



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΙΝΔΥΝΟ
ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ

DESIGN OF ARMOUR PROTECTION FOR A QUAY WALL AGAINST THE
DANGER OF DIGGING UP



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Κωνσταντινόπουλος Πάνος

Επιβλέπων καθηγητής: Αζοράκος Σαμψών

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την συμβολή και βοήθεια ανθρώπων, τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον λέκτορα Ε.Μ.Π κ. Αζοράκο Σαμψών για την ανάθεση της διπλωματικής αυτής και για την καθοδήγηση και βοήθειά του, κάθε φορά που χρειαζόταν.

Αυτή η εργασία σηματοδοτεί και το τέλος του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου. Δεν θα μπορούσα, λοιπόν, να παραλείψω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την υλική και ηθική υποστήριξη, που ήταν η βάση της προσπάθειας αυτών των χρόνων. Τέλος, θα ήθελα να κάνω ιδιαίτερη αναφορά στους φίλους με τους οποίους μοιράστηκα τη διαδρομή αυτή.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη σχεδίαση προστασίας μετώπου παραβολής έναντι της διαβρωτικής δράσης των φλεβών νερού που δημιουργούνται από τη λειτουργία της κύριας και της εγκάρσιας προπέλας (bow thruster). Πιο συγκεκριμένα μελετάται η προστασία για κατακόρυφο μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caisson και η προστασία για μέτωπο παραβολής που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των δύο διαφορετικών μετώπων παραβολής και στη συνέχεια αναπτύσσεται το πώς δημιουργούνται οι φλέβες νερού από τις προπέλες και πως επιδρούν διαφορετικά στο κάθε μέτωπο παραβολής. Παρουσιάζονται και διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού των μέγιστων ταχυτήτων που καταπονούν τον πυθμένα και το πρανές συναρμογής για την περίπτωση ενός μετώπου παραβολής που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους και επιπλέον μέθοδοι υπολογισμού της μέγιστης ταχύτητας που καταπονεί τον πυθμένα για την περίπτωση μετώπου παραβολής διαμορφωμένο με caisson. Ακολουθούμε την σειρά αυτή για να κατανοηθούν οι μηχανισμοί αστοχίας έτσι ώστε να πάρουμε και τα κατάλληλα μέτρα προστασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα είδη προστασίας που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται όπως συμβατική (rock armoured) και διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap), αμμόσακοι και άλλα. Με βάση τα χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών προστασίας και την καταπόνηση που θέλουμε η προστασία να αντέξει επιλέγουμε και το είδος της προστασίας που θα τοποθετήσουμε. Παρουσιάζονται και κανόνες διαβάθμισης για τα μεγέθη των πετρών της προστασίας καθώς και οι λόγοι που επιβάλλουν αυτούς τους κανόνες που είναι η ανάγκη οι πέτρες μας να μην παρασυρθούν από τη ροή του νερού και να μην αρχίσουν να επιπλέουν λόγω άνωσης. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδίασης της προστασίας και οι υπολογισμοί για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα και επιλέγονται με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών το είδος της προστασίας που θα χρησιμοποιήσουμε, τα μεγέθη των στρώσεων της προστασίας, η έκταση της προστασίας. Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχουν τα σχέδια της προστασίας που έχουμε υπολογίσει στο τρίτο κεφάλαιο και στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τρόποι εγκατάστασης για διαφορετικά είδη προστασίας τόσο όταν τοποθετούνται στον πυθμένα όσο και όταν τοποθετούνται στο πρανές συναρμογής του μετώπου παραβολής που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους.

Abstract

The present thesis refers to the design of protection of a quay wall against the corrosive action of currents created by the main propeller and the bow thruster as well. More specifically we study the armour of a vertical quay wall constructed by caissons and the armour of a pile quay wall. Initially, in the first chapter we make a display of these two different types of quay wall and then we refer in how currents are created from the main propeller and the bow thruster and how they act with a different way to each quay wall. We display and some calculative methods of maximum current velocities that worn out our sea bed and the embankment in case of a pile quay wall and we display some others calculative methods of maximum current velocities that worn out our sea bed in case of a vertical quay wall. We follow this order so that we can understand the flub mechanisms and take the proper precautions. In the second chapter we present several types of protection that have been developed and used as rock armour, rip rap, gabions and others. We choose the type of protection according to the characteristics we want and the suffering that we want our protection to withstand. We display grading rules for the sizes of rocks that we will use and the reasons that assert these rules which are the needs that our rocks must not be carried away by the water flow and also not to float. In the third chapter the design procedure of our protection is presented and the calculations of a specific problem. Based on these calculations we choose the type of protection, the dimensions of the layers and the lengthening of the protection. In the fourth chapter we display the patterns of the protection we have calculated in the third chapter and in the fifth and final chapter we present ways of installing different types of protection when they are placed on the sea bed and on the embankment.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΦΛΕΒΕΣ ΝΕΡΟΥ	25
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	25
1.1 ΜΕΤΩΠΑ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ	25
1.1.1 ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSON	25
1.1.2 ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΟΥ ΕΔΡΑΖΕΤΑΙ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ	27
1.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΛΕΒΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	31
1.2.1 ΦΛΕΒΑ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ	31
1.2.2 ΦΛΕΒΑ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ	44
1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	62
2.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	62
2.2 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	64
2.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	65
2.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ	65
2.5 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ	71
2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	76
2.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	80

3.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΣΧΕΔΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	95
5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΑΝΕΣ	
ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	95
5.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ	96
5.2.1 Προστασία πυθμένα με χρήση γεωφάσματος που καλύπτεται με φυσικούς ογκολίθους (rock armour -rip rap)	96
5.2.2 Προστασία πυθμένα χρησιμοποιώντας στρώματα φίλτρου καλυμμένα με πέτρες (willow mattresses)	97
5.2.3 Προστασία πυθμένα με χρήση προκατασκευασμένων στρωμάτων με ενσωματωμένο έρμα (prefabricated mattresses)	101
5.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΑΝΩΝ	104
5.3.1 Προστασία πρανούς με χρήση γεωφάσματος καλυμμένο με πέτρες (rock armour - rip rap)	104
5.3.2 Προστασία πρανούς με στρώματα φίλτρου καλυμμένα με στρώσεις ογκολίθων (willow mattresses)	105
5.3.3 Προστασία πρανούς με χρήση προκατασκευασμένων στρωμάτων με ενσωματωμένο έρμα. Αναφέρονται και αμμόσακοι.	107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

P_0	πυκνότητα νερού
V_0	αρχική ταχύτητα φλέβας νερού
H_p	απόσταση άξονα προπέλας από πυθμένα
C	απόσταση καρίνας πλοίου προσαυξημένη κατά 0.5m
D_p	διάμετρος κύριας προπέλας
V_{maxb}	μέγιστη ταχύτητα στον πυθμένα
n_p	περιστροφική ταχύτητα της προπέλας
D_p	διάμετρος της κεντρικής προπέλας
K_T	συντελεστής ώθησης της προπέλας
P	ισχύς της μηχανής
ρ_w	πυκνότητα νερού
D_0	αρχική διάμετρος φλέβας
c	συντελεστής ανάλογα με το είδος της προπέλας
$V_{x,axis}$	ταχύτητα ροής της φλέβας κατά μήκος του άξονά της
x	απόσταση κατά την κατεύθυνση του άξονα
$V_{x,r}$	κατανομή της ταχύτητας ροής
r	ακτινική απόσταση από τον άξονα της προπέλας
A	σταθερά για διάφορες περιπτώσεις ροής
C_4	σταθερά για διάφορες περιπτώσεις ροής
E	σταθερά που παίρνει τιμή ανάλογα με τον αριθμό των προπελών
a	σταθερά που παίρνει τιμή ανάλογα με τον αριθμό των προπελών
C_5	συντελεστής ανάλογα με το είδος της προπέλας
f_p	ποσοστό εγκατεστημένης δύναμης
n	συντελεστής για αριθμό προπελών
$V_{0,b}$	αρχική ταχύτητα φλέβας εγκάρσιας προπέλας
P_b	ποσό της ισχύς της μηχανής που χρησιμοποιούμε για απόπλευση
D_b	διάμετρος εγκάρσιας προπέλας
C_a	ποσοστό φλέβας που ανακλάται στον πυθμένα
$Q_{bottom,a}$	φορτίο νερού που πηγαίνει στον πυθμένα
a	γωνία του πρανούς συναρμογής
V_{maxb}'	μέγιστη ταχύτητα πυθμένα από εγκάρσια προπέλα
L	απόσταση κατακόρυφου τοίχου από εγκάρσια προπέλα
a	σταθερά ίση με 2.8
m	σταθερά ίση με 1
b	σταθερά ίση με 15.4
Z	απόσταση εδάφους από τον άξονα της προπέλας
X_{max}	απόσταση κατά την οριζόντια κατεύθυνση που η μέγιστη ταχύτητα αναπτύσσεται
a_m	συνεφαπτομένη γωνίας πρανούς
A	$0.543*(1+\tan a)^{1.968}*(1+D_b/X_R)^{-9.13}$
B	$0.0281*(1+\tan a)^{2.725}*(1+D_b/X_R)^{-6.3}$

X_R	οριζόντια απόσταση προπέλας από το σημείο διασταύρωσης άξονα φλέβας με το πρανές
T_K	βάθος διάβρωσης στον πόδα κατακόρυφου μετώπου
d₈₅	διάμετρος υλικού του πυθμένα
Δ	$\Delta = (\rho_s - \rho_o) / \rho_o$
C_M	σταθερά που έχει να κάνει με το αν το πλοίο μας μανουβράρει
T_K	βάθος διάβρωσης αφού έχουμε πάρει μέτρα προστασίας
C_{SL}	μείωση της διάβρωσης όταν χρησιμοποιείται ανακλαστήρας
S	συνολικό βάθος διάβρωσης γύρω από πασσάλους
D	διάμετρος πασσάλων
K_i	συντελεστής διόρθωσης
K_s	συντελεστής που αφορά το σχήμα του πασσάλου
K_ω	συντελεστής που αφορά τον προσανατολισμό του πασσάλου σε σχέση με τη διεύθυνση της ροής
K_g	συντελεστής που αφορά την επίδραση της διαβάθμισης του υλικού του πυθμένα
K_{gr}	συντελεστής που αφορά την επίδραση πολλών πασσάλων
H_p	απόσταση του άξονα της εγκάρσιας προπέλας από τον πυθμένα
D₀	αρχική διάμετρος της φλέβας νερού που δημιουργείται από την εγκάρσια προπέλα
h	απόσταση καρίνας από τον πυθμένα
w₅₀	χαρακτηριστικό βάρος ογκολίθων προστασίας
D₅₀	χαρακτηριστική διάμετρος ογκολίθων προστασίας
F_D	δύναμη της ροής πάνω σε μια πέτρα που μπαίνει εμπόδιο
F_S	δύναμη τριβής
F_L	δύναμη άνωσης
C_D	συντελεστής της δύναμης ροής
C_S	συντελεστής τριβής
C_L	συντελεστής άνωσης
A_D	επιφάνεια που ασκείται η δύναμη ροής
A_S	επιφάνεια που ασκείται η δύναμη τριβής
A_L	επιφάνεια που ασκείται η δύναμη άνωσης
V	ταχύτητα της ροής κοντά στον πυθμένα
β_{IZ,cr}	κρίσιμος συντελεστής σταθερότητας της προστασίας μας
m_h	συντελεστής πρανούς που έχει να κάνει με τη σταθερότητα της προστασίας στο πρανές συναρμογής
L_N	μήκος κάθετης στη θέση παραβολής προστασίας
L	μήκος παράλληλης στη θέση παραβολής προστασίας
g_D	βάρος των ογκολίθων προστασίας
a	συντελεστής που παίρνει διάφορες τιμές ανάλογα με το πως είναι τοποθετημένοι οι ογκόλιθοι

$D_{r,0}$	διάμετρος των ογκολίθων προστασίας
n_z	σταθερά ίση με 1.2

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ (CAISSON), ΠΗΓΗ:(ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΜΕΜΟΣ, 2008)	26
ΣΧΗΜΑ 1.2: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΚΙΒΩΤΙΩΝ (CAISSONS)	27
ΣΧΗΜΑ 1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ: (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΜΕΜΟΣ, 2008)	28
ΣΧΗΜΑ 1.4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ:(UNCTAD)	29
ΣΧΗΜΑ 1.5: ΓΕΦΥΡΩΜΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΗΨΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ, ΠΗΓΗ:(BERTLIN AND PARTNERS)	30
ΣΧΗΜΑ 1.6: ΑΓΚΥΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ, ΠΗΓΗ:(UNCTAD)	31
ΣΧΗΜΑ 1.7: ΣΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΟ ΠΩΣ ΜΙΑ ΦΛΕΒΑ ΡΟΗΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΔΙΕΥΡΥΝΕΤΑΙ ΠΗΓΗ:(PIANC1997)	32
ΣΧΗΜΑ 1.8: ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ	33
ΣΧΗΜΑ 1.9: ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	35
ΣΧΗΜΑ 1.10: ΦΛΕΒΑ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΠΡΟΠΕΛΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΤΗΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ: (ROMISCH 2001)	47
ΣΧΗΜΑ 1.11: ΦΛΕΒΕΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΚΑΙ ΠΩΣ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΗΓΗ:(ΕΑΥ 2004, 8 th edition)	49

