

# **ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ**

**Σ.Τ.Ε.**

**ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΛΑΦΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ  
ΥΛΙΚΩΝ - ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ»**

**ΚΑΡΑΦΛΟΥ ΓΑΛΗΝΗ**

**ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ, 2009**

## Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	5
1 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	19
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	19
1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ.....	24
2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	29
3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ.....	33
4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ .....	38
5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	41
5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	41
5.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	42
5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ.....	52
6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ.....	54
7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ .....	56
7.1 ΦΘΟΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ .....	56
7.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ, ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ, ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	57
7.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ .....	60
8 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ .....	63
8.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ .....	63
8.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ .....	65
8.3 ΠΡΑΝΗ .....	70
8.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ .....	73
9 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑΥΠΙΑΚΤΟΥ .....	78

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	79
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΠΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ) .....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι –.....	91
ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ – ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ .....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ – .....	112
ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ – ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ .....	112

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιεί ο πολιτικός μηχανικός στις κατασκευές του εμπλουτίστηκε τις τελευταίες δεκαετίες με μια καινούργια κατηγορία υλικών τα γεωσυνθετικά υλικά. Πολλοί είναι οι λόγοι που οδήγησαν την ταχεία ανάπτυξη τους.

Τα γεωσυνθετικά υλικά μπορούν να εκτελέσουν την λειτουργία του διαχωρισμού μεταξύ δύο εδαφικών στρώσεων. Επίσης πολλά γεωσυνθετικά έχουν τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες για να λειτουργήσουν σαν οπλισμό εδάφους. Ανάλογα με την λειτουργία τους έχουμε και τους ανάλογους τύπους γεωσυνθετικών υλικών (γεωφάσματα - γεωπλέγματα - γεωμεμβράνες - γεωσύνθετα).

Εμείς θα ασχοληθούμε με τα γεωφάσματα και ειδικότερα με εφαρμογές ενίσχυσης και όπλισης του εδάφους. Τα γεωφάσματα είναι διαπερατά, συνήθως ανθεκτικά υλικά που μοιάζουν με υφάσματα και ενσωματώνονται σε μια κατασκευή σε συνδυασμό με γεωυλικά με στόχο την βελτίωση της συμπεριφοράς ή την μείωση του κόστους της κατασκευής. Έχει ήδη τεκμηριωθεί ένας μεγάλος αριθμός πιθανών εφαρμογών των γεωφασμάτων, στο εμπόριο διατίθεται πλήθος προϊόντων με διαφορετικές μεθόδους κατασκευής και ιδιότητες, έχουν διατυπωθεί αρκετά πρότυπα εργαστηριακού και επιτόπου ελέγχου των γεωφασμάτων, και έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι σχεδιασμού ή μελέτης έργων σύμφωνα με τις τέσσερις βασικές λειτουργίες (διαχωρισμός, ενίσχυση-οπλισμός, φίλτρο, στράγγιση) που επιτελούν τα γεωφάσματα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ο κατάλογος των υλικών που χρησιμοποιεί ο πολιτικός μηχανικός στις κατασκευές του εμπλουτίστηκε κατά τις τελευταίες δεκαετίες με μια καινούργια κατηγορία υλικών. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των νέων υλικών προέρχονται κυρίως από την βιομηχανία των πλαστικών και, κατά συνέπεια, τα προϊόντα μπορεί να χαρακτηρισθούν σαν «συνθετικά». Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεωτεχνικές κατασκευές, βαριές κατασκευές, οικοδομικά έργα και έργα προστασίας του περιβάλλοντος. Επειδή οι διάφορες εφαρμογές των υλικών αυτών συσχετίζονται με τα εδάφη, τα πετρώματα και το υπόγειο νερό, είναι εύλογο να χρησιμοποιείται το πρόθεμα «γεώ-» στην ονομασία τους. Ο όρος γεωσυνθετικό υλικό είναι μια γενική ονομασία που χαρακτηρίζει τα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωτεχνικής μηχανικής ή σε συναφείς κατασκευές σε συνδυασμό με γεωυλικά. Έχουν μορφή φύλλου και διακρίνονται γενικά σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: (α) τα γεωφάσματα, (β) τα γεωπλέγματα, (γ) τις γεωμεμβράνες και τα γεωσύνθετα. Παραδείγματα υλικών που ανήκουν σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες φαίνονται στο σχήμα 1.1. τα γεωφάσματα είναι διαπερατά γεωσυνθετικά με αποκλειστική σύνθεση υφάσματος. Τα γεωπλέγματα έχουν μορφή ορθογωνικού κανάβου με σχετικά μεγάλα ανοίγματα. Οι γεωμεμβράνες είναι πρακτικά αδιαπέρατα φύλλα. Τα γεωσύνθετα είναι συνδυασμός γεωφάσματος, γεωπλέγματος και γεωμεμβράνης, ανά δύο, ή και συνδυασμός ενός από αυτούς τους τρεις τύπους γεωσυνθετικού με άλλο υλικό.

Πολλοί είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην ταχεία ανάπτυξη των γεωσυνθετικών. Μεταξύ αυτών, αναφέρονται: (α) η βελτίωση της ασφάλειας της κατασκευής ιδίως σε περιπτώσεις όπου τα γεωσυνθετικά

χρησιμοποιούνται αντί άλλων υλικών που υφίστανται εύκολα φθορές ή βιοαποδόμηση, (β) βελτίωση της οικονομίας της κατασκευής, λόγω μικρότερου αρχικού κόστους, που οφείλεται στην ταχύτητα τοποθέτησης των γεωσυνθετικών στο πεδίο και στη δυνατότητα αντικατάστασης τοπικά δυσεύρετων ή ακριβών πρώτων υλών, (γ) βελτίωση της οικονομίας του έργου λόγω επιμήκυνσης του ωφέλιμου χρόνου ζωής και μείωσης του κόστους συντήρησης, (δ) αντιμετώπιση αναγκών για νέου τύπου κατασκευές όπως, για παράδειγμα, συνέβη κατά τη δεκαετία του 1980 με την ανάπτυξη συστημάτων επένδυσης περιοχών αποθήκευσης επικίνδυνων αποβλήτων, (ε) σχεδιασμός και παραγωγή νέων προϊόντων, όπως γεωφάσματα υψηλής αντοχής, νέοι τύποι γεωπλεγμάτων και μεγάλος αριθμός γεωσύνθετων και (στ) επιθετική πολιτική εκ μέρους των κατασκευαστών γεωφασμάτων που έχουν συμβάλει σημαντικά στη διάδοση των προϊόντων τους, στην ανάπτυξη μεθόδων προσδιορισμού των ιδιοτήτων και σχεδιασμού έργων, και στην εκπαίδευση των μηχανικών.

Η ανάπτυξη των γεωσυνθετικών υλικών θα συνεχιστεί, με αυξανόμενο ρυθμό, μέχρι να λάβει εκρηκτικές διαστάσεις. Ταυτόχρονα, όμως, διαπιστώνεται ότι υπάρχουν αρκετά θέματα που δημιουργούν επιφυλάξεις και που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τέτοια θέματα είναι η αξιοπιστία των προϊόντων, η ανθεκτικότητα των προϊόντων στη δράση διαφόρων παραγόντων για μεγάλα χρονικά διαστήματα (ωφέλιμος χρόνος ζωής), η κατανομή ευθυνών σε περιπτώσεις αστοχιών και η εκπαίδευση των μηχανικών στη σωστή χρήση των γεωσυνθετικών.

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ

Σε πολλές κατασκευές, και κυρίως σε έργα οδοποιΐας, απαιτείται η διάστρωση χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού στην επιφάνεια λεπτόκοκκου ή μικρής αντοχής εδάφους. Η ανάμειξη των δύο υλικών είναι αναπόφευκτη και η λύση είναι είτε να «θυσιαστεί» μια ποσότητα του αδρανούς που αναγκαστικά θα αναμειχθεί με το υποκείμενο έδαφος κάτω από τα φορτία της κυκλοφορίας είτε να κατασκευαστούν μία ή περισσότερες ενδιάμεσες μεταβατικές στρώσεις κατάλληλης κοκκομετρικής σύνθεσης. Απαιτείται, δηλαδή, η παρεμβολή κάποιων υλικών για διαχωρισμό του χονδρόκοκκου από το λεπτόκοκκο μικρής αντοχής υλικό. Τη λειτουργία του διαχωρισμού μπορούν να εκτελέσουν γεωσυνθετικά υλικά όπως τα γεωφάσματα. Από πολύ παλιά, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε φυσικά υλικά, όπως κλαδιά δένδρων, καλάμια και άχυρο, σαν ενθέματα για να βελτιώσει τη μηχανική συμπεριφορά εδαφών στα οποία τα ενσωμάτωνε. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά και περιλαμβάνουν κατασκευές των αρχαίων κατοίκων της Μεσοποταμίας, τμήματα του Μεγάλου Σινικού Τείχους, ρωμαϊκά αναχώματα και δρόμους σε βαλτώδεις περιοχές. Όμως, η εισαγωγή της τεχνολογίας του οπλισμένου εδάφους στις κατασκευές είναι σχετικά πρόσφατη και αναπτύχθηκε συστηματικά από τη δεκαετία του 1960 με βάση τις προτάσεις του H. Vidal. Για την κατασκευή οπλισμένου εδάφους απαιτείται η χρήση ενθεμάτων ανθεκτικών σε εφελκυσμό. Πολλά γεωσυνθετικά (γεωφάσματα, γεωπλέγματα) έχουν τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες για να λειτουργήσουν σαν οπλισμός εδάφους.

Συχνά και κυρίως σε γεωτεχνικές κατασκευές, απαιτείται η ενσωμάτωση φίλτρων και στραγγιστηρίων μεταξύ ανόμοιων υλικών. Τα γεωτεχνικά φίλτρα έχουν σαν στόχο τη δημιουργία μιας επιφάνειας μέσω της οποίας

το νερό να μπορεί να κινηθεί ελεύθερα αλλά να αποτρέπεται η απομάκρυνση κόκκων από το γειτονικό προς το φίλτρο έδαφος. Τα στραγγιστήρια σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν την ελεύθερη ροή συγκεκριμένου όγκου νερού μέσω της μάζας τους. Τόσο τα γεωτεχνικά φίλτρα όσο και τα στραγγιστήρια κατασκευάζονται συνήθως από χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά. Τις λειτουργίες της στράγγισης και του φίλτρου μπορούν να επιτελέσουν, συχνά με μειωμένο κόστος, κατάλληλα κατασκευασμένα γεωσυνθετικά όπως γεωφάσματα και γεωσύνθετα.

Πίνακας 1.1 Λειτουργίες και τύποι γεωσυνθετικών

	Γεωφάσμα	Γεώπλεγμα	Γεωμεμβράνη	Γεωσύνθετο
Διαχωρισμός	X	X	X	X
Ενίσχυση-οπλισμός	X	X		X
Φίλτρο	X			X
Στράγγιση	X			X
Φραγμός ρευστού	X*		X	X

\*Μόνο μετά από εμποτισμό με στεγανωτικό υλικό

Η κατασκευή αδιαπέρατων επιφανειών ή στοιχείων είναι απαραίτητη σε έργα που αφορούν: (α)την αποθήκευση νερού ή άλλων ρευστών , (β) τη στεγάνωση υπόγειων κατασκευών και (γ) την προστασία του περιβάλλοντος από διαρροή ή διήθηση επικίνδυνων ρευστών. Οι συνήθεις λύσεις περιλαμβάνουν στρώσεις από συμπυκνωμένη άργιλο, στρώσεις



σκυροδέματος και χρήση ασφαλτικών ή άλλων υδρομονοτικών υλικών. Τη λειτουργία του φραγμού τόσο για υγρά όσο και για αέρια μπορεί να επιτελέσει με μεγάλη αποτελεσματικότητα η κατηγορία γεωσυνθετικών που ονομάζονται γεωμεμβράνες.

Από τα προηγούμενα, γίνεται σαφές ότι τα γεωσυνθετικά υλικά που ενσωματώνονται σε μια κατασκευή καλούνται να επιτελέσουν μία ή και περισσότερες, ταυτόχρονα, βασικές λειτουργίες, όπως συνοψίζονται στον πίνακα 1.1.

Η λειτουργία του διαχωρισμού έχει την έννοια της εισαγωγής ενός εύκαμπτου φύλλου μεταξύ ανόμοιων εδαφικών στρώσεων ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα τους και να διατηρείται ή να βελτιώνεται η λειτουργικότητα τους. Η λειτουργία του οπλισμού υλοποιείται με την εισαγωγή γεωσυνθετικού στη μάζα του εδάφους και είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας ή αλληλεπίδρασης του γεωσυνθετικού με το έδαφος. Το γεωσυνθετικό επιτελεί λειτουργία φίλτρου όταν επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, από τη μία πλευρά του στην άλλη, δηλαδή κάθετα προς το επίπεδο του, για απροσδιόριστα μακρύ χρονικό διάστημα. Η λειτουργία στράγγισης είναι η ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, στο εσωτερικό του γεωσυνθετικού, δηλαδή παράλληλα προς την επιφάνεια του, για απροσδιόριστα μακρύ χρονικό διάστημα. Τέλος, φραγμός ρευστού σημαίνει τον αποκλεισμό ρευστού, σε υγρή ή αέρια μορφή, από το να διαπεράσει το γεωσυνθετικό, δηλαδή να κινηθεί από τη μια πλευρά του στην άλλη. Βεβαίως, οι λειτουργίες αυτές, σαν έννοιες και σαν στόχοι στο σχεδιασμό μιας κατασκευής, είναι γνωστές και μπορούν να επιτευχθούν με «κλασσικές» μεθόδους. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως, η χρήση των γεωσυνθετικών υλικών πλεονεκτεί τόσο στον τομέα της ασφάλειας της κατασκευής όσο και στον τομέα της οικονομίας της κατασκευής.

Οι λειτουργίες που επιτελούν τα γεωσυνθετικά δηλώνουν σαφώς και τις αντίστοιχες ιδιότητες που πρέπει να έχουν αυτά. Οι ιδιότητες των γεωσυνθετικών διακρίνονται γενικά στις εξής πέντε κατηγορίες:

(α) φυσικές ιδιότητες που αφορούν τη γεωμετρία και το βάρος του υλικού όπως παράγεται ή όπως παραλαμβάνεται στο πεδίο.

(β) μηχανικές ιδιότητες που είναι ενδεικτικές της αντίστασης που παρουσιάζει το υλικό σε μηχανική καταπόνηση από επιβαλλόμενα φορτία τόσο κατά το στάδιο της μεταφοράς και τοποθέτησης στο πεδίο όσο και κατά το στάδιο της λειτουργίας.

(γ) υδραυλικές ιδιότητες που αναφέρονται στην ποσοτικοποίηση της ευκολίας με την οποία κινούνται τα ρευστά μέσω των γεωσυνθετικών.

(δ) ιδιότητες ανθεκτικότητας στο χρόνο που, σε αντίθεση με τις προηγούμενες τρεις κατηγορίες, αναφέρονται στη συμπεριφορά του υλικού σαν συνάρτηση του χρόνου κάτω από διάφορες συνθήκες μηχανικής καταπόνησης ή υδραυλικής φόρτισης, και

(ε) ιδιότητες ανθεκτικότητας σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, που η εκτίμηση τους επιτρέπει τον εντοπισμό προβλημάτων ή περιορισμών στη χρήση των πολυμερών και, συνεπώς, και των γεωσυνθετικών.

Οι δύο τελευταίες κατηγορίες ιδιοτήτων αφορούν την μακροπρόθεσμη μονιμότητα των γεωσυνθετικών και, φυσικά, είναι ιδιαίτερα σημαντικές για κάθε τύπο γεωσυνθετικού. Οι μηχανικές ιδιότητες αποτελούν βασικό κριτήριο για την επιλογή γεωσυνθετικού ιδιαίτερα όταν αυτό προορίζεται να λειτουργήσει σαν οπλισμός ή να χρησιμοποιηθεί για διαχωρισμό ανόμοιων υλικών, μπορεί όμως να είναι και καθοριστικές για την επιλογή γεωσυνθετικού και για τις άλλες λειτουργίες. Αντίθετα, οι υδραυλικές ιδιότητες είναι ουσιώδεις μόνο για γεωφάσματα και γεωσύνθετα και κυρίως όταν αυτά επιτελούν λειτουργίες στράγγισης ή φιλτραρίσματος.

Η αλματώδης ανάπτυξη των γεωσυνθετικών υλικών δημιούργησε την ανάγκη για τη σύνταξη σχετικών προτύπων εργαστηριακών και επί-τόπου δοκιμών για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους. Αρχικά, κυρίως οι κατασκευαστές αλλά και οι χρήστες γεωσυνθετικών, υιοθέτησαν υπάρχοντα πρότυπα, όπως αυτά που αναφέρονται σε υφάσματα και πλαστικά ή διαμόρφωσαν δικές τους μεθόδους εργαστηριακού ελέγχου. Σύντομα, όμως, δημιουργήθηκε η ανάγκη για πρότυπα γενικής αποδοχής ώστε ο χαρακτηρισμός και ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των διαφόρων προϊόντων να γίνεται για όλα με τις ίδιες μεθόδους, να υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης συγκριτικών μελετών μεταξύ παρόμοιων υλικών και να δημιουργηθεί μια κοινή βάση συνενόησης μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων στην παραγωγή, εμπορία, σχεδιασμό και εφαρμογή των γεωσυνθετικών.

## **ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ**

Τα γεωυφάσματα αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία γεωσυνθετικών τόσο από την άποψη του αριθμού των διαθέσιμων στο εμπόριο προϊόντων όσο και από την άποψη του εύρους των εφαρμογών και του όγκου των πωλήσεων. Σε σχετικό κατάλογο προϊόντων (Geotechnical Fabrics Report 1993) περιλαμβάνονται 306 διαφορετικά προϊόντα που κατασκευάζονται από 23 εταιρείες. Ο Koerner (1990) αναφέρει πάνω από 100 διαφορετικές περιπτώσεις έργων όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωυφάσματα. Τα γεωυφάσματα κατασκευάζονται από ίνες ή νήματα πολυπροπυλενίου, πολυεστέρα, πολυαιθυλενίου, πολυαμιδίου ή άλλων πολυμερών. Επειδή για την κατασκευή τους δεν χρησιμοποιούνται φυτικές ίνες, τα γεωυφάσματα δεν εμφανίζουν προβλήματα βιοαποδόμησης. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κλασσικές υφαντουργικές μηχανές και

έτσι παράγονται τα λεγόμενα υφασμένα και πλεκτά γεωυφάσματα. Παράγονται όμως, και μάλιστα έχουν μεγαλύτερο όγκο πωλήσεων, και προϊόντα με τυχαίο προσανατολισμό των ινών που ονομάζονται μη υφασμένα γεωυφάσματα. Εκτός από τις φυσικές ιδιότητες τα γεωυφάσματα χαρακτηρίζονται και από ευρύ φάσμα μηχανικών ιδιοτήτων όπως η συμπεριφορά σε εφελκυσμό, και οι αντοχές σε κρούση, διάτρηση, διάρρηξη και σχίσιμο. Χαρακτηριστικές, όμως, αυτής της κατηγορίας γεωσυνθετικών είναι οι υδραυλικές ιδιότητες και ιδίως η διαπερατότητα. Τα Γεωυφάσματα έχουν την ιδιότητα να επιτρέπουν ελεύθερη ροή από τη μία επιφάνεια τους προς την άλλη, αλλά και στο εσωτερικό τους. Σε οποιαδήποτε εφαρμογή, τα γεωυφάσματα επιτελούν τουλάχιστον μία από τις τέσσερις βασικές λειτουργίες, δηλαδή διαχωρισμό, ενίσχυση-οπλισμό, φιλτράρισμα, και στράγγιση. Μπορούν όμως να λειτουργήσουν και σαν φραγμός υγρασίας εφ' όσον είναι εμποτισμένα με κατάλληλο υλικό.

Τα Γεωπλέγματα έχουν μορφή ορθογωνικού κανάβου με μεγάλα ανοίγματα. Τα γεωπλέγματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ενίσχυσης ή οπλισμού εδαφών και σπάνια για διαχωρισμό εδαφών. Έτσι, οι μηχανικές ιδιότητες τους, και κυρίως η συμπεριφορά σε εφελκυσμό, είναι οι ιδιότητες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Τα γεωπλέγματα κατασκευάζονται με τρεις διαφορετικές μεθόδους. Η παλαιότερη μέθοδος χρησιμοποιεί φύλλα πολυμερούς από τα οποία αφαιρείται υλικό με διάτρηση και ο απομένον κανάβος εφελκύεται μονοαξονικά ή διαξονικά. Σε άλλη μέθοδο, χρησιμοποιούνται νήματα πολυμερούς (συνήθως πολυεστέρα) που υφαίνονται ή πλέκονται ώστε να σχηματιστεί ο απαραίτητος κανάβος με μεγάλα ανοίγματα και ακολούθως επικαλύπτονται με PVC ή ακρυλικό υλικό. Τέλος, σε μια τρίτη μέθοδο, χρησιμοποιούνται λωρίδες πολυμερούς που συγκολλούνται μεταξύ τους σε μορφή κανάβου.

Οι Γεωμεμβράνες είναι πρακτικά αδιαπέρατα φύλλα που χρησιμοποιούνται, συνήθως σε συνδυασμό με γεωυλικά, σε μια κατασκευή για τον έλεγχο της κίνησης ρευστών. Οι γεωμεμβράνες θεωρούνται η δεύτερη σε μέγεθος κατηγορία γεωσυνθετικών. Οι γεωμεμβράνες κατασκευάζονται από φύλλα πολυμερών και κυρίως πολυαιθυλενίου, χλωριωμένου και χλωροθειωμένου πολυαιθυλενίου και πολυβινυλοχλωριδίου. Ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής, τα φύλλα γεωμεμβράνης μπορεί να είναι μιας ή περισσότερων στρώσεων. Ακόμη, κατασκευάζονται γεωμεμβράνες ενισχυμένες εσωτερικά με κánaβο από νήματα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωφασμάτων. Επειδή οι γεωμεμβράνες λειτουργούν σαν φραγμός ρευστών, πρέπει να έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα τόσο σε υγρά όσο και σε αέρια. Επιπρόσθετα, η μηχανική συμπεριφορά τους είναι σημαντική για το σχεδιασμό έργων με γεωμεμβράνες λόγω των μηχανικών καταπονήσεων που υφίστανται τα υλικά αυτά στο πεδίο.

Τα Γεωσύνθετα αποτελούνται από συνδυασμούς γεωφασμάτων, γεωπλεγμάτων και γεωμεμβράνων σε επάλληλη διάταξη ή από συνδυασμούς ενός από αυτούς τους τρεις τύπους γεωσυνθετικού με άλλο υλικό, όπως φυτικές ίνες, μπετονίτης, άμμος, σκυρόδεμα, μεταλλικά καλώδια και γεωδίκτυα. Είναι προφανές ότι μπορεί να υπάρξει ένας μεγάλος αριθμός συνδυασμών. Η βασική φιλοσοφία στην οποία στηρίζεται η επιλογή υλικών για την κατασκευή ενός γεωσύνθετου είναι να γίνει συνδυασμός των πιο χρήσιμων χαρακτηριστικών ή λειτουργιών των υλικών που χρησιμοποιούνται ώστε να προκύπτει η βέλτιστη λύση για συγκεκριμένη εφαρμογή γεωσυνθετικών. Στην κατηγορία των γεωσύνθετων κατατάσσονται, μεταξύ άλλων, και τα εξής:

(α) γεωδίκτυα σε συνδυασμό με γεωφάσματα. Τα γεωδίκτυα μοιάζουν με γεωπλέγματα αλλά κατασκευάζονται με τα διαμήκη και εγκάρσια

γραμμικά στοιχεία τους σε επάλληλη διάταξη και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εφαρμογές στράγγισης. Ο συνδυασμός γεωφάσματος-γεωδικτύου καλύπτει πάντοτε τις απαιτήσεις για διαχωρισμό και φιλτράρισμα και παρέχει πολύ βελτιωμένη συμπεριφορά σε στράγγιση σε σχέση με απλό γεωφάσμα.

(β) γεωμεμβράνες σε συνδυασμό με γεωφάσματα. Η ενσωμάτωση γεωφάσματος στη μία ή και στις δύο πλευρές μιας γεωμεμβράνης προσφέρει αυξημένη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις (διάτρηση, σχίσσιμο, διάρρηξη) και αυξημένο συντελεστή αλληλεπίδρασης (φαινόμενη γωνία τριβής) με εδάφη. Όταν το γεωφάσμα έχει αρκετό πάχος, λειτουργεί και σαν στραγγιστήριο.

(γ) γεωκυψέλες πρόκειται για τρισδιάστατες κατασκευές, με εδαφικό υλικό πλήρωσης, που χρησιμοποιούνται συνήθως για βελτίωση της φέρουσας ικανότητας και της κινητικότητας οχημάτων στην επιφάνεια χαλαρών ή συμπιεστών εδαφών.

(δ) προϊόντα πρόληψης ή περιορισμού της επιφανειακής διάβρωσης εδαφών.

(ε) γεωσυνθετικές αργιλικές επιστρώσεις. Αποτελούνται από μπετονίτη σε κοκκώδη μορφή μεταξύ δύο γεωφασμάτων ή επικολλημένου σε γεωμεμβράνη και χρησιμοποιούνται σαν φραγμός στην κίνηση υγρών.

Στη συνέχεια και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2, θα ασχοληθούμε μόνο με τα γεωφάσματα και ειδικότερα με εφαρμογές ενίσχυσης και όπλισης του εδάφους.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΑ

Για τα γεωσυνθετικά, όπως και για κάθε υλικό, υπάρχει ένας αριθμός μεθοδολογιών σχεδιασμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθούν οριστικές αποφάσεις σχετικά με την τελική επιλογή υλικού (τύπος, διαστάσεις, ιδιότητες). Οι συνήθεις μεθοδολογίες σχεδιασμού για γεωσυνθετικά είναι σχεδιασμός βάσει κόστους, σχεδιασμός βάσει εμπειρίας, και σχεδιασμός βάσει λειτουργίας.

Ο σχεδιασμός με βάση το κόστος είναι απλός. Αρκεί να διαιρέσει κανείς τις διαθέσιμες πιστώσεις με την επιφάνεια που πρέπει να καλυφθεί και να υπολογίσει έτσι τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή μονάδας του γεωσυνθετικού που επιλέγεται, ακολούθως, με βάση αυτό το μοναδικό κριτήριο. Προφανώς, η μεθοδολογία αυτή είναι τεχνικά αστήρικτη και παρόλο που μπορεί να χαρακτηριστεί απαράδεκτη χρησιμοποιείται, ατυχώς, ακόμη και σήμερα.

Ο σχεδιασμός με βάση την εμπειρία είναι μια διαδικασία επιλογής γεωσυνθετικού που βασίζεται στην προσωπική εμπειρία του μελετητή ή στην εμπειρία τρίτων. Βεβαίως, αφορά είτε μελετητές με μακροχρόνια εμπειρία στο χώρο των γεωσυνθετικών, που όμως είναι λίγοι διεθνώς, είτε την προσφυγή σε κάποιον κατασκευαστή γεωσυνθετικών με αθροιστικά σημαντική εμπειρία στο προσωπικό του.

Ο σχεδιασμός με βάση προδιαγραφές είναι συνήθης διαδικασία και εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά στις περιπτώσεις δημοσίων έργων. Συχνά βασίζεται σε έναν πίνακα ιδιοτήτων που περιλαμβάνει τις συνήθεις περιπτώσεις χρήσης μιας κατηγορίας γεωσυνθετικού και αντίστοιχες

απαιτούμενες τιμές (συνήθως ελάχιστες τιμές ) των ιδιοτήτων του γεωσυνθετικού. Οι τιμές των ιδιοτήτων των διαθέσιμων γεωσυνθετικών, όπως δίδονται από τον κατασκευαστή τους, συγκρίνονται με τις τιμές που προβλέπονται στον πίνακα και προσδιορίζονται εκείνα τα προϊόντα που ικανοποιούν την προδιαγραφή. Η τελική επιλογή γίνεται με βάση το κόστος και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων ποσοτήτων κάθε κατάλληλου προϊόντος. Επισημαίνεται όμως ότι οι τιμές των ιδιοτήτων που προβλέπονται σε μια προδιαγραφή και οι τιμές των ιδιοτήτων που παρέχει ο κατασκευαστής του γεωσυνθετικού πρέπει να είναι «όμοιες». Αυτό έχει την έννοια ότι αν η προδιαγραφή καθορίζει ελάχιστες τιμές και ο κατασκευαστής παρέχει μέσο όρο τιμών για παρτίδα παραγωγής ή μέσο όρο τιμών για ένα ρολό του γεωσυνθετικού, οι τιμές είναι ανόμοιες. Οι τιμές που δίνονται για παρτίδα παραγωγής είναι ο μέσος όρος εκατοντάδων ή και χιλιάδων δοκιμών ενώ οι τιμές που δίνονται για ένα ρολό είναι ο μέσος όρος μερικών δεκάδων δοκιμών. Έτσι, προτείνεται να καθορίζονται στις προδιαγραφές οι ελάχιστες μέσες τιμές για ένα ρολό γεωσυνθετικού και, εφόσον ο κατασκευαστής δίνει τιμές για παρτίδα παραγωγής, οι τελευταίες να μειώνονται κατά περίπου 10% ως 20% πριν συγκριθούν με τις τιμές των προδιαγραφών.

Ο σχεδιασμός με βάση την λειτουργία που πρέπει να επιτελέσει το γεωσυνθετικό μπορεί να εφαρμοστεί ώστε να συμπληρωθούν ή να βελτιωθούν οι πιο πάνω μεθοδολογίες. Θεωρείται όμως απαραίτητος για τη μελέτη έργων που δεν καλύπτονται από προδιαγραφές ή είναι τέτοιας φύσης που πιθανή αστοχία να προκαλέσει απώλειες ζωής ή μεγαλύτερες υλικές ζημιές. Ο συντελεστής ασφαλείας, FS, σε σχέση με κάποια ιδιότητα του γεωσυνθετικού υπολογίζεται γενικά από το λόγο:



FS= Διαθέσιμη τιμή της ιδιότητας

Απαιτούμενη τιμή της ιδιότητας

Η διαθέσιμη τιμή της ιδιότητας προκύπτει από εργαστηριακή δοκιμή που προσομοιώνει, όσο είναι δυνατό, τις συνθήκες του πεδίου. Η απαιτούμενη τιμή της ιδιότητας προκύπτει από υπολογισμούς που γίνονται με βάση μέθοδο σχεδιασμού που λαμβάνει υπόψη της όσο είναι δυνατό, τις συνθήκες του πεδίου.

Η μεθοδολογία σχεδιασμού με βάση τη λειτουργία αποτελείται από τα εξής βήματα:

- (α) Προσδιορίζεται η κύρια λειτουργία του γεωσυνθετικού και οι αντίστοιχες ιδιότητες.
- (β) Καθορίζονται ελάχιστες τιμές για τους συντελεστές ασφαλείας.
- (γ) Υπολογίζονται οι απαιτούμενες τιμές των ιδιοτήτων.
- (δ) Προσδιορίζονται οι διαθέσιμες τιμές των ιδιοτήτων (για διαθέσιμα γεωσυνθετικά).
- (ε) Υπολογίζονται οι πραγματικοί συντελεστές ασφαλείας.
- (στ) Συγκρίνονται οι συντελεστές ασφαλείας που υπολογίστηκαν στο βήμα (ε) με αυτούς που καθορίστηκαν στο βήμα (β).
- (ζ) Απορρίπτονται τα ακατάλληλα γεωσυνθετικά.
- (η) Επαναλαμβάνεται η διαδικασία για τυχόν δευτερεύουσες λειτουργίες που το γεωσυνθετικό θα πρέπει να επιτελέσει .

(θ) Γίνεται τελική επιλογή γεωσυνθετικού, μεταξύ των κατάλληλων από κάθε άποψη λειτουργίας και ιδιοτήτων, με βάση το κόστος και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων ποσοτήτων.

Αρκετές από τις μεθόδους εργαστηριακού ελέγχου γεωσυνθετικών είναι δοκιμές δείκτη και όχι δοκιμές επίδοσης και, συνεπώς, δεν προσομοιώνουν κατάλληλα τις συνθήκες του πεδίου. Ο μελετητής, όμως, είναι υποχρεωμένος να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τέτοιες «ατελείς» μεθόδους ή να δεχθεί τα αποτελέσματα που αναφέρει ο κατασκευαστής του γεωσυνθετικού. Σε τέτοιες περιπτώσεις, συνιστάται η τροποποίηση των δεδομένων τιμών των ιδιοτήτων ώστε να προκύψουν οι διαθέσιμες τιμές τους, ως εξής:

$$\text{Διαθέσιμη τιμή} = \text{Εργαστηριακή τιμή}$$

Η διαθέσιμη τιμή είναι η τιμή που πρέπει να εισαχθεί στην εξίσωση υπολογισμού του FS η εργαστηριακή τιμή είναι το αποτέλεσμα δοκιμής δείκτη ή η τιμή που παρέχει ο κατασκευαστής FS<sub>1</sub>, FS<sub>2</sub> κτλ. είναι μερικοί συντελεστές ασφάλειας που απαιτούνται για να αντισταθμίζονται οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ εργαστηριακής δοκιμής και συνθηκών πεδίου. Οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας αντιπροσωπεύουν ένα φάσμα περιπτώσεων όπως φθορές κατά την τοποθέτηση του γεωσυνθετικού στο πεδίο, φαινόμενα ερπυσμού, απόφραξη (για γεωσυνθετικά), χημική αποδόμηση και βιοαποδόμηση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

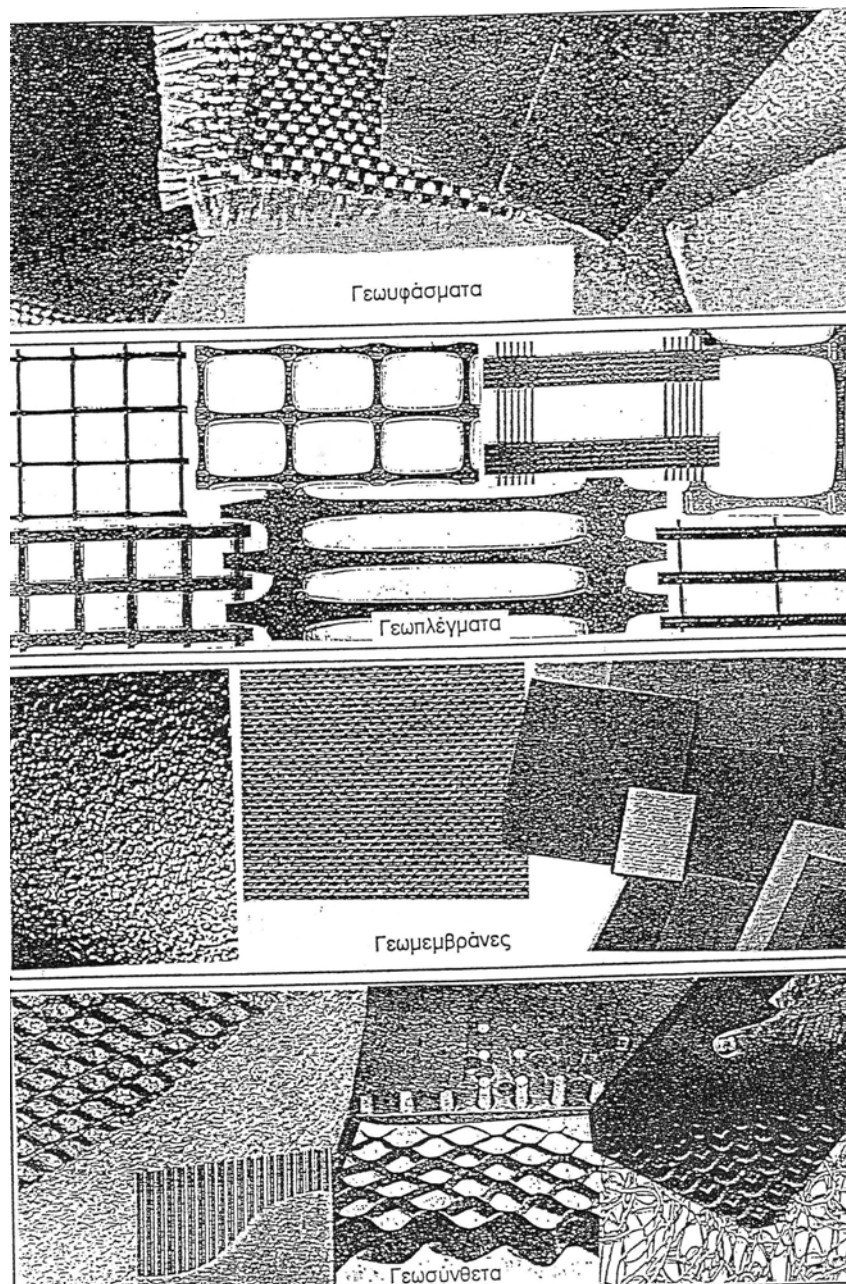
### **1 ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Γεωυφάσματα είναι διαπερατά, συνήθως συνθετικά, υλικά που μοιάζουν με υφάσματα και ενσωματώνονται σε μια κατασκευή σε συνδυασμό με γεωυλικά με στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς ή τη μείωση του κόστους της κατασκευής (ορισμός σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-D4439 προσαρμοσμένος κατά Koerner 1990). Έχει ήδη τεκμηριωθεί ένας μεγάλος αριθμός πιθανών εφαρμογών των γεωυφασμάτων, στο εμπόριο διατίθεται πλήθος προϊόντων με διαφορετικές μεθόδους κατασκευής και ιδιότητες, έχουν διατυπωθεί αρκετά πρότυπα εργαστηριακού και επί-τόπου ελέγχου των γεωυφασμάτων, και έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι σχεδιασμού ή μελέτης έργων σύμφωνα με τις τέσσερις βασικές λειτουργίες (διαχωρισμός, ενίσχυση-οπλισμός, φίλτρο, στράγγιση) που επιτελούν τα γεωυφάσματα. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη αλλά πλήρης παρουσίαση των στοιχείων εκείνων που θεωρούνται απαραίτητα για το σωστό σχεδιασμό έργων με γεωυφάσματα.

