι αντίστοιχες μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις που μετρήθηκαν ήταν 0.43g, 0.38g, 0.34g και 0.30g. Όλες οι ζημιές που παρατηρήθηκαν ήταν ασήμαντες και δεν επηρέασαν την λειτουργία των παραπάνω μονάδων. Παρατηρήθηκαν κάποιες μικρές ρωγμές στη διεπιφάνεια μεταξύ των σκουπιδιών και των αργιλικών υλικών. Μάλιστα, κάποιοι ερευνητές υποστήριξαν ότι αυτές οι ρωγμές ίσως προήλθαν από το βάρος των σκουπιδιών και όχι εξαιτίας του παραπάνω σεισμού. Η επισκευή των βλαβών έγινε άμεσα και χωρίς μεγάλο κόστος. Μικρά προβλήματα παρατηρήθηκαν στα συστήματα συλλογής βιοαερίου, όπου και αποκατεστάθησαν εντός ενός 24ωρου.

3.2.5 Northridge Earthquake

Ο σεισμός αυτός έγινε τον Ιανουάριο του 1994 και ήταν μεγέθους 6.7 βαθμών της κλίμακας Richter. Ο παραπάνω σεισμός ίσως να προξένησε τις περισσότερες σε αριθμό και μέγεθος ζημιές, καθώς επηρέασε πάνω από σαράντα ΧΥΤΑ που βρίσκονταν σε ακτίνα μέχρι και 100 km από το επίκεντρο του σεισμού. Οι μέγιστες οριζόντιες επιταχύνσεις που μετρήθηκαν ήταν από 0.05g έως και 0.65g.

Σε πολλές μονάδες υγειονομικής ταφής απορριμμάτων παρατηρήθηκαν καθιζήσεις πρανών, ρωγμές τόσο στις κυψέλες αποθήκευσης των αποβλήτων όσο και στους δρόμους που εξυπηρετούσαν τις ανάγκες τους και προβλήματα στα συστήματα συλλογής των στραγγισμάτων και του βιοαερίου. Είναι χαρακτηριστικό ότι στον Sunshine Canyon δημιουργήθηκε ρωγμή μήκους 100 m και πλάτους 38 cm, ενώ στον Calabasas εμφανίστηκε ρωγμή μήκους 215 m και πλάτους 15 cm. Στον Toyon Canyon παρατηρήθηκαν σοβαρές βλάβες στο υπόγειο σύστημα συλλογής βιοαερίου, καθώς υπήρξαν αλλαγές της τάξεως του 5% τόσο στην ποιότητα όσο και στην ροή του αμέσως μετά τον σεισμό.



Σχήμα 3.3: Ρωγμές στον Sunshine Canyon

3.3 Κατηγορίες σεισμικών βλαβών σε ΧΥΤΑ

Για τον χαρακτηρισμό των σεισμικών βλαβών σε ΧΥΤΑ, οι Matasovic et al. (1995) μετά από μελέτη των καταγραφών στους προηγούμενους σεισμούς πρότειναν την παρακάτω κατηγοριοποίηση:

- I. Ασήμαντες ή ανύρπακτες βλάβες:** Βλάβες μικρής σημασίας, οι οποίες δεν απαιτούν άμεση επισκευή.
- II. Μικρές βλάβες:** Η επισκευή τους γίνεται χωρίς να διακόπτονται οι λειτουργίες του ΧΥΤΑ.
- III. Μέτριες βλάβες:** Επισκευάζονται από το προσωπικό του ΧΥΤΑ μέσα σε 48 ώρες. Δεν εκτίθεται σε κίνδυνο η ακεραιότητα των συστημάτων κάλυψης και στεγανοποίησης.
- IV. Σημαντικές βλάβες:** Αν και εξασθενούν τα συστήματα στεγανοποίησης και κάλυψης. Ωστόσο δεν παρατηρείται διαφυγή αποβλήτων. Οι βλάβες δεν είναι δυνατό να επισκευαστούν σε 48 ώρες. Απαιτούνται ειδικές εργασίες για να αποκατασταθούν οι ζημιές.
- V. Εκτεταμένες βλάβες:** Παρατηρείται γενική αστάθεια με σημαντικές παραμορφώσεις. Η ακεραιότητα των συστημάτων κάλυψης και στεγανοποίησης δεν πληρείται πλέον.

Στην Ελλάδα, αλλά και στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, έχουν υιοθετηθεί παρόμοιες κατηγορίες ζημιών, ώστε να υπάρχει μια ενιαία αντιμετώπιση και να αποφεύγεται η σύγχυση. Έτσι σε αντιστοιχία με την νέα Ευρωπαϊκή κλίμακα Εντάσεων (E.M.S. – 1992) που είναι παρόμοια με την κλίμακα Mercalli (βλέπε πίνακα 2.1), η διάκριση που υπάρχει είναι η εξής (Καβουκλής 1999):

A) Ασήμαντες βλάβες: Σημειακές μεταβολές της επιφάνειας, οι οποίες συχνά δεν γίνονται αντιληπτές. Το σύστημα κάλυψης παραμένει ανέπαφο και η λειτουργία του χώρου συνεχίζεται κανονικά. Αντιστοιχεί στις εντάσεις I, II της E.M.S. – 1992.

B) Μικρές βλάβες: Στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης παρατηρούνται ασήμαντες παραμορφώσεις και μικρές διαρρήξεις. Ο χώρος βρίσκεται σε λειτουργία. Παραμένουν ανέπαφα τα συστήματα στεγανοποίησης, συγκέντρωσης βιοαερίου και στραγγισμάτων. Αντιστοιχεί στις εντάσεις III, IV της E.M.S – 1992.

Γ) Μέτριες βλάβες: Στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης παρατηρούνται μικρές παραμορφώσεις και διαρρήξεις, στο δε χώρο απόθεσης μικροκαθιζήσεις και κατολισθήσεις. Το σύστημα στεγανοποίησης εξακολουθεί να είναι ανέπαφο. Μικρές βλάβες υπάρχουν στο σύστημα συλλογής των παραγόμενων αερίων, όμως δεν παρατηρείται διαφυγή ρυπαντών. Ο χώρος λειτουργεί κανονικά. Αντιστοιχεί στις εντάσεις V, VI της E.M.S. - 1992

Δ) Σημαντικές βλάβες: Στην ελεύθερη επιφάνεια κάλυψης παρατηρούνται σημαντικές παραμορφώσεις και αναπτύσσονται καθιζήσεις και κατολισθήσεις στον χώρο των απορριμμάτων. Μικρές διαρρήξεις στο σύστημα στεγανοποίησης και μικρές αποκολλήσεις του συστήματος από την υπόβαση. Παρατηρούνται ζημιές στα συστήματα συγκέντρωσης αερίων και στραγγισμάτων. Οι βλάβες μπορούν να επισκευαστούν, ενώ ο χώρος μπορεί ακόμα να λειτουργεί. Αντιστοιχεί στις εντάσεις VII, VIII της E.M.S. – 1992.

Ε) Μερική καταστροφή: Μερική καταστροφή του χώρου υποδοχής και πιο συγκεκριμένα σημαντικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια κάλυψης, κατολισθήσεις και καθιζήσεις στην περιοχή συγκέντρωσης απορριμμάτων, κατολισθήσεις πρανών, διάρρηξη του συστήματος στεγανοποίησης,

αποκόλληση του από την υπόβαση και μεγάλες ζημιές στα συστήματα συγκεντρώσεις αερίων και στραγγισμάτων. Διαφυγή ρυπαντών στο περιβάλλον. Οι βλάβες δύσκολα επισκευάζονται και τίθεται υπό αμφισβήτηση η συνέχιση λειτουργίας του χώρου. Αντιστοιχεί στις εντάσεις IX, X της E.M.S. – 1992.

ΣΤ) Ολική καταστροφή: Ο χώρος υποδοχής απορριμμάτων και τα όμορα έργα καταστρέφονται σχεδόν ολοσχερώς. Παρατηρείται ανεξέλεγκτη διαφυγή ρυπαντών στο περιβάλλον και ο χώρος δεν επιδέχεται επισκευή. Αντιστοιχεί στις εντάσεις XI, XII της E.M.S. – 1992.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι και οι δυο προαναφερθείσες κατηγοριοποιήσεις είναι ποιοτικές και όχι ποσοτικές. Αυτό γίνεται άμεσα αντιληπτό, αφού οι βλάβες δεν συνδέονται με κάποια μέτρηση, όπως για παράδειγμα στα κτίρια όπου η τιμή της μέγιστης σχετικής μετακίνησης των ορόφων του κτιρίου αντιστοιχεί και σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλαβών. Προφανώς αυτό είναι πολύ δύσκολο να γίνει στην περίπτωση των ΧΥΤΑ, αλλά και σε άλλες γεωκατασκευές, εξαιτίας διάφορων δυσκολιών, αλλά και λόγω της ποικιλομορφίας τους. Πάντως γίνονται προσπάθειες και προς αυτήν την κατεύθυνση έτσι ώστε οι όποιες βλάβες να περιγράφονται και ποσοτικά και όχι μόνο ποιοτικά όπως συμβαίνει τώρα.

3.4 Στοιχεία γεωτεχνικής μελέτης ΧΥΤΑ

Κατά το στάδιο της γεωτεχνικής μελέτης ενός ΧΥΤΑ οι μελετητές μηχανικοί πρέπει να γνωρίζουν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών που θα απαρτίζουν τον παραπάνω χώρο, έτσι ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την ομαλή λειτουργία του έργου. Συνήθως ένας ΧΥΤΑ απαρτίζεται από τα τρία παρακάτω μέρη:

- 1) το υπόβαθρο (το οποίο είναι συνήθως έδαφος ή βράχος),
- 2) τα απορρίμματα,
- 3) τα υλικά κάλυψης.

Το έδαφος προέρχεται από τη μηχανική και χημική αποσύνθεση των πετρωμάτων και αποτελείται από τρεις διαφορετικές φάσεις: τους ασύνδετους

ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, το νερό σε διάφορες μορφές και τον περιεχόμενο αέρα. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση (από το νερό και τον αέρα), οι λειτουργίες φυτών, ζώων και ανθρώπων και οδηγεί σε τεμαχισμό των διάφορων βράχων. Συντελείται, έτσι, με το πέρασμα εκατοντάδων ετών η δημιουργία χονδρόκοκκων εδαφών αποτελούμενα από χαλίκια και άμμο.

Αντίστοιχα, η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξείδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών και είναι ο κυριότερος παράγοντας γένεσης λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλύων και αργίλων). Με βάση τον τρόπο μεταφοράς και τελικής απόθεσης των προϊόντων της αποσάθρωσης, τα εδάφη διακρίνονται σε αυτόχθονα και ιζηματογενή. Στον ελλαδικό χώρο πολλά πετρώματα είναι ιζηματογενή, κυρίως αργιλικά που έχουν υποστεί πλήρη καρστικοποίηση.

Η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους γίνεται με διάφορες σύγχρονες μεθόδους, τόσο με επιτόπου όσο και με εργαστηριακές δοκιμές. Από την άλλη πλευρά, η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των απορριμμάτων είναι δύσκολη, λόγω των παρακάτω παραγόντων:

- Η δυσκολία εκτέλεσης εργαστηριακών μετρήσεων σε μεγάλη κλίμακα έτσι ώστε να προκύπτουν αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Η ανομοιομορφία στη σύνθεση και στη συμπίκνωση των απορριμμάτων.
- Η τυχαία, χρονικά μεταβολή της μορφής και της φύσης των απορριμμάτων κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης τους.

Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία των απορριμμάτων, η οποία συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 50°C και 60°C για βάθη έως 10 m και αυξάνεται ελαφρώς για βάθη μεγαλύτερα των 15 m όπου μπορεί να φτάσει και τους 70°C.

Παρόλες τις δυσκολίες οι επιστήμονες, με αρωγό την εξέλιξη της τεχνολογίας, προχωρούν σε ολοένα και πιο ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις.

Κατ' αρχάς, όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά μπορεί να θεωρηθεί ότι η υγρασία των απορριμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση τους, τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και την υγρασία που παράγεται από τις διάφορες διεργασίες αποσύνθεσης εντός του ΧΥΤΑ.

Όσον αφορά, τα μηχανικά χαρακτηριστικά υπάρχει διχογνωμία για το αν τα απορρίμματα μπορούν να θεωρηθούν συνεκτικά υλικά ή όχι. Πολλοί μελετητές έκαναν κατακόρυφες τομές σε ΧΥΤΑ και παρατήρησαν ότι αυτές παρέμειναν σταθερές για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Είναι λογικό να δεχθεί κανείς την παραδοχή ότι τα απορρίμματα είναι συνεκτικά υλικά. Υπάρχουν, όμως, και ερευνητές οι οποίοι απέδειξαν με κατάλληλα πειράματα ότι τα απορρίμματα συμπεριφέρονται σαν υλικά τριβής. Η δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από τα απορρίμματα πιστοποιείται και από τις επιτόπιες σεισμικές καταγραφές σε ΧΥΤΑ, όπου σε μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους σεισμούς η επιτάχυνση στον πυθμένα είναι μεγαλύτερη απ' ότι στη στέψη του ΧΥΤΑ. Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέψει στη σχετική μελέτη για το σεισμό του Northridge και την επίδραση του στις διάφορες γεωκατασκευές (Stewart et al., 1994).

Έτσι, λοιπόν, είτε από επιτόπου δοκιμές είτε από ανάστροφες αναλύσεις σεισμικής απόκρισης προκύπτουν κάποιες τυπικές τιμές των δυναμικών χαρακτηριστικών των απορριμμάτων. Από μετρήσεις τύπου Down Hole που έγιναν σε ΧΥΤΑ της Αριζόνα των ΗΠΑ έχουν προκύψει ενδεικτικές τιμές της μεταβολής της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων V_s και της ταχύτητας των διαμηκών κυμάτων V_p , αλλά και των ελαστικών σταθερών των απορριμμάτων, σε σχέση με την απόσταση από την επιφάνεια. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στο πίνακα 3.1.

Επίσης, με διάφορες μεθόδους υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης των ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης. Στην παρούσα εργασία, τα υλικά κάλυψης αγνοήθηκαν επειδή από δοκιμές που έγιναν φάνηκε ότι δεν επηρεάζουν αισθητά τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων εξαιτίας κάποιων εγγενών αδυναμιών του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε. Ούτως ή άλλως η διερεύνηση που έγινε ήταν ήδη αρκετά πολυπαραμετρική, οπότε επιπρόσθετη αύξηση της συνθετότητας και της πολυπλοκότητας θα δυσχέρανε την

εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων. Επιπροσθέτως, παλαιότεροι ΧΥΤΑ δεν διαθέτουν στρώσεις υλικών κάλυψης.

Βάθος (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	V_p/V_s	Λόγος Poisson ν	Μέτρο διάτμησης G (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας E (MPa)
1.52	235	124	1.89	0.30	16.1	42.0
3.05	255	143	1.78	0.27	21.4	54.2
4.47	273	161	1.70	0.23	27.0	66.5
6.10	300	184	1.63	0.20	35.0	84.1
7.62	311	198	1.57	0.16	40.8	94.8
10.0	346	229	1.51	0.11	54.7	121.3

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικές τιμές ιδιοτήτων απορριμμάτων

3.5 Ισχύοντες κανονισμοί

Το υπέδαφος, η τοπογραφία και η γενικότερη γεωλογία της περιοχής ενός δομικού έργου πρέπει να εξασφαλίζουν με επαρκή πιθανότητα ότι δεν θα υπάρξει κίνδυνος εδαφικής διάρρηξης, αστάθειας πρανών, μεγάλων μόνιμων παραμορφώσεων ή εκτεταμένης ρευστοποίησης κατά την διάρκεια σεισμικού κραδασμού συμβιβαστού με την ένταση και τα φασματικά χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού. Γι' αυτό, λοιπόν, έχει θεσπιστεί ο σχετικός κανονισμός από την ελληνική πολιτεία έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των εγκαταστάσεων ενός ΧΥΤΑ καθώς και να περιορίζονται οι συνέπειες σε περίπτωση μιας σεισμικής δόνησης.

3.5.1 Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας

Για την εφαρμογή του ελληνικού αντισεισμικού κανονισμού (Ε.Α.Κ), η χώρα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, και III τα όρια των οποίων φαίνονται στο σχήμα 3.4.

Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους. Η μέγιστη επιτάχυνση σχεδιασμού για τη ζώνη I είναι 0.16g, για τη ζώνη II είναι 0.24g και για τη ζώνη III είναι 0.36g. Οι τιμές αυτών των σεισμικών επιταχύνσεων του εδάφους εκτιμούνται, σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα, ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10% στα πενήντα χρόνια.



Σχήμα 3.4: Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας

3.5.2 Κατάταξη εδαφών

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες Α, Β, Γ, Δ και Χ τα οποία και περιγράφονται στον πίνακα 3.2. Δόμηση μόνιμων έργων σε εδάφη κατηγορίας Χ μπορεί να γίνει μόνο ύστερα από λεπτομερείς έρευνες και μελέτες, εφόσον ληφθούν κατάλληλα μέτρα βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους και αντιμετωπισθούν με ειδικό τρόπο τα όποια προβλήματα υπάρχουν. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι συνήθως, λόγω της φύσης τους, οι ΧΥΤΑ χωροθετούνται σε περιοχές με πολύ σημαντικά γεωλογικά προβλήματα (ασυνέχειες, ρήγματα, κλπ) γι' αυτό και

πρέπει να γίνεται ειδική εδαφοδυναμική και γεωτεχνική μελέτη για καθένα έργο ξεχωριστά.

3.5.3 Καθορισμός σεισμικών διεγέρσεων σχεδιασμού

Οι σεισμικές διεγέρσεις καθορίζονται με την βοήθεια των φασμάτων απόκρισης (σε όρους επιτάχυνσης) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή (βλ. σχήμα 3.5). Στα φάσματα σχεδιασμού είναι σημαντικά το σχήμα του φάσματος και η ένταση των σεισμικών διεγέρσεων, η οποία εκτός από την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας επηρεάζεται και από τις ελαστοπλαστικές και αποσβεστικές ιδιότητες της ίδιας της κατασκευής.

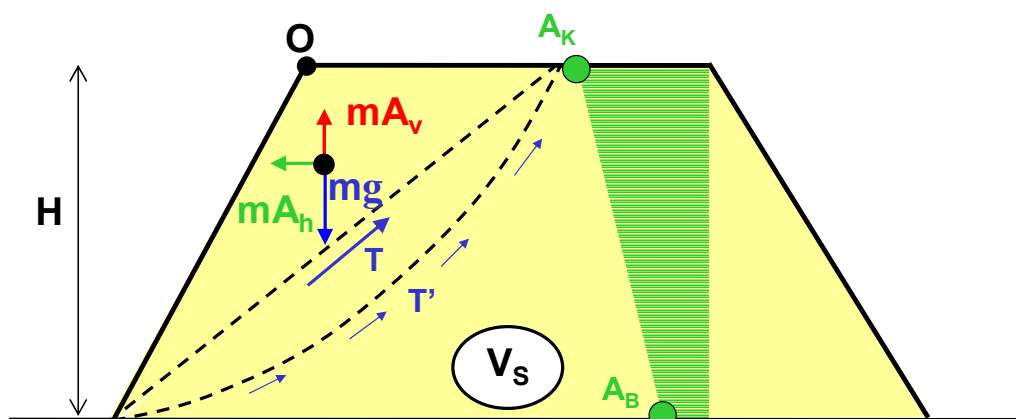
3.5.4 Ευστάθεια αναχωμάτων

Η ευστάθεια αναχωμάτων με ύψος μέχρι και 15 m ελέγχεται με θεώρηση πρόσθετων οριζοντίων ενεργών επιταχύνσεων της μάζας τους, που μεταβάλλονται από:

$A_h = 0.50 \cdot a$ στην βάση, μέχρι

$A_v = \alpha_B \cdot \beta(T) = \pm 0.25 a$ στην κορυφή του αναχώματος

όπου $a=0.16 g$ ή $0.24 g$ ή $0.36 g$ είναι η ανοιγμένη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους που προβλέπεται από τον κανονισμό και $\beta(T)$ είναι η φασματική μεγέθυνση που αντιστοιχεί στην θεμελιώδη ιδιοπερίοδο T του έργου. Η μελέτη αναχωμάτων ύψους μεγαλύτερου των 15 m, ύψος που συνήθως υπερβαίνουν οι ΧΥΤΑ, δεν καλύπτεται από τον ελληνικό κανονισμό. Στις περιπτώσεις αυτές, ο κανονισμός επιβάλλει την εκπόνηση ειδικών γεωτεχνικών και σεισμικών μελετών.



Σχήμα 3.5: Ευστάθεια αναχωμάτων σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.

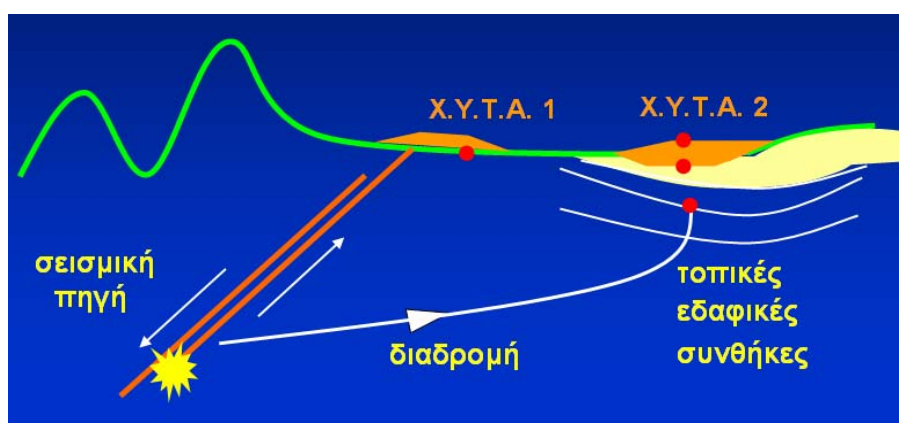
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	<p>Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση.</p> <p>Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70 m.</p> <p>Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70 m.</p>
B	<p>Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάση που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.</p> <p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5 m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 μέτρων.</p> <p>Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερη των 70 m.</p>
Γ	<p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5 m ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70 m.</p> <p>Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5 m.</p>
Δ	<p>Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10 m.</p>
Χ	<p>Προβληματικά εδάφη:</p> <p>Χαλαρά λεπτόκκοκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)</p> <p>Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.</p> <p>Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων.</p> <p>Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής.</p>

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες εδαφών

3.6 Τοπικές συνθήκες

Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει σε παγκόσμιο επίπεδο σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες ώστε να αντιμετωπισθεί ολοκληρωμένα το θέμα της σεισμικής συμπεριφοράς των ΧΥΤΑ. Ενόργανες καταγραφές επιταχύνσεων και παραμορφώσεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος συνοδεύονται συνήθως από προσπάθειες ανάλυσης και προσομοίωσης των βασικών μηχανισμών αστοχίας, ενώ σε λιγοστές περιπτώσεις διεξάγονται και τα αντίστοιχα πειράματα. Ο αριθμός των δημοσιεύσεων αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια, γεγονός που καταδεικνύει το αυξανόμενο ενδιαφέρον που υπάρχει διεθνώς.

Παρόλα αυτά, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν επιμέρους θέματα τα οποία δεν έχουν εξεταστεί επαρκώς. Ένα τέτοιο θέμα αποτελεί η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική διέγερση, και κατά συνέπεια, στη σεισμική απόκριση και ευστάθεια των κατασκευών και των πάσης φύσεως τεχνικών έργων, όπως οι ΧΥΤΑ. Πολλές φορές, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες είναι υπεύθυνες για την ενίσχυση του σεισμικού κύματος. Θεωρείται, επομένως, βέβαιο ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες καθορίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης και απόκρισης τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο των συχνοτήτων.



Σχήμα 3.6: Επίδραση τοπικών συνθηκών σε εδαφικούς σχηματισμούς

Στο πεδίο του χρόνου οι τοπικές συνθήκες δύνανται να επηρεάσουν το μέγεθος των μέγιστων επιταχύνσεων καθώς και τις ενδεχόμενες μετατοπίσεις που μπορεί να παρατηρηθούν. Γίνεται αντιληπτό ότι επηρεάζεται άμεσα και η

μορφή των χρονοϊστοριών που προκύπτουν από καταγραφές κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης. Στο πεδίο των συχνοτήτων πιθανός συντονισμός (αν και όχι απαραίτητος) των υποκείμενων εδαφικών στρώσεων ή/και του ΧΥΤΑ μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολή (μετάθεση) των τιμών των ιδιοπεριόδων για τις οποίες εμφανίζονται οι μέγιστες επιταχύνσεις.

Ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός, ακολουθώντας τη διεθνή τακτική επί του θέματος, αγνοεί πλήρως τόσο τις γεωμορφικές συνθήκες (ανάγλυφο υποβάθρου) όσο και τις τοπογραφικές συνθήκες (επιφανειακό ανάγλυφο), γεγονός που πρέπει να θεωρείται ανεπίτρεπτο για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός σύγχρονου ΧΥΤΑ.

4

Μέθοδοι ανάλυσης

4.1 Εισαγωγή

Στην περίπτωση των ΧΥΤΑ η εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης των σχηματισμών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τον προσδιορισμό των επιταχύνσεων, των τάσεων, και των παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν κατά την διάρκεια ενός αναμενόμενου σεισμικού γεγονότος.

Σύμφωνα με την πλέον διαδεδομένη υπολογιστική πρακτική, η σεισμική ανάλυση ενός ΧΥΤΑ πραγματοποιείται μέσω ενός απλού ελέγχου ευστάθειας του απορριμματικού πρηνούς μέσω ψευδοστατικών αναλύσεων που βασίζονται στη μέγιστη τιμή της αναμενόμενης –κατά την σεισμολογική έννοια– επιτάχυνσης του αντισεισμικού κανονισμού (επιτάχυνσης σχεδιασμού). Στην καλύτερη περίπτωση, ενδέχεται να προηγηθεί μία απλή μονοδιάστατη ανάλυση σεισμικής απόκρισης των υπεδαφικών στρώσεων, η οποία μεταβάλλει (συνήθως αυξητικά) την τιμή της επιτάχυνσης σχεδιασμού, και κατόπιν εφαρμόζονται οι ψευδοστατικές αναλύσεις ευστάθειας. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται δυναμικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό μέγιστων οριζοντίων επιταχύνσεων.

Είναι σαφές ότι κατά το σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ, η εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης τόσο του εδάφους θεμελίωσης όσο και του απορριμματικού πρανούς μέσω αναλύσεων σεισμικής αποκρίσεως (όπως είναι ευρέως γνωστές) αποτελεί πρωταρχικής σημασίας βήμα, η αξιοπιστία τού οποίου εξασφαλίζεται μόνον εφόσον ληφθούν ρεαλιστικώς υπόψη οι γεωμετρικές και μηχανικές ιδιομορφίες των σχηματισμών.

4.2 Ψευδοστατική ανάλυση

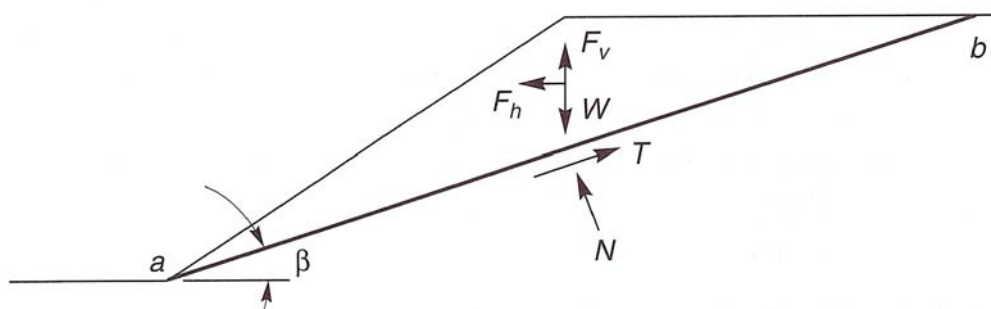
Μια ψευδό-στατική ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την μέθοδο της οριακής ανάλυσης ισορροπίας (limit equilibrium analysis). Θεωρώντας την εμφάνιση της δυναμικής φόρτισης, με μια συνεχή χρονική δύναμη που είναι ανάλογη στη μάζα της πιθανής ασταθούς περιοχής ή όγκου πετρώματος, σύμφωνα με ένα σεισμικό συντελεστή.

Ο σεισμικός αυτός συντελεστής θεωρείται ότι συμπίπτει με την μέγιστη επιτάχυνση που καταγράφεται σε ένα συνθετικό επιταχυνσιογράφημα. Αυτή η υπόθεση μπορεί να δώσει υπερεκτιμημένα αποτελέσματα του σεισμικού γεγονότος (unstabilizing effect), αφού θεωρείται ότι η επιβολή της δύναμης είναι σταθερή ενώ στην πραγματικότητα επιδρά για πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα. Παρόλα αυτά, αφού η διατμητική αντοχή της βραχομάζας εξαρτάται από τις μετατοπίσεις που προκαλεί η δυναμική φόρτιση, καθίσταται δύσκολη η εκτίμηση της μείωσης της ώστε να αποτιμηθεί αν η μέθοδος και η υποτιθέμενη παράμετρος οδηγεί σε υπερεκτίμηση της δράσης του σεισμικού γεγονότος όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της οριακής ισορροπίας.

Ο συντελεστής ασφαλείας (Factor of safety - F_s) που υπολογίζεται με την ψευδό-στατική μέθοδο, δίδεται από τη σχέση (4.1) με βάση τις γεωμετρικές και μηχανικές ιδιότητες του πρανούς που φαίνονται στο σχήμα 4.1:

$$F_s = \frac{\Omega \Theta \Sigma H}{\text{ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ}} = \frac{cl_{ab} + [(W - F_v) \cos \beta - F_h \sin \beta] \tan \phi}{(W - F_v) \sin \beta + F_h \cos \beta} \quad (4.1)$$

όπου c και ϕ είναι οι σταθερές Mohr-Coulomb και l_{ab} είναι το μήκος του επιπέδου αστοχίας (πλευρά ab , βλ. σχήμα 4.1)



Σχήμα 4.1: Στατικές και ψευδο-στατικές δυνάμεις σε ένα τυπικό πρανές

Όταν αυτός ο συντελεστής ασφαλείας έχει τιμή μικρότερη της μονάδας τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να παρατηρηθούν σημαντικές μετατοπίσεις στο πρανές και να επέλθει πλήρη αστοχία. Οπότε σε μια τέτοια περίπτωση χρειάζεται επαναδιαστασιολόγηση του πρανούς.

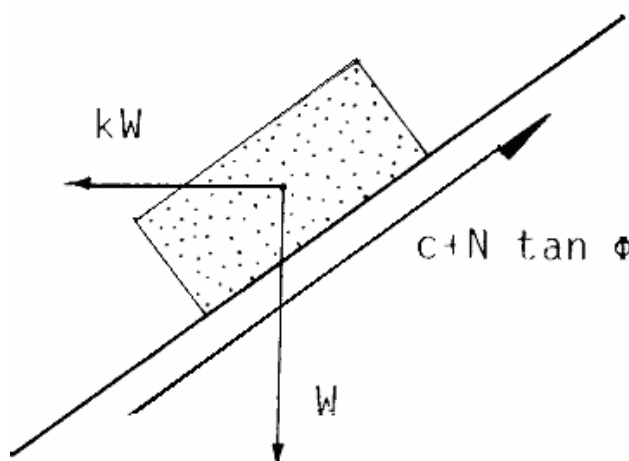
4.2.1 Μέθοδος των συνολικών μετατοπίσεων-Newmark

Ο Newmark το 1965 πρότεινε τα βασικά στοιχεία μιας διαδικασίας για τον υπολογισμό των πιθανών μετατοπίσεων ενός πρανούς λόγω σεισμικών κυμάτων. Ο Newmark θεώρησε ότι το φαινόμενο ολίσθησης κατά της διάρκειας εκκίνησης του είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος των αδρανειακών δυνάμεων που δρουν επί του της ασταθούς μάζας του φράγματος. Η κίνηση λαμβάνει χώρα όταν οι αδρανειακές δυνάμεις που προκαλούνται από τον σεισμό επάνω σε μια πιθανή μάζα που τείνει να ολισθήσει, γίνουν αρκετά μεγάλες για να ξεπεράσουν το όριο διαρροής της επιτάχυνσης.

Ο Newmark ανέλυσε μια μάζα εδάφους που μετακινήθηκε με ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας αστοχίας υπό την δράση αδρανειακών δυνάμεων εξαιτίας κάποιας δόνησης από σεισμό. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται ότι θεώρησε την ασταθή εδαφομάζα σαν στερεό σώμα στους υπολογισμούς του, που δεχόταν εξωτερικές δυνάμεις σε ένα κεκλιμένο επίπεδο.

Η κίνηση ξεκινάει όταν οι αδρανειακές δυνάμεις που προκλήθηκαν από ένα σεισμικό γεγονός, υπερβούν το όριο της ελάχιστης δυναμικής αντίστασης που διατηρεί το πρανές σε συνθήκες οριακής ισορροπίας. Αρχικά αναγκαίος είναι ο υπολογισμός τόσο του μηχανισμού αστοχίας όσο και της διαρροής της επιτάχυνσης που ανταποκρίνονται στην ελάχιστη δυναμική αντίσταση ώστε να είναι δυνατή η επίλυση των εξισώσεων οριακής ισορροπίας. Κατ' επέκταση

οι συνολικές μετατοπίσεις της μάζας που ολισθαίνει κατά την υποβολή εξωτερικών δυνάμεων σε μια χρονική περίοδο, μπορούν πλέον να υπολογιστούν. Κατά την διαδικασία υπολογισμού, επιλέγονται χρονοϊστορίες της εδαφικής κίνησης λόγω ενός σεισμικού γεγονότος. Οι χρονοϊστορίες κίνησης μπορεί να παρέχουν πληροφορίες για την επιτάχυνση, την ταχύτητα και την μετατόπιση, και για τις τρεις συνιστώσες του ορθοκανονικού συστήματος συντεταγμένων.