ΣΧΗΜΑ 1.12: ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΦΛΕΒΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΠΗΓΗ: (BLOCKLAND 1997)	50
ΣΧΗΜΑ 1.13: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΛΕΒΩΝ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8 th edition)	53
ΣΧΗΜΑ 1.14: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ, ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8 th edition)	55
ΣΧΗΜΑ 1.15: ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ, ΠΗΓΗ: (SCHIERECK 2004,BREUSUERS and RAUDVIKI 1991)	57
ΣΧΗΜΑ 1.16: ΑΞΟΝΑΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΡΙΝΑ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	61
ΣΧΗΜΑ 2.1: ΑΣΤΟΧΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟ ΑΜΜΟ ΜΕ ΜΟΡΦΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	63
ΣΧΗΜΑ 2.2: ΦΑΚΕΛΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΒΑΡΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	66
ΣΧΗΜΑ 2.3: ΔΡΑΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ,ΠΗΓΗ: (SCHIERECK 2004)	69
ΣΧΗΜΑ 2.4: ΔΡΑΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, ΠΗΓΗ: (HOAN 2008)	70
ΣΧΗΜΑ 2.5: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΔΟΚΑΡΙ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	73
ΣΧΗΜΑ 2.6: ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΟ ΜΕΤΩΠΙΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8 th edition)	74
ΣΧΗΜΑ 2.7: ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΤΩΠΙΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8 th edition)	75

ΣΧΗΜΑ 3.1: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8 th edition)	87
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	88
ΣΧΗΜΑ 4.2: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	89
ΣΧΗΜΑ 4.3: ΌΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	90
ΣΧΗΜΑ 4.4: ΚΑΤΟΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ	91
ΣΧΗΜΑ 4.5: ΚΑΤΟΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSONS	92
ΣΧΗΜΑ 4.6: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΜΕ CAISSONS	93
ΣΧΗΜΑ 4.7: ΌΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSONS	94
ΣΧΗΜΑ 5.1: ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (WILLOW MATTRESS) ΞΕΤΥΛΙΓΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΣΗ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)	98
ΣΧΗΜΑ 5.2: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ (WILLOW MATTRESSES) ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΡΑΝΟΥ ΑΠΟ ΞΗΡΑ ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)	98
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΔΥΟ ΣΧΕΔΙΩΝ ΕΤΣΙ ΩΣΤΕ ΝΑ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΩΣΤΗ ΘΕΣΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΜΑ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)	99
ΣΧΗΜΑ 5.4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΥΘΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ , ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)	100

ΣΧΗΜΑ 5.5: ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΞΕΤΥΛΙΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΧΕΔΙΑ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ

ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 102

ΣΧΗΜΑ 5.6: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (PREFABRICATED MATTRESSES) ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΛΩΤΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ,

ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 103

ΣΧΗΜΑ 5.7: ΞΕΤΥΛΙΓΜΑ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΠΑΝΩ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 104

ΣΧΗΜΑ 5.8: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕΣΩ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑΡΙΟ

ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 105

ΣΧΗΜΑ 5.9: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ (WILLOW MATTRESSES) ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΠΡΟΣ ΤΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 106

ΣΧΗΜΑ 5.10: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΣΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007) 107

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥΣ (ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ) ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	77

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ H_p / D_0 ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΩ ΤΗΝ V_{maxb} , ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΩ ΤΗΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ (ΓΙΑ ΚΙΒΩΤΙΟΑΓΩΓΟ), ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3: ΑΡΧΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΜΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	45
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.4: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	46
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.5: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ:(PIANC 2012)	48
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.6: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ (15 ΜΟΙΡΩΝ) ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΝΕΡΟΥ, ΠΗΓΗ:(HAMILL et al 1996b)	52
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ V_{maxb} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ H_p / D_0 , ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.1: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (D_{50}) ΤΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΥΘΜΕΝΑ ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)	76
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.2: ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΥΘΜΕΝΑ, ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΦΛΕΒΕΣ ΝΕΡΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τις φλέβες νερού που δημιουργούνται από την κύρια προπέλα όσο και από την εγκάρσια προπέλα (bow thruster). Θα πρέπει να κατανοούμε εις βάθος την λειτουργία των φλεβών αυτών και των ταχυτήτων ροής έτσι ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε και τους μηχανισμούς αστοχίας τόσο για ένα μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caisson όσο και για ένα μέτωπο παραβολής που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους θεμελιωμένους σε κεκλιμένα πρηνή συναρμογής. Επίσης είναι κρίσιμο να κατανοηθεί και ο μηχανισμός αστοχίας του πυθμένα.

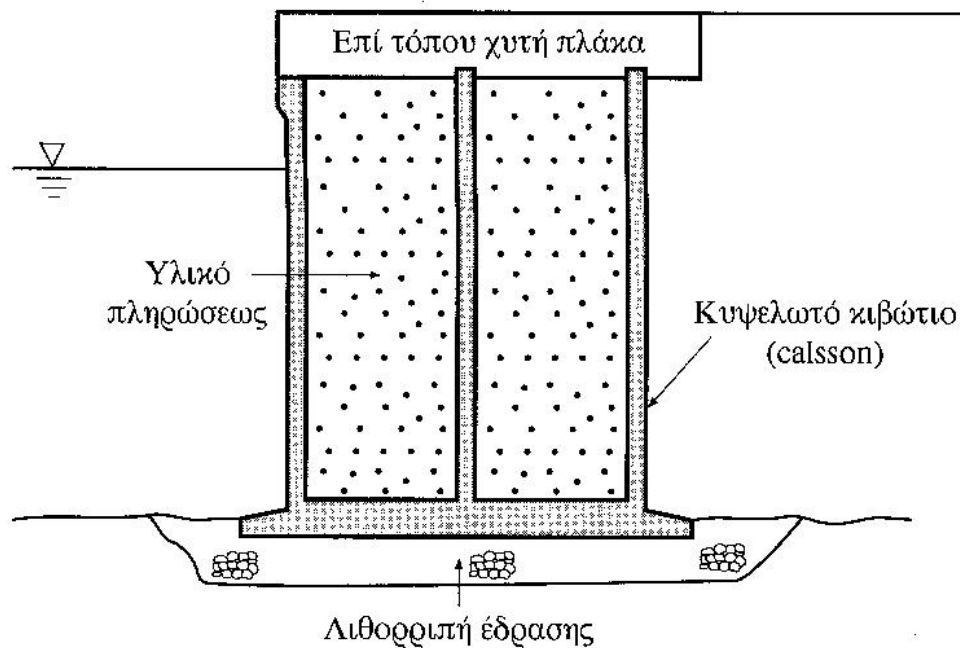
Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τους παραπάνω μηχανισμούς είναι αναγκαία και μια σύντομη παρουσίαση των μετώπων παραβολής που το ένα διαμορφώνεται από caisson και το άλλο από δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους.

1.1 ΜΕΤΩΠΑ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ

1.1.1 ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSON

Ένας κρηπιδότοιχος από caisson είναι κρηπιδότοιχος βαρύτητας. Τέτοιου είδους κρηπιδότοιχοι προτιμούνται όταν το έδαφος θεμελίωσης είναι υγιές ή όταν μπορούμε με μια στρώση λιθορριπής έδρασης να το εξυγιάνουμε. Τέτοιου είδους έργα εξασφαλίζουν με το βάρος τους ότι η κατασκευή θα μείνει στη θέση της και δεν θα ανατραπεί η ολισθήσει λόγω της δράσης των κυματισμών της θάλασσας ή οποιουδήποτε άλλου παράγοντα. Τα κυψελώτα κιβώτια (caissons) από τα οποία θα διαμορφωθεί ο κρηπιδότοιχός μας είναι προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, συνήθως ορθογωνικής κάτοψης, με μεγάλα κενά και ανοικτό το πάνω τους μέρος

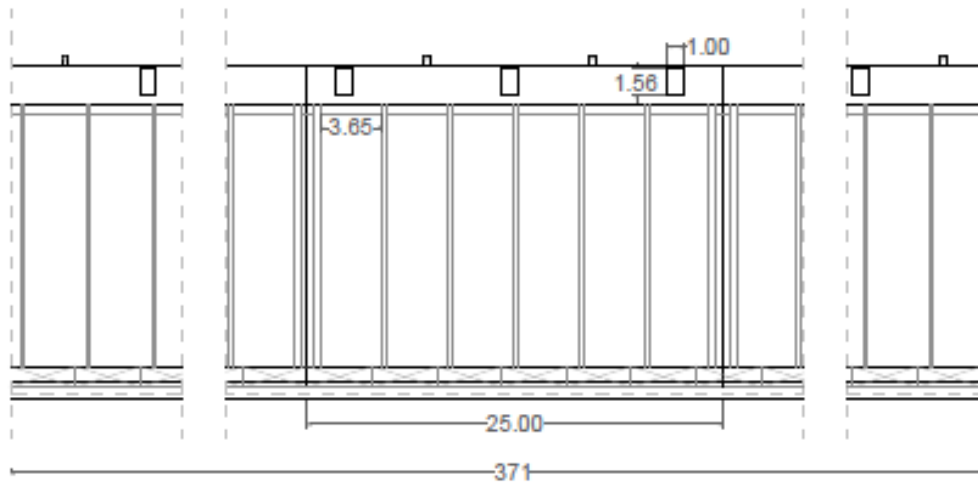
Το παρακάτω σχήμα αναπαριστά ένα τέτοιο κιβώτιο:



ΣΧΗΜΑ 1.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΤΟΥ ΚΙΒΩΤΙΟΥ (CAISSON), ΠΗΓΗ:(ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΜΕΜΟΣ, 2008)

Τα κιβώτια αυτά είναι συνήθως μεγάλων διαστάσεων και κατασκευάζονται σε εργοτάξιο κοντά στην ακτή από όπου καθελκύνονται ή ρυμουλκούνται με επίπλευση στην τελική θέση τοποθέτησής τους. Το ύψος τους είναι τέτοιο ώστε μετά την τοποθέτησή τους στην τελική τους θέση να προεξέχουν από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας τόσο ώστε να μπορεί να εκτελεστεί η σκυροδέτηση της ανωδομής. Οι κυψέλες μετά την τοποθέτησή τους θα πληρωθούν με άμμο ή με κροκάλες ή ακόμη και με τσιμέντο. Κάποιες φορές για να μην αναπτύσσονται τόσο μεγάλες τάσεις έδρασης στον πυθμένα ή για να μειώσουμε οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις αφήνουμε κάποιες κυψέλες χωρίς να τις πληρώσουμε. Τα εγκάρσια στην κρηπίδα τοιχώματα διαθέτουν στη βάση τους οπές για την εξισορρόπηση της υδροστατικής πίεσης. Η ανωδομή στηρίζεται στα κατακόρυφα τοιχεία των κυψελών. Το μήκος των κιβωτίων μας δεν ξεπερνά τα 30m. Η θεμελίωση των caissons γίνεται πάνω σε λιθορριπή έδρασης πάχους συνήθως πάνω από 1m. Όταν τα caissons τοποθετηθούν το ένα δίπλα στο άλλο διαμορφώνουν τον κρηπιδότοιχο μας και ένα κατακόρυφο μέτωπο παραβολής που μπορούν να αράζουν τα πλοία.