#### **1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Η πρώτη βιβλιογραφικά γνωστή προσπάθεια για χρήση υφάσματος σε έργα οδοποιίας έγινε περί το 1930 στη νότια Καρολίνα των Η.Π.Α. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν βαμβακερό ύφασμα που καλυπτόταν με θερμή άσφαλτο και, συνεπώς, λειτουργούσε περισσότερο σαν γεωμεμβράνη παρά σαν γεώφασμα. Η δοκιμαστική χρήση αυτού του υλικού διήρκεσε 9 χρόνια και, παρόλο που τα αποτελέσματα φαίνονταν ενθαρρυντικά, η χρήση των βαμβακερών υφασμάτων δεν καθιερώθηκε

επειδή, πιθανότατα, το υλικό δεν είχε την ανθεκτικότητα και την μακροβιότητα των σύγχρονων συνθετικών υλικών.



Σχήμα 1.1 Τυπικά γεωσυνθετικά υλικά

Οι πρώτες εφαρμογές γεωφασμάτων, κατασκευασμένων από ίνες πολυμερών, έγιναν τη δεκαετία του 1950. Στις Η.Π.Α. τα γεωφάσματα χρησιμοποιήθηκαν πρώτα σε εφαρμογές για τον περιορισμό ή την

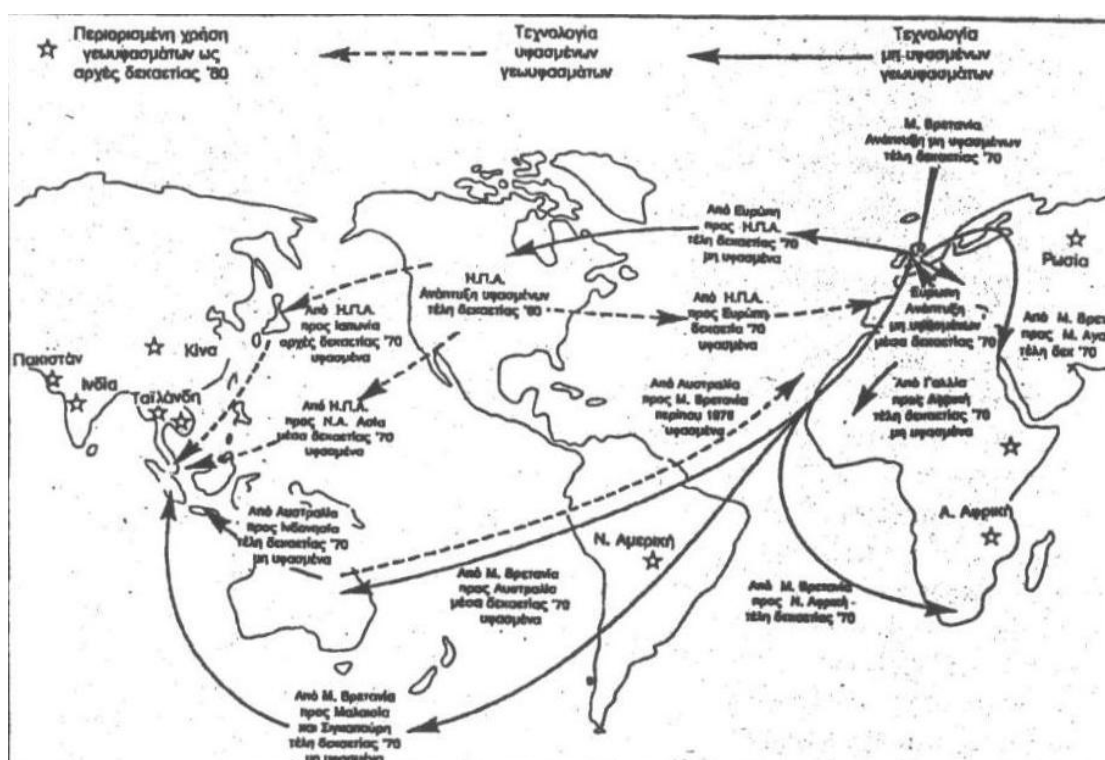
αποτροπή της διάβρωσης και προορίζονταν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση αντί για κοκκώδη γεωτεχνικά φίλτρα. Έτσι η αρχική ονομασία των γεωφασμάτων ήταν «υφασμάτινα φίλτρα». Αναφέρονται έργα στα τέλη της δεκαετίας του 1950 (Barret 1966) όπου τα γεωφάσματα τοποθετήθηκαν πίσω από προκυμαίες κατασκευασμένες από προκατασκευασμένα μπλόκια σκυροδέματος και κάτω από στρώσεις τεχνητών ογκολίθων ή κάτω από λιθορριπές για προστασία του υποκείμενου εδάφους από διάβρωση. Χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι υφασμένων προϊόντων που όλα χαρακτηρίζονταν από ένα σχετικά υψηλό ποσοστό ελεύθερης επιφάνειας (από 6% μέχρι 30%). Διαπιστώθηκε ότι τα γεωφάσματα έπρεπε να έχουν ικανοποιητική διαπερατότητα, να κατακρατούν τους κόκκους του προστατευόμενου εδάφους και, ταυτόχρονα, να έχουν ικανοποιητική αντοχή και παραμορφωσιμότητα. Έτσι, τέθηκαν οι αρχές για τη χρήση γεωφασμάτων σε εφαρμογές φίλτρων.

Περίπου ταυτόχρονα άρχισε και η χρήση γεωφασμάτων από Ολλανδούς μηχανικούς. Το Ολλανδικό ενδιαφέρον για γεωφάσματα προέκυψε σε μεγάλο βαθμό από την ανάγκη να βρεθούν καινούργιες κατασκευαστικές λύσεις για εφαρμογή στο πρόγραμμα «Έργα στα Δέλτα». Το πρόγραμμα αυτό σχεδιάστηκε για να βελτιωθεί η ασφάλεια των ακτών κατά μήκος των συνδυασμένων Δέλτα των ποταμών Ρήνου, Μάας, και Σέλντε μετά τις καταστροφικές θύελλες της περιόδου 1952-53. Οι απώλειες ζώων κατά την διάρκεια αυτών των θυελλών ήταν περίπου 2000 και το κόστος επισκευής των βλαβών ήταν αστρονομικό. Οι Ολλανδοί, που παραδοσιακά χρησιμοποιούσαν στρώματα από πλεγμένα κλαδιά ιτιάς για προστασία από διάβρωση, διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια των 25 ετών του προγράμματος, οι απαιτήσεις των έργων θα έφταναν τα 400.000 m<sup>2</sup> στρωμάτων ετησίως σε περιόδους αιχμής. Οι μεγάλες αυτές ποσότητες

δεν ήταν δυνατόν να παραχθούν και το ενδιαφέρον στράφηκε σε συνθετικά υλικά. Έτσι τα πρώτα γεωφάσματα που δοκιμάστηκαν για τις ανάγκες των έργων στα Δέλτα ήταν χειροποίητα και κατασκευάζονταν από νάυλον λωρίδες πλάτους 100mm και πάχους 1mm. Γεωφάσματα χρησιμοποιήθηκαν στα διάφορα έργα του προγράμματος κυρίως αντί φίλτρων από κοκκώδη εδαφικά υλικά και αντί στρωμάτων από πλεγμένα κλαδιά ιτιάς. Υπολογίζεται ότι από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί πάνω από 10.000.000 m<sup>2</sup> διαφόρων τύπων γεωφασμάτων. Ο ρόλος του ολλανδικού προγράμματος έργων στα Δέλτα υπήρξε πολύ σημαντικός στην ανάπτυξη των γεωφασμάτων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 όταν ήταν σπάνια η κατασκευή άλλων σημαντικών τεχνικών έργων με γεωφάσματα.

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1960 η εταιρία Rhone-Poulenc στη Γαλλία άρχισε τη παραγωγή μη υφασμένων βελονοδιάτρητων γεωφασμάτων με στόχο εντελώς διαφορετικές εφαρμογές. Έμφαση δόθηκε στην ενίσχυση ή το διαχωρισμό εδαφικών υλικών σε δρόμους χωρίς επίστρωμα, σε αναχώματα σιδηροδρομικών γραμμών και σε χωμάτινα φράγματα ή αναχώματα. Τα μη υφασμένα προϊόντα, με το σχετικά μεγάλο πάχος και την εμφάνιση τσόχας, εξελίχθηκαν στη σειρά γεωφασμάτων με την εμπορική ονομασία Bidim. Ταυτόχρονα, διαπιστώθηκε ότι τα προϊόντα αυτά μπορούσαν να παροχετεύσουν νερό στο εσωτερικό τους και παράλληλα με την επιφάνειά τους, δηλαδή, να λειτουργήσουν σαν στραγγιστήρια. Η πρώτη εκτεταμένη εφαρμογή αυτών των γεωφασμάτων ήταν στο φράγμα Valcros στη Γαλλία το 1970 για την κατασκευή των συστημάτων εσωτερικής στράγγισης του φράγματος. Την ίδια περίπου εποχή, η βρετανική εταιρία ICI άρχισε την ανάπτυξη της σειράς γεωφασμάτων Terram που είναι μη υφασμένα προϊόντα με θερμική συγκόλληση των ινών. Η πρώτη εφαρμογή αυτών των γεωφασμάτων ήταν για διαχωρισμό του φυσικού εδάφους και

των αδρανών σε περιπτώσεις κατασκευής προσωρινών δρόμων. Το μακροχρόνιο έργο αυτών των εταιρειών αλλά και άλλων κατασκευαστών γεωφασμάτων , όπως η εταιρία Chemie Linz στην Αυστρία και οι εταιρίες Du Pont και Mirafī στις Η.Π.Α., έχει συντελέσει αποφασιστικά στην παγκόσμια αναγνώριση και εξάπλωση της χρήσης των γεωφασμάτων. Η παγκόσμια διάδοση των διαφόρων τύπων γεωφασμάτων παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Διάδοση γεωφασμάτων.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η μαζική παραγωγή και διάδοση πληροφοριών στον τομέα των γεωφασμάτων προωθήθηκε αρχικά από τις κατασκευάστριες εταιρίες, η επιρροή των οποίων συνεχίζεται και θεωρείται πολύ θετική και ευπρόσδεκτη. Η προσπάθεια τους ακολουθήθηκε από

ολόκληρη την ομάδα των κρατικών υπηρεσιών , της βιομηχανίας, των εργολάβων, των μηχανικών και ακαδημαϊκών ινστιτούτων.

## **1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

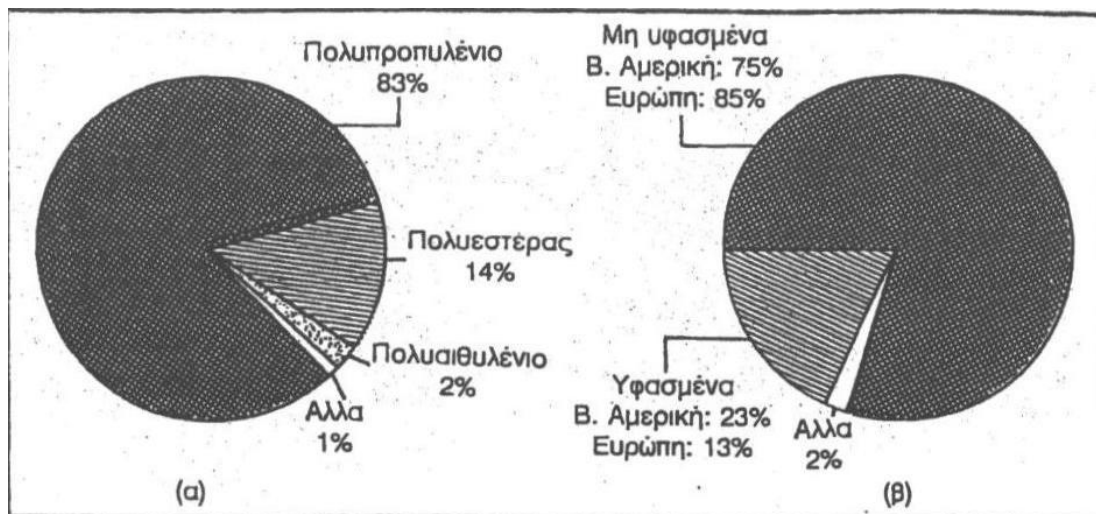
Η μεγάλη ποικιλία γεωυφασμάτων που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο οφείλεται στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, τύπων νημάτων και μεθόδων κατασκευής του τελικού προϊόντος. Γενικά, κάθε κατασκευαστής παράγει είτε ένα μόνο τύπο γεωυφάσματος (που διατίθεται σε διαφορετικά πάχη ή μάζα ανά μονάδα επιφανείας) είτε μια ποικιλία τύπων γεωυφάσματος που ο καθένας προορίζεται για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των γεωυφασμάτων είναι το πολυπροπυλένιο, ο πολυεστέρας, το πολυαμίδιο και το πολυαιθυλένιο. αφού οι πρώτες ύλες είναι προϊόντα υδρογονανθράκων, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η βιομηχανία των πετροχημικών έχει σημαντική δραστηριότητα και μερίδιο στην αγορά των γεωυφασμάτων. Τα πιο πρόσφατα στοιχεία για τις ποσότητες των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών παρουσιάζονται στο σχήμα 1.3 (α).

Οι πρώτες ύλες είναι συνήθως σε στερεά, κοκκώδη κατάσταση και για να πάρουν τη μορφή ίνας τήκονται, υποβάλλονται σε διέλαση μέσω ειδικής διάτρητης κεφαλής (που μοιάζει με καταιονηστήρα), και ακολούθως σκληρύνονται με ψύξη. Ταυτόχρονα με την ψύξη ή μετά την ψύξη, οι ίνες εφελκύνονται ώστε να μειωθεί η διάμετρος τους και να γίνει πιο ομοιόμορφη η διάταξη των μακρομορίων του πολυμερούς. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση της αντοχής των ινών, μείωση της επιμήκυνσης στην αστοχία και αύξηση του μέτρου ελαστικότητας. Αυτές οι μεγάλοι μήκους ίνες χρησιμοποιούνται, σαν



μονόκλωνο νήμα, για την κατασκευή γεωφασμάτων. Τα μονόκλινα νήματα μπορούν επίσης να συνδυαστούν ώστε να κατασκευαστεί ένα πολύκλωνο νήμα. Κάπως διαφορετικής μορφής είναι τα νήματα που κατασκευάζονται από λεπτές ίνες μικρού μήκους (25mm ως 100mm) και που μπορούν να ονομαστούν κλωστές. Οι αρχικές μεγάλου μήκους ίνες κόβονται σε μικρά μήκη και ακολούθως συστρίβονται ή κλώθονται σε μεγάλα μήκη (κλωστές). Ο τελευταίος τύπος νήματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή γεωφασμάτων ονομάζεται ταινία και έχει διατομή ορθογωνική. Παράγεται από ένα συνεχές λεπτό φύλλο πολυμερούς που κόβεται σε νήματα με κατάλληλα μαχαίρια ή φλέβες πεπιεσμένου αέρα. Τα νήματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωφασμάτων που, ανάλογα με τη μέθοδο διαμόρφωσης του ιστού τους, διακρίνονται σε υφασμένα, μη υφασμένα και πλεκτά. Πρόσφατα στοιχεία για τους τύπους των διακινούμενων γεωφασμάτων δίνονται στο σχήμα 1.3 (β).



Σχήμα 1.3 Ενδεικτικές κατανομές (α) πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή γεωφασμάτων, (β) τύπων γεωφασμάτων

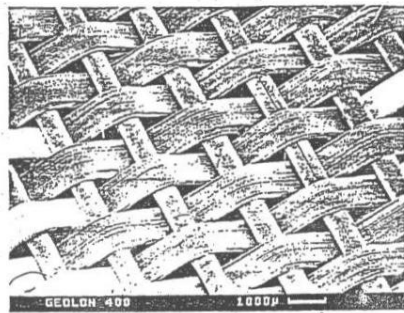
Τα υφασμένα προϊόντα αποτελούνται από δύο κάθετες μεταξύ τους σειρές νημάτων που συνδέονται μεταξύ τους συστηματικά με μηχανικό τρόπο. Τα μη υφασμένα προϊόντα αποτελούνται από ίνες ή νήματα που τοποθετούνται με τυχαίο προσανατολισμό και συνδέονται μεταξύ τους με θερμική, μηχανική ή χημική επεξεργασία. Τα πλεκτά αποτελούνται από ένα μόνο νήμα που πλέκεται συστηματικά. Πλεκτά υφάσματα χρησιμοποιούνται πλέον σπάνια σαν γεωυφάσματα. Παραδείγματα ιστών γεωυφασμάτων φαίνονται στο σχήμα 1.4. Τα υφασμένα γεωυφάσματα κατασκευάζονται με τις συνήθεις υφαντουργικές μηχανές, σχήμα 1.4 (α), σε μεγάλη ποικιλία μορφών ή τύπων ύφανσης. Οι μέθοδοι κατασκευής των μη υφασμένων γεωυφασμάτων διαφέρουν πολύ από αυτές των υφασμένων. Τα στάδια της διαδικασίας κατασκευής μη υφασμένων γεωυφασμάτων περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση του ιστού και τη συγκόλληση των ινών. Ο ιστός διαμορφώνεται γενικά έτσι ώστε οι ίνες να έχουν τυχαίο προσανατολισμό και κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή. Η συγκόλληση των ινών γίνεται με θερμική, χημική ή μηχανική επεξεργασία. Η διαδικασία κατασκευής μπορεί να είναι συνεχείς ή μη συνεχείς. Το πρώτο στάδιο της συνεχούς διαδικασίας (σχήμα 1.5 β) είναι η κατασκευή ινών από ένα ή περισσότερα πολυμερή. Μετά την ψύξη, οι συνεχείς ίνες τοποθετούνται σε μεταφορική ταινία όπου σχηματίζεται ένας συνεχής ιστός. Ο επιθυμητός προσανατολισμός των ινών επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους, όπως περιστροφή του μηχανήματος κατασκευής των ινών, ηλεκτρικά φορτία, ανάδευση με φλέβες αέρος ή μεταβολή της ταχύτητας της μεταφορικής ταινίας. Ακολούθως οι ίνες συγκολλούνται με θερμική, μηχανική ή χημική επεξεργασία και το προϊόν τυλίγεται σε μορφή ρολλού. Στη μη συνεχή διαδικασία διαχωρίζεται το στάδιο κατασκευής του γεωυφάσματος.



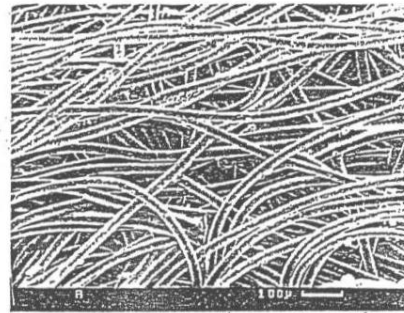
Μονόκλωνο-μονόκλωνο υφασμένο



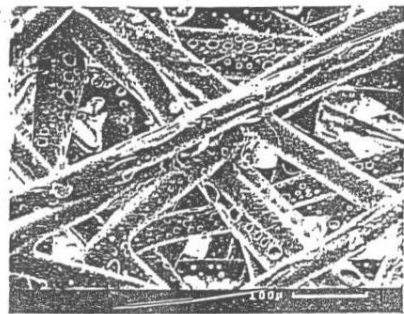
Πολύκλωνο-πολύκλωνο υφασμένο



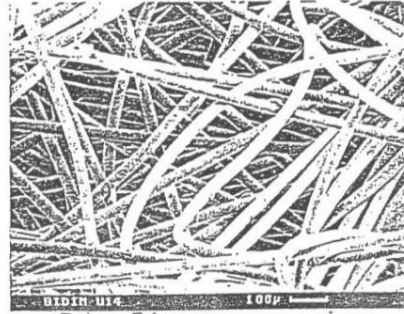
Μονόκλωνο-ταινία υφασμένο



Χημικά συγκολλημένο μη υφασμένο



Θερμικά συγκολλημένο μη υφασμένο

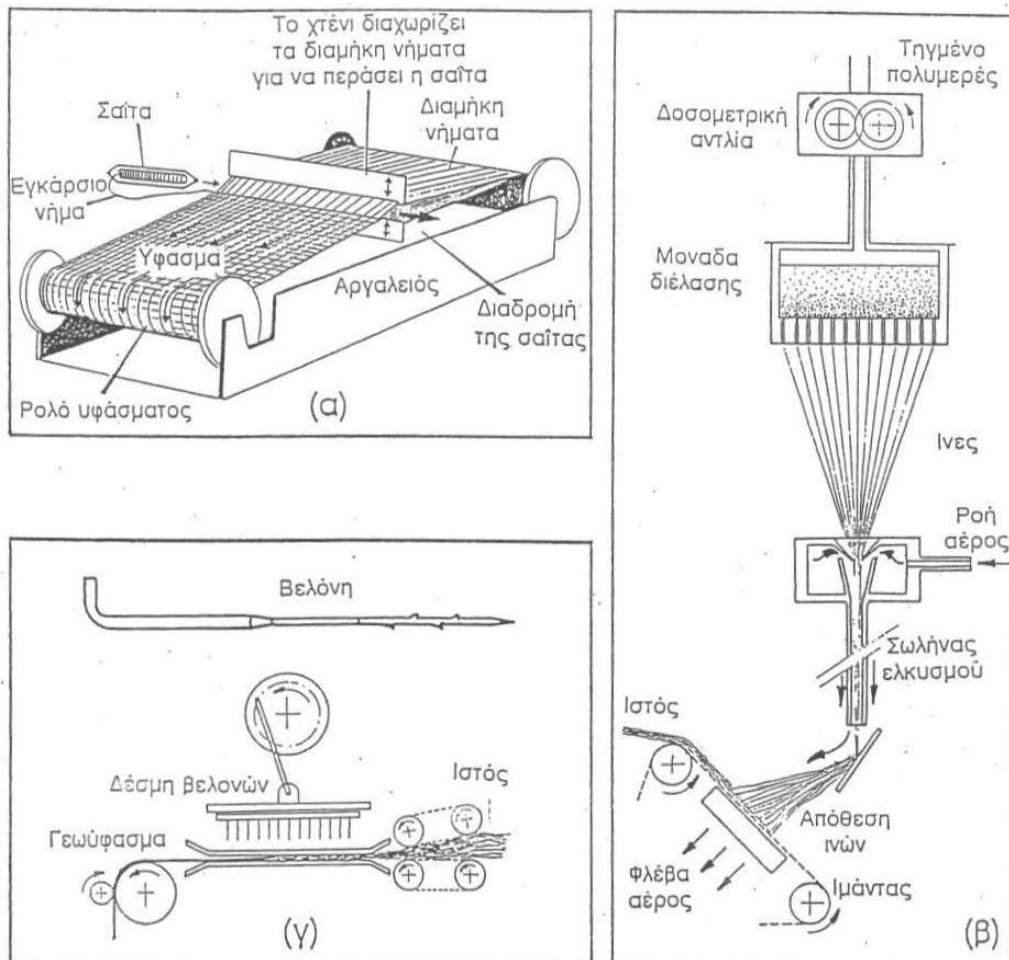


Βελονοδιάτρητο μη υφασμένο

Σχήμα 1.4 Μορφές ύφανσης γεωυφασμάτων

Τα θερμικά συγκολλημένα μη υφασμένα γεωυφάσματα αποτελούνται από συνεχείς ίνες ή νήματα που συγκολλούνται στις θέσεις διασταύρωσης τους με τήξη καθώς ο ιστός περνά μέσα από φούρνο ή ανάμεσα από δύο θερμαινόμενους κυλίνδρους που περιστρέφονται αντίθετα ο ένας προς τον άλλο. Η χημική επεξεργασία περιλαμβάνει ψεκασμό της επιφάνειας ή εμποτισμό του ιστού συνήθως με ακρυλική ρητίνη και, πιθανώς, κυλινδρισμό.

Συχνά χρησιμοποιείται φλέβα ξηρού αέρα για να στεγνώσει το προϊόν και να διανοιγούν οι πόροι του. Τα μη υφασμένα γεωφάσματα που παράγονται με μηχανική διαδικασία εμπλοκής των ινών, διαμορφώνονται διοχετεύοντας το χαλαρό ιστό κάτω από μια ομάδα αγκαθωτών βελονών που εκτελούν παλινδρομική κίνηση κάθετα προς τον ιστό και διαπερνούν τον ιστό. Τυπική διάταξη και μορφή της βελόνας φαίνονται στο σχήμα 1.5 (γ) η πυκνότητα και το πάχος του τελικού προϊόντος, που ονομάζεται βελονοδιάτρητο γεωφάσμα, εξαρτάται από την πυκνότητα των βελονών και από την ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας ή της κίνησης του ιστού.



Σχήμα 1.5 Μέθοδοι κατασκευής γεωφασμάτων (α) υφασμένα, (β)μη υφασμένα με συνεχή διαδικασία, (γ) μη υφασμένα βελονοδιάτρητα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Ο σχεδιασμός έργων με γεωυφάσματα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη σωστή επιλογή γεωυφάσματος ώστε αυτό να είναι ικανό να λειτουργήσει αποτελεσματικά ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τις συνθήκες του πεδίου. Οι βασικές λειτουργίες των γεωυφασμάτων είναι: φίλτρο, στράγγιση, διαχωρισμός και ενίσχυση-οπλισμός. Σε πολλές εφαρμογές, το γεωύφασμα επιτελεί περισσότερες από μία λειτουργίες. Παρ'όλο που στις περιπτώσεις αυτές διακρίνεται μια κύρια λειτουργία και μια ή περισσότερες δευτερεύουσες λειτουργίες, η επιλογή του γεωυφάσματος πρέπει να γίνεται ώστε να ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια (συντελεστές ασφαλείας) των μεθόδων σχεδιασμού που θεωρούνται κατάλληλες για κάθε λειτουργία και όχι μόνο τα σχετικά με την κύρια λειτουργία.

Το γεωύφασμα λειτουργεί σαν φίλτρο όταν επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, από τη μία πλευρά του στην άλλη (κάθετα στο επίπεδο του) για απροσδιόριστα μακρύ χρονικό διάστημα. Από την άποψη αυτή, το γεωύφασμα λειτουργεί ακριβώς όπως τα κλασσικά γεωτεχνικά φίλτρα από κοκκώδη υλικά. Συνεπώς, ενδιαφέρον παρουσιάζουν η διαπερατότητα και η πορομετρία του γεωυφάσματος, και η μακροβιότητα του με την έννοια της πιθανότητας αποφραξής του με την πάροδο του χρόνου.

Το γεωύφασμα εκτελεί λειτουργία στράγγισης όταν επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, στο εσωτερικό του (παράλληλα προς την επιφάνεια του) για απροσδιόριστα μακρύ χρονικά διάστημα. Γενικά, όλα τα γεωυφάσματα μπορούν να επιτελέσουν αυτή τη λειτουργία αλλά είναι προφανές ότι πλεονεκτούν σημαντικά τα μη υφασμένα βελονοδιάτρητα γεωυφάσματα επειδή έχουν μεγαλύτερο πάχος. Όπως και για

την περίπτωση γεωφασματος-φίλτρου, ενδιαφέρον παρουσιάζουν η διαπερατότητα και η πορομετρία του γεωφάσματος, και η συμπεριφορά του έναντι απόφραξης με την πάροδο του χρόνου.

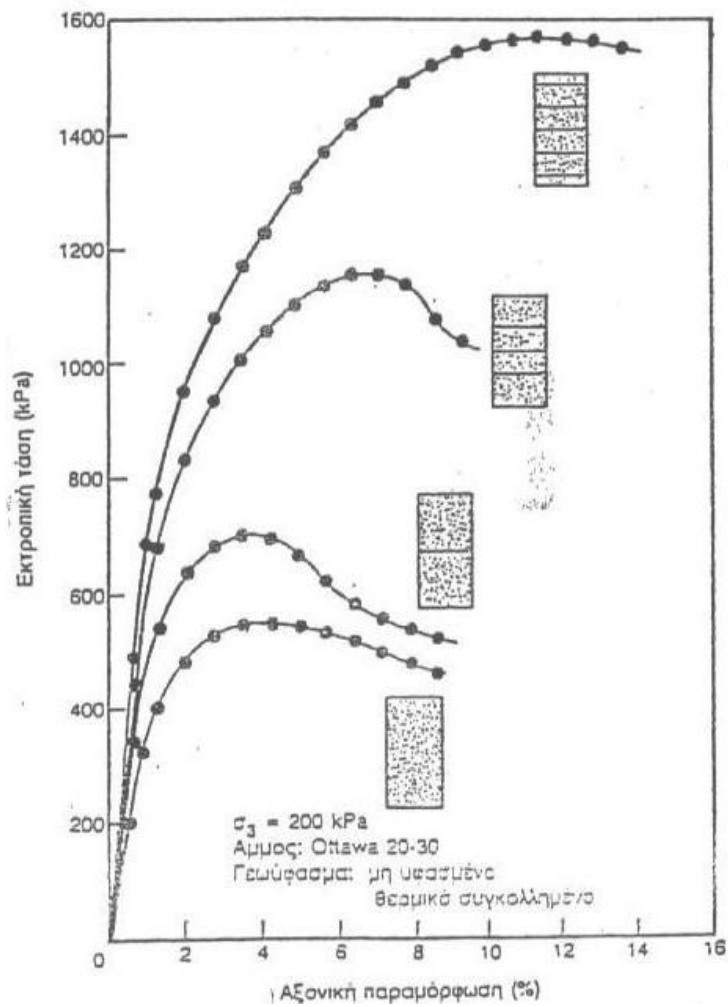
Η λειτουργία του διαχωρισμού έχει την έννοια της εισαγωγής ενός εύκαμπτου συνθετικού φύλλου μεταξύ ανόμοιων εδαφικών στρώσεων ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του και να βελτιώνεται η λειτουργικότητα των υλικών αυτών . Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η διάστρωση χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού πάνω σε σχετικά λεπτόκοκκο έδαφος. Η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει στην ταυτόχρονη εμφάνιση δύο προβλημάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1. Κόκκοι του λεπτότερου εδάφους μπορεί να εισχωρήσουν στα κενά του χονδρόκοκκου αδρανούς με αποτέλεσμα τη μείωση της διαπερατότητας του και τον περιορισμό της ικανότητας του να λειτουργήσει σαν μέσο στράγγισης. Ακόμη, κόκκοι του χονδρόκοκκου αδρανούς μπορεί να διεισδύσουν στο λεπτόκοκκο έδαφος και έτσι να μειωθεί η αντοχή της στρώσης αδρανών. Τα προβλήματα αυτά αποφεύγονται με την τοποθέτηση μεταξύ των δύο στρώσεων ενός σωστά επιλεγμένου γεωφάσματος.



Σχήμα 2.1 Μηχανισμοί ανάμειξης εδαφικών στρώσεων και διαχωρισμός με γεωύφασμα.

Η λειτουργία της ενίσχυσης ή του οπλισμού εδαφικού υλικού υλοποιείται με την εισαγωγή του γεωφάσματος στη μάζα του εδάφους και είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας ή της αλληλεπίδρασης του γεωφάσματος, που έχει καλή συμπεριφορά σε εφελκυσμό, με το έδαφος, που έχει συμπεριφορά πτωχή σε εφελκυσμό αλλά καλή σε θλίψη. Η βελτίωση της αντοχής του σύνθετου υλικού σε σχέση με το έδαφος μπορεί να εκτιμηθεί με διάφορους τρόπους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αποτελέσματα δοκιμών τριαξονικής φόρτισης, όπως αυτά που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.2. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν με δοκίμια πυκνής άμμου και με δοκίμια της ίδιας άμμου που στο εσωτερικό τους είχαν τοποθετηθεί δίσκοι γεωφάσματος. Όπως φαίνεται, η μηχανική συμπεριφορά και η αντοχή του σύνθετου υλικού (άμμος-γεωφάσμα) μπορεί να βελτιωθούν σημαντικά σε σχέση με το απλό υλικό (άμμος).

Στη γενική λειτουργία της ενίσχυσης ή οπλισμού του εδάφους με γεωφάσματα εμπíπτουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί που είναι ο μηχανισμός μεμβράνης, ο μηχανισμός διάτμησης και ο μηχανισμός αγκύρωσης. Το γεωφάσμα λειτουργεί σαν μεμβράνη όταν εδράζεται πάνω σε παραμορφώσιμο έδαφος και φορτίζεται κάθετα προς την επιφάνεια του. Το αποτέλεσμα αυτής της φόρτισης είναι η ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο γεωφάσμα. Διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται στην επιφάνεια επαφής εδάφους-γεωφάσματος όταν το σύνθετο υλικό φορτίζεται και παραμορφώνεται. Η αλληλεπίδραση αυτή μελετάται συνήθως με την εκτέλεση δοκιμών άμεσης διάτμησης όπου το γεωφάσμα φορτίζεται με σταθερό φορτίο κάθετα προς το επίπεδο του και το επίπεδο αστοχίας συμπίπτει με τη διεπιφάνεια εδάφους-γεωφάσματος. Τέλος, το γεωφάσμα μπορεί να λειτουργήσει σαν αγκύριο όταν αναπτύσσονται φορτία που τείνουν να το εξωλκεύσουν από το έδαφος που το περιβάλλει. Και στην περίπτωση αυτή, αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο εσωτερικό του γεωφάσματος.



Σχήμα 2.2 Αποτελέσματα δοκιμών τριαξονικής φόρτισης άμμου οπλισμένης με γεωύφασμα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Ο μεγάλος αριθμός εφαρμογών όπου είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν γεωυφάσματα είναι εντυπωσιακός. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις βασικές λειτουργίες του γεωυφάσματος (φίλτρο, στράγγιση, διαχωρισμός, ενίσχυση). Αναφέρεται πιο κάτω ένας αριθμός χαρακτηριστικών εφαρμογών ανά κατηγορία, όπως ταξινομήθηκαν από τον Koerner (1990), χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο κατάλογος είναι πλήρης ή ότι δεν έχει ήδη διευρυνθεί.

