

Θεμελίωση Λιμενικών Έργων σε Μαλακά Εδάφη Βελτιωμένα και Ενισχυμένα με Γεωσυνθετικά Υλικά

The Foundation of Marine Structures on Soft Ground Improved and Reinforced with the Use of Geosynthetics

ΠΛΑΤΗΣ Α.Δ., Πολιτικός Μηχανικός, M.Eng., ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.

ΚΟΥΣΟΥΛΟΣ Σ.Γ., Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., ΑΔΚ Α.Ε.

ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ Ν.Γ., Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., ΤΡΙΤΩΝ Ε.Π.Ε.

ΜΠΟΥΚΟΒΑΛΑΣ Γ.Δ., Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

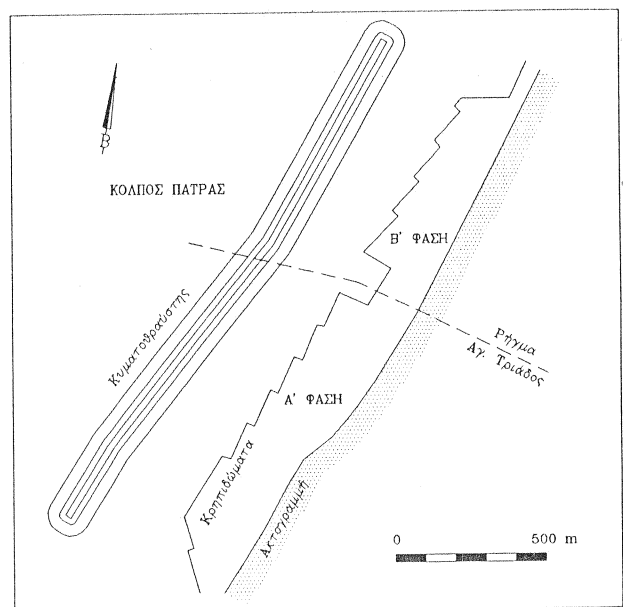
ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζεται η μέθοδος θεμελίωσης του κυματοθραύστη του νέου λιμένος Πάτρας με χρήση γεωσυνθετικών υλικών και σχολιάζονται τα συγκριτικά της πλεονεκτήματα έναντι άλλων παραδοσιακών μεθόδων. Ο κυματοθραύστης, λόγω του μεγάλου ύψους του και του μαλακού αργιλοϊλυώδους εδάφους θεμελίωσης, προβλέπεται να κατασκευαστεί σταδιακά. Η διαδικασία κατασκευής επιταχύνεται με τη χρήση κατακόρυφων πλαστικών στραγγιστηρίων που επιταχύνουν την εξέλιξη της στερεοποίησης. Παράλληλα η ευστάθεια του αναχώματος του κυματοθραύστη ενισχύεται με δύο στρώσεις υφαντών γεωυφασμάτων υψηλής αντοχής, που τοποθετούνται στη βάση του.

ABSTRACT: The method of foundation of the breakwater of the new harbor of Patras, with the use of geosynthetics, is presented. The advantages of the adopted method of foundation, as compared to other traditional methods, are also discussed. The breakwater is constructed in stages due to the large water depths and the soft silty clayey sea bottom. The construction process is accelerated by vertical wick drains, which minimize the consolidation time. In addition, the stability of the breakwater embankment is enhanced by two layers of high strength woven geotextiles, which are placed at its base.

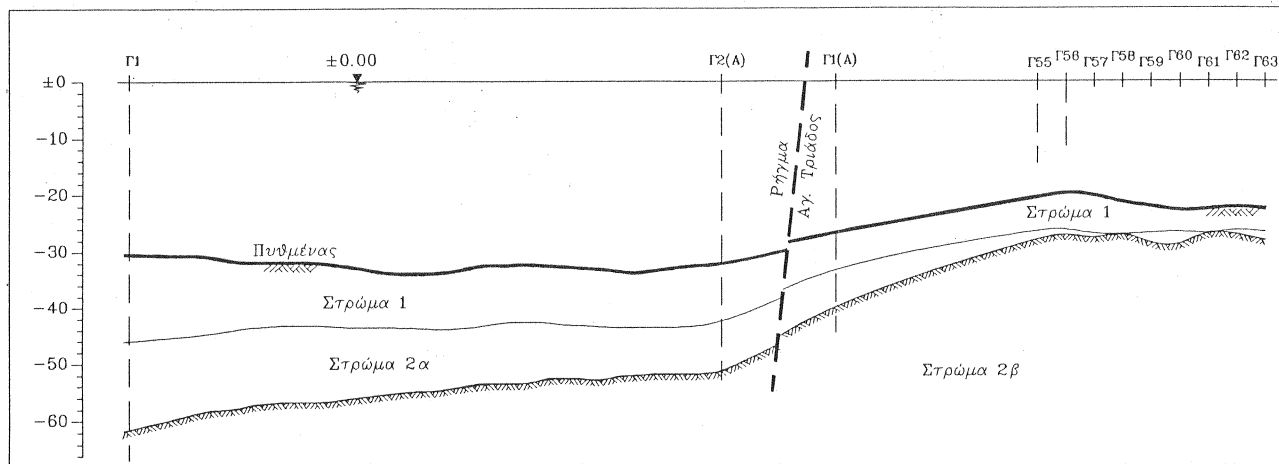
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα ανακοίνωση αναφέρεται στη μέθοδο θεμελίωσης του κυματοθραύστη του νέου λιμένος Πάτρας. Ο κυματοθραύστης προβλέπεται από πλωτά κυψελωτά κιβώτια από οπλισμένο σκυρόδεμα (caissons) ύψους 12.20 m, εδραζόμενα σε πρίσμα από λιθορριπή ύψους 18-19 m περίπου. Το συνολικό μήκος του κυματοθραύστη είναι 450 m περίπου στην Α' φάση κατασκευής και 1.850 m περίπου τελικά. Η διάταξη του έργου φαίνεται στο σχήμα 1.