Το παρακάτω σχήμα είναι χαρακτηριστικό ενός τέτοιου μετώπου:

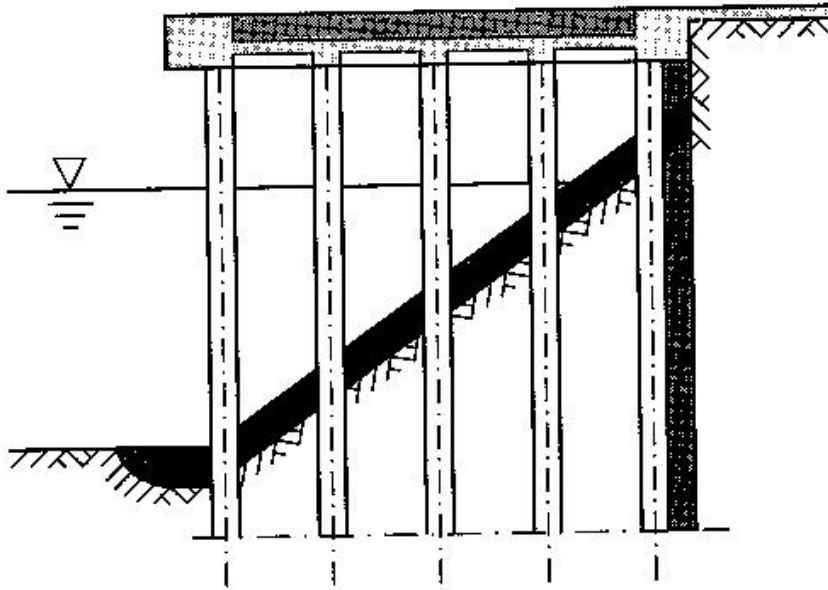


ΣΧΗΜΑ 1.2: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΩΤΩΝ ΚΙΒΩΤΙΩΝ (CAISSONS)

1.1.2 ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΟΥ ΕΔΡΑΖΕΤΑΙ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

Πρόκειται για κρηπιδότοιχο ανοικτού τύπου όπου η στήριξη του δαπέδου κυκλοφορίας (ανωδομής) γίνεται με πασσάλους όπου η φέρουσα ικανότητα που έχουν προσδιορίζεται από την τριβή αιχμής και την τριβή στις πλευρικές επιφάνειες των πασσάλων. Το υλικό των πασσάλων μπορεί να είναι ξύλο, χάλυβας, σκυρόδεμα ή κάποιος συνδυασμός τους.

Χαρακτηριστική διατομή τέτοιου ανοικτού κρηπιδώματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



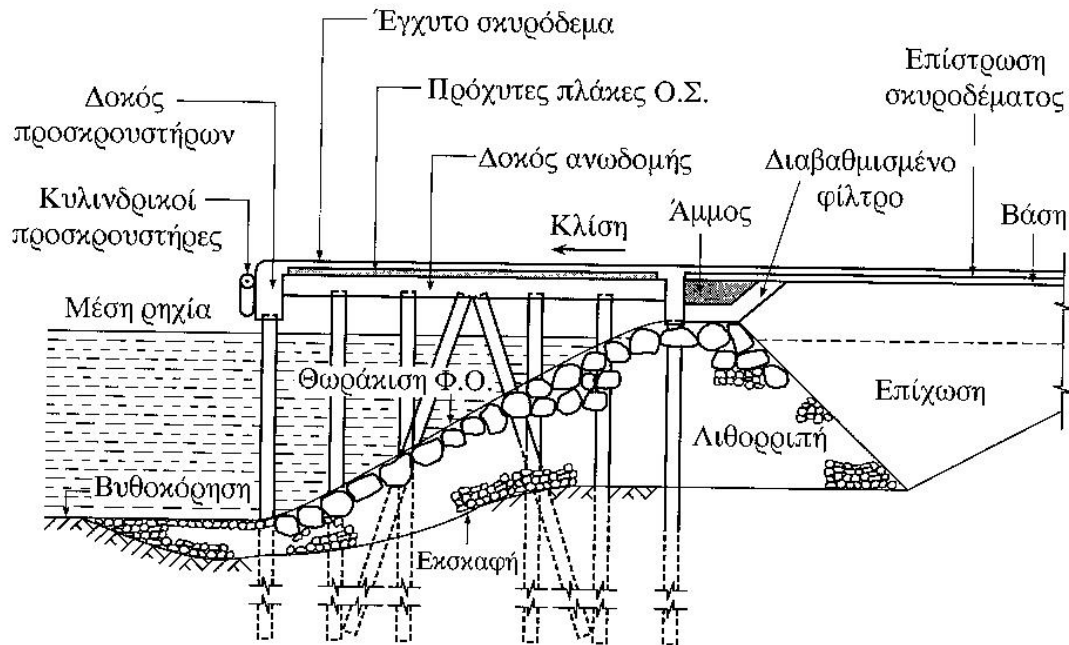
ΣΧΗΜΑ 1.3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΟΣ

ΠΗΓΗ: (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΛΙΜΕΝΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΜΕΜΟΣ, 2008)

Επειδή έχουμε να κάνουμε με κρηπιδώματα ανοικτού τύπου που επιτρέπουν στο νερό να περνά ανάμεσα από τους πασσάλους, το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα τέτοιων κρηπιδότοιχων είναι η απαιτούμενη προστασία των πρανών κάτω από την ανωδομή. Κρηπιδότοιχοι ανοικτού τύπου εφαρμόζονται σε περιπτώσεις, που έχουμε μεγάλη ενέργεια του υγρού στοιχείου και θέλουμε απορρόφηση αυτής της ενέργειας αντί για την ανάκλαση των μετώπων παραβολής από caissons. Επιπλέον σε περιπτώσεις που μαλακά επιφανειακά εδάφη υπέρκεινται στιφρών, το βάθος νερού είναι μεγάλο και δεν υπάρχει επάρκεια υλικών επίχωσης.

Οι πάσσαλοι μπορεί να είναι όλοι κατακόρυφοι αλλά μπορούμε να έχουμε και κεκλιμένους για την ανάληψη οριζόντιων φορτίων.

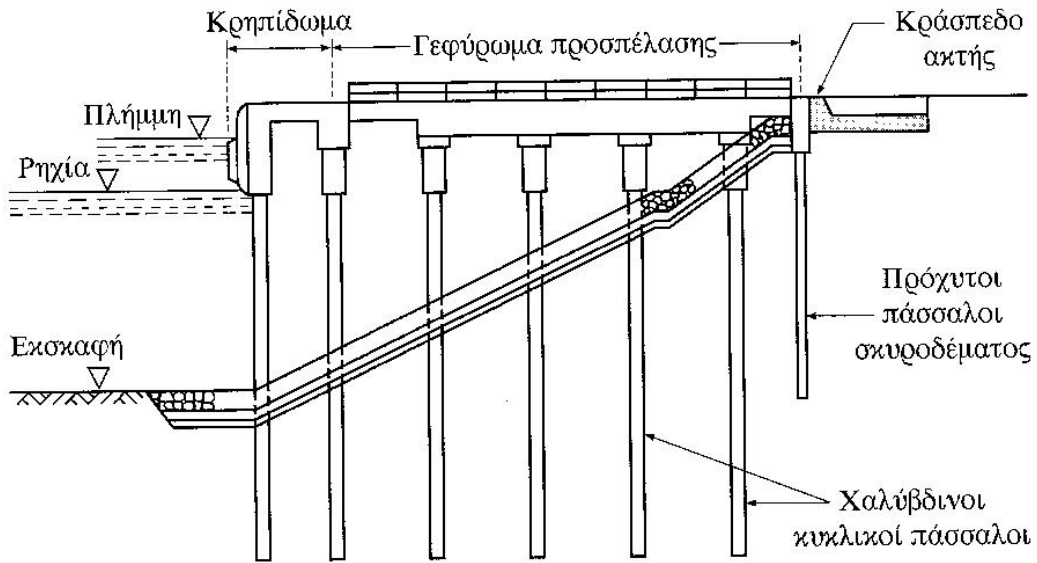
Το παρακάτω σχήμα είναι χαρακτηριστική διατομή πασσάλων που τοποθετούνται σε πρανές συναρμογής.



ΣΧΗΜΑ 1.4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ:(UNCTAD)

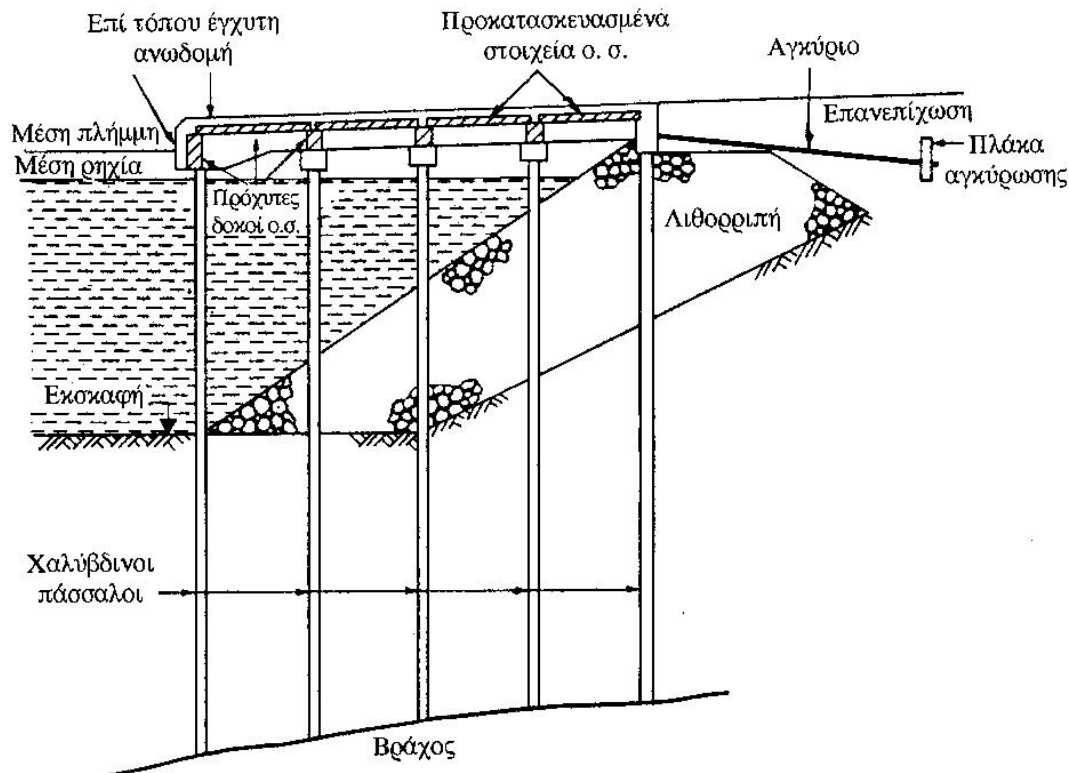
Όταν όμως έχουμε κατακόρυφους πασσάλους μόνο και πρέπει να αναληφθούν φορτία οριζόντια τότε μπορούμε να τοποθετήσουμε ανά αποστάσεις εγκάρσια γεφυρώματα, οι γαίες να αναπτύξουν τη λεγόμενη παθητική αντίσταση για φορτίσεις προς τη στεριά, να κατασκευάσουμε αγκυρώσεις για να αναλαμβάνουν δυνάμεις προς τη θάλασσα ή να στηριχτούμε στην καμπτική αντοχή των πασσάλων ότι θα αναλάβουν οριζόντιες δυνάμεις.

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει γεφύρωμα προσπέλασης που αναλαμβάνει οριζόντιες δυνάμεις:



ΣΧΗΜΑ 1.5: ΓΕΦΥΡΩΜΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΗΨΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ, ΠΗΓΗ:(BERTLIN AND PARTNERS)

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει αγκύρια που αναλαμβάνουν τις οριζόντιες δυνάμεις προς τη θάλασσα:



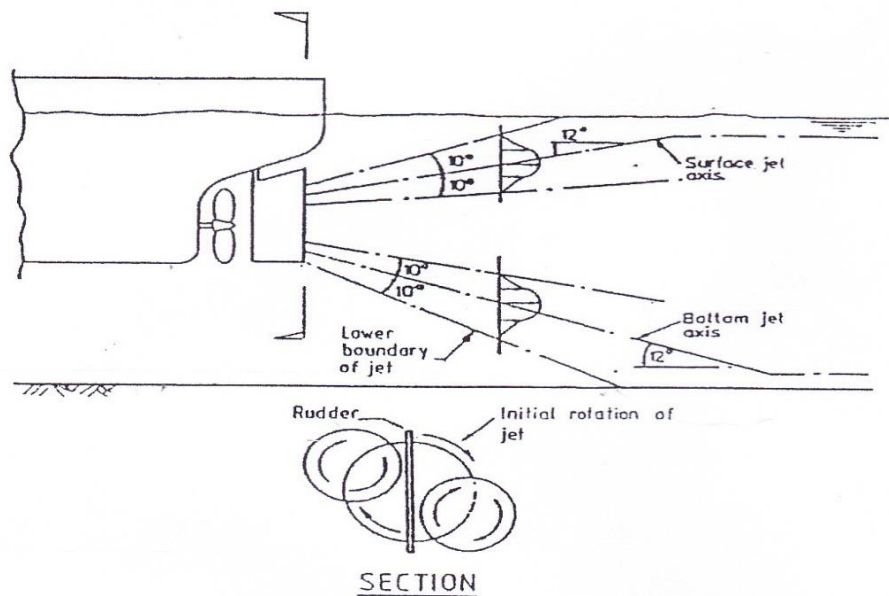
ΣΧΗΜΑ 1.6: ΑΓΚΥΡΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ, ΠΗΓΗ:(UNCTAD)

1.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΛΕΒΩΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

1.2.1 ΦΛΕΒΑ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Τώρα που έχουμε τη γενική εικόνα των μετώπων παραβολής μπορούμε να μιλήσουμε για τις φλέβες νερού. Αρχικά να αναφερθούμε στη φλέβα νερού που δημιουργεί η κύρια προπέλα. Η δημιουργία της φλέβας αυτής οφείλεται στην περιστροφική κίνηση της προπέλας. Με την έξοδο αυτής της φλέβας (η οποία έξοδος είναι παράλληλη στον άξονα του πλοίου) από την προπέλα με κάποια ταχύτητα το πλοίο μπορεί να προωθηθεί μπροστά. Όσο η φλέβα απομακρύνεται από το πλοίο διευρύνεται, αυξάνει η διάμετρός της όλο και περισσότερο και

παίρνει το κωνοειδές σχήμα που παρουσιάζεται παρακάτω. Το σχήμα αυτό οφείλεται στην περιστροφική κίνηση και στις διαδικασίες ανάμιξης.