#### Φίλτρο (ροή κάθετα στο επίπεδο του γεωυφάσματος)

1. Αντί γεωτεχνικών φίλτρων από κοκκώδη εδαφικά υλικά.
2. Κάτω από βάση από χονδρόκοκκο αδρανές σε δρόμους χωρίς επίστρωμα, σε δρόμους με επίστρωμα και σε αεροδρόμια.
3. Κάτω από χονδρόκοκκο αδρανές έδρασης σιδηροτροχιών.
4. Γύρω από στραγγιστήριο από χονδρόκοκκο αδρανές υλικό.
5. Γύρω από διάτρητο στραγγιστικό σωλήνα.
6. Κάτω από αποθέσεις στερεών αποβλήτων που δημιουργούν στραγγίσματα.
7. Σε φράκτες ιλύος.
8. Σε φράκτες χιονιού.
9. Εύκαμπτος «ξυλότυπος» που περιέχει άμμο, τσιμεντένεμα ή σκυρόδεμα σε συστήματα προστασίας διάβρωσης.

10. Εύκαμπτος «ξυλότυπος» για ανακατασκευή πασσάλων που έχουν υποστεί ζημιές, για αποκατάσταση υπόγειων ανοιγμάτων και για προστασία βάθρων γεφυρών από υποσκαφή.
11. Για την προστασία γεωτεχνικών φίλτρων ενσωματωμένων σε υδραυλικές εγκαταστάσεις.
12. Μεταξύ υλικού επίχωσης και τοίχων αντιστήριξης ή τοίχων από συρματοκιβώτια.
13. Γύρω από το συνθετικό πυρήνα λωρίδων στράγγισης.
14. Σε συνδυασμό με γεωπλέγματα ή γεωσύνθετα για αποτροπή μετακίνησης εδαφικού υλικού.
15. Γύρω από αμμοπασσάλους και χαλικοπασσάλους.
16. Γύρω από πορώδη άκρα πιεζόμετρων και άλλων οργάνων πεδίου.
17. Κάτω από λιθορριπή ή τεχνητούς ογκόλιθους.

#### Διαχωρισμός ανόμοιων υλικών.

1. Μεταξύ υπόβασης και βάσης σε δρόμους χωρίς επίστρωμα, σε δρόμους με επίστρωμα και σε αεροδρόμια.
2. Μεταξύ υπόβασης και χονδρόκοκκου αδρανούς έδρασης σιδηροτροχιών.
3. Μεταξύ βάσης από χονδρόκοκκο αδρανές και επιχωμάτωσης.
4. Μεταξύ εδάφους θεμελίωσης και αναχώματος προφόρτισης, αναχώματος οδοποιίας, και αναχώματος για φράγμα λιθόρριπτο ή χωμάτινο.
5. Μεταξύ εδάφους θεμελίωσης και εγκιβωτισμένων στρώσεων εδάφους.
6. Μεταξύ εδάφους θεμελίωσης και άκαμπτου ή εύκαμπτου τοίχου αντιστήριξης.
7. Μεταξύ εδάφους θεμελίωσης και σωρού αποθηκευμένου κοκκώδους υλικού.

8. Μεταξύ πρανούς και κατάντη αντισταθμιστικού αναχώματος.
9. Κάτω από πλάκες πεζοδρομίου.
10. Κάτω από περιοχές στάθμευσης οχημάτων.
11. Κάτω από αθλητικά γήπεδα.
12. Μεταξύ στρώσεων στράγγισης σε πτωχά διαβαθμισμένα κοκκώδη γεωτεχνικά φίλτρα.
13. Μεταξύ γεωμεμβράνης και στρώσεων στράγγισης από άμμο ή χαλίκι.
14. Μεταξύ διαφόρων ζωνών σε χωμάτινα φράγματα.
15. Μεταξύ παλαιού και νέου ασφαλτοτάπητα.

#### Ενίσχυση-οπλισμός εδαφών και άλλων υλικών.

1. Πάνω από μαλακά εδάφη σε δρόμους χωρίς επίστρωμα, σε αεροδρόμια, σε σιδηροδρομικές γραμμές, σε επιχώματα, σε αθλητικά γήπεδα.
2. Πάνω από ασταθείς ή ανομοιογενείς αποθέσεις στερεών αποβλήτων σαν τμήμα του συστήματος επικάλυψης της περιοχής.
3. Εγκιβωτισμός εδαφών σε διάφορες κατασκευές.
4. Κατασκευή τοίχων από οπλισμένο έδαφος.
5. Ενίσχυση-οπλισμός αναχωμάτων.
6. Κατασκευή πρανών με μεγάλες κλίσεις.
7. Ενίσχυση λιθόρριπτων και χωμάτινων φραγμάτων.
8. Προσωρινή σταθεροποίηση πρανών.
9. Περιορισμός ή αποτροπή ερπυσμού σε πρανή.
10. Ενίσχυση εύκαμπτων οδοστρωμάτων.
11. Γεφύρωση ασυνεχειών σε πετρώματα.

12. Συγκράτηση στρώσεων σε διαβαθμισμένα κοκκώδη γεωτεχνικά φίλτρα.
13. Υπόστρωμα για προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος.
14. Αγκύρωση επενδύσεων σε τοίχους από οπλισμένο έδαφος.
15. Προστασία γεωμεμβρανών από μηχανικές καταπονήσεις (π.χ. διάτρηση).
16. Επί-τόπου συμπύκνωση και στερεοποίηση εδαφών.
17. Βελτίωση της φέρουσας ικανότητας αβαθών θεμελιώσεων.

Πίνακας 3.1 Ποσότητες χρησιμοποιούμενων γεωφασμάτων στις διάφορες εφαρμογές.

Κατηγορία Εφαρμογών	Β. Αμερική (%)		Ευρώπη (%)
	1990	1993	1991
Διαχωρισμός, ενίσχυση	30,0	27,7	≈ 40
Βελτίωση ασφαλτοταπήτων	30,8	25,6	≈ 5
Αποθήκευση αποβλήτων	10,5	18,7	
Στράγγιση	12,3	11,0	≈ 20
Πρόληψη διάβρωσης	5,4	6,5	
Οπλισμός	5,6	5,5	
Φράκτης ιλύος	5,4	5,0	

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία των τελευταίων ετών για τις σχετικές ποσότητες γεωφασμάτων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως αυτές ομαδοποιούνται από τον Jagielsky (1991 γ,1993). Όπως φαίνεται από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1, η μεγαλύτερη χρήση γεωφασμάτων στη Β.Αμερική (περίπου 70% των πωλήσεων) γίνεται σε εφαρμογές διαχωρισμού εδαφών, βελτίωση της συμπεριφοράς υποβάσεων (ενίσχυση), βελτίωσης ασφαλτοταπήτων σε έργα οδοποιίας και σε επιστρώσεις και επικαλύψεις περιοχών απόθεσης αποβλήτων. Η τελευταία, μάλιστα,

περιοχή εμφανίζει ραγδαία αύξηση στις ποσότητες χρησιμοποιούμενων γεωφασμάτων. Στην Ευρώπη, η μεγαλύτερη χρήση γεωφασμάτων γίνεται σε εφαρμογές διαχωρισμού εδαφών και στράγγισης. Αναμένεται όμως, ότι σημαντικές ποσότητες γεωφασμάτων θα χρησιμοποιούνται μελλοντικά σε περιοχές αποθήκευσης αποβλήτων και στη συντήρηση των ασφαλτοταπήτων σε αυτοκινητόδρομους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ

Οι μέθοδοι σχεδιασμού έργων με γεωύφασματα οδηγούν στο προσδιορισμό της απαιτούμενης τιμής για μια ή περισσότερες ιδιότητες του γεωυφάσματος ανάλογα με τη λειτουργία που πρόκειται να επιτελέσει το γεωύφασμα. Ακολούθως, οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τις τιμές των ιδιοτήτων που έχουν τα διαθέσιμα στο εμπόριο γεωυφάσματα (διαθέσιμες τιμές) και επιλέγεται το πιο κατάλληλο υλικό ώστε να ικανοποιούνται τόσο τα κριτήρια (συντελεστές) ασφαλείας όσο και τα κριτήρια για οικονομικό σχεδιασμό. Κατά τα τελευταία χρόνια, γίνεται προσπάθεια από κρατικούς ή επαγγελματικούς φορείς σε πολλές χώρες για την σύνταξη προτύπων εργαστηριακού ή επί-τόπου ελέγχου γεωυφασμάτων. Επιπλέον, και για τις περιπτώσεις που δεν υφίστανται ακόμη πρότυπα για γεωυφάσματα, χρησιμοποιούνται εγκεκριμένα πρότυπα για έλεγχο υφασμάτων. Οι ιδιότητες των γεωυφασμάτων διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

(α) Φυσικές ιδιότητες: αφορούν την γεωμετρία και το βάρος του υλικού όπως παράγεται ή όπως παραλαμβάνεται στο πεδίο. (ειδικό βάρος, πάχος, μάζα ανά μονάδα επιφάνειας)

(β) Υδραυλικές ιδιότητες: αναφέρονται στην ποσοτικοποίηση της ευκολίας με την οποία κινούνται τα ρευστά (συνήθως νερό) μέσω των γεωυφασμάτων.

(γ) Μηχανικές ιδιότητες: είναι ενδεικτικές της αντίστασης που παρουσιάζει το υλικό σε μηχανική καταπόνηση από επιβαλλόμενα φορτία και ή λόγω των συνθηκών που επικρατούν κατά την τοποθέτηση του στο πεδίο.

(δ) Ιδιότητες ανθεκτικότητας στο χρόνο: σε αντίθεση με τις προηγούμενες τρεις κατηγορίες που αφορούν ιδιότητες του υλικού όπως παράγεται ή όπως

παραλαμβάνεται, οι ιδιότητες αυτές αφορούν τη συμπεριφορά του υλικού σαν συνάρτηση του χρόνου, δηλαδή, κατά το χρόνο λειτουργίας του στο πεδίο.

Πίνακας 4.1 Εύρος τιμών των ιδιοτήτων των γεωφασμάτων.

Ιδιότητα	Πρότυπο ASTM	Μονάδα Μέτρησης	Γεωφάσματα	
			Μη-υφασμένα	Υφασμένα
Πρώτη ύλη				
Πολυπροπυλένιο <sup>1</sup>		%	86	81
Πολυεστέρας <sup>1</sup>		%	7	16
Πολυπροπυλένιο/πολυεστέρας <sup>1</sup>		%	7	3
Διαστάσεις ρολού				
Μήκος <sup>1</sup>		m	30-360	45-450
Πλάτος <sup>1</sup>		m	1,2-5,1	0,6-5,4
Φυσικές Ιδιότητες				
Ειδικό βάρος ινών <sup>2</sup>		g/cm <sup>3</sup>	0,9-1,4	0,9-1,4
Πάχος <sup>1</sup>	D5199	mm	0,88-7,20	0,18-4,00
Μάζα ανά μονάδα επιφάνειας <sup>1</sup>	D5261	g/m <sup>2</sup>	61-1460	78-1350
Υδραυλικές ιδιότητες				
Πορώδες <sup>2</sup>		%	50-95	
Ποσοστό ελεύθερης επιφάνειας <sup>2</sup>		%		1-36
Φαινόμενο μέγεθος κενών <sup>1</sup>	D4751	mm	0,04-0,71	0,15-2,00
Επιτρεπτότητα <sup>1</sup>	D4491	sec <sup>-1</sup>	0,05-3,4	0,01-2,1
Μεταβιβασιμότητα <sup>1</sup>	D4716	m <sup>3</sup> /min-m	0,01x10 <sup>-3</sup>	2,0x10 <sup>-3</sup>
Μηχανικές Ιδιότητες				
Δοκιμή μερικού εφελκυσμού	D4632			
Φορτίο θραύσης <sup>1</sup>		kN	0,3-3,2	0,13-13,3
Επιμήκυνση στη θραύση <sup>1</sup>		%	50-100	9-30
Δοκιμή εφελκυσμ. πλαστικής λωρίδ.	D4595			
Διαμήκης διεύθυνση				
Φορτίο θραύσης <sup>1</sup>		kN/m	6,1-36	21-735
Επιμήκυνση στη θραύση		%	65-95	10-25
Εγκάρσια διεύθυνση				
Φορτίο θραύσης <sup>1</sup>		kN/m	5,2-28,9	20-280
Επιμήκυνση στη θραύση <sup>1</sup>		%	50-82	6-28
Αντοχή σε διάρρηξη <sup>1</sup>	D3786	kPa	450-10.200	165-11.700
Αντοχή σε διάτρηση <sup>1</sup>	D4833	N	80-1.560	110-2.670
Αντοχή σε σχίσσιμο	D4533	N	110-1.300	90-3490
Αντοχή σε κρούση <sup>2</sup>	D1709	J		14-200
Αντοχή σε κόπωση <sup>2</sup>			50-100% αντοχής σε εφελκυσμό	
Αντοχή συρραφής <sup>2</sup>	D4884		50-100% αντοχής σε εφελκυσμό	
Συμπίεστικότητα <sup>2</sup>			αμελητέα ως υψηλή	
Φαινόμενη γωνία τριβής <sup>2</sup>	D5321		50-100% της γωνίας εδάφους	
Ιδιότητες Ανθεκτικότητας στο Χρόνο				
Ερπυσμός <sup>2</sup>	D5262		δ.ε.π.* για φορτ. <40% φορτ. θραύσης	
Ερπυσμός με εγκιβωτισμό <sup>2</sup>			δ.ε.π.* για φορτ. <50% φορτ. θραύσης	
Απόξεση	D4886		50-100% αντοχής σε εφελκυσμό	
Απόφραξη	D5101		εκτίμηση κατά περίπτωση	
Ιδιότητες Αποδόμησης				
Αντίσταση σε θερμότητα <sup>2</sup>	D4594		δ.ε.π.*	
Αντίσταση σε χημικά <sup>2</sup>	D5322		δ.ε.π.*	
Αντίσταση σε υδρόλυση <sup>2</sup>			δ.ε.π.* εκτός pH < 2, pH > 11	
Βιοαποδόμηση <sup>2</sup>			δ.ε.π.*	
Αντίστ. σε υπεριώδη ακτινοβ. <sup>1</sup>	D4355		70-90% αντοχής σε εφελκυσμό	

\*δ.ε.π.: γενικά, δεν είναι πρόβλημα

Πηγές : (1) Geotechnical Fabrics Report, Specifier's Guide (1994)

(2) Koerner (1990)

(ε) Ιδιότητες αποδόμησης: η εκτίμηση τους βασίζεται στην επίδραση που έχουν διάφοροι παράγοντες του περιβάλλοντος στη δομή των πολυμερών και, συνεπώς, στις ιδιότητες των γεωφασμάτων.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζεται κατάλογος των ιδιοτήτων των γεωφασμάτων. Για κάθε ιδιότητα, αναφέρονται (α) πρότυπα της ASTM βάσει των οποίων γίνονται συνήθως οι αντίστοιχοι έλεγχοι και προσδιορισμοί, (β) συνήθεις μονάδες μέτρησης και (γ) εύρος τιμών για γεωφάσματα που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο διεθνώς.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΩΝ

#### 5.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

##### Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος των γεωφασμάτων εξαρτάται από το ειδικό βάρος των ινών από τις οποίες κατασκευάζονται και, συνεπώς, από το ειδικό βάρος των πολυμερών. Τυπικές τιμές (σε  $\text{g/cm}^3$ ) του ειδικού βάρους των κυριότερων πολυμερών από τα οποία κατασκευάζονται γεωφάσματα είναι: πολυπροπυλένιο 0.91, πολυεστέρας 1.22 ως 1.38, νάυλον 1.05 ως 1,14, και πολυαιθυλένιο 0.92 ως 0.95. Επισημαίνεται ότι το ειδικό βάρος ορισμένων από αυτά τα υλικά είναι μικρότερο της μονάδας. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί μειονέκτημα αν το σχετικό γεώφασμα πρέπει να τοποθετηθεί κάτω από το νερό.

##### Μάζα ανά μονάδα επιφανείας.

Ο όρος μάζα ανά μονάδα επιφανείας είναι ο κατάλληλος όρος που πρέπει να χρησιμοποιείται όταν γίνεται αναφορά στο βάρος του γεωφάσματος. Η μάζα ανά μονάδα επιφανείας γεωφάσματος εκφράζεται σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{g/m}^2$  ή σε ουγγιές ανά τετραγωνική γυάρδα  $\text{oz/yd}^2$ ) και μετράται σύμφωνα με το ειδικό πρότυπο για γεωφάσματα DS261 της ASTM. Επειδή το κόστος των γεωφασμάτων αλλά και γενικά πολλές από τις ιδιότητες τους σχετίζονται άμεσα με τη μάζα ανά μονάδα επιφανείας, η ιδιότητα αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

##### Πάχος

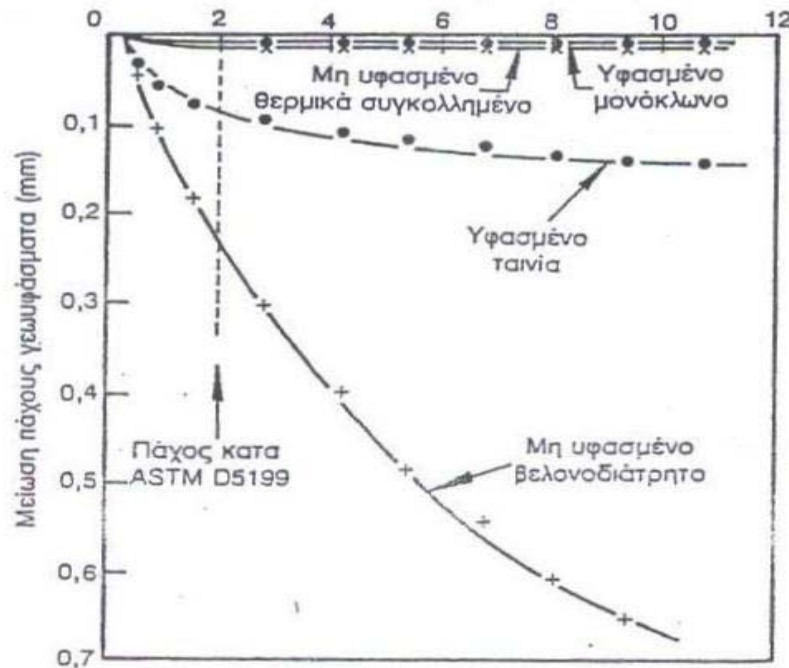
Η γνώση του πάχους των γεωφασμάτων είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό άλλων ιδιοτήτων ή παραμέτρων αλλά το πάχος δεν είναι ενδεικτικό της συμπεριφοράς του γεωφάσματος στο πεδίο και, συνεπώς, δεν συνιστάται σαν βασικός όρος προδιαγραφών. Μετράται σύμφωνα με το πρότυπο D5199 της ASTM για γεωφάσματα και γεωμεμβράνες. Το πάχος ορισμένων γεωφασμάτων, και ιδιαίτερα των μη υφασμένων βελονοδιάτρητων γεωφασμάτων, μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με την εφαρμοζόμενη ορθή τάση στο φύλλο του υλικού. Το ονομαστικό πάχος γεωφάσματος μετράται για ορθή τάση στο φύλλο του υλικού. Το ονομαστικό πάχος γεωφάσματος μετράται για ορθή τάση 2,0 kpa και εκφράζεται σε mm ή σε mil (40 mil=1 mm)

## 5.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

### Συμπιεστότητα

Η συμπιεστότητα των γεωφασμάτων εκφράζεται σαν μείωση του πάχους υπό αυξανόμενη ορθή τάση (φορτίο κάθετο στην επιφάνεια του γεωφάσματος). Η συμπιεστότητα των περισσότερων γεωφασμάτων (υφασμένα και θερμικά συγκολλημένα μη υφασμένα) είναι σχετικά χαμηλή και επηρεάζει ελάχιστα το σχεδιασμό. Αντίθετα, για τα μη υφασμένα βελονοδιάτρητα γεωφάσματα, η συμπιεστότητα είναι στοιχείο σχεδιασμού με ιδιαίτερη σημασία. Αυτό συμβαίνει επειδή γεωφάσματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές στράγγισης για να παροχετεύσουν νερό παράλληλα στο επίπεδο τους. Όσο περισσότερο συμπιέζεται ένα γεωφάσμα τόσο μειώνεται η μεταβιβασιμότητά του. Στο σχήμα 5.1 δίνονται καμπύλες συμπίεσης για διάφορους τύπους γεωφασμάτων, και φαίνεται

καθαρά η επίδραση της ορθής τάσης στο πάχος ανάλογα με τον τύπο γεωφάσματος.

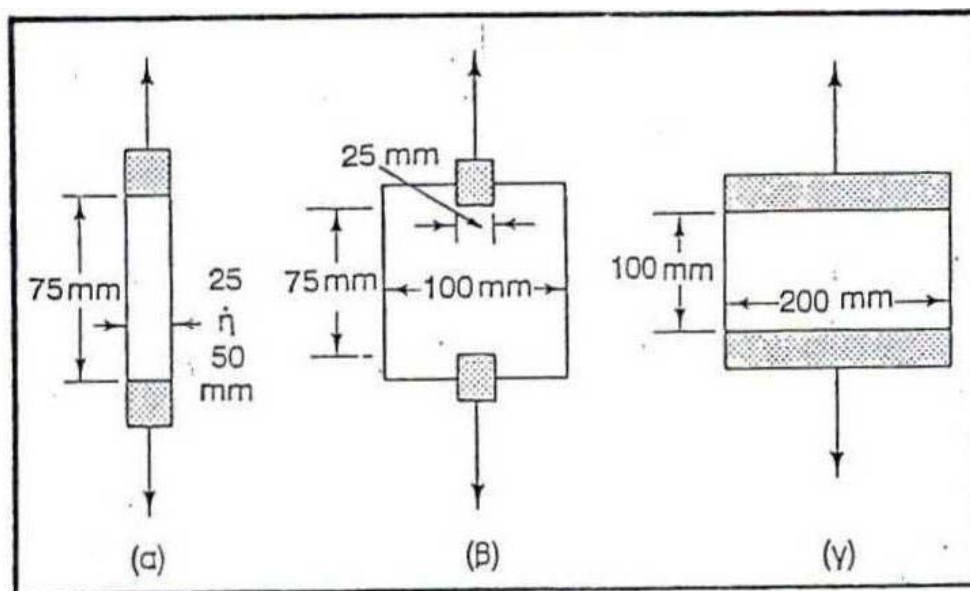


Σχήμα 5.1 Συμπιεστότητα γεωφασμάτων (Koerner 1990).

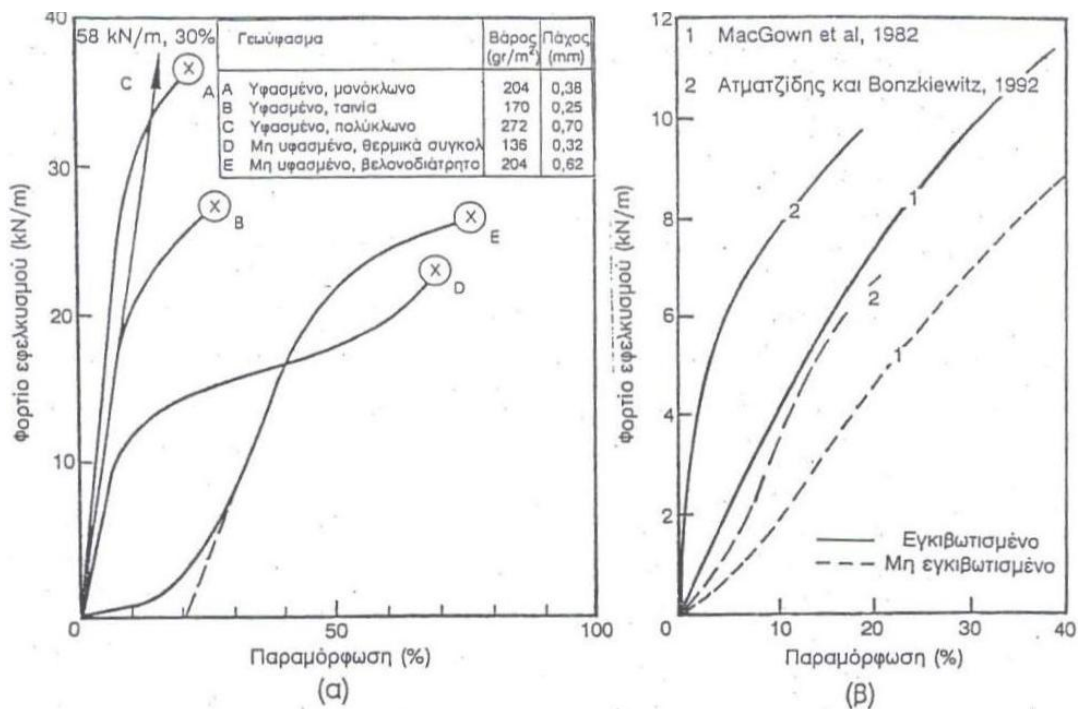
### Μονοαξονικός εφελκυσμός

Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι ίσως η πιο σημαντική ιδιότητα των γεωφασμάτων. Όλες οι εφαρμογές γεωφασμάτων βασίζονται σε αυτή την ιδιότητα, είτε στο πλαίσιο κύριας λειτουργίας (όπως στις εφαρμογές ενίσχυσης-οπλισμού εδάφους) είτε στο πλαίσιο δευτερεύουσας λειτουργίας (όπως στο διαχωρισμό εδαφών, στο φιλτράρισμα και στη στράγγιση). Γενικά, οι δοκιμές εφελκυσμού εκτελούνται σε δοκίμια που συγκρατούνται μεταξύ δύο αρπαγών και επιμηκύνονται εφελκύμενα μέχρι αστοχίας. Σε αντίθεση με πολλά εδάφη, η αστοχία των γεωφασμάτων είναι γενικά εύκολο να αναγνωριστεί. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, καταγράφονται τόσο το φορτίο όσο και η παραμόρφωση ώστε να προκύπτει μια καμπύλη «τάσεων-παραμορφώσεων» όπου οι «τάσεις» εκφράζονται συνήθως σαν φορτίο ανά

μονάδα πλάτους και οι παραμορφώσεις υπολογίζονται από το λόγο της επιμήκυνσης προς το αρχικό μήκος του δοκιμίου. Από μια τέτοια καμπύλη προσδιορίζονται το φορτίο θραύσης, η επιμήκυνση στη θραύση, το ανηγμένο έργο θραύσης και το μέτρο εφελκυσμού. Οι δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού εκτελούνται σύμφωνα με τα πρότυπα της ASTM D1682 (δοκιμή εφελκυσμού λωρίδας), D4632 (δοκιμή μερικού εφελκυσμού) και D4595 (δοκιμή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας). Οι διαστάσεις των δοκιμίων και των αρπαγών για κάθε μια από αυτές τις δοκιμές φαίνονται στο σχήμα 5.2. Η δοκιμή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας θεωρείται δοκιμή επίδοσης ενώ οι δύο άλλες δοκιμές θεωρούνται δοκιμές δείκτη. Το μεγάλο σχετικά πλάτος δοκιμίου και το γεγονός ότι το πλάτος είναι διπλάσιο του μήκους του δοκιμίου στη δοκιμή πλατειάς λωρίδας έχουν σαν αποτέλεσμα το σημαντικό περιορισμό των εγκάρσιων παραμορφώσεων, σε σύγκριση με του άλλους τύπους δοκιμών, και οδηγούν σε μεγαλύτερη προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς του γεωφάσματος στο πεδίο.



Σχήμα 5.2 Διαστάσεις δοκιμίων για έλεγχο γεωφασμάτων σε μονοαξονικό εφελκυσμό, (α) δοκιμή λωρίδας, (β) δοκιμή μερικού εφελκυσμού, (γ) δοκιμή πλατειάς λωρίδας.



Σχήμα 5.3 Συμπεριφορά γεωφασμάτων σε εφελκυσμό (α) αποτέλεσμα δοκιμών πλατειάς λωρίδας σε γεωφάσματα κατασκευασμένα από πολυπροπυλένιο, (β) διαφορετική συμπεριφορά γεωφασμάτων μη εγκιβωτισμένων και εγκιβωτισμένων σε έδαφος

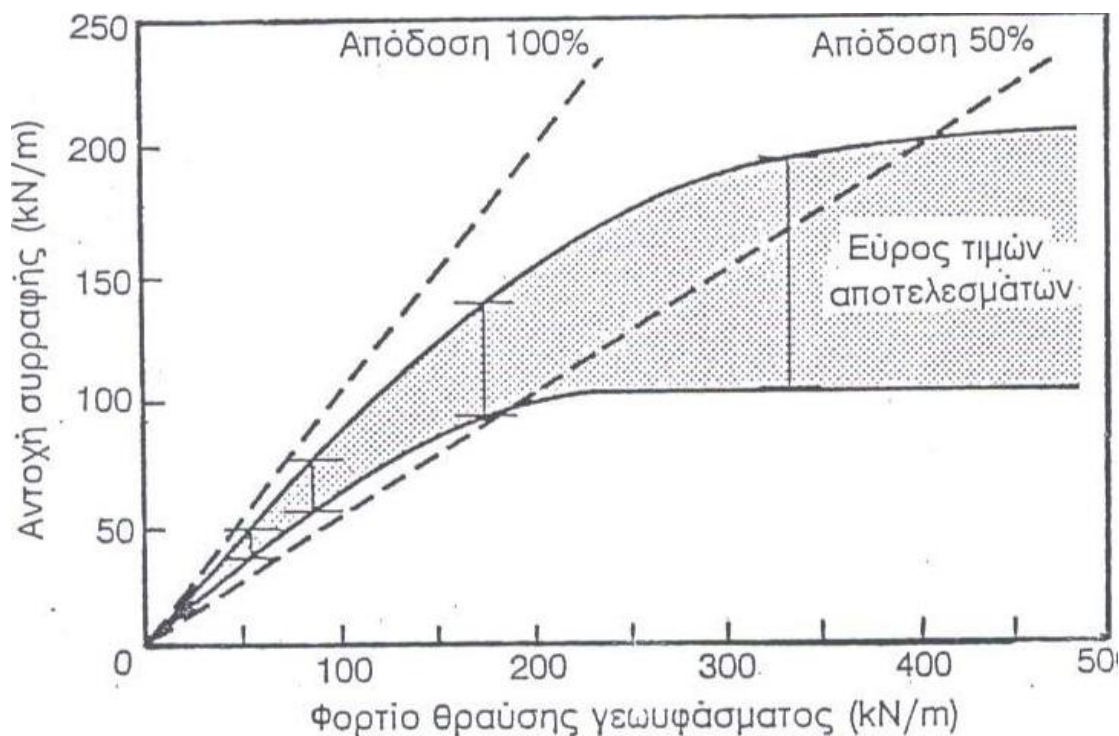
Τυπικές καμπύλες «τάσεων-παραμορφώσεων» για γεωφάσματα που κατασκευάζονται από την ίδια πρώτη ύλη (πολυπροπυλένιο), αλλά με διάφορες διαδικασίες, δίνονται στο σχήμα 5.3 (α). Σημειώνεται ότι ο κατακόρυφος άξονας είναι σε μονάδες δύναμης ανά μονάδα αρχικού πλάτους του γεωφάσματος. Για να προκύψουν μονάδες τάσης, αυτές οι τιμές πρέπει να διαιρεθούν με το αντίστοιχο πάχος του γεωφάσματος. Αυτό δεν γίνεται συνήθως επειδή το πάχος μπορεί να ποικίλει σημαντικά κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Ομοίως, οι τιμές των μέτρων εφελκυσμού πρέπει να διαιρεθούν με το πάχος για να προκύψουν τιμές σε συμβατικές μονάδες. Ειδικότερα, το μέτρο εφελκυσμού προσδιορίζεται για το αρχικό τμήμα της καμπύλης (αρχικό μέτρο

εφελκυσμού) από την κλίση της επαπτόμενης στο τμήμα αυτό η γενικότερα σαν μέτρο εφελκυσμού χορδής από την κλίση της ευθείας που ενώνει την αρχή των αξόνων με επιλεγμένο σημείο της καμπύλης (π.χ. αυτό που αντιστοιχεί σε 10% παραμόρφωση). Στην περίπτωση της καμπύλης E του σχήματος 5.3 (α) το αρχικό μέτρο εφελκυσμού προσδιορίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα για «διορθωμένη» καμπύλη που προκύπτει αγνοώντας το αρχικό, μικρής κλίσης, τμήμα της καμπύλης. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι οι δοκιμές εφελκυσμού γίνονται με το γεωύφασμα ελεύθερο και όχι εγκιβωτισμένο σε έδαφος. Έχει παρατηρηθεί ότι οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων μπορεί να διαφοροποιηθούν σημαντικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3 (β), όταν το γεωύφασμα βρίσκεται εγκιβωτισμένο μέσα σε εδαφικό υλικό. Τα αποτελέσματα του σχήματος 5.3 (β) προέκυψαν από δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού (McGown et al, 1982) και από δοκιμές εξόλκευσης (Ατματζίδης και Bonzkiewitz, 1992).

### Αντοχή Συρραφής

Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται να ενωθούν οι άκρες των ρολλών των γεωυφασμάτων. Αυτό γίνεται συνήθως με συρραφή. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ραφής που εφαρμόζεται, πρέπει να διαπιστώνεται η ικανότητα της ραφής να μεταβιβάσει φορτίο από το ένα φύλλο γεωυφάσματος στο άλλο. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της αντοχής συρραφής (φορτίο θραύσης) γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο της ASTM D 4884 που μοιάζει με τη δοκιμή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας. Η απόδοση της συρραφής ορίζεται από το λόγο του φορτίου θραύσης της συρραφής προς το φορτίο θραύσης του γεωυφάσματος σε δοκιμή πλατειάς λωρίδας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.4, η απόδοση της συρραφής είναι πολύ κοντά στο 100% για γεωυφάσματα με μικρό φορτίο θραύσης αλλά μειώνεται όσο αυξάνει το φορτίο θραύσης του

γεωφάσματος. Σε περιπτώσεις γεωφασμάτων υψηλής αντοχής, η απόδοση συρραφής είναι της τάξης του 50% (Koerner 1990).

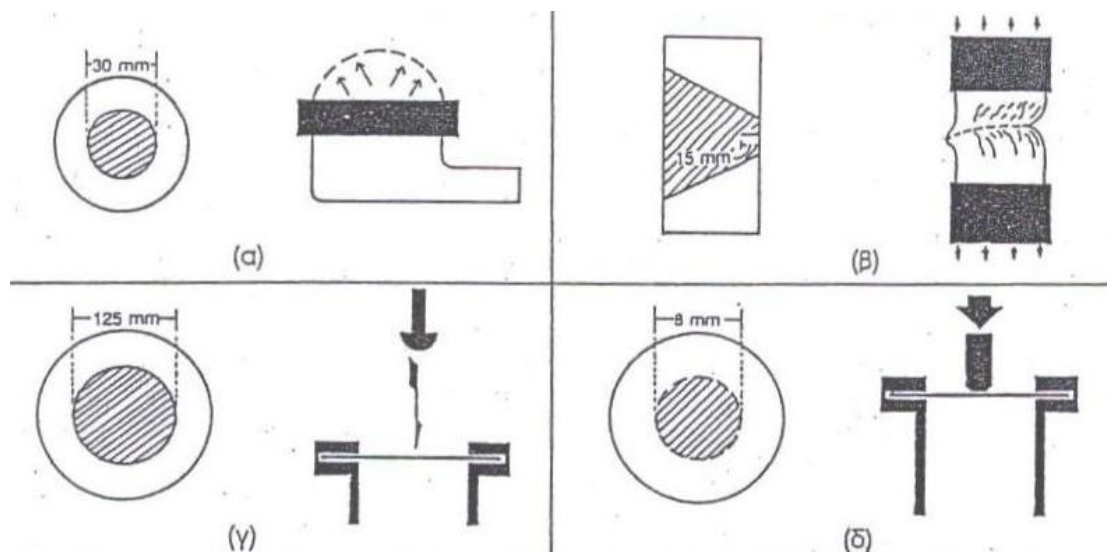


Σχήμα 5.4 Απόδοση συρραφής γεωφασμάτων (Koerner,1990)

### Κόπωση

Αντοχή ή αντίσταση σε κόπωση θεωρείται η ικανότητα του γεωφάσματος να καταπονείται με επαναλαμβανόμενη φόρτιση πριν να αστοχήσει. Η εργαστηριακή μελέτη κόπωσης γεωφασμάτων εκτελείται συνήθως με δοκίμια όμοια με αυτά της δοκιμής εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας αφού οι εκτελούμενοι έλεγχοι θεωρούνται δοκιμές επίδοσης. Το δοκίμιο εφελκύεται μονοαξονικά με σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης μέχρι μια προκαθορισμένη επιμήκυνση και ακολούθως αποφορτίζεται πλήρως. Αυτός ο κύκλος φόρτισης επαναλαμβάνεται μέχρι να συμβεί αστοχία (Koerner 1990). Οι βρόγχοι υστέρησης που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί το μέτρο εφελκυσμού σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Τα πιο σημαντικά

στοιχεία όμως, είναι ο αριθμός των κύκλων που απαιτείται για να αστοχήσει το γεώφασμα και το φορτίο που έχει εφαρμοστεί. Αυτό το φορτίο εκφράζεται συνήθως σαν κλάσμα του φορτίου θραύσης στην αντίστοιχη δοκιμή μονοαξονικού εφελκυσμού (συνήθως πλατειάς λωρίδας). Όπως αναμένεται, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της ανακυκλιζόμενης φόρτισης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κύκλων φόρτισης πριν την αστοχία. Η απόκριση των γεωφασμάτων είναι συνήθως έντονα εκθετική. Θεωρείται ότι η συμπεριφορά σε κόπωση αποτελεί καλύτερη προσομοίωση των συνθηκών πεδίου από ότι οι δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού. Όμως, δεν υπάρχει ακόμη σχετικό πρότυπο για την εκτέλεση της δοκιμής και ούτε ακολουθούνται ενιαία κριτήρια για τον καθορισμό των βασικών παραμέτρων της δοκιμής.