Η μέθοδος θεμελίωσης που επελέγη αφορά τη σταδιακή κατασκευή πρίσματος έδρασης των caissons από λιθορριπές, επιταχυνόμενη με κατακόρυφα συνθετικά στραγγιστήρια, και τη βελτίωση της ευστάθειας του πρίσματος με δύο στρώσεις υφαντών γεωυφασμάτων υψηλής αντοχής, που τοποθετούνται στη βάση του.



Σχήμα 1. Διάταξη νέου λιμένος Πάτρας.
Figure 1. General layout of new Patras harbor.



Σχήμα 2. Γεωτεχνική τομή κατά μήκος του κυματοθραύστη.
Figure 2. Geotechnical profile along the breakwater.

2. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα ανώτερα εδαφικά στρώματα στην περιοχή του κυματοθραύστη αποτελούνται από μαλακή αργιλοίλου χαμηλής ως μέσης πλαστικότητας (CL), μεταβλητού πάχους, μεγάλης συμπιεστότητας και πολύ χαμηλής διατμητικής αντοχής. Επί πλέον, η σεισμικότητα της περιοχής είναι μεγάλη, το δε έργο διασχίζεται εγκάρσια από το ενεργό ρήγμα Αγ. Τριάδος, το οποίο παρουσιάζει συνεχείς ερπυστικές μετακινήσεις καθ' όλο το μήκος του. Τέλος στον πυθμένα της θάλασσας, στο δυτικό τμήμα του ρήγματος, υπάρχει πλήθος "κρατήρων" (rock holes) που ενδεχομένως προέρχονται από διαφυγή αερίων (μεθάνιο, υδροθείο) προς τα πάνω, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια σεισμικής δραστηριότητας.

Οι εδαφικές συνθήκες κατά μήκος του κυματοθραύστη, όπως αυτές προσδιορίστηκαν με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και γεωφυσικές μεθόδους, φαίνονται στη γεωτεχνική τομή του σχήματος 2. Πιο αναλυτικά το υπέδαφος κατά μήκος του κυματοθραύστη αποτελείται από τις εξής επί μέρους στρώσεις:

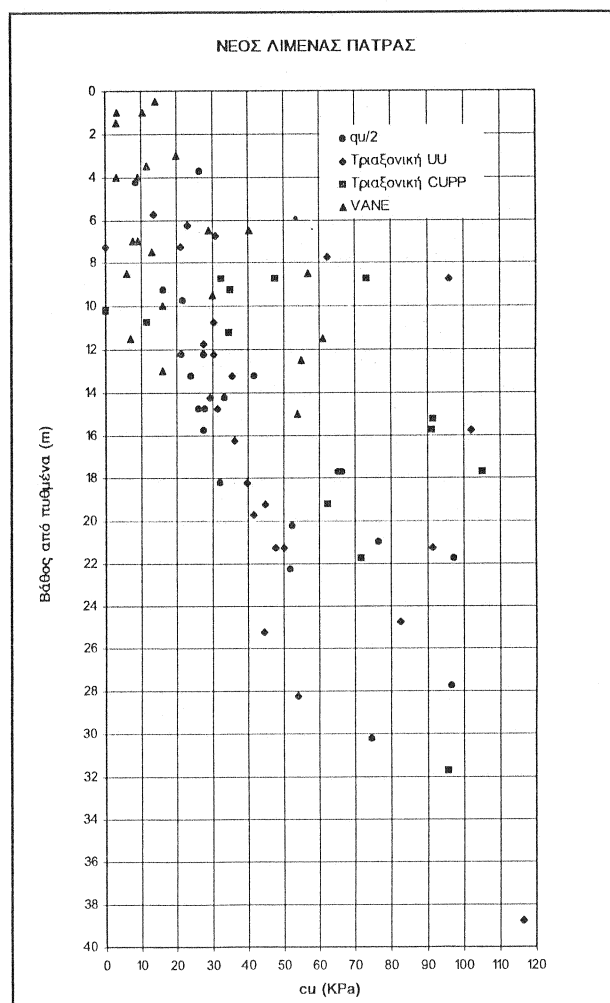
Στρώμα 1: Τεφρή, μαλακή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ μέσης πλαστικότητας (CL), πάχους 5-15 m κατά μήκος του κυματοθραύστη και γενικά μεγίστου πάχους 35 m.

Στρώμα 2α: Στιφρή ως σκληρή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια (CL-SC ή GC), πάχους 0-15 m.

Στρώμα 2β: Αργιλώδες ως ιλυώδες ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ (GM-GC).

Η κατανομή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής με το βάθος, όπως αυτή προσδιορίστηκε με επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές, φαίνεται στο σχήμα 3. Παρατηρεί-

ται γενικά μία ομαλή αύξηση της αντοχής με το βάθος, αρχίζοντας από σχεδόν μηδενικές τιμές κοντά στον πυθμένα, χαρακτηριστικό των κανονικά στερεοποιημένων αργίλων.



Σχήμα 3. Κατανομή του cu με το βάθος.
Figure 3. cu distribution with depth.