ΣΧΗΜΑ 1.7: ΣΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΟ ΠΩΣ ΜΙΑ ΦΛΕΒΑ ΡΟΗΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΔΙΕΥΡΥΝΕΤΑΙ ΠΗΓΗ:(ΡΙΑΝC 1997)

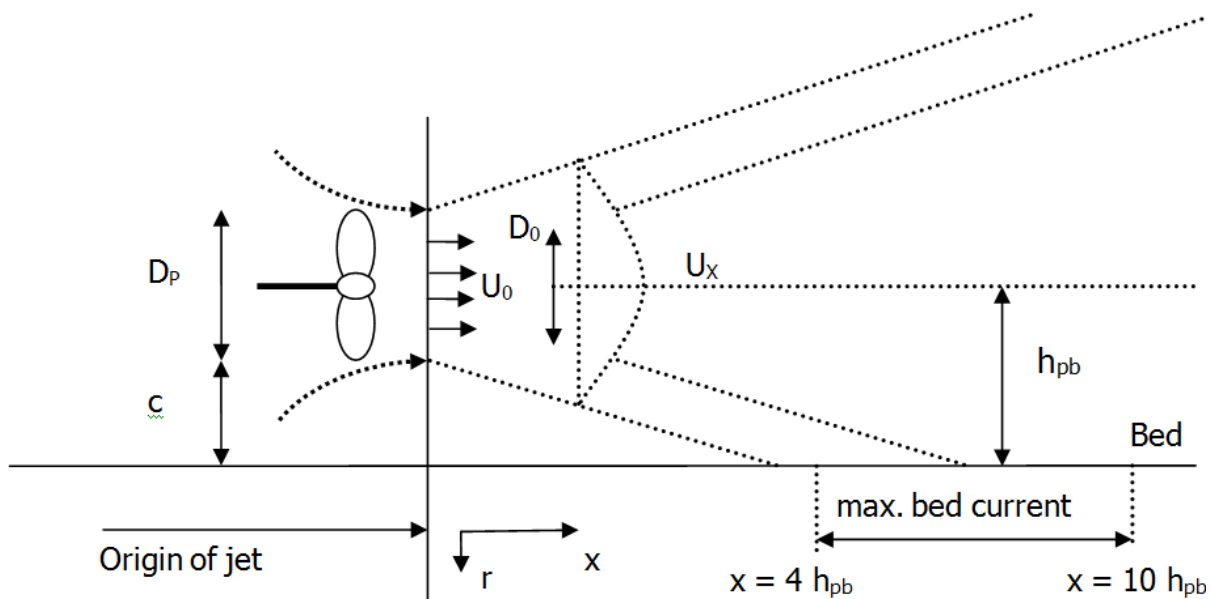
Το σχήμα παραπάνω μας δείχνει ότι η φλέβα με τον τρόπο που διευρύνεται συναντά ενδεχομένως και τον πυθμένα. Αν βεβαίως έχουμε πάρα πολύ μεγάλα βάθη ενδεχομένως η φλέβα να μην συναντήσει τον πυθμένα. Για τις θέσεις παραβολής των πλοίων όμως που τα βάθη δεν είναι εξαιρετικά μεγάλα σίγουρα κάποια στιγμή η φλέβα που διευρύνεται θα συναντήσει τον πυθμένα. Έχει βρεθεί μέσω πειραμάτων αλλά μπορούμε και να συμπεράνουμε και από το σχήμα ότι με τη διέυρυνση της φλέβας όταν αυτή φτάσει στον πυθμένα η ροή αυτής της φλέβας τείνει να γίνει παράλληλη στον πυθμένα και στην αρχική ροή της φλέβας όταν αυτή βγαίνει από την προπέλα. Προκύπτει λοιπόν πως αυτή η φλέβα που φτάνει στον πυθμένα και που κινείται παράλληλα σε αυτόν έχει μικρότερη ταχύτητα ροής σε σχέση με την αρχική ταχύτητα ροής της φλέβας V_0 όταν αυτή βγαίνει από την προπέλα. Έχει βρεθεί μέσα από πειράματα που αξιοποιήθηκαν μέχρι και πλοία ότι η ταχύτητα ροής της φλέβας που φτάνει στον πυθμένα έχει τη μέγιστη τιμή της μέσα σε μια ζώνη που η οριζόντια απόστασή της από την προπέλα του πλοίου μας είναι τέσσερις με δέκα φορές το μήκος της απόστασης του άξονα της προπέλας από τον πυθμένα, είναι δηλαδή $4 H_p - 10 H_p$.

Το μήκος της απόστασης του άξονα της προπέλας από τον πυθμένα μας δίνεται από τη σχέση:

$$H_p = C + 0.5D_p$$

ΣΧΕΣΗ 1.1

όπου το C είναι το μήκος της απόστασης του πυθμένα από την καρίνα του πλοίου αυξημένο κατά $0.5m$. Την ταχύτητα ροής της φλέβας στον πυθμένα που βρίσκεται μέσα σε αυτή τη ζώνη που προσδιορίσαμε που είναι και η μέγιστη αναμενόμενη θα την αναφέρουμε ως V_{maxb} . Στο σχήμα 1.8 φαίνεται αναλυτικά η έκταση της ζώνης μέγιστης ταχύτητας πυθμένα.



ΣΧΗΜΑ 1.8: ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ

Άρα όπως γίνεται κατανοητό η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} είναι κρίσιμο να μπορέσουμε να την υπολογίσουμε γιατί ακριβώς επειδή είναι η ταχύτητα που καταπονεί τον πυθμένα μας θα είναι και η ταχύτητα σχεδιασμού για την προστασία του πυθμένα. Η V_{maxb} μπορεί να υπολογισθεί σαν συνάρτηση της αρχικής ταχύτητας της φλέβας V_0 όταν αυτή βγαίνει από την προπέλα και για την οποία υπάρχουν διάφορες εξισώσεις που να μπορούν να μας υπολογίσουν την τιμή της.

Μια πρώτη εξίσωση είναι:

$$V_0 = 1.60 * n_p * D_p * K_T^{1/2}$$

ΣΧΕΣΗ 1.2

και επειδή ο συντελεστής ώθησης δεν είναι πάντα γνωστός υπάρχει και η εξίσωση:

$$V_0 = 1.15 * (P / \rho_w * D_0^2)^{1/3}$$

ΣΧΕΣΗ 1.3

όπου:

n_p : η περιστροφική ταχύτητα της προπέλας

D_p : η διάμετρος της κεντρικής προπέλας

K_T : συντελεστής ώθησης της προπέλας

P : η ισχύς της μηχανής

ρ_w : η πυκνότητα του νερού

D_0 : η διάμετρος της φλέβας ακριβώς πίσω από την προπέλα, τοποθετημένη ακριβώς στο σημείο του μέγιστου στενέματος

$D_0 = 0.71 D_p$ για μη εγκιβωτισμένη προπέλα

$D_0 = D_p$ για εγκιβωτισμένη προπέλα

Μια ακόμη εξίσωση είναι:

$$V_0 = c * (P_d / D_p^2)^{1/3}$$

ΣΧΕΣΗ 1.4

όπου:

$c = 1.48$ για μη εγκιβωτισμένη προπέλα

$c = 1.17$ για εγκιβωτισμένη προπέλα

Η αρχική ταχύτητα της φλέβας μετά και από την παράθεση της εξίσωσης 1.4 αλλά και της 1.2 είναι εμφανές ότι έχει να κάνει με την ισχύ της μηχανής του καραβιού P_d και τη διάμετρο της κύριας προπέλας D_p . Είναι επίσης προφανές ότι για μη εγκιβωτισμένη προπέλα έχουμε μεγαλύτερη αρχική ταχύτητα από αυτήν που θα προκύψει για εγκιβωτισμένη προπέλα. Διευκρινιστικά να αναφέρουμε ότι ένα πλοίο όταν αποπλέει δεν χρησιμοποιεί την πλήρη ισχύ των μηχανών γι αυτό το παραπάνω P_d είναι και η ισχύς που το πλοίο μας χρησιμοποιεί για να αποπλεύσει. Εναλλακτικά αν γνωρίζουμε τον αριθμό των στροφών της προπέλας ανά δευτερόλεπτο n τότε η αρχική ταχύτητα ροής της φλέβας θα μπορούσε να δωθεί από τη σχέση:

$$V_0 = 0.95 \cdot n \cdot D_p$$

ΣΧΕΣΗ 1.5

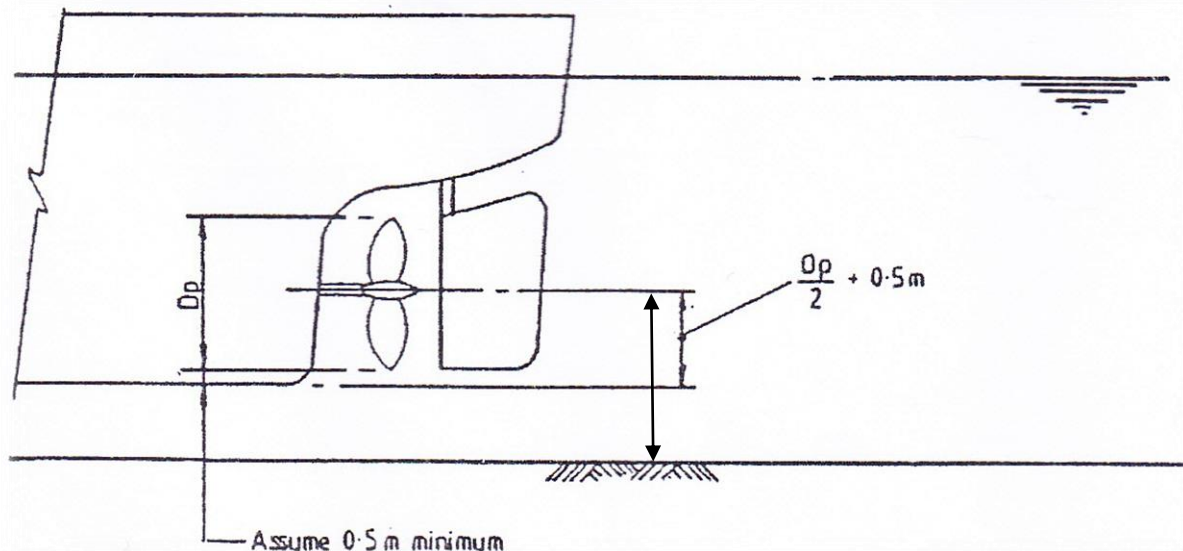
Μια σοβαρή παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη έτσι ώστε να υπολογίσουμε τη μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} είναι το βάθος του νερού κάτω από την καρίνα. Μπορούμε να βγάλουμε ως συμπέρασμα παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα ότι όσο πιο μεγάλη η απόσταση της καρίνας και συνεπώς του άξονα της προπέλας από τον πυθμένα τόσο πιο πολύ διευρύνεται η φλέβα νερού και τελικά όταν συναντά τον πυθμένα είναι αποδυναμωμένη και έχουμε ως αποτέλεσμα μικρότερες V_{maxb} . Αφού έχουμε λάβει υπόψη μας και έχουμε υπολογίσει τις παραπάνω παραμέτρους μπορούμε συσχετίζοντας την απόσταση του άξονα της προπέλας από τον πυθμένα H_p με την αρχική διάμετρο της φλέβας D_0 να υπολογίσουμε το πηλίκο H_p / D_0 . Ύστερα μέσα από κατάλληλο διάγραμμα να υπολογίσουμε το πηλίκο V_{maxb} / V_0 . Έπειτα μπορούμε να υπολογίσουμε λύνοντας ως προς αυτήν την μέγιστη ταχύτητα πυθμένα.