Σχήμα 4.2: Άκαμπτο κιβώτιο που ολισθαίνει σε κεκλιμένο επίπεδο

4.3 Δυναμική ανάλυση

Οι δυναμικές αναλύσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αναπτυσσομένων επιταχύνσεων και αδρανειακών δυνάμεων σε όλο τον όγκο του απορριμματικού πρανούς, καθώς και των διατμητικών παραμορφώσεων στη θεμελίωση. Βασικό στόχο αποτελεί η ρεαλιστική προσομοίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του υπό-εξέταση πρανούς και ο ακριβής έλεγχος της ευστάθειάς του. Σημειώνεται ότι στόχος μας είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επεισέρχονται στο πρόβλημα, όπως είναι τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης και οι μηχανικές και γεωμετρικές ιδιότητες των απορριμματικών πρανών.

Όλες οι κατασκευές συμπεριφέρονται δυναμικά όταν δεχθούν κάποιο σεισμικό φορτίο. Γι' αυτό λοιπόν πριν την κατασκευή του αναγκαία κρίνεται η εκπόνηση δυναμικής μελέτης ώστε να αντέχουν σε κάθε είδους καταπόνηση.

Η βασική εξίσωση για την χρονικά εξαρτημένη μετακίνηση μιας κατασκευής κάτω από την επιρροή ενός δυναμικού φορτίου είναι :

$$f_I + f_D + f_S = p(t) \quad (4.2)$$

όπου f_I είναι η αδρανειακή δύναμη, f_D η δύναμη αποσβέσεως, f_S η ελαστική δύναμη του ελατηρίου και $p(t)$ είναι η εξωτερική δυναμική φόρτιση.

Από την παραπάνω σχέση, με αντικατάσταση των μεγεθών στο αριστερό μέλος, παίρνουμε:

$$m \cdot \ddot{u}(t) + c \cdot \dot{u}(t) + k \cdot u(t) = p(t) \quad (4.3)$$

όπου m είναι η μάζα του ταλαντούμενου σώματος, k είναι η σταθερά του ελατηρίου, c είναι η σταθερά απόσβεσης του συστήματος, $\ddot{u}(t)$: η επιτάχυνση, $\dot{u}(t)$ η ταχύτητα, $u(t)$ η μετατόπιση του σώματος από την αρχική θέση ισορροπίας του, ως συνάρτηση του χρόνου t

Η παραπάνω σχέση αναφέρεται σε ένα εξιδανικευμένο σύστημα, γραμμικό ελαστικό, στο οποίο έχει γίνει η θεώρηση της γραμμικής ιξώδους απόσβεσης. Η απόσβεση γενικά παριστά τον μηχανισμό απώλειας ενέργειας του συστήματος, ο οποίος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος, μπορεί όμως να προσεγγιστεί σε πολλές περιπτώσεις ικανοποιητικά με τη θεώρηση της γραμμικής ιξώδους συμπεριφοράς.

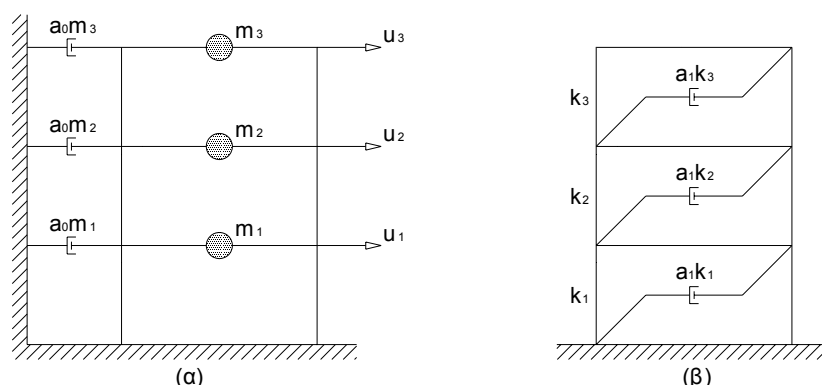
4.3.1 Τυπική απόσβεση

Η τυπική απόσβεση είναι μία κατάλληλη εξιδανίκευση όταν στο εξεταζόμενο σύστημα οι ιδιότητες απόσβεσης είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την κατασκευή, όπως λόγου χάρη στην περίπτωση ενός πολυώροφου πλαισίου με ενιαία κατασκευαστική διάταξη και το ίδιο υλικό καθ' όλο το ύψος του. Συνήθως, όταν το σύστημα έχει τυπική απόσβεση, το μητρώο C είναι διαγώνιο και οι διαφορικές εξισώσεις κίνησης μπορούν να μετασχηματιστούν σε ισοδύναμες μη συζευγμένες εξισώσεις, οπότε το πολυβάθμιο σύστημα μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα σύνολο μονοβάθμιων συστημάτων με τη μέθοδο της υπέρθεσης των ιδιομορφών.

Ας θεωρήσουμε ότι το μητρώο απόσβεσης είναι ανάλογο του μητρώου μάζας ή του μητρώου δυσκαμψίας της κατασκευής, δηλαδή:

$$c = a_0 m \quad \text{ή} \quad c = a_1 k \quad (4.4)$$

όπου οι όροι a_0 και a_1 έχουν διαστάσεις sec^{-1} και sec αντίστοιχα. Αποδεικνύεται ότι και για τις δύο παραπάνω θεωρήσεις όσον αφορά το μητρώο απόσβεσης c , το προκύπτον μητρώο C είναι διαγώνιο, επομένως τα δύο παραπάνω μητρώα αποτελούν τυπικά μητρώα απόσβεσης. Οι δύο παραπάνω θεωρήσεις, αντιπροσωπεύουν τα δύο μοντέλα απόσβεσης του παρακάτω σχήματος για την περίπτωση ενός επίπεδου πολυώροφου πλαισίου.



Σχήμα 4.3: (α) Απόσβεση ανάλογη της μάζας (β) απόσβεση ανάλογη της δυσκαμψίας

Για την περίπτωση της απόσβεσης της ανάλογης με τη μάζα, η γενικευμένη απόσβεση θα δίνεται από τη σχέση:

$$C_n = a_0 M_n \quad (4.5)$$

ενώ ο αντίστοιχος λόγος απόσβεσης για την n ιδιομορφή, θα είναι:

$$\zeta_n = \frac{C_n}{2M_n \omega_n} = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} \quad (4.6)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις, ο συντελεστής απόσβεσης είναι αντιστρόφως ανάλογος της ιδιοσυχνότητας ω_n . Μπορούμε αρχικά να επιλέξουμε κατάλληλα την παράμετρο a_0 , ούτως ώστε σύμφωνα με τη σχέση

(4.6), να έχουμε σε κάποια ιδιομορφή, έστω i , τον επιθυμητό λόγο απόσβεσης ζ_i . Επομένως,

$$a_0 = 2\zeta_i \omega_i \quad (4.7)$$

Για κάθε μία από τις υπόλοιπες $N-1$ ιδιομορφές, ο λόγος απόσβεσης θα προκύψει σύμφωνα με τη σχέση (4.6).

Για την περίπτωση της απόσβεσης της ανάλογης με τη δυσκαμψία, η γενικευμένη απόσβεση θα δίνεται από τη σχέση:

$$C_n = a_1 \omega_n^2 M_n \quad (4.8)$$

ενώ ο αντίστοιχος λόγος απόσβεσης για την n ιδιομορφή, θα είναι:

$$\zeta_n = \frac{C_n}{2M_n \omega_n} = \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (4.9)$$

Σε αυτήν την περίπτωση, ο λόγος απόσβεσης είναι ανάλογος της ιδιοσυχνότητας ω_n . Μπορούμε αντίστοιχα με την περίπτωση (α) να επιλέξουμε κατάλληλα την παράμετρο a_1 , έτσι ώστε σύμφωνα με τη σχέση (4.9), να έχουμε σε κάποια ιδιομορφή j , τον επιθυμητό λόγο απόσβεσης ζ_j . Επομένως,

$$a_1 = \frac{2\zeta_j}{\omega_j} \quad (4.10)$$

Για κάθε μία από τις υπόλοιπες $N-1$ ιδιομορφές, ο λόγος απόσβεσης θα προκύψει σύμφωνα με τη σχέση (4.9).

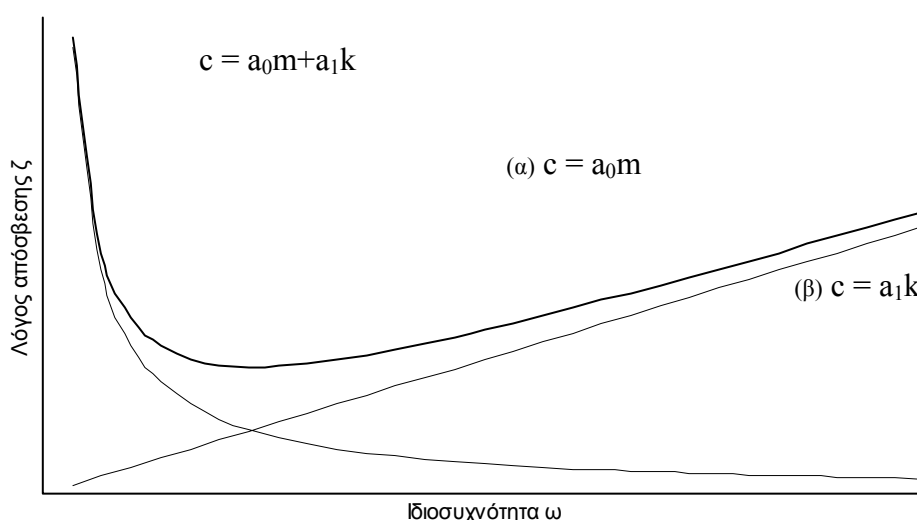
Τα μητρώα απόσβεσης που περιγράφονται από τις παραπάνω σχέσεις δεν είναι απολύτως κατάλληλα για την ανάλυση πολυβάθμιων συστημάτων στην πράξη. Και αυτό γιατί οι συσχετίσεις που παρέχουν μεταξύ των λόγων απόσβεσης ζ_n και των ιδιοσυχνοτήτων ω_n δεν ανταποκρίνονται κατά πολύ στις πειραματικές καταγραφές, σύμφωνα με τις οποίες μπορεί περισσότερες ιδιομορφές να εμφανίζουν περίπου τους ίδιους λόγους απόσβεσης ζ . Μία θεώρηση που προσεγγίζει καλύτερα την πραγματικότητα είναι αυτή της απόσβεσης Rayleigh, σύμφωνα με την οποία:

$$c = a_0 m + a_1 k \quad (4.11)$$

Ο λόγος απόσβεσης για την ιδιομορφή n , σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, θα δίνεται από τη σχέση:

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (4.12)$$

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η εξάρτηση του λόγου απόσβεσης ζ από την ιδιοσυχνότητα ω , για κάθε ένα από τα τρία σχήματα απόσβεσης που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι το σχήμα του Rayleigh, υπερτερεί έναντι των άλλων δύο σχημάτων, καθώς επιτρέπει μία τιμή του λόγου απόσβεσης ζ να αντιστοιχεί σε δύο τιμές της ιδιοσυχνότητας ω .



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα $\zeta = f(\omega)$, για κάθε τύπο απόσβεσης

Οι συντελεστές a_0 και a_1 , μπορούν να υπολογιστούν αντίστοιχα με τα προηγούμενα, βάση των επιθυμητών λόγων απόσβεσης ζ_i και ζ_j για δύο από τις N ιδιομορφές. Στη συνήθη περίπτωση που θα επιλεγούν ίδιοι συντελεστές απόσβεσης $\zeta_i = \zeta_j = \zeta$ και για τις δύο αυτές ιδιομορφές, οι συντελεστές αυτοί θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \text{και} \quad a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j} \quad (4.13)$$

Η απόσβεση Rayleigh είναι μία αρκετά αποδοτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη, καθώς μας παρέχει τη δυνατότητα επιλογής των λόγων απόσβεσης για δύο ιδιομορφές. Οι ιδιομορφές αυτές πρέπει να επιλεγούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται λογικές τιμές απόσβεσης και για τις υπόλοιπες ιδιομορφές που συμμετέχουν στην

απόκριση του συστήματος. Στην επιλογή των λόγων απόσβεσης, με αντίστοιχα πολύπλοκα σχήματα, μπορούμε να συμπεριλάβουμε και περισσότερες από δύο τιμές, οπότε θα έχουμε στις σχέσεις περισσότερες από δύο σταθερές α_i .

Η απόσβεση πρέπει να υπολογίζεται με βάση μετρήσεων που έχουν προέλθει από ισχυρές σεισμικές δονήσεις στις οποίες όμως η κατασκευή παρέμεινε στην ελαστική περιοχή. Επειδή, όμως, τέτοια στοιχεία είναι δύσκολο να βρεθούν, καθώς λίγες κατασκευές έχουν μόνιμα εγκαταστημένους επιταχυνσιογράφους και αφετέρου οι ισχυροί σεισμοί είναι σπάνιοι, θεωρούμε ότι το μητρώο απόσβεσης είναι ανάλογο του αθροίσματος του μητρώου μάζας και του μητρώου δυσκαμψίας, δηλαδή:

$$C = A_R M + \beta_R K \quad (4.14)$$

όπου A_R, β_R είναι οι σταθερές Rayleigh.

Κατά την αριθμητική επίλυση της δυναμικής μεθόδου, σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει η μορφή της χημικής ολοκλήρωσης, η οποία είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την σταθερότητα και την ακρίβεια της διαδικασίας υπολογισμού. Η άμεση και έμμεση ολοκλήρωση είναι τα δύο άκρα της χρονικής ολοκλήρωσης. Η έμμεση είναι εύκολη στην διατύπωση της αλλά κατά την διάρκεια υπολογισμού επιβάλλονται περιορισμοί στον ορισμό του χρονικού βήματος. Η άμεση ολοκλήρωση, συνήθως, δίνει ακριβέστερες λύσεις και χρησιμοποιείται ευρέως. Έτσι, λοιπόν, μια από τις μεθόδους άμεσης ολοκλήρωσης είναι αυτή του Newmark κατά την οποία η μετατόπιση και η ταχύτητα στο χρονικό σημείο $t+\Delta t$ γράφονται αντιστοίχως ως:

$$u^{t+\Delta t} = u^t + \dot{u}^t \Delta t + \left(\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{u}^t + \alpha \ddot{u}^{t+\Delta t} \right) \Delta t^2 \quad (4.15)$$

$$\dot{u}^{t+\Delta t} = \dot{u}^t + ((1 - \beta) \ddot{u}^t + \beta \ddot{u}^{t+\Delta t}) \Delta t \quad (4.16)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις το Δt είναι το χρονικό βήμα. Οι συντελεστές α, β καθορίζουν την ακρίβεια της αριθμητικής χρονικής ολοκλήρωσης και δεν είναι, όμως, ίσοι με τον συντελεστή ακρίβειας του Rayleigh α, β . Συνήθως τα

α , β που εμφανίζονται στις παραπάνω εξισώσεις περιορίζονται απ' τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\beta \geq 0.5 \text{ και } \alpha \geq \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} + \beta \right)^2 \quad (4.17)$$

4.4 Αριθμητικοί μέθοδοι προσομοίωσης

Οι αναλυτικές μέθοδοι, αν και είναι συνήθως εύχρηστες και σχετικώς γρήγορες, περιορίζονται κυρίως σε μονοδιάστατα προβλήματα ή σε πολύ απλές διδιάστατες γεωμετρίες, ενώ παρουσιάζουν σημαντικότερες δυσχέρειες στο να λάβουν υπόψη την ανελαστικότητα των υλικών. Απεναντίας, οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι πολλές και εξελίσσονται διαρκώς. Η ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων επιτρέπει πλέον την προσομοίωση σύνθετων τρισδιάστατων προβλημάτων και την αντιμετώπιση τής ανελαστικής συμπεριφοράς των εδαφικών υλικών. Πρακτικώς όμως, οι ρεαλιστικές τρισδιάστατες αναλύσεις, πέρα από τις υπερβολικές απαιτήσεις σε γεωτεχνικά δεδομένα και υπολογιστική μνήμη, είναι ιδιαιτέρως χρονοβόρες. Για τον λόγο αυτόν συνήθως θεωρούνται απλοποιητικές συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης, και πραγματοποιούνται διδιάστατες αναλύσεις χαρακτηριστικών διατομών. Έτσι περιορίζονται σημαντικά ο όγκος των γεωτεχνικών δεδομένων, οι υπολογιστικές απαιτήσεις, και, κατ' επέκταση, ο χρόνος και το κόστος των αναλύσεων.

Οι πιο συνηθισμένες αριθμητικές μέθοδοι που εμφανίζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα και ειδικότερα στον τομέα της βραχομηχανικής είναι :

Μέθοδοι συνεχούς μέσου:

- A) Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method, FEM).
- B) Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference Method, FDM).
- Γ) Μέθοδος των συνοριακών στοιχείων (Boundary Element Method, BEM).

Μέθοδοι διακριτού μέσου:

- A) Μέθοδος των διακριτών στοιχείων (Discrete Element Method, DEM).
- B) Μέθοδος των δικτύων διακριτών ασυνεχειών (Discrete Fracture Network, DFN).

Υβριδικές μέθοδοι : Μεταξύ συνεχών-διακριτών μεθόδων.

Η επιλογή μεθόδου μεταξύ συνεχούς ή διακριτού μέσου, εξαρτάται από πολλούς προβληματικούς ειδικούς παράγοντες και κυρίως από το μέγεθος και την γεωμετρία του συστήματος ασυνεχειών. Οι συνεχείς προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο εάν υπάρχουν λίγες ασυνέχειες και αν το άνοιγμα μεταξύ τους καθώς και η αποκόλληση ολόκληρων κομματιών δεν παρουσιάζουν μεγάλες τιμές. Η προσομοίωση με διακριτά στοιχεία, ενδείκνυται για κερματισμένη βραχώδη μέσα, όπου ο αριθμός των ασυνεχειών είναι πολύ μεγάλος ή είναι πιθανές μετατοπίσεις από τμήματα του βράχου μεγάλης κλίμακας. Καμία όμως μέθοδος δεν είναι καλύτερη από την άλλη, αλλά κάποια από τα μειονεκτήματα της κάθε μίας μπορούν να αποφευχθούν με τον συνδυασμό των δύο μεθόδων, δηλαδή τα υβριδικά μοντέλα.

4.5 Πεπερασμένα στοιχεία (FEM)

Στην παρούσα εργασία θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη κύρια εκπρόσωπο των αριθμητικών μεθόδων, τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, κυρίως λόγω της χαρακτηριστικής άνεσης στην αντιμετώπιση πολύπλοκων γεωμετριών. Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει την προσομοίωση σχηματισμών που συνδυάζουν τοπογραφικές, γεωμορφικές, ή και στρωματογραφικές ανωμαλίες. Σημειώνεται ότι η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι ιδανική για προβλήματα που ενέχουν γεωμετρικές ιδιομορφίες ή ανελαστική συμπεριφορά υλικών. Η δυνατότητα χρήσεως ενός μη-δομημένου δικτύου πεπερασμένων στοιχείων, με κατά τόπους πυκνώσεις και αραιώσεις, αποτελεί αναμφισβήτητα ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο για την προσομοίωση εδαφικών σχηματισμών. Επιπλέον, η μέθοδος πεπερασμένων

στοιχείων χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό σε αμιγώς δομοστατικές εφαρμογές, ενώ είναι αδιαμφισβήτητη η ικανότητά της να αντιμετωπίζει προβλήματα αλληλεπιδράσεως εδάφους–θεμελιώσεως–ανωδομής και γεωμετρικής μή-γραμμικότητας.

4.5.1 Ιστορική αναδρομή FEM

Στα μέσα της δεκαετίας του 1950 αναπτύχθηκαν κάποιες ιδέες που μπορούν να θεωρηθούν ως οι προπομποί της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Από την αρχή της, στο ξεκίνημα της δεκαετίας του 1960, πολλές εργασίες με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEM) είχαν επικεντρωθεί στα προβλήματα της βραχομηχανικής. Αυτό οφείλεται στο ότι ήταν η πρώτη αριθμητική μέθοδος που είχε την ικανότητα να αντιμετωπίσει την ανομοιογένεια του εδάφους, την μη γραμμική παραμορφωσιμότητα (κυρίως την πλαστικοποίηση), περίπλοκες συνοριακές συνθήκες, υπό την επίδραση φορτίσεων και της βαρύτητας. Επίσης, η μέθοδος αυτή εμφανίστηκε όταν η συμβατική μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (FDM) με κλασσικούς καννάβους αδυνατούσε να αντιμετωπίσει ικανοποιητικά τις απαιτήσεις των προβλημάτων της βραχομηχανικής.

Η αναπαράσταση των ασυνεχειών του βράχου στην μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEM) άρχισε να αναπτύσσεται από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 λόγω των αναγκών της βραχομηχανικής. Το γνωστό «στοιχείο ασυνέχειας» του Goodman, όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία της βραχομηχανικής, είχε μεγάλη εφαρμογή σε κώδικες FEM και χρησιμοποιήθηκε σε πολλά πρακτικά προβλήματα κατασκευών σε βράχο. Όμως, αυτά τα μοντέλα είχαν σχεδιαστεί πάνω στην παραδοχή του συνεχούς μέσου, οπότε δεν επιτρεπόταν μεγάλης κλίμακας ανοίγματα, ολίσθηση ή πλήρη αποκόλληση από τα υπόλοιπα στοιχεία. Το μηδενικό πάχος του «στοιχείου ασυνέχειας» του Goodman προκαλούσε αριθμητικά λάθη που οφείλονταν στο γεγονός ότι οι συντελεστές προσανατολισμού, που προκύπτουν από το πηλίκο του μήκους δια το πάχος, έτειναν στο άπειρο.

Σύμφωνα με τις ιδέες αυτές μια κατασκευή χωρίζεται - τμηματοποιείται σε μικρότερα τμήματα - στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους με κόμβους. Η

πρώτη δημοσίευση πάνω στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων έγινε από τον μαθηματικό Courant το 1940, δημοσίευση που πέρασε απαρατήρητη.

Η μέθοδος αυτή είναι μια μαθηματική τεχνική με καθορισμένο πεδίο εφαρμογών και με ορισμένο σφάλμα προσέγγισης η οποία τα τελευταία χρόνια γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη και ευρεία εφαρμογή. Τα πεπερασμένα στοιχεία βασίζονται σε αναπτυγμένες μαθηματικές σχέσεις και αποτελούν μια ιδιαίτερα ισχυρή μέθοδο της αριθμητικής ανάλυσης για την επίλυση οριακών προβλημάτων (boundary value problems). Πρόκειται για μία προσεγγιστική μέθοδο που στηρίζεται στη μέθοδο των μεταβολών, όπου αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στη μέθοδο.

Πριν από κάποια χρόνια η μέθοδος χρησιμοποιείτο κυρίως για επιστημονική έρευνα. Τελευταία όμως χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς κλάδους της τεχνολογίας. Στην ευρεία εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων συνετέλεσε η ταχεία ανάπτυξη της χρήσης των υπολογιστών, διότι ακόμη και για την επίλυση απλών προβλημάτων απαιτούνται πολλές πράξεις.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία προσεγγιστική μέθοδος, άρα τα αποτελέσματα που παίρνουμε από τη χρήση της μεθόδου σε μια κατασκευή περιέχουν σφάλμα. Το σφάλμα εμφανίζεται μικρότερο στα στοιχεία που έχουν κανονικό σχήμα (ισόπλευρα τρίγωνα, τετράγωνα, κύβοι κ.λπ.). Το σφάλμα αυτό γίνεται μικρότερο όσο αυξάνει ο αριθμός των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη διακριτοποίηση της κατασκευής. Όμως με την αύξηση των στοιχείων έχουμε και αύξηση του αριθμού των προσδιορισθέντων κομβικών παραμέτρων και συνεπακόλουθα έχουμε αύξηση της απαιτούμενης μνήμης του υπολογιστή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους, δηλαδή του χρόνου επεξεργασίας του προβλήματος στον υπολογιστή. Έτσι είναι καλύτερα να μην καταφεύγουμε σε μία ομοιόμορφη μείωση του μεγέθους των στοιχείων αλλά σε μία συμπύκνωση των στοιχείων στις περιοχές όπου έχουμε ραγδαίες μεταβολές τάσεων.

Τα πεπερασμένα στοιχεία θεωρείται ότι συνδέονται μεταξύ τους σε ένα αριθμό σημείων, τους κόμβους. Σε κάθε κόμβο κάθε στοιχείου αντιστοιχεί ένας αριθμός κομβικών παραμέτρων. Οι κομβικοί παράμετροι είναι

γενικευμένες μετατοπίσεις δηλαδή μετατοπίσεις και παράγωγοί τους. Οι παραμορφώσεις στο τυχόν στοιχείο συνδέονται με τις μετατοπίσεις. Οι μετατοπίσεις σε κάθε σημείο του στοιχείου εκφράζονται συναρτήσει των μετατοπίσεων των κόμβων με τη βοήθεια κάποιου παρεμβολικού τύπου. Συνήθως για την παρεμβολή αυτή χρησιμοποιούνται πολυώνυμα. Όσο μεγαλύτερου βαθμού πολυώνυμο επιλέγεται για την προσεγγιστική έκφραση των μετατοπίσεων τόσο πιο κοντά στην πραγματική λύση βρισκόμαστε. Μια διακριτοποίηση είναι ένα πλέγμα κόμβων και στοιχείων. Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται μία διακριτοποίηση με τριγωνικά στοιχεία.

4.5.2 Μειονεκτήματα της μεθόδου

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι ένα αριθμητικό αποτέλεσμα προσδιορίζεται για ένα ορισμένο πρόβλημα. Δεν υπάρχει κάποια έκφραση που να επιτρέπει αναλυτική μελέτη των αποτελεσμάτων αλλάζοντας διάφορες παραμέτρους του προβλήματος. Για την ορθή λύση του προβλήματός μας η σωστή επιλογή και προπάντων η σωστή χρήση του προγράμματος βοηθά να καταλήξουμε σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Επίσης η σωστή επιλογή υπολογιστή μεγάλης ταχύτητας και χωρητικότητας είναι απαραίτητη. Απαιτείται εμπειρία και καλή γνώση της μηχανικής για να κατασκευαστεί μία σωστή διακριτοποίηση που θα περιγράφει με ακρίβεια τη μηχανική συμπεριφορά της κατασκευής.

4.5.3 Ακρίβεια της μεθόδου

Η θεωρητική ακρίβεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τον τύπο του στοιχείου, δηλαδή τον αριθμό των κόμβων και των βαθμών ελευθερίας ανά κόμβο, τον αριθμό των κομβικών παρεμβολών και τον βαθμό του πολυωνύμου.
- Τον τύπο του κάνναβου, δηλαδή αραιός ή πυκνός κ.λπ.
- Την ύπαρξη ανωμαλιών στο εξεταζόμενο πρόβλημα, δηλαδή ρωγμές κ.λπ.

- Τον τρόπο υπολογισμού των κομβικών φορτίων και γενικά τον τρόπο εισαγωγής των συντοριακών συνθηκών.

4.5.4 Διακριτοποίηση

Η υποδιαίρεση ενός σώματος σε πεπερασμένα στοιχεία είναι μία διαδικασία κατά την οποία ο μηχανικός αποφασίζει για τον αριθμό, το σχήμα, το μέγεθος και τη διάταξη των στοιχείων που θα χρησιμοποιήσει έτσι ώστε το σώμα να προσομοιωθεί όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η διακριτοποίηση περιλαμβάνει την τοποθέτηση γεωμετρικού συστήματος συντεταγμένων και την ομαδοποίηση των κόμβων στα στοιχεία. Πρώτα, περιγράφεται το στοιχείο βάζοντας τον αριθμό των στοιχείων, τον τύπο των στοιχείων καθώς και τον αριθμό των κόμβων που περικλείουν το στοιχείο. Μετά εισάγονται οι φυσικές συντεταγμένες των κόμβων. Ο βασικός στόχος είναι να γίνεται η διακεκριμενοποίηση κατά τέτοιο τρόπο που το σώμα να διαιρείται σε αρκετά μικρά στοιχεία ώστε να προσεγγίσει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα. Πρέπει, επίσης, να λαμβάνεται υπόψη ότι όσο καλύτερη γίνεται η διακριτοποίηση, τόσο μειώνεται το υπολογιστικό κόστος. Αυτό επιτυγχάνεται είτε αυτόματα από το πρόγραμμα είτε με επεμβάσεις του χρήστη.

4.6 Ανάλυση ΧΥΤΑ με FEM

Συνήθως η αριθμητική ανάλυση των ΧΥΤΑ γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Ανάλογα με τα διαθέσιμα υπολογιστικά εργαλεία αυτή μπορεί να γίνει στις μια, στις δύο ή σπανιότερα στις τρεις διαστάσεις. Παλαιότερα ο συνηθέστερος τρόπος ήταν οι μονοδιάστατες αναλύσεις που περιγράφονται στη συνέχεια. Πρόσφατα, λόγω και των εξελίξεων στην τεχνολογία των Η/Υ και των σχετικών προγραμμάτων οι αναλύσεις γίνονται στις δυο διαστάσεις. Αυτή η πρακτική ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο και στο παράρτημα της.

Οι μονοδιάστατες αναλύσεις σεισμικής αποκρίσεως της θεμελίωσης ενός ΧΥΤΑ βασίζονται στην υπόθεση ότι οι υπεδάφικές στρώσεις είναι οριζοντίως

και απείρως εκτεινόμενες, θεωρώντας κατακόρυφη διάδοση οριζοντίων διατμητικών σεισμικών κυμάτων. Οι αναλύσεις αυτές επικράτησαν λόγω της ευχρηστίας και του μικρού υπολογιστικού κόστους που τις διακρίνει (όπως π.χ. ο γνωστός κώδικας SHAKE). Αν και αναμφισβήτητα υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η υπόθεση μονοδιάστατων συνθηκών μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστική, συνήθως υιοθετείται (καταχρηστικώς) και σε περιπτώσεις πιο πολύπλοκων στρωματογραφικών συνθηκών όπου εμφανίζονται τοπογραφικές ή γεωμορφικές ιδιαιτερότητες. Ως βασικές αιτίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν:

- α. το υψηλό κόστος διερευνήσεως των πραγματικών εδαφικών συνθηκών με πλήρεις και αξιόπιστες γεωτεχνικές και γεωφυσικές έρευνες, και
- β. η αδυναμία εκτελέσεως μίας δισδιάστατης (πόσο μάλλον μίας τρισδιάστατης) προσομοίωσης, λόγω έλλειψης της απαιτούμενης τεχνογνωσίας ή εμπειρίας

Καθώς είναι ευρέως αποδεκτό το ότι οι μονοδιάστατες αναλύσεις έχουν περιορισμένο εύρος εφαρμογής, πριν από περίπου μία εικοσαετία άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες δισδιάστατης προσομοιώσεως της σεισμικής απόκρισης εδαφικών σχηματισμών. Οι μέθοδοι και τεχνικές που πρωτοεμφανίστηκαν ήταν κυρίως αναλυτικές και ημι - αναλυτικές. Μολονότι η εξέλιξη των μεθόδων αυτών είναι διαρκής ακόμη μέχρι και σήμερα, το βασικό τους μειονέκτημα έγκειται στο ότι βασίζονται αναγκαστικώς σε υπεραπλουστεύσεις και παραδοχές, οι οποίες, εκ των πραγμάτων, περιορίζουν ιδιαίτερος την πρακτική αξία τους.

5

Αριθμητικές εφαρμογές

5.1 Υπολογιστικά προσομοιώματα

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η ρεαλιστική προσομοίωση της σεισμικής συμπεριφοράς διάφορων διατομών ΧΥΤΑ και ο έλεγχος της ευστάθειας τους. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι παραδοχές που έγιναν προκειμένου να εκτελεσθούν οι αναλύσεις σεισμικής απόκρισης διάφορων χαρακτηριστικών μοντέλων ΧΥΤΑ. Οι παραδοχές που έγιναν έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων, τις μηχανικές ιδιότητες και τη γεωμετρία των πρανών και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν οι τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις ΧΥΤΑ που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1. Αρχικά, εξετάστηκαν δυο τυπικές μορφές υπέργειου και υπόγειου ΧΥΤΑ. Έγιναν όμως στη συνέχεια και σεισμικές αναλύσεις για έναν πραγματικό χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων της Άμφισσας, έτσι ώστε να επισημανθούν τα διάφορα σημεία που πρέπει να προσεχθούν κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό τέτοιων έργων.

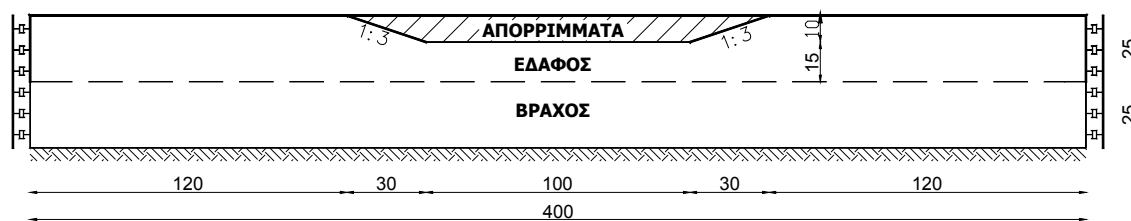
Στον ΧΥΤΑ της Άμφισσας, στην πραγματικότητα, υπάρχει ένα εδαφικό “σκαλοπάτι” στον πόδα του πρανού. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν επίσης κάποιες αναλύσεις με και χωρίς την ύπαρξη της παραπάνω εδαφικής “ανωμαλίας”. Αυτό έγινε για να εξεταστεί, το κατά πόσον επηρεάζει το “σκαλοπάτι” αυτό τη σεισμική συμπεριφορά του χώρου υγειονομικής ταφής. Η ύπαρξη τέτοιων ασυνεχειών είναι σύνηθες φαινόμενο στις περιοχές γύρω από ΧΥΤΑ. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητη η διενέργεια της σχετικής διερεύνησης και αυτής της παραμέτρου. Τα μοντέλα των παραπάνω ΧΥΤΑ που εξετάσθηκαν παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1.

Για τον προσδιορισμό των αναπτυσσομένων επιταχύνσεων στην επιφάνεια της απορριμματικής μάζας, πραγματοποιήθηκαν δυναμικές αναλύσεις και για τις τρεις περιπτώσεις ΧΥΤΑ (υπόγειος, υπέργειος και ΧΥΤΑ Άμφισσας), θεωρώντας ιξωδοελαστική συμπεριφορά των υλικών. Όσον αφορά τις συνοριακές συνθήκες των αριθμητικών προσομοιωμάτων θεωρήθηκε πακτωμένη βάση και κατακόρυφα σύνορα με δυνατότητα απορρόφησης των σεισμικών κυμάτων. Στη συνέχεια έγιναν ψευδοστατικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό του σεισμικού συντελεστή ασφαλείας με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς.