Σχήμα 5.5 Σχηματική παράσταση ελέγχου γεωφασμάτων σε (α) διάρρηξη, (β) σχίσιμο (εφελκυσμός στο επίπεδο του), (γ) κρούση και (δ) διάτρηση.

### Αντοχή σε διάρρηξη

Κατά τη δοκιμή διάρρηξης, το γεώφασμα παραμορφώνεται εκτός του επιπέδου του και, κατ'αυτό τον τρόπο, τίθεται σε εφελκυσμό μέχρι να αστοχήσει. Χρησιμοποιούνται διάφορα πρότυπα για την εκτέλεση της



δοκιμής, όπως τα D3786 (πιο σύνηθες), D3787 και D774 της ASTM. Η πιο συνήθης μορφή δοκιμής περιγράφεται σχηματικά στο σχήμα 5.5 (α) και συνίσταται σε σφαιρική παραμόρφωση του δοκιμίου που φορτίζεται μέσω διογκούμενης μεμβράνης.

#### Αντοχή σε Σχίσιμο

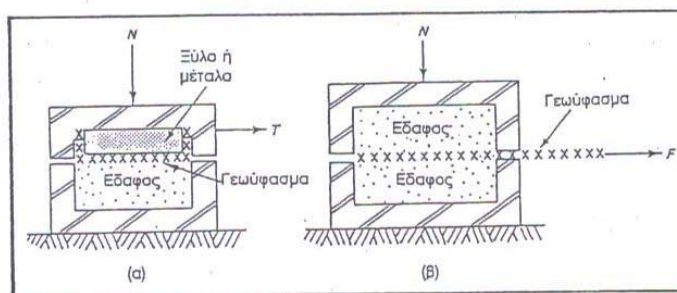
Κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης τους στο πεδίο, τα γεωφάσματα εκτίθενται συχνά σε συνθήκες που προκαλούν σχίσιμο. Παλαιότερες μέθοδοι δοκιμής έχουν αντικατασταθεί πλέον από ειδικό πρότυπο για γεωφάσματα (ASTM. D4533) που αποτελεί δοκιμή δείκτου αλλά είναι χρήσιμο και για ποιοτικό έλεγχο και δοκιμές αποδοχής. Χρησιμοποιείται δοκίμιο τραπεζοειδούς μορφής, με αρχική εγκοπή, σε διάταξη που παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα 5.5 (β).

#### Αντοχή σε κρούση

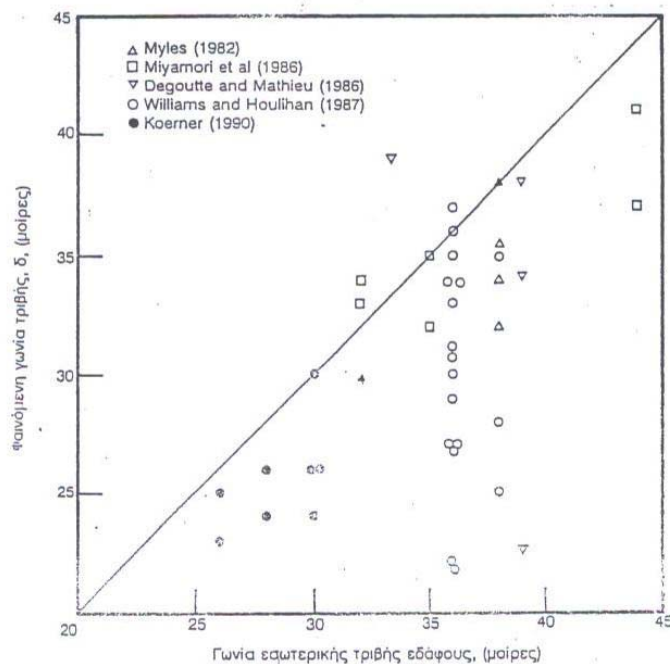
Κατά τα στάδια της τοποθέτησης και της επικάλυψης των γεωφασμάτων στο πεδίο υπάρχει σοβαρός κίνδυνος φθοράς ή τοπικής αστοχίας λόγω πτώσης στην επιφάνειά τους διαφόρων αντικειμένων όπως αιχμηρά αδρανή και εργαλεία. Για τον έλεγχο της αντοχής γεωφάσματος σε κρούση δεν υπάρχει ειδικό πρότυπο αλλά χρησιμοποιούνται συναφή πρότυπα όπως το D1709 (ASTM) όπου η κρούση δημιουργείται με πτώση, από συγκεκριμένο ύψος, βέλους ρυθμιζόμενου βάρους και ημισφαιρικής κεφαλής, όπως φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 5.5 (γ).

#### Αντοχή σε διάτρηση

Σε αντιδιαστολή με την αντοχή γεωφάσματος σε κρούση, που είναι ένα δυναμικό φαινόμενο, η αντοχή σε διάτρηση μελετάται σε στατικές συνθήκες ώστε να προσομοιώνεται το αποτέλεσμα της φόρτισης γεωφάσματος από αιχμηρά αντικείμενα όπως ξύλα και πέτρες. Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με το ειδικό πρότυπο D4833 της ASTM για γεωφάσματα και γεωμεμβράνες, όπως φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 5.5 (δ). η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται πολύ συχνά τόσο σαν δοκιμή δείκτου όσο και σαν δοκιμή αποδοχής.



Σχήμα 2.14 Σχηματική παράσταση διατάξεων δοκιμών (α) έμμεσης διάτρησης και (β) εξόλκευσης



Σχήμα 5.6. 5.7 Συσχετισμός της φαινόμενης γωνίας τριβής γεωφάσματος-εδάφους και της γωνίας εσωτερικής τριβής του εδάφους.

## Αλληλεπίδραση Εδάφους-Γεωφάσματος

Σε πολλές περιπτώσεις σχεδιασμού έργων με γεωφάσματα απαιτείται η γνώση του μηχανισμού αλληλεπίδρασης μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος. Ο μηχανισμός αλληλεπίδρασης μελετάται πειραματικά με τη διεξαγωγή είτε δοκιμών άμεσης διάτμησης είτε δοκιμών εξόλκευσης χρησιμοποιώντας διατάξεις που φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 5.6. Η δοκιμή άμεσης διάτμησης εκτελείται σύμφωνα με το πρότυπο D5321 της ASTM για γεωφάσματα. Η δοκιμή εκτελείται για τουλάχιστον τρεις διαφορετικές τιμές της εφαρμοζόμενης ορθής τάσης και, από τα αποτελέσματα, προκύπτει διάγραμμα ορθών-διατμητικών τάσεων αστοχίας όπως και για τα εδάφη. Από το διάγραμμα αυτό προσδιορίζεται η φαινόμενη γωνία τριβής και η συνάφεια μεταξύ εδάφους-γεωφάσματος. Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζονται τιμές της φαινόμενης γωνίας τριβής μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος σε σχέση με τη γωνία τριβής του εδάφους. Όπως φαίνεται, στη διεπιφάνεια εδάφους-γεωφάσματος ενεργοποιείται διατμητική αντίσταση που αντιστοιχεί σε μεγάλο ποσοστό της διατμητικής αντίστασης του εδάφους και αυτό έχει σημαντική θετική επίδραση στις μεθόδους σχεδιασμού κατασκευών ενισχυμένου ή οπλισμένου εδάφους.

Η δοκιμή εξόλκευσης, που ακόμη δεν έχει προτυποποιηθεί παρέχει πολύ χρήσιμα στοιχεία σχεδιασμού (παραμέτρους αντοχής και συμπεριφορά τάσεων-παραμορφώσεων)για κατασκευές οπλισμένου εδάφους και, γενικότερα, για περιπτώσεις που το γεωφάσμα λειτουργεί σαν αγκύρωση. Επισημαίνεται, ότι η δοκιμή αυτή διαφέρει από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης κατά το ότι το γεωφάσμα είναι εγκιβωτισμένο στο έδαφος (αλληλεπίδραση και στις δύο επιφάνειες του γεωφάσματος) και υφίσταται μεγάλες παραμορφώσεις κατά την εφαρμογή της δύναμης εξόλκευσης. Τα αποτελέσματα, σε σχέση με τη φαινόμενη γωνία τριβής, διαφέρουν ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των πρωτογενών

δεδομένων. Συνήθως, προκύπτει τιμή μικρότερη από την τιμή της γωνίας τριβής του εδάφους αλλά και μικρότερη από αυτήν που προκύπτει από δοκιμές άμεσης διάτμησης με τα ίδια υλικά. Η εντατική κατάσταση που δημιουργείται τόσο στο γεώφασμα όσο και στη διεπιφάνεια εδάφους-γεώφασματος είναι πολύπλοκη. Έχει πάντως επιβεβαιωθεί ότι η συμπεριφορά σε εφελκυσμό (τάσεις-παραμορφώσεις) του εγκιβωτισμένου γεωφάσματος διαφέρει σημαντικά από τη συμπεριφορά που προκύπτει με βάση τις προαναφερθείσες δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στο σχήμα 5.3 (β).

### **5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ.**

#### Ερπυσμός:

Η επιμήκυνση των γεωφασμάτων υπό σταθερό φορτίο αναφέρεται γενικά σαν ερπυσμός. Η ποσοτικοποίηση αυτής της συμπεριφοράς είναι σημαντική διότι τα πολυμερή θεωρούνται συχνά ως υλικά «ευαίσθητα» σε φαινόμενα ερπυσμού. Ο εφελκυστικός ερπυσμός μελετάται εργαστηριακά σύμφωνα με το πρότυπο D5262 της ASTM για γεωσυνθετικά. Η συμπεριφορά σε ερπυσμό των γεωφασμάτων βελτιώνεται όταν αυτά είναι εγκιβωτισμένα σε έδαφος (McGown et al, 1982).

#### Αντίσταση σε Απόξεση:

Η φθορά και απώλεια υλικού ενός γεωφάσματος κατά τη διάρκεια του λειτουργικού χρόνου ζωής του στο πεδίο μπορεί να προκαλέσει αστοχία του συστήματος έδαφος-γεώφασμα. Η αντίσταση γεωφάσματος σε απόξεση εκτιμάται εργαστηριακά σύμφωνα με το πρότυπο D4886 της ASTM για

γεωυφάσματα και ποσοτικοποιείται σαν ποσοστό του φορτίου θραύσης σε μονοαξονικό εφελκυσμό (ASTM D1682).

#### Απόφραξη :

Το πιο σημαντικό, ίσως, ερώτημα σε σχέση με την ανθεκτικότητα γεωυφάσματος στο χρόνο είναι αν θα υποστεί μερική ή ολική απόφραξη λόγω υλικών που μεταφέρουν στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του οι ροές από το ανάντη έδαφος. Η μελέτη του φαινομένου μπορεί να γίνει με χρήση διαπερατόμετρου όπου το γεωυφάσμα τοποθετείται κάτω από στρώση εδάφους. Το σύστημα εδάφους-γεωυφάσματος υποβάλλεται σε ροή υπό σταθερό υδραυλικό φορτίο και μετράται η παροχή σε τακτά χρονικά διαστήματα (Koerner 1990). Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ο μεγάλος απαιτούμενος χρόνος (1000 ώρες ή και περισσότερο) για την ολοκλήρωσή της και η πιθανή ανάπτυξη βακτηρίων ή άλλων οργανισμών στο διαπερατόμετρο.

Η μέθοδος που περιγράφεται στο πρότυπο D5101 της ASTM για γεωυφάσματα (μέθοδος του λόγου υδραυλικών κλίσεων) βασίζεται στη μέτρηση απωλειών υδραυλικού φορτίου και όχι παροχών και ολοκληρώνεται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα (λίγες ημέρες). Τέλος ένα άλλο πρότυπο της ASTM (D1987) χρησιμοποιείται για τη μελέτη της απόφραξης γεωυφάσματος ή συστήματος εδάφους-γεωυφάσματος από βιολογικούς παράγοντες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ

#### Αντίσταση σε χημικά.

Η αντίσταση των γεωφασμάτων στη δράση διαφόρων χημικών ουσιών ή μειγμάτων είναι, ουσιαστικά, η αντίσταση που παρουσιάζουν τα διάφορα πολυμερή από τα οποία κατασκευάζονται τα γεωφάσματα. Το αντικείμενο καλύπτεται από το πρότυπο D543 της ASTM που αφορά την αντίσταση των πλαστικών σε χημικά αντιδραστήρια και από το πρότυπο για γεωσυνθετικά D5322 της ASTM που καθορίζει τη διαδικασία εμβάπτισης των γεωσυνθετικών σε ρευστές χημικές ουσίες (υγρά, απόβλητα, στραγγίσματα ή άλλα χημικά του περιβάλλοντος λειτουργίας τους). Συνήθως, πληροφορίες για την αντίσταση σε χημικά είναι διαθέσιμες μέσω των παραγωγών των πρώτων υλών και των κατασκευαστών γεωφασμάτων.

#### Αντίσταση σε θερμότητα.

Η ευστάθεια των γεωφασμάτων έναντι μεταβολών της θερμοκρασίας (από  $-40^{\circ}\text{C}$  ως  $100^{\circ}\text{C}$ ) μελετάται εργαστηριακά σύμφωνα με το πρότυπο για γεωφάσματα D4594 της ASTM. Η επίδραση της θερμοκρασίας εκτιμάται σαν ποσοστό του φορτίου θραύσης του γεωφάσματος σε δοκιμές εφελκυσμού λωρίδας. Τονίζεται ότι η ανάπτυξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών στο πεδίο, για παράδειγμα κατά την επικάλυψη γεωφάσματος με άσφαλτο, μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη ή φθορά αφού το σημείο τήξης του πολυπροπυλενίου και του πολυεστέρα είναι  $163^{\circ}\text{C}$  και  $249^{\circ}\text{C}$ , αντίστοιχα.

#### Αντίσταση σε υπεριώδη ακτινοβολία και καιρικές συνθήκες.

Η έκθεση των γεωφασμάτων στην επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας του φάσματος του ηλιακού φωτός πρέπει να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται αφού αυτό μπορεί να προκαλέσει ταχεία μείωση της αντοχής. Το πολυπροπυλένιο, για παράδειγμα, όταν δεν έχει υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην υπεριώδη ακτινοβολία. Η μελέτη της συμπεριφοράς των γεωφασμάτων ενάντι υπεριώδους ακτινοβολίας και νερού γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο για γεωφάσματα D4355 της ASTM και ποσοτικοποιείται σαν ποσοστό του φορτίου θραύσης σε δοκιμή εφελκυσμού λωρίδας.

#### Λοιποί παράγοντες αποδόμησης.

Στους παράγοντες που πιθανόν να προκαλέσουν αποδόμηση των γεωφασμάτων συγκαταλέγονται η δράση μικροοργανισμών (βιοαποδόμηση), η απορρόφηση υγρασίας από τις ίνες (υδρόληση), η έκθεση σε ποσότητες όζοντος, και βλάβες από τρωκτικά ή τερμίτες. Τα πολυμερή από τα οποία κατασκευάζονται τα γεωφάσματα έχουν πολύ μεγάλο μοριακό βάρος και δεν είναι εύκολο να βιοαποδομηθούν. Πιο ευπαθείς ουσίες είναι τα διάφορα πρόσθετα (όπως πλαστικοποιητές) που αναμειγνύονται με το πολυμερές κατά την κατασκευή των ινών. Η υδραπορροφητικότητα των ινών είναι μικρή και συνεπώς, δεν δημιουργούνται προβλήματα (μείωση αντοχής, μείωση διαπερατότητας) όταν αυξηθεί η υγρασία των ινών.

Προβλήματα πιθανόν να υπάρξουν σε περιπτώσεις που το νερό είναι έντονα αλκαλικό ή όξινο. Η δράση του όζοντος περιορίζεται μόνο σε ορισμένες κλιματολογικές συνθήκες και σε εκτεθειμένα γεωφάσματα. Τέλος, η δράση των τρωκτικών ή άλλων ζώων είναι εντελώς τοπικός παράγων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

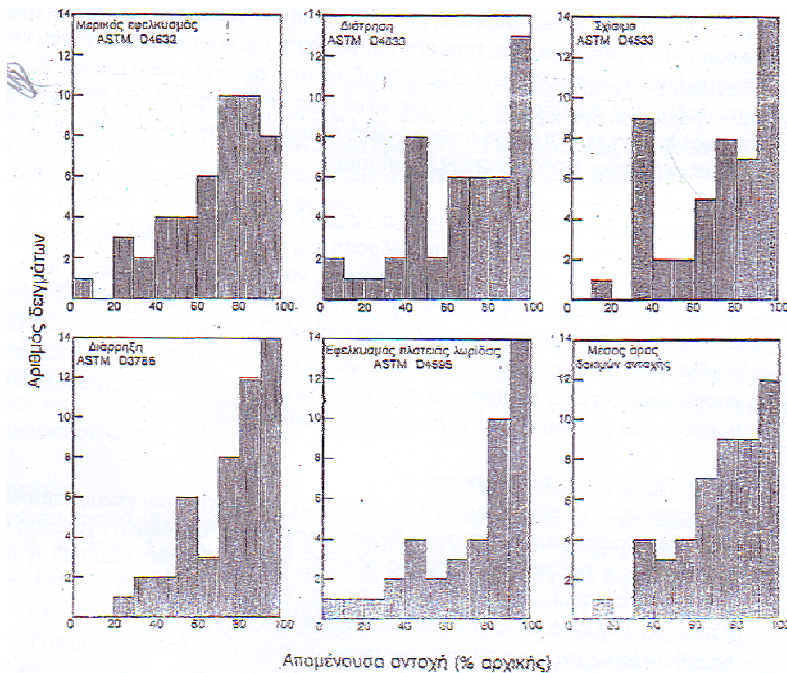
### 7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ

#### 7.1 ΦΘΟΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες, μηχανικές δράσεις και ροές μέσω του γεωφάσματος μπορεί να προκαλέσουν, με την πάροδο του χρόνου, μείωση της λειτουργικότητας του γεωφάσματος. Αναγνωρίζεται, όμως, ότι σημαντική φθορά του γεωφάσματος μπορεί να προκληθεί και κατά το στάδιο της τοποθέτησής του στο πεδίο. Σε μερικές περιπτώσεις τα φορτία που δέχεται το γεωφάσμα στο στάδιο της τοποθέτησης μπορεί να είναι πιο μεγάλα από τα φορτία λειτουργίας (σχεδιασμού). Τα αποτελέσματα σχετικής διερεύνησης παρουσιάζονται από τον Koerner(1990). Χρησιμοποιήθηκαν περίπου πενήντα δείγματα υφασμένων και μη υφασμένων γεωφασμάτων με εμβαδόν περίπου 1 m<sup>2</sup> το κάθε ένα. Τα δείγματα πάρθηκαν λίγες ώρες ή μέρες μετά την τοποθέτησή τους στο πεδίο και προέρχονται από ποικιλία κατασκευών όπως αναχώματα, έργα οδοποιίας, τοίχους αντιστήριξης και στραγγιστήρια. Δοκίμια προερχόμενα από αυτά τα δείγματα υποβλήθηκαν στο εργαστήριο σε δοκιμές αντοχής (εφελκυσμού, διάτρησης, διάρρηξης, σχισίματος) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.1 σαν ποσοστά των αντίστοιχών αντοχών πριν την τοποθέτηση των γεωφασμάτων. Φαίνεται καθαρά ότι οι αντοχές μειώθηκαν σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αλλά το ποσοστό μείωσης των αντοχών κυμαίνεται σημαντικά. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται συντελεστής ασφαλείας με τιμή ως και 3 για να καλύπτονται οι πιθανότητες φθοράς του γεωφασμάτος κατά την τοποθέτηση. Ο Koerner αναφέρει ακόμη ότι έγιναν μετρήσεις του αριθμού των οπών που δημιουργήθηκαν στα γεωφάσματα. Περίπου 35% των δειγμάτων δεν είχαν οπές, άλλα 35% είχαν ως 10 οπές, και στα υπόλοιπα μετρήθηκαν οπές που



έφτασαν περίπου 100 ανά m<sup>2</sup>. Για τα δείγματα που εμφάνισαν οπές η συνολική επιφάνεια των οπών ήταν ως 1% της επιφάνειας του δείγματος για το 40% των δειγμάτων αλλά υπήρξαν και περιπτώσεις που το ποσοστό αυτό έφτασε στο 10% και στο 30%. Γίνεται προφανές ότι κάτω από τέτοιες συνθήκες το γεωφάσμα πολύ δύσκολα ανταποκρίνεται σε λειτουργία φίλτρου.



Σχήμα 7.1 Φθορά γεωφασμάτων κατά την τοποθέτηση.



## 7.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ, ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ, ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Ο καθορισμός των λειτουργιών, η παράθεση μεγάλου αριθμού εφαρμογών και η περιγραφή των μεθόδων προσδιορισμού των ιδιοτήτων των γεωφασμάτων υποδεικνύουν συσχετισμούς που υπάρχουν μεταξύ των λειτουργιών, των ιδιοτήτων και των εφαρμογών, όπως αυτοί συνοψίζονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2. Παρ'όλο που για πολλές εφαρμογές είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί σαν κύρια η μία από τις τέσσερις βασικές λειτουργίες, οι υπόλοιπες μπορεί να διαδραματίζουν ουσιώδη δευτερεύοντα ρόλο. Επί πλέον, ο συσχετισμός μιας λειτουργίας με μια κύρια ιδιότητα και όχι με το σύνολο των απαραίτητων

ιδιοτήτων, μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα στο σχεδιασμό ή στην επιλογή γεωφάσματος για μια κατασκευή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1 Σχέσεις λειτουργιών και εφαρμογών των γεωφασμάτων**

Εφαρμογές	Λειτουργίες			
	Διαχωρισμός	Οπλισμός	Φιλτράρισμα	Στράγγιση
Δρόμοι χωρίς επίστρωμα (κάτω από βάση)	●	●	●	●
Προστασία γεωμεμβρανών	●	●	●	●
Μεταξύ παλαιού και νέου ασφαλτοτάπητα	●	●	●	●
Κάτω από επιχώματα σε μαλακά εδάφη	●	●	●	●
Τοίχοι αντιστήρ. από οπλισμένο έδαφος	●	●	●	●
Πρανή από οπλισμένο έδαφος	●	●	●	●
Ενίσχυση αναχωμάτων στη βάση τους	●	●	●	●
Εύκαμπτος "ξυλότυπος"	●	●	●	●
Προστασία εδαφών από διάβρωση	●	●	●	●
Φράκτες ιλύος	●	●	●	●
Στράγγιση τοίχων αντιστήριξης	●	●	●	●
Προστασία στραγγιστ. από αδρανή υλικά	●	●	●	●
Στραγγιστήριο με ροή υπό πίεση	●	●	●	●
Στραγγιστήριο με ροή λόγω βαρύτητας	●	●	●	●

 Κύρια λειτουργία για την εφαρμογή
  Μη σημαντική λειτουργία για την εφαρμογή

Για παράδειγμα, η τοποθέτηση γεωφάσματος μεταξύ υπόβασης και βάσης ή μεταξύ εδάφους θεμελίωσης και αναχώματος σε δρόμους χωρίς επίστρωση γίνεται προφανώς για λόγους διαχωρισμού των δύο ανόμοιων υλικών. Στην περίπτωση αυτή, οι κύριες ιδιότητες που ελέγχονται κατά το σχεδιασμό αφορούν θέματα αντοχής του γεωφάσματος (συμπεριφορά σε εφελκυσμό, αντοχή σε διάτρηση, σε διάρρηξη, σε σχίσιμο). Θα ήταν όμως ουσιώδης παράλειψη να μην ελεγχθούν η πορομετρία (φαινόμενο μέγεθος κενών) και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του γεωφάσματος ώστε να αποφεύγεται ανάμειξη των δύο υλικών και δημιουργία υψηλών πιέσεων του νερού των πόρων.

Στον Πίνακα 7.1 συσχετίζονται εφαρμογές και λειτουργίες των γεωφασμάτων και γίνεται εκτίμηση της σπουδαιότητας κάθε λειτουργίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Βεβαίως, η κλιμάκωση της σημασίας, που έχει η κάθε βασική λειτουργία για κάθε εφαρμογή, είναι ποιοτική αλλά τονίζεται η ανάγκη για

σχεδιασμό των έργων για ταυτόχρονες πολλαπλές λειτουργίες των γεωφασμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2 Σχέσεις λειτουργιών και ιδιοτήτων των γεωφασμάτων

Ιδιότητες	Λειτουργίες			
	Διαχωρισμός	Οπλισμός	Φιλτράρισμα	Στράγγιση
Πάχος	○	○	○	●
Αντοχή σε εφελκυσμό	●	●	○	○
Μέτρο εφελκυσμού	●	●	○	○
Αντοχή σε διάρρηξη	●	◐	○	○
Αντοχή σε διάτρηση	●	◐	○	○
Αντοχή σε σχίσσιμο	●	◐	○	○
Αντοχή σε κρούση	◐	◐	◐	◐
Αντοχή συρραφής	●	●	○	○
Συμπίεστικότητα	○	○	◐	●
Φαινόμενη γωνία τριβής	○	●	○	○
Πορώδες	○	○	◐	◐
Ποσοστό ελεύθερης επιφάνειας	◐	○	◐	○
Φαινόμενο μέγεθος κενών	◐	○	●	●
Υδραυλική επιτρεπτότητα	○	○	●	○
Υδραυλική μεταβιβασιμότητα	○	○	○	●
Ερπυσμός	○	●	○	◐
Απόξεση	◐	◐	◐	◐
Απόφραξη	○	○	◐	◐
Αποδόμηση	◐	◐	◐	◐

● Ιδιότητα σημαντική για τη λειτουργία  
 ◐ Ιδιότητα που μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία  
 ○ Ιδιότητα που δεν επηρεάζει τη λειτουργία

Οι σχέσεις μεταξύ λειτουργιών και ιδιοτήτων των γεωφασμάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 7.2. Είναι προφανές ότι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ανθεκτικότητα ενός γεωφάσματος στην πάροδο του χρόνου και στη δράση περιβαλλοντικών παραγόντων είναι σημαντικές σε σχέση με οποιαδήποτε από τις βασικές λειτουργίες που μπορεί να κληθεί το γεωφάσμα να επιτελέσει. Η συμπεριφορά σε εφελκυσμό (τάσεις-παραμορφώσεις-αντοχή) είναι ουσιώδης ιδιότητα για τις κύριες μηχανικές λειτουργίες των γεωφασμάτων, δηλαδή για διαχωρισμό, ενίσχυση και οπλισμό εδαφών. Η διαπερατότητα (επιτρεπτότητα, μεταβιβασιμότητα) και η πορομετρία (πορώδες, κατανομή κενών, φαινόμενο

μέγεθος κενών) είναι ουσιώδεις ιδιότητες για τις κύριες υδραυλικές λειτουργίες των γεωφασμάτων, δηλαδή για στράγγιση και φιλτράρισμα. Τέλος, η συμπιεστότητα και το πάχος του γεωφάσματος είναι βασικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπ' όψη στο σχεδιασμό έργων όπου το γεωφάσμα λειτουργεί σαν στραγγιστήριο.

### 7.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΙΜΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Έχει είδη οριστεί ότι ο συντελεστής ασφαλείας, FS, για συγκεκριμένη ιδιότητα υπολογίζεται από το λόγο δύο τιμών της ιδιότητας, δηλαδή, από το λόγο της διαθέσιμης τιμής (που προκύπτει από τον εργαστηριακό έλεγχο του γεωφάσματος) προς την απαιτούμενη τιμή (που προκύπτει από υπολογισμούς βάσει μιας μεθόδου σχεδιασμού). Πολλές φορές, τιμές των ιδιοτήτων που προκύπτουν από δοκιμές σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα αντιπροσωπεύουν ιδανικές συνθήκες και συνεπώς υπάρχει ο κίνδυνος υπερεκτίμησης των πραγματικών ικανοτήτων των γεωφασμάτων. Τα προβλήματα αυτά θα ήταν δυνατόν να ξεπεραστούν αν εκτελούνταν πραγματικές δοκιμές επίδοσης. Όμως δεν είναι πάντοτε δυνατόν να γίνεται ακριβής προσομοίωση των συνθηκών του πεδίου όπως, για παράδειγμα, να χρησιμοποιούνται ρευστά με την ακριβή σύνθεση που θα έχουν στο πεδίο, να εφαρμόζονται μηχανικές καταπονήσεις που θα αναπτυχθούν στο πεδίο, να εκτελούνται δοκιμές ερπυσμού μακράς χρονικής διάρκειας ή να ελέγχονται δοκίμια μεγάλου μεγέθους.

Η διαφορά στις τιμές μιας ιδιότητας, που οφείλεται στις διαφορές των συνθηκών εκτέλεσης της εργαστηριακής δοκιμής και των πραγματικών συνθηκών που επικρατούν στο πεδίο, μπορεί να αμβλυνθεί ή να εξισορροπηθεί με δύο τρόπους: (α) χρήση συντελεστή ασφαλείας, FS, με τιμή υψηλότερη από τη συνηθισμένη ή (β) εισαγωγή προκαταρκτικών ή μερικών συντελεστών ασφαλείας, FS, για τροποποίηση της τιμής που προκύπτει από εργαστηριακή

δοκιμή ώστε να προσεγγιστούν έτσι οι συνθήκες πεδίου. Στη δεύτερη περίπτωση, η διαθέσιμη τιμή μιας ιδιότητας προκύπτει από το λόγο της εργαστηριακής τιμής της ιδιότητας προς το γινόμενο ενός αριθμού μερικών συντελεστών ασφαλείας.

Εφαρμογή	Φθορά στην τοποθέτηση FS <sub>ID</sub>	Ερπυσμός FS <sub>CR</sub>	Χημική αποδόμηση FS <sub>CD</sub>	Βιολογική αποδόμηση FS <sub>BD</sub>
Διαχωρισμός	1,1 - 2,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
Επένδυση γεωμεμβρανών	1,1 - 2,0	1,2 - 1,5	1,0 - 2,0	1,0 - 1,2
Δρόμοι χωρίς επίστρωση	1,1 - 2,0	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
Τοίχοι	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Αναχώματα	1,1 - 2,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Φέρουσα ικανότητα	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Σταθεροποίηση πρηνών	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2	1,0 - 1,3
Ασφαλτοτάπητες	1,1 - 1,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
Σιδηρόδρομοι	1,5 - 3,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2
Εύκαμπτοι "Ξυλότυποι"	1,1 - 1,5	1,5 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
Φράκτες ιλύος	1,1 - 1,5	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1

Εφαρμογή	Απόφραξη από κόκκους εδάφους FS <sub>SC</sub>	Μείωση κενών λόγω ερπυσμού FS <sub>CR</sub>	Διεισδύσεις στα κενά FS <sub>IN</sub>	Χημική απόφραξη FS <sub>CC</sub>	Βιολογική απόφραξη FS <sub>BC</sub>
Φίλτρα τοίχων αντιστήριξης	2,0 - 4,0	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2	1,0 - 1,2	1,0 - 1,3
Φίλτρα στραγγιστηρίων	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,2 - 1,5
Φίλτρα ελέγχου διάβρωσης	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5
Φίλτρα περιοχών απόθεσης	2,0 - 4,0	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,5 - 3,0
Στράγγιση με βαρύτητα	2,0 - 4,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,2	1,2 - 1,5	1,2 - 1,5
Στράγγιση υπό πίεση	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,2	1,1 - 1,3	1,1 - 1,3

Πίνακας 7.3 κ 7.4 Μερικοί συντελεστές ασφαλείας για ιδιότητες αντοχής γεωφασμάτων κ για υδραυλικές ιδιότητες γεωφασμάτων.

Για προβλήματα που αναφέρονται στην αντοχή του γεωφάσματος προτείνεται η χρήση των μερικών συντελεστών ασφαλείας που δίνονται στον πίνακα 7.3 και ο προσδιορισμός της διαθέσιμης τιμής της ιδιότητας ως εξής:

$$\text{Διαθέσιμη τιμή} = \text{Εργαστηριακή τιμή} / (\text{FS}_{ID} \times \text{FS}_{CR} \times \text{FS}_{CD} \times \text{FS}_{BD}) \quad (7.1)$$

όπου FS<sub>ID</sub>, FS<sub>CR</sub>, FS<sub>CD</sub> και FS<sub>BD</sub> είναι οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας για φθορά κατά την τοποθέτηση, ερπυσμό, χημική αποδόμηση και βιοαποδόμηση

του γεωφάσματος, αντίστοιχα. Για προβλήματα που αναφέρονται στις υδραυλικές ιδιότητες του γεωφάσματος, προτείνεται (Koerner 1990) η χρήση των μερικών συντελεστών ασφαλείας που δίνονται στον πίνακα 7.4 και ο προσδιορισμός της διαθέσιμης τιμής της ιδιότητας ως εξής:

$$\text{Διαθέσιμη τιμή} = \text{Εργαστηριακή τιμή} / (\text{FS}_{\text{SC}} \times \text{FS}_{\text{CR}} \times \text{FR}_{\text{IN}} \times \text{FS}_{\text{CC}} \times \text{FS}_{\text{BC}}) \quad (7.2)$$

όπου  $\text{FS}_{\text{SC}}$ ,  $\text{FS}_{\text{CR}}$ ,  $\text{FR}_{\text{IN}}$ ,  $\text{FS}_{\text{CC}}$  και  $\text{FS}_{\text{BC}}$  είναι οι μερικοί συντελεστές ασφαλείας για απόφραξη από κόκκους εδάφους, μεταβολή των κενών λόγω ερπυσμού, διείσδυση γειτονικών υλικών στα κενά, χημική απόφραξη και βιολογική απόφραξη του γεωφάσματος, αντίστοιχα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

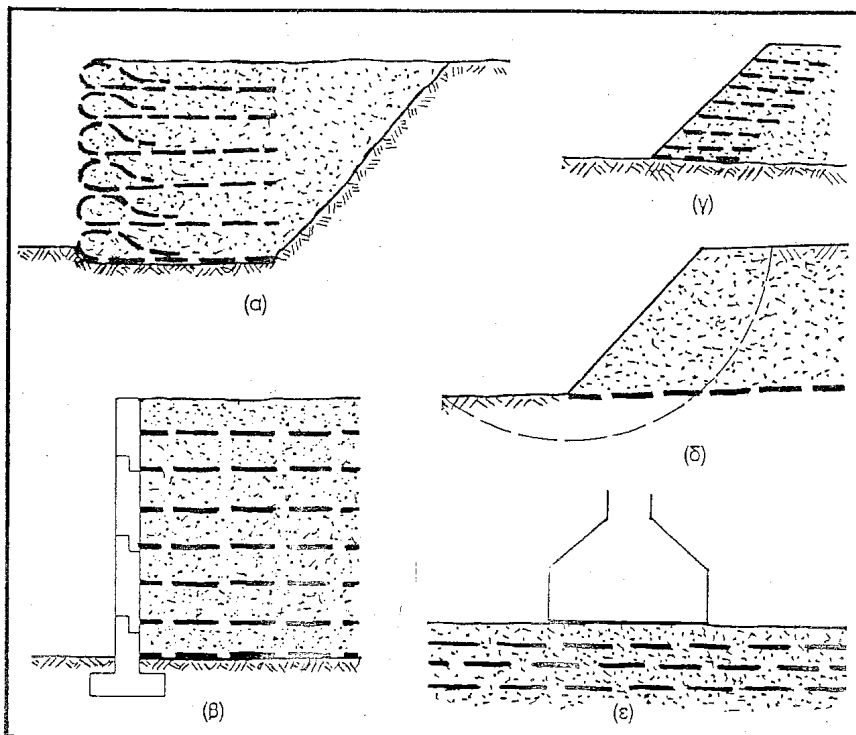
### **8 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ**

#### **8.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ**

Το οπλισμένο έδαφος είναι ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από εδαφικό υλικό στη μάζα του οποίου έχει ενσωματωθεί οπλισμός, δηλαδή, ενθέματα ανθεκτικά σε ελκυσμό. Αντικειμενικός σκοπός της εισαγωγής των οπλισμών στην εδαφική μάζα είναι η βελτίωση της συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού τόσο από πλευράς μέγιστης διατμητικής αντοχής όσο και από πλευράς παραμορφώσεων. Οι οπλισμοί μπορεί να έχουν τη μορφή ράβδων, λωρίδων, πλεγμάτων, φύλλων ή ινών τυχαίου προσανατολισμού και να είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο, πλαστικό ή φυσικά υλικά. Για τον οπλισμό εδάφους γίνεται σήμερα εκτεταμένη χρήση γεωυφασμάτων και γεωπλεγμάτων. Τυπικές περιπτώσεις εδάφους οπλισμένου με γεωσυνθετικά υλικά παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.1.