Να αναφέρουμε εδώ πέρα ότι όπως και πριν

$$D_0 = 0.71 D_p \text{ για μη εγκιβωτισμένη προπέλα}$$

$$D_0 = D_p \text{ για εγκιβωτισμένη προπέλα}$$

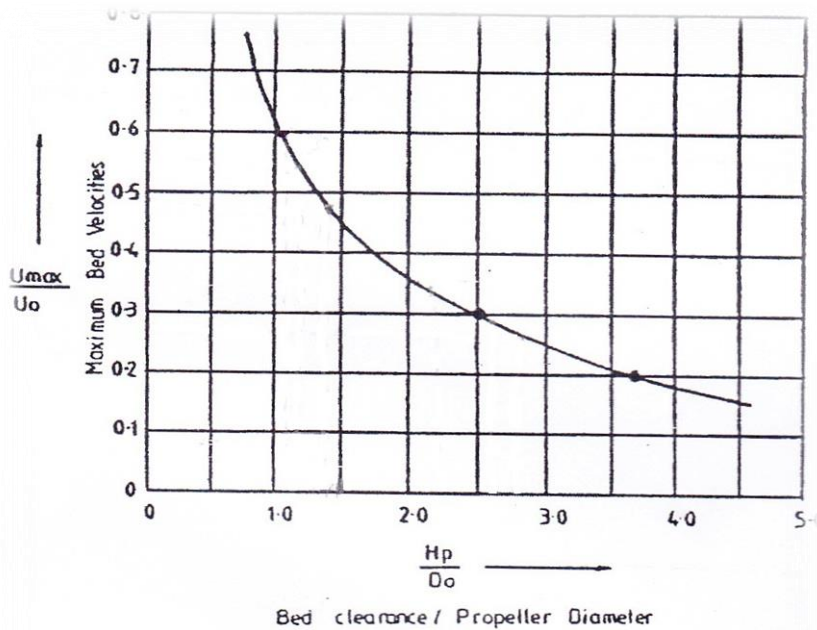
Το παρακάτω σχήμα μας αναπαριστά με την απόσταση ανάμεσα στα βελάκια το H_p .



ΣΧΗΜΑ 1.9: ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Από το σχήμα αυτό επιβεβαιώνεται και η σχέση 1.1 και μας καταδεικνύεται σχηματικά το C που είναι το μήκος της απόστασης του πυθμένα από την καρίνα του πλοίου αυξημένο κατά 0.5m.

Το παρακάτω σχήμα μας δίνει το διάγραμμα που αξιοποιώντας το μπορούμε να φτάσουμε στον υπολογισμό της μέγιστης ταχύτητας πυθμένα V_{maxb}



Note :

1. Ship with single propeller and rudder at zero deflection without obstruction to flow.
2. Rudder with vertical axis mounted astern of propeller

Source : Ref. 11

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ H_p/D_0 ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΩ ΤΗΝ V_{maxb} , ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Εναλλακτικά η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} μπορεί να υπολογιστεί με βάση την PIANC(2012) με δύο μεθόδους:

- την Ολλανδική μέθοδο

- τη Γερμανική μέθοδο

ΟΛΛΑΝΔΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Οι BLAAUW και VAN DE KAA (1978) και ο VERHEIJ (1983) συζήτησαν τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$V_0 = 1.60 \cdot n_p \cdot D_p \cdot K_T^{1/2}$$

$$V_{x,axis} = 2.8 \cdot V_0 \cdot (D_p/x)$$

ΣΧΕΣΗ 1.6

$$V_{x,r} = V_{s,axis} \cdot \exp(-15.4 \cdot (r/x)^2)$$

ΣΧΕΣΗ 1.7

Οι μέγιστες ταχύτητες ροής στον πυθμένα πραγματοποιούνται για $r/x = 0.18$

Δοκιμές και πειράματα από τον VERHEIJ (1983) έδειξαν ισχύ για 0.1-0.25

Όλο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σχέση για τη μέγιστη ταχύτητα πυθμένα:

$$V_{maxb} = 0.3 \cdot V_0 \cdot D_0 / H_p$$

ΣΧΕΣΗ 1.8

όπου:

V_0 : ταχύτητα της φλέβας ακριβώς πίσω από την προπέλα

$V_{x,axis}$: ταχύτητα ροής της φλέβας κατά μήκος του άξονά της

x : απόσταση κατά την κατεύθυνση του άξονα

$V_{x,r}$: κατανομή της ταχύτητας ροής

r : ακτινική απόσταση από τον άξονα της προπέλας
 H_p : απόσταση του άξονα της προπέλας από τον πυθμένα

ΓΕΡΜΑΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Η PIANC(2012) αναφέρει ότι η γερμανική μέθοδος οφείλεται στους FUEHRER, ROMISCH και ENGELKE

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τη μέθοδο είναι:

$$V_0 = 1.60 \cdot n_p \cdot D_p \cdot K_T^{1/2}$$

$$V_{x,axis} = A \cdot V_0 \cdot (D_p/x)^a \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.9}$$

$$V_{x,r} = V_{x,axis} \cdot \exp(-22.2 \cdot (r/x)^2) \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.10}$$

με

$$V_{x,max} = V_0 \cdot A \cdot (x/D_p)^{-C_4} \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.11}$$

όπου A και C₄ είναι σταθερές:

$$A = 1.88 \cdot \exp(-0.092 \cdot (H_p/D_p)) \text{ χωρίς πηδάλιο, για } 0.9 < H_p/D_p < 9$$

$$A = 1.88 \cdot \exp(-0.161 \cdot (H_p/D_p)) \text{ με κεντρικό πηδάλιο, για } 0.9 < H_p/D_p < 8$$

$$A = 2.6 \text{ για ανεμπόδιστες φλέβες}$$

$$C_4 = 0.25 \text{ για δύο προπέλες}$$

$$C_4 = 0.30 \text{ όταν έχουμε εμπόδιο έναν κατακόρυφο τοίχο}$$

$$C_4 = 1.62 \text{ όταν έχουμε φλέβα που ανακλάται στον τοίχο παραβολής}$$

$$C_4 = 0.60 \text{ σε περίπτωση περιορισμού από τον πυθμένα και την επιφάνεια του νερού}$$

Εναλλακτικά και απλοποιητικά η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$V_{maxb}/V_0 = E \cdot (H_p/D_p)^a \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.12}$$

όπου:

$$E = 0.71 \text{ για ακτοπλοϊκά μονής προπέλας με κεντρικό πηδάλιο}$$

$$E = 0.42 \text{ για ακτοπλοϊκά μονής προπέλας χωρίς κεντρικό πηδάλιο}$$

$$E = 0.42 \text{ για ακτοπλοϊκά διπλής προπέλας με κεντρικό πηδάλιο που ισχύει για } 0.9 < H_p/D_p < 3$$

$E=0.52$ για ακτοπλοϊκά διπλής προπέλας με διπλά πηδάλια τοποθετημένα μετά τις προπέλες που ισχύει για $0.9 < H_p / D_p < 3$

$\alpha = -1.00$ για μονής προπέλας ακτοπλοϊκά

$\alpha = -0.28$ για διπλής προπέλας ακτοπλοϊκά

Για τον υπολογισμό της μέγιστης ταχύτητας πυθμένα έχουν αναπτυχθεί και άλλες εξισώσεις:

$$V_{\max b} = n \cdot f_p \cdot C_5 \cdot (V_0 \cdot D_0) / H_p \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.13}$$

BLAAUW και VAN DE KAA

όπου:

C_5 : συντελεστής για μέγιστη ροή από την προπέλα, κατά τους BLAAUW και VAN DE KAA παίρνει την τιμή 0.3

f_p : ποσοστό εγκαταστημένης δύναμης που χρησιμοποιείται

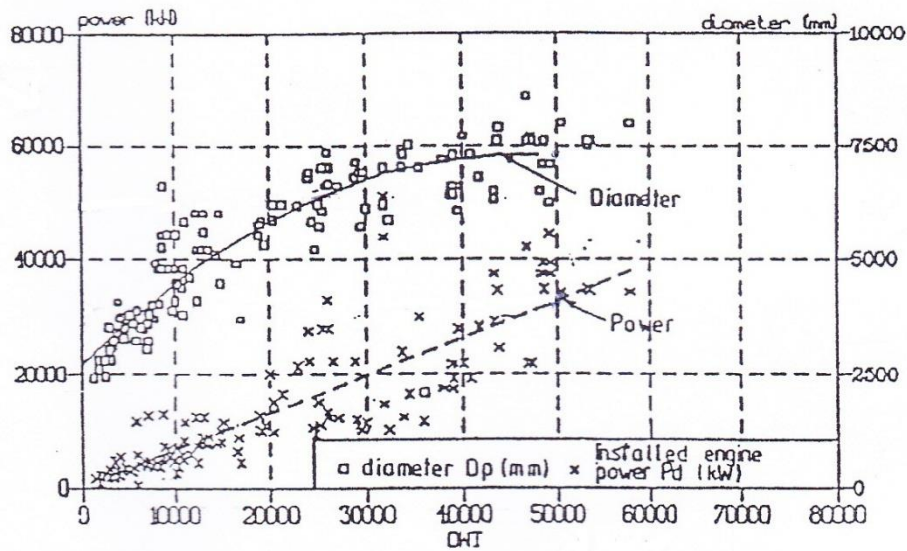
n : συντελεστής για τον αριθμό των προπελών, για δύο προπέλες θα παίρνει την τιμή $2^{1/2}$

Στους CIRIA et al η παραπάνω εξίσωση παρουσιάζεται χωρίς όμως να παρουσιάζονται οι συντελεστές για τις προπέλες και το ποσοστό της εγκατεστημένης δύναμης που χρησιμοποιούμε και είναι:

$$V_{\max b} = C_5 \cdot V_0 \cdot (D_0 / H_p)^{\gamma} \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.14}$$

και με το $C_5 = 0.3$

Επειδή για διαφορετικές διαμέτρους προπέλας έχουμε και διαφορετικές $V_{\max b}$ και V_0 στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται διάγραμμα που να συσχετίζει την ισχύ της μηχανής με τη διάμετρο της κύριας προπέλας για κιβωτιοαγωγή (container).

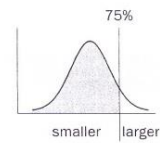


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΜΠΟΡΩ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΩ ΤΗΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ (ΓΙΑ ΚΙΒΩΤΙΟΑΓΩΓΟ), ΠΗΓΗ:(ΡΙΑΝΣ 1997)

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες με διάφορα χαρακτηριστικά πλοίων