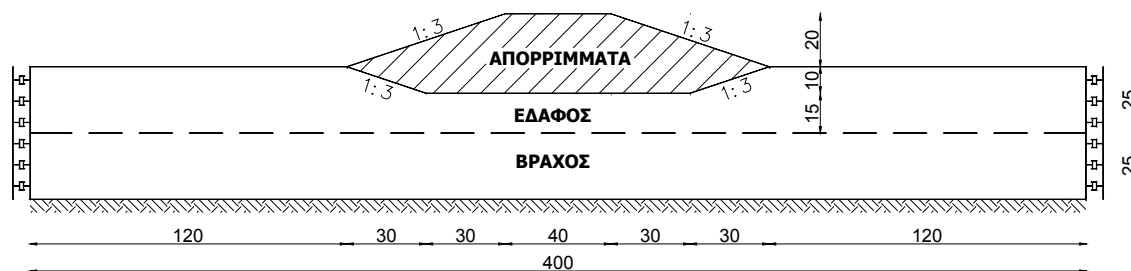
Χρειάστηκε να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις στις διατομές των χώρων που εξετάστηκαν λόγω της πολυπλοκότητας της μορφής των ΧΥΤΑ. Πιο συγκεκριμένα, δεν συμπεριλήφθησαν οι στρώσεις αργιλικών υλικών και οι γεωμεμβράνες που χρησιμοποιούνται για τις στεγανώσεις του πυθμένα και των πρανών. Εξάλλου, ήδη, η διερεύνηση που έγινε ήταν πολυπαραμετρική και θα ήταν ακόμα πιο δύσκολη η εξαγωγή συμπερασμάτων εάν αυξανόταν περαιτέρω οι παράμετροι του προβλήματος. Ούτως ή άλλως, από μια μικρή αρχική διερεύνηση προέκυψε ότι αυτές οι στρώσεις, για τον συγκεκριμένο τύπο προσομοίωσης με το πρόγραμμα Plaxis, δεν είχαν ιδιαίτερη επιρροή στην απόκριση των ΧΥΤΑ. Γι’ αυτό και δεν συμπεριλήφθησαν στη συνέχεια.

Στα μοντέλα που φαίνονται στο σχήμα 5.1 συμπεριλαμβάνεται και μια ενδιάμεση εδαφική στρώση μεταξύ ΧΥΤΑ και βράχου. Για τη διερεύνηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών –που είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στη σεισμική μηχανική– η στρώση αυτή σε ορισμένες αναλύσεις θεωρείται έδαφος και σε άλλες βράχος. Επίσης, για λόγους

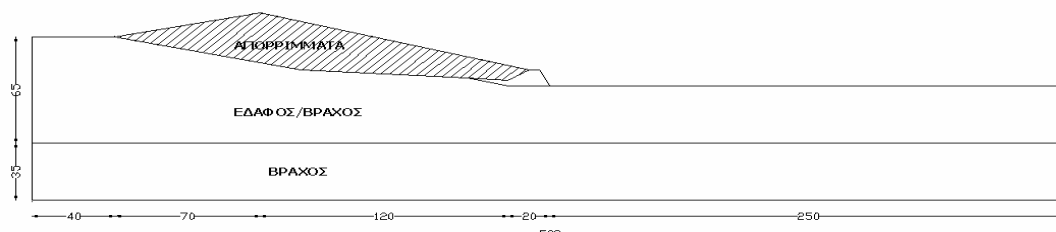
μεγαλύτερης ακρίβειας των αποτελεσμάτων τα πλάγια όρια του μοντέλου ετέθησαν σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Τέλος, για τον ίδιο λόγο, τοποθετήθηκε και η πρόσθετη στρώση του βραχώδους υποβάθρου στο κάτω μέρος των προσομοιωμάτων.



Περίπτωση Α : Υπόγειος Χ.Υ.Τ.Α.



Περίπτωση Β : Υπέργειος Χ.Υ.Τ.Α.



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Γ: Χ.Υ.Τ.Α. ΑΜΦΙΣΣΑΣ

Σχήμα 5.1: Γεωμετρίες των ΧΥΤΑ

5.2 Παραδοχές στις ιδιότητες των υλικών

Στην ενότητα αυτήν παρατίθενται συνοπτικά τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό Plaxis, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο σχετικό παράρτημα αλλά και στο εγχειρίδιο εκμάθησης του προγράμματος.

5.2.1 Στρώση βραχώδους εδαφικού σχηματισμού

Για τη στρώση του βραχώδους σχηματισμού ελήφθησαν στραγγιζόμενες συνθήκες και το γραμμικό ελαστικό μοντέλο υλικών (Linear Elastic). Η τιμή της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων ήταν ίση με 1000 m/sec, ενώ ο λόγος του Poisson θεωρήθηκε ίσος με 0.3. Οι παραπάνω τιμές διατηρήθηκαν σταθερές για όλα τα προσομοιώματα που αναλύθηκαν, είτε για δυναμική είτε για ψευδοστατική ανάλυση.

5.2.2 Στρώση εδαφικού σχηματισμού

Για την στρώση του εδαφικού σχηματισμού ελήφθησαν, ομοίως, στραγγιζόμενες συνθήκες και το μοντέλο Linear Elastic. Η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων ήταν ίση με 300 m/sec, ενώ ο λόγος του Poisson θεωρήθηκε ίσος με 0.3. Οι παραπάνω τιμές διατηρήθηκαν σταθερές για όλα τα προσομοιώματα που αναλύθηκαν, είτε για τη δυναμική είτε για τη ψευδοστατική ανάλυση.

5.2.3 Απορριμματικό πρανές

A) Για την δυναμική ανάλυση:

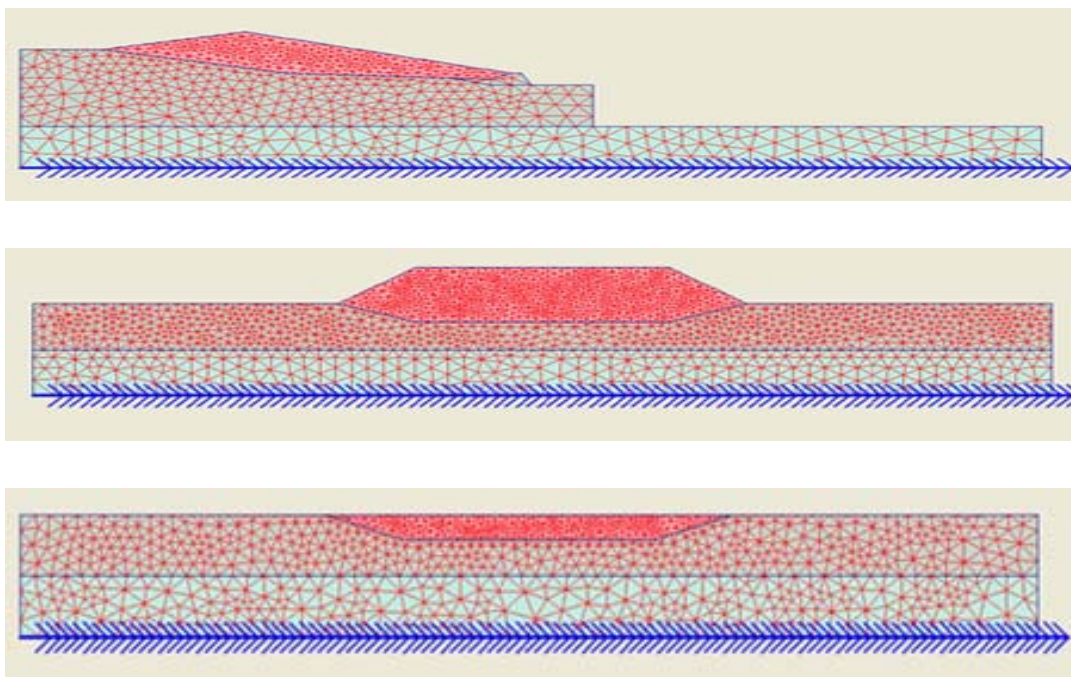
Για το απορριμματικό πρανές ελήφθησαν, επίσης, στραγγιζόμενες συνθήκες και το μοντέλο Linear Elastic. Ακόμη, ως χαρακτηριστική τιμή, η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων θεωρήθηκε η 200 m/sec, ενώ ο λόγος του Poisson θεωρήθηκε ίσος με 0.2. Οι παραπάνω τιμές διατηρήθηκαν σταθερές για όλα τα προσομοιώματα που αναλύθηκαν στο λογισμικό Plaxis με την προαναφερθείσα μέθοδο.

B) Για την ψευδό-στατική ανάλυση

Για το απορριμματικό πρανές ελήφθησαν και πάλι στραγγιζόμενες συνθήκες και οι προαναφερθείσες τιμές των διαφόρων παραμέτρων, αλλά για το μοντέλο υλικού χρησιμοποιήθηκε ο τύπος Mohr-Coulomb. Η συνοχή του εδάφους θεωρήθηκε πολύ μικρή (ίση με 1 kPa για λόγους αποφυγής αριθμητικών σφαλμάτων αφού κανονικά το $c \approx 0$), ενώ η γωνία τριβής θεωρήθηκε ίση με 30° . Οι παραπάνω τιμές διατηρήθηκαν σταθερές για όλα τα προσομοιώματα που αναλύθηκαν ψευδοστατικά.

5.3 Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων

Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων Plaxis, είναι αναγκαία η δημιουργία του κατάλληλου δικτύου (ή καννάβου) πεπερασμένων στοιχείων. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι εξακομβικά τριγωνικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης.



Σχήμα 5.2: Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων για τους διάφορους ΧΥΤΑ που εξετάστηκαν

Το Plaxis επιτρέπει μια πλήρως αυτοματοποιημένη αναπαραγωγή καννάβου πεπερασμένων στοιχείων. Επιλέγοντας την επιλογή “Very fine”

στην εντολή “Generate mesh” του υπομενού “Mesh” του Plaxis” δημιουργείται αυτόματα ο κατάλληλος κάνναβος πεπερασμένων στοιχείων. Επειδή, όμως, σε αυτήν την εργασία ερευνάται η σεισμική απόκριση του απορριμματικού πρανές, δημιουργείται με την κατάλληλη επεξεργασία, πύκνωση στον όγκο του απορριμματικού πρανές και αντίστοιχα αραιώση του κάνναβου πεπερασμένων στοιχείων στις εδαφικές στρώσεις (βλέπε και παράρτημα). Τα δίκτυα των πεπερασμένων στοιχείων για όλους τους ΧΥΤΑ παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2.

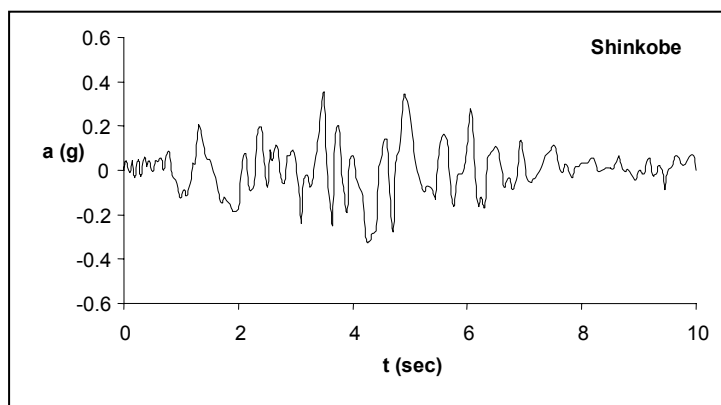
Ο κάνναβος είναι πιο πυκνός στον όγκο του απορριμματικού πρανούς ενώ αραιώνει στην εδαφική στρώση και ακόμη πιο πολύ στο βράχο. Με αυτή τη διαβάθμιση του καννάβου, μειώνεται το υπολογιστικό κόστος και συγχρόνως λαμβάνονται ακριβή αποτελέσματα.

5.4 Σεισμικές καταγραφές

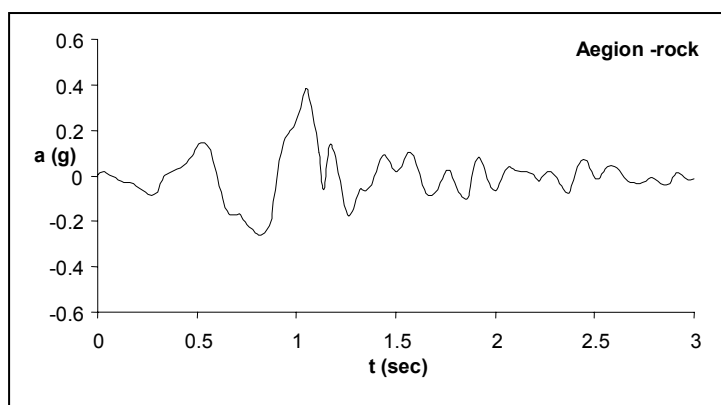
Η σεισμική διέγερση των προσομοιωμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω μίας απλής παλμικής διέγερσης τύπου Ricker, αλλά και δύο πραγματικών σεισμικών καταγραφών, των οποίων η μέγιστη επιτάχυνση κυμαίνεται μεταξύ 0.3 και 0.4 g (όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας $\approx 10 \text{ m/sec}^2$). Πρόκειται για:

- α) Έναν παλμό Ricker με χαρακτηριστική συχνότητα $f = 2 \text{ Hz}$ (ή περίοδο $T = 0.5 \text{ sec}$), ο οποίος καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων περί τα 2 Hz, και παρέχει τη δυνατότητα κατανόησης της κυματικής διάδοσης λόγω της απλής κυματομορφής του. Σημειώνεται μάλιστα, ότι τέτοιου είδους παλμικές διεγέρσεις θεωρούνται αντιπροσωπευτικές καταγραφών εγγύς-ρήγματος (near fault earthquakes).
- β) Ένα πραγματικό επιταχυνσιογράφημα από τον σεισμό του Kobe της Ιαπωνίας το 1995. Πρόκειται για την καταγραφή σε βράχο Shinkobe «ανοιγμένη σε 0.4g», δηλαδή με μέγιστη τιμή εδαφικής επιτάχυνσης (PGA) ίση με 0.4g και όχι με περίπου 0.8g που ήταν στην πραγματικότητα, έτσι ώστε να είναι συμβατή με τα ελληνικά δεδομένα.
- γ) Το «τροποποιημένο» επιταχυνσιογράφημα στο κτίριο του Ο.Τ.Ε. από τον σεισμό του Αιγίου το 1995, από το οποίο έχει απαλειφθεί η επίδραση

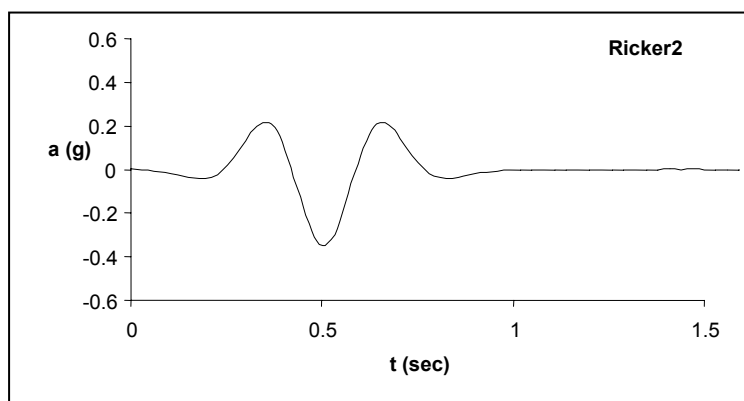
των επιφανειακών εδαφικών στρώσεων. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διέγερση είναι παρεμφερής με έναν παλμό Ricker με συχνότητα μικρότερη των 2 Hz, όπως άλλωστε διαπιστώνεται και από τα σχετικά φάσματα (βλ. σχήμα 5.4).



(α)



(β)

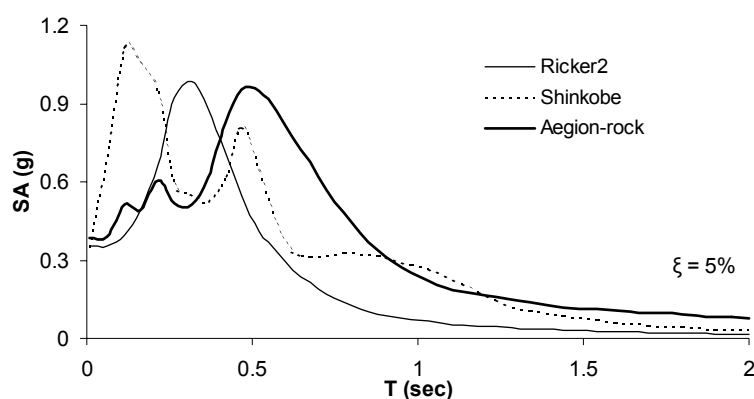


(γ)

Σχήμα 5.3: Χρονοιστορίες ελαστικής απόκρισης των σεισμικών διεγέρσεων του Kobe, Αιγίου και ενός παλμού Ricker με ιδιοσυχνότητα 2 Hz

Στο σχήμα 5.3 παραθέτονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης του παλμού και των δύο καταγραφών. Μία απλή οπτική σύγκριση μεταξύ των χρονοϊστοριών καταδεικνύει το “δυσμενέστερο” της διέγερσης Shinkobe έναντι του Αιγίου και του παλμού Ricker, όμως υπενθυμίζεται ότι η σύγκριση των επιταχυνσιογραφημάτων θα ήταν ακόμη δυσμενέστερη αν δεν είχε προηγηθεί η επικλιμάκια αναγωγή του Shinkobe περί τα 0.4g. Αντίστοιχα, στο σχήμα 5.4 συγκρίνονται τα φάσματα ελαστικής απόκρισης των τριών διεγέρσεων. Διαπιστώνεται ότι η παλμική διέγερση είναι αρκετά υψίσυχνη καθώς φθίνει ταχύτατα μετά τα 0.5 sec, σε αντίθεση με τις σεισμικές διεγέρσεις του Αιγίου και ιδιαιτέρως του Shinkobe που καλύπτουν υψηλότερες περιόδους.

Καθώς οι αναλύσεις βασίστηκαν στην υπόθεση ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς, θεωρήθηκε ότι η απόσβεση των υλικών σε όλα τα προσομοιώματα ήταν 5% (τύπου Rayleigh στο PLAXIS). Σημειώνεται ότι η τιμή 5% θεωρείται ως σχετικώς υψηλή για εφαρμογή της γεωτεχνικής μηχανικής, κρίνεται όμως αντιπροσωπευτική της αναμενόμενης ανελαστικής συμπεριφοράς του συστήματος έδαφος – ΧΥΤΑ λόγω των επιβαλλομένων ισχυρών διεγέρσεων. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι μικρότερη τιμή (π.χ. 2%) θα έδινε ακόμα πιο δυσμενή αποτελέσματα.



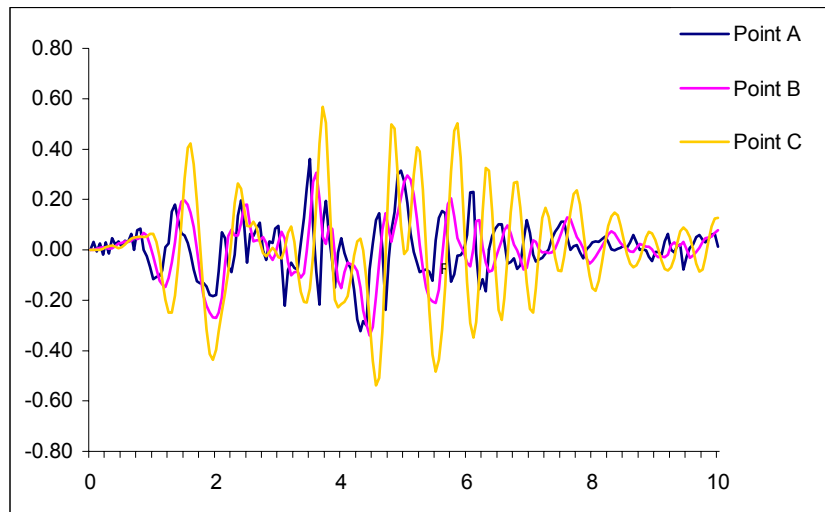
Σχήμα 5.4: Φάσματα ελαστικής απόκρισης των τριών σεισμικών διεγέρσεων που εξετάσθηκαν

5.5 Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων

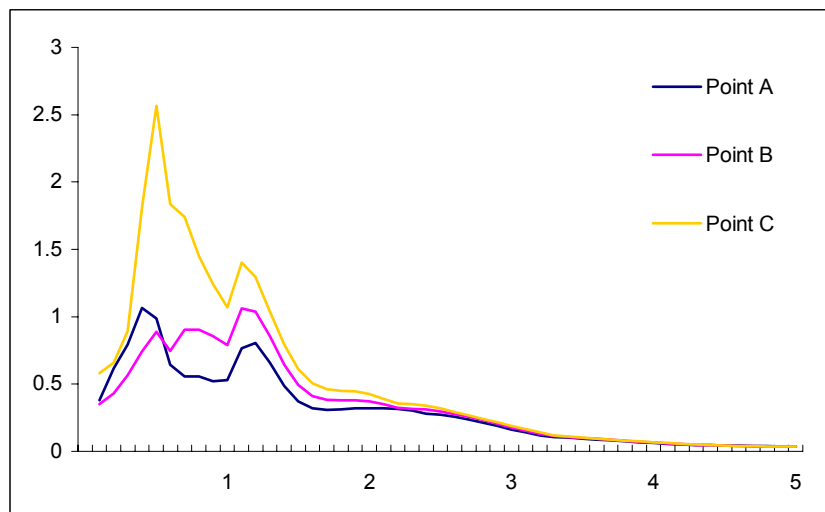
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που διεξήχθησαν. Αρχικά γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δυναμικών αναλύσεων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι καμπύλες επιτάχυνσης-χρόνου που προέκυψαν από τα μοντέλα μας καθώς και τα φάσματα απόκρισης.

Τα φάσματα απόκρισης δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα Bispec, το οποίο είναι ένα πρόγραμμα φασματικής ανάλυσης που εκτελεί αμφίδρομη δυναμική ανάλυση χρονοϊστοριών ενός απλού συστήματος εκκρεμών ή μια σειρά δυναμικών αναλύσεων με στόχο την εξαγωγή μη γραμμικών φασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι χρονοϊστορίες που προέκυψαν από τις δυναμικές αναλύσεις μετατράπηκαν σε μη γραμμικά φάσματα με τη βοήθεια του προαναφερθέντος προγράμματος.

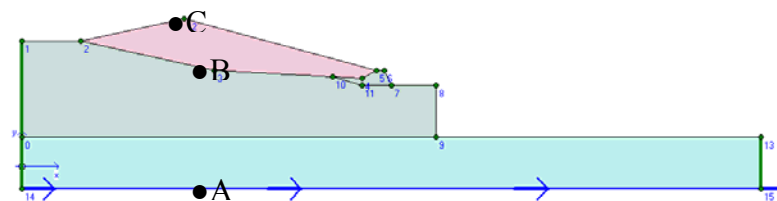
Σε όλα τα μοντέλα επιλέχτηκαν τρία σημεία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων: Ένα στον κάτω μέρος της γεωμετρίας του μοντέλου (σημείο A), ένα στη βάση του απορριμματικού πρανούς (σημείο B) και τέλος ένα σημείο στο υψηλότερο σημείο (στέψη) του απορριμματικού πρανούς (σημείο C).



(α)

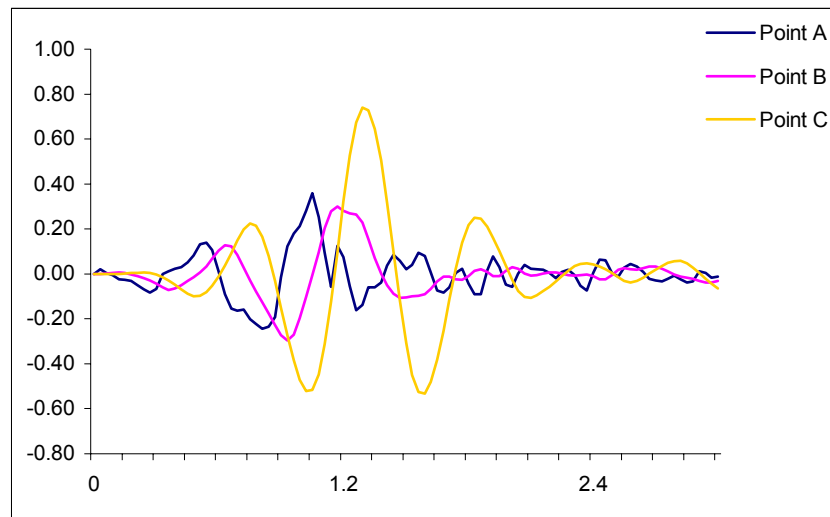


(β)

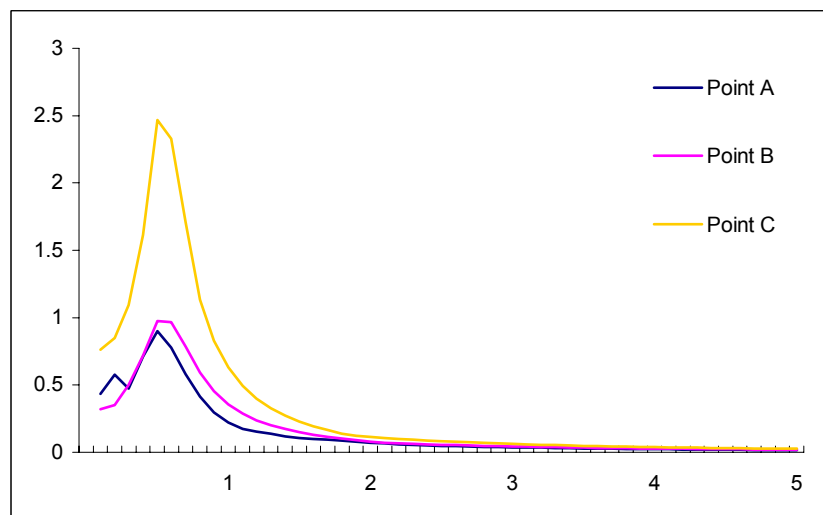


(γ)

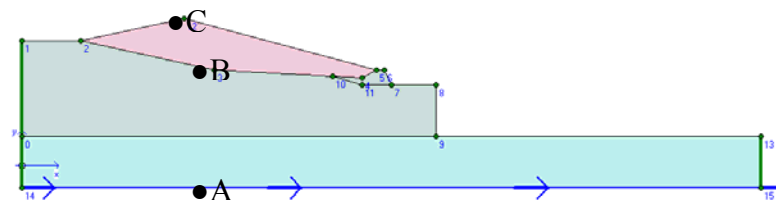
Σχήμα 5.5: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

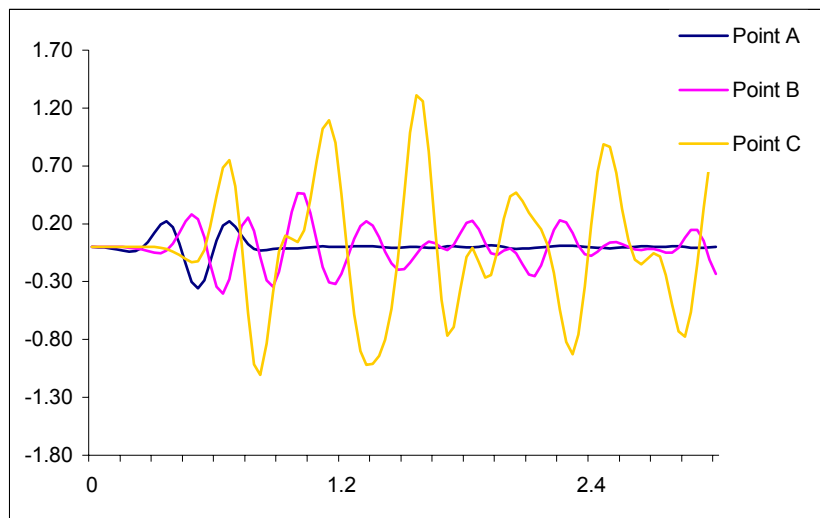


(β)

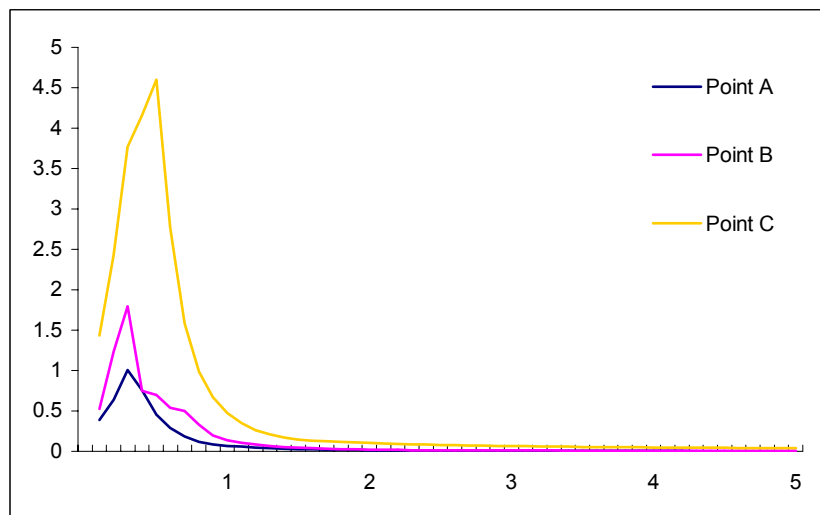


(γ)

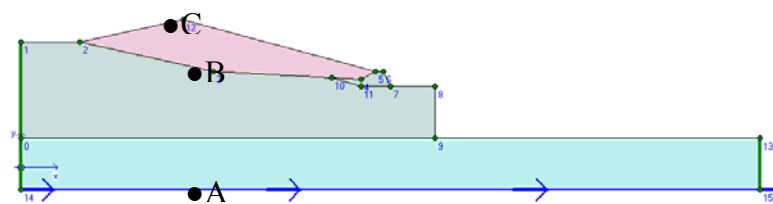
Σχήμα 5.6: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

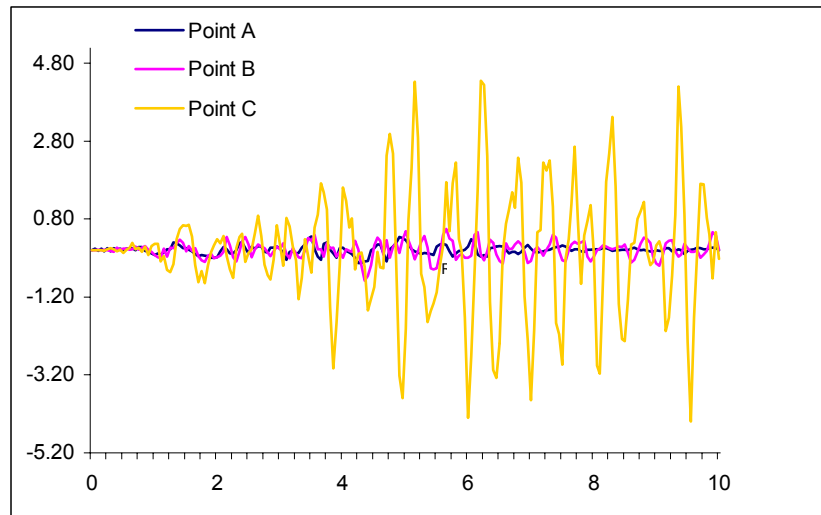


(β)

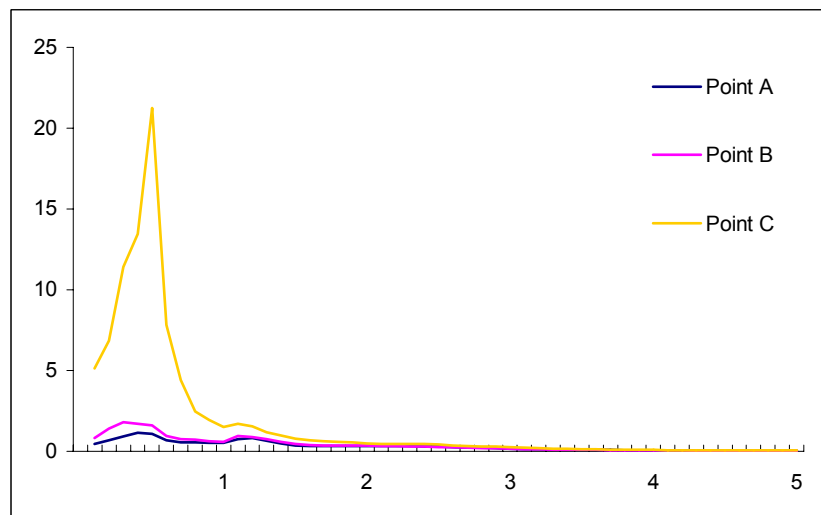


(γ)

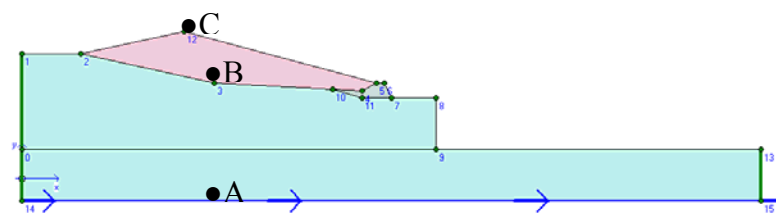
Σχήμα 5.7: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

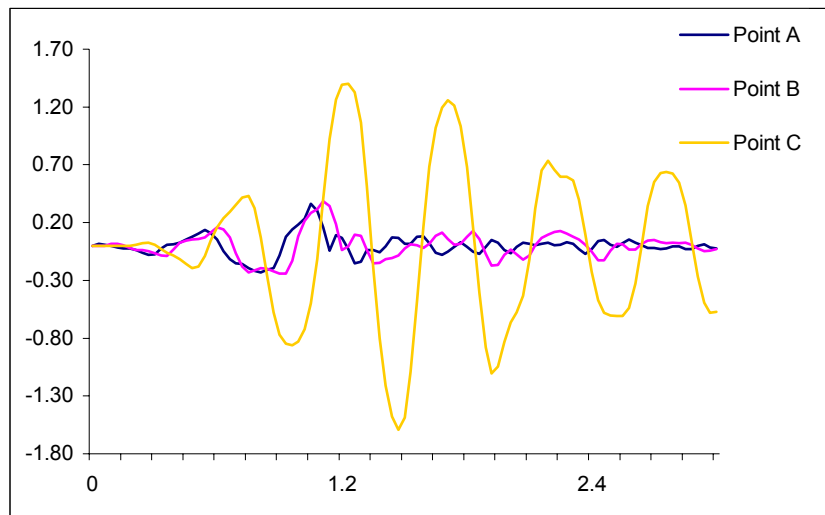


(β)