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Οι δυσμενείς γεωτεχνικές συνθήκες δημιουργούν προβλήματα μεγάλων καθιζήσεων και γενικής ευστάθειας του κυματοθραύστη λόγω κυρίως του μεγάλου ύψους του έργου (βάθη θάλασσας στον άξονα περί τα 30 m). Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά, αλλά και για να μειωθεί ο τελικός όγκος του πρίσματος, προβλέφθηκε η κατασκευή μεικτής διατομής, αποτελούμενης από προκατασκευασμένα κυβελωτά κιβώτια (caissons) ύψους 12.20 m εδραζόμενα σε πρίσμα από λιθορριπές ύψους στον άξονα περί τα 18-19 m. Η προταθείσα λύση περιλαμβάνει την κατασκευή του αναχώματος, σε τρεις φάσεις ώστε να δίνεται επαρκής χρόνος για τη μερική στερεοποίηση της μαλακής αργιλοϊλύος και αντίστοιχα αύξηση της διατμητικής αντοχής της, επιταχυνόμενη με κατακόρυφα συνθετικά στραγγιστήρια μήκους 12 m, σε κάρναβο 2x2 m. Επί πλέον προβλέφθηκε η κατασκευή ενός έως δύο αντισταθμιστικών επιχωμάτων εκατέρωθεν του λιθορριπτού πρίσματος έδρασης, καθώς και η τοποθέτηση δύο στρώσεων γεωυφασμάτων στη βάση του, προκειμένου να βελτιωθεί η ευστάθεια του πρίσματος έναντι γενικής ή τοπικής αστοχίας τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής του όσο και κατά τη λειτουργία του έργου.

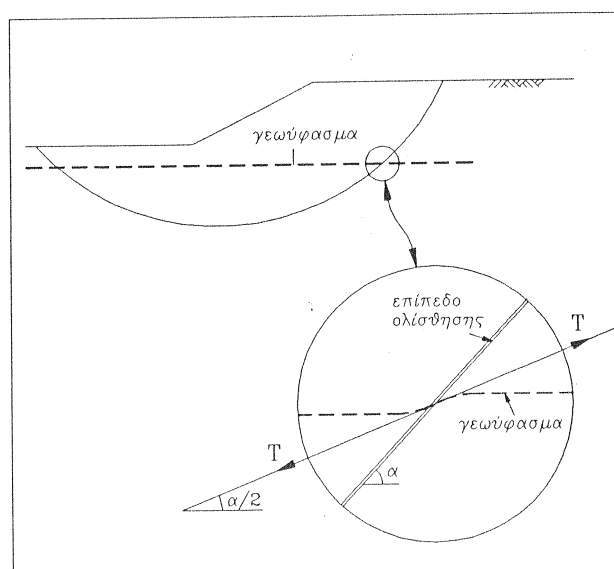
Η επιλεγείσα λύση εξασφαλίζει, λόγω της χρήσης γεωυφασμάτων υψηλής αντοχής στη βάση του αναχώματος, σημαντική μείωση του πλάτους έδρασης και του πλάτους των αντισταθμιστικών επιχωμάτων το οποίο, σε συνδυασμό με τη χρήση caissons στη στέψη του αναχώματος, οδηγεί σε πολύ σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου λιθορριπών για την κατασκευή του κυματοθραύστη. Σκοπός των γεωυφασμάτων είναι η προσθήκη στη βάση του αναχώματος οριζοντίων στοιχείων υψηλής εφελκυστικής αντοχής τα οποία, όταν είναι επαρκώς αγκυρωμένα στα άκρα τους, συμβάλλουν στην ευστάθειά του. Στο σχήμα 4 φαίνεται η αρχή λειτουργίας των γεωυφασμάτων.

Επί πλέον η χρήση των κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων επιταχύνει την εξέλιξη της στερεοποίησης της μαλακής αργιλοϊλύος, με αποτέλεσμα να επιταχύνεται αφ' ενός ο ρυθμός εξέλιξης των καθιζήσεων του αναχώματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, έτσι ώστε οι καθιζήσεις που θα προκύψουν μετά την τοποθέτηση των caissons να κυμαίνονται σε ανεκτά επίπεδα, αφ' ετέρου δε ο ρυθμός αύξησης της

αντοχής της μαλακής αργιλοϊλύος, έτσι ώστε να μειώνεται ο χρόνος αναμονής μεταξύ των διαφόρων σταδίων κατασκευής.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της παρουσίας των rock holes (διαμέτρου 25-180 m και βάθους 0.5-15 m), υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να βρεθεί ο πόδας κάποιου τμήματος του επιχώματος στα όρια κάποιου rock hole, με αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο τοπικής αστοχίας, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε επέκταση της αστοχίας σε μεγαλύτερο τμήμα του επιχώματος. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα πρόσθετο λόγο δημιουργίας των αντισταθμιστικών επιχωμάτων. Επίσης λόγω της εκτιμηθείσας κατά τη γεωφυσική έρευνα συνεχούς κίνησης αερίων από το κατώτερο τμήμα του επιφανειακού μαλακού στρώματος προς τα πάνω, που γίνεται εντονότερη κατά τη διάρκεια σεισμικής δράσης, η στραγγιστική στρώση αμμοχάλικου στη βάση του αναχώματος αποκλείει το "στεγανό" κλείσιμο του πυθμένα από τις επιχώσεις, που θα δημιουργούσε αυξημένη δραστηριότητα έκλυσης αερίων στον πόδα του επιχώματος και κατά συνέπεια υποσκαφή του.