SHIP TABLES

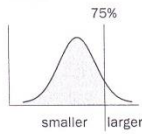


Type	DWT/GRT	Displacement M ₇₅	L _{OA}	L _{BP}	B	F _L	D _L	Wind area			
								Lateral		Front	
								Full Load	Ballast	Full Load	Ballast
General cargo ship	1000	1690	67	62	10.8	1.9	3.9	278	342	63	93
	2000	3250	83	77	13.1	2.3	4.9	426	541	101	142
	3000	4750	95	88	14.7	2.5	5.6	547	708	132	182
	5000	7690	111	104	16.9	2.8	6.6	750	993	185	249
	7000	10600	123	115	18.6	3.0	7.4	922	1240	232	307
	10000	14800	137	129	20.5	3.3	8.3	1150	1570	294	382
	15000	21600	156	147	23.0	3.6	9.5	1480	2060	385	490
	20000	28400	170	161	24.9	3.9	10.4	1760	2490	466	585
Bulk carrier	30000	41600	193	183	27.8	4.3	11.9	2260	3250	611	750
	40000	54500	211	200	30.2	4.6	13.0	2700	3940	740	895
	5000	6920	109	101	15.5	2.4	6.2	689	910	221	245
	7000	9520	120	111	17.2	2.6	6.9	795	1090	250	287
	10000	13300	132	124	19.2	2.9	7.7	930	1320	286	340
	15000	19600	149	140	21.8	3.3	8.6	1100	1630	332	411
	20000	25700	161	152	23.8	3.6	9.4	1240	1900	369	470
	30000	37700	181	172	27.0	4.1	10.6	1480	2360	428	569
	50000	61100	209	200	32.3	4.7	12.4	1830	3090	518	723
	70000	84000	231	221	32.3	5.2	13.7	2110	3690	586	846
Container ship	100000	118000	255	246	39.2	5.9	15.2	2460	4460	669	1000
	150000	173000	287	278	44.5	6.7	17.1	2920	5520	777	1210
	200000	227000	311	303	48.7	7.3	18.6	3300	6430	864	1380
	250000	280000	332	324	52.2	7.8	19.9	3630	7240	938	1540
	7000	10700	123	115	20.3	2.6	7.2	1460	1590	330	444
	10000	15100	141	132	22.4	3.3	8.0	1880	1990	410	535
	15000	22200	166	156	25.0	4.3	9.0	2490	2560	524	663
	20000	29200	186	175	27.1	5.0	9.9	3050	3070	625	771
	25000	36100	203	191	28.8	5.7	10.6	3570	3520	716	870
	30000	43000	218	205	30.2	6.4	11.1	4060	3950	800	950
Oil tanker	40000	56500	244	231	32.3	7.4	12.2	4970	4730	950	1110
	50000	69900	266	252	32.3	8.4	13.0	5810	5430	1090	1250
	60000	83200	286	271	36.5	9.2	13.8	6610	6090	1220	1370
	1000	1580	61	58	10.2	0.5	4.0	190	280	86	85
	2000	3070	76	72	12.6	0.8	4.9	280	422	119	125
	3000	4520	87	82	14.3	1.1	5.5	351	536	144	156
	5000	7360	102	97	16.8	1.5	6.4	467	726	184	207
	7000	10200	114	108	18.6	1.8	7.1	564	885	216	249
	10000	14300	127	121	20.8	2.1	7.9	688	1090	255	303
	15000	21000	144	138	23.6	2.7	8.9	860	1390	309	378
20000	27700	158	151	25.8	3.2	9.6	1010	1650	355	443	
30000	40800	180	173	29.2	3.9	10.9	1270	2090	430	554	
50000	66400	211	204	32.3	5.0	12.6	1690	2830	548	734	
70000	91600	235	227	38.0	6.0	13.9	2040	3460	642	884	
100000	129000	263	254	42.5	7.1	15.4	2490	4270	761	1080	
150000	190000	298	290	48.1	8.5	17.4	3120	5430	920	1340	
200000	250000	327	318	42.6	9.8	18.9	3670	6430	1060	1570	
300000	368000	371	363	59.7	11.9	21.2	4600	8180	1280	1970	



M1100-S12-V1.2-EN

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)



SHIP TABLES

Type	DWT/GRT	Displacement M ₇₅	L _{OA}	L _{BP}	B	F _L	D _L	Wind area			
								Lateral Full Load	Ballast	Front Full Load	Ballast
RoRo ship	1000	2190	73	66	14.0	2.7	3.5	880	970	232	232
	2000	4150	94	86	16.6	3.9	4.5	1210	1320	314	323
	3000	6030	109	99	18.3	4.7	5.3	1460	1590	374	391
	5000	9670	131	120	20.7	6.1	6.4	1850	2010	467	497
	7000	13200	148	136	22.5	7.3	7.2	2170	2350	541	583
	10000	18300	169	155	24.6	8.8	8.2	2560	2760	632	690
	15000	26700	196	180	27.2	10.7	9.6	3090	3320	754	836
	20000	34800	218	201	29.1	12.4	10.7	3530	3780	854	960
30000	50600	252	233	32.2	15.2	12.4	4260	4550	1020	1160	
Passenger (cruise) ship	1000	1030	64	60	12.1	2.3	2.6	464	486	187	197
	2000	1910	81	75	14.4	2.9	3.4	744	770	251	263
	3000	2740	93	86	16.0	3.4	4.0	980	1010	298	311
	5000	4320	112	102	18.2	4.2	4.8	1390	1420	371	386
	7000	5830	125	114	19.8	4.7	5.5	1740	1780	428	444
	10000	8010	142	128	21.6	5.3	6.4	2220	2250	498	516
	15000	11500	163	146	23.9	6.2	7.5	2930	2950	592	611
	20000	14900	180	160	25.7	7.3	8.0	3560	3570	669	690
	30000	21300	207	183	28.4	9.8	8.0	4690	4680	795	818
50000	33600	248	217	32.3	13.7	8.0	6640	6580	990	1010	
70000	45300	278	243	35.2	16.6	8.0	8350	8230	1140	1170	
Ferry	1000	1230	67	61	14.3	2.1	3.4	411	428	154	158
	2000	2430	86	78	17.0	2.6	4.2	656	685	214	221
	3000	3620	99	91	18.8	2.9	4.8	862	903	259	269
	5000	5970	119	110	21.4	3.5	5.5	1220	1280	330	344
	7000	8310	134	124	23.2	3.9	6.1	1530	1600	387	405
	10000	11800	153	142	25.4	4.3	6.8	1940	2040	458	482
	15000	17500	177	164	28.1	5.0	7.6	2550	2690	555	586
	20000	23300	196	183	30.2	5.5	8.3	3100	3270	636	673
	30000	34600	227	212	33.4	6.2	9.4	4070	4310	771	819
40000	45900	252	236	35.9	6.9	10.2	4950	5240	880	940	
Gas carrier	1000	2480	71	66	11.7	1.1	4.6	390	465	133	150
	2000	4560	88	82	14.3	1.5	5.7	597	707	195	219
	3000	6530	100	93	16.1	2.0	6.4	765	903	244	273
	5000	10200	117	109	18.8	2.6	7.4	1050	1230	323	361
	7000	13800	129	121	20.8	3.2	8.1	1290	1510	389	434
	10000	18900	144	136	23.1	3.9	9.0	1600	1870	474	527
	15000	27000	164	154	26.0	4.8	10.1	2050	2390	593	658
	20000	34800	179	169	28.4	5.5	11.0	2450	2840	696	770
	30000	49700	203	192	32.0	6.7	12.3	3140	3630	870	961
	50000	78000	237	226	37.2	10.5	12.3	4290	4940	1150	1270
70000	105000	263	251	41.2	13.4	12.3	5270	6050	1390	1530	
100000	144000	294	281	45.8	16.9	12.3	6560	7510	1690	1860	

M1100-S12-V1.2-EN



ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΔΙΑΦΕΡΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)

GLOSSARY

Commonly used symbols

Symbol	Definition	Units
B	Beam of vessel (excluding beltings and strakes)	m
C	Positive clearance between hull of vessel and face of structure	m
C_B	Block coefficient of vessel's hull	-
C_C	Berth configuration coefficient	-
C_E	Eccentricity coefficient	-
C_M	Added mass coefficient (virtual mass coefficient)	-
C_S	Softness coefficient	-
D	Draft of vessel	m
E_N	Normal berthing energy to be absorbed by fender	kNm
E_A	Abnormal berthing energy to be absorbed by fender	kNm
F_L	Freeboard at laden draft	m
F_S	Abnormal impact safety factor	-
H	Height of compressible part of fender	m
K	Radius of gyration of vessel	m
K_C	Under keel clearance	m
L_{OA}	Overall length of vessel's hull	m
L_{BP}	Length of vessel's hull between perpendiculars	m
L_S	Overall length of the smallest vessel using the berth	m
L_L	Overall length of the largest vessel using the berth	m
M	Displacement of the vessel	tonne
M_{50}	Displacement of the vessel at 50% confidence limit	tonne
M_{75}	Displacement of the vessel at 75% confidence limit	tonne
M_D	Displacement of vessel	tonne
P	Fender pitch or spacing	m
R	Distance from point of contact to the centre of mass of the vessel	m
R_F	Reaction force of fender	kN
V	Velocity of vessel (true vector)	m/s
V_B	Approach velocity of the vessel perpendicular to the berthing line	m/s
α	Berthing angle	degree
δ	Deflection of the fender unit	% or m
θ	Hull contact angle with fender	degree
μ	Coefficient of friction	-
ϕ	Velocity vector angle (between R and V)	degree

Definitions

Rubber fender	Units made from vulcanised rubber (often with encapsulated steel plates) that absorbs energy by elastically deforming in compression, bending or shear or a combination of these effects.
Pneumatic fender	Units comprising fabric reinforced rubber bags filled with air under pressure and that absorb energy from the work done in compressing the air above its normal initial pressure.
Foam fender	Units comprising a closed cell foam inner core with reinforced polymer outer skin that absorb energy by virtue of the work done in compressing the foam.
Steel Panel	A structural steel frame designed to distribute the forces generated during rubber fender compression.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)

General cargo freighters (table R 39-1.3)

Tonnage	Carrying capacity	Displacement <i>G</i>	Overall length	Length between perps	Beam	Max. draught
	dwt	t	m	m	m	m
–	40 000	51 100	197	186	28.6	12.0
–	30 000	39 000	181	170	26.4	10.9
–	20 000	26 600	159	149	23.6	9.6
–	15 000	20 300	146	136	21.8	8.7
–	10 000	13 900	128	120	19.5	7.6
–	7 000	9 900	115	107	17.6	6.8
–	5 000	7 210	104	96	16.0	6.1
–	3 000	4 460	88	82	13.9	5.1
–	2 000	3 040	78	72	12.4	4.5
–	1 000	1 580	63	58	10.3	3.6

There appears to be no trend towards construction of larger general cargo freighters. If necessary, the figures given in section 5.1.1.2 may be used accordingly.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ, ΠΗΓΗ: (TRELLEBORG AB, 2008)

1.2.2 ΦΛΕΒΑ ΝΕΡΟΥ ΛΟΓΩ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

Συνεχίζουμε με τη φλέβα νερού που δημιουργείται από την εγκάρσια προπέλα (bow thruster). Η εγκάρσια προπέλα βρίσκεται μέσα σε ένα σωλήνα στο εσωτερικό του καραβιού κάθετα προς τον άξονα του πλοίου. Χρησιμοποιείται για το μανουβράρισμα του καραβιού έτσι ώστε όταν το πλοίο πάει να αράξει να μην προσκρούσει στις θέσεις προσάραξης και επιπλέον όταν το πλοίο είναι να αποπλεύσει να εξασφαλίζεται ότι θα ξεκολλήσει από τον τοίχο. Οι λειτουργίες αυτές εξασφαλίζονται γιατί όταν η εγκάρσια προπέλα βρίσκεται σε λειτουργία εκτοξεύει νερό κάθετα στον άξονα του πλοίου. Έτσι όταν το πλοίο μανουβράρει και πλησιάζει μια θέση προσάραξης η φλέβα νερού χτυπάει τον τοίχο και έτσι λόγω δράσης αντίδρασης το πλοίο χαμηλώνει ταχύτητα και δεν προσκρούει με δύναμη. Ακόμα όταν το πλοίο αποπλέει η φλέβα νερού χτυπά πάλι τον τοίχο και πάλι λόγω δράσης αντίδρασης το

πλοίο ξεκολλά. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η εγκάρσια προπέλα τοποθετείται στην πλώρη και πιο σπάνια στην πρύμνη. Όταν η εγκάρσια προπέλα μπει σε λειτουργία κοντά στο μέτωπο παραβολής η φλέβα νερού που δημιουργείται χτυπά στον τοίχο και ανακλάται προς όλες τις κατευθύνσεις (αν μιλάμε για μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caisson, η περίπτωση των πασσάλων είναι διαφορετική και θα αναφερθούμε παρακάτω). Η ταχύτητα ροής της φλέβας στην έξοδο του σωλήνα της εγκάρσιας προπέλας $V_{0,b}$ εξαρτάται από το ποσό της ισχύς της μηχανής όταν το πλοίο αποπλέει P_b και από τη διάμετρο της εγκάρσιας προπέλας D_b και δίνεται από τη σχέση:

$$V_{0,b} = 1.04 * (P_b / D_b^2 * \rho_0)^{1/3} \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.15}$$

όπου ρ_0 η πυκνότητα του νερού.

Εναλλακτικά χωρίς χρήση της σχέσης 1.5 θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε την αρχική ταχύτητα της φλέβας αξιοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα το οποίο μας δίνει την αρχική ταχύτητα της φλέβας συναρτήσει της διαμέτρου της εγκάρσιας προπέλας. Έτσι για παράδειγμα για μια προπέλα 3m έχουμε αρχική ταχύτητα φλέβας 6.5m.