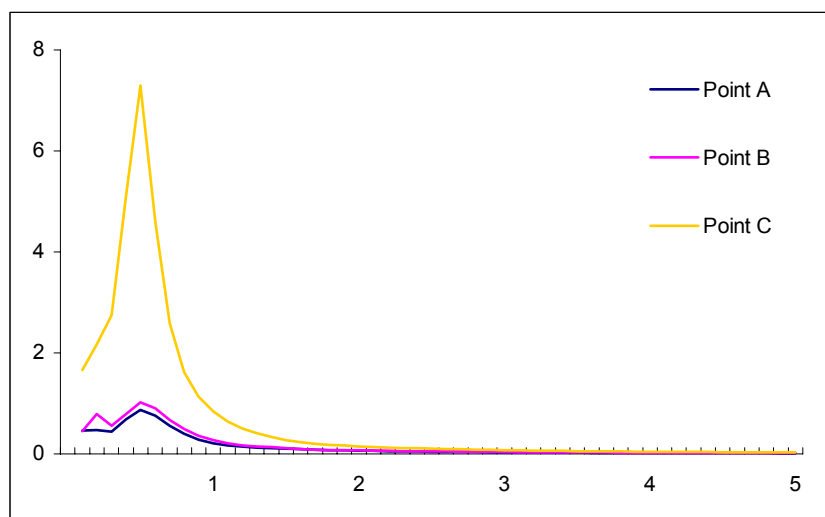


(γ)

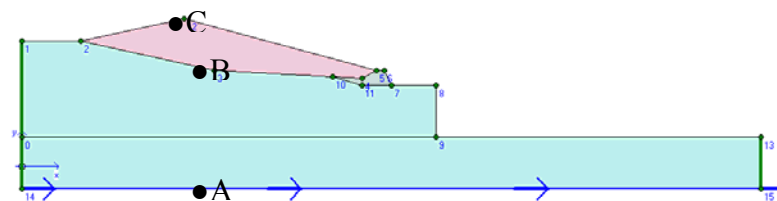
Σχήμα 5.8: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

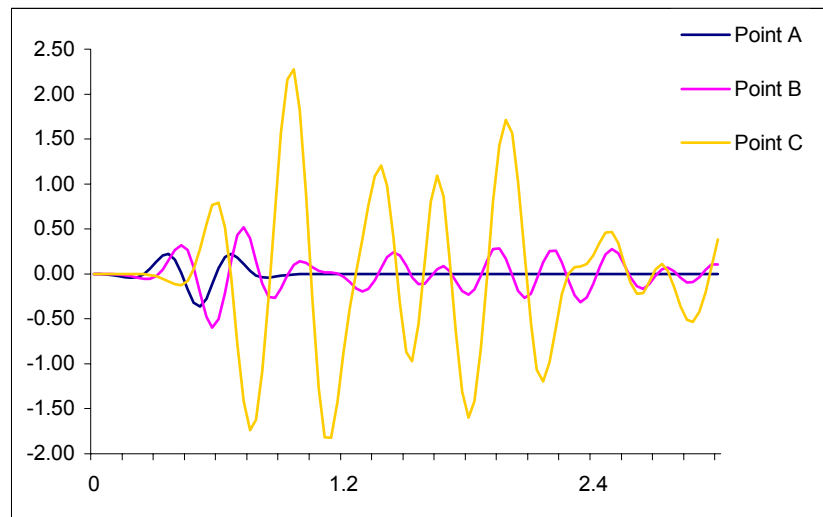


(β)

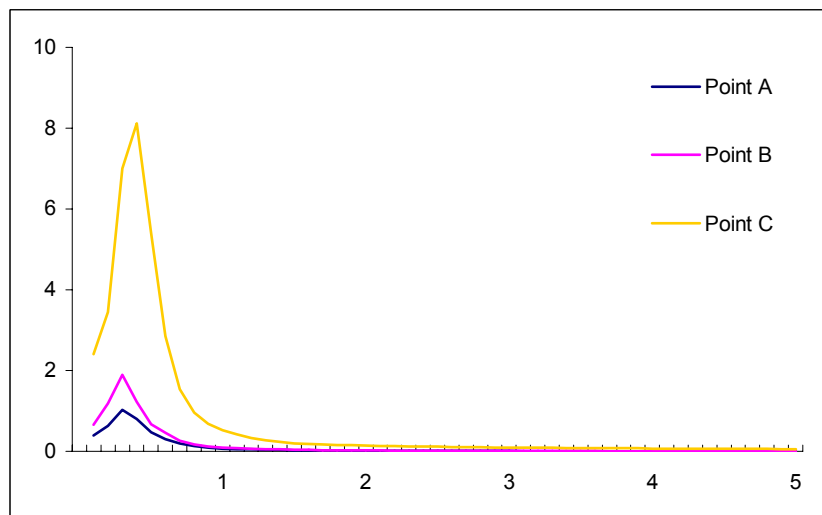


(γ)

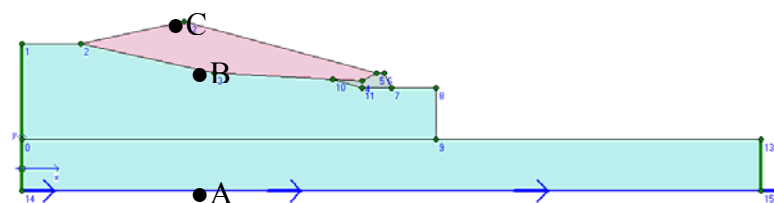
Σχήμα 5.9: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

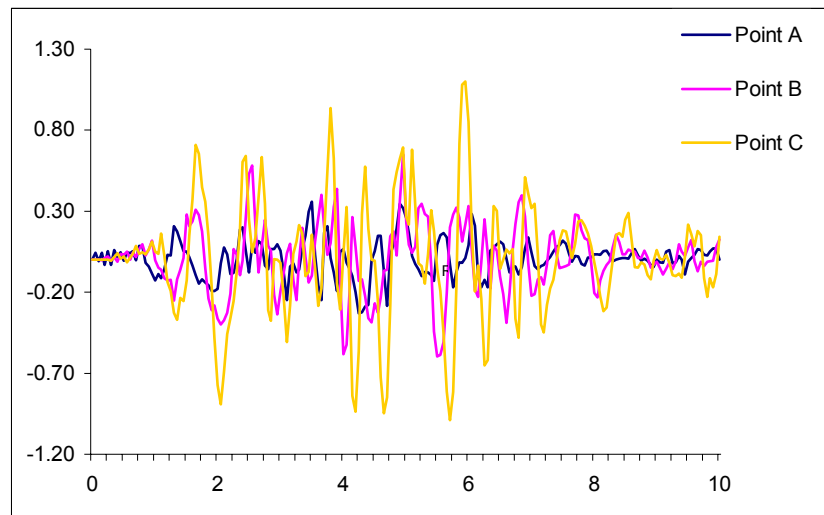


(β)

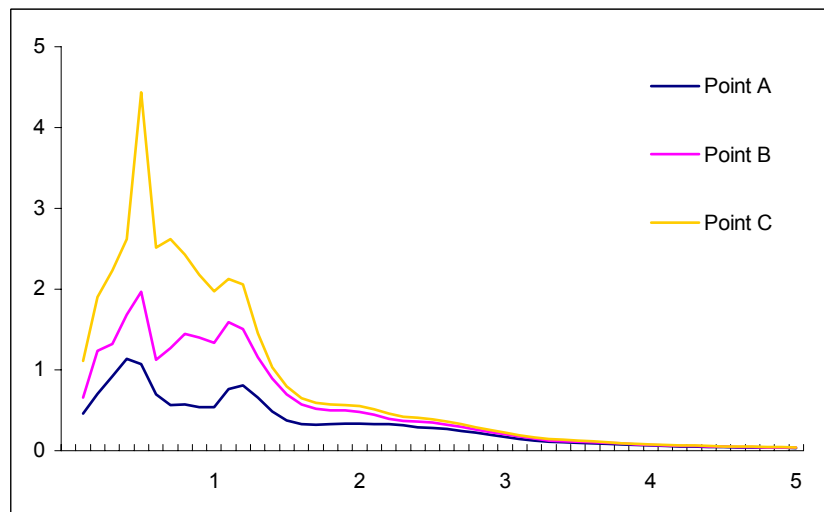


(γ)

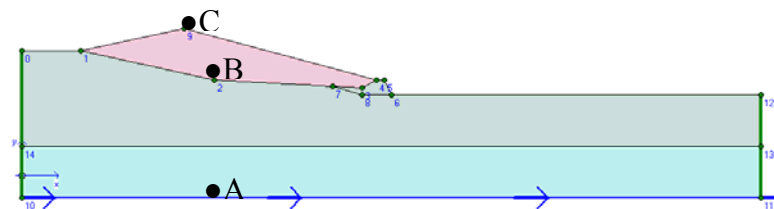
Σχήμα 5.10: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



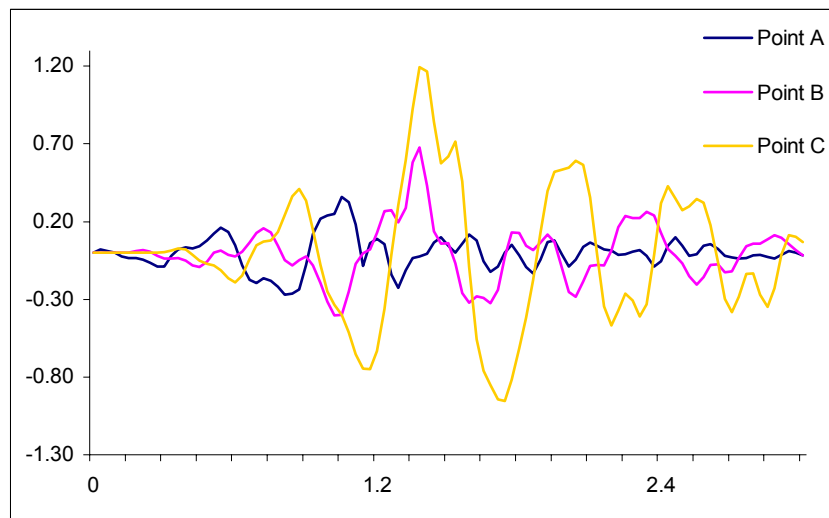
(α)



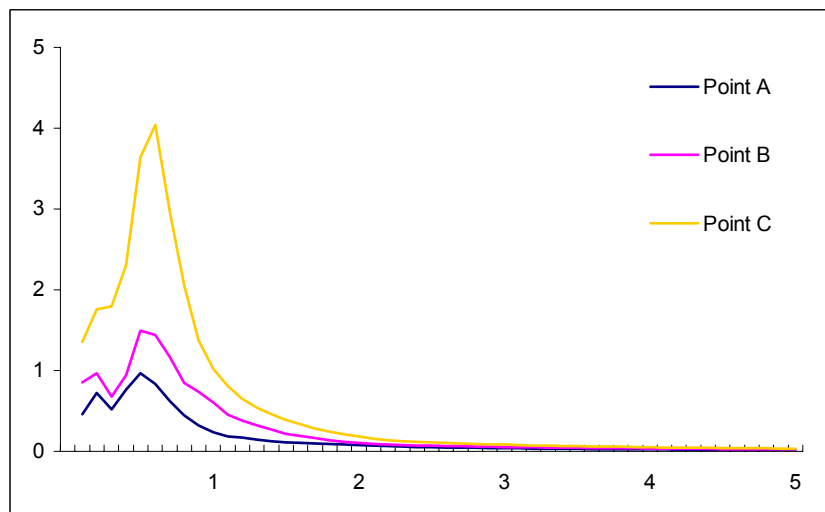
(β)



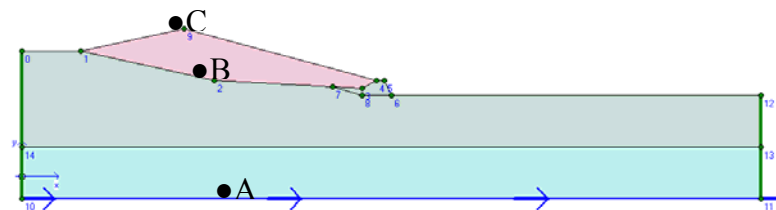
Σχήμα 5.11: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία και με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

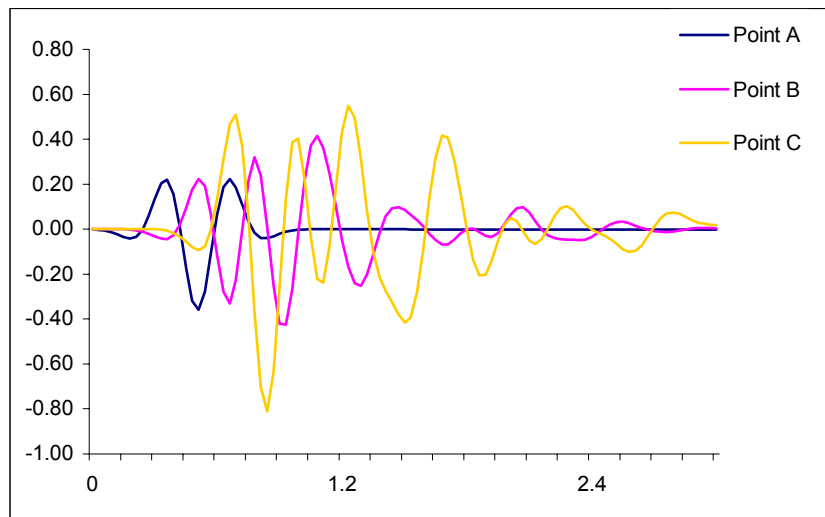


(β)

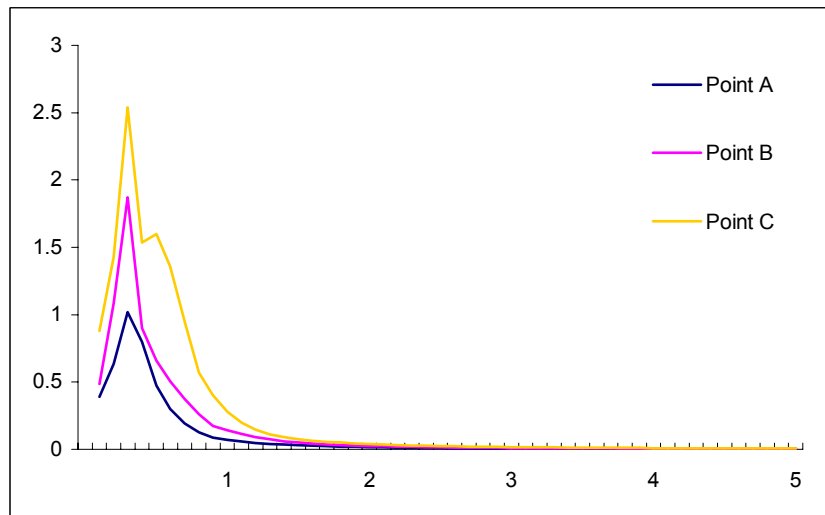


(γ)

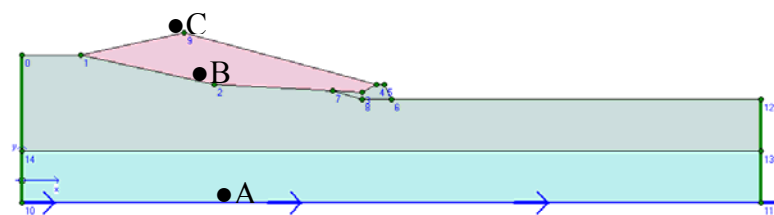
Σχήμα 5.12: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

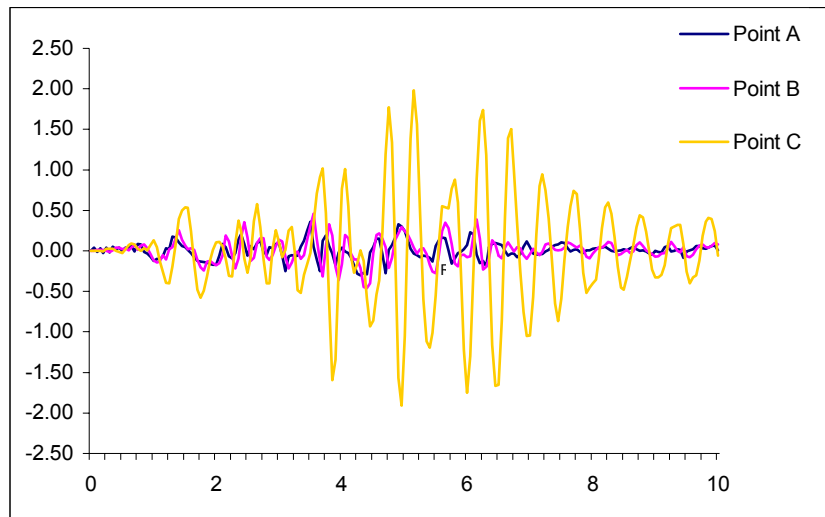


(β)

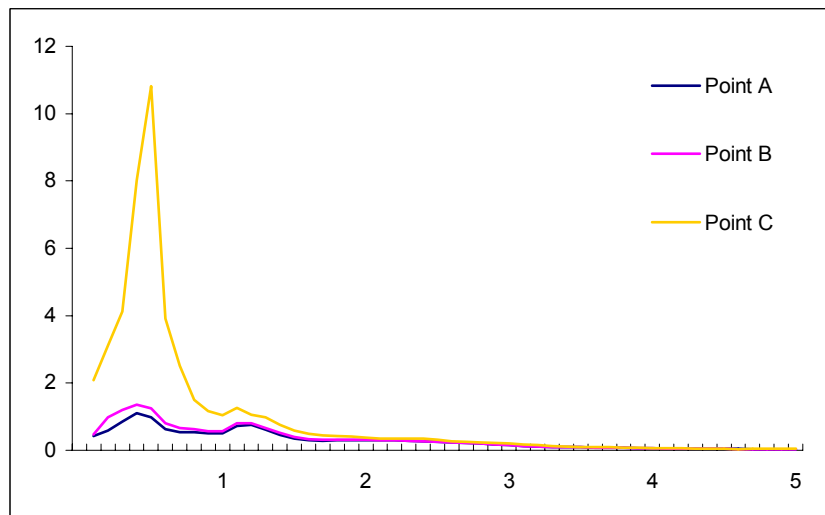


(γ)

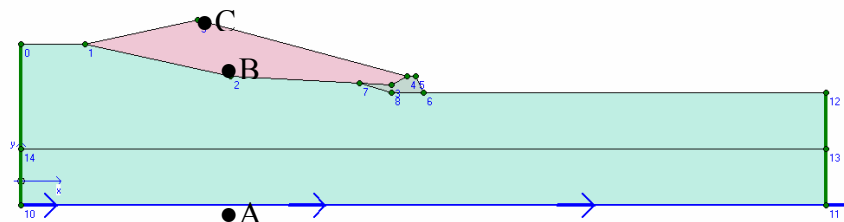
Σχήμα 5.13: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

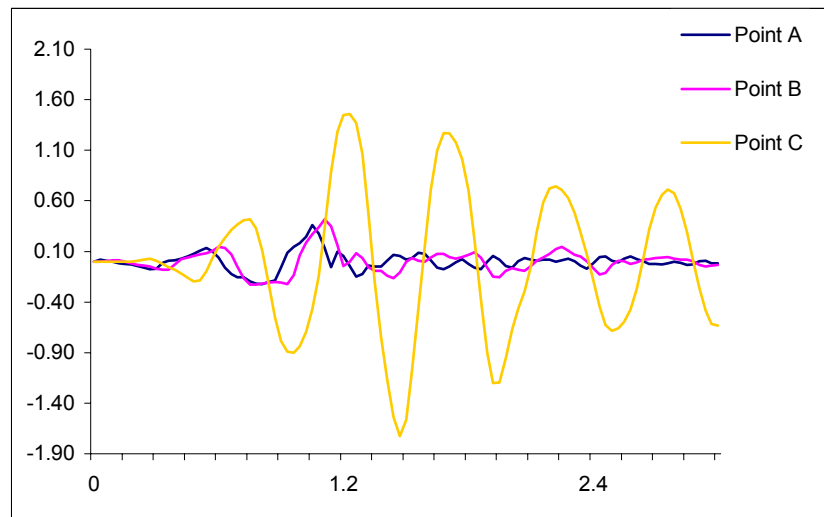


(β)

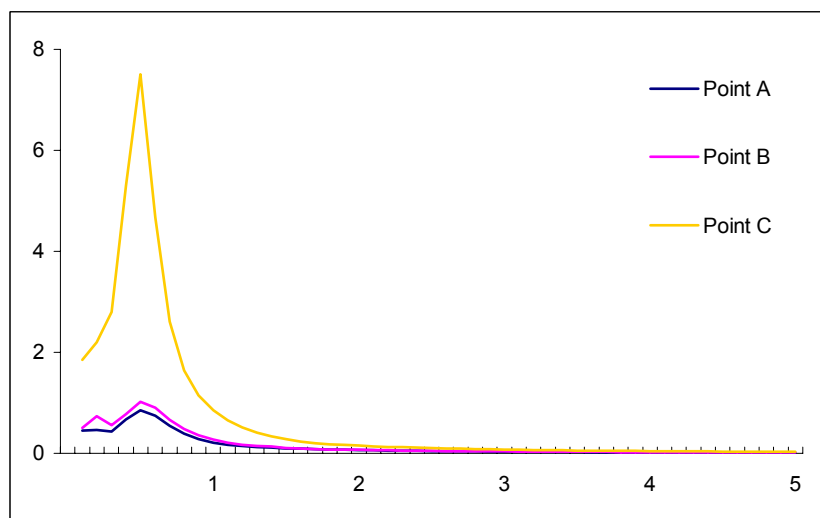


(γ)

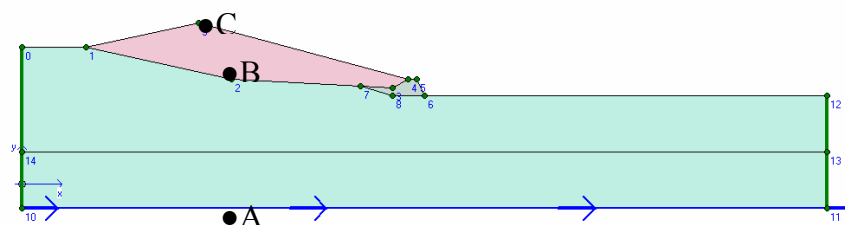
Σχήμα 5.14: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία και χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

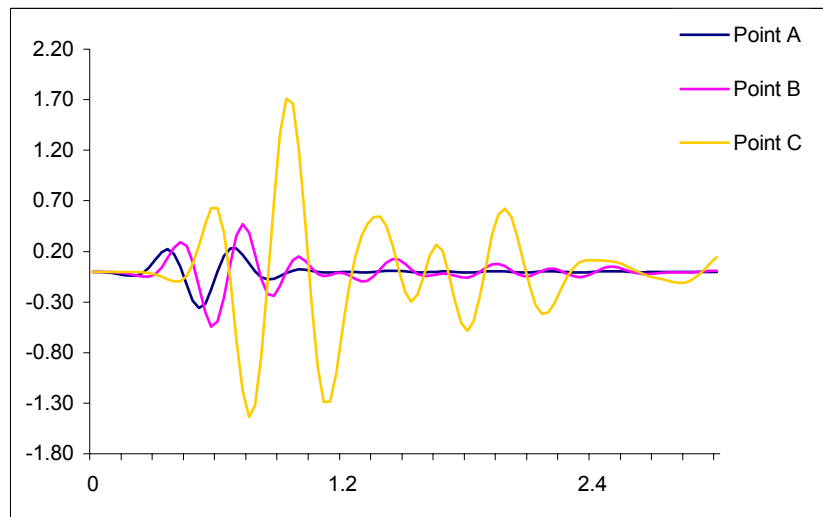


(β)

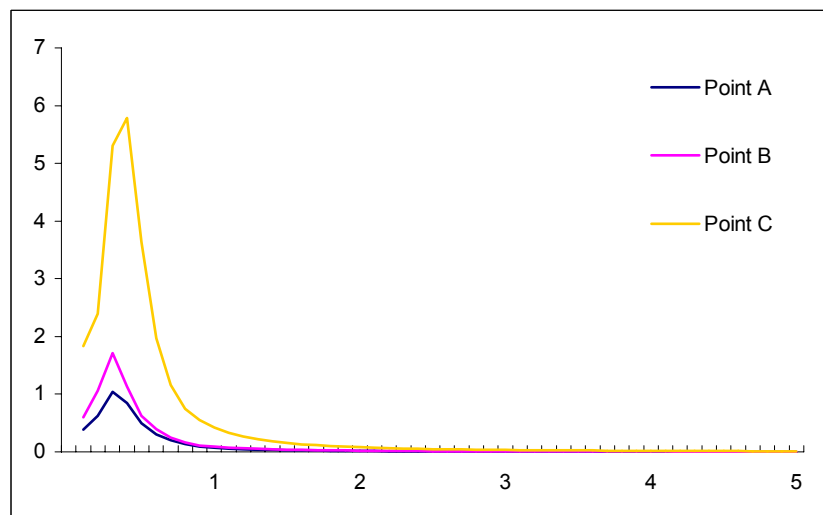


(γ)

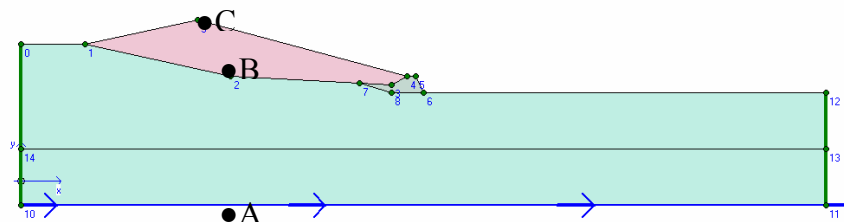
Σχήμα 5.15: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία και χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

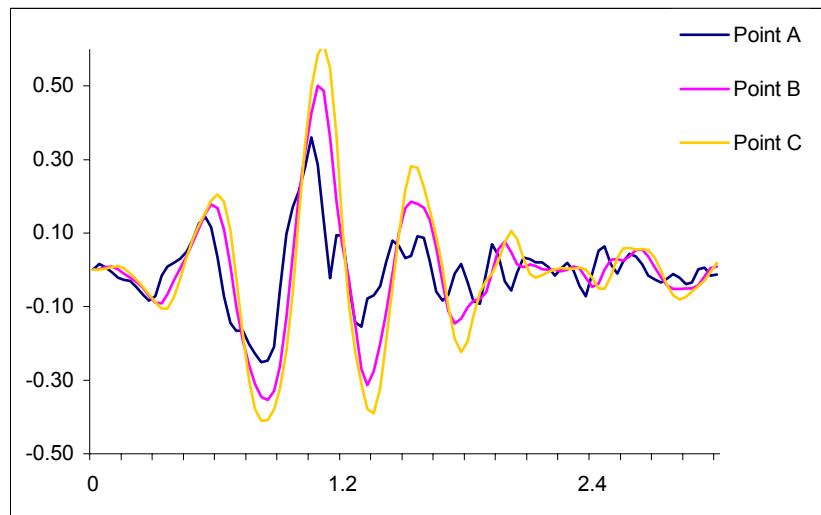


(β)

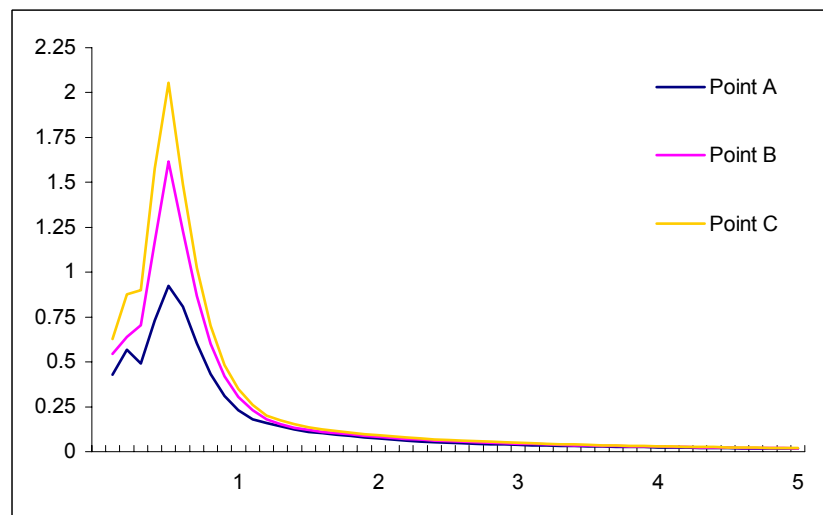


(γ)

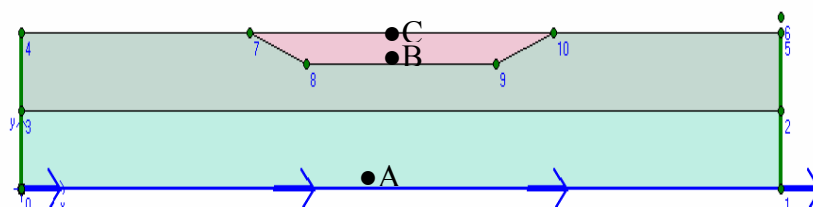
Σχήμα 5.16: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για το ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς την εδαφική ανωμαλία και χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

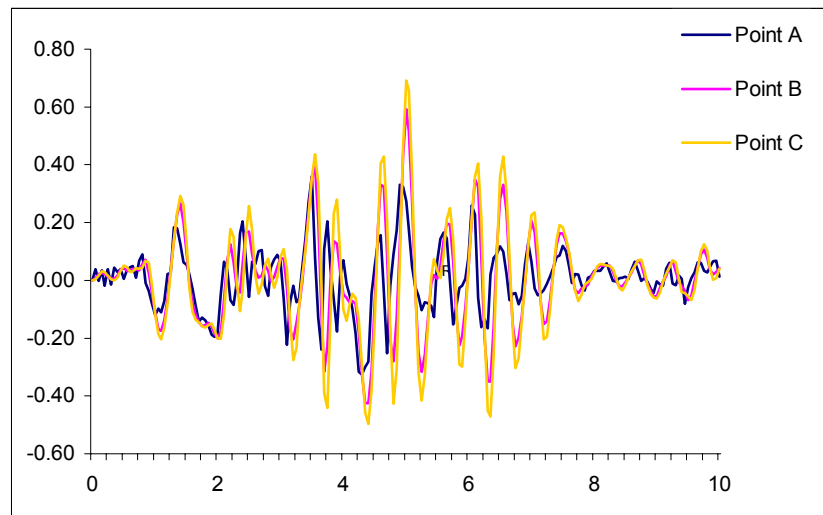


(β)

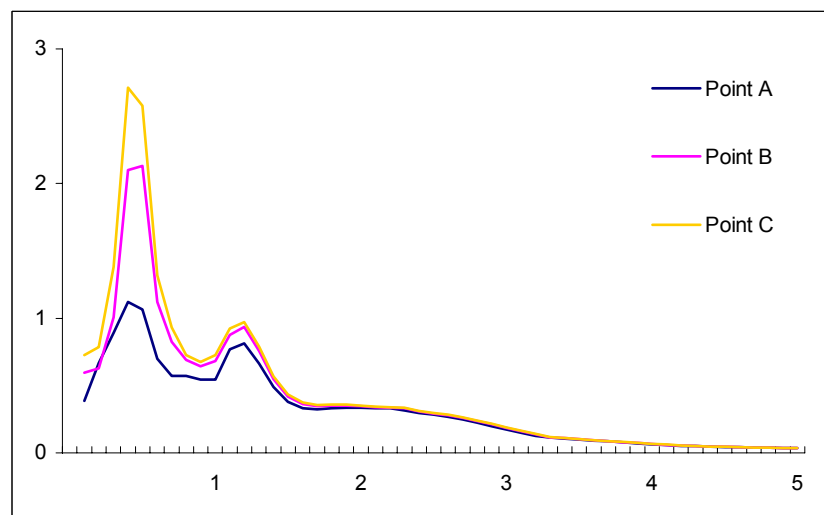


(γ)

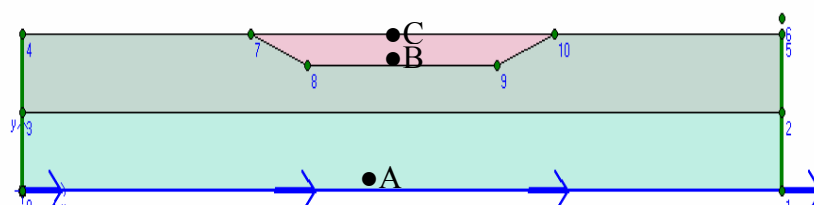
Σχήμα 5.17: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

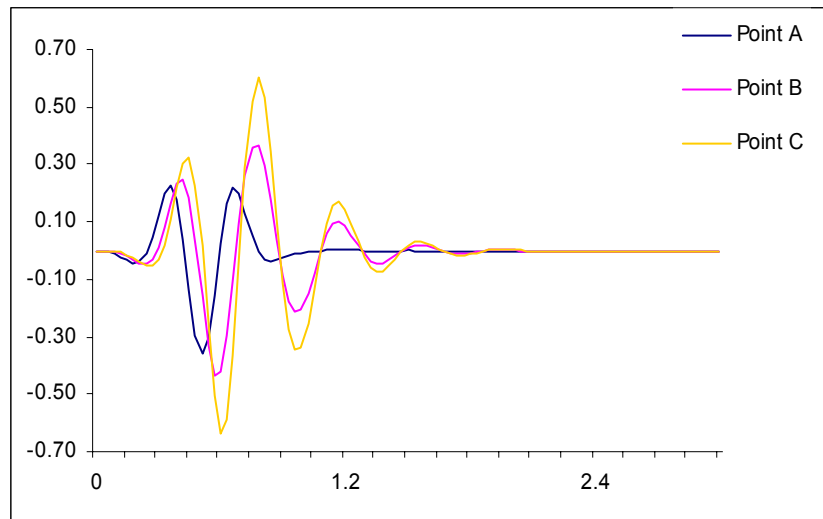


(β)