Από εργαστηριακές δοκιμές σε δοκίμια οπλισμένου εδάφους με ποικιλία οπλισμών έχει προκύψει η μορφή της περιβάλλουσας αστοχίας του σύνθετου υλικού που φαίνεται στο Σχήμα 8.2. Στην περιοχή όπου η ορθή τάση είναι μικρότερη από μία κρίσιμη τιμή, δεν η αστοχία οφείλεται σε ολίσθηση του οπλισμού σε σχέση με το έδαφος, ενώ στην περιοχή που είναι μεγαλύτερη σε θραύση ή έντονη παραμόρφωση του οπλισμού. Η λειτουργία του οπλισμένου εδάφους ερμηνεύεται με βάση την εντατική κατάσταση ενός στοιχείου του σύνθετου υλικού (ανάπτυξη ισοδύναμης πλευρικής τάσης, ανάπτυξη ανισότροπης συνοχής, αύξηση της διατμητικής αντοχής στο επίπεδο αστοχίας) ή με βάση τη μεταβολή του πεδίου παραμορφώσεων σε σχέση με αυτό του μη οπλισμένου εδάφους (Ingold 1982, Jones 1985). Επισημαίνεται ότι, σε αντίθεση με τη λειτουργία του οπλισμού σε διατομές οπλισμένου σκυροδέματος

(παραλαβή αναπτυσσόμενων τάσεων ελκυσμού), η αποστολή του ολισμού στο οπλισμένο έδαφος είναι να μειώσει ή να μηδενίσει τις ορθές παραμορφώσεις του εδαφικού υλικού. Η αλληλεπίδραση εδάφους και γεωφάσματος-οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στην επιφάνεια επαφής των δύο υλικών. Κατά συνέπεια, αναπτύσσονται στο γεώφασμα παραμορφώσεις ελκυσμού και το υλικό καταπονείται σε εφελκυσμό.

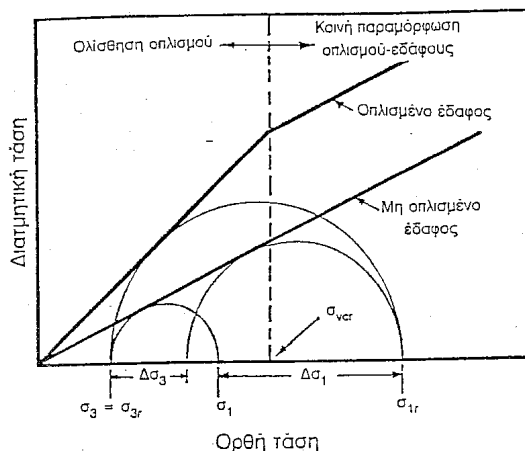


Σχήμα 8.1 Τυπικές περιπτώσεις εδάφους οπλισμένου με γεωσυνθετικά (α) και (β) τοίχος αντιστήριξης, (γ) πρανές, (δ) ενίσχυση βάσης αναχώματος, (ε) βελτίωση φέρουσας ικανότητας.

Ο ασφαλής και οικονομικός σχεδιασμός κατασκευών από έδαφος οπλισμένο με γεώφασμα προϋποθέτει τη γνώση είτε της μηχανικής συμπεριφοράς του σύνθετου υλικού(έδαφος + γεώφασμα) είτε της μηχανικής συμπεριφοράς των επιμέρους συστατικών του και του μηχανισμού αλληλεπίδρασης στην επιφάνεια επαφής μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος. Παρ' όλο που η μηχανική συμπεριφορά του σύνθετου υλικού έχει διερευνηθεί εκτεταμένα, προς το παρόν,



δεν είναι διαθέσιμη μια γενικευμένη καταστατική εξίσωση που να περιέχει τις κύριες παραμέτρους του εδαφικού υλικού και του οπλισμού. Κατά συνέπεια, οι διαθέσιμες μεθοδολογίες σχεδιασμού κατασκευών από εδαφικό υλικό οπλισμένο με γεωφάσμα (Ingold 1982, Jonew 1985, van Zanten 1986, John 1987, Koerner 1990, Ingold 1994) βασίζονται και χρησιμοποιούν ως δεδομένα (α) τη μηχανική συμπεριφορά και τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής του εδάφους, που προσδιορίζονται με βάση κλασσικές πρότυπες εργαστηριακές δοκιμές, (β) τη μηχανική συμπεριφορά και αντοχή σε εφελκυσμό του γεωφάσματος, που προκύπτουν από κατάλληλη εργαστηριακή δοκιμή όπως είναι η δοκιμή εφελκυσμού πλατειάς λωρίδας και (γ) τη φαινόμενη γωνία τριβής,  $\delta$ , και τη συνάφεια,  $c_a$ , μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος, που εκτιμώνται από τα αποτελέσματα δοκιμών άμεσης διάτμησης ή εξόλκευσης.



Σχήμα 8.2 Περιβάλλουσα και τύποι αστοχίας οπλισμένου εδάφους.

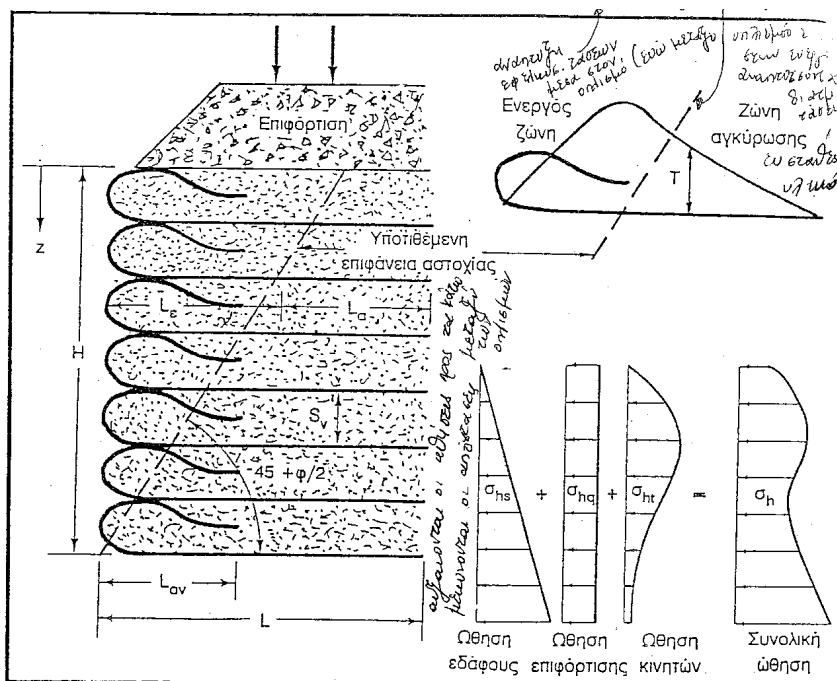
## 8.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι τοίχοι αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεωφάσμα έχουν συνήθως τη μορφή που φαίνεται στο Σχ. 8.3. Οι τοίχοι αυτοί εδράζονται απ' ευθείας στο φυσικό έδαφος, που έχει υποστεί κατάλληλη προετοιμασία με απομάκρυνση ακατάλληλων υλικών και ελαφρά συμπύκνωση. Αποτελούνται από επάλληλες

στρώσεις γεωφάσματος και συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού που είναι, κατά προτίμηση, χονδρόκοκκο και στραγγίζει ελεύθερα. Το πάχος κάθε στρώσεις κυμαίνεται συνήθως από 20 cm ως 50 cm. Η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου διαμορφώνεται με αναδίπλωση του γεωφάσματος και αγκύρωσή του στο εσωτερικό της αντίστοιχης εδαφικής στρώσης ή με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων για τη διαμόρφωση ελαφρού πετάσματος με το οποίο συνδέονται οι στρώσεις γεωφάσματος. Για το σχεδιασμό τοίχων αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεωφάσμα έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι (Lee et al. 1973, Steward et al.1977, Broms 1978, Bonaparte et al.1987, Leshchinsky and Parry 1987, Schmartzmann et al. 1987). Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων καταλήγει σε αποτελέσματα που παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Από συγκριτική μελέτη του περιεχομένου των μεθόδων και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή έξι διαφορετικών μεθόδων στο σχεδιασμό συγκεκριμένων τοίχων αντιστήριξης (Claybourn and Wu 1993) προέκυψε ότι οι διαφορές στα αποτελέσματα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις ουσιώδεις διαφορές μεταξύ των μεθόδων ως προς τον ορισμό των συντελεστών ασφαλείας και της διαθέσιμης ή επιτρεπόμενης αντοχής σε εφελκυσμό του γεωφάσματος και σε μικρότερο βαθμό στις διαφορές των μεθόδων ανάλυσης. Για παράδειγμα, προέκυψε ότι αν η εργαστηριακή τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του γεωφάσματος είναι  $T_e=52,6$  kN/m, η ποσότητα απαιτούμενου οπλισμού ανά μέτρο μήκους του τοίχου κυμαίνεται από 3 m<sup>2</sup> ως 67 m<sup>2</sup> για τοίχο ύψους 3,6 m και από 77 m<sup>2</sup> ως 957 m<sup>2</sup> για τοίχο ύψους 9,1 m, ανάλογα με τη μέθοδο σχεδιασμού που εφαρμόζεται.

Ακολουθώς παρουσιάζεται η μεθοδολογία που έχει την ευρύτερη αποδοχή (Koerner 1990, Ingad 1994). Όπως φαίνεται στο Σχ. 8.3 η μάζα του οπλισμένου εδάφους διαχωρίζεται σε δύο περιοχές με ένα επίπεδο 'αστοχίας' που διέρχεται από τον όνυχα του τοίχου και σχηματίζει γωνία  $45 + \phi/2$  με την οριζόντια, όπου  $\phi$  είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του εδαφικού υλικού πλήρωσης (επίχωμα) που χρησιμοποιείται. Στην εμπρόσθια περιοχή, που ονομάζεται ενεργός ζώνη η

αλληλεπίδραση μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη παραμορφώσεων ελκυσμού και, κατά συνέπεια, τάσεων ελκυσμού στο γεωφάσμα. Η δύναμη ελκυσμού που παραλαμβάνει το γεωφάσμα αυξάνει με την απόσταση από την εξωτερική επιφάνεια του τοίχου και υποτίθεται ότι λαμβάνει τη μέγιστη τιμή όπως στο όριο ενεργού ζώνης. Στην οπίσθια περιοχή, που ονομάζεται ζώνη αγκύρωσης, η δύναμη ελκυσμού που έχει αναπτυχθεί στο γεωφάσμα μεταφέρεται σταδιακά στο έδαφος μέσω του μηχανισμού αλληλεπίδρασης εδάφους- γεωφάσματος. Η κατανομή όπως δύναμης ελκυσμού στο γεωφάσμα φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 8.3.



Σχήμα 8.3 Στοιχεία σχεδιασμού τοίχου αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεωφάσμα (α) γεωμετρικά στοιχεία, (β) κατανομή δύναμης ελκυσμού στο γεωφάσμα, (γ) ωθήσεις.

Η διαδικασία σχεδιασμού βασίζεται στον έλεγχο τόσο όπως εσωτερικής όσο και όπως εξωτερικής ευστάθειας του τοίχου. Κατ'άρχην υπολογίζεται η κατανομή των ωθήσεων του εδάφους που οφείλονται στο επίχωμα και σε τυχόν άλλα

φορτία, όπως ομοιόμορφα κατανεμημένη επιφόρτιση, συγκεντρωμένα φορτία και κινητά φορτία. Οι ωθήσεις του επιχώματος,  $\sigma_{hs}$ , θεωρούνται γραμμικά κατανεμημένες και υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το συντελεστή ενεργητικών ωθήσεων,  $K_a$ , του εδάφους από τη σχέση :  $\sigma_{hs} = K_a \gamma z$ .

Οι ωθήσεις από άλλα φορτία υπολογίζονται όπως και για συμβατικούς τοίχους αντιστήριξης με βάση τη θεωρία Boussinesq και ελαστικές λύσεις και χρησιμοποιώντας κατάλληλα νομογραφήματα από σχετικά βοηθήματα (π.χ NAVFAC 1982).

Ο έλεγχος εσωτερικής αστάθειας αποσκοπεί στον προσδιορισμό της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων γεωφάσματος, του μήκους του γεωφάσματος πίσω από τον τοίχο και του μήκους αναδίπλωσης του γεωφάσματος. Για την εκτέλεση των υπολογισμών απαιτείται κατ' αρχήν η εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της αντοχής εφελκυσμού,  $T_\delta$ , σύμφωνα με την εξίσωση 7.3 και τους μερικούς συντελεστές ασφάλειας που δίνονται στον Πίνακα 7.3. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών στρώσεων γεωφάσματος,  $S_v$ , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, θεωρώντας ισορροπίες κατά την οριζόντια έννοια:

$$S_v = T_\delta / \sigma_h FS ; \quad (8.1)$$

όπου  $\sigma_h$  είναι η συνολική ώθηση στο εξεταζόμενο βάθος και FS ο συντελεστής ασφάλειας που τίθεται ίσος με 1,3 ως 1,5 εφ' όσον η διαθέσιμη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό έχει προσδιοριστεί κατά τα ανωτέρω.

Το μήκος του γεωφάσματος,  $L$ , πίσω από τον τοίχο είναι το άθροισμα του μήκους του γεωφάσματος μέσα στην ενεργό ζώνη,  $L_\varepsilon$ , και του μήκους αγκύρωσης,  $L_a$ . Το μήκος στην ενεργό ζώνη προσδιορίζεται από τη γεωμετρία της και ισούται με

$$L_\varepsilon = (H-z) \tan (45-\varphi/2) \quad (8.2)$$

Όπου  $H$  είναι το συνολικό ύψος του τοίχου,  $z$  είναι η απόσταση του γεωφάσματος από την κορυφή του τοίχου και  $\varphi$  είναι η γωνία τριβής του επιχώματος. Το μήκος αγκύρωσης,  $L_a$ , υπολογίζεται θεωρώντας και πάλι ισορροπία κατά την οριζόντια έννοια:

$$L_a = S_v \sigma_h FS / 2(c_a + \gamma z \tan \delta) \quad (8.3)$$

Όπου:  $L_a > 1,0m$

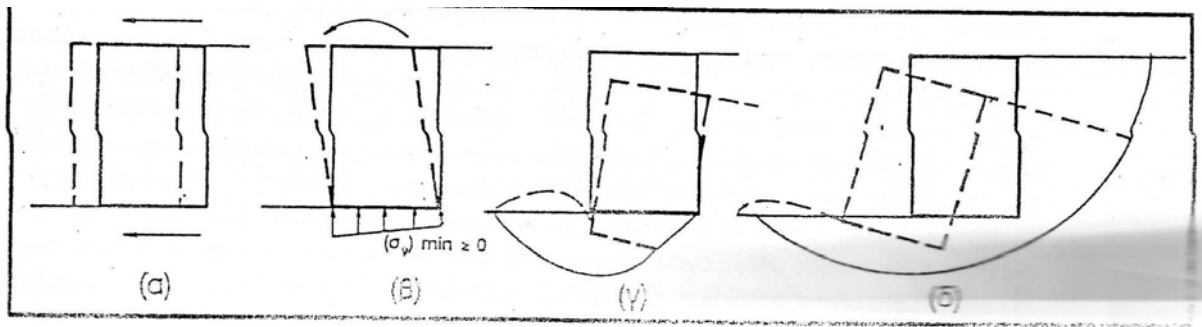
Όπου  $\delta$  και  $c_a$  είναι η φαινόμενη γωνία τριβής και η συνάφεια, αντίστοιχα, μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος. Συνιστάται το μήκος αγκύρωσης να μην είναι μικρότερο του 1,0 m.

Το μήκος αναδίπλωσης,  $L_{av}$ , υπολογίζεται για απόσταση  $z$  από την κορυφή του τοίχου ως το μέσο του εξεταζόμενου στρώματος και για ένα ποσοστό των ωθήσεων του εδάφους που τίθεται προσεγγιστικά ίσο προς το 50%. Η απομείωση των ωθήσεων δικαιολογείται από το γεγονός ότι το φορτίο (τάση εφελκυσμού) στο γεώφασμα είναι μέγιστο στην περιοχή του επιπέδου ‘αστοχίας’ που διαχωρίζει την ενεργό ζώνη από τη ζώνη αγκύρωσης και μειώνεται αισθητά εκατέρωθεν του επιπέδου αυτού (Σχήμα 8.3). Κατά συνέπεια, και θεωρώντας ισορροπία κατά την οριζόντια έννοια, προκύπτει:

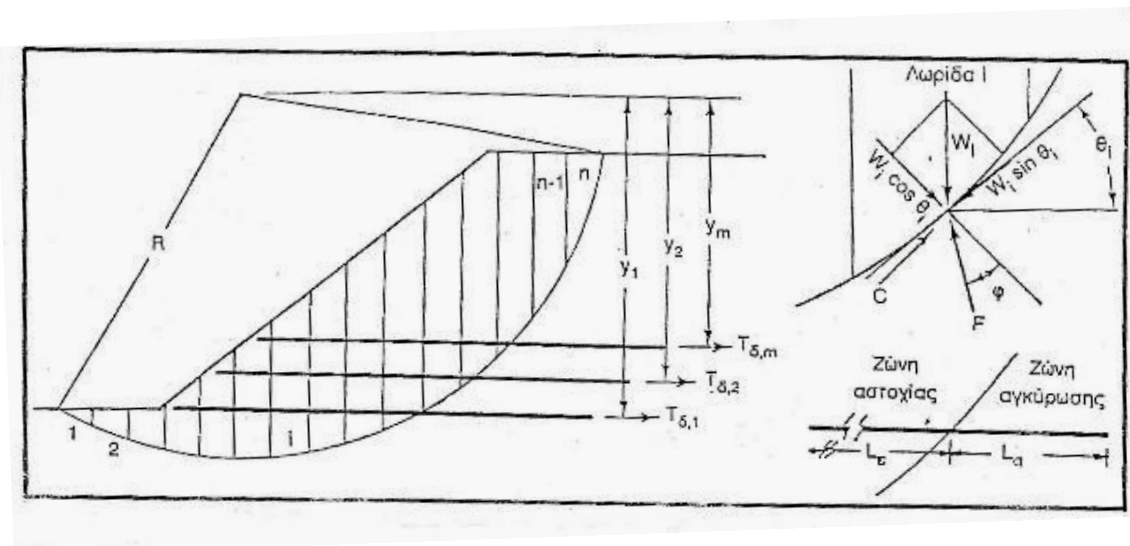
$$L_{av} = S_v \sigma_h F S / 4(c_a + \gamma z \tan \delta) \quad (8.4)$$

Όπου:  $L_{av} > 1,0m$

Συνιστάται το μήκος αναδίπλωσης να μην είναι μικρότερο του 1m. Ο έλεγχος εξωτερικής ευστάθειας εκτελείται όπως και για τους συμβατικούς τοίχους αντιστήριξης τύπου ‘βαρύτητας’ και περιλαμβάνει έλεγχο σε ανατροπή, έλεγχο σε ολίσθηση, έλεγχο έναντι υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης και έλεγχο γενικής ευστάθειας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.35



Σχήμα 2.35 Έλεγχος εξωτερικής ευστάθειας τοίχου αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεωύφασμα (α) ολίσθηση, (β) ανατροπή, (γ) φέρουσα ικανότητα εδάφους θεμελίωσης, (δ) γενική ευστάθεια



Σχήμα 8.5 Στοιχεία σχεδιασμού πρανούς από έδαφος οπλισμένο με γεωύφασμα.

### 8.3 ΠΡΑΝΗ

Η βελτίωση της ευστάθειας του πρανούς ενός αναχώματος, η κατασκευή πρανούς με μεγάλη κλίση ως προς την οριζόντια και η αύξηση του ύψους ενός αναχώματος είναι στόχοι που επιτυγχάνονται οπλίζοντας κατάλληλα το πρανές του αναχώματος με γεωύφασμα. Το γεωύφασμα τοποθετείται σε οριζόντιες στρώσεις και, συνήθως, χωρίς αναδίπλωση στην επιφάνεια του πρανούς. Η

πρώτη στρώση γεωφάσματος τοποθετείται στη βάση του αναχώματος. Οι επόμενες στρώσεις τοποθετούνται σταδιακά καθώς το ανάχωμα αυξάνεται σε ύψος και με ίσες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών στρώσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.37.

Η ανάλυση της εξωτερικής ευστάθειας του πρανούς γίνεται με τις συνήθεις μεθόδους οριακής ισορροπίας που χρησιμοποιούνται στη γεωτεχνική μηχανική, όπως είναι η μέθοδος Fellenious και η τροποποιημένη μέθοδος Bishop (Koerner 1990, IFAI 1992, Ingold 1994). Η πιο συνηθισμένη παραδοχή είναι ότι η πιθανή επιφάνεια αστοχίας έχει μορφή τόξου κύκλου. Ο όγκος του εδάφους που ολισθαίνει διαχωρίζεται σε λωρίδες με κατακόρυφες παρειές. Ο συντελεστής ασφαλείας για κάθε πιθανή επιφάνεια αστοχίας που ελέγχεται, ορίζεται ίσος προς τον λόγο των ροπών ευστάθειας προς τις ροπές ανατροπής. Η ευεργετική για την ευστάθεια του πρανούς δράση του γεωφάσματος (ροπή ευστάθειας) οφείλεται σε δύναμη που ασκείται στο επίπεδο του γεωφάσματος (οριζόντια) και έχει μέτρο ίσο προς τη διαθέσιμη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του γεωφάσματος. Εφαρμόζοντας ανάλυση κατά Fellenius και για την περίπτωση ολικών τάσεων, ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται γενικά από την σχέση:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i + c_i \Delta L_i) R + \sum_{j=1}^m T \delta_j Y_j}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i) R} \quad (8.5)$$

Όπου FS είναι ο συντελεστής ασφάλειας που συνήθως απαιτείται να είναι ίσος ή μεγαλύτερος του 1,3, ή είναι ο αριθμός των λωρίδων εδάφους,  $W_i$  είναι το βάρος μιας λωρίδας εδάφους,  $\varphi_i$  και  $C_i$  είναι η γωνία εσωτερικής τριβής και η συνοχή του εδάφους στη βάση μιας λωρίδας,  $\Delta L_i$  είναι το μήκος της βάσης της λωρίδας του εδάφους,  $\theta_i$  είναι η κλίση της εφαπτόμενης στο μέσο της βάσης της λωρίδας ως προς την οριζόντια, R είναι η ακτίνα του πιθανού κύκλου αστοχίας,

$m$  είναι ο αριθμός των στρώσεων οπλισμού,  $T\delta$ ,  $j$  είναι η διαθέσιμη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό μιας στρώσης γεωφάσματος και  $y_j$  είναι ο μοχλοβραχίονας της δύναμης  $T\delta_j$ . Για την περίπτωση ενεργών τάσεων, η εξίσωση (2.32) προσαρμόζεται κατάλληλα.

Από την ανάλυση της ευστάθειας του μη οπλισμένου πρανούς προκύπτει ένας αριθμός επιφανειών αστοχίας (κύκλοι με διάφορες συντεταγμένες του κέντρου και διάφορες ακτίνες) που αντιστοιχούν σε συντελεστή ασφάλειας μικρότερο του απαιτούμενου. Ακολούθως προστίθενται στη διατομή μία ή περισσότερες στρώσεις γεωφάσματος και υπολογίζονται οι πρόσθετες ροπές ευστάθειας και η νέα τιμή του συντελεστή ασφάλειας για κάθε πιθανή επιφάνεια αστοχίας. Επισημαίνεται ότι η πλέον κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας (αυτή με το μικρότερο συντελεστή ασφάλειας) που έχει προσδιοριστεί για την περίπτωση του μη οπλισμένου πρανούς, δεν ταυτίζεται αναγκαστικά με την πλέον κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας για το οπλισμένο πρανός (IFAI 1992). Είναι προφανές ότι ο όγκος των απαιτητών υπολογισμών είναι πολύ μεγάλος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ειδικό λογισμικό ή τροποποιείται διαθέσιμο λογισμικό ανάλυσης ευστάθειας πρανών ώστε να λαμβάνεται υπ' όψη ο όρος των ροπών ευστάθειας που οφείλονται στο γεώφασμα.

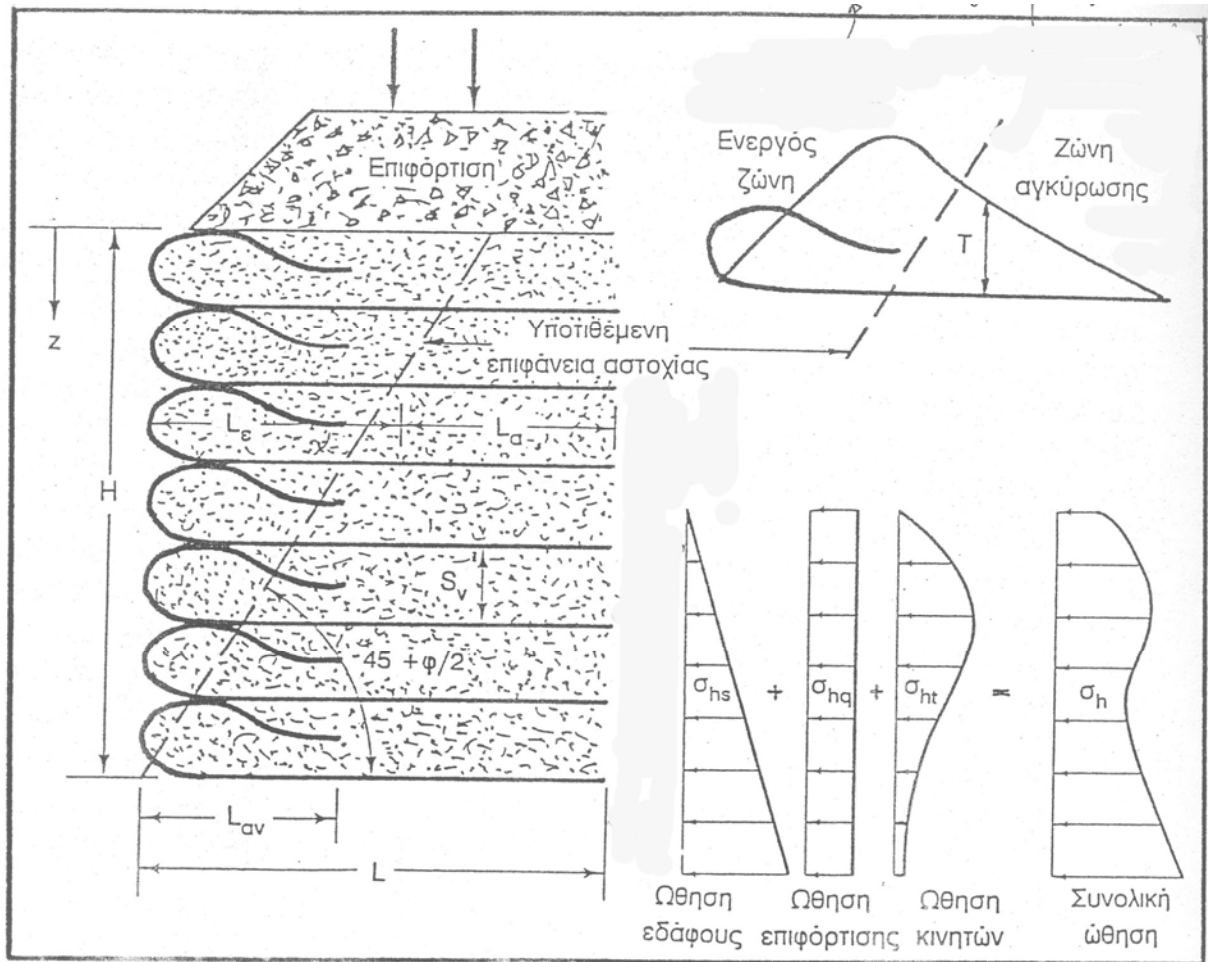
Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, απαιτείται η εκτέλεση ελέγχου εσωτερικής ευστάθειας. Με τρόπο ανάλογο αυτού που εφαρμόζεται και για τοίχους αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεώφασμα, υπολογίζεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης,  $L_a$ , κάθε στρώσης γεωφάσματος. Θεωρώντας ισορροπία κατά την οριζόντια έννοια, το μήκος αγκύρωσης υπολογίζεται από τη σχέση :

$$L_a = \frac{T\delta \cdot FS}{2(C_a + \gamma_z \tan \delta)} \quad (8.6)$$

Όπου  $C_a$  και  $\delta$  είναι η συνάφεια και η φαινόμενη γωνία τριβής μεταξύ εδάφους και γεωφάσματος και  $\gamma_z$  είναι το βάρος του υπερκείμενου αναχώματος. Το



συνολικό μήκος του οπλισμού,  $L$ , προκύπτει από το άθροισμα του μήκους αγκύρωσης,  $L_a$ , και του μήκους του γεωφάσματος στο εσωτερικό της ζώνης αστοχίας,  $L_e$  (Σχήμα 8.6)



Σχήμα 8.6 Στοιχεία σχεδιασμού τοίχου αντιστήριξης από έδαφος οπλισμένο με γεωφάσμα (α) γεωμετρικά στοιχεία, (β) κατανομή δύναμης ελκυσμού στο γεωφάσμα, (γ) ωθήσεις.

#### 8.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Να σχεδιαστεί τοίχος αντιστήριξης ύψους 4,90 m από έδαφος οπλισμένο με γεωφάσμα. Για τον οπλισμό του τοίχου διατίθεται γεωφάσμα με αντοχή σε εφελκυσμό (από δοκιμές πλατείας λωρίδας ) 6,2 T/ m κατά την διεύθυνση

παραγωγής και 5,6 T/ m κατά την εγκάρσια διεύθυνση και πλάτος ρολού 5,0 m και 3,0 m . Το υλικό επιχώματος είναι αμμώδες μη συνεκτικό έδαφος με ειδικό βάρος  $\gamma = 1,75 \text{ T/ m}^3$  , γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi = 30^\circ$  και φαινόμενη γωνία τριβής εδάφους-γεωφάσματος  $\delta = 0,8\varphi$ . Το επίχωμα δέχεται επιφόρτιση ίση προς  $q = 2,0 \text{ T/ m}^2$ . Το έδαφος θεμελίωσης έχει τα εξής χαρακτηριστικά:  $\gamma = 1,80 \text{ T/ m}^3$  ,  $\varphi = 20^\circ$  ,  $c = 3,0 \text{ T/m}^2$  ,  $\delta = 0,8\varphi$  και  $c_a = 0,85 c$ .