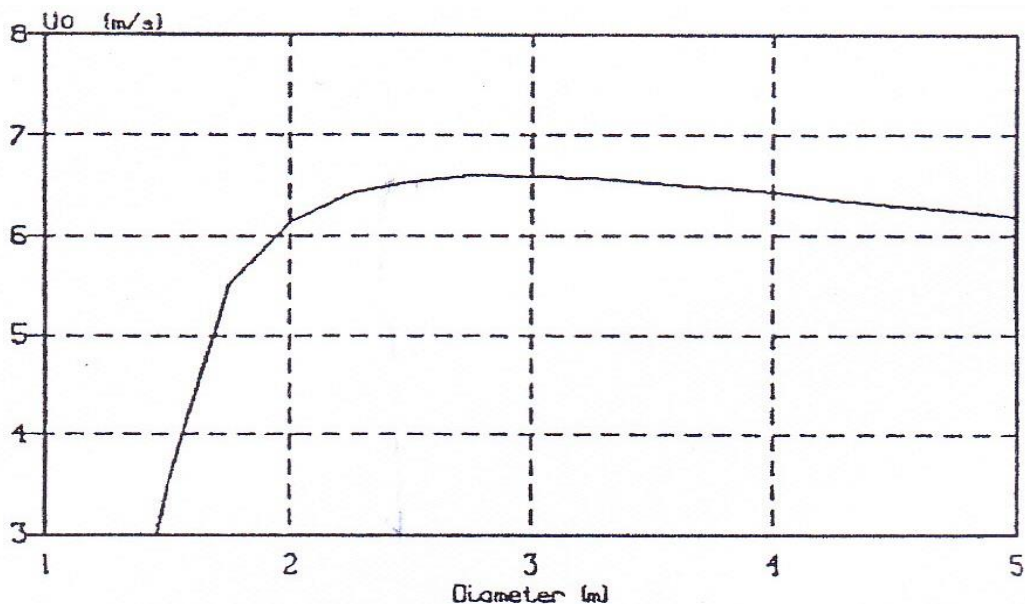


Figure 4.7 - Bow Thruster - Initial Jet Velocity

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3: ΑΡΧΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΜΙΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Ακόμη αν γνωρίζουμε την ισχύ της μηχανής για ένα κιβωτιαγωγό (container) μπορούμε αξιοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα να βρούμε την διάμετρο της εγκάρσιας προπέλας

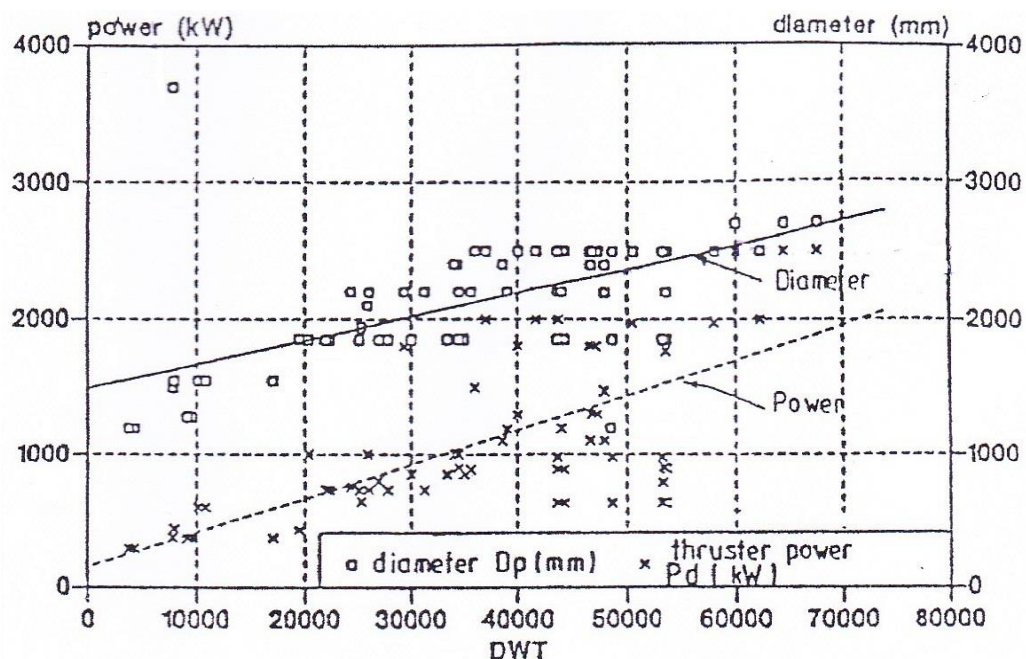


Figure 4.6 - Container Ships - Bow Thruster Diameter and Power

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.4: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Το κρίσιμο στοιχείο για τον τοίχο της προβλήτας είναι το ποσοστό εκείνο της φλέβας που ανακλάται προς τον πυθμένα. Ο ROMISCH(2001) καθόρισε με τη μέθοδο που παρουσιάζεται παρακάτω το ποσοστό της φλέβας που ανακλάται προς τον πυθμένα .

Όσον αφορά το ποσοστό αυτό:

$$C_a = Q_{\text{bottom},a} / Q_{\text{bottom},a=0} = (1/0.5) * ((90-a)/180 - (\sin 2(90-a))/2\pi) \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.16}$$

Εδώ το C_a είναι συντελεστής που δίνει την κατανομή της ροής που κατευθύνεται προς τα κάτω. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την παραπάνω σχέση παρουσιάζεται το παρακάτω σχήμα.

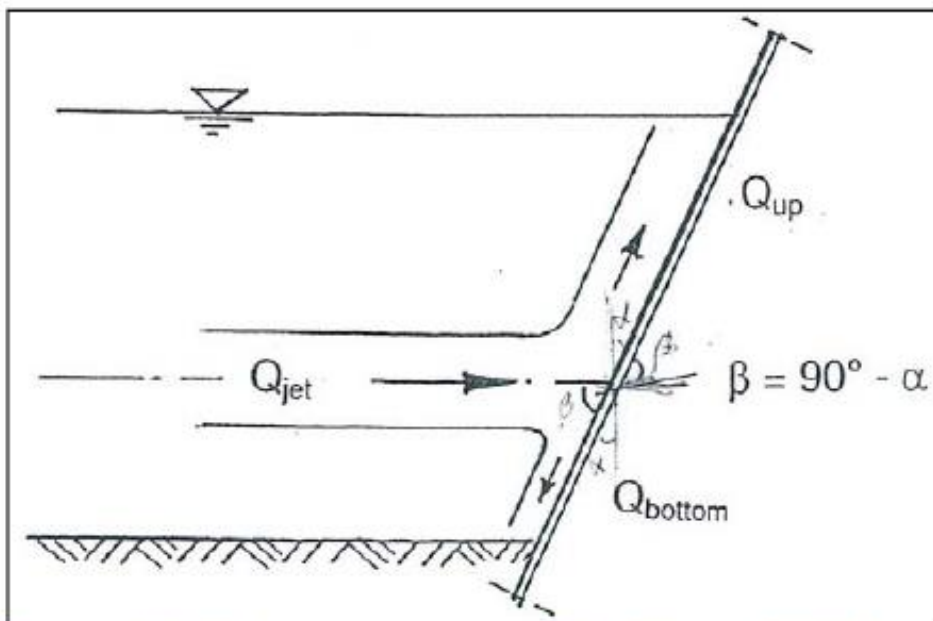


Figure B-9: Jet impinging on a wall by RÖMISCH [2001]

ΣΧΗΜΑ 1.10: ΦΛΕΒΑ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΠΡΟΠΕΛΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΤΗΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ: (ROMISCH 2001)

Στο σχήμα φαίνεται και η γωνία α που υπάρχει στη σχέση. Επίσης στο παρακάτω διάγραμμα υπολογίζεται ο συντελεστής C_a σε συνάρτηση με τη κλίση του τοίχου μας. Το διάγραμμα μας δίνει το ποσοστό της ροής που κινείται προς τα κάτω με αναφορά στη ροή που κινείται προς τα κάτω για έναν κατακόρυφο τοίχο. Η ζώνη μεταξύ 40 και 90 μοιρών προστίθεται χρησιμοποιώντας μια τιμή των 68 μοιρών (SCHOKKING 2002).

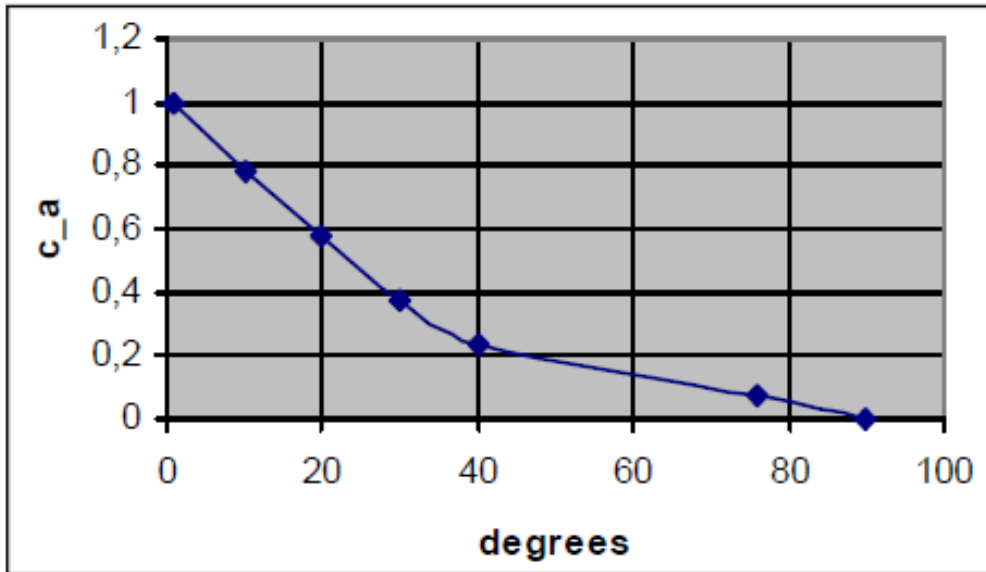


Figure B-10: Ca depending on slope angle, by PIANC [2012]

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.5: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ, ΠΗΓΗ:(PIANC 2012)

Το ποσοστό της φλέβας που θα φτάσει στον πόδα του έργου είναι υπεύθυνο για τη διάβρωση στον πυθμένα και φτάνει με ταχύτητα που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{\max b} = V_{0,b} * 2 * (L / D_b)^{-1}$$

ΣΧΕΣΗ 1.17

Η διαδικασία αυτή και τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στην εξίσωση 1.17 μπορούν να γίνουν πιο κατανοητά παρατηρώντας το παρακάτω σχήμα που είναι μια εγκάρσια προπέλα με τη φλέβα νερού που δημιουργεί, πως αυτή ανακλάται και το ποσοστό της που φτάνει στον πυθμένα.

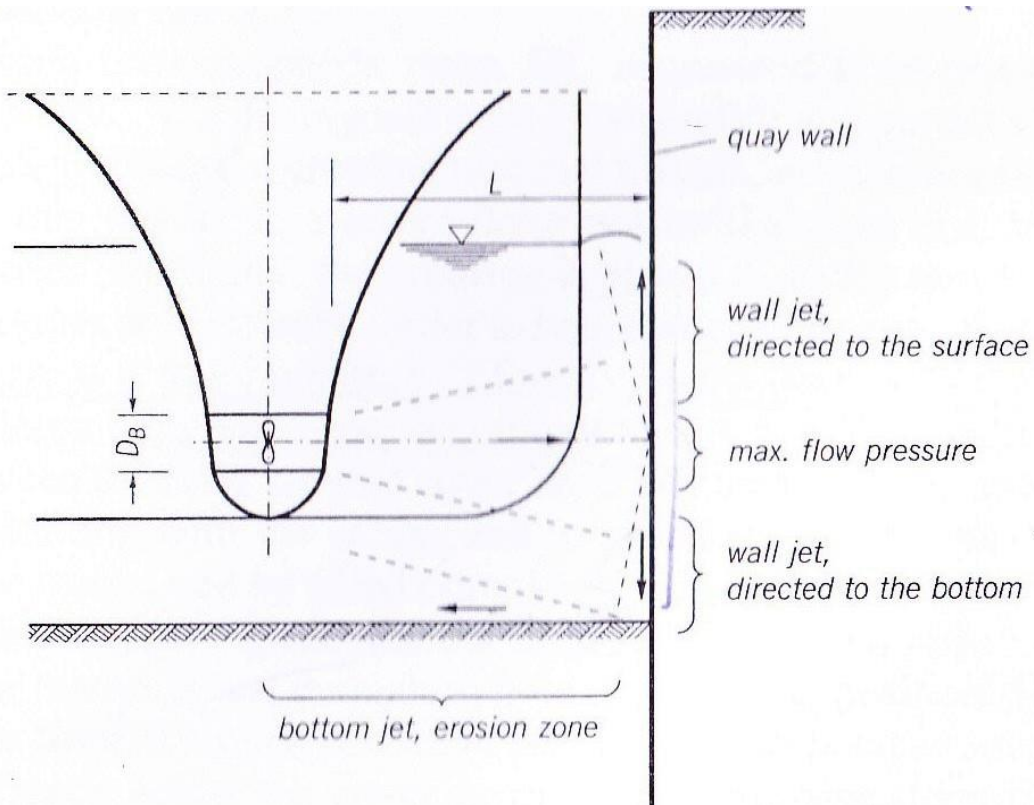


Fig. R 83-2. Jet load on the harbour bottom from the bow thruster

ΣΧΗΜΑ 1.11: ΦΛΕΒΕΣ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΚΑΙ ΠΩΣ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ
ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8th edition)

Βεβαίως έχουν αναπτυχθεί και άλλες εξισώσεις μέσω των οποίων μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη ταχύτητα ροής κοντά στον πυθμένα.