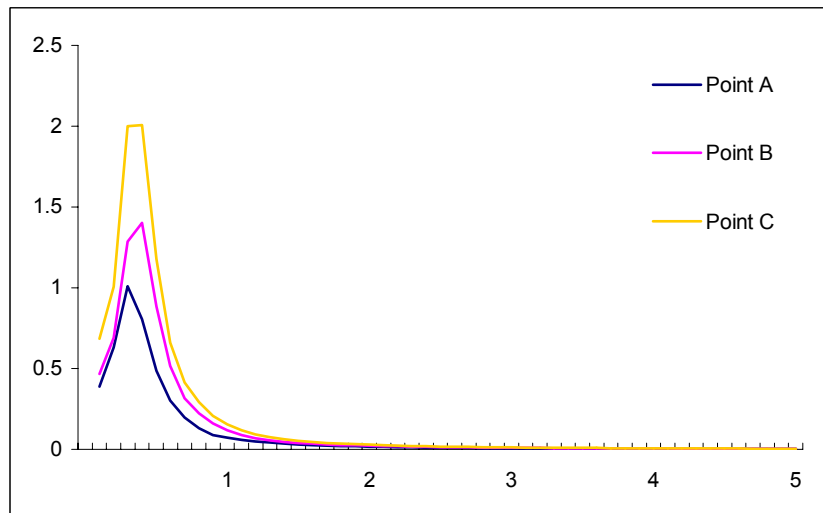


(γ)

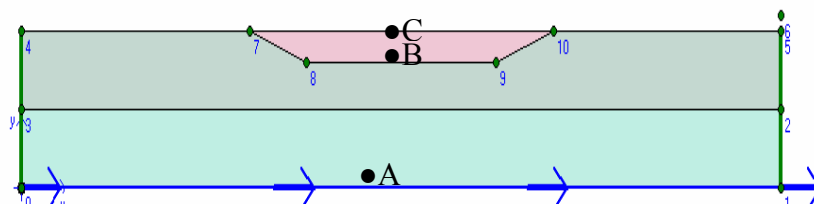
Σχήμα 5.18: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

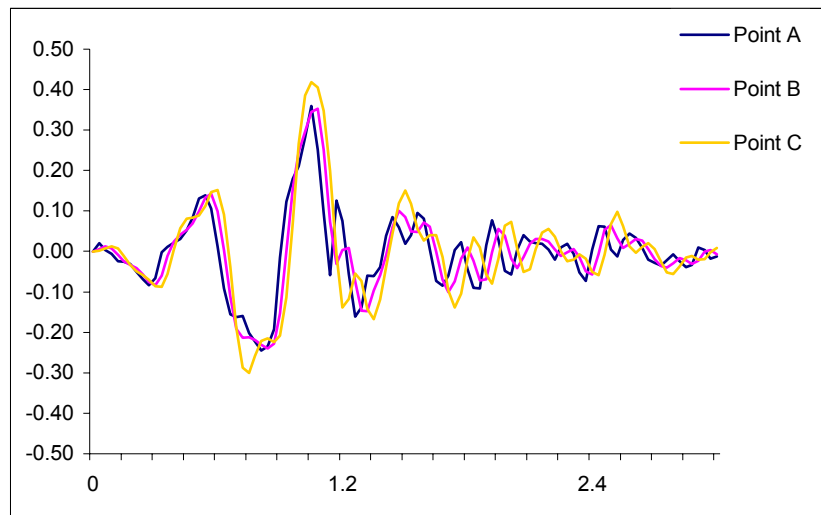


(β)

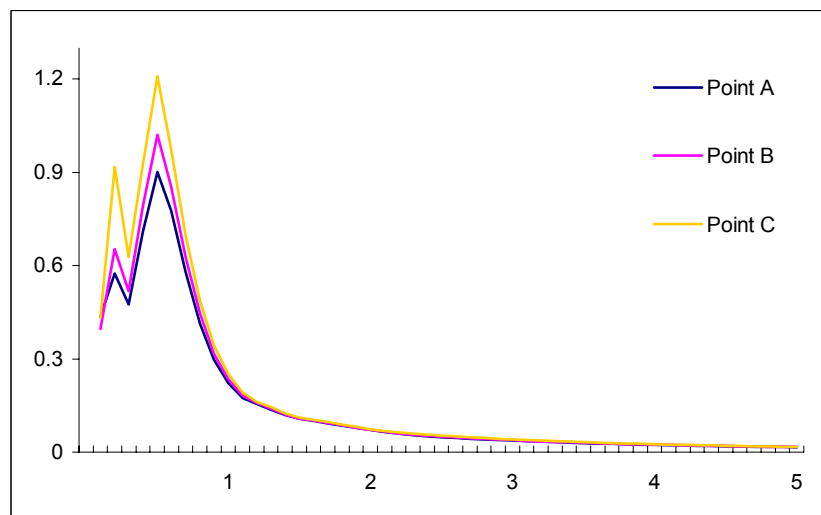


(γ)

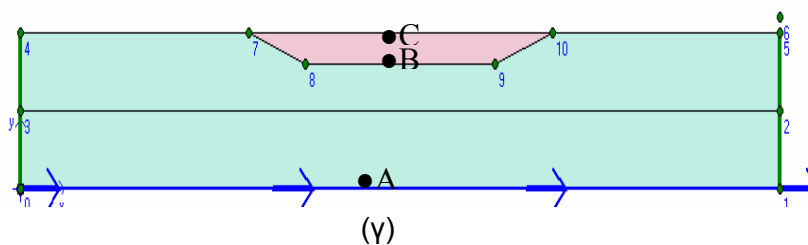
Σχήμα 5.19: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



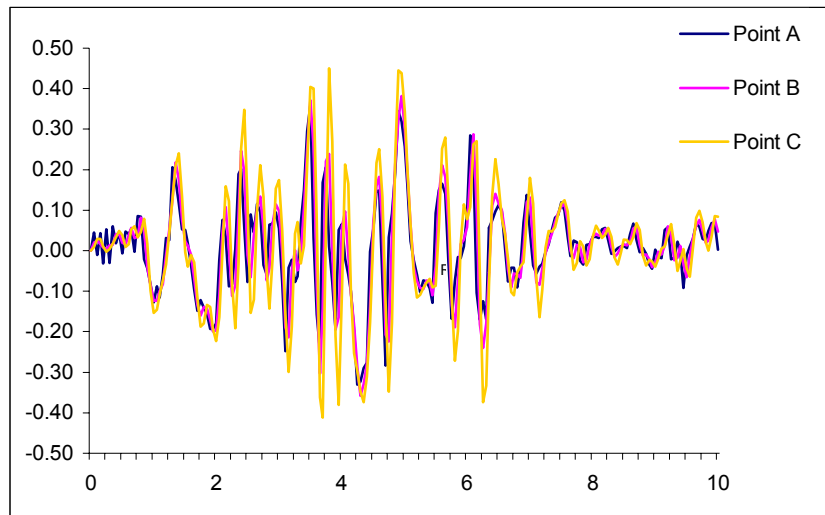
(α)



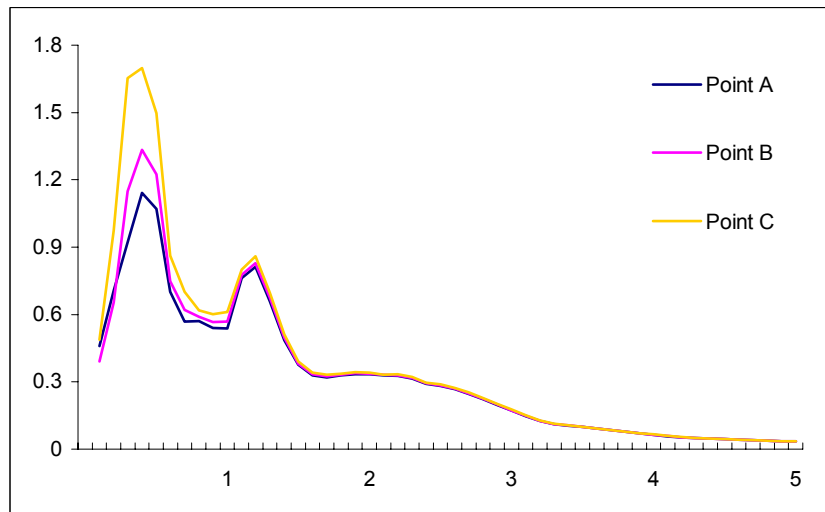
(β)



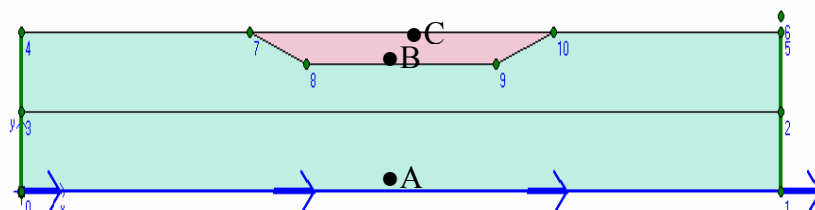
Σχήμα 5.20: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

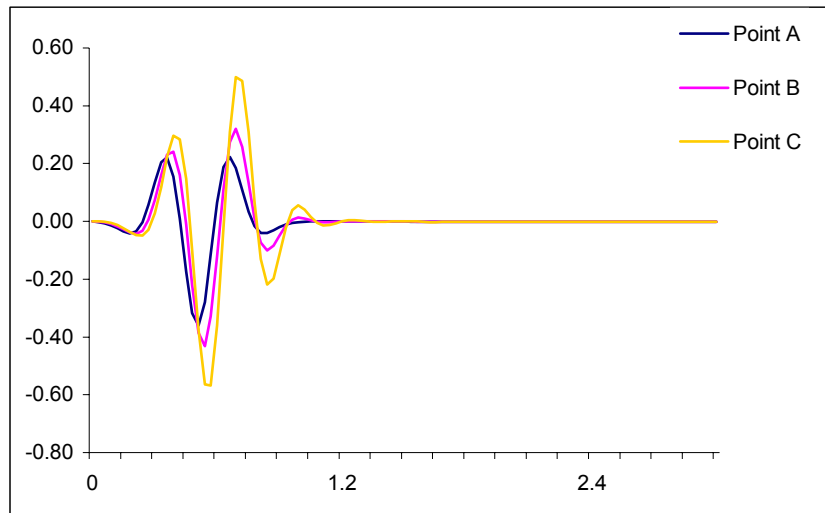
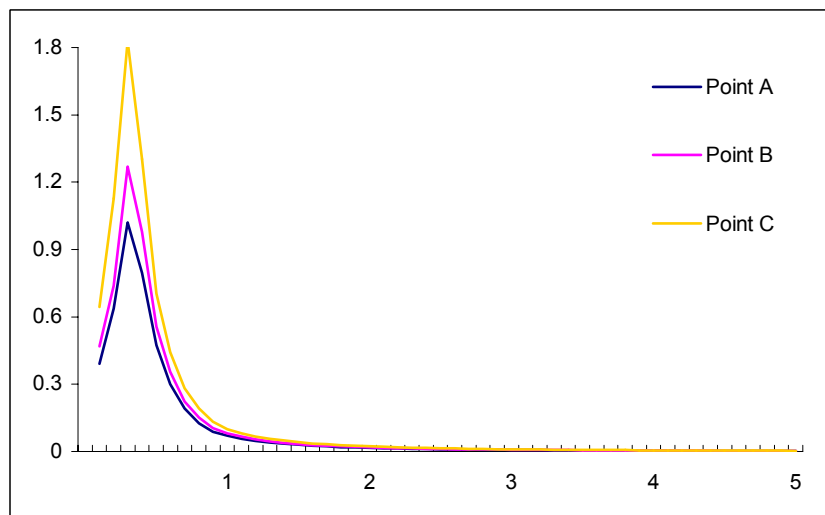
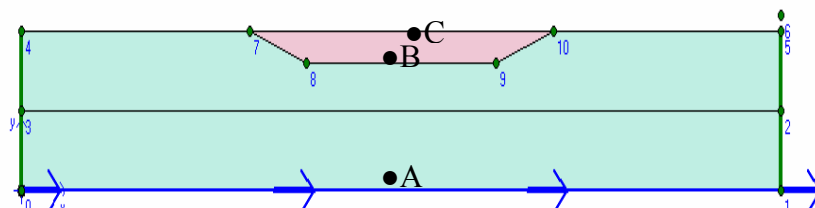


(β)



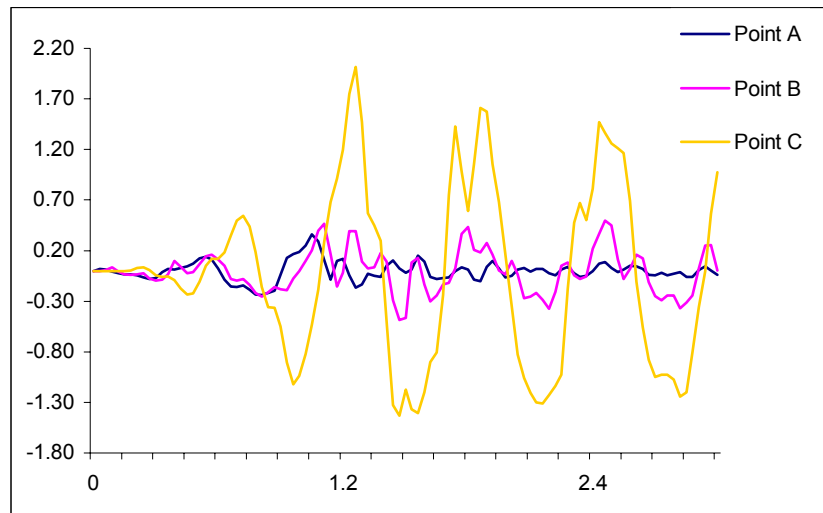
(γ)

Σχήμα 5.21: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.

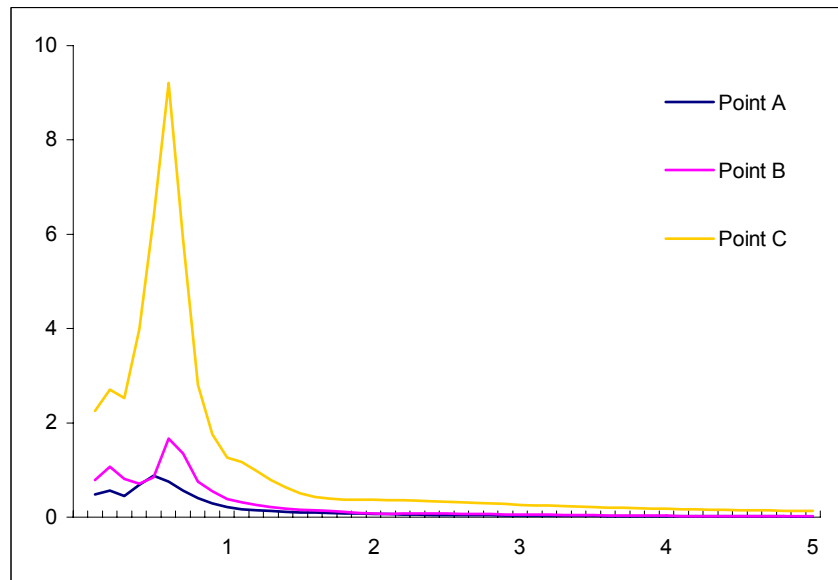

$$(\alpha)$$
 (β) 

(Y)

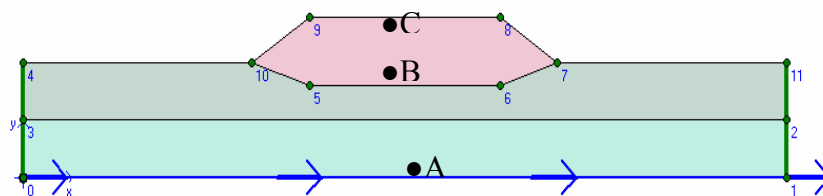
Σχήμα 5.22: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπόγειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

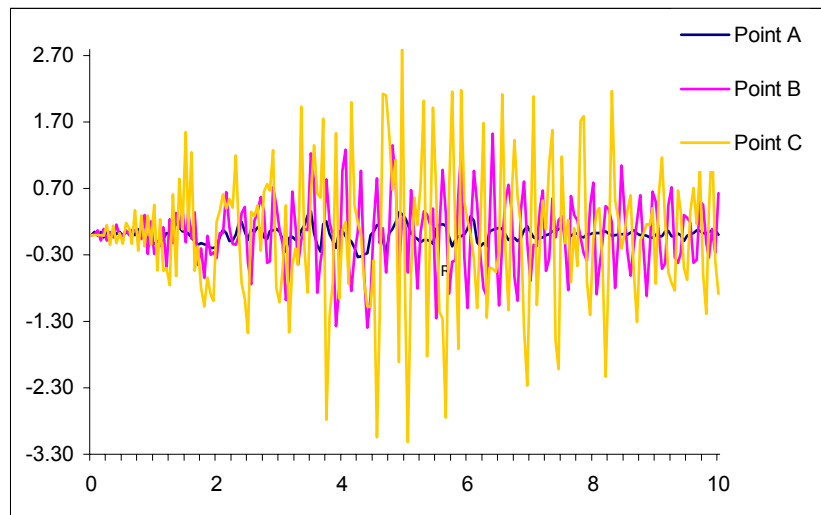


(β)

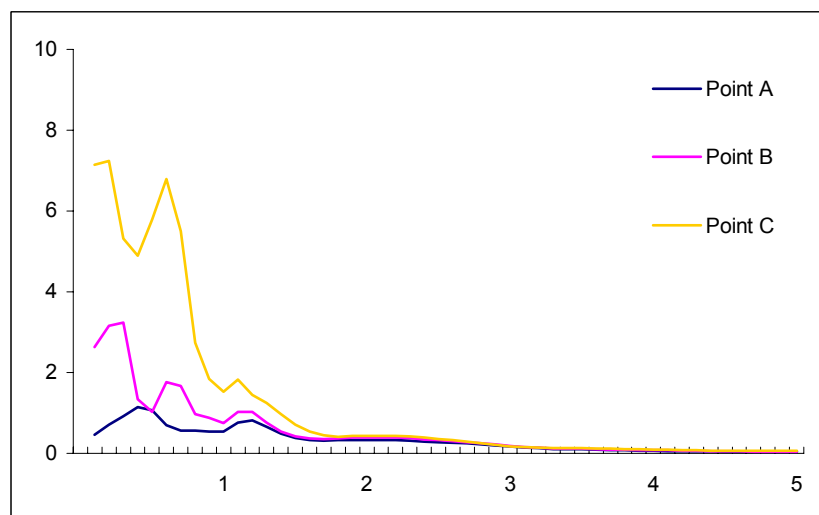


(γ)

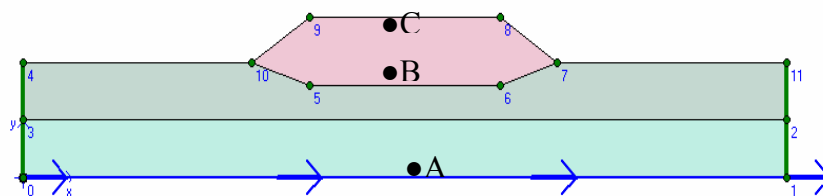
Σχήμα 5.23: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

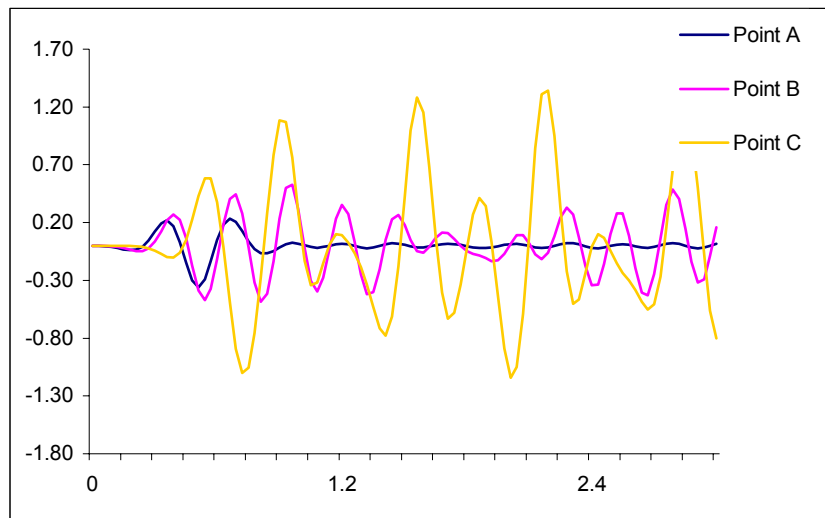


(β)

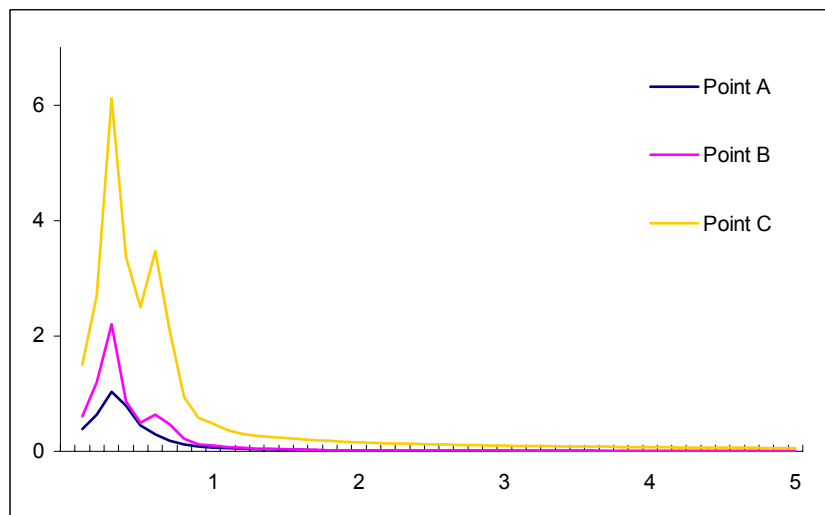


(γ)

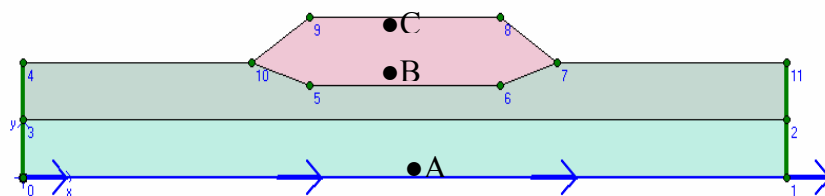
Σχήμα 5.24: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

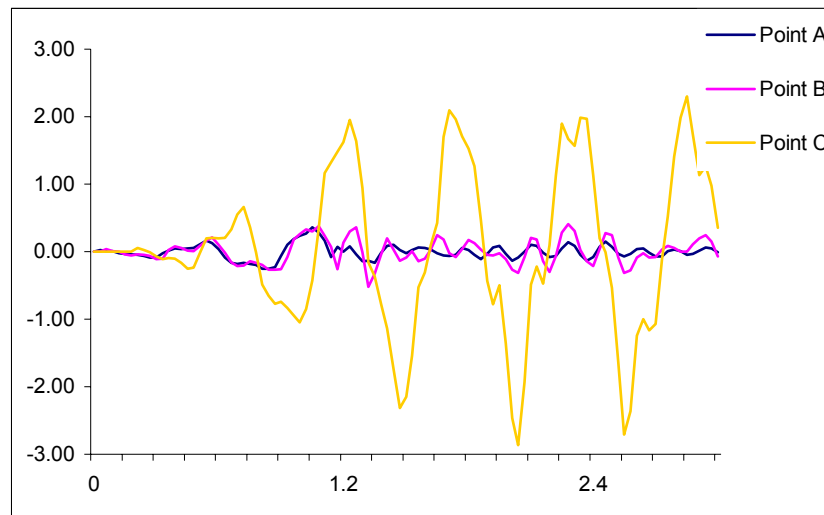


(β)

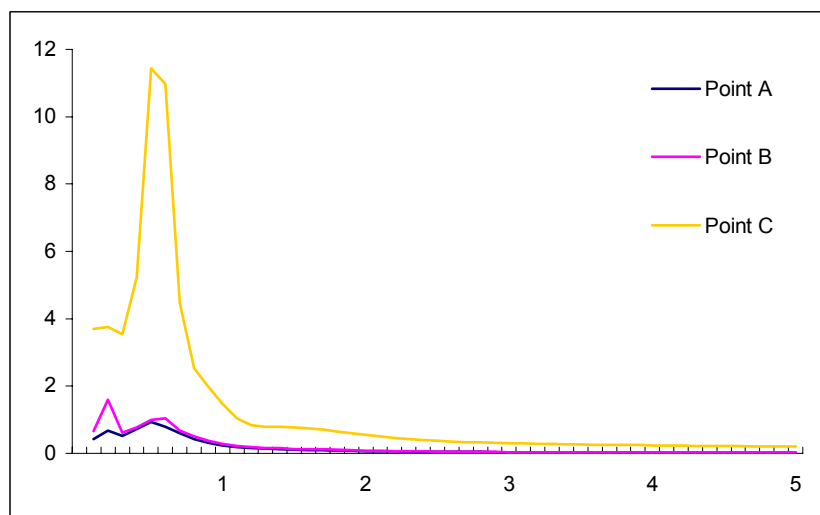


(γ)

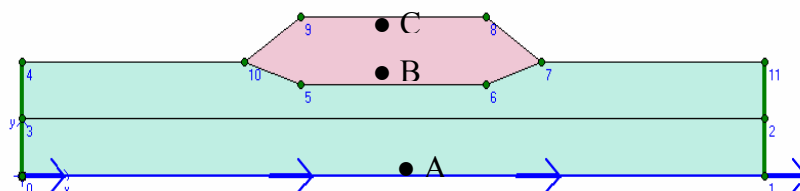
Σχήμα 5.25: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ με ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

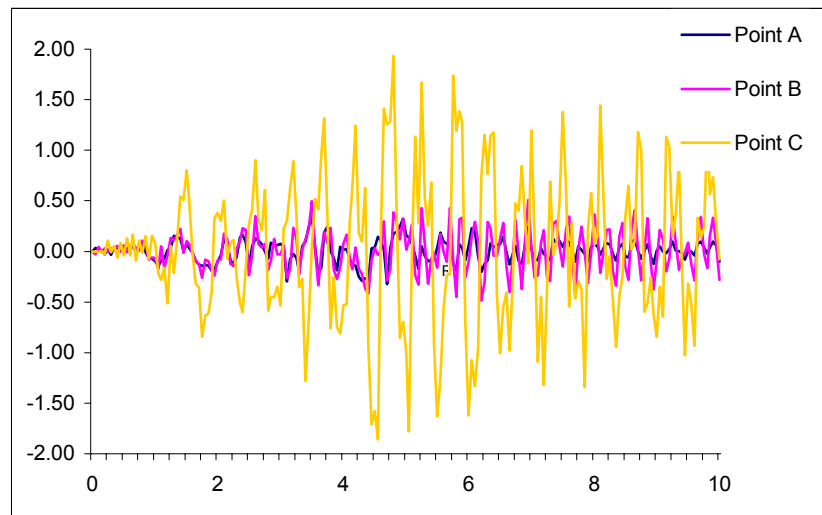


(β)

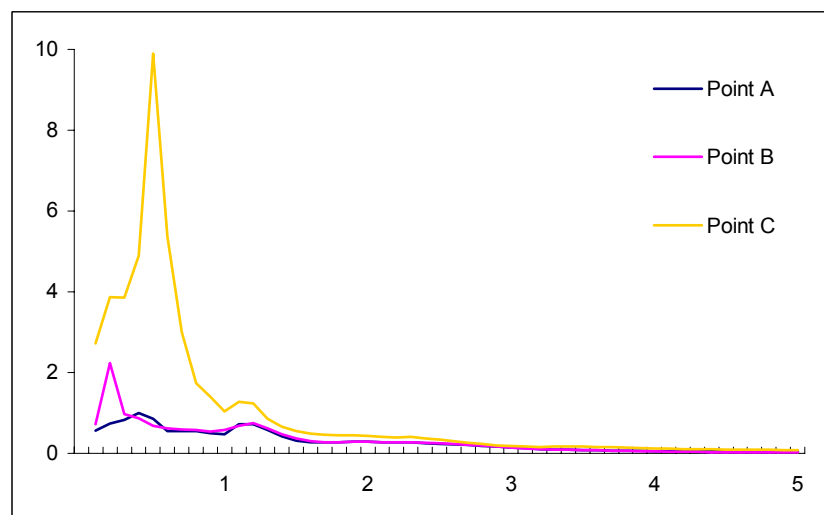


(γ)

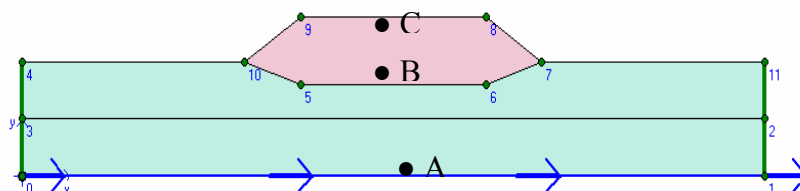
Σχήμα 5.26: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Αιγίου (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)

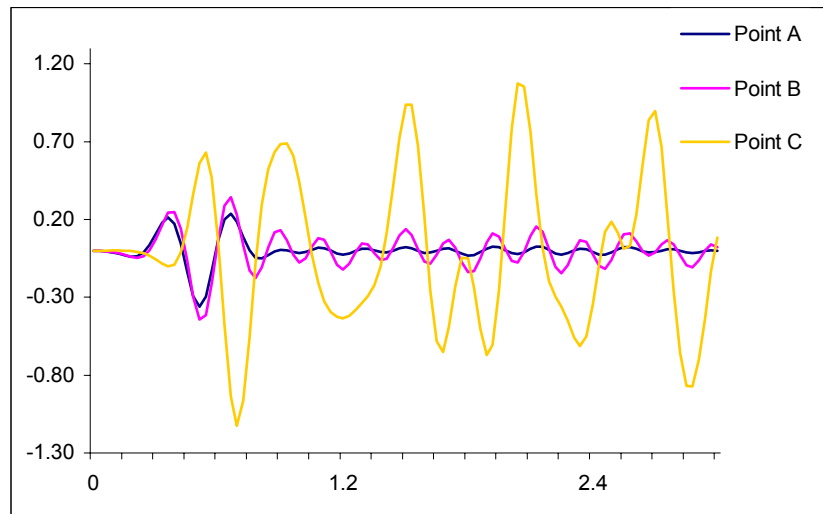


(β)

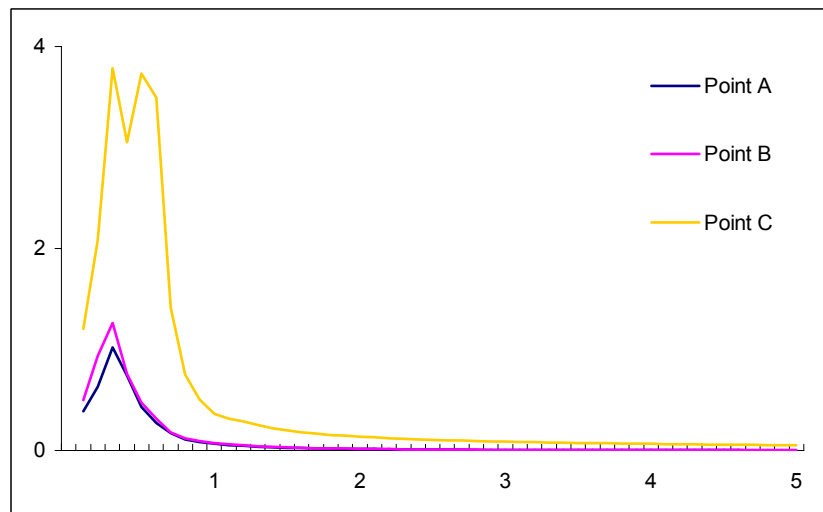


(γ)

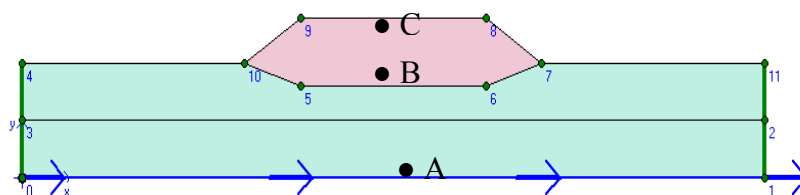
Σχήμα 5.27: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Kobe (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.28: (α) Χρονοϊστορίες και (β) φάσματα για τον υπέργειο ΧΥΤΑ χωρίς ενδιάμεση εδαφική στρώση για τον σεισμό του Ricker (γ) μοντέλο ΧΥΤΑ.

Στον πίνακα 5.1 παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα των δυναμικών αναλύσεων σε πινακοποιημένη μορφή για να είναι δυνατή η άμεση σύγκριση τους.

			Σεισμικές δονήσεις		
			Kobe	Αίγιο	Ricker
ΧΥΤΑ Άμφισσας με εδ. Ανωμαλία	ΜΕ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.196	1.073	1.785
		ΣΤΕΨΗ	2.884	2.736	4.566
	ΧΩΡΙΣ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.513	1.076	1.854
		ΣΤΕΨΗ	18.633	2.851	7.958
ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς εδ. Ανωμαλία	ΜΕ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.723	1.544	1.834
		ΣΤΕΨΗ	3.886	4.169	2.488
	ΧΩΡΙΣ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.229	1.193	1.650
		ΣΤΕΨΗ	9.742	8.772	5.573
Υπόγειος ΧΥΤΑ	ΜΕ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.902	1.747	1.384
		ΣΤΕΨΗ	2.420	2.223	1.983
	ΧΩΡΙΣ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.169	1.132	1.245
		ΣΤΕΨΗ	1.489	1.341	1.793
Υπέργειος ΧΥΤΑ	ΜΕ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	1.721	1.978	2.135
		ΣΤΕΨΗ	6.615	10.925	5.942
	ΧΩΡΙΣ ΕΝΔ. ΣΤΡΩΣΗ	ΒΑΣΗ	2.236	1.074	1.237
		ΣΤΕΨΗ	9.883	11.808	3.712

Πίνακας 5.1: Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων δυναμικών αναλύσεων

Παρατηρείται ότι σε κάποιες περιπτώσεις προκύπτει μεγάλος βαθμός ενίσχυσης στη στέψη των μοντέλων των ΧΥΤΑ. Παρόλο που αυτή η κατάσταση δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, οι τιμές είναι ενδεχομένως κάπως αυξημένες, γεγονός που οφείλεται σε αδυναμία του προγράμματος, το οποίο έχει τη δυνατότητα μόνο για γραμμική δυναμική ανάλυση ενώ στη πραγματικότητα πρόκειται για ένα εντόνως μη-γραμμικό φαινόμενο, ειδικά για ισχυρές σεισμικές δονήσεις. Πάντως, ακόμα και αν εφαρμοζόταν μη-γραμμική δυναμική ανάλυση είναι πολύ πιθανόν να

προέκυπταν μεγεθύνσεις τέτοιας τάξης (κυρίως σε μικρούς σεισμούς), καθώς τα ειδικά χαρακτηριστικά της γεωμετρίας των μοντέλων και η τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την απόκριση των ΧΥΤΑ. Το σημαντικότερο συμπέρασμα που μπορεί να προκύψει μελετώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι ότι η πολυπλοκότητα και η σημασία του θέματος καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ενδελεχή εδαφοδυναμική και γεωτεχνική μελέτη κάθε ΧΥΤΑ ως ξεχωριστή περίπτωση λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ιδιαίτερα σεισμολογικά, γεωτεκτονικά, γεωμετρικά, μηχανικά, κλπ χαρακτηριστικά του.