Τέλος προκειμένου να ελεγχθεί η μεθοδολογία κατασκευής των στραγγιστηρίων και η συμπεριφορά του εδάφους θεμελίωσης από πλευράς ταχύτητας εξέλιξης στερεοποίησης και εν γένει παραμορφώσεων, προβλέφθηκε η κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος, διαστάσεων στέψης 30x60 m πλησιέστερα προς την ακτή, εξοπλισμένου με όργανα μετρήσεων όπως πιεζόμετρα, πλάκες καθιζήσης και αποκλισιόμετρα.



Σχήμα 4. Αρχή λειτουργίας γεωυφασμάτων.
Figure 4. Principle of geotextile function.

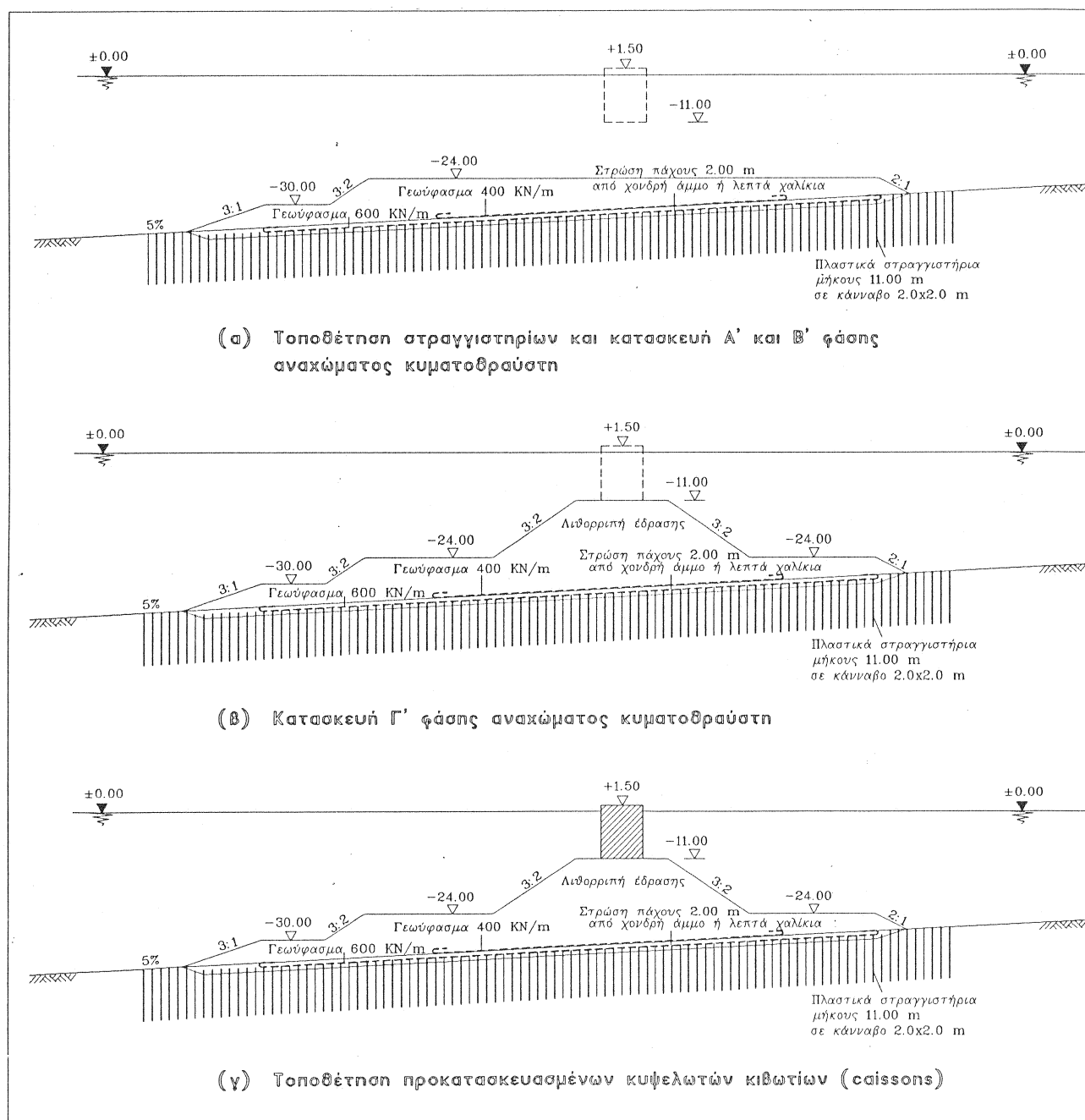
4. ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Προκειμένου να επιτευχθεί το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα βελτίωσης του εδάφους και κατασκευής του κυματοθραύστη στο συντομότερο δυνατό χρόνο, οι εργασίες κατασκευής γίνονται σε διαδοχικές φάσεις, όπως περιγράφεται παρακάτω και παρουσιάζεται στο σχήμα 5.