Το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού έχει στόχο την εξασφάλιση της εσωτερικής ευστάθειας του τοίχου. Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η κατανομή των οριζόντιων ωθήσεων του εδάφους,  $\sigma_h$ , ως συνάρτηση του βάθους,  $z$ , από την κορυφή του τοίχου. Ο συντελεστής ενεργητικών ωθήσεων,  $K_a$ , έχει τιμή ίση προς 0,33. Οι ωθήσεις θα προέρχονται από το επίχωμα ( $\sigma_{hs}$ ) και από την επιφόρτιση ( $\sigma_{hq}$ ). Κατά συνέπεια:

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} = K_a \gamma z + K_a q = 0,33 * 1,75 * z + 0,33 * 2 = 0,58z + 0,67 \text{ T/m}^2$$

Οι υπολογισμοί εσωτερικής ευστάθειας θα γίνουν με βάση την αντοχή του γεωφάσματος σε εφελκυσμό κατά τη διεύθυνση παραγωγής. Τελικά, και ανάλογα με τις διαστάσεις που θα προκύψουν, θα ελεγχθεί αν το γεώφασμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την εγκάρσια έννοια. Για να προκύψει η διαθέσιμη τιμή, θα εφαρμοστεί η Εξ. (7.1) και θα ληφθούν τιμές για τους μερικούς συντελεστές ασφάλειας από τον Πίνακα 7.3 . Επιλέγονται οι μέσες τιμές των μερικών συντελεστών ασφάλειας και έτσι:

$$T_\delta = T_\varepsilon \frac{1}{FS_{ID} FS_{CR} FS_{CD} FS_{BD}} = 6,2 \frac{1}{1,5 \cdot 3,0 \cdot 1,25 \cdot 1,1} = 1,00 \text{ T / m}$$

Χρησιμοποιώντας συντελεστή ασφάλειας  $FS = 1,3$  έναντι υπέρβασης της διαθέσιμης αντοχής σε εφελκυσμό του γεωφάσματος, υπολογίζονται οι

αποστάσεις των διαδοχικών στρώσεων γεωφάσματος. Η εξίσωση 8.1 γράφεται:

$$S_v = \frac{T_\delta}{\sigma_h FS} = \frac{1,00}{(0,58z + 0,67) \cdot 1,3}$$

$$\text{Για βάθος } z = 4,90\text{m} \quad S_v = \frac{1,00}{(0,58 \cdot 4,9 + 0,67) \cdot 1,3} = 0,22\text{m}$$

Η δεύτερη στρώση γεωφάσματος επιλέγεται να απέχει από την πρώτη στρώση 0,20 m. Αυτή η απόσταση θα διατηρηθεί και για τις επόμενες στρώσεις έως ότου η απαιτούμενη απόσταση να είναι ουσιωδώς μεγαλύτερη (κατά 0,1 m ή 0,15 m). Προκύπτει ότι για βάθη, z, ίσα προς 3,26 m, 2,16 m, 1,79 m και 1,49 m η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ διαδοχικών στρώσεων γεωφάσματος είναι 0,30 m, 0,45 m και 0,50 m, αντίστοιχα. Τελικά, επιλέγονται ο αριθμός στρώσεων και οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών στρώσεων που φαίνονται στον Πίνακα 8.1. Ακολούθως, ο Πίνακας συμπληρώνεται με το απαιτούμενο μήκος γεωφάσματος στην ενεργό ζώνη,  $L_e$ , και στη ζώνη αγκύρωσης,  $L_a$ . Το μήκος αγκύρωσης,  $L_a$ , ελέγχεται, και εφ' όσον είναι μικρότερο του ελαχίστου συνιστώμενου (1m), αποφασίζεται να χρησιμοποιηθεί το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης του 1 m. Παρατηρείται ότι, για οποιοδήποτε βάθος, το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης είναι μικρότερο του συνιστώμενου ελάχιστου. Τέλος, πρέπει να υπολογιστεί το απαιτούμενο μήκος αναδίπλωσης,  $L_{av}$ , και να συγκριθεί με το ελάχιστο συνιστώμενο μήκος αναδίπλωσης (1 m). Όπως προκύπτει από χρήση των εξισώσεων (8.3) και (8.4)., το απαιτούμενο μήκος αναδίπλωσης κάθε στρώσης οπλισμού είναι περίπου ίσο προς το μισό του αντίστοιχου απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης. Κατά συνέπεια, το μέγιστο απαιτούμενο μήκος αναδίπλωσης προκύπτει για την τελευταία στρώση (#17) και είναι ίσο

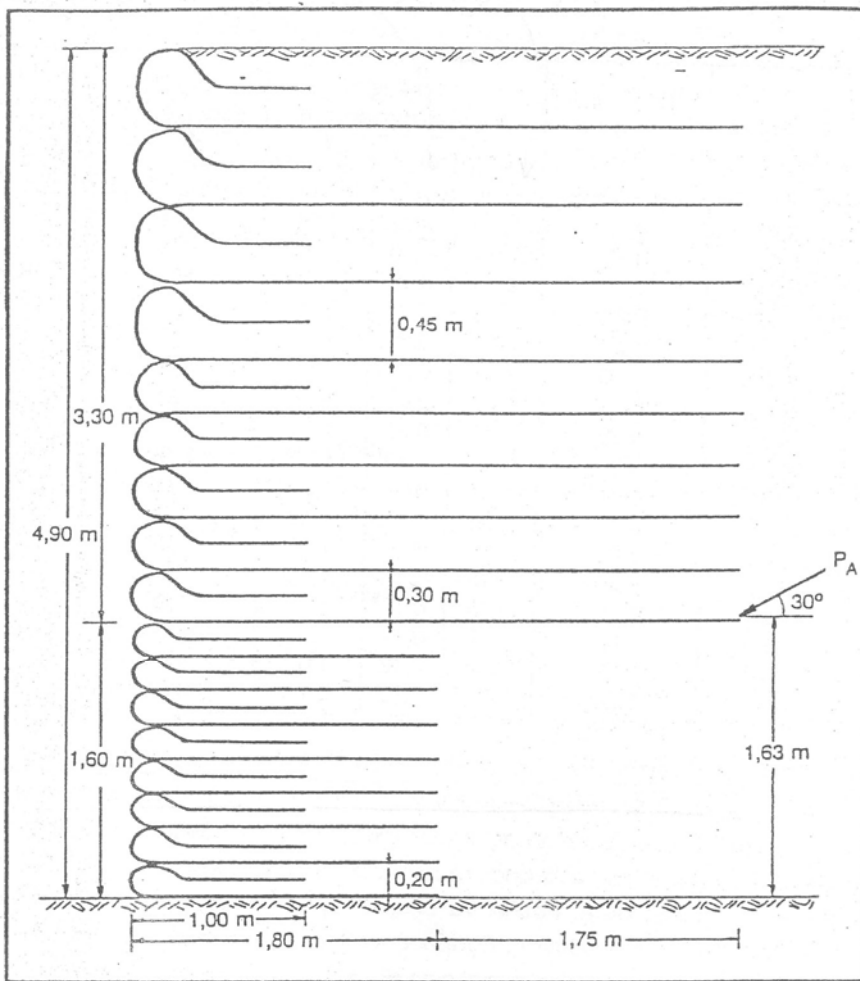
προς  $L_{av} = 0,39$  m. Στην αντίστοιχη στήλη του Πίνακα, καταγράφεται το ελάχιστο συνιστώμενο μήκος αναδίπλωσης.

Αριθμός Στρώσης	Βάθος, z (m)	Απόσταση, $S_v$ (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
			$L_\epsilon$	$L_\alpha$	min $L_\alpha$	min $L_{av}$	Απαιτείται	Επιλέγεται
17	0,45	0,45	2,57	0,78	1,00	1,00	5,02	5,00
16	0,90	0,45	2,31	0,50	1,00	1,00	4,76	5,00
15	1,35	0,45	2,05	0,40	1,00	1,00	4,50	5,00
14	1,80	0,45	1,79	0,36	1,00	1,00	4,24	5,00
13	2,10	0,30	1,62	0,22	1,00	1,00	3,92	5,00
12	2,40	0,30	1,44	0,21	1,00	1,00	3,74	5,00
11	2,70	0,30	1,27	0,21	1,00	1,00	3,57	5,00
10	3,00	0,30	1,10	0,20	1,00	1,00	3,40	5,00
9	3,30	0,30	0,92	0,20	1,00	1,00	3,12	5,00
8	3,50	0,20	0,81	0,13	1,00	1,00	3,01	3,00
7	3,70	0,20	0,69	0,13	1,00	1,00	2,89	3,00
6	3,90	0,20	0,58	0,13	1,00	1,00	2,78	3,00
5	4,10	0,20	0,46	0,12	1,00	1,00	2,66	3,00
4	4,30	0,20	0,35	0,12	1,00	1,00	2,55	3,00
3	4,50	0,20	0,23	0,12	1,00	1,00	2,43	3,00
2	4,70	0,20	0,12	0,12	1,00	1,00	2,32	3,00
1	4,90	0,20	0	0,12	1,00	1,00	2,20	3,00

Πίνακας 8.1 Απαιτούμενες στρώσεις γεωφάσματος.

Το απαιτούμενο συνολικό μήκος των στρώσεων του γεωφάσματος ( $L_\epsilon + \min L_a + S_v + L_{av}$ ) κυμαίνεται μεταξύ 2,20 m και 5,02 m και καλύπτεται από το πλάτος ρολού του διαθέσιμου γεωφάσματος που είναι 3,0 m και 5,0 m. Επομένως, μπορεί η ανάπτυξη των φύλλων οπλισμού να γίνει κατά τη διεύθυνση του μήκους του τοίχου. Έτσι επιτυγχάνεται επιτάχυνση της διαδικασίας κατασκευής του τοίχου αφού δεν απαιτείται συρραφή μεταξύ γειτονικών φύλλων γεωφάσματος ανά αποστάσεις ίσες προς το πλάτος του χρησιμοποιούμενου ρολού. Εφ' όσον αποφασιστεί η διάταξη αυτή, πρέπει να ελεγχθούν οι υπολογισμοί χρησιμοποιώντας την αντοχή σε εφελκυσμό κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Εφαρμόζοντας την εξίσωση 8.1 για  $T_\delta = 0,91$  T/m, προκύπτουν γενικά αποδεκτές τιμές του συντελεστή ασφάλειας ( $FS \geq 1,3$ ) εκτός από τις στρώσεις #9 και #14 για τις οποίες ο συντελεστής ασφάλειας προκύπτει περίπου ίσος προς 1,2. Η τιμή μπορεί να γίνει δεκτή λαμβάνοντας υπ'

όψη ότι οι τιμές που επελέγησαν για τους μερικούς συντελεστές ασφαλείας είναι αρκετά συντηρητικές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προηγούμενων υπολογισμών, ο τοίχος μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας ρολό γεωφάσματος πλάτους 3m για τις στρώσεις #1 ως και #8 και ρολό γεωφάσματος πλάτους 5m για τις υπόλοιπες στρώσεις (#9 ως και #17). Προκύπτει, έτσι, η γεωμετρία του τοίχου που φαίνεται στο Σχήμα 8.7.



Σχήμα 8.7 Σχεδιασμός τοίχου αντιστήριξης οπλισμένου με γεωφάσμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### 9 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΛΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ

Τα παρακάτω παραρτήματα I και II περιλαμβάνουν Πίνακες απαιτούμενων στρώσεων γεωφασμάτων-μελέτη τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος και Σχέδια Διατομών της μελέτης που έγινε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας στην οδό Παράκαμψης Ναυπάκτου, τμήμα Α, από Πλατανίτη (Χ. Θ. 0+000) μέχρι χείμαρρο Βαρειάς (Χ. Θ. 3+525) ΚΕ 1700. Επιλέχτηκαν διατομές οι οποίες είχαν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως προς την μελέτη πάνω στο αντικείμενο των γεωφασμάτων. Επιλέξαμε διατομές από Χ. Θ. 0+475,72 μέχρι Χ. Θ. 1+631,95 και οι οποίες διατομές είναι οι εξής 68, 70β, 70α, 71α, 83, 89, 90,92, 93, 94,97, Α2, 97α. Βάση του παραπάνω παραδείγματος μελετήσαμε τις διατομές αυτές. Παρακάτω δίνονται οι πίνακες με τα στοιχεία τις κάθε διατομής και τα σχέδια τις κάθε διατομής μετά την μελέτη μας.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ατματζίδης, Δ.Κ. και Αθανασόπουλος, Γ.Α., “Βελτιώσεις – Ενισχύσεις Εδαφών”, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Παν/μιο Πατρών, 2001.

Αθανασόπουλος, Γ.Α. και Μπούσιος, Π.Ζ. (1988), “Συμπεριφορά Αμμου Οπλισμένης με Γεωϋφάσματα”, Πρακτικά Πρώτου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αθήνα, 3-5 Φεβρουαρίου 1988, Τόμος 1, σελ. 27-31

Αθανασόπουλος, Γ.Α. και Χρυσικός, Δ.Α. (1988), “Παραμετρική Μελέτη Οπλισμένου Εδάφους με Μ.Π.Σ.”, Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Αθήνα, 3-5 Φεβρουαρίου 1988, Τόμος 2, σελ. 3-7

Παπαδημητρίου Κ. και Φωτόπουλος Α. (1985), “Ενίσχυση Εδαφών με Γεωϋφάσματα”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 96 σελίδες

Χαρίση-Χατζηγώγου, Α. (1981), “Οπλισμένο Εδαφος: Παρουσίαση Θεωρητικών Απόψεων”, Επιστημονική Έκδοση του Εργαστηρίου Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του ΑΠΘ, Ιούνιος 1981, σελ. 126-156

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΠΙ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ)

- Akinmusuru J.O. and Akinbolate J.A., (1981). "Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, No. GT6, June 1981, Proc. Paper 16320, pp. 819-827.
- Akinmusuru J.O., Akinbolate J.A., and Odigie D.O., (1982). "Bearing Capacity Tests on Fiber-Reinforced Soil", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 599-603.
- Andrawes K.Z., McGown A., Mashhour M.M., and Wilson-Fahmy R.F., (1980). "Tension Resistant Inclusions in Soils", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 106, No. GT12, December 1980, Proc. Paper 15928, pp. 1313-1325.
- Andrawes K.Z. and McGown A., Wilson-Fahmy R.F., Mashhour M.M., (1982). "The Finite Element Method of Analysis Applied to Soil-Geotextile Systems", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 695-700.
- Athanasopoulos, G.A. and Bousias, P.Z., (1988), "Interfacial Friction in Sand-Geotextile Composites", Proceedings, 2nd International Symposium on Phase Interaction in Composite Materials, Patras, Greece, 22-27 August 1988
- Athanasopoulos, G.A., Atmatzidis, D.K. and Bousias, P.Z., (1990), "Sand-Geotextile Interaction by Direct Shear testing", Proceedings, Fourth International Conference on Geotextiles and Geomembranes, The Hague, May 28-36, 1990, Vol. I
- Barksdale R., Robnett Q. and Lai J., Zeevaert-Wolff A., (1982). "Experimental and Theoretical Behavior of Geotextile Reinforced Aggregate Soil Systems", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 375-380.
- Barsvary A.K. and Maclean M.D., Cragg C.B.H., (1982). "Instrumented Case Histories of Fabric Reinforced Embankments over Peat Deposits", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 647-658.
- Bassett R.H. and Last N.C., (1978). "Reinforcing Earth below Footings and Embankments", Proceedings, ASCE Spring Convention and Exhibit, Pittsburgh, Pennsylvania, April 24-28, 1978, Preprint 3214, pp. 1-29.
- Bell A.L., Green H.M. and Laverty K., (1982). "Factors Influencing the Selection of Woven Polypropylene Geotextiles



- for Earth Reinforcement", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 689-694.
- Blanchier A. and Gielly J., (1982). "Study of Stability of Filling-Up Slopes Reinforced by Layers of Geotextile", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 621-624.
- Bolton M.D. and Pang P.L.R., (1982). "Collapse Limit States of Reinforced Earth Retaining Walls", Geotechnique, Vol. 32, No. 4, pp. 349-367.
- Bourdeau P.L., Harr M.E. and Holtz R.D., (1982). "Soil-Fabric Interaction - An Analytical Model", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 387-391.
- Brakel J., Coppens M., Maagdenberg A.C., Risseuw P., (1982). "Stability of Slopes Constructed with Polyester Reinforcing Fabric, Test Section at Almere - Holland, '79", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 727-732.
- Brown B.S. and Poulos H.G., (1978). "Finite Element Analysis of Reinforced Embankments", Proceedings, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilising Techniques, Sydney, Australia, October 16-19, 1978, pp. 233-252.
- Christie I.F., (1982). "Economic and Technical Aspects of Embankments Reinforced with Fabric", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 659-664.
- Christofer, B.R., Holtz, R.D. and Bell, W.D., (1986), "New Tests for Determining the In-Soil Stress-Strain Properties of Geotextiles", Proceedings, Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria, April 7-11, 1986, Vol. III, pp. 683-688
- Degoutte, G. and Mathieu, G., (1986), "Experimental Research of Friction Between Soil and Geomembranes or Geotextiles Using a 30 x 30 cm<sup>2</sup> Shearbox", Proceedings, Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria, April 7-11, 1986, Vol. III, pp. 1251-1256
- Delmas P., Gourc J.P., Perrier H., (1985). "Dimensionnement d'ouvrages renforces par geotextiles", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1769-1772.
- El-Fermaoui A., Nowatzki E., (1982). "Effect of Confining Pressure on Performance of Geotextiles in Soils", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 799-804.

- Fluet, J.E., Jr. (Ed.) (1987), "Geotextile Testing and the Design Engineer", ASTM STP 952, 183 p.
- Fowler J., (1982). "Theoretical Design Considerations for Fabric - Reinforced Embankments", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 665-670.
- Formazin J., Batereau C., (1985). "The Shear Strength Behaviour of Certain Materials on the Surface of Geotextiles", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1773-1775.
- Freitag, D.R. (1986), "Soil Randomly Reinforced With Fibers", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 112, No 8, August 1986, pp. 823-826
- Friedli P., Anderson D.G., (1982). "Behavior of Woven Fabrics Under Simulated Railway Loading", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 473-478.
- Fukuoka M. and Imamura Y., (1982). "Fabric Retaining Walls", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 575-580.
- Gaind K.J. and Char A.N.R., (1983). "Reinforced Soil Beams" Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. 7, July 1983, Paper No. 18075, pp. 977-982.
- Geosynthetics '87, (1987), Proceedings of a Conference Sponsored by the Industrial Fabrics Association, Vol. 1 and Vol 2, 639 p. IFAI, St. Paul, MN, USA
- Gerrard C., (1982). "Reinforced Soil: An Orthorhombic Material", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT11, November 1982, Proc. Paper 17442, pp. 1460-1474.
- Giroud J.P. and Noiray L., (1981). "Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, No. GT9, September 1981, Proc. No. 16489, pp. 1233-1254.
- Gourc J.P., Perrier H. and Rioudy G., Rigo J.M., Pefetti J., (1982). "Cyclic Loading of a Two Layer Soil System Reinforced by Geotextile", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 399-404.
- Gourc J.P., Matichard Y., Perrier H. and Delmas P., (1982). "Bearing Capacity of a Sand-Soft Subgrade System with Geotextile", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 411-416.

- Gray D.H., (1978). "Role of Woody Vegetation in Reinforcing Soils and Stabilizing Slopes", Proceedings, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilising Technics, Sydney, Australia, October 16-19, 1978, pp. 253-306.
- Gray D.H., Leiser A.T., White C.A., (1980). "Combined Vegetative-Structural Slope Stabilization", Civil Engineering - ASCE, January 1980, pp. 82-85.
- Gray D.H., Athanasopoulos G., Ohashi H., (1982). "Internal/External Fabric Reinforcement of Sand", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 611-616.
- Gray D.H. and Lott J., (1983). "Radial versus Parallel Tie Arrays in Earth Backfills", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 7, July 1983, Paper No. 18075, pp. 982-986.
- Gray D.H. and Ohashi H., (1983). "Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 3, March 1983, Proc. No. 17780, pp. 335-353.
- Gray D.H. and Al-Refeai T., (1986). "Behavior of Fabric - Versus Fiber - Reinforced Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 8, August 1986, pp. 804-820.
- Gray, D.H. and Maher, M.H. (1989), "Admixture Stabilization of Sands With Random Fibers", Proceedings, Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 13-18 August 1989, pp. 1363-1366
- Guido V.A., Biesiadecki G.L., Sullivan M.J., (1985). "Bearing Capacity of a Geotextile-Reinforced Foundation", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1777-1780.
- Haliburton T.A., Anglin C.C., Lawmaster J.D., (1978). "Selection of Geotechnical Fabrics for Embankment Reinforcement", Research for U.S. Army Engineer District, Mobile, Alabama, May 1978, p. 45
- Hannon J., (1982). "Fabrics Support Embankment Construction Over Bay Mud", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 653-658.
- Harrison W.J. and Gerrard C.M., (1972). "Elastic Theory Applied to Reinforced Earth", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98, No. SM12, December 1972, pp. 1325-1345.
- Holtz R.D., Tobin W.R., Burke W.W., (1982). "Creep Characteristics and Stress-Strain Behavior of a Geotextile -

- Reinforced Sand", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 803-809.
- Holtz, R.D. (Ed.), (1988), "Geosynthetics for Soil Improvement", Geotechnical Special Publication, No. 18, ASCE, 213 p.
- Al-Hussaini M. and Perry E.B., (1978). "Analysis of a Rubber Membrane Strip Reinforced Earth Wall", Proceedings, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilising Technics, Sydney, Australia, October 16-19, 1978, pp. 59-72.
- Hutchins R.D., (1982). "Behavior of Geotextiles in Embankment Reinforcement", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 617-619.
- Ingold T.S. and Miller K.S., (1983). "Drained Axisymmetric Loading of Reinforced Clay", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 7, July 1983, Paper No. 18088, pp. 883-898.
- Ingold T.S., Miller K.S., (1982). "Analytical and Laboratory Investigations of Reinforced Clay", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 587-592.
- Ingold T.S., (1982). "An Analytical Study of Geotextile Reinforced Embankments", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 683-688.
- Ingold T.S., (1981). "A Laboratory Simulation of Reinforced Clay Walls", Geotechnique, Vol. 31, No. 3, 1981, pp. 399-412.
- Ingold T.S., Miller K.S., (1982). "The Behavior of Geotextile Reinforced Clay Subject to Undrained Loading", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 593-597.
- Ingold T.S., (1982). "Reinforced Earth", Thomas Telford Ltd London 1982, p. 141.
- Jacobsen H.M., (1985). "Stability of Earth Structures Reinforced by Geotextiles", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1781-1785.
- Jewell R.A., (1985). "Limit Equilibrium Analysis of Reinforced Soil Walls", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1705-1708.

- Jewell R.A., (1982). "A Limit Equilibrium Design Method for Reinforced Embankments on Soft Foundations", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 671-676.
- Jeyapalan J.K. and Lytton R.L., (1982). "Stress Reduction in Flexible Culverts Due to Overlays of Geofabric", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 701-706.
- John N., Johnson P. and Ritson R., Petley D., (1982). "Behavior of Fabric Reinforced Soil Walls", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 569-573.
- Jones C.J.F.P., Murray R.T., Temporal J., Mair R.J., (1985) "First Application on Anchored Earth", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1709-1712.
- Jones C.J.F.P. and Edwards L.W., (1980). "Reinforced Earth Structures Situated on Soft Foundations", Geotechnique, Vol. XXX, No. 2, June 1980, pp. 207-213.
- Jones C.J.F.P., (1982). "Practical Construction Techniques for Retaining Structures Using Fabrics and Geogrids", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 581-585.
- Jones C.J.F.P. (1985). "Earth Reinforcement and Soil Structures", Butterworths Advanced Series in Geotechnical Engineering, England, 1985, p. 183.
- Juran I., Shafiee S., Schlosser F., (1985). "Les Soutènements par Clouage - Etude sur Modeles Numeriques", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1713-1716.
- Kamenov B. Kysela Z., (1982). "Force Transfer at the Contact of Geotextiles and Soil Under Permanent and Cyclic Loads", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 857-861.
- Kasarnovsky V.D., Polunovsky A.G. and Brantman B.P., (1982) "Design of a Temporary Road Structure with the Use of a Textile Membrane", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 371-374.
- Kinney T., (1982). "Small Scale Load Tests on a Soil - Geotextile - Aggregate System", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 403-409.

- Koerner, R.M., (1986), "Designing With Geosynthetics", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 424 p.
- Koerner R.M., (1984). "Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering", McGraw - Hill Book Company, U.S.A. 1984, chapter 7, pp. 309-355.
- Leflaive E., (1985). "Sol Renforce par des Fils Continus:Le Texsol", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1787-1790.
- Leflaive E., (1982). "The Reinforcement of Granular Materials with Continuous Fibers", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 721-726.
- Ludwig H., Weatherby D.E., Schnabel H., (1985). "Research on Tiebacks Anchored in Cohesive Soils", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1721-1724.
- Maher, M.H. and Woods, R.D., (1990), "Dynamic Response of Sand Reinforced With Randomly Distributed Fibers", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 7, July 1990, pp. 1116-1131
- Majes B., Battelino D., (1985). "Effect of Surface Reinforcing of Soft Soils", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1729-1734.
- McGown A., Andrawes K.Z., Hytiris N., Mercer F.B., (1985). "Soil Strengthening using Randomly Distributed Mesh Elements", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1735-1738.
- McGown A., Andrawes K.Z. and Kabir M.H., (1982). "Load - Extension Testing of Geotextiles Confined In - Soil", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 793-798.
- Miyamori, T., Iwai, S. and Makiuchi, K. (1986), "Frictional Characteristics of Non-woven Fabrics", Proceedings, Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria, April 7-11, 1986, Vol. III, pp. 701-705
- Murray R., (1982). "Fabric Reinforcement of Embankments and Cuttings", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 707-713.

- Myles B., (1982). "Assessment of Soil Fabric Friction by Means of Shear", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 787-791.
- Naylor D.J., (1978). "A Study of R. E. Walls Allowing Strip Slip", Proceedings, ASCE Spring Convention and Exhibit, Pittsburgh, Pennsylvania, April 24-28, 1978, Preprint 3129, pp. 1-25.
- Olivera A., (1982). "Use on Non-Woven Geotextiles to Construct a Deep Highway Embankment Over Swamp Soil", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 625-630.
- Petric P.M. and Baslik R., Leitner F., (1982). "The Behavior of Reinforced Embankment", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 631-634.
- Plutecki M., (1982). "Rescue Operation at Karlino, Poland", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 715-719.
- Polymer Grid Reinforcement (1985), Proceedings of a Conference Sponsored by the Science and Engineering Research Council and Netlon Ltd London 22-23 March 1984, Thomas Telford, London, 249 p.
- Puig J., Leflaive E., Leclercq B., Gourg J.P., Fayoux D., (1985). "Regles et Normes pour l'Emploi des Geotextiles, Durabilite", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1791-1794.
- Ramalho-Ortigao J.A. and Palmeira E.M., (1982). "Geotextile Performance at an Access Road on Soft Ground near Rio de Janeiro", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 353-358.
- Ramaswamy S.D. and Aziz M.A., (1982). "Jute Fabric in Road Construction", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 359-363.
- Rathmayer H.G., Korhonen O.E., (1985). "Geotextile Reinforced Land Reclamation in the Bay of River Vantaa, Helsinki", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol.3, pp. 1795-1800.
- Raumann G., (1982). "Geotextiles in Unpaved Roads: Design Considerations", Proceedings, Second International Conference

- rence on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 417-422.
- Rigo, J.M. and Karam, G., (1986), "Method of Calculation of Stresses and Deformations in a Geotextile Under Load", Proceedings, Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria, April 7-11, 1986, Vol. III, pp. 827-831
- Robnett Q. and Lai J., Murch L., (1982). "Effect of Fabric Properties on the Performance and Design of Aggregate - Fabric - Soil Systems", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 381-386.
- Romstad K.M., Herrmann L.R. and Shen C.K., (1976). "Integrated Study of Reinforced Earth - I: Theoretical Formulation", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102, No. GT5, May 1976, Proc. paper 12144, pp. 457-471.
- Rowe R.K., (1984). "Reinforced Embankments: Analysis and Design", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 2, February 1984, Paper No. 18574, pp. 231-246.
- Rowe R.K., (1982). "The Analysis of an Embankment Constructed on a Geotextile", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 677-682.
- Ruddock E.C., Potter J.F., McAvoy A.R., (1982). "A Full - Scale Experiment on Granular and Bituminous Road Pavements Laid on Fabrics", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 365-370.
- Salencon J., De Buhan P., (1985). "Analyse de Stabilité d'Ouvrages en Sols Renforcés", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1749-1752.
- Saran S., Talwar D.V. and Vaish U.S., (1978). "Some Aspects of Engineering Behaviour of Reinforced Earth", Proceedings, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilising Techniques, Sydney, Australia, October 16-19, 1978, pp. 40-49.
- Sawicki A., (1983). "Plastic Limit Behavior of Reinforced Earth", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 7, July 1983, Paper No. 18075, pp. 1000-1005.
- Saxena S.K., Budiman J.S., (1985). "Interface Response of Geotextiles", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1801-1804.



- Saxena S.K. and Chiu D., (1982). "Evaluation of Fabric Performance in a Rail-Road System", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 485-490.
- Saxena S.K. and Wang S., (1982). "Model Test of a Rail - Ballast - Fabric - Soil System", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 495-500.
- Scheffler H., Fritzsche E., Kerreit M., (1985). "Transmission of Linear Tensile Forces by means of Fabrics", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1805-1809.
- Schwantes E.D.Jr., (1982). "Recent Experience with Fabric - Faced Retaining Walls", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 605-609.
- Sellmeijer J.B. and Kenter C.J., Van Den Berg C., (1982). "Calculation Method for a Fabric Reinforced Road", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 393-398.
- Shewbridge S.E. and Sitar N. (1989), "Deformation Characteristics of Reinforced Sand in Direct Shear", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 115, No 8, August 1989, pp. 1134-1147
- Shewbridge, S.E. and Sitar, N. (1990), "Deformation-Based Model for Reinforced Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 7, July 1990, pp. 1153-1170
- Sowers G.F., Collins S.A. and Miller D.G.Jr., (1982). "Mechanism of Geotextile - Aggregate Support in Low-Cost Roads", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. II, pp. 341-346.
- Tumay M.T., Antonini M. and Arman A., (1979). "Metal Versus Nonwoven Fiber Fabric Earth Reinforcement in Dry Sands: A Comparative Statistical Analysis of Model Tests", Geotechnical Testing Journal, Vol. 2, No. 1, March 1979, pp. 44-56.
- Verma B.P. and Char A.N.R., (1978). "Triaxial Tests on Reinforced Sand", Proceedings, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilising Technics, Sydney, Australia, October 16-19, 1978, pp. 29-39.
- Verma B.P. and Char A.N.R., (1986). "Bearing Capacity Tests on Reinforced Sand Subgrades", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 7, July 1986, Paper No. 20739, pp. 701-706.

- Williams D., Sanders R.L., (1985). "Design of Reinforced Embankments for Great Yarmouth Bypass", Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, California, August 12-16, 1985, Vol. 3, pp. 1811-1814.
- Wolf T. and Christofer B., (1982). "Utilization of Geotextiles in Waste Management", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 641-646.
- Wu T.H. and McKinnell W.P.III and Swanston D.N., (1979). "Strength of Tree Roots and Landslides on Prince of Wales Island, Alaska", Canadian Geotech Journal, Vol. 16, 1979, pp. 19-33.
- Yang Z. and Singh A., (1974). "Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Sand", International Meeting On Water Resources Engineering, Los Angeles, California, January 21-25, 1974, Preprint No. 2189.
- Yasuhara K., Tsukamoto Y., (1982). "A Rapid Banking Method Using the Resinous Mesh on a Soft Reclaimed Land", Proceedings, Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, Nevada, August 1-6, 1982, Vol. III, pp. 635-640.
- Zanten, R.V. (1986), "Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering", A. A. Balkema, 658 p.
- John N.W.M. (1987), "Geotextiles", Blackie & Son Ltd, Bishopbriggs, Glasgow, 347 p.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι -**

### **ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ - ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται
13	1,35	0,3525578	0,40	1,54	0,51	1,00	1	3,94	4
12	1,75	0,3122655	0,35	1,31	0,39	1	1	3,66	4
11	2,10	0,2838777	0,30	1,10	0,31	1	1	3,40	3,5
10	2,40	0,2633565	0,30	0,93	0,29	1	1	3,23	3,5
9	2,70	0,2456021	0,25	0,75	0,23	1	1	3,00	3,5
8	2,95	0,2325381	0,25	0,61	0,22	1	1	2,86	3
7	3,20	0,2207938	0,25	0,46	0,21	1	1	2,71	3
6	3,45	0,2101787	0,25	0,32	0,21	1	1	2,57	3
5	3,70	0,2005375	0,25	0,17	0,20	1	1	2,42	2,5
4	3,95	0,191742	0,20	0,03	0,16	1	1	2,23	2,5
3	4,15	0,1852423	0,20	-0,09	0,16	1	1	2,11	2,5
2	4,35	0,1791687	0,20	-0,20	0,16	1	1	2,00	2
1	4,55	0,1734808	0,20	-0,32	0,15	1	1	1,88	2
			<b>3,40</b>						<b>39</b>

πίνακας 1 διατομής 67 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>av</sub>	Απαιτείται
19	1,35	0,3525578	0,40	2,58	0,51	1,00	1	4,98	5
18	1,75	0,3122655	0,35	2,35	0,39	1	1	4,70	5
17	2,10	0,2838777	0,30	2,15	0,31	1	1	4,45	4,5
16	2,40	0,2633565	0,30	1,97	0,29	1	1	4,27	4,5
15	2,70	0,2456021	0,25	1,80	0,23	1	1	4,05	4,5
14	2,95	0,2325381	0,25	1,65	0,22	1	1	3,90	4
13	3,20	0,2207938	0,25	1,51	0,21	1	1	3,76	4
12	3,45	0,2101787	0,25	1,36	0,21	1	1	3,61	4
11	3,70	0,2005375	0,25	1,22	0,20	1	1	3,47	3,5
10	3,95	0,191742	0,20	1,07	0,16	1	1	3,27	3,5
9	4,15	0,1852423	0,20	0,96	0,16	1	1	3,16	3,5
8	4,35	0,1791687	0,20	0,84	0,16	1	1	3,04	3,5
7	4,55	0,1734808	0,20	0,72	0,15	1	1	2,93	3
6	4,75	0,168143	0,20	0,61	0,15	1	1	2,81	3
5	4,95	0,1631238	0,20	0,493	0,150392	1	1	2,693	3
4	5,15	0,1583955	0,20	0,377	0,148871	1	1	2,577	3
3	5,35	0,1539337	0,20	0,261	0,147464	1	1	2,461	2,5
2	5,55	0,1497163	0,15	0,145	0,109619	1	1	2,295	2,5
1	5,7	0,1467019	0,15	0,058	0,10893	1	1	2,208	2,5
	5,85	0,1438065	0,15	-0,029	0,108276	1	1	2,121	2,5
	6	0,1410231	0,15	-0,116	0,107654	1	1	2,034	2,5
	6,15	0,1383455	0,15	-0,203	0,107064	1	1	1,947	2
			<b>4,95</b>						<b>76</b>

πίνακας 2 διατομής 68 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ . (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται
13	1,35	0,3525578	0,40	1,89	0,51	1,00	1	4,29	4,5
12	1,75	0,3122655	0,35	1,65	0,39	1	1	4,00	4,5
11	2,10	0,2838777	0,30	1,45	0,31	1	1	3,75	4
10	2,40	0,2633565	0,30	1,28	0,29	1	1	3,58	4
9	2,70	0,2456021	0,25	1,10	0,23	1	1	3,35	3,5
8	2,95	0,2325381	0,25	0,96	0,22	1	1	3,21	3,5
7	3,20	0,2207938	0,25	0,81	0,21	1	1	3,06	3,5
6	3,45	0,2101787	0,25	0,67	0,21	1	1	2,92	3
5	3,70	0,2005375	0,25	0,52	0,20	1	1	2,77	3
4	3,95	0,191742	0,20	0,38	0,16	1	1	2,58	3
3	4,15	0,1852423	0,20	0,26	0,16	1	1	2,46	2,5
2	4,35	0,1791687	0,20	0,14	0,16	1	1	2,35	2,5
1	4,55	0,1734808	0,20	0,03	0,15	1	1	2,23	2,5
	4,75	0,168143	0,20	-0,09	0,15	1	1	2,11	2,5
	4,95	0,1631238	0,20	-0,20	0,15	1	1	2,00	2
			<b>3,80</b>						<b>48,5</b>

πίνακας 3 διατομής 68 αριστερά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
16	1,35	0,3525578	0,40	2,23	0,51	1,00	1	4,63	5
15	1,75	0,3122655	0,35	2,00	0,39	1	1	4,35	4,5
14	2,10	0,2838777	0,30	1,80	0,31	1	1	4,10	4,5
13	2,40	0,2633565	0,30	1,62	0,29	1	1	3,92	4
12	2,70	0,2456021	0,25	1,45	0,23	1	1	3,70	4
11	2,95	0,2325381	0,25	1,31	0,22	1	1	3,56	4
10	3,20	0,2207938	0,25	1,16	0,21	1	1	3,41	3,5
9	3,45	0,2101787	0,25	1,02	0,21	1	1	3,27	3,5
8	3,70	0,2005375	0,25	0,87	0,20	1	1	3,12	3,5
7	3,95	0,191742	0,20	0,73	0,16	1	1	2,93	3
6	4,15	0,1852423	0,20	0,61	0,16	1	1	2,81	3
5	4,35	0,1791687	0,20	0,49	0,16	1	1	2,69	3
4	4,55	0,1734808	0,20	0,38	0,15	1	1	2,58	3
3	4,75	0,168143	0,20	0,26	0,15	1	1	2,46	2,5
2	4,95	0,1631238	0,2	0,145	0,150392	1	1	2,345	2,5
1	5,15	0,1583955	0,2	0,029	0,148871	1	1	2,229	2,5
	5,35	0,1539337	0,2	-0,087	0,147464	1	1	2,113	2,5
	5,55	0,1497163	0,15	-0,203	0,109619	1	1	1,947	2
	5,7	0,1467019	0,15	-0,29	0,10893	1	1	1,86	2
			<b>4,50</b>						<b>62,5</b>

πίνακας 4 διατομής 70β αριστερά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
26	1,35	0,3525578	0,40	3,16	0,51	1,00	1	5,56	6
25	1,75	0,3122655	0,35	2,93	0,39	1	1	5,28	5,5
24	2,10	0,2838777	0,30	2,73	0,31	1	1	5,03	5,5
23	2,40	0,2633565	0,30	2,55	0,29	1	1	4,85	5
22	2,70	0,2456021	0,25	2,38	0,23	1	1	4,63	5
21	2,95	0,2325381	0,25	2,23	0,22	1	1	4,48	4,5
20	3,20	0,2207938	0,25	2,09	0,21	1	1	4,34	4,5
19	3,45	0,2101787	0,25	1,94	0,21	1	1	4,19	4,5
18	3,70	0,2005375	0,25	1,80	0,20	1	1	4,05	4,5
17	3,95	0,191742	0,20	1,65	0,16	1	1	3,85	4
16	4,15	0,1852423	0,20	1,54	0,16	1	1	3,74	4
15	4,35	0,1791687	0,20	1,42	0,16	1	1	3,62	4
14	4,55	0,1734808	0,20	1,31	0,15	1	1	3,51	4
13	4,75	0,168143	0,20	1,19	0,15	1	1	3,39	3,5
12	4,95	0,1631238	0,20	1,073	0,150392	1	1	3,273	3,5
11	5,15	0,1583955	0,20	0,957	0,148871	1	1	3,157	3,5
10	5,35	0,1539337	0,20	0,841	0,147464	1	1	3,041	3,5
9	5,55	0,1497163	0,15	0,725	0,109619	1	1	2,875	3
8	5,7	0,1467019	0,15	0,638	0,10893	1	1	2,788	3
7	5,85	0,1438065	0,15	0,551	0,108276	1	1	2,701	3
6	6	0,1410231	0,15	0,464	0,107654	1	1	2,614	3
5	6,15	0,1383455	0,15	0,377	0,107064	1	1	2,527	3
4	6,3	0,1357676	0,15	0,29	0,106501	1	1	2,44	2,5
3	6,45	0,1332841	0,15	0,203	0,105964	1	1	2,353	2,5
2	6,6	0,1308897	0,15	0,116	0,105452	1	1	2,266	2,5
1	6,75	0,1285799	0,15	0,029	0,104963	1	1	2,179	2,5
	6,9	0,1263502	0,15	-0,058	0,104494	1	1	2,092	2,5
	7,05	0,1241965	0,15	-0,145	0,104046	1	1	2,005	2,5