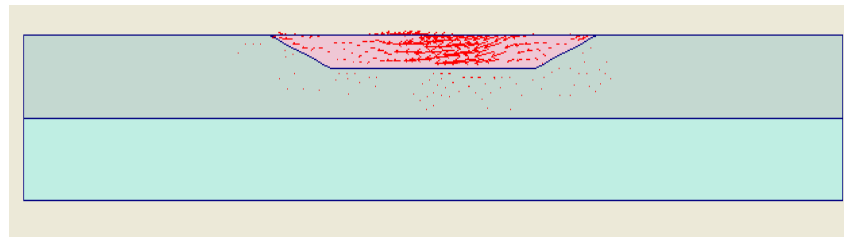
5.6 Αποτελέσματα ψευδοστατικών αναλύσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις ψευδοστατικές αναλύσεις που διεξήχθησαν για να εξακριβωθεί κατά πόσον η θεώρηση ψευδοστατικών επιταχύνσεων μπορεί να καλύψει τις ιδιαίτερα επιβαρυντικές για κάποιον ΧΥΤΑ πραγματικές συνθήκες σεισμικής καταπόνησης. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας για τα μοντέλα των ΧΥΤΑ που χρησιμοποιήθηκαν στις δυναμικές αναλύσεις.

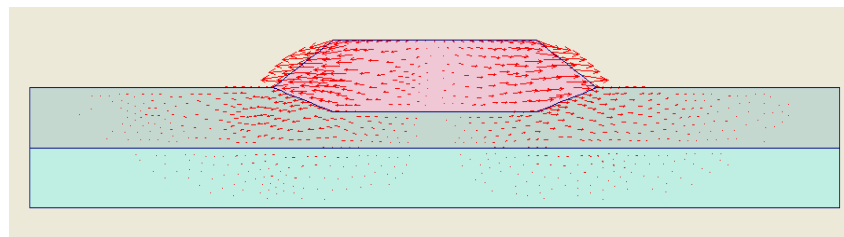
$A_H(g)$	$A_V(g)$	Συντελεστής ασφαλείας $C=1\text{kPa}$, $\varphi=30^\circ$			
		Υπόγειος ΧΥΤΑ	Υπέργειος ΧΥΤΑ	ΧΥΤΑ Άμφισσας χωρίς εδ. ανωμαλία	ΧΥΤΑ Άμφισσας με εδ. ανωμαλία
+0.24	+0.12	2.073	1.109	1.466	1.478
	-0.12	2.230	1.014	1.236	1.279
-0.24	+0.12	2.797	1.113	1.176	1.176
	-0.12	1.085	0.987	1.038	1.030
+0.36	+0.18	1.956	0.921	1.146	1.176
	-0.18	1.337	X	X	X
-0.36	+0.18	1.035	X	0.952	X
	-0.18	1.346	X	X	X

Πίνακας 5.2: συντελεστές ασφαλείας (FS) έναντι αστοχίας του απορριμματικού πρανούς

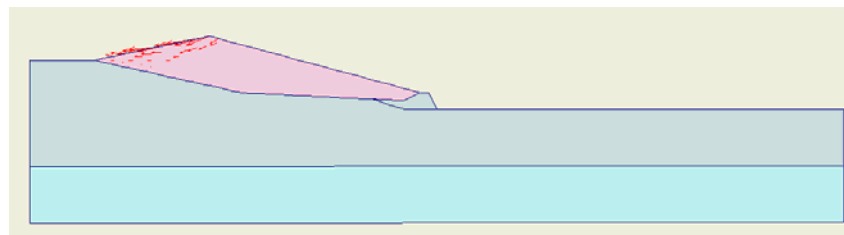
Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.1, για τον υπόγειο ΧΥΤΑ, διαπιστώνεται ότι για επιταχύνσεις της τάξεως των 0.24g και 0.36g ο συντελεστής ασφαλείας (FS) μειώνεται περίπου στο μισό (σε σχέση με τον γεωστατικό). Κατά συνέπεια μεγαλύτερες επιταχύνσεις θα οδηγούσαν αναμφισβήτητα σε αστοχία του ΧΥΤΑ ($FS < 1$). Αντίστοιχα, τόσο για τον υπέργειο ΧΥΤΑ όσο και για τον ΧΥΤΑ της Άμφισσας, προκύπτει ότι είναι δεδομένη η αστοχία του για επιταχύνσεις της τάξεως των 0.36g. Στο Σχήμα 5.29 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μετακινήσεις των μοντέλων, με ιδιότητες $c=1\text{ kPa}$ και $\varphi=30^\circ$, υποβαλλόμενου σε επιταχύνσεις $A_H=0.24g$ και $A_V=0.12g$.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.29: Τα διανύσματα μετακινήσεων των μοντέλων Χ.Υ.Τ.Α. ($c = 1 \text{ kPa}$, $\varphi = 30^\circ$) υποβαλλόμενου σε ψευδοστατικές επιταχύνσεις ($A_H = 0.24g$ και $A_V = 0.12g$)

6

Συμπεράσματα – προτάσεις

6.1 Εισαγωγή

Στόχος των αναλύσεων σεισμικής απόκρισης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας, όπως προαναφέρθηκε, ήταν η διερεύνηση της ευαισθησίας των ΧΥΤΑ σε διάφορες σεισμικές φορτίσεις. Οι φορείς εξετάστηκαν αρχικά με δυναμικές αναλύσεις και στη συνέχεια έγιναν κάποιες ψευδοστατικές αναλύσεις ώστε να εξακριβωθεί κατά πόσον η θεώρηση ψευδοστατικών επιταχύνσεων μπορεί να καλύψει τις ιδιαίτερα επιβαρυντικές για τους ΧΥΤΑ πραγματικές συνθήκες σεισμικής καταπόνησης. Από την μελέτη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επίλυση των μοντέλων εξάγονται κάποια σημαντικά συμπεράσματα

6.2 Συμπεράσματα

Οι αριθμητικές αναλύσεις που προηγήθηκαν και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων τους οδηγούν στα παρακάτω ποιοτικά συμπεράσματα:

- η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική διέγερση και απόκριση των ΧΥΤΑ είναι ιδιαιτέρως έντονη, και ενδέχεται να οδηγήσει σε τοπική ή και καθολική αστοχία τους,

- ο έλεγχος ευστάθειας με θεώρηση ψευδοστατικών επιταχύνσεων κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό των ΧΥΤΑ είναι πολύ πιθανόν να είναι ανεπαρκής,
- οι ισχύοντες αντισεισμικοί κανονισμοί δεν είναι σε θέση να καλύψουν την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό ΧΥΤΑ.

Συμπερασματικά λοιπόν, διαπιστώνεται ότι οι τοπικές εδαφικές συνθήκες καθορίζουν τη σεισμική διέγερση και τη σεισμική απόκριση των ΧΥΤΑ, και για το λόγο αυτό επιβάλλεται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό τους.

6.3 Προτάσεις

Οι αναλύσεις που έγιναν στην παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να αποτελέσουν μια πρώτη εκτίμηση των παραμέτρων που επηρεάζουν διάφορες κατασκευές ΧΥΤΑ σε κάποια ενδεχόμενη σεισμική καταπόνηση. Ο εντοπισμός των παραμέτρων αυτών μπορεί να οδηγήσει στη λήψη μέτρων ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία τέτοιων χώρων ακόμα και σε σεισμογενείς περιοχές. Τα άμεσα μέτρα που μπορούν να προταθούν είναι:

- χρειάζεται άμεση βελτίωση των αντισεισμικών κανονισμών ώστε να είναι σε θέση να διασφαλίσουν την ασφάλεια τέτοιων κατασκευών,
- απαιτείται να γίνονται ρεαλιστικές (μη-γραμμικές) δυναμικές αναλύσεις κατά περίπτωση που θα λαμβάνουν υπόψη τη συνήθως πολύπλοκη γεωμετρία και τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (εδαφικών ή μή),
- στους ήδη κατασκευασμένους ΧΥΤΑ πρέπει να τοποθετηθούν όλα τα απαραίτητα όργανα μέτρησης επιταχύνσεων, ώστε στις πειραματικές αναλύσεις να χρησιμοποιούνται πραγματικά στοιχεία σεισμικών φορτίσεων.

Παράρτημα Α

Το λογισμικό Plaxis

Α.1 Γενικά

Η ανάλυση ευστάθειας των μοντέλων ΧΥΤΑ που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έγινε με χρήση του λογισμικού Plaxis (Version 7.2). Το Plaxis, είναι ένα πακέτο πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές, κατάλληλο για την επίλυση (στατικών και δυναμικών) διδιάστατων προβλημάτων της γεωτεχνικής μηχανικής. Το περιβάλλον εργασίας του Plaxis είναι αρκετά φιλικό προς το χρήστη, ενώ το πρόγραμμα δουλεύει σε γραφικό περιβάλλον Windows. Το πρόγραμμα αποτελείται από τέσσερα υποπρογράμματα:

- το υποπρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων (input),
- το υποπρόγραμμα υπολογισμών (calculations),
- το υποπρόγραμμα των αποτελεσμάτων (output),
- το υποπρόγραμμα σχεδιασμού γραφημάτων (curves).

Στις επόμενες ενότητες περιγράφεται καθένα από τα παραπάνω υποπρογράμματα σε συνδυασμό με το σχετικό θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα.

A.2 Εισαγωγή Δεδομένων - Προεπεξεργασία



Στο τμήμα αυτό του προγράμματος περιέχονται όλα εκείνα τα εργαλεία που χρειάζονται για τον σχεδιασμό ή την τροποποίηση ενός γεωμετρικού προσομοιώματος μιας γεωκατασκευής, για τη δημιουργία του κατάλληλου δικτυώματος πεπερασμένων στοιχείων καθώς και για τη δημιουργία των αρχικών συνθηκών στήριξης και φόρτισης.

Ως γνωστόν, για την επίλυση ενός προβλήματος με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, είναι απαραίτητος αρχικά ο σχεδιασμός ενός κάνναβου πεπερασμένων στοιχείων, ο καθορισμός των ιδιοτήτων των υλικών καθώς και των συνοριακών συνθηκών και των φορτίων του προβλήματος. Στο Plaxis οι παραπάνω εργασίες πραγματοποιούνται στο πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων (input), όπου το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων δημιουργείται ξεκινώντας από το σχεδιασμό του στις δύο διαστάσεις με σημεία και γραμμές που ορίζουν κλειστά γεωμετρικά σχήματα.

Η δημιουργία του κατάλληλου πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων πραγματοποιείται αυτόματα από το Plaxis με βάση τη γεωμετρία που εισάγει ο χρήστης, ο οποίος μπορεί να προσαρμόσει το πλέγμα των στοιχείων στις ανάγκες του προβλήματος πυκνώνοντας ή αραιώνοντάς το δίκτυο (τοπικά ή καθολικά), με σκοπό τη βέλτιστη διακριτοποίησή του. Στη συνέχεια γίνεται η εισαγωγή των ιδιοτήτων των υλικών και των συνοριακών συνθηκών καθώς και των φορτίσεων της κατασκευής. Τέλος, στο πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων σχεδιάζεται και το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα για να ληφθούν υπόψη – αν είναι απαραίτητο – οι υδροστατικές πιέσεις και υπολογίζονται οι γεωστατικές ενεργές τάσεις για τον καθορισμό της αρχικής κατάστασης του προβλήματος.

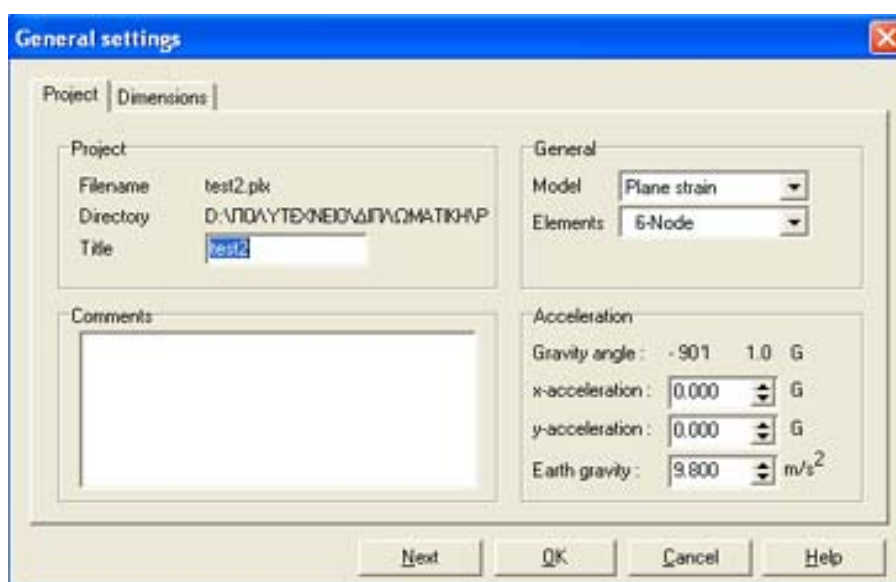
A.2.1 Γενικές ρυθμίσεις

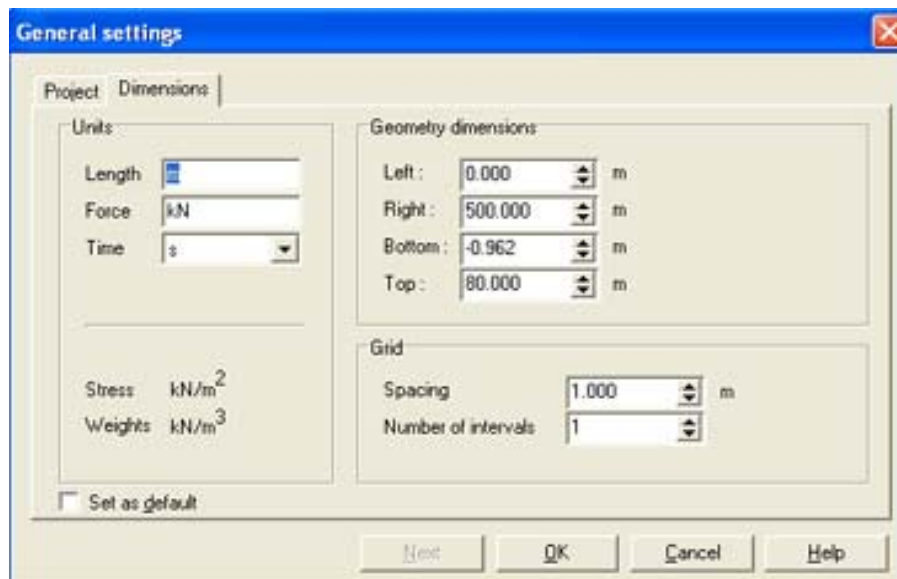
Στην αρχή του προγράμματος εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο επιλέγεται εάν θα γίνει επεξεργασία ενός υπάρχοντος μοντέλου ή η δημιουργία ενός νέου (σχήμα A.1). Στην περίπτωση που δημιουργείται ένα νέο πρότυπο γίνονται κάποιες γενικές ρυθμίσεις που αφορούν την ονομασία του, τον τύπο του, καθώς και το είδος των πεπερασμένων στοιχείων που

πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Επίσης καθορίζονται οι μονάδες μήκους, δύναμης και χρόνου, καθώς και οι διαστάσεις της περιοχής σχεδίασης. Όσον αφορά τον τύπο της ανάλυσης του μοντέλου, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ανάλυση επίπεδης παραμόρφωσης είτε αξονοσυμμετρική ανάλυση.

A.2.2 Τύποι στοιχείων

Με βάση τον τύπο της ανάλυσης επιλέγεται και το είδος των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν. Οι δυο επιλογές του χρήστη είναι επίπεδα εξακομβικά ή δεκαπεντακομβικά τριγωνικά στοιχεία (Σχήμα Α.2). Το εξακομβικό τριγωνικό στοιχείο χρησιμοποιείται ευρύτερα στην ανάλυση σε δύο διαστάσεις καθώς πραγματοποιεί παρεμβολή δεύτερης τάξης για τις παραμορφώσεις (τρεις κόμβοι ανά πλευρά). Ο πίνακας ακαμψίας του στοιχείου εκτιμάται με αριθμητική ολοκλήρωση χρησιμοποιώντας τρία σημεία Gauss. Τα σημεία ολοκλήρωσης, όπως αυτά ορίζονται στη θεωρία των πεπερασμένων στοιχείων, ονομάζονται στο Plaxis “τασικά σημεία” (stress points). Τα δεκαπεντακομβικά τριγωνικά στοιχεία χρησιμοποιούνται αν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι όμως, αυξάνεται και το υπολογιστικό κόστος αφού πλέον γίνεται παρεμβολή τέταρτης τάξης και η ολοκλήρωση αφορά δώδεκα σημεία τάσης (πέντε κόμβοι ανά πλευρά).

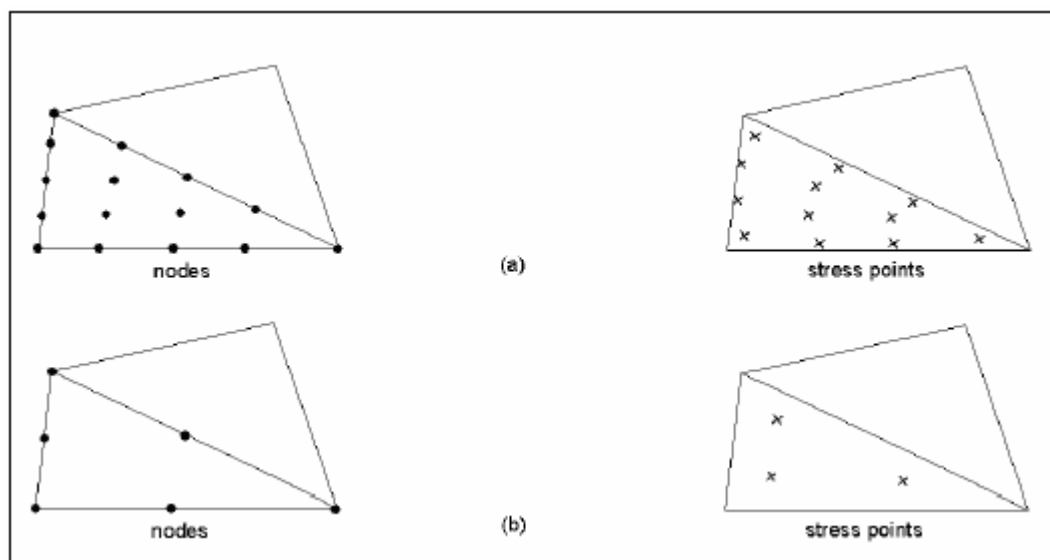




Σχήμα Α.1: Παράθυρα διαλόγου για τις γενικές ρυθμίσεις του μοντέλου

Α.2.3 Βαρύτητα και επιτάχυνση της βαρύτητας

Η διεύθυνση της βαρύτητας έχει οριστεί στις -90° , η οποία αντιστοιχεί στις αρνητικές τιμές του y άξονα. Η επιτάχυνση της βαρύτητας δεν είναι απαραίτητο να οριστεί από τον χρήστη για τους υπολογισμούς που αφορούν το ίδιο βάρος των υλικών επειδή δίνεται στα επιμέρους χαρακτηριστικά του καθενός το ειδικό βάρος του.



Σχήμα Α.2: Δεκαπεντακομβικό (α) και εξακομβικό (β) τριγωνικό στοιχείο (κόμβοι και τασικά σημεία)

A.2.4 Μονάδες

Οι μονάδες μήκους, δύναμης και χρόνου ορίζονται εξ αρχής, κατά την εισαγωγή των δεδομένων του προβλήματος. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες είναι μέτρα (m) για μήκος, kiloNewton (kN) για δύναμη και δευτερόλεπτα (sec) για χρόνο. Οι αντίστοιχες μονάδες τάσης και βάρους δίνονται στο ίδιο παράθυρο διαλόγου, όπως φαίνεται στο σχήμα A1.1. Όλες οι υπόλοιπες τιμές των διαφόρων παραμέτρων που εισάγονται στο πρόγραμμα πρέπει να δίνονται στο ίδιο σύστημα μονάδων.

A.2.5 Διαστάσεις σχεδιασμού

Στο σχήμα A1.1 φαίνονται επίσης οι διαστάσεις τις περιοχής σχεδίασης που εισάγονται με βάση τις διαστάσεις του μοντέλου που πρόκειται να αναλυθεί. Οι διαστάσεις της περιοχής σχεδίασης δεν επηρεάζουν τη γεωμετρία και μπορεί να αλλάξουν κατά τη διάρκεια εισαγωγής ή τροποποίησης ενός προσομοιώματος.

A.2.6 Κάνναβος

Ο κάνναβος που ορίζεται στην περιοχή σχεδίασης κατασκευάζεται έτσι ώστε να είναι δυνατός ο καθορισμός της γεωμετρίας με τη μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια. Ο ορισμός του καννάβου γίνεται με βάση την πρωτεύουσα και δευτερεύουσα υποδιαίρεση αυτού, η οποία καθορίζει και την πυκνότητά του καθώς και την υποδιαίρεση των μονάδων μήκους που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό της γεωμετρίας. Στο σχήμα A.1 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου όπου γίνονται οι γενικές ρυθμίσεις του προτύπου που πρόκειται να σχεδιαστεί, όσον αφορά τις μονάδες των παραμέτρων που εισάγονται, τις διαστάσεις του προτύπου, καθώς και τη γεωμετρία του καννάβου.

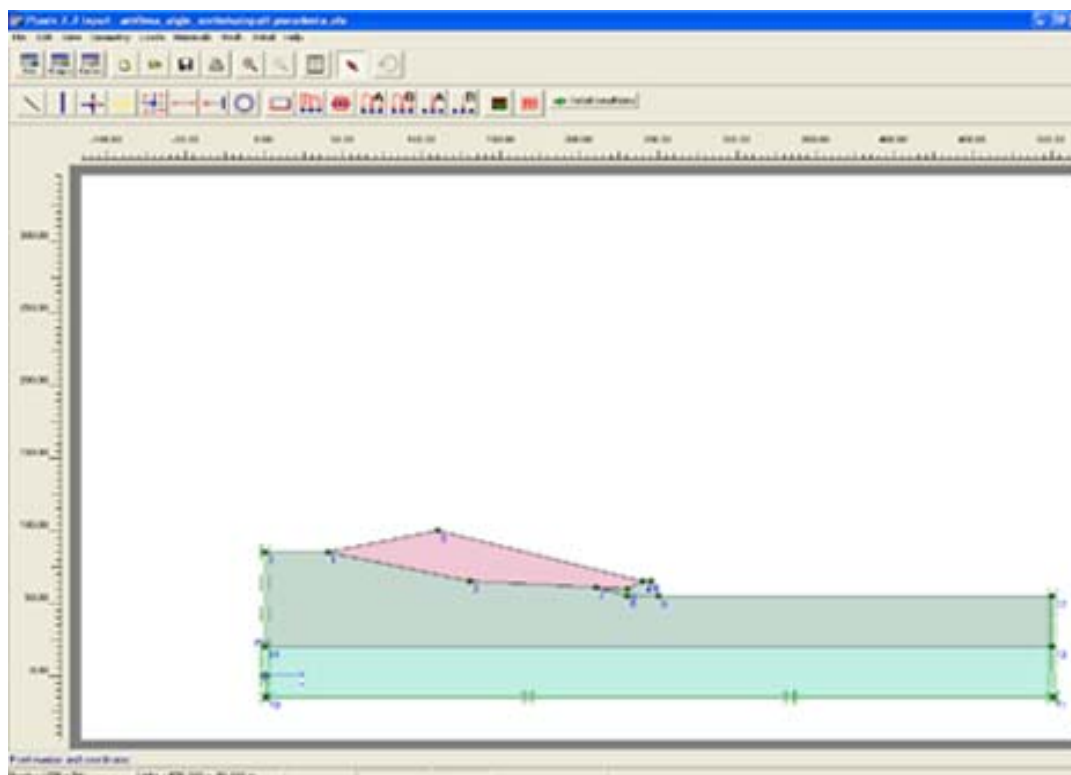
Στην παρούσα διερεύνηση χρησιμοποιήθηκε ανάλυση επίπεδης παραμόρφωσης και έγινε διακριτοποίηση με εξακομβικά στοιχεία. Οι μονάδες ήταν m για το μήκος, kN για τη δύναμη και sec για τον χρόνο. Στο σχήμα A.1 φαίνονται οι συντεταγμένες των άκρων του καννάβου καθώς και οι υποδιαίρεσεις του.

A.2.7 Γεωμετρία προσομοιώματος

Η δημιουργία ενός προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων ξεκινά με το σχεδιασμό ενός γεωμετρικού προτύπου, το οποίο αποτελεί την απεικόνιση

του προβλήματος που πρόκειται να επιλυθεί. Ένα γεωμετρικό πρότυπο αποτελείται από σημεία, γραμμές και επιφάνειες. Τα σημεία και οι γραμμές εισάγονται από το χρήστη, ενώ οι επιφάνειες δημιουργούνται ως κλειστά σχήματα από το ίδιο το πρόγραμμα (σχήμα Α.3).

Επίσης, ο χρήστης στη φάση της προεπεξεργασίας ορίζει τα εδαφικά στρώματα, τις γραμμές που αποτελούν πιθανά όρια κατασκευαστικών φάσεων, τα φορτία και τις συνοριακές συνθήκες. Το γεωμετρικό πρότυπο δεν περιλαμβάνει μόνο την αρχική κατάσταση αλλά επίσης και τη γεωμετρία των κατασκευαστικών σταδίων που ακολουθούν ή που αποτελούν την τελική φάση αυτού. Τέλος, ο χρήστης δημιουργεί μια βάση δεδομένων για τις παραμέτρους των υλικών που περιλαμβάνονται στο πρότυπο και αντιστοιχεί τις ιδιότητες των εδαφικών υλικών στις επιφάνειες αυτού. Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της γεωμετρίας, το πρότυπο είναι έτοιμο, ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί στη συνέχεια το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων. Στο σχήμα Α.3 απεικονίζεται το παράθυρο σχεδιασμού της γεωμετρίας, όπου φαίνονται τα μενού του προγράμματος και τα βασικά σχεδιαστικά εργαλεία.



Σχήμα Α.3: Ορισμός γεωμετρίας και εδαφικών σχηματισμών

A.2.8 Φορτία και συνοριακές συνθήκες

Στο σημείο αυτό δεν θεωρείται απαραίτητη η περαιτέρω ανάλυση της διαδικασίας σχεδιασμού και θα γίνει μόνο μια αναφορά στην εισαγωγή των συνοριακών και αρχικών συνθηκών. Το υπο-μενού των φορτίσεων που μπορούν να εφαρμοστούν στο γεωμετρικό πρότυπο, περιλαμβάνει τις επιλογές που αφορούν τα κατανεμημένα φορτία, τις σημειακές δυνάμεις και τις προδιαγεγραμμένες μετατοπίσεις. Οι παραπάνω επιλογές μπορούν να εφαρμοστούν στο πρότυπο παράλληλα με τις συνοριακές συνθήκες.

Επιβαλλόμενες μετατοπίσεις

Οι επιβαλλόμενες μετατοπίσεις αποτελούν ειδικές συνθήκες που μπορεί να επιβληθούν σε τμήματα των συνόρων του γεωμετρικού προτύπου και στις οποίες οι μετατοπίσεις είναι ελεγχόμενες. Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών προσδιορίζονται οι αντίδρασεις των στηρίξεων που αντιστοιχούν στις επιβαλλόμενες παραμορφώσεις κατά τις διευθύνσεις x και y και δίνονται στα αποτελέσματα της επίλυσης του προσομοιώματος.

Μηδενικές μετατοπίσεις

Οι συνθήκες αυτές εφαρμόζονται σε τμήματα καθώς και σημεία των συνόρων ενός γεωμετρικού προτύπου. Γίνεται διάκριση μεταξύ των οριζόντιων μηδενικών μετατοπίσεων ($u_x=0$), των κατακόρυφων μηδενικών μετατοπίσεων ($u_y=0$) καθώς και των μηδενικών μετατοπίσεων και ως προς τους δύο άξονες που είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω συνθηκών ($u_x=u_y=0$). Όταν σε κάποιο γεωμετρικό στοιχείο του προτύπου (γραμμή ή σημείο) εφαρμόζεται μηδενική μετατόπιση, τότε αυτή η συνθήκη υπερνικά στους υπολογισμούς όλους τους άλλους τύπους συνθηκών φόρτισης. Οι συνοριακές συνθήκες που εφαρμόζονται συνήθως κατά την επίλυση των διαφόρων εδαφικών μοντέλων είναι οι ακόλουθες:

- Στα κατακόρυφα όρια του προτύπου εφαρμόζεται μηδενική οριζόντια μετατόπιση ($u_x=0$), που σημαίνει ότι για τα σημεία των γραμμών αυτών επιτρέπεται μόνο η κύλιση ως προς τον y άξονα. Η συντεταγμένη x των γραμμών αυτών έχει, συνήθως, την τιμή της μικρότερης ή και μεγαλύτερης συντεταγμένης x ολόκληρου του προσομοιώματος.

— Στο κάτω όριο του προτύπου, που συνήθως είναι οριζόντια γραμμή, εφαρμόζεται μηδενική μετατόπιση και ως προς τους δύο άξονες ($u_x=u_y=0$), που σημαίνει ότι η γραμμή αυτή εφόσον πρόκειται για διδιάστατη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων θεωρείται πακτωμένη. Τα σημεία αυτής της γραμμής έχουν συνήθως συντεταγμένη y ίση με τη μικρότερη τιμή της συντεταγμένης y σε όλο το πρότυπο.

Οι παραπάνω συνοριακές συνθήκες χρησιμοποιούνται σε πολλές πρακτικές εφαρμογές της γεωτεχνικής μηχανικής.

Φορτίσεις

Όσο αφορά τις φορτίσεις του εδαφικού προτύπου ο χρήστης έχει δύο επιλογές: την επιβολή επιφανειακής φόρτισης ή την επιβολή σημειακής φόρτισης. Στην πρώτη περίπτωση οι τιμές των τάσεων εισάγονται σε μονάδες τάσης (π.χ. kN/m^2), η εφαρμογή τους γίνεται σε γεωμετρικά όρια του προτύπου (γραμμές) και δεδομένου ότι το πάχος αυτού θεωρείται μοναδιαίο, η τάση αποτελεί δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Στη δεύτερη περίπτωση οι τιμές των φορτίσεων εισάγονται σε μονάδες δύναμης/μήκος (π.χ. kN/m), η εφαρμογή τους γίνεται σε σημεία της γεωμετρίας του προτύπου και η τάση αποτελεί δύναμη ανά μονάδα μήκους και πάλι λόγω του μοναδιαίου πάχους του προτύπου.

A.2.9 Ιδιότητες υλικών

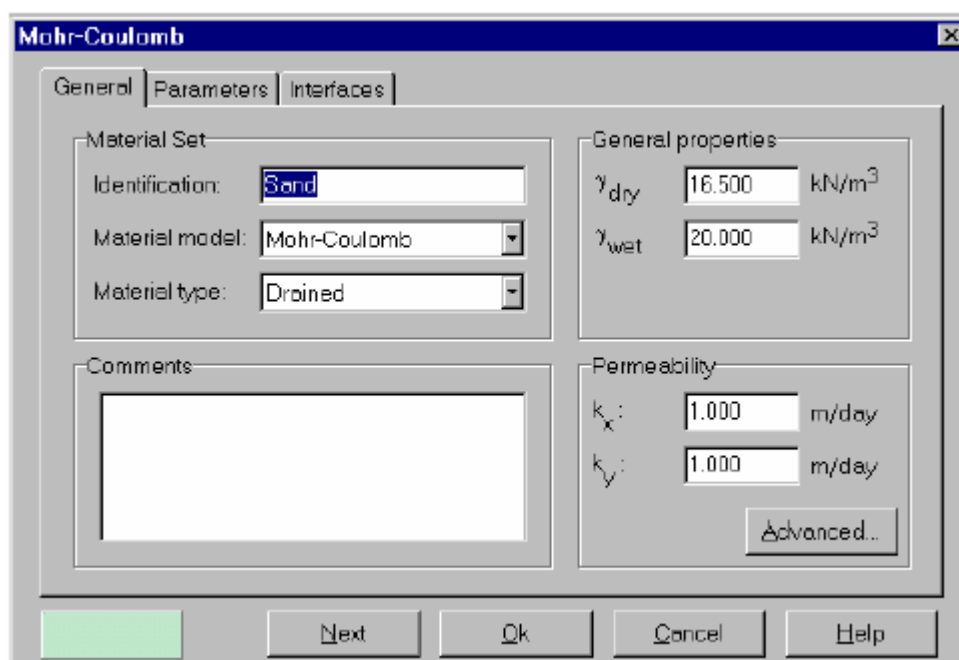
Στο Plaxis, οι ιδιότητες των εδαφών και των υλικών αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων που ο ίδιος ο χρήστης μπορεί να εμπλουτίσει. Από τη βάση δεδομένων αυτή, οι ιδιότητες αντιστοιχίζονται στα εδαφικά στρώματα που ορίζονται σαν κλειστά γεωμετρικά σχήματα ή σε διάφορα άλλα στοιχεία (π.χ. αγκύρια) του γεωμετρικού προτύπου (σχήμα A.3).