α) Εκσκαφή του πυθμένα σε βάθος 2.00 m, διάστρωση καθαρής χονδρόκοκκης άμμου ή/και λεπτών χαλίκων χωρίς λεπτόκοκκα, σε πάχος 1.00 m, τοποθέτηση συνθετικών στραγγιστηρίων και ακολούθως πρώτης

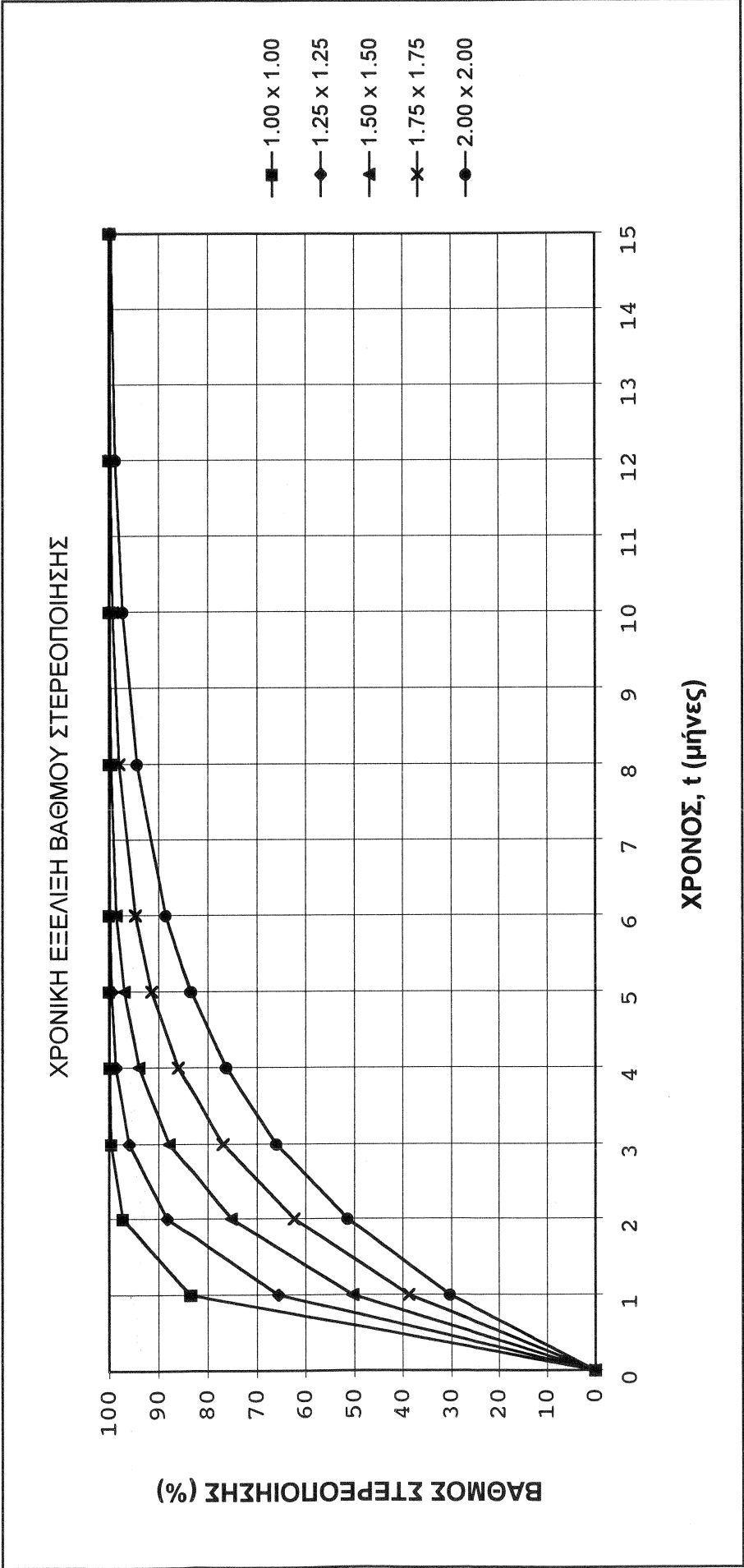
στρώσης γεωφασμάτων (αντοχής 600 KN/m και ελαχίστου μήκους 150 m) σε όλη την έκταση του έργου από πλωτή εξέδρα και διάστρωση στη συνέχεια 1.00 m χονδρόκοκκου υλικού ως άνω. Τέλος τοποθέτηση δεύτερης στρώσης γεωφασμάτων (αντοχής 400 KN/m και ελαχίστου μήκους 75 m) από πλωτή εξέδρα, τα οποία καλύπτονται με στρώση χονδρόκοκκης άμμου πάχους 0.3 m.

β) Σταδιακή κατασκευή λιθόρριπτου πρίσματος έδρασης σε τρεις φάσεις, έτσι ώστε να δίνεται επαρκής χρόνος για μερική στερεοποίηση του στρώματος της μαλακής αρργιλοϊλύος και βελτίωση της διατμητικής



Σχήμα 5.
Figure 5.

Διαδοχικές φάσεις κατασκευής κυματοθραύστη.
Breakwater construction phases.



αντοχής της. Η Α' φάση προβλέπεται μέχρι τη στάθμη -30.00 m και θα παραμείνει μόλις επί 1-2 μήνες, μέχρι την έναρξη της επόμενης φάσης, και θα έχει την έννοια εξισωτικής στρώσης, η οποία παράλληλα θα συγκρατήσει τα γεωυφάσματα στη θέση τους και θα δημιουργήσει συνθήκες αγκύρωσής τους. Η Β' φάση προβλέπεται μέχρι τη στάθμη -24.00 m και θα παραμείνει επί 9 μήνες, η δε Γ' φάση μέχρι τη στάθμη -11.00 m και θα παραμείνει επί 9 μήνες, μέχρι την τοποθέτηση των caissons.

γ) Τέλος τοποθετούνται τα προκατασκευασμένα κιβώτια από σκυρόδεμα (caissons) πάνω στη στέψη του πρίσματος (πλάτους 21.00 m) και γίνεται μερική πλήρωσή τους με αδρανή, για να εξισορροπηθεί στη συνέχεια η ροπή ανατροπής από τη δράση των κυμάτων.