5,85

105

πίνακας 5 διατομής 70β δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόστασ η S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
25	1,35	0,352557	0,40	3,05	0,51	1,00	1	5,45	5,5
24	1,75	0,312265	0,35	2,81	0,39	1	1	5,16	5,5
23	2,10	0,283877	0,30	2,61	0,31	1	1	4,91	5
22	2,40	0,263356	0,30	2,44	0,29	1	1	4,74	5
21	2,70	0,245602	0,25	2,26	0,23	1	1	4,51	5
20	2,95	0,232538	0,25	2,12	0,22	1	1	4,37	4,5
19	3,20	0,220793	0,25	1,97	0,21	1	1	4,22	4,5
18	3,45	0,210178	0,25	1,83	0,21	1	1	4,08	4,5
17	3,70	0,200537	0,25	1,68	0,20	1	1	3,93	4
16	3,95	0,191742	0,20	1,54	0,16	1	1	3,74	4
15	4,15	0,185242	0,20	1,42	0,16	1	1	3,62	4
14	4,35	0,179168	0,20	1,31	0,16	1	1	3,51	4
13	4,55	0,173480	0,20	1,19	0,15	1	1	3,39	3,5
12	4,75	0,168143	0,20	1,07	0,15	1	1	3,27	3,5
11	4,95	0,163123	0,2	0,957	0,150392	1	1	3,157	3,5
10	5,15	0,158395	0,2	0,841	0,148871	1	1	3,041	3,5
9	5,35	0,153933	0,2	0,725	0,147464	1	1	2,925	3
8	5,55	0,149716	0,15	0,609	0,109619	1	1	2,759	3
7	5,7	0,146701	0,15	0,522	0,10893	1	1	2,672	3
6	5,85	0,143806	0,15	0,435	0,108276	1	1	2,585	3
5	6	0,141023	0,15	0,348	0,107654	1	1	2,498	2,5
4	6,15	0,138345	0,15	0,261	0,107064	1	1	2,411	2,5
3	6,3	0,135767	0,15	0,174	0,106501	1	1	2,324	2,5
2	6,45	0,133284	0,15	0,087	0,105964	1	1	2,237	2,5
1	6,6	0,130889	0,15	-2,576E-15	0,105452	1	1	2,15	2,5
	6,75	0,128579	0,15	-0,087	0,104963	1	1	2,063	2,5
	6,9	0,126350	0,15	-0,174	0,104494	1	1	1,976	2
	7,05	0,124196	0,15	-0,261	0,104046	1	1	1,889	2
			<b>5,85</b>						<b>100,5</b>

πίνακας 7 διατομής 70α δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται
12	1,35	0,3525578	0,40	1,77	0,51	1,00	1	4,17	4,5
11	1,75	0,3122655	0,35	1,54	0,39	1	1	3,89	4
10	2,10	0,2838777	0,30	1,33	0,31	1	1	3,63	4
9	2,40	0,2633565	0,30	1,16	0,29	1	1	3,46	3,5
8	2,70	0,2456021	0,25	0,99	0,23	1	1	3,24	3,5
7	2,95	0,2325381	0,25	0,84	0,22	1	1	3,09	3,5
6	3,20	0,2207938	0,25	0,70	0,21	1	1	2,95	3
5	3,45	0,2101787	0,25	0,55	0,21	1	1	2,80	3
4	3,70	0,2005375	0,25	0,41	0,20	1	1	2,66	3
3	3,95	0,191742	0,20	0,26	0,16	1	1	2,46	2,5
2	4,15	0,1852423	0,20	0,15	0,16	1	1	2,35	2,5
1	4,35	0,1791687	0,20	0,03	0,16	1	1	2,23	2,5
	4,55	0,1734808	0,20	-0,09	0,15	1	1	2,11	2,5
	4,75	0,168143	0,20	-0,20	0,15	1	1	2,00	2
			<b>3,60</b>						<b>44</b>

πίνακας 7 διατομής 71α δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
16	1,35	0,3525578	0,40	2,23	0,51	1,00	1	4,63	5,00
15	1,75	0,3122655	0,35	2,00	0,39	1	1	4,35	4,50
14	2,10	0,2838777	0,30	1,80	0,31	1	1	4,10	4,50
13	2,40	0,2633565	0,30	1,62	0,29	1	1	3,92	4,00
12	2,70	0,2456021	0,25	1,45	0,23	1	1	3,70	4,00
11	2,95	0,2325381	0,25	1,31	0,22	1	1	3,56	4,00
10	3,20	0,2207938	0,25	1,16	0,21	1	1	3,41	3,50
9	3,45	0,2101787	0,25	1,02	0,21	1	1	3,27	3,50
8	3,70	0,2005375	0,25	0,87	0,20	1	1	3,12	3,50
7	3,95	0,191742	0,20	0,73	0,16	1	1	2,93	3,00
6	4,15	0,1852423	0,20	0,61	0,16	1	1	2,81	3,00
5	4,35	0,1791687	0,20	0,49	0,16	1	1	2,69	3,00
4	4,55	0,1734808	0,20	0,38	0,15	1	1	2,58	3,00
3	4,75	0,168143	0,20	0,26	0,15	1	1	2,46	2,50
2	4,95	0,1631238	0,20	0,145	0,150392	1	1	2,345	2,50
1	5,15	0,1583955	0,20	0,029	0,148871	1	1	2,229	2,50
	5,35	0,1539337	0,20	-0,087	0,147464	1	1	2,113	2,50
			<b>4,20</b>						<b>58,50</b>

πίνακας 8 διατομής 83 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
4	1,35	0,3525578	0,40	0,61	0,51	1,00	1	3,01	3,5
3	1,75	0,3122655	0,35	0,38	0,39	1	1	2,73	3
2	2,10	0,2838777	0,30	0,17	0,31	1	1	2,47	2,5
1	2,40	0,2633565	0,30	0,00	0,29	1	1	2,30	2,5
			<b>1,35</b>						<b>11,5</b>

πίνακας 9 διατομής 89 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
9	1,35	0,3525578	0,40	1,42	0,51	1,00	1	3,82	4
8	1,75	0,3122655	0,35	1,19	0,39	1	1	3,54	4
7	2,10	0,2838777	0,30	0,99	0,31	1	1	3,29	3,5
6	2,40	0,2633565	0,30	0,81	0,29	1	1	3,11	3,5
5	2,70	0,2456021	0,25	0,64	0,23	1	1	2,89	3
4	2,95	0,2325381	0,25	0,49	0,22	1	1	2,74	3
3	3,20	0,2207938	0,25	0,35	0,21	1	1	2,60	3
2	3,45	0,2101787	0,25	0,20	0,21	1	1	2,45	2,5
1	3,70	0,2005375	0,25	0,06	0,20	1	1	2,31	2,5
	3,95	0,191742	0,20	-0,09	0,16	1	1	2,11	2,5
	4,15	0,1852423	0,20	-0,20	0,16	1	1	2,00	2
			<b>3,00</b>						<b>33,5</b>

πίνακας 10 διατομής 90 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>av</sub>	Απαιτείται
38	1,35	0,3525578	0,40	4,21	0,51	1,00	1	6,61	7
37	1,75	0,3122655	0,35	3,97	0,39	1	1	6,32	6,5
36	2,10	0,2838777	0,30	3,77	0,31	1	1	6,07	6,5
35	2,40	0,2633565	0,30	3,60	0,29	1	1	5,90	6
34	2,70	0,2456021	0,25	3,42	0,23	1	1	5,67	6
33	2,95	0,2325381	0,25	3,28	0,22	1	1	5,53	6
32	3,20	0,2207938	0,25	3,13	0,21	1	1	5,38	5,5
31	3,45	0,2101787	0,25	2,99	0,21	1	1	5,24	5,5
30	3,70	0,2005375	0,25	2,84	0,20	1	1	5,09	5,5
29	3,95	0,191742	0,20	2,70	0,16	1	1	4,90	5
28	4,15	0,1852423	0,20	2,58	0,16	1	1	4,78	5
27	4,35	0,1791687	0,20	2,47	0,16	1	1	4,67	5
26	4,55	0,1734808	0,20	2,35	0,15	1	1	4,55	5
25	4,75	0,168143	0,20	2,23	0,15	1	1	4,43	4,5
24	4,95	0,1631238	0,2	2,117	0,150392	1	1	4,317	4,5
23	5,15	0,1583955	0,2	2,001	0,148871	1	1	4,201	4,5
22	5,35	0,1539337	0,2	1,885	0,147464	1	1	4,085	4,5
21	5,55	0,1497163	0,15	1,769	0,109619	1	1	3,919	4
20	5,7	0,1467019	0,15	1,682	0,10893	1	1	3,832	4
19	5,85	0,1438065	0,15	1,595	0,108276	1	1	3,745	4
18	6	0,1410231	0,15	1,508	0,107654	1	1	3,658	4
17	6,15	0,1383455	0,15	1,421	0,107064	1	1	3,571	4
16	6,3	0,1357676	0,15	1,334	0,106501	1	1	3,484	3,5
15	6,45	0,1332841	0,15	1,247	0,105964	1	1	3,397	3,5
14	6,6	0,1308897	0,15	1,16	0,105452	1	1	3,31	3,5
13	6,75	0,1285799	0,15	1,073	0,104963	1	1	3,223	3,5
12	6,9	0,1263502	0,15	0,986	0,104494	1	1	3,136	3,5
11	7,05	0,1241965	0,15	0,899	0,104046	1	1	3,049	3,5
10	7,2	0,122115	0,15	0,812	0,103617	1	1	2,962	3

9	7,35	0,1201021	0,15	0,725	0,103205	1	1	2,875	3
8	7,5	0,1181545	0,15	0,638	0,102809	1	1	2,788	3
7	7,65	0,1162691	0,15	0,551	0,102429	1	1	2,701	3
6	7,8	0,1144429	0,15	0,464	0,102064	1	1	2,614	3
5	7,95	0,1126731	0,15	0,377	0,101712	1	1	2,527	3
4	8,1	0,1109573	0,15	0,29	0,101373	1	1	2,44	2,5
3	8,25	0,1092929	0,15	0,203	0,101047	1	1	2,353	2,5
2	8,4	0,1076778	0,15	0,116	0,100732	1	1	2,266	2,5
1	8,55	0,1061096	0,15	0,029	0,100429	1	1	2,179	2,5
	8,7	0,1045865	0,15	-0,058	0,100136	1	1	2,092	2,5
	8,85	0,1031065	0,15	-0,145	0,099852	1	1	2,005	2,5
			<b>7,65</b>						<b>166,5</b>

πίνακας 11 διατομής 92 δεξιά



Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
36	1,35	0,3525578	0,40	3,86	0,51	1,00	1	6,26	6,5
35	1,75	0,3122655	0,35	3,63	0,39	1	1	5,98	6
34	2,10	0,2838777	0,30	3,42	0,31	1	1	5,72	6
33	2,40	0,2633565	0,30	3,25	0,29	1	1	5,55	6
32	2,70	0,2456021	0,25	3,07	0,23	1	1	5,32	5,5
31	2,95	0,2325381	0,25	2,93	0,22	1	1	5,18	5,5
30	3,20	0,2207938	0,25	2,78	0,21	1	1	5,03	5,5
29	3,45	0,2101787	0,25	2,64	0,21	1	1	4,89	5
28	3,70	0,2005375	0,25	2,49	0,20	1	1	4,74	5
27	3,95	0,191742	0,20	2,35	0,16	1	1	4,55	5
26	4,15	0,1852423	0,20	2,23	0,16	1	1	4,43	4,5
25	4,35	0,1791687	0,20	2,12	0,16	1	1	4,32	4,5
24	4,55	0,1734808	0,20	2,00	0,15	1	1	4,20	4,5
23	4,75	0,168143	0,20	1,89	0,15	1	1	4,09	4,5
22	4,95	0,1631238	0,2	1,769	0,150392	1	1	3,969	4
21	5,15	0,1583955	0,2	1,653	0,148871	1	1	3,853	4
20	5,35	0,1539337	0,2	1,537	0,147464	1	1	3,737	4
19	5,55	0,1497163	0,15	1,421	0,109619	1	1	3,571	4
18	5,7	0,1467019	0,15	1,334	0,10893	1	1	3,484	3,5
17	5,85	0,1438065	0,15	1,247	0,108276	1	1	3,397	3,5
16	6	0,1410231	0,15	1,16	0,107654	1	1	3,31	3,5
15	6,15	0,1383455	0,15	1,073	0,107064	1	1	3,223	3,5
14	6,3	0,1357676	0,15	0,986	0,106501	1	1	3,136	3,5
13	6,45	0,1332841	0,15	0,899	0,105964	1	1	3,049	3,5
12	6,6	0,1308897	0,15	0,812	0,105452	1	1	2,962	3
11	6,75	0,1285799	0,15	0,725	0,104963	1	1	2,875	3
10	6,9	0,1263502	0,15	0,638	0,104494	1	1	2,788	3
9	7,05	0,1241965	0,15	0,551	0,104046	1	1	2,701	3
8	7,2	0,122115	0,15	0,464	0,103617	1	1	2,614	3

7	7,35	0,1201021	0,15	0,377	0,103205	1	1	2,527	3
6	7,5	0,1181545	0,15	0,29	0,10280	1	1	2,44	2,5
5	7,65	0,1162691	0,15	0,203	0,10242	1	1	2,353	2,5
4	7,8	0,1144429	0,15	0,116	0,10206	1	1	2,266	2,5
3	7,95	0,1126731	0,15	0,029	0,10171	1	1	2,179	2,5
2	8,1	0,1109573	0,15	-0,058	0,10137	1	1	2,092	2,5
1	8,25	0,1092929	0,15	-0,145	0,10104	1	1	2,005	2,5
			<b>7,05</b>						<b>144</b>

πίνακας 12 διατομής 93 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
11	1,35	0,3525578	0,40	1,42	0,51	1,00	1	3,82	4
10	1,75	0,3122655	0,35	1,19	0,39	1	1	3,54	4
9	2,10	0,2838777	0,30	0,99	0,31	1	1	3,29	3,5
8	2,40	0,2633565	0,30	0,81	0,29	1	1	3,11	3,5
7	2,70	0,2456021	0,25	0,64	0,23	1	1	2,89	3
6	2,95	0,2325381	0,25	0,49	0,22	1	1	2,74	3
5	3,20	0,2207938	0,25	0,35	0,21	1	1	2,60	3
4	3,45	0,2101787	0,25	0,20	0,21	1	1	2,45	2,5
3	3,70	0,2005375	0,25	0,06	0,20	1	1	2,31	2,5
2	3,95	0,191742	0,20	-0,09	0,16	1	1	2,11	2,5
1	4,15	0,1852423	0,20	-0,20	0,16	1	1	2,00	2
			<b>3,00</b>						<b>33,5</b>

πίνακας 13 διατομής 94 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>ε</sub>		min L <sub>αν</sub>	Απαιτείται
11	1,35	0,3525578	0,40	1,42	0,51	1,00	1	3,82	4
10	1,75	0,3122655	0,35	1,19	0,39	1	1	3,54	4
9	2,10	0,2838777	0,30	0,99	0,31	1	1	3,29	3,5
8	2,40	0,2633565	0,30	0,81	0,29	1	1	3,11	3,5
7	2,70	0,2456021	0,25	0,64	0,23	1	1	2,89	3
6	2,95	0,2325381	0,25	0,49	0,22	1	1	2,74	3
5	3,20	0,2207938	0,25	0,35	0,21	1	1	2,60	3
4	3,45	0,2101787	0,25	0,20	0,21	1	1	2,45	2,5
3	3,70	0,2005375	0,25	0,06	0,20	1	1	2,31	2,5
2	3,95	0,191742	0,20	-0,09	0,16	1	1	2,11	2,5
1	4,15	0,1852423	0,20	-0,20	0,16	1	1	2,00	2
			<b>3,00</b>						<b>33,5</b>

πίνακας 14 διατομής 97 δεξιά

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεωφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεωφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>		min L <sub>av</sub>	Απαιτείται
39	1,35	0,3525578	0,40	3,97	0,51	1,00	1	6,37	6,5
38	1,75	0,3122655	0,35	3,74	0,39	1	1	6,09	6,5
37	2,10	0,2838777	0,30	3,54	0,31	1	1	5,84	6
36	2,40	0,2633565	0,30	3,36	0,29	1	1	5,66	6
35	2,70	0,2456021	0,25	3,19	0,23	1	1	5,44	5,5
34	2,95	0,2325381	0,25	3,05	0,22	1	1	5,30	5,5
33	3,20	0,2207938	0,25	2,90	0,21	1	1	5,15	5,5
32	3,45	0,2101787	0,25	2,76	0,21	1	1	5,01	5,5
31	3,70	0,2005375	0,25	2,61	0,20	1	1	4,86	5
30	3,95	0,191742	0,20	2,47	0,16	1	1	4,67	5
29	4,15	0,1852423	0,20	2,35	0,16	1	1	4,55	5
28	4,35	0,1791687	0,20	2,23	0,16	1	1	4,43	4,5
27	4,55	0,1734808	0,20	2,12	0,15	1	1	4,32	4,5
26	4,75	0,168143	0,20	2,00	0,15	1	1	4,20	4,5
25	4,95	0,1631238	0,2	1,885	0,150392	1	1	4,085	4,5
24	5,15	0,1583955	0,2	1,769	0,148871	1	1	3,969	4
23	5,35	0,1539337	0,2	1,653	0,147464	1	1	3,853	4
22	5,55	0,1497163	0,15	1,537	0,109619	1	1	3,687	4
21	5,7	0,1467019	0,15	1,45	0,10893	1	1	3,6	4
20	5,85	0,1438065	0,15	1,363	0,108276	1	1	3,513	4
19	6	0,1410231	0,15	1,276	0,107654	1	1	3,426	3,5
18	6,15	0,1383455	0,15	1,189	0,107064	1	1	3,339	3,5
17	6,3	0,1357676	0,15	1,102	0,106501	1	1	3,252	3,5
16	6,45	0,1332841	0,15	1,015	0,105964	1	1	3,165	3,5
15	6,6	0,1308897	0,15	0,928	0,105452	1	1	3,078	3,5
14	6,75	0,1285799	0,15	0,841	0,104963	1	1	2,991	3
13	6,9	0,1263502	0,15	0,754	0,104494	1	1	2,904	3
12	7,05	0,1241965	0,15	0,667	0,104046	1	1	2,817	3
11	7,2	0,122115	0,15	0,58	0,103617	1	1	2,73	3

10	7,35	0,1201021	0,15	0,493	0,103205	1	1	2,643	3
9	7,5	0,1181545	0,15	0,406	0,102809	1	1	2,556	3
8	7,65	0,1162691	0,15	0,319	0,102429	1	1	2,469	2,5
7	7,8	0,1144429	0,15	0,232	0,102064	1	1	2,382	2,5
6	7,95	0,1126731	0,15	0,145	0,101712	1	1	2,295	2,5
5	8,1	0,1109573	0,15	0,058	0,101373	1	1	2,208	2,5
4	8,25	0,1092929	0,15	-0,029	0,101047	1	1	2,121	2,5
3	8,4	0,1076778	0,15	-0,116	0,100732	1	1	2,034	2,5
2	8,55	0,1061096	0,15	-0,203	0,100429	1	1	1,947	2
1	8,7	0,1045865	0,15	-0,29	0,100136	1	1	1,86	2
			<b>7,50</b>						<b>154,5</b>

πίνακας 15 διατομής A2

Αριθμός Στρώσης	Βάθος Z (m)	S <sub>v</sub> (m)	Απόσταση S <sub>v</sub> (m)	Μήκος γεφυφάσματος (m)			Μήκος Αναδίπλ. (m)	Συνολικό Μήκος γεφυφάσματος (m)	
				L <sub>e</sub>	L <sub>α</sub>	min L <sub>a</sub>	min L <sub>av</sub>	Απαιτείται	Επιλέγεται
26	1,35	0,3525578	0,40	2,93	0,51	1,00	1	5,33	5,5
25	1,75	0,3122655	0,35	2,70	0,39	1	1	5,05	5,5
24	2,10	0,2838777	0,30	2,49	0,31	1	1	4,79	5
23	2,40	0,2633565	0,30	2,32	0,29	1	1	4,62	5
22	2,70	0,2456021	0,25	2,15	0,23	1	1	4,40	4,5
21	2,95	0,2325381	0,25	2,00	0,22	1	1	4,25	4,5
20	3,20	0,2207938	0,25	1,86	0,21	1	1	4,11	4,5
19	3,45	0,2101787	0,25	1,71	0,21	1	1	3,96	4
18	3,70	0,2005375	0,25	1,57	0,20	1	1	3,82	4
17	3,95	0,191742	0,20	1,42	0,16	1	1	3,62	4
16	4,15	0,1852423	0,20	1,31	0,16	1	1	3,51	4
15	4,35	0,1791687	0,20	1,19	0,16	1	1	3,39	3,5
14	4,55	0,1734808	0,20	1,07	0,15	1	1	3,27	3,5
13	4,75	0,168143	0,20	0,96	0,15	1	1	3,16	3,5
12	4,95	0,1631238	0,20	0,841	0,150392	1	1	3,041	3,5
11	5,15	0,1583955	0,20	0,725	0,148871	1	1	2,925	3
10	5,35	0,1539337	0,20	0,609	0,147464	1	1	2,809	3
9	5,55	0,1497163	0,15	0,493	0,109619	1	1	2,643	3
8	5,7	0,1467019	0,15	0,406	0,10893	1	1	2,556	3
7	5,85	0,1438065	0,15	0,319	0,108276	1	1	2,469	2,5
6	6	0,1410231	0,15	0,232	0,107654	1	1	2,382	2,5
5	6,15	0,1383455	0,15	0,145	0,107064	1	1	2,295	2,5
4	6,3	0,1357676	0,15	0,058	0,106501	1	1	2,208	2,5
3	6,45	0,1332841	0,15	-0,029	0,105964	1	1	2,121	2,5
2	6,6	0,1308897	0,15	-0,116	0,105452	1	1	2,034	2,5
1	6,75	0,1285799	0,15	-0,203	0,104963	1	1	1,947	2
			<b>5,55</b>						<b>93,5</b>

πίνακας 16 διατομής 97α δεξιά

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ -**

**ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ - ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΙΧΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟ  
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ  
ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ**



ΔΙΑΤΟΜΗ 67

Χ.Θ. 0 + 978.82

κλίμακα: 1:125

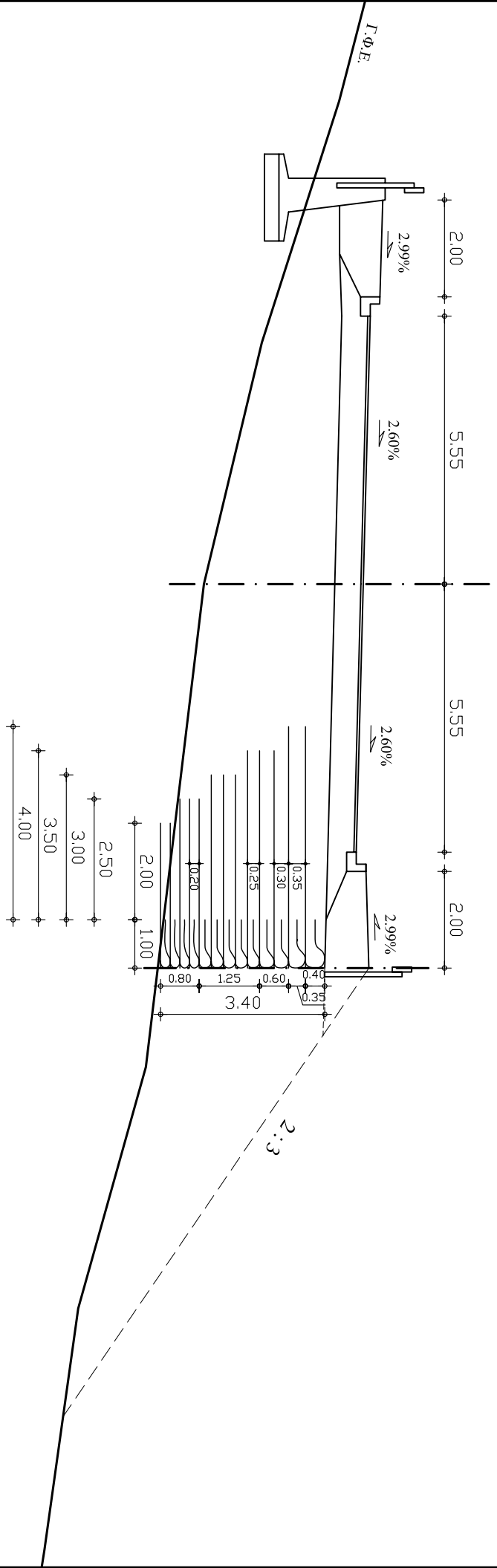
ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΟΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΟΥΦΑΣΜΑΤΩΝ
Εμβαδόν επιχωμάτων	Εμβαδόν εκχωμάτων
58.42 τ.μ.	38.70 τ.μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΟΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

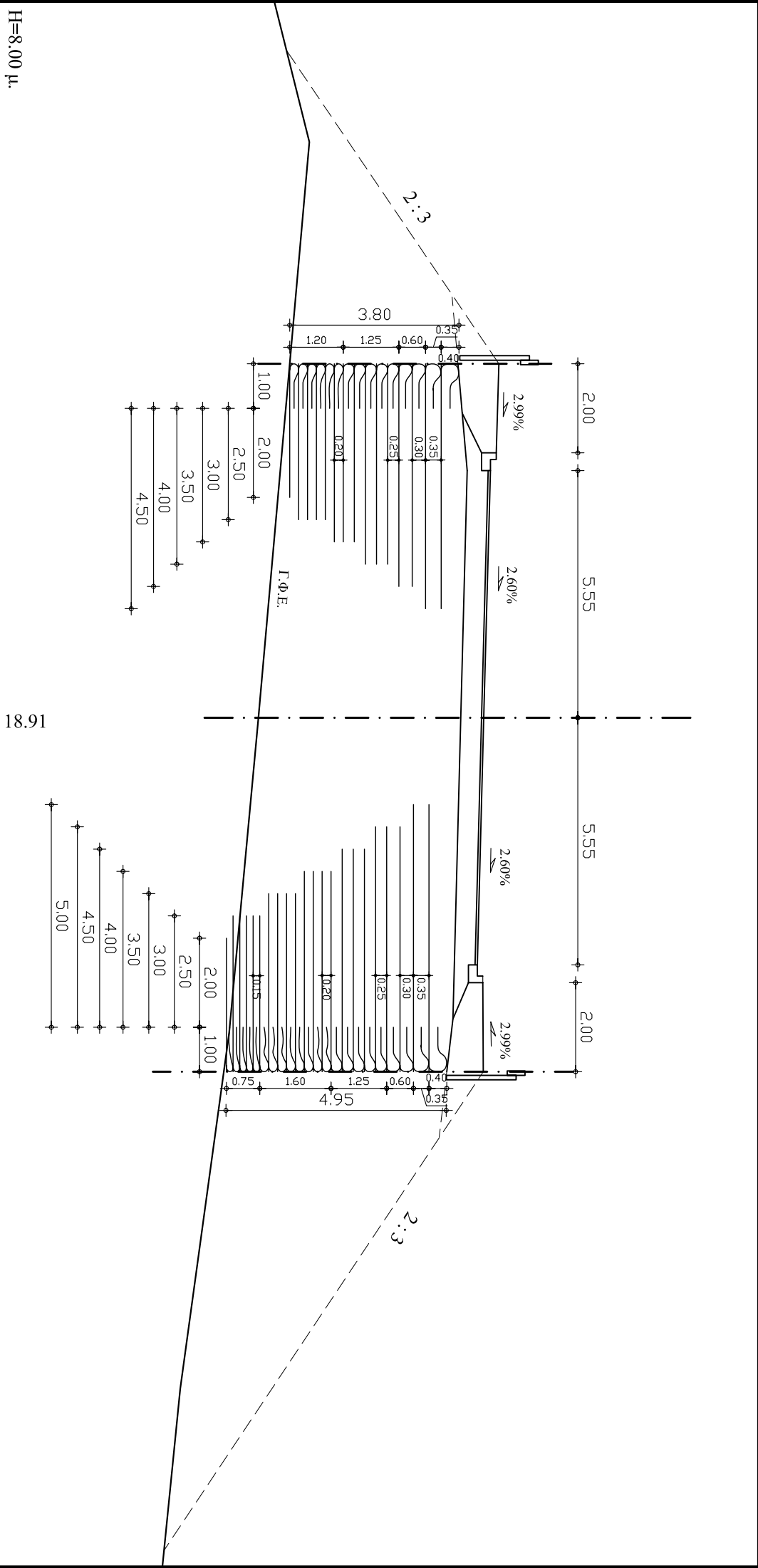
39.00 μ.

H=8.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.
		-10.00	17.90
-7.95	18.73		
-5.55	18.54	-5.00	16.30
		0.00	15.10
0.00	18.40		18.40
		5.00	14.50
5.95	18.37		
7.95	18.38		
9.42	17.40	10.00	13.90
		15.00	12.50
		0.00	12.19
		20.00	11.80



ΔΙΑΤΟΜΗ 68		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
Χ.Θ. 0 + 992.82		Εμβαδόν επιγλυφύτων		114.94 τ.μ.		72.02 τ.μ.	
		Εμβαδόν εκχωμάτων				48.50+76.00=124.50 μ.	
κλίμακα: 1:125							



Η=8.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.
		-14.99	14.48
		-13.00	15.00
-9.45	18.20		
-7.95	19.25		
-5.55	19.06		
0.00	18.91	0.00	13.85
			18.91
5.95	18.89	7.00	13.20
7.95	18.90		
9.42	17.91		
		15.00	12.10
		18.70	11.73

**ΔΙΑΤΟΜΗ 70B**

X.Θ. 1+001.32

κλίμακα: 1:125

**ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

Εμβαδόν επιχωμάτων

144.36 τ.μ.

**ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

Εμβαδόν εκχωμάτων

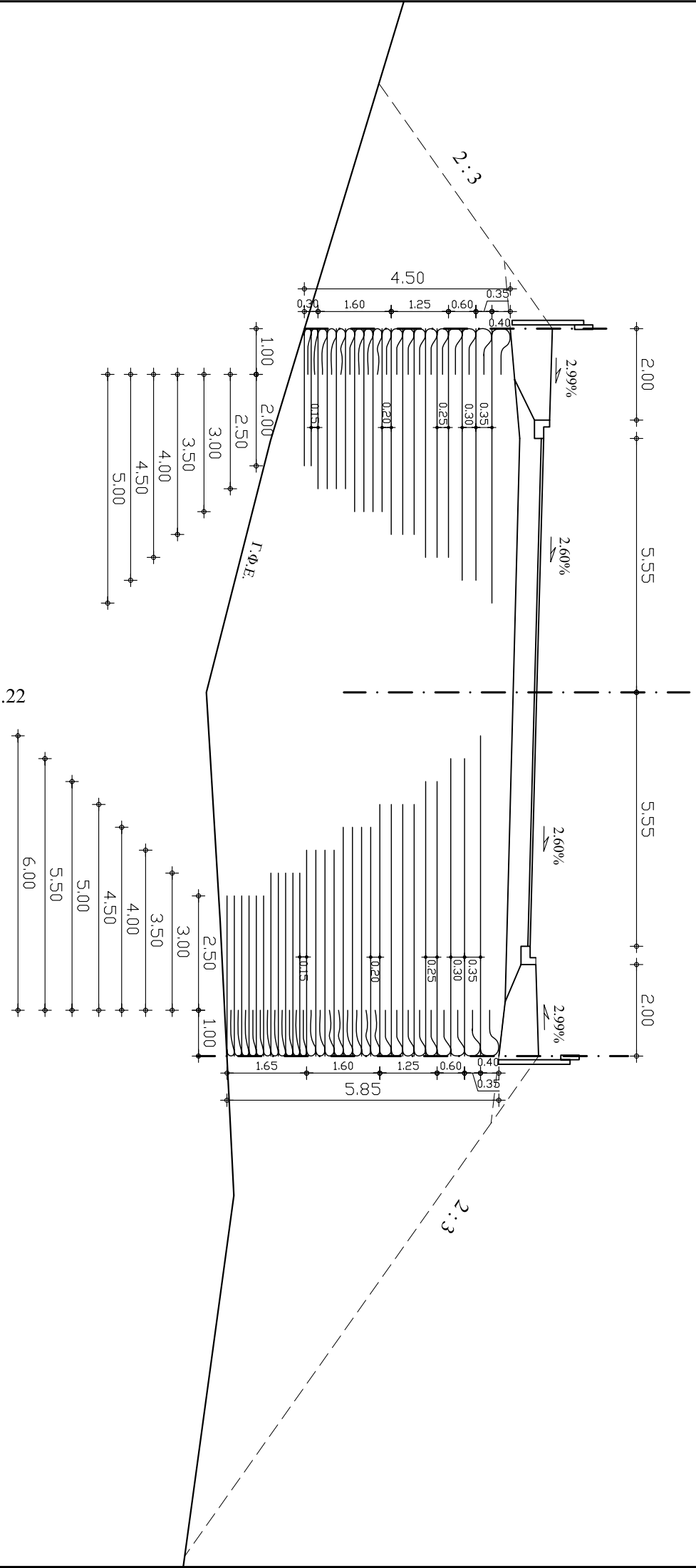
96.17 τ.μ.

**ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

62.50+105=167.50 μ.

H=7.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.
		-13.31	15.77
-9.45	18.51		
-7.95	19.56		
-5.55	19.37	-5.50	13.40
0.00	19.22	0.00	12.00
		5.00	12.30
5.95	19.20		
7.95	19.21		
9.42	18.22		
		11.00	12.60
		18.89	11.53



ΔΙΑΤΟΜΗ 70Δ

Χ.Θ. 1+010.81

κλίμακα: 1:125

ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβεδόν επιχώματων

125.10 τ.μ.

ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

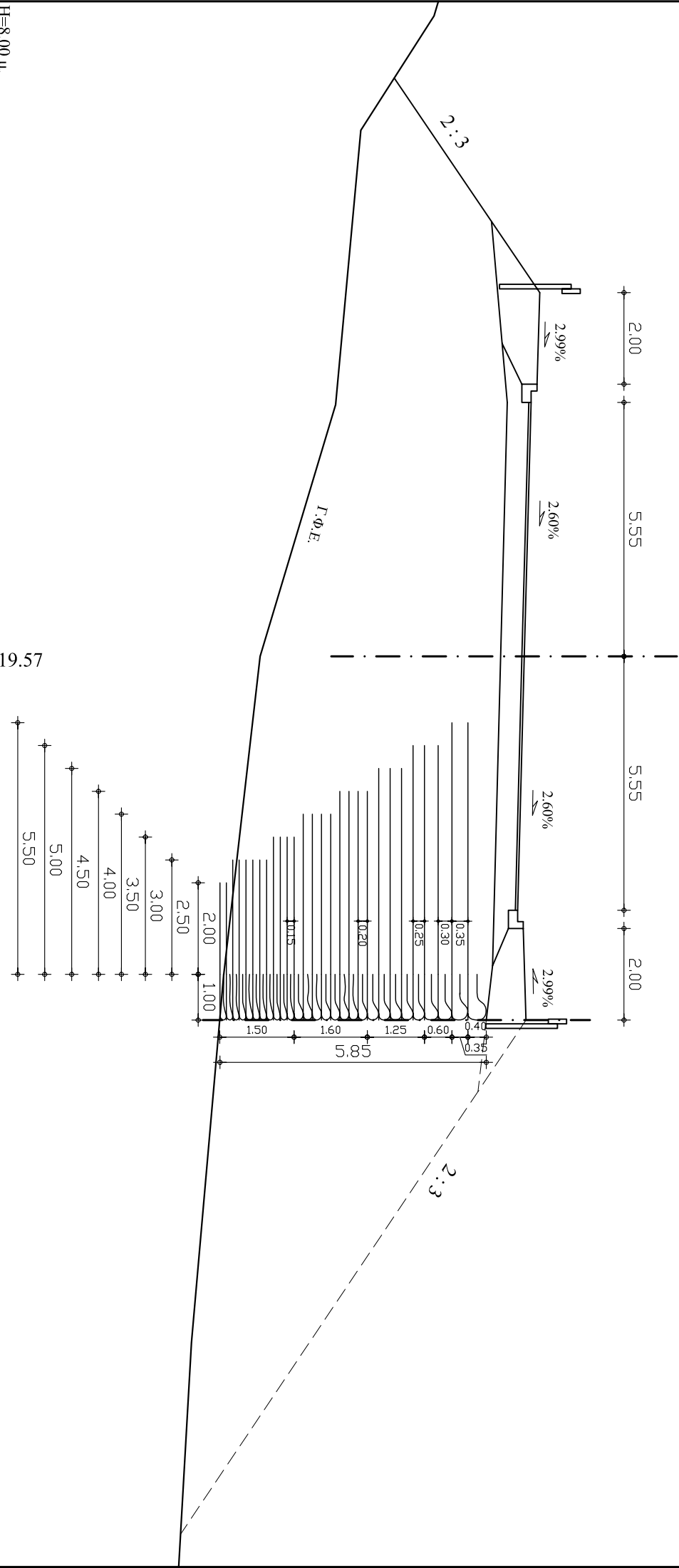
Εμβεδόν εκχωμάτων

88.14 τ.μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

100.50 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ		H=8.00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.	
		12.64	16.73	
		-11.50	16.00	
-9.45	18.86			
-7.95	19.91			
-5.55	19.72	-5.50	15.45	
0.00	19.57	0.00	13.80	19.57
5.95	19.54			
7.95	19.55	7.00	13.00	
9.42	18.57			
		15.00	12.30	
		19.19	12.06	



ΔΙΑΤΟΜΗ 71Α

Χ.Θ. 1+021.07

κλίμακα: 1:125

ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβεδόν επιγωμάτων

50.02 τ.μ.

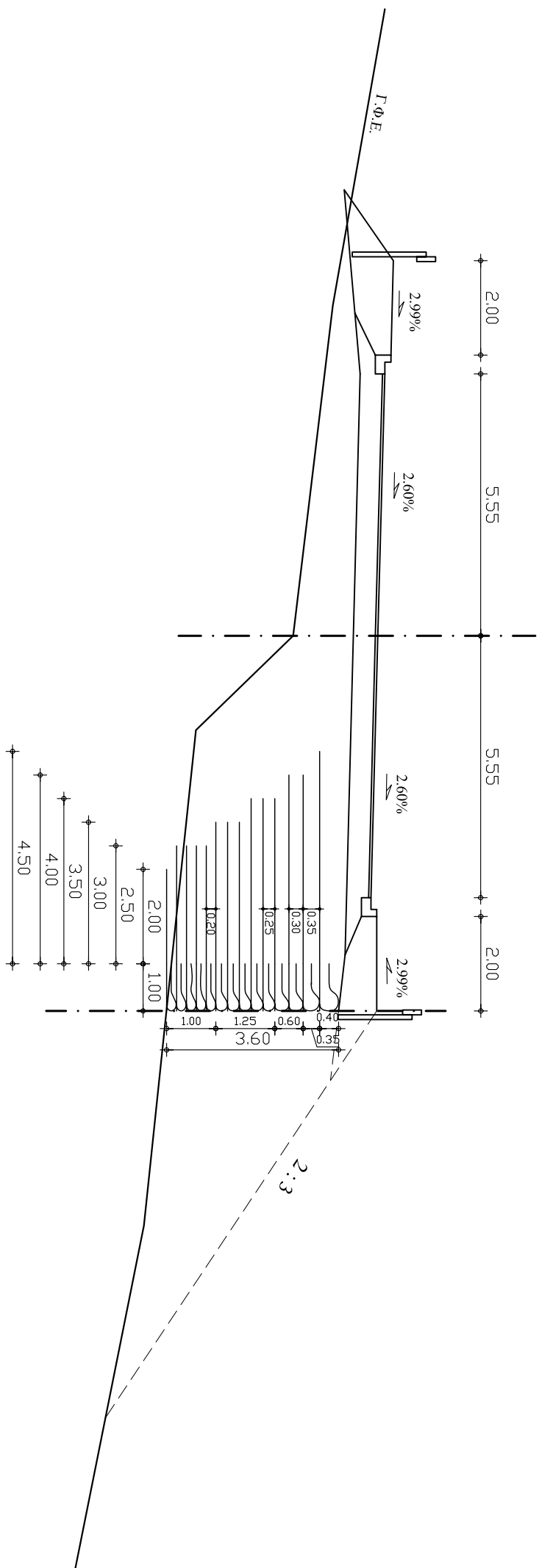
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβεδόν εκχωμάτων

32.31 τ.μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

44.00 μ.



H=10.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.
-9.45	19.24	-13.28	20.10
-7.95	20.28	-7.00	19.00
-5.55	20.09		
0.00	19.95	0.00	18.16
		2.00	16.10
5.95	19.92		
7.95	19.93		
9.42	18.95		
		12.50	15.00
		16.57	4.19

ΔΙΑΤΟΜΗ 83

Χ.Θ. 1+245.53

κλίμακα: 1:125

ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβαδόν επιγωμιάτων

49.95 τ.μ.

ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβαδόν εκχωμιάτων

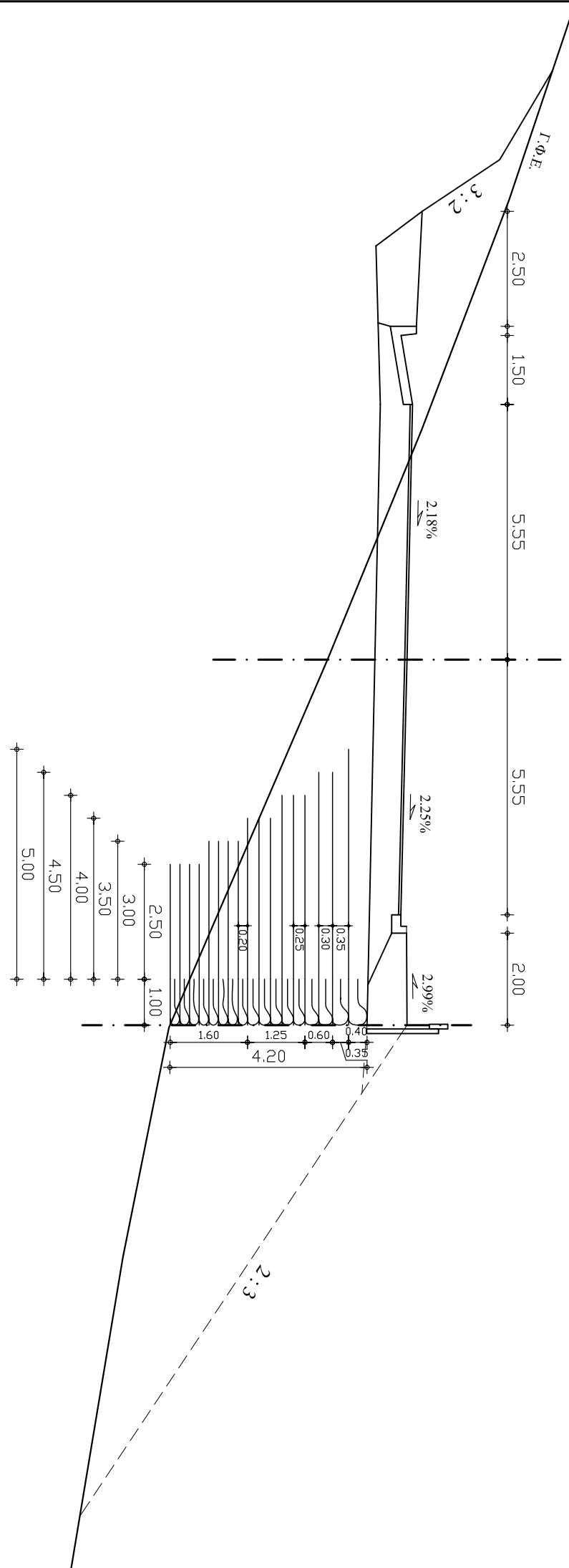
11.26 τ.μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

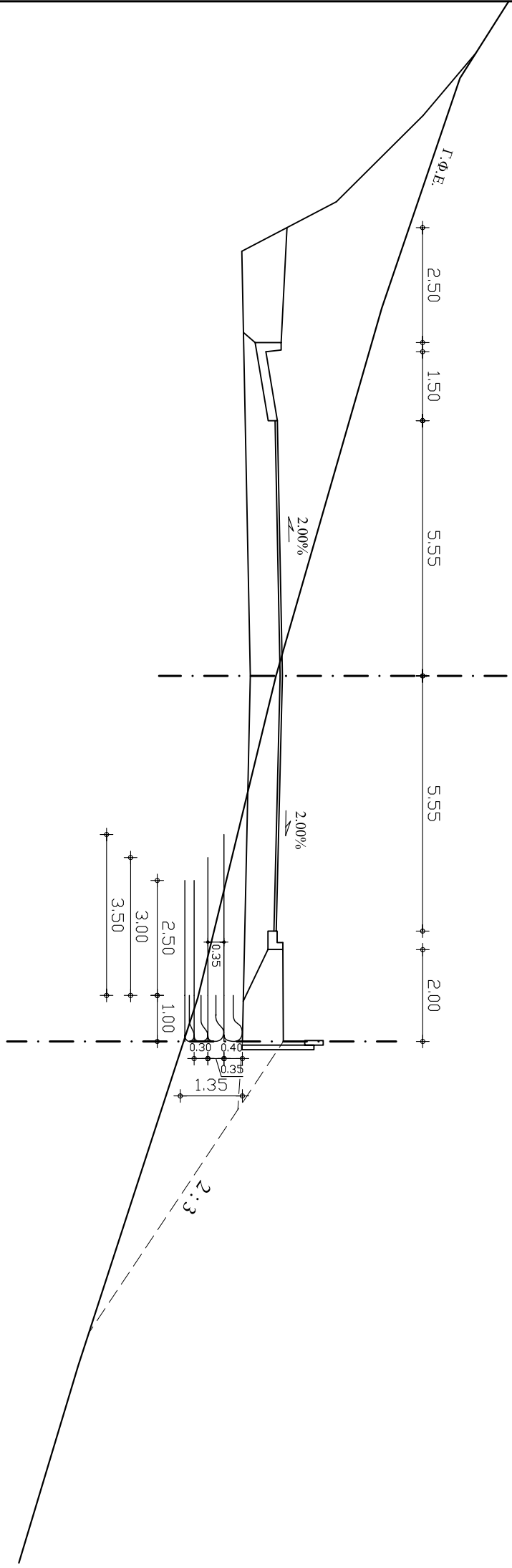
58.50 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.
		-12.80	31.34
-9.75	28.51	-10.00	30.40
-7.05	28.05		
-5.55	28.30	-5.00	28.50
0.00	28.18	0.00	26.45
			28.18
5.95	28.17		
7.95	28.18	8.00	23.00
9.43	27.20		
		13.00	22.00
		18.63	21.05

H=17.00 μ.

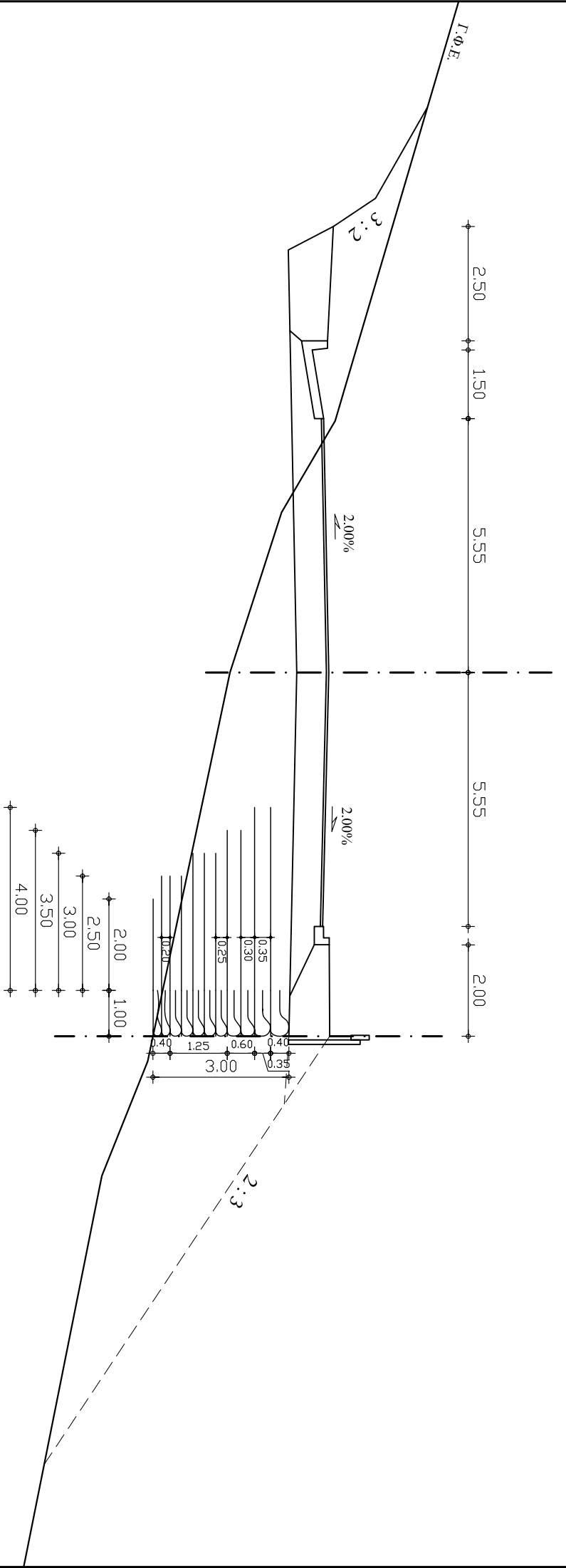


ΔΙΑΤΟΜΗ 89		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
Χ.Θ. 1+383.55		Εμβάδοον επιχωμάτων		Εμβάδοον εκχωμάτων		Εμβάδοον εκχωμάτων	
κλίμακα: 1:125		9.51 τ.μ.		24.28 τ.μ.		3.29 τ.μ.	
						11.50 μ.	



ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ		H=25.00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.	
		-13.54	38.04	
		-13.00	37.70	
-9.75	33.94			
		-8.00	36.00	
-7.05	33.48			
-5.55	33.73			
0.00	33.84	0.00	33.70	33.84
5.95	33.85			
		7.00	32.00	
7.95	33.86			
9.43	32.87			
		14.29	29.63	
		15.00	29.40	
		19.29	28.11	

ΔΙΑΤΟΜΗ 90		κλίμακα: 1:125	ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ
Χ.Θ. 1+402.55					
		Εμβαδόν εκχωμάτων	8.47 τ.μ.	8.47 τ.μ.	33.50 μ.

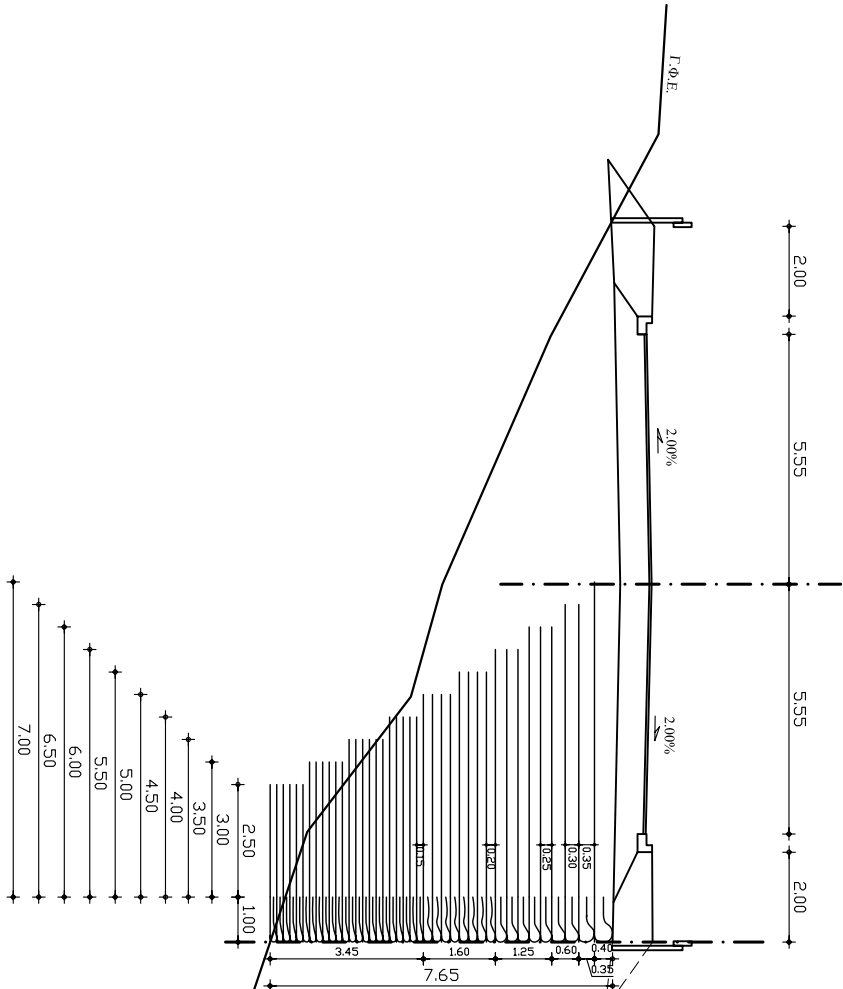


H=24.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.
		-12.35	36.92
-9.75	34.86		
-7.05	34.40		
-5.55	34.65	-5.50	34.90
		-3.50	33.73
0.00	34.76	0.00	32.60
			34.76
5.95	34.77		
7.95	34.78	8.50	30.80
9.43	33.80		
		11.00	29.80
		17.31	28.54

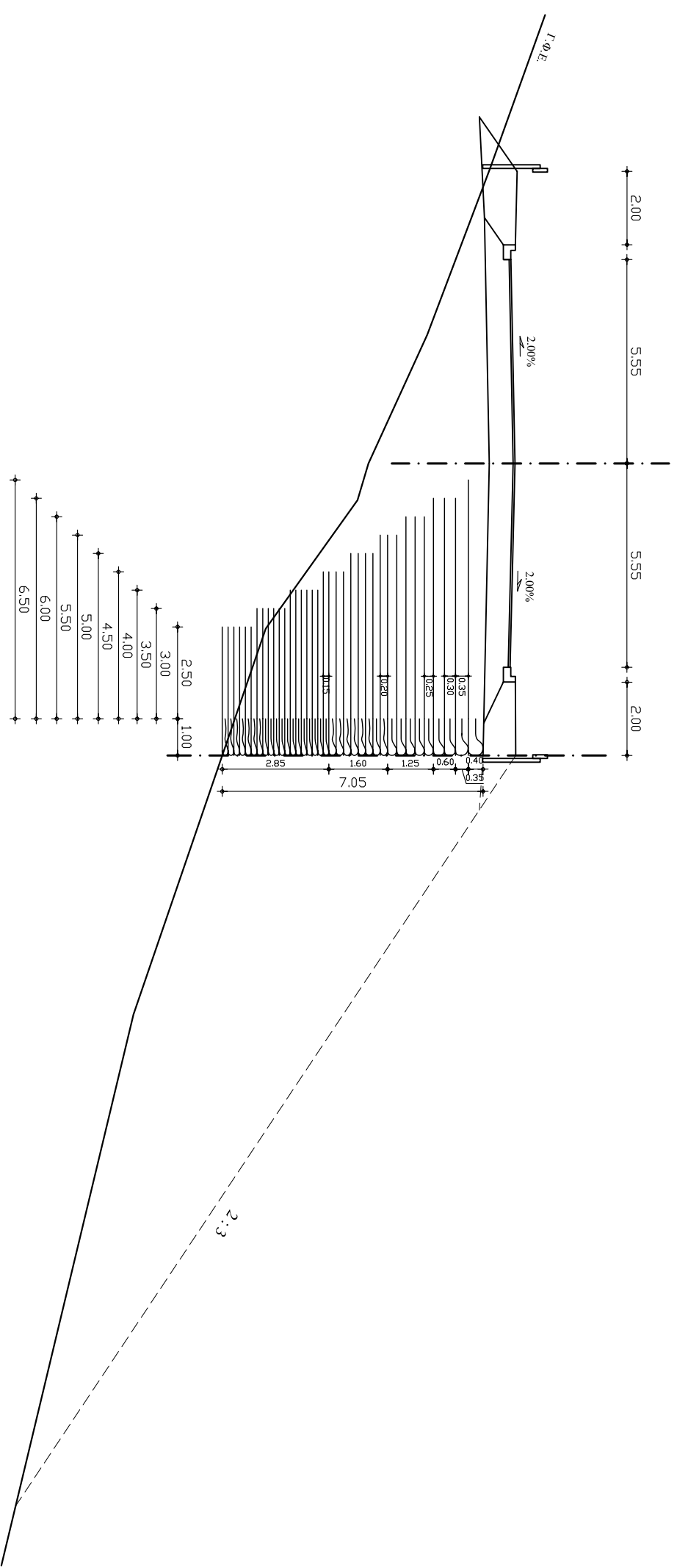


ΔΙΑΤΟΜΗ 92	ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΦΑΣΜΑΤΩΝ
Χ.Θ. 1+440,55	κλίμακα: 1:125	Εμβαδόν επιχοιμάττων	163,39 τ.μ.	62,19 τ.μ.
		Εμβαδόν εκχοιμάττων		166,50 μ.



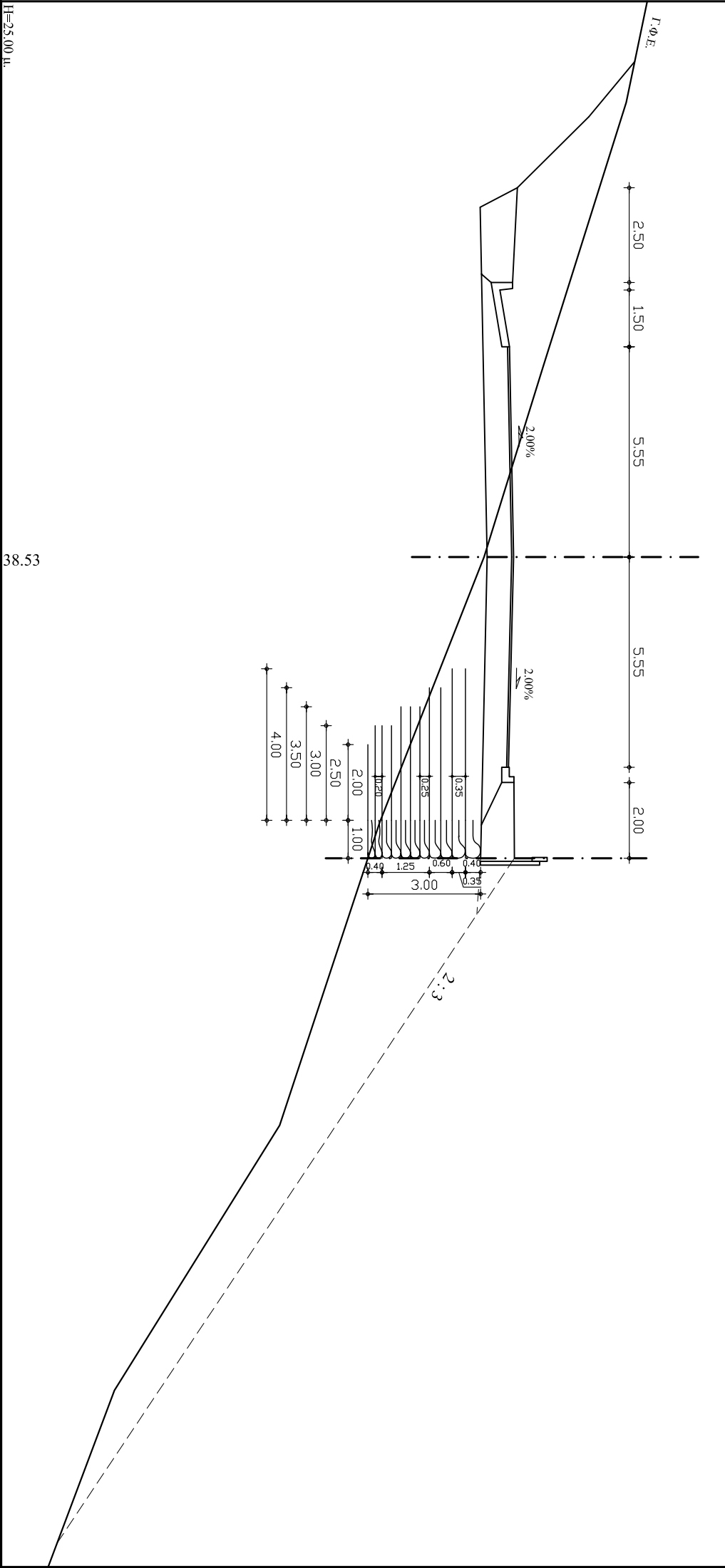
ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΛΑΦΟΣ		H=18,00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.	
		-12.87	36.98	
-9.43	35.68	-10.00	36.80	
-7.95	36.71			
-5.55	36.53	-5.50	34.40	
0.00	36.65	0.00	32.00	36.65
		2.50	31.30	
5.95	36.55	5.50	29.00	
7.95	36.66			
9.43	35.68			
		15.00	25.80	
		22.00	23.20	
		32.75	19.02	
		33.75	18.63	

ΔΙΑΤΟΜΗ 93		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
Χ.Θ. 1+459.55		Επιβάρυνση: 1:125		144.00 μ.	
		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
		Επιβάρυνση: 1:125		144.00 μ.	
		Επιβάρυνση: 1:125		144.00 μ.	



ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ	ΦΥΣ.ΕΔ	ΑΦΟΣ	Η=20.00μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.
		-12.21	38.41
-9.43	36.62		
		-8.00	36.90
-7.95	37.66		
-5.55	37.48		
		-3.50	35.20
0.00	37.59	0.00	33.60 37.59
		1.00	33.30
		4.50	30.80
5.95	37.60		
7.95	37.61		
9.43	36.62		
		15.00	27.20
		28.38	23.99
		30.00	23.60

ΔΙΑΤΟΜΗ 94		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ
κλίμακα: 1:125		Επιβαδόν εργασιμάτων		
X.Θ. 1+478.55		Επιβαδόν εγκυλιμάτων		33.50 μ.
		Επιβαδόν εργασιμάτων		42.26 τ.μ.
		Επιβαδόν εγκυλιμάτων		18.19 τ.μ.



ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΛΑΦΟΣ		H=25.00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.	
		-13.08	41.72	
		-12.00	41.50	
-9.75	38.63			
-7.05	38.17			
-5.55	38.42	-5.00	39.30	
0.00	38.53	0.00	37.75	38.53
5.95	38.54	7.00	35.00	
7.95	38.55			
9.43	37.56			
		15.00	32.36	
		22.00	28.00	
		26.05	26.49	

ΔΙΑΤΟΜΗ 97

Χ.Θ. 1+535.93

κλίμακα: 1:125

ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβαδόν επιχωμάτων

35.94 τ.μ.

ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβαδόν εκχωμάτων

15.05 τ.μ.

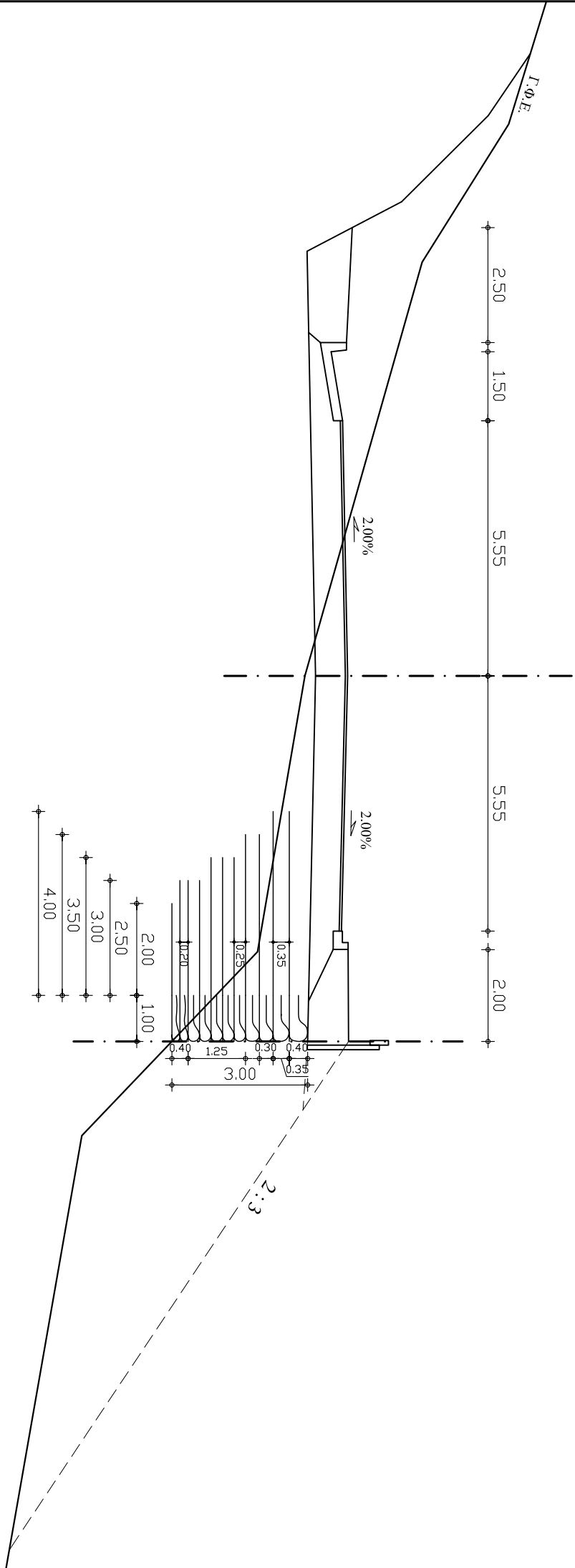
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

8.16 τ.μ.

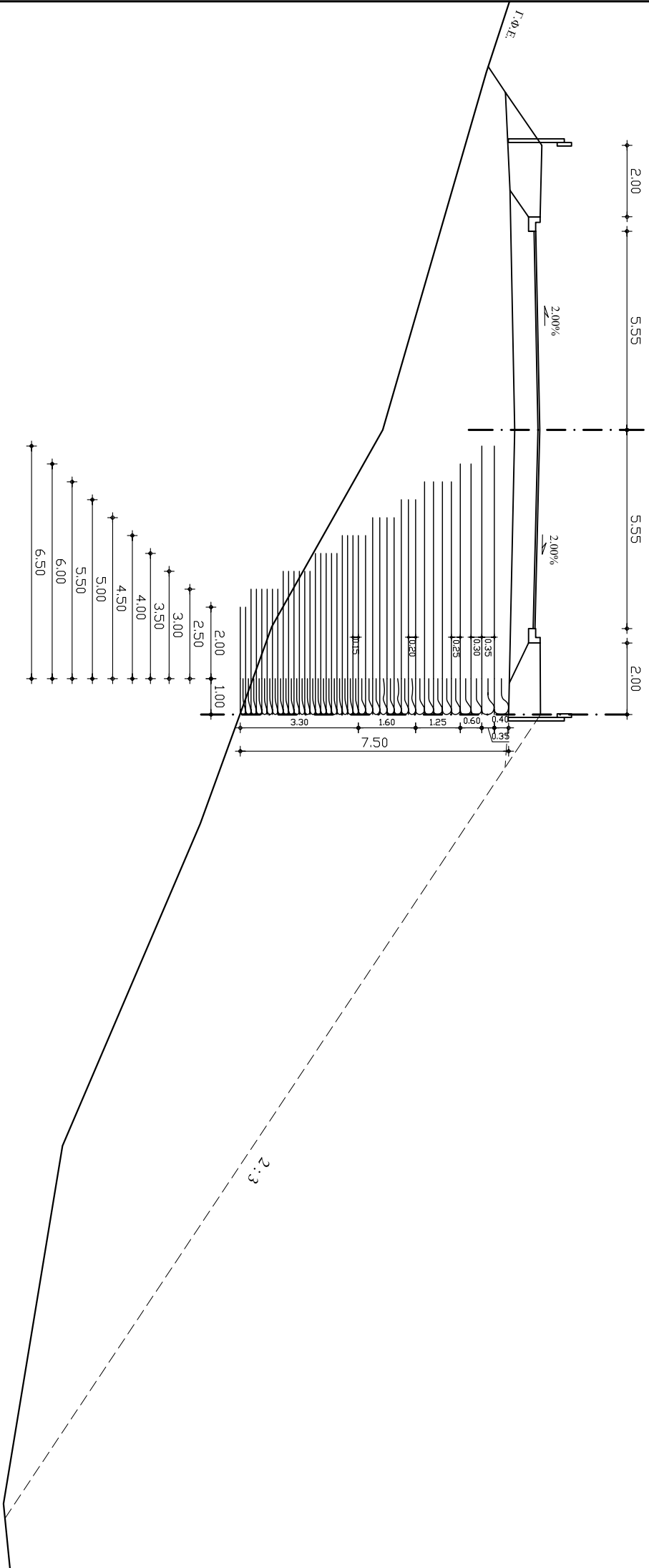
15.05 τ.μ.

33.50 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ		H=30.00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.	
		-13.53	45.35	
		-12.00	44.88	
-9.75	41.47	-9.00	43.00	
-7.05	41.02			
-5.55	41.27			
0.00	41.38	0.00	40.45	41.38
5.95	41.38	6.00	39.42	
7.95	41.39			
9.43	40.41	10.00	35.60	
		19.01	34.02	



ΔΙΑΤΟΜΗ Α2		ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ		ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
Χ.Θ. 1+558,44		Επιβάρυνση εργασιώτερων		Επιβάρυνση εργασιώτερων	
κλίμακα: 1:125		176,51 τ.μ.		67,05 τ.μ.	
		Επιβάρυνση εκπολεωμένων		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	
				154,50 μ.	



ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΡΩΜΑ	ΦΥΣ.ΕΛ.	ΑΦΟΣ.	Η=24,00 μ.
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ.	ΥΨΟΜ.	
-9.43	41.53	-10.15 -10.00	41.05 41.00	
-7.95	42.56			
-5.55	42.38			
0.00	42.49	0.00	38.10	42.49
5.95	42.50	5.50	35.00	
7.95	42.51			
9.43	41.53			
		11.00	33.00	
		20.00	29.15	
		30.00 30.41	27.50 27.54	

ΔΙΑΤΟΜΗ 97Α

Χ.Θ. 1+569.99

κλίμακα: 1:125

ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβεδόν επιγωμάτων

116.20 τ.μ.

ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Εμβεδόν εκχωμάτων

84.15 τ.μ.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

93.50 μ.

H=31.00 μ.

ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ		ΦΥΣ.ΕΔΑΦΟΣ	
ΑΠΟΣΤ.	ΥΨΟΜ.	ΑΠΟΣΤΑΣ	ΥΨΟΜ.
		-11.39	40.78
-9.43	42.09		
-7.95	43.12	-7.00	39.30
-5.55	42.94		
0.00	43.07	0.00	36.80
			43.07
5.95	43.14	7.00	36.70
7.95	43.15		
9.43	42.16	15.00	36.50
		18.08	36.40