Οι ιδιότητες των υλικών και οι παράμετροι των εδαφικών στρωμάτων των μοντέλων, εισάγονται σε ξεχωριστό παράθυρο διαλόγου. Για καθένα από τα υλικά εισάγεται μια ομάδα ιδιοτήτων, η οποία και αντιστοιχεί σε κάποιο ή κάποια εδαφικά στρώματα του προτύπου. Τα χαρακτηριστικά στη βάση δεδομένων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: στα γενικά χαρακτηριστικά, στις παραμέτρους του υλικού και στις παραμέτρους των διεπιφανειών. Τα γενικά χαρακτηριστικά αφορούν τον τύπο του εδαφικού προτύπου, τον τύπο της

εδαφικής συμπεριφοράς και τις γενικές εδαφικές ιδιότητες όπως είναι τα φαινόμενα βάρη και η διαπερατότητα. Στο σχήμα Α.4 φαίνεται το παράθυρο διαλόγου όπου εισάγονται τα γενικά χαρακτηριστικά των υλικών. Όσον αφορά το μοντέλο του υλικού, το Plaxis υποστηρίζει διάφορα μοντέλα που προσομοιάζουν τη συμπεριφορά των εδαφών, αλλά και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την προσομοίωση. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το γραμμικά ελαστικό μοντέλο και το μοντέλο Mohr-Coulomb.

Γραμμικά ελαστικό μοντέλο

Αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει το νόμο του Hooke για ισότροπη γραμμική ελαστικότητα. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο ελαστικές παραμέτρους, το μέτρο ελαστικότητας Young (E) και τον λόγο του Poisson (ν). Το γραμμικά ελαστικό μοντέλο έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή σε εδάφη για ανάλυση υπό στατικές συνθήκες και χρησιμοποιείται κυρίως για άκαμπτες συμπαγείς κατασκευές στο έδαφος. Είναι όμως το πλέον κατάλληλο από αυτά που διαθέτει το πρόγραμμα για τις δυναμικές αναλύσεις των ΧΥΤΑ, όπως αυτές διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης.



Σχήμα Α.4: Παράθυρο εισαγωγής γενικών παραμέτρων υλικού

Μοντέλο Mohr-Coulomb

Τα εδάφη και τα πετρώματα όταν φορτίζονται τείνουν να συμπεριφέρονται μη-γραμμικά. Το πολύ γνωστό μοντέλο Mohr-Coulomb μπορεί να θεωρηθεί ως μια καλή προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς των εδαφών. Λόγω του ότι οι εδαφομηχανικοί είναι εξοικειωμένοι με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή του μοντέλου Mohr-Coulomb, όπως αυτές περιγράφονται παρακάτω, αποτελεί εξήγηση για την αποδοχή αυτού του εδαφικού μοντέλου.

Οι παράμετροι που σχετίζονται με αυτό το ελαστικό-τέλεια πλαστικό μοντέλο, είναι:

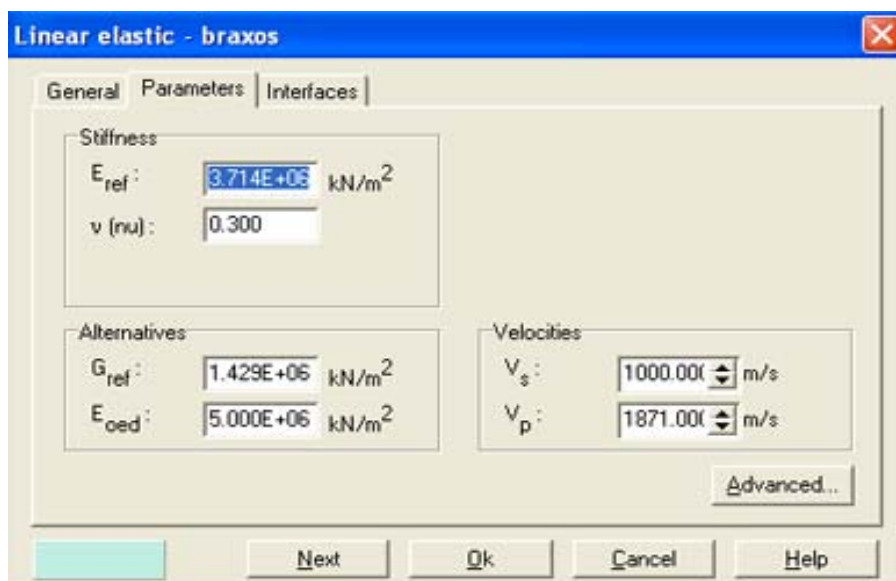
- το μέτρο ελαστικότητας του Young (E),
- ο λόγος του Poisson (ν),
- η συνοχή (c),
- η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ), και
- η γωνία διασταλτικότητας (ψ).

Μέτρο ελαστικότητας του Young (E)

Στις παραμέτρους του υλικού που εισάγονται στο παράθυρο διαλόγου του σχήματος A.5, συμπεριλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά ακαμψίας και αντοχής του επιλεγμένου εδαφικού στρώματος του προτύπου. Τα χαρακτηριστικά ακαμψίας του υλικού περιλαμβάνουν το μέτρο ελαστικότητάς του και το λόγο του Poisson. Το Plaxis χρησιμοποιεί το μέτρο ελαστικότητας του Young ως τη βασική σταθερά του ελαστικού μοντέλου και του μοντέλου Mohr-Coulomb ενώ αυτόματα υπολογίζει και κάποιες δευτερευουσες σταθερές, όπως είναι το μέτρο διάτμησης G και το μέτρο ελαστικότητας E_{oed} το οποίο προκύπτει από τη δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης.

Οι τιμές των παραμέτρων ακαμψίας χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής, δεδομένου ότι πολλά γεω-υλικά παρουσιάζουν μη-γραμμική συμπεριφορά κατά την διάρκεια της φόρτισης. Στην εδαφομηχανική, η αρχική κλίση της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης ορίζεται ως το αρχικό μέτρο ελαστικότητας E_0 ενώ η κλίση της ευθείας που τέμνει την καμπύλη στο 50% της μέγιστης

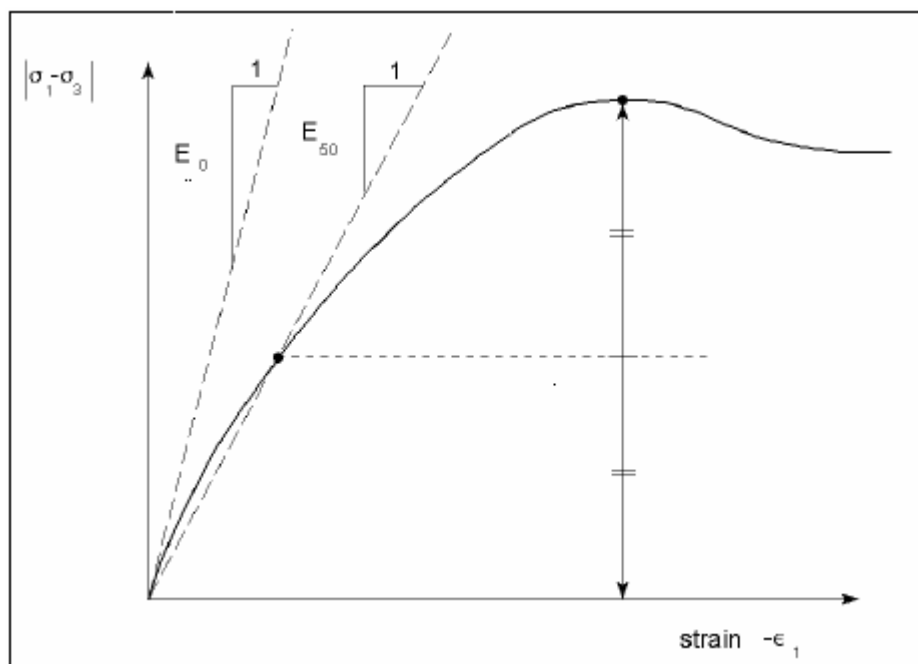
τάσης είναι το μέσο μέτρο ελαστικότητας E_{50} (σχήμα Α.6). Για υπερστερεοποιημένες αργίλους και ορισμένα πετρώματα με μεγάλο εύρος γραμμικής ελαστικής περιοχής ενδείκνυται η χρήση του αρχικού μέτρου ελαστικότητας E_0 , ενώ για άμμους και κανονικά στερεοποιημένες αργίλους χρησιμοποιείται το μέσο μέτρο ελαστικότητας E_{50} . Γενικότερα προτείνεται η χρήση του E_{50} δεδομένου ότι το E_0 δεν εκτιμάται εύκολα.



Σχήμα Α.5: Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών ιδιοτήτων

Λόγος Poisson (ν)

Οι τυπικές τριαξονικές δοκιμές με αποστράγγιση παρουσιάζουν μεγάλη μείωση του όγκου στην αρχή της αξονικής φόρτισης και επομένως χαμηλή αρχική τιμή του λόγου του Poisson. Για κάποιες περιπτώσεις, όπως για ειδικά προβλήματα αποφόρτισης, είναι ρεαλιστικό να χρησιμοποιηθεί μια τόσο χαμηλή τιμή, αλλά γενικότερα όταν χρησιμοποιείται το μοντέλο Mohr-Coulomb συνιστάται η χρήση κάποιας υψηλότερης τιμής. Η επιλογή του λόγου Poisson είναι εξαιρετικά εύκολη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το ελαστικό μοντέλο ή το μοντέλο Mohr-Coulomb για τον υπολογισμό της φόρτισης του υλικού από το ίδιο βάρος του. Στη γεωτεχνική μηχανική, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τιμές του ν κυμαίνονται μεταξύ 0.3 και 0.4, εκτός απ'όταν υφίστανται συνθήκες φόρτισης μονοδιάστατης στερεοποίησης.



Σχήμα Α.6: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης όπου ορίζεται το αρχικό και μέσο μέτρο ελαστικότητας (E_0 και E_{50})

Συνοχή (c)

Τα βασικά χαρακτηριστικά αντοχής του υλικού εισάγονται στο ίδιο παράθυρο διαλόγου (σχήμα Α.5) και περιλαμβάνουν τη συνοχή του υλικού, τη γωνία εσωτερικής τριβής αυτού και τέλος τη γωνία διασταλτικότητάς του. Η συνοχή των υλικών έχει τιμές τάσης (kN/m^2). Το Plaxis μπορεί να χειριστεί ακόμη και μη-συνεκτικά υλικά, όπως είναι οι άμμοι ($c=0$) αλλά μερικές επιλογές μπορεί να μην εκτελούνται σωστά στην περίπτωση αυτή. Για την αποφυγή προβλημάτων, λόγω αριθμητικών σφαλμάτων, χρήστες χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία θα πρέπει να εισάγουν μια μικρή τιμή για τη συνοχή ($c > 2 \text{ kPa}$).

Γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ)

Η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ εισάγεται σε μοίρες. Υψηλές τιμές γωνιών εσωτερικής τριβής αυξάνουν την υπολογιστική προσπάθεια σε περιπτώσεις μη-γραμμικής (πλαστικής) επίλυσης. Ο χρόνος υπολογισμού αυξάνει εκθετικά σε σχέση με τη γωνία εσωτερικής τριβής και γίνεται αρκετά μεγάλος όταν χρησιμοποιούνται τιμές άνω των 35° . Έτσι, υψηλές τιμές γωνιών εσωτερικής τριβής πρέπει να αποφεύγονται, ειδικά στα προκαταρκτικά στάδια των υπολογισμών ενός προβλήματος.

Γωνία διασταλτικότητας (ψ)

Η τιμή της γωνίας διασταλτικότητας ψ εισάγεται επίσης σε μοίρες. Εκτός από τα έντονα υπερστερεοποιημένα στρώματα οι άργιλοι δεν εμφανίζουν καθόλου διασταλτικότητα ($\psi=0$). Η διασταλτικότητα των άμμων εξαρτάται από την πυκνότητά τους και τη γωνία εσωτερικής τριβής τους. Για χαλαζιακές άμμους η σχέση μεταξύ γωνίας εσωτερικής τριβής και γωνίας διασταλτικότητας είναι:

$$\psi \approx \phi - 30^{\circ} \quad (\text{A.1})$$

Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, η γωνία διασταλτικότητας είναι μηδέν για τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής μικρότερες των 30° . Για ιδιαίτερα χαλαρές άμμους, η γωνία διασταλτικότητας μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Όταν χρησιμοποιείται το μοντέλο Mohr-Coulomb, εισάγονται κάποιες επιπλέον παράμετροι που σχετίζονται με πιο προηγμένα μοντέλα (σχήμα 4.7). Αυτές οι παράμετροι συνδυάζουν την αύξηση της ακαμψίας και της αντοχής σε σχέση με το βάθος, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η επιλογή του ορίου αποκοπής των εφελκυστικών τάσεων που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία τον εδαφικό σχηματισμό.

Επιπρόσθετες ιδιότητες του εδαφικού υλικού που εισάγονται επίσης στο παράθυρο διαλόγου με τα γενικά χαρακτηριστικά αυτού, είναι:

Ξηρό και υγρό φαινόμενο βάρος (γ_{dry} και γ_{wet})

Το ξηρό και το υγρό φαινόμενο βάρος του υλικού αναφέρονται στο συνολικό βάρος της μονάδας όγκου του εδαφικού σκελετού, συμπεριλαμβανομένου και του νερού που βρίσκεται στους πόρους του. Το ξηρό φαινόμενο βάρος γ_{dry} εφαρμόζεται στα υλικά που βρίσκονται πάνω από τη ζώνη κορεσμού, ενώ το υγρό φαινόμενο βάρος αναφέρεται στα υλικά που βρίσκονται κάτω από αυτή. Με βάση αυτό το δεδομένο στο Plaxis, το γ_{wet} αναφέρεται στο κορεσμένο βάρος του υλικού. Τα ειδικά βάρη εισάγονται ως δύναμη ανά μονάδα όγκου του υλικού.

Διαπερατότητα (k_x και k_y)

Η διαπερατότητα δίνεται σε μονάδες ταχύτητας (μονάδα μήκους ανά μονάδα χρόνου). Η εισαγωγή των παραμέτρων της διαπερατότητας είναι απαραίτητη

μόνο στην περίπτωση που γίνεται ανάλυση στερεοποίησης ή υπολογισμός της υπεδάφειας ροής νερού. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητος ο καθορισμός της διαπερατότητας για όλα τα στρώματα, ακόμη και για τα αδιαπέρατα. Το Plaxis διαχωρίζει την οριζόντια k_x από την κατακόρυφη k_y διαπερατότητα, αφού σε ορισμένους τύπους εδάφους (π.χ. τύρφη) υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.

A.2.10 Δημιουργία πλέγματος στοιχείων

Για να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων απαιτείται η διαίρεση του γεωμετρικού προτύπου σε στοιχεία (mesh generation). Μια διακριτοποίηση πεπερασμένων στοιχείων ονομάζεται και δίκτυο στοιχείων (mesh). Όπως έχει προαναφερθεί, τα στοιχεία του Plaxis για επίπεδα μοντέλα είναι τα τριγωνικά (εξακομβικά και δεκαπεντακομβικά). Στο Plaxis η δημιουργία του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία που βασίζεται στην τριγωνοποίηση της επιφάνειας του προτύπου. Τέτοιου είδους δίκτυα στοιχείων μπορεί να φαίνονται «ακατάστατα», η αριθμητική τους συμπεριφορά όμως είναι γενικά καλύτερη από αυτή των δικτυωμάτων που κατασκευάζονται από το χρήστη.

Ολική πυκνότητα πλέγματος στοιχείων

Η δημιουργία του δικτυώματος των στοιχείων γίνεται με βάση έναν παράγοντα που αντιπροσωπεύει το μέσο μέγεθος των στοιχείων l_e . Στο Plaxis η παράμετρος αυτή υπολογίζεται με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις του γεωμετρικού προτύπου (x_{\min} , x_{\max} , y_{\min} , y_{\max}) και τη ρύθμιση της ολικής πυκνότητας του δικτύου στοιχείων (n_c) από το υπο-μενού "mesh".

$$l_e = \sqrt{\frac{(x_{\max} - x_{\min})(y_{\max} - y_{\min})}{n_c}} \quad (\text{A.2})$$

Το n_c είναι ένας ακέραιος συντελεστής ο οποίος αντιπροσωπεύει την πυκνότητα του δικτύου που χρησιμοποιείται για τη διακριτοποίηση του συγκεκριμένου εδαφικού μοντέλου. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί πέντε επίπεδα ολικής πυκνότητας δικτυώματος στοιχείων: πολύ αραιό, αραιό, μέσης πυκνότητας, πυκνό και πολύ πυκνό. Το μέσο μέγεθος των στοιχείων και ο

αριθμός των στοιχείων που δημιουργούνται εξαρτάται από τη ρύθμιση της ολικής πυκνότητας του δικτυώματος. Μια πρόχειρη εκτίμηση για τη διακριτοποίηση μιας περιοχής 20m x 20m δίνεται στον Πίνακα Α.1 για τη δημιουργία δικτύου πεπερασμένων στοιχείων χωρίς τοπική πύκνωση.

Πυκνότητα πλέγματος στοιχείων	Αριθμός στοιχείων (κατά προσέγγιση)	n_c
Πολύ αραιό	50	25
Αραιό	100	50
Μέσης Πυκνότητας	250	100
Πυκνό	500	200
Πολύ πυκνό	1000	400

Πίνακας Α.1: Σχέση μεταξύ πυκνότητας πλέγματος στοιχείων και αριθμού στοιχείων

Προφανώς, ο ακριβής αριθμός των στοιχείων εξαρτάται από τη γεωμετρία του εκάστοτε προτύπου, αλλά και από την πιθανή τοπική πύκνωση που έχει εφαρμόσει η χρήστης για καλύτερη διακριτοποίηση, σε συγκεκριμένες περιοχές του μοντέλου. Το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων του προτύπου μπορεί να πυκνωθεί ενιαία σε όλη του την επιφάνεια με την επιλογή “Refine Global” του υπο-μενού Mesh. Η πυκνότητα αυξάνεται έτσι κατά ένα επίπεδο (π.χ. από αραιή σε μέσης πυκνότητας) και το δικτύωμα επανασχεδιάζεται αυτόματα.

Τοπική πυκνότητα δικτυώματος στοιχείων

Σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση τάσεων ή αναμένονται μεγάλες παραμορφώσεις είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός ενός πιο πυκνού δικτύου στοιχείων, ενώ άλλα τμήματα του προτύπου ίσως δεν απαιτούν μεγάλη πυκνότητα. Για τις περιπτώσεις αυτές το Plaxis χρησιμοποιεί, σε συνδυασμό με τις παραμέτρους ολικής πύκνωσης, παραμέτρους τοπικής πύκνωσης. Ο παράγοντας τοπικής πύκνωσης δίνει μια ένδειξη του σχετικού

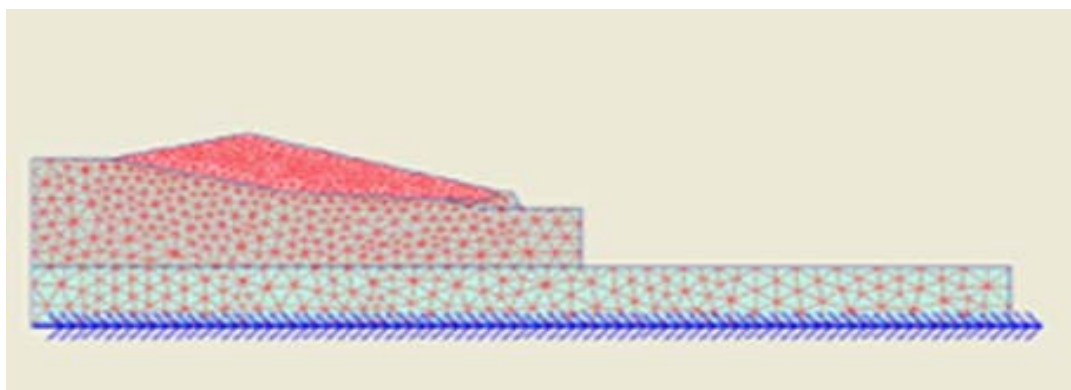
μεγέθους των στοιχείων (τοπικά) σε σχέση με το μέσο μέγεθος των στοιχείων όπως ορίζεται από την παράμετρο ολικής πυκνότητας. Εξ' ορισμού, ο συντελεστής τοπικού μεγέθους των στοιχείων έχει την τιμή 1.0. Για τη μείωση του μεγέθους ενός στοιχείου στο μισό του μέσου μεγέθους των στοιχείων του προτύπου, η τιμή του τοπικού συντελεστή μεγέθους των στοιχείων ορίζεται στο 0.5. Το εύρος τιμών του συντελεστή αυτού είναι από 0.2 έως 5.0. Αντίστοιχα, εάν η τιμή του συντελεστή έχει τιμή μεγαλύτερη από 1.0 τότε προκαλείται τοπική αραιώση του δικτύου.

Η τοπική πύκνωση του δικτύου των στοιχείων μπορεί να γίνει αυτόματα και με την επιλογή της τοπικής πύκνωσης από το υπο-μενού του Mesh, επιλέγοντας κλειστά σχήματα, γραμμές ή σημεία. Επιλέγοντας ένα από τα παραπάνω γεωμετρικά χαρακτηριστικά, ο τοπικός συντελεστής μεγέθους των στοιχείων ορίζεται αυτόματα στο 0.5 του μέσου όρου του μεγέθους των στοιχείων του υπόλοιπου προτύπου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να συνεχιστεί έως ο συντελεστής αυτός φτάσει το κάτω όριο του εύρους των τιμών του που είναι το 0.2.

Στην παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν γενικά πυκνά πλέγματα, κυρίως για τη μάζα των απορριμάτων (βλέπε σχήμα Α.7), έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακριβή. Γενικά ακολουθήθηκε ο ευρέως αποδεκτός κανόνας των 3 έως 5 πεπερασμένων στοιχείων ανά μήκος κύματος κάθε διαφορετικού στρώματος του μοντέλου. Ως γνωστόν προσεγγιστικά ισχύει ότι το μήκος κύματος:

$$\lambda = \frac{4V_s}{H} \quad (\text{A.3})$$

όπου V_s η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων μέσα στη κάθε στρώση και H το μέσο ύψος της. Οπότε, επειδή τα απορρίμματα είχαν πολύ μικρότερο V_s από το έδαφος και κυρίως απ' τον βράχο, δικαιολογείται η αυξημένη πυκνότητα του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων μεταξύ των τριών στρώσεων των μοντέλων.



Σχήμα Α.7: Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων στη γεωμετρία του ΧΥΤΑ

Α.2.11 Αρχικές συνθήκες

Μετά τη δημιουργία του γεωμετρικού προτύπου και του κατάλληλου δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων, πρέπει να οριστούν οι αρχικές τασικές συνθήκες και η αρχική κατάσταση (Initial Conditions). Αυτό γίνεται στο τμήμα ορισμού των αρχικών συνθηκών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων, όπου και προσδιορίζονται οι δύο τύποι αρχικών συνθηκών:

- α) η δημιουργία των αρχικών πιέσεων του νερού των πόρων, και
- β) ο προσδιορισμός της αρχικής γεωμετρίας του προτύπου και της δημιουργίας του πεδίου των αρχικών ενεργών γεωστατικών τάσεων.

Υδρολογικές συνθήκες

Το Plaxis χρησιμοποιείται γενικότερα για την ανάλυση των ενεργών τάσεων στην οποία γίνεται σαφής διαχωρισμός μεταξύ της ενεργής πίεσης των πόρων (p_{active}) και της ενεργής τάσης σ . Στις ενεργές πιέσεις πόρων γίνεται επιπλέον διάκριση μεταξύ της πίεσης πόρων σταθερής κατάστασης (p_{steady}) και της υπερπίεσης των πόρων (p_{excess}):

$$P_{active} = P_{steady} + P_{excess} \quad (A.4)$$

Η υπερπίεση των πόρων προκύπτει συνήθως από φόρτιση εδαφικών στρωμάτων για τα οποία ο τύπος της συμπεριφοράς του υλικού ορίζεται ως μη στραγγιζόμενο. Η πίεση πόρων σταθερής κατάστασης αντιπροσωπεύει μια σταθερή υδραυλική κατάσταση, η οποία μπορεί να προκύψει όταν οι εξωτερικές υδατικές συνθήκες παραμένουν λίγο πολύ σταθερές για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε μοντέλα που δε λαμβάνουν υπόψη πιέσεις

πόρων, η διαδικασία υπολογισμού τους αποφεύγεται με το σχεδιασμό του υδροφόρου ορίζοντα στο κάτω όριο του γεωμετρικού προτύπου, οπότε όλες οι πιέσεις που προκαλεί το νερό θεωρούνται μηδενικές.

Ειδικό βάρος νερού

Σε προβλήματα που συμπεριλαμβάνουν πιέσεις πόρων είναι απαραίτητη η εισαγωγή του ειδικού βάρους του νερού για τη διάκριση μεταξύ ενεργών τάσεων και πιέσεων των πόρων. Ειδικότερα, όταν γίνεται ανάλυση της ροής του νερού μέσα στη μάζα του εδάφους ή ανάλυση στερεοποίησης, η εισαγωγή του ειδικού βάρους του νερού είναι καθοριστικής σημασίας διότι διαφορετικά θα προκύψει εσφαλμένο αποτέλεσμα. Το ειδικό βάρος του νερού είναι εξ' ορισμού ίσο με 10.0 kN/m^3 .

Επίπεδο υδροφόρου ορίζοντα

Οι πιέσεις των πόρων και οι εξωτερικές υδατικές πιέσεις δημιουργούνται με βάση το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα. Το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα αντιπροσωπεύει εκείνα τα σημεία για τα οποία η πίεση του νερού είναι ίση με μηδέν. Κάτω από το επίπεδο αυτό η πίεση αυξάνεται γραμμικά με το βάθος (υδροστατική πίεση) πολλαπλασιαζόμενη με το ειδικό βάρος του νερού, όπως αυτό έχει οριστεί προηγουμένως. Ο υδροφόρος ορίζοντας μπορεί να οριστεί με δύο ή περισσότερα σημεία. Τα σημεία και οι γραμμές του υδροφόρου ορίζοντα σχεδιάζονται πάνω στο γεωμετρικό πρότυπο αλλά δεν αλληλεπιδρούν με αυτό. Κατά συνέπεια, τομές της ευθείας που ορίζει το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα με υπάρχουσες γραμμές του γεωμετρικού προτύπου δεν δημιουργούν επιπλέον γεωμετρικά σημεία.

Δημιουργία πίεσης νερού των πόρων

Μετά την εισαγωγή του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα δημιουργούνται οι πιέσεις του νερού των πόρων. Αυτόματα εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο απεικονίζονται οι πιέσεις αυτές μαζί με το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα. Οι πιέσεις των πόρων δεν είναι ενεργές μέχρι τη στιγμή που ουσιαστικά εφαρμόζονται στους υπολογισμούς. Η ενεργοποίησή τους σχετίζεται με την ενεργοποίηση του βάρους του εδάφους χρησιμοποιώντας τον πολλαπλασιαστή ΣM_{weight} . Τα τασικά σημεία που βρίσκονται σε στοιχεία τα οποία έχουν μηδενική σταθερή πίεση πόρων θεωρούνται ξηρά, ενώ εκείνα

που βρίσκονται σε στοιχεία που έχουν μη μηδενική σταθερή πίεση πόρων, θεωρούνται κορεσμένα. Έτσι, η τιμή της πίεσης των πόρων καθορίζει εάν στους υπολογισμούς για κάποιο δεδομένο στοιχείο θα χρησιμοποιηθεί το ξηρό ή το υγρό φαινόμενο βάρος του.

A.3 Ανάλυση



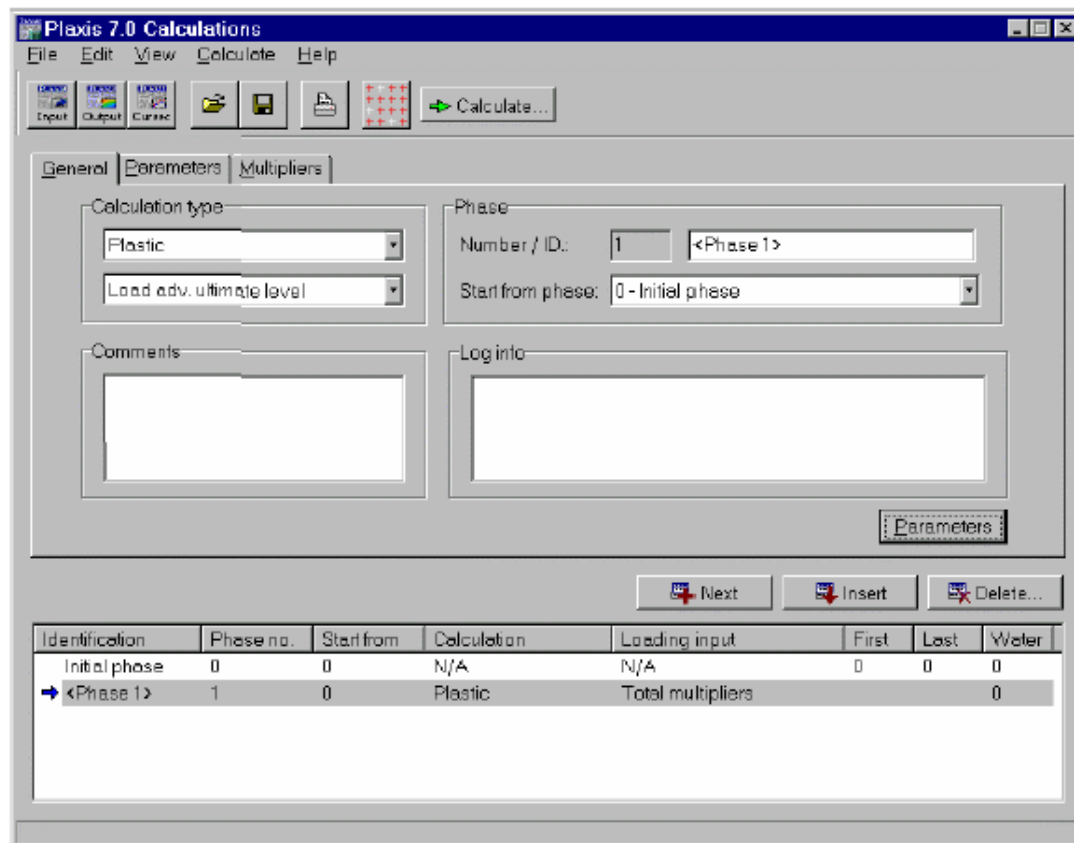
Μετά τη δημιουργία του προτύπου των πεπερασμένων στοιχείων μπορούν να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί (Calculations) της ανάλυσης του μοντέλου. Γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να οριστεί ο τύπος της ανάλυσης καθώς επίσης και οι τύποι των φορτίσεων που θα ενεργοποιηθούν κατά τη διάρκειά της. Το Plaxis έχει τη δυνατότητα διαφόρων τύπων υπολογισμών:

- α) στατική ανάλυση της πλαστικής συμπεριφοράς του προτύπου,
- β) ανάλυση στερεοποίησης,
- γ) ανάλυση «ανανεωμένου καννάβου» (updated mesh analysis),
- δ) δυναμική ανάλυση.

Στην παρούσα εργασία έγιναν δυναμικές και ψευδοστατικές αναλύσεις διαφόρων ΧΥΤΑ. Στη συνέχεια περιγράφονται περιληπτικά και οι δυο τύποι αναλύσεων.

A.3.1 Ορίζοντας μια νέα φάση υπολογισμών

Έστω ένα νέο πρόβλημα στο οποίο δεν έχουν ακόμη οριστεί οι διάφορες φάσεις υπολογισμών. Στην περίπτωση αυτή, η λίστα του παραθύρου διαλόγου του σχήματος Α.8, περιέχει μόνο μια γραμμή, που ορίζεται ως «αρχική φάση» (initial phase). Η αρχική φάση, αντιπροσωπεύει την κατάσταση του προβλήματος, όπως αυτή ορίστηκε στον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων και αποτελεί το σημείο έναρξης των περαιτέρω υπολογισμών. Για την εισαγωγή της πρώτης φάσης υπολογισμών για ένα δεδομένο πρόβλημα, δίνεται η επιλογή Next πάνω από τη λίστα των φάσεων υπολογισμού και εμφανίζεται μια νέα γραμμή. Μετά την εισαγωγή της, η φάση αυτή πρέπει να οριστεί. Αυτό γίνεται



Σχήμα Α.8: Παράθυρο υπολογισμών

με τη βοήθεια των τριών διαφορετικών «φύλλων» (tabsheets) επιλογών που περιέχει το παράθυρο διαλόγου, τα οποία αναφέρονται στα γενικά χαρακτηριστικά της φάσης, τις παραμέτρους και τους “πολλαπλασιαστές”, δηλαδή τα πρόσθετα στοιχεία για την εξεταζόμενη φόρτιση.

Α.3.2 Γενικές ρυθμίσεις

Αυτό το «φύλλο» επιλογών, περιέχει τις γενικές ρυθμίσεις μιας δεδομένης φάσης υπολογισμών, που διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

Τύπος ανάλυσης

Στο σημείο αυτό επιλέγεται ο τύπος ανάλυσης με βάση τον οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί, καθώς επίσης και η διαδικασία σταδιακής φόρτισης που θα χρησιμοποιηθεί.

Φάση

Εδώ προσδιορίζεται η φάση των υπολογισμών και ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι που είναι η αλληλουχία σύμφωνα με την οποία αυτές θα

πραγματοποιηθούν, επιλέγοντας σε κάθε φάση την προηγούμενή της, το τέλος της οποίας αποτελεί έναρξη της νέας.

Σχόλια και πληροφορίες

Υπάρχει ένα πλαίσιο κειμένου όπου μπορούν να αποθηκευτούν πληροφορίες σχετικές με οποιαδήποτε από τις φάσεις υπολογισμών καθώς και ένα πλαίσιο όπου αναγράφονται πληροφορίες που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της επίλυσης, όπως για παράδειγμα σφάλματα αυτής.