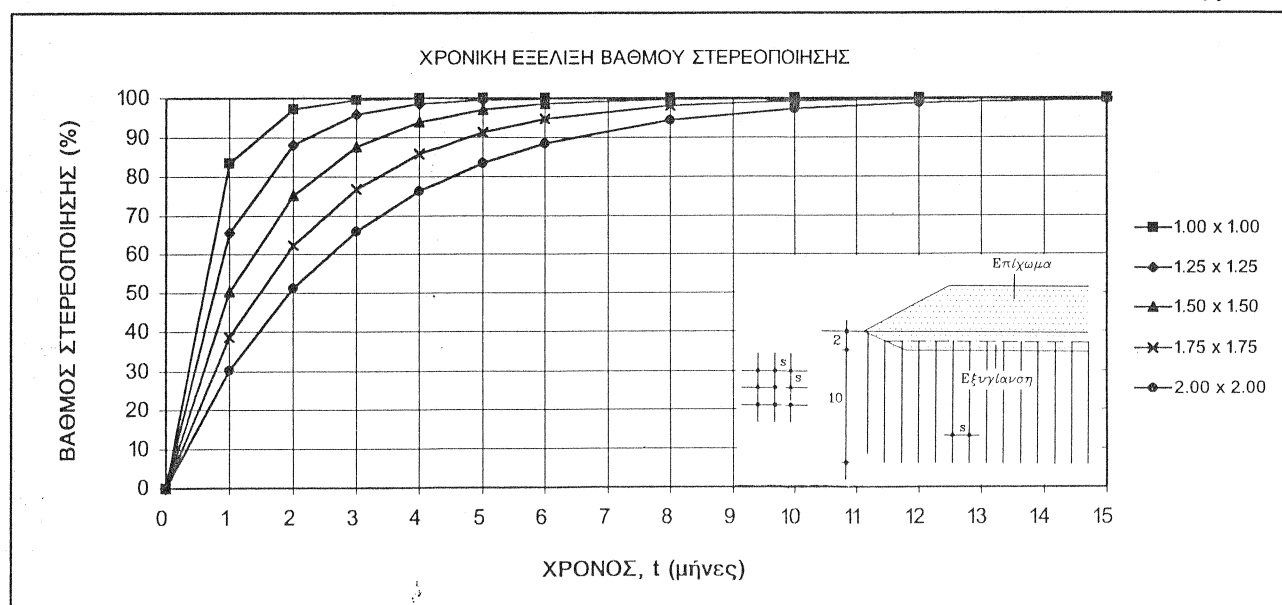
5. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο γεωτεχνικός σχεδιασμός των δύο έργων περιέλαβε μεταξύ άλλων:

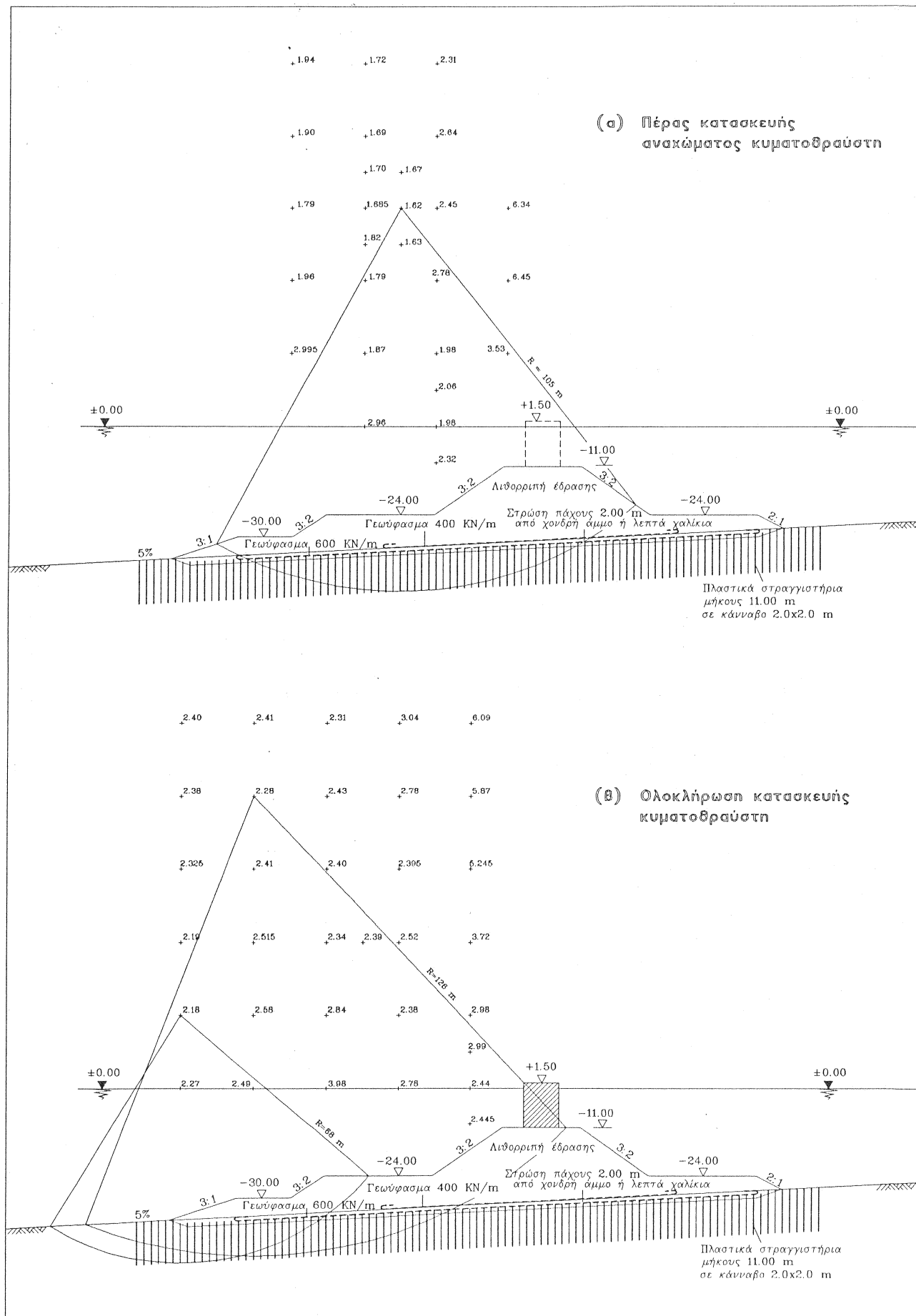
α) Εκτιμήσεις της ταχύτητας εξέλιξης της στερεοποίησης για διάφορους καννάβους συνθετικών στραγγιστηρίων, προκειμένου να εκτιμηθεί η αύξηση της διατμητικής αντοχής με το χρόνο και να προβλεφθεί ο χρόνος διαδοχής των φάσεων κατασκευής. Οι εκτιμήσεις έγιναν κατά Barron (1948) και Hansbo (1981), τα δε αποτελέσματα συνοψίζονται στο σχήμα 6. Στις εκτιμήσεις αυτές ελήφθη υπόψη η μεγαλύτερη κατά την οριζόντια έννοια αναμενόμενη διαπερατότητα των αργίλων λόγω στρωσιγένειας και λεπτοτάτων αμμοδών ενστρώσεων, καθώς

και η αναμενόμενη επιβράδυνση της στραγγίσης στην περιοχή των στραγγιστηρίων λόγω της δημιουργίας ζώνης διατάραξης γύρω από αυτά κατά την τοποθέτησή τους. Η μειωμένη διαπερατότητα στη ζώνη αυτή, της τάξης μερικών χιλιοστών, οφείλεται στην αναζύμωση της αργίλου, στη διατάραξη της αρχικής της δομής και σε ένα λίγο-πολύ παραλληλισμό των πλακοειδών σωματιδίων της αργίλου με τη διεύθυνση έμπληξης των στραγγιστηρίων. Οι εκτιμήσεις της χρονικής εξέλιξης της στερεοποίησης προβλέπεται να διασταυρωθούν με τις μετρήσεις της πίεσης πόρων και των καθιζήσεων στο δοκιμαστικό επίχωμα.

β) Έλεγχος γενικής ευστάθειας του αναχώματος του κυματοθραύστη στις διάφορες φάσεις κατασκευής και λειτουργίας (με και χωρίς σεισμό). Οι κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης και οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας για τις κυριότερες φάσεις κατασκευής και λειτουργίας φαίνονται στο σχήμα 7. Στους ελέγχους αυτούς ελήφθη υπόψη τόσο η "χωρική" μεταβολή του c_u κατά πλάτος λόγω διαφορετικού βαθμού βελτίωσης και κατά βάθος λόγω αύξησης της αντοχής με το βάθος, όσο και η συμβολή των γεωυφασμάτων στην ευστάθεια του αναχώματος. Πιο συγκεκριμένα, τα γεωυφάσματα θεωρήθηκε ότι εισάγουν στις ανθιστάμενες δυνάμεις μια πρόσθετη δύναμη (εφελκυσμός γεωυφάσματος), η οποία εφαρμόζεται στο σημείο τομής της επιφάνειας ολίσθησης με το γεωύφασμα. Λόγω της απαιτούμενης παραμόρφωσης του γεωυφάσματος προκειμένου να ενεργοποιηθεί η εφελκυστική του αντοχή



Σχήμα 6. Χρονική εξέλιξη στερεοποίησης επιταχυνόμενης με στραγγιστήρια.
Figure 6. Consolidation process accelerated by wick drains.



Σχήμα 7. Αποτελέσματα αναλύσεων γενικής ευστάθειας σε διάφορες φάσεις κατασκευής.
Figure 7. Overall stability analyses at various construction stages.

(βλ. σχήμα 4), η παραπάνω δύναμη έχει διεύθυνση κυμαινόμενη μεταξύ της οριζοντίας (πολύ καλά τεταμένο γεωύφασμα) και της εφαπτομένης στην επιφάνεια ολίσθησης (χαλαρό γεωύφασμα). Η δύναμη αυτή προκύπτει από την εφελκυστική αντοχή του γεωυφάσματος διηρημένη με τον κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας:

$$FS = FS_{ID} \cdot FS_{CR} \cdot FS_{CD} \cdot FS_{BD},$$

ο οποίος λαμβάνει υπόψη πιθανή μείωση της αντοχής από τους παρακάτω παράγοντες (Koerner 1990):

- φθορά κατά την τοποθέτηση ($FS_{ID}=1.25$),
- ερπυσμό ($FS_{CR}=2.00$),
- χημική δράση του εδάφους ($FS_{CD}=1.00$) και
- βιολογική δράση του εδάφους ($FS_{BD}=1.0$).