A.3.3 Τύποι υπολογισμών

Η πρώτη παράμετρος που ορίζεται με τη δημιουργία μιας νέας φάσης υπολογισμών είναι ο τύπος της επίλυσης. Όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιήσαμε τη δυναμική ανάλυση και τη στατική ανάλυση πλαστικής συμπεριφοράς του προτύπου:

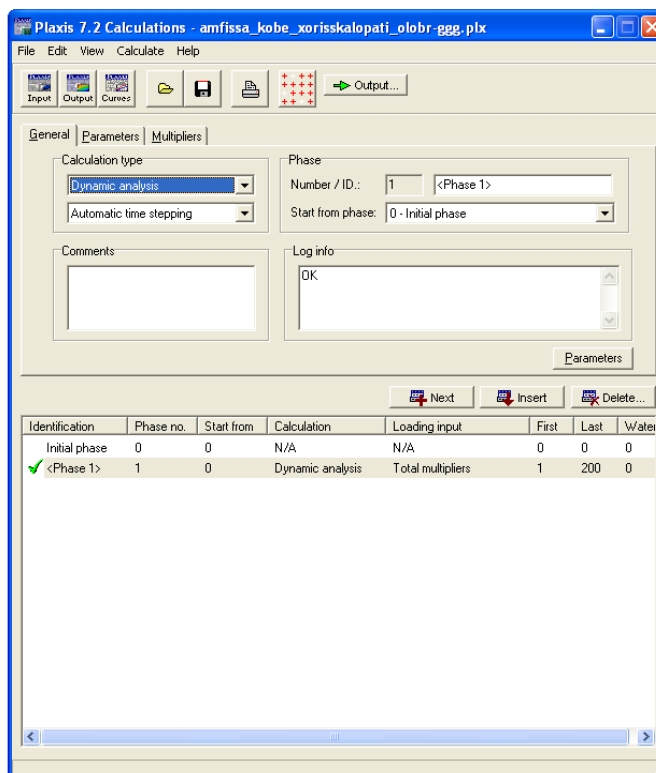
Δυναμική ανάλυση (Dynamic Analysis)

Η διαδικασία αυτή επιλέγεται με σκοπό την πραγματοποίηση μιας δυναμικής ανάλυσης. Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για γεωτεχνικές κατασκευές υπό σεισμική καταπόνηση. Τέτοιες αναλύσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων και αδρανειακών δυνάμεων σε όλο τον όγκο της κατασκευής μας. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το απορριματικό πρανές, καθώς και οι διατμητικές παραμορφώσεις στη θεμελίωση του ΧΥΤΑ. Βασικός στόχος είναι η ρεαλιστική προσομοίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του υπό-εξέταση πρανούς και ο έλεγχος της ευστάθειάς του με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Ανάλυση πλαστικής συμπεριφοράς του προτύπου (Plastic Analysis)

Η διαδικασία αυτή επιλέγεται με σκοπό την πραγματοποίηση μιας ελαστοπλαστικής ανάλυσης παραμόρφωσης όπου δεν είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν επιδράσεις μεγάλων παραμορφώσεων. Ο πίνακας ακαμψίας σε αυτού του τύπου την επίλυση βασίζεται στην αρχική, μη παραμορφωμένη γεωμετρία του προτύπου. Γενικά, η ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται σε πολλές γεωτεχνικές εφαρμογές, ενώ δεν λαμβάνει υπόψη της την επίδραση του χρόνου (στατικές συνθήκες φόρτισης), εκτός από την

περίπτωση που χρησιμοποιείται το μοντέλο ερπυσμού μαλακού εδάφους (soft soil creep model).



Σχήμα Α.9: Παράθυρο καθορισμού τύπου ανάλυσης

Α.3.4 Παράμετροι υπολογισμών

Είναι το «φύλλο» πάνω στο οποίο καθορίζονται οι παράμετροι των φάσεων υπολογισμού και περιέχει τις ακόλουθες επιλογές:

Βήματα υπολογισμών

Η παράμετρος αυτή προσδιορίζει τον (μέγιστο) αριθμό βημάτων υπολογισμών τα οποία πραγματοποιούνται σε μια δεδομένη φάση υπολογισμών. Στην περίπτωση που έχει επιλεγεί ο καθορισμός του αριθμού των βημάτων υπολογισμών από τον χρήστη (manual control). Η αρχική τιμή των επιπλέον βημάτων είναι ίση με 1, κάτι που σημαίνει ότι οι υπολογισμοί στη δεδομένη φάση πραγματοποιούνται σε ένα μόνο βήμα. Στην περίπτωση που έχει επιλεγεί ο αλγόριθμος προοδευτικών βημάτων φόρτισης ο αριθμός των βημάτων ορίζεται ως ένας ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί στα απαιτούμενα βήματα φόρτισης για τη δεδομένη φάση υπολογισμών. Τέλος, για τον αλγόριθμο προοδευτικής φόρτισης τελικού σταδίου, ο αριθμός των

επιπλέον βημάτων αποτελεί το άνω όριο του πραγματικού αριθμού βημάτων που πρόκειται να πραγματοποιηθούν για την επίλυση.

Μηδενισμός παραμορφώσεων

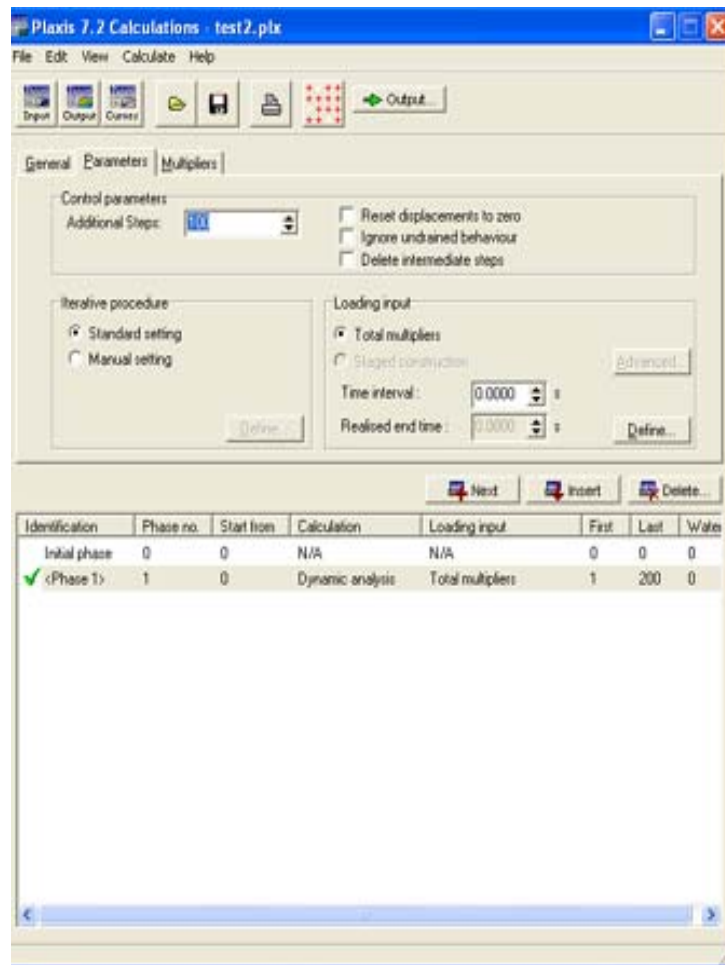
Η ρύθμιση αυτή επιλέγεται όταν οι παραμορφώσεις που προέκυψαν σε προηγούμενα στάδια υπολογισμών δεν ενδιαφέρουν και πρέπει να αγνοηθούν κατά την έναρξη της δεδομένης φάσης, έτσι ώστε αυτή να ξεκινά από μια κατάσταση μηδενικών παραμορφώσεων. Για παράδειγμα, οι παραμορφώσεις από την επίδραση του ίδιου του βάρους των υλικών, δεν έχουν καμία φυσική σημασία κατά την επίλυση και έτσι η ρύθμιση μηδενισμού των παραμορφώσεων επιλέγεται συνήθως μετά από ένα τέτοιο αρχικό στάδιο. Στην περίπτωση που δεν επιλεγεί η ρύθμιση αυτή, οι παραμορφώσεις που προκύπτουν στη δεδομένη φάση υπολογισμών προστίθενται σε αυτές της προηγούμενης. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο μηδενισμός των παραμορφώσεων δεν επηρεάζει το εντατικό πεδίο του προτύπου.

Αγνόηση μη στραγγιζόμενης συμπεριφοράς

Η ρύθμιση αυτή επιλέγεται στην περίπτωση που επιθυμείται ο προσωρινός αποκλεισμός της επίδρασης της μη στραγγιζόμενης συμπεριφοράς σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μη στραγγιζόμενα υλικά. Έτσι, όλα τα μη στραγγιζόμενα υλικά γίνονται προσωρινά στραγγιζόμενα. Η υπάρχουσα περίσσεια πίεση των πόρων, η οποία δημιουργήθηκε σε προηγούμενο στάδιο παραμένει, ενώ δεν δημιουργείται κάποια πρόσθετη σε αυτή τη φάση υπολογισμών.

Διαγραφή ενδιάμεσων σταδίων

Η ρύθμιση αυτή επιλέγεται στην περίπτωση που οι υπολογισμοί γίνονται με τον αλγόριθμο προοδευτικής φόρτισης τελικού σταδίου, κυρίως για εξοικονόμηση χώρου στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Μετά την επιλογή αυτής της ρύθμισης, όλα τα πρόσθετα βήματα υπολογισμών στη δεδομένη φάση (εκτός του τελευταίου), διαγράφονται, εφόσον βέβαια η φάση έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία. Γενικά, το τελευταίο βήμα υπολογισμών περιέχει τα πιο σημαντικά αποτελέσματα για τη δεδομένη φάση, ενώ τα ενδιάμεσα βήματα είναι λιγότερο σημαντικό γι' αυτό και η διαγραφή τους δεν επηρεάζει ουσιαστικά την επίλυση.



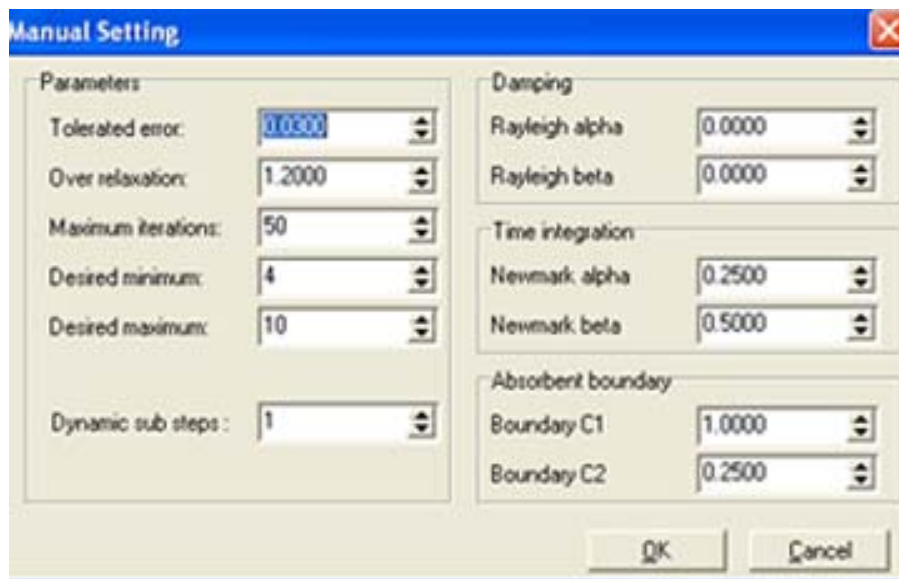
Σχήμα Α.10: Παράθυρο καθορισμού διάφορων παραμέτρων της ανάλυσης

Παράμετροι ελέγχου επαναληπτικής διαδικασίας

Η επαναληπτική διαδικασία επηρεάζεται από κάποιες παραμέτρους ελέγχου, οι οποίες ορίζονται σε αυτό το στάδιο της επίλυσης. Ειδικότερα, το Plaxis δίνει τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ:

- A. Των καθορισμένων από το ίδιο το πρόγραμμα ρυθμίσεων (standard settings), οι οποίες φαίνεται να λειτουργούν αρκετά καλά στις περισσότερες επαναληπτικές διαδικασίες
- B. Των ρυθμίσεων που κάνει ο ίδιος ο χρήστης (manual settings), εφόσον σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να αλλάξουν οι καθορισμένες ρυθμίσεις. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης καλείται να επιλέξει ποιες από τις παραμέτρους τις επαναληπτικής διαδικασίας, όπως αυτές παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα αλλά και στις επόμενες ενότητες, επιθυμεί να αλλάξει. Συνήθως αλλάζουμε μόνο τις

Rayleigh παραμέτρους α και β , ανάλογα με την τυπική απόσβεση που έχει το συγκεκριμένο μοντέλο.



Σχημα Α.11: Παράθυρο καθορισμού παραμέτρων ανάλυσης

A.3.5 Εισαγωγή δεδομένων φόρτισης

Στο σημείο αυτό καθορίζεται ο τύπος φόρτισης που θεωρείται ότι εφαρμόζεται στη δεδομένη φάση υπολογισμών. Στην περίπτωση που γίνεται δυναμική ανάλυση, το Plaxis δέχεται φόρτιση με την έννοια της αύξησης ή μείωσης των εξωτερικών δυνάμεων, η οποία ενεργοποιείται μεταβάλλοντας τους αντίστοιχους πολλαπλασιαστές.

Στην περίπτωση που γίνεται στατική ανάλυση της πλαστικής συμπεριφοράς του προτύπου, το Plaxis διακρίνει τρεις διαφορετικούς τύπους εισαγωγής δεδομένων φόρτισης:

1. Φόρτιση με την έννοια της αύξησης ή μείωσης των εξωτερικών δυνάμεων, η οποία ενεργοποιείται μεταβάλλοντας τους αντίστοιχους πολλαπλασιαστές σε κάθε στάδιο ή συνολικά.
2. Φόρτιση με την έννοια της μεταβολής του βάρους, της αντοχής ή της ακαμψίας των στοιχείων, η οποία ενεργοποιείται μεταβάλλοντας τη γεωμετρία του προτύπου ή την επίδραση της πίεσης των πόρων, μέσω της εντολής της σταδιακής κατασκευής (staged construction).

3. Φόρτιση με την έννοια της μείωσης της αντοχής (Phi-c reduction) για την ανάλυση ευστάθειας, η οποία ενεργοποιείται με τον ορισμό του πολλαπλασιαστή ΣM_{sf} .

Και στις δυο παραπάνω περιπτώσεις είναι αναγκαίος ο καθορισμός του χρόνου της φόρτισης. Σε περίπτωση εισαγωγής συγκεκριμένης σεισμικής καταγραφής, πρέπει να καθοριστεί και η συνολική χρονική διάρκεια της σεισμικής δόνησης.

Πολλαπλασιαστές φορτίων

Κατά τη διάρκεια της επίλυσης ενός μοντέλου για τον προσδιορισμό της κατανομής των παραμορφώσεων στη μάζα του είναι απαραίτητος ο έλεγχος όλων των ειδών των φορτίσεων που δέχεται. Τα φορτία που εφαρμόζονται σε κάθε στάδιο δίνονται από την αρχική τιμή του φορτίου, όπως αυτή έχει εισαχθεί στο πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων, καθώς και τον αντίστοιχο πολλαπλασιαστή. Ο διαχωρισμός μεταξύ των δύο ειδών πολλαπλασιαστών, που δέχεται το Plaxis είναι ο ακόλουθος. Το κάθε είδος πολλαπλασιαστή χρησιμοποιείται ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης που έχει επιλεγεί. Η εισαγωγή των τιμών των πολλαπλασιαστών γίνεται στο παράθυρο διαλόγου του παρακάτω σχήματος. Είναι προφανές ότι οι πολλαπλασιαστές είναι αδιάστατα μεγέθη.

Για κάθε στάδιο φόρτισης (incremental multipliers)

Επιλέγοντας τιμή για κάποιον πολλαπλασιαστή σε κάθε στάδιο φόρτισης, ουσιαστικά ορίζεται από τη χρήστη η σταδιακή επιβολή των εξωτερικών φορτίων. Σημειώνεται ότι τα τελικά φορτία σε ένα υπολογιστικό βήμα επηρεάζονται και από την επίδραση του ελέγχου “μήκους τόξου” (arc-length method), αν η διαδικασία αυτή είναι ενεργοποιημένη. Πριν από την εισαγωγή ενός σταδίου για την επιβολή ενός τμήματος του εξωτερικού φορτίου, μπορεί να εισαχθεί και ένας πολλαπλασιαστής για το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα επιβληθεί το φορτίο αυτό. Ο παράγοντας χρόνος εισάγεται στις μονάδες που έχουν καθοριστεί στο πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων. Χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που επιλεγεί κάποιος από τους τύπους φόρτισης που επηρεάζεται από το χρόνο (π.χ. στερεοποίηση).



Σχήμα Α.12: “Πολλαπλασιαστές” – Παράμετροι φορτίσεων

Συνολικοί πολλαπλασιαστές (total multipliers)

Στην περίπτωση που έχει επιλεγεί ο αλγόριθμος προοδευτικής φόρτισης τελικού σταδίου, τότε ο χρήστης μπορεί να ορίσει τις μέγιστες τιμές των εξωτερικών φορτίων επιλέγοντας τη ρύθμιση των συνολικών πολλαπλασιαστών (total multipliers). Τα μέγιστα φορτία, που ορίζονται από τους συνολικούς πολλαπλασιαστές φόρτισης, εφαρμόζονται ακριβώς στο τέλος κάθε σταδίου υπολογισμών, δεδομένου ότι δεν έχει εμφανιστεί προηγουμένως μηχανισμός θραύσης ή αποφόρτισης του μοντέλου.

Σε αυτό το σημείο, όταν γίνεται δυναμική ανάλυση, εισάγεται η σεισμική δόνηση με την κατάλληλη μορφή αρχείου (συνήθως η χρονικά μεταβαλλόμενη εδαφική επιτάχυνση) που απαιτείται από το πρόγραμμα. Όταν γίνεται στατική ανάλυση απλώς ορίζεται η μέγιστη ψευδó-επιτάχυνση σχεδιασμού, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Μετά από όλες αυτές τις ρυθμίσεις, το Plaxis μπορεί να επιλύσει το μοντέλο και να δώσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης τα οποία μπορούν να παρουσιαστούν σε γραφική μορφή ή να αποθηκευτούν σε μορφή πινάκων.

A.4 Πρόγραμμα εξαγωγής αποτελεσμάτων



Τα κύρια ζητούμενα που υπολογίζονται από τη δυναμική ανάλυση ενός μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων είναι οι παραμορφώσεις στους κόμβους των στοιχείων και ο καθορισμός των μέγιστων οριζόντιων επιταχύνσεων. Το Plaxis διαθέτει διάφορους τρόπους απεικόνισης των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία. Στο σχετικό παράθυρο διαλόγου γίνεται η επιλογή του αρχείου του οποίου τα αποτελέσματα ζητείται να παρουσιαστούν. Κατά την επιλογή ενός συγκεκριμένου αρχείου εμφανίζονται στο ίδιο παράθυρο διαλόγου και οι υπολογιστικές φάσεις τις οποίες αυτό περιέχει. Μετά την επιλογή της φάσης υπολογισμών που ενδιαφέρει εμφανίζεται μια νέα φόρμα αποτελεσμάτων στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τελευταίου υπολογιστικού βήματος της δεδομένης φάσης.

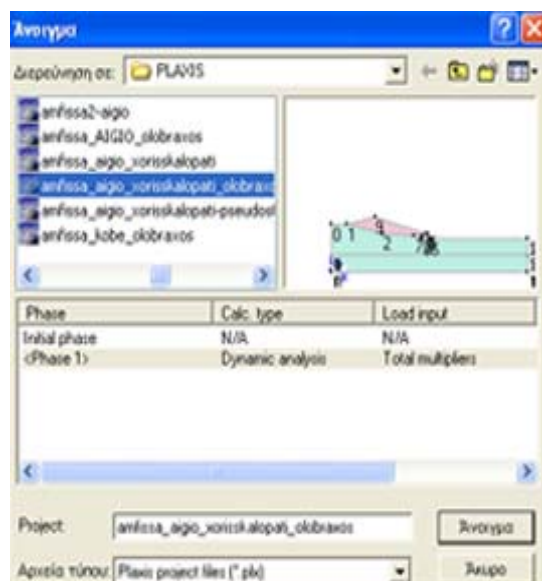
Εκτός όμως από την κατάσταση που διαμορφώνεται μετά το τελευταίο υπολογιστικό βήμα κάθε φάσης, ο χρήστης μπορεί να επέμβει και να επιλέξει να δει τα αποτελέσματα και σε κάποιο άλλο υπολογιστικό βήμα. Στο συγκεκριμένο υπο-πρόγραμμα (output) του Plaxis μπορεί κανείς να απεικονήσει:

- τις παραμορφώσεις,
- τις τάσεις,
- τις κατασκευές και τις διεπιφάνειες,
- τους σχετικούς πίνακες αποτελεσμάτων,
- τα διαγράμματα σε τομές του μοντέλου (cross sections).

Παραμορφωμένο δικτύωμα στοιχείων

Πρόκειται για μια απεικόνιση του δικτυώματος των στοιχείων όπως αυτό εμφανίζεται μετά την επίλυση του προτύπου (deformed mesh), σε

αντιπαράθεση με την αρχική γεωμετρία του, πριν την επιβολή οποιασδήποτε φόρτισης.



Σχήμα Α.13: Παράθυρο διαλόγου για την επιλογή αρχείου και υπολογιστικής φάσης για την εμφάνιση αποτελεσμάτων

Κατασκευές και διεπιφάνειες

Οι παραμορφώσεις των κατασκευών (τοιχών, αγκυρίων κλπ) και των διεπιφανειών απεικονίζονται πάνω στην αρχική γεωμετρία του προσομοιώματος. Περαιτέρω ανάλυση των παραμέτρων αυτών δεν κρίνεται σκόπιμη αφού στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν κατασκευές ή διεπιφάνειες που θα έπρεπε να εξεταστούν ξεχωριστά.

Πίνακες αποτελεσμάτων

Τα αριθμητικά δεδομένα των διαφόρων αποτελεσμάτων εξάγονται και σε πίνακες, οι οποίοι μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν από άλλα προγράμματα (π.χ. Excel).

Πίνακες μετατοπίσεων και επιταχύνσεων

Για την εμφάνιση του πίνακα που αντιστοιχεί στις μετατοπίσεις ή στις επιταχύνσεις πρέπει στο πρόγραμμα των αποτελεσμάτων να εμφανίζεται το μοντέλο με τη σχετική απεικόνιση των μετατοπίσεων. Στον πίνακα αυτόν δίνονται οι συνιστώσες της μετατόπισης ή της επιτάχυνσης για όλους τους

κόμβους. Οι μετατοπίσεις u_x , a_x και u_y , a_y αναφέρονται στο σύνολο των μετατοπίσεων και επιταχύνσεων, αντίστοιχα, όπως αυτές υπολογίστηκαν από όλες τις προηγούμενες φάσεις υπολογισμών, ενώ οι μετατοπίσεις ΔU_x και ΔU_y αναφέρονται στο συγκεκριμένο υπολογιστικό βήμα.

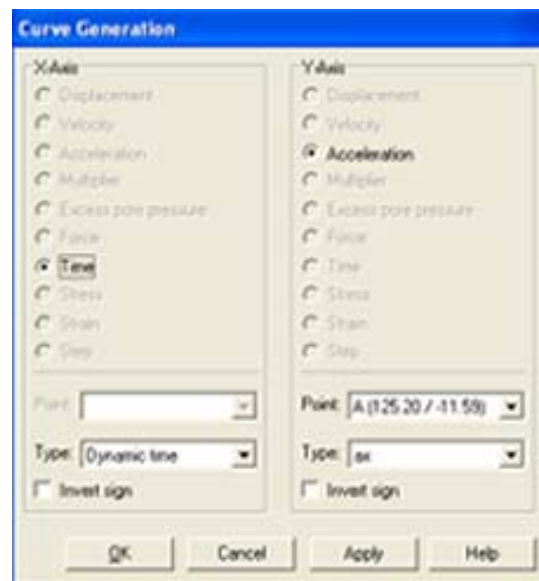
A.5 Πρόγραμμα Σχεδιασμού Καμπύλων



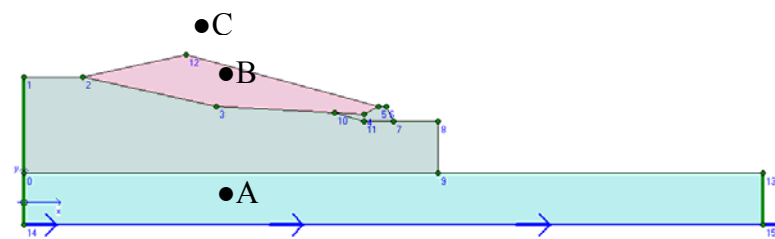
Το πρόγραμμα σχεδιασμού των καμπυλών χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό διαφόρων διαγραμμάτων, π.χ. χρόνου – επιταχύνσεων, χρόνου – συντελεστή ασφαλείας, κ.α. (ανάλογα και με το είδος της ανάλυσης που έχει προηγηθεί). Οι καμπύλες αυτές απεικονίζουν την ποσοτική διακύμανση συγκεκριμένων παραμέτρων κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων υπολογισμών και δίνουν μια εικόνα για την συνολική και τοπική συμπεριφορά του μοντέλου.

Κατά την έναρξη του προγράμματος σχεδιασμού των γραφημάτων ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει από πιο αρχείο επιθυμεί να χρησιμοποιήσει στοιχεία για να σχεδιάσει κάποιο διάγραμμα. Μετά την επιλογή του αρχείου εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου του σχήματος A.14 στο οποίο γίνονται οι επιλογές για τη δημιουργία του γραφήματος που πρόκειται να παραχθεί. Σε αυτό το παράθυρο διαλόγου υπάρχουν δύο πλαίσια με διάφορες επιλογές για τον οριζόντιο άξονα (άξονας x) και για τον κατακόρυφο άξονα (άξονας y). Για κάθε άξονα γίνεται ένας συνδυασμός επιλογών με σκοπό τον καθορισμό των παραμέτρων που θα απεικονιστούν στο διάγραμμα. Ο αριθμός των σημείων της κάθε καμπύλης αντιστοιχεί στον αριθμό των βημάτων που απαιτήθηκαν για την επίλυση της συγκεκριμένης φάσης υπολογισμών.

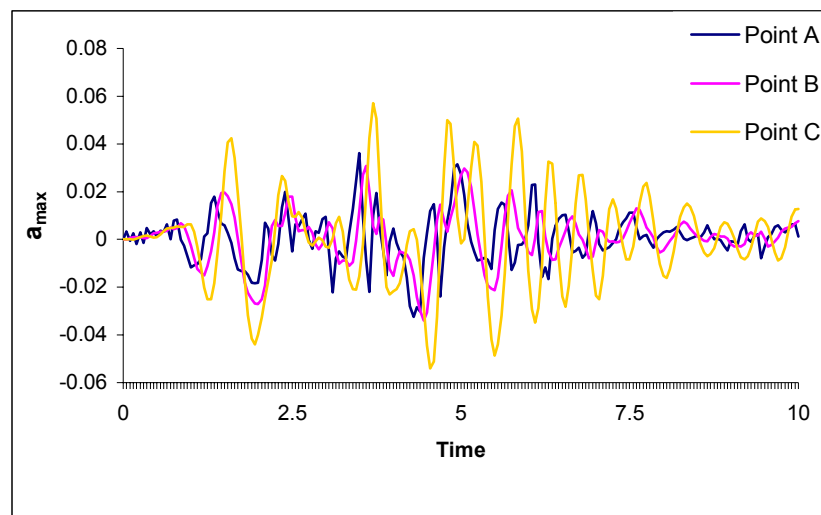
Για παράδειγμα στην παρούσα εργασία για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων των δυναμικών αναλύσεων επιλέγεται για τον άξονα x ο χρόνος και για τον άξονα y η επιτάχυνση στο σημείο που έχει επιλεγεί (βλέπε σχήμα A.15). Τέτοιου είδους καμπύλες χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από επίλυση μοντέλων στα οποία η εξαρτώμενη από το χρόνο συμπεριφορά των εδαφών παίζει σημαντικό ρόλο (ανάλυση στερεοποίησης, μοντέλα ερπυσμού, δυναμικές αναλύσεις, κλπ).



Σχήμα Α.14: Παράθυρο διαλόγου για τη δημιουργία καμπύλης



(α)



(β)

Σχήμα Α.15: (α) Επιλογή σημείων για παρουσίαση αποτελεσμάτων (β) οι αντίστοιχες χρονοιστορίες των Α, Β, C

Βιβλιογραφία

Α. Ελληνική βιβλιογραφία:

1. Βάλαλα Θ.Δ., Αντιστηρίξεις και θεμελιώσεις, Εκδόσεις Κυριακίδη, 2001.
2. Βάταλης Κ., Μανωλιάδης Ο. και Δεσινιώτης Ηλ., Περιβαλλοντική γεωτεχνολογία, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2002.
3. Γκέκας Β., Φραντζεσκάκη Ε. και Κατσιβελα Ε., Τεχνολογίες επεξεργασίας τοξικών – επικίνδυνων αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα, 2002.
4. Καββαδάς Μ., σημειώσεις μαθήματος Εδαφομηχανικής, Ε.Μ.Π., 2000.
5. Καβουκλής Λ. Παναγιώτης, Ανάλυση σεισμικής απόκρισης χώρων υγειονομικής ταφής, Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999.
6. Οργανισμός αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας (ΟΑΣΠ), Γεωλογικά σεισμολογικά θέματα, www.oasp.gr, 2005.
7. Παπαδρακάκης Μ., Ανάλυση φορέων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2001.

8. Πασσάς Νίκος, Σημειώσεις μαθήματος εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2004.
9. Πιτιλάκη Κ., Τεχνική σεισμολογία και εδαφομηχανική, Πανεπιστημιακό τυπογραφείο ΑΠΘ, 2002-2003.
10. Σεφέρογλου Κ. και Λασκαράτος Π, Γεωτεχνικός σχεδιασμός για την απόθεση επικίνδυνων αποβλήτων, Πρακτικά 1^{ου} συνεδρίου γεωτεχνικής μηχανικής.
11. Σκορδίλης Δ.Α., Ελεγχόμενη εναπόθεση στερεών μη επικίνδυνων αποβλήτων, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2001.
12. Στασινάκης Α., Σημειώσεις μαθήματος εισαγωγή στη περιβαλλοντική μηχανική, Μυτιλήνη 2003.
13. Τσομπανάκης Ι και Ψαρρόπουλος Π., Εδαφικές συνθήκες και αντισεισμικός σχεδιασμός ΧΥΤΑ, Συνέδριο HELECO-05, ΤΕΕ, Αθήνα Φεβρουάριος 2005.
14. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ.), ΟΑΣΠ, 2001.

B. Ξένη βιβλιογραφία:

1. “Geotechnical reconnaissance of the effects of the 17-1-1995, Hyogoken-Nanbu (Japan) earthquake”, (1995) Rep. UCB/EERC-95/01, EERI, University of California at Berkeley.
2. Aki K. (1988) “Local site effects on strong ground motion”, Earthquake Engineering and Soil Dynamics II, ASCE, USA.
3. Bachmann Hugo, Αντισεισμική προστασία κατασκευών, Εκδόσεις Γκιούρδας, 1998.
4. Bray J, Repetto P. & Byrne J, An overview of seismic design issues for solid waste landfills, paper of GRI conference, California, December 1993.
5. Bray J, Repetto P. , Byrne & Aguello A., Seismic analysis of landfills, Paper of 13th central pennsylvania geotechnical seminar, april, 1993.
6. Bray J, Repetto P. , Byrne, Aguello A. & leonards G., Seismic stability procedures for solid waste landfills, Journal of geotechnical engineering, vol 121, 1995.
7. Bray J. and Rathje E., One and two dimensional seismic analysis of solid waste landfills, Canada, 2001.
8. Bray J.D. and E.M. Rathje (1998) “Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills”, ASCE J. Geotech. & Geoenv. Eng., 124(3), pp. 242-253.
9. Bray J.D., E.M. Rathje, A.J. Augello and S.M. Merry (1998) “Simplified seismic design procedure for geosynthetic-lined solid-waste landfills”, Geosynthetics International, 5 (1-2), pp. 203-235.
10. Bray J.D., E.M. Rathje, A.J. Augello and S.M. Merry (1998) “Simplified seismic design procedure for geosynthetic-lined solid-waste landfills”, Geosynthetics International, 5 (1-2), pp. 203-235.
11. Brinkgreve R.B.J. (ed.) (2002) “Plaxis manual”, Balkema, Netherlands.

12. EC8 (1994) "Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1: General Rules", ENV 1993-2, European Committee for Standardization, Brussels.
13. Attica Ansal (Ed.), Recent advance in Earthquake geotechnical engineering and microzonation, Klumer Academ Publishes, 2004.
14. Krinitzsky E., Hynes M & Franklin A., Earthquake safety evaluation of sanitary landfills, Journal of engineering geology, vol 46, 1997.
15. Matasovic N, Kavazanjian E & Anderson R., Performance of solid waste landfills in earthquakes, Journal of earthquake spectra, vol 14, pp 319-334, May 1998.
16. Rathje E.M. and J.D. Bray (2000) Nonlinear coupled seismic sliding analysis of earth structures, ASCE J. Geotech. & Geoenv. Eng., 126(11), pp. 1002-1014.
17. Stewart J., Bray J., Seed R. & Sitar N., Preliminary report on the principal geotechnical aspects of the January 17, 1994 Northridge earthquake, June 1994.
18. Stewart J.P., P.M. Smith, D.H. Whang and J.D. Bray (2002) "Documentation and Analysis of Field Case Histories of Seismic Compression during the 1994 Northridge, California, Earthquake", PEER Report 2002/09, University of California, Berkeley, USA.
19. Thuasnyanthan I., Madabhushi G, Singh S, Haigh S & Brennan A., Seismic behaviour of municipal solid waste landfills, paper of 13th world conference on earthquake engineering, august, 2004.
20. Yegian M & Finn Liam, Earthquake design and performance of solid waste, Papers from Conference held in San diego, California, 1995.
21. Zeng X. (ed.) (2001) Proceedings of "NSF International workshop on earthquake simulation in geotechnical engineering", Case Western Reserve University Cleveland, Ohio November 8-10.
22. Zornberg J, LaFountain L & Caldwell J., Analysis and design of evapotranspirative cover for hazardous waste landfill, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, pp 427-438, May, 2003.