Ειδικά για τους ελέγχους ευστάθειας κατά τη διάρκεια της κατασκευής, οπότε ο χρόνος εφαρμογής του φορτίου είναι μικρός για να αναπτυχθεί ερπυσμός, ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για ερπυσμό FS_{CR} έχει ληφθεί ίσος με 1.00. Επίσης, δεδομένου ότι ο FS_{CR} λαμβάνεται ίσος με 2.00 για μακροχρόνια στατική φόρτιση, οι εφελκυστικές τάσεις στα γεωυφάσματα διατηρούνται σε χαμηλό επίπεδο κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου, οπότε δεν υπάρχει αξιολογή μείωση της αντοχής του λόγω ερπυσμού. Γι' αυτό το λόγο ο FS_{CR} έχει ληφθεί ίσος με 1.00 για τους ελέγχους ευστάθειας κατά τη διάρκεια σεισμικής φόρτισης, η διάρκεια της οποίας είναι μικρή για να αναπτυχθεί ερπυσμός από το αυξημένο επίπεδο τάσεων.

Επίσης έγινε έλεγχος έναντι πλευρικής εξώθησης του μαλακού υπεδάφους κάτω από το ανάχωμα λόγω μικρού πάχους της μαλακής αργιλοϊλυώδους στρώσης (της τάξης των 11 m) εν σχέσει με το πλάτος έδρασης του αναχώματος (της τάξης των 75 m χωρίς τα αντισταθμιστικά επιχώματα). Ο συντελεστής ασφαλείας για τον έλεγχο αυτό ελήφθη ίσος προς 1.30 για τις διάφορες φάσεις κατασκευής και ίσος προς 2.00 κατά τη λειτουργία του έργου.

Τέλος έγινε εκτίμηση του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης του κάθε γεωυφάσματος, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η προαναφερθείσα εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού. Για τον υπολογισμό αυτό ελήφθησαν υπόψη τα εξής:

- ελάχιστο ύψος επιφόρτισης πάνω από κάθε γεωύφασμα ίσο προς 6.00 m για την κάτω στρώση και 5.00 m για την άνω,
- γωνία τριβής μεταξύ γεωυφάσματος και χονδρόκοκκης άμμου $\delta=30^\circ$ και
- συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης

του γεωυφάσματος $FS=1.50$.

Το μήκος αγκύρωσης προέκυψε ίσο προς 10.50 m για την κάτω στρώση και 8.50 m για την άνω. Το μήκος αυτό αγνοήθηκε στους ελέγχους γενικής ευστάθειας, δηλαδή το ενεργό μήκος κάθε γεωυφάσματος ελήφθη ίσο προς:

- $150-2 \times 10.5 = 129$ m (κάτω στρώση) και
- $75-2 \times 8.5 = 58$ m (άνω στρώση).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θεμελίωση λιμενικών έργων που απαιτούν την έδρασή τους σε πρίσματα μεγάλου ύψους, σε μαλακά αργιλοϊλυώδη εδάφη, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα αφ' ενός μεγάλων μακροχρόνιων καθιζήσεων και αφ' ετέρου γενικής ευστάθειας. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά προτείνεται:

α) Η χρήση κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων για την επιτάχυνση αφ' ενός των καθιζήσεων και την ολοκλήρωσή τους κατά τη διάρκεια της κατασκευής, και αφ' ετέρου της βελτίωσης των διατμητικών χαρακτηριστικών του εδάφους θεμελίωσης, έτσι ώστε να μπορεί να επιταχυνθεί ο ρυθμός κατασκευής.

β) Η χρήση υφαντών γεωυφασμάτων υψηλής αντοχής στη βάση του αναχώματος προκειμένου αφ' ενός να βελτιωθεί η ευστάθειά του και αφ' ετέρου να μειωθεί το πλάτος του.

γ) Η κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος πριν από την κατασκευή του έργου προκειμένου να ληφθούν εγκαίρως ενόργανες μετρήσεις της συμπεριφοράς του εδάφους και να προγραμματισθούν σωστά οι διάφορες φάσεις κατασκευής του έργου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΔΚ Α.Ε., ΤΡΙΤΩΝ Ε.Π.Ε. (1993)
 "Στρατηγική Μελέτη Ανάπτυξης Λιμένος Πατρών & Αναγκαίες Τεχνικές Μελέτες - Έκθεση Παρουσίασης και Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικής Έρευνας", ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Λιμενικών Έργων, Λιμενικό Ταμείο Πατρών.
- ΑΔΚ Α.Ε., ΤΡΙΤΩΝ Ε.Π.Ε. (1993)
 "Θαλάσσια Γεωλογική Έρευνα για την Κατασκευή του Νέου Λιμένος Πατρών", συνταχθείσα από το Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ΑΔΚ Α.Ε., ΤΡΙΤΩΝ Ε.Π.Ε. (1994)
 "Οριστική Μελέτη Έργων Νέου Λιμένα

Πατρών", ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Λιμενικών Έργων, Λιμενικό Ταμείο Πατρών.

BARRON R.A. (1948)

"Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells", Transactions ASCE 113.

CIRIA (1991)

"Prefabricated Vertical Drains - Design and Performance", CIRIA Report 123, by R.A. Jewell, Published by CIRIA and Thomas Telford, London.

CIRIA (1996)

"Soil Reinforcement with Geotextiles", by R.D. Holtz, M.B. Jamiolkowski, R. Lancellotta, R. Pedroni, Published by CIRIA and Butterworth-Heinemann.

HANSBO S. (1981)

"Consolidation of Fine Grained Soils by Prefabricated Drains", 10th International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm.

KOERNER R.M. (1990)

"Designing with Geosynthetics", Prentice Hall, 2nd Edition.