Δύο γνωστές είναι οι:

- BLOKLAND
- HAMILL

BLOKLAND

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τη διαδικασία από την οποία προκύπτει η σχέση μας παρουσιάζεται αρχικά το παρακάτω σχήμα. Πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι το που είναι

τοποθετημένο το πρηνές συναρμογής αλλά και το ποιό είναι η κλίση του έχουν ληφθεί υπόψη στην έρευνα.

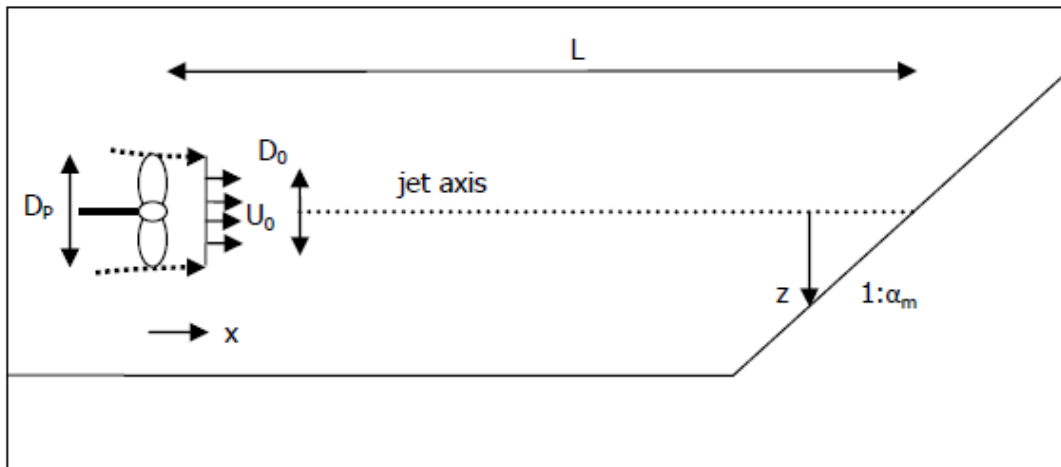


Figure B-11: Schematization for derivation by BLOKLAND

ΣΧΗΜΑ 1.12: ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ ΦΛΕΒΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΠΗΓΗ: (BLOCKLAND 1997)

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία καταλήγουμε στην εξίσωση του BLOKLAND (T.BLOKLAND, IGWR, personal communication, October 2011)

$$Z=1/a_m*(L-X)=L/a_m*(1-X/L) \text{ οπότε } Z/X=1/a_m*(L/X-1)$$

$$V_{x,z}=n*a*V_0*((D_0/L)*(L/X))^m*\exp(-b/a_m^2*(L/X-1)^2)$$

Παραγωγίζοντας την παραπάνω ταχύτητα ως προς X και εξισώνοντας το αποτέλεσμα της παραγωγίσης με το 0 και κάνοντας τις πράξεις καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$(1/2)*((m*a_m^2)/b)*(X/L)^2=1-X/L \text{ οπότε}$$

$$X_{max}/L=K*((1+2/K)^{1/2}-1) \text{ με } K \text{ να είναι το } K=b/(m*a_m^2)$$

Αν το $b=15.4$, $m=1$, $a_m=1.5$, $K=6.844$, $X_{max}/L=0.936$, $Z/L=0.0427$, $Z/X_{max}=0.0456$, $a=2.8$ τότε καταλήγουμε στην εξίσωση για τη μέγιστη ταχύτητα στον πυθμένα:

$$V_{maxb}=2.897*(V_0*D_0)/L$$

ΣΧΕΣΗ 1.18

όπου:

a: σταθερά ίση με 2.8

m: σταθερά ίση με το γ ίση με 1

b: σταθερά ίση με 15.4

n: σταθερά που έχει να κάνει με τον αριθμό των προπελών αναφέρθηκε και πιο πάνω και ισχύουν τα ίδια

L: η οριζόντια απόσταση ανάμεσα στο πρηνές και στο κέντρο του έλικα

Z: η απόσταση του εδάφους από τον άξονα της προπέλας

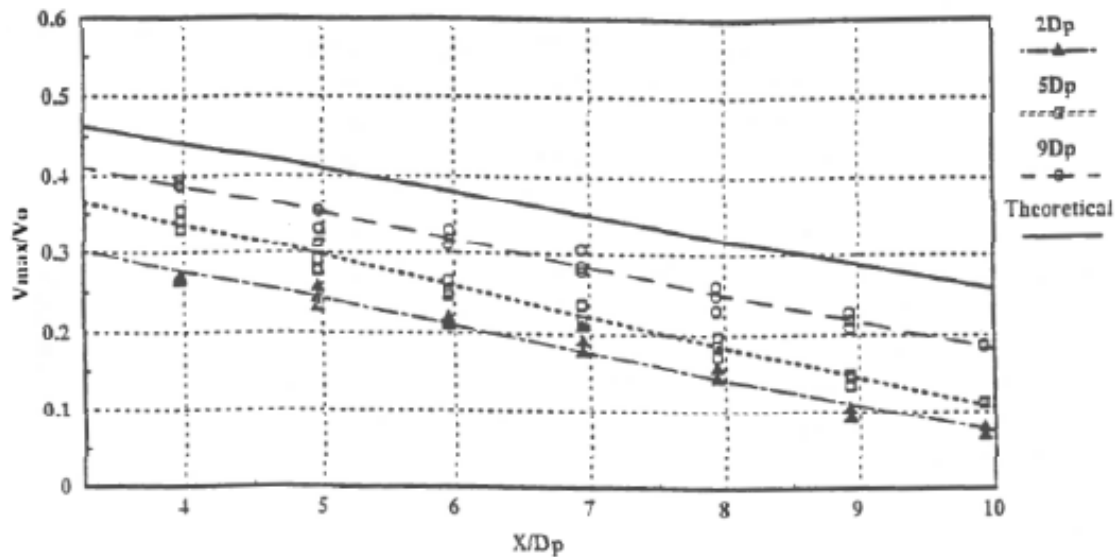
X: οριζόντια απόσταση από την προπέλα

X_{max} : απόσταση κατά την οριζόντια κατεύθυνση όπου η μέγιστη ταχύτητα αναπτύσσεται

a_m : συνεφαπτομένη της γωνίας του πρηνούς

HAMILL et al

Οι Hamill et al (1996b) ερεύνησαν την επίδραση ενός αναχώματος σε μια φλέβα νερού. Για μια φλέβα που εμποδίζεται από ένα ανάχωμα 15 μοιρών δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα. Αυτές οι γραμμές αναπαριστούν διαφορετικές θέσεις και αποστάσεις του αναχώματος από την αρχή της προπέλας, που είναι $2D_b - 5 D_b - 9 D_b$. Το διάγραμμα μας δείχνει ότι υπάρχει επίδραση στη μέγιστη ταχύτητα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.6: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ (15 ΜΟΙΡΩΝ) ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΝΕΡΟΥ, ΠΗΓΗ:(HAMILL et al 1996b)

Βέβαια υπάρχει και το εξής αντιφατικό στο διάγραμμα, δεν μπορούν να μετρηθούν ταχύτητες σε απόσταση $10 \cdot D_b$ αν το ανάχωμα βρίσκεται τοποθετημένο σε απόσταση $2 \cdot D_b$.

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$V_{maxb} = V_0 \cdot (A - B \cdot (X/D_b)) \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.19}$$

όπου:

$$A = 0.543 \cdot (1 + \tan \alpha)^{1.968} \cdot (1 + D_b/X_R)^{-9.13}$$

$$B = 0.0281 \cdot (1 + \tan \alpha)^{2.725} \cdot (1 + D_b/X_R)^{-6.3}$$

όπου:

α : η γωνία του πρανούς όπως έχουμε ξανά αναφέρει

X_R : η οριζόντια απόσταση της προπέλας από το σημείο διασταύρωσης του άξονα της φλέβας με το πρανές.

1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Τώρα που παρουσιάστηκαν οι φλέβες νερού που δημιουργούνται από την κύρια προπέλα όσο και από την εγκάρσια πρέπει να δούμε τι προβλήματα αυτές δημιουργούν έτσι ώστε να πάρουμε τα κατάλληλα μέτρα προστασίας. Να αναλύσουμε δηλαδή τους μηχανισμούς αστοχίας. Η ανάλυση αυτή θα γίνει για ένα μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caisson και για ένα μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται πάνω σε πασσάλους θεμελιωμένους σε κεκλιμένο πρανές. Όταν λοιπόν έχουμε ένα μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caisson και ένα πλοίο προσαράζει παράλληλα στον τοίχο η επίδραση της κύριας προπέλας με βάση αυτά που αναλύσαμε παραπάνω, για τη μέγιστη ταχύτητα στον πυθμένα, τη ζώνη που αυτή είναι μέγιστη, είναι να δημιουργεί διάβρωση στον πυθμένα.

Οι ταχύτητες λόγω της κύριας προπέλας στον πυθμένα είναι μεγάλες γι αυτό και αναμένουμε μεγάλη διάβρωση η οποία πρέπει να προληφθεί.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια χαρακτηριστική εικόνα αυτής της διάβρωσης

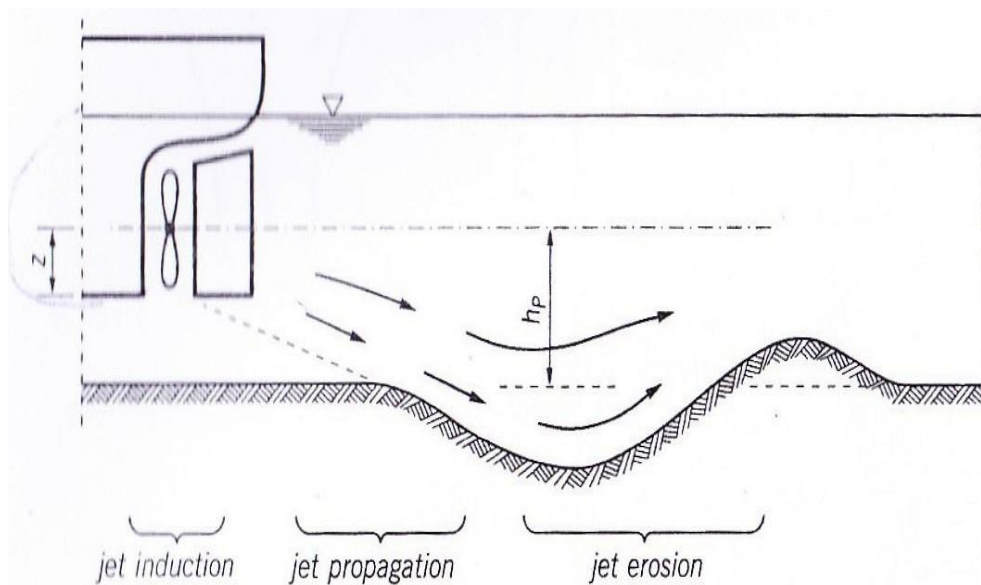


Fig. R 83-1. Jet formation caused by the stern screw

ΣΧΗΜΑ 1.13: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΛΕΒΩΝ ΝΕΡΟΥ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΠΕΛΑ ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8th edition)

Παράλληλα λόγω της λειτουργίας της εγκάρσιας προπέλας που στέλνει φλέβα νερού πάνω στον τοίχο, έχουμε λόγω ανάκλασης ένα ποσοστό της φλέβας που κινείται προς τον πυθμένα και τη βάση του τοίχου προκαλώντας διάβρωση. Αυτή η διάβρωση μπορεί να προκαλέσει υποσκαφή της κατασκευής μας. Το βάθος T_K της διάβρωσης αυτής είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής που έχει η φλέβα στον πυθμένα v_{maxb} , του μεγέθους του υλικού του πυθμένα d_{85} , της σχετικής πυκνότητας του υλικού κάτω από το νερό $\Delta = (\rho_s - \rho_o) / \rho_o$ και δίνεται από τη σχέση :

$$T_K / d_{85} = C_M * 3.05 * (v_{maxb} / (d_{85} * g * \Delta)^{1/2})^{2.25} \quad \text{ΣΧΕΣΗ 1.20}$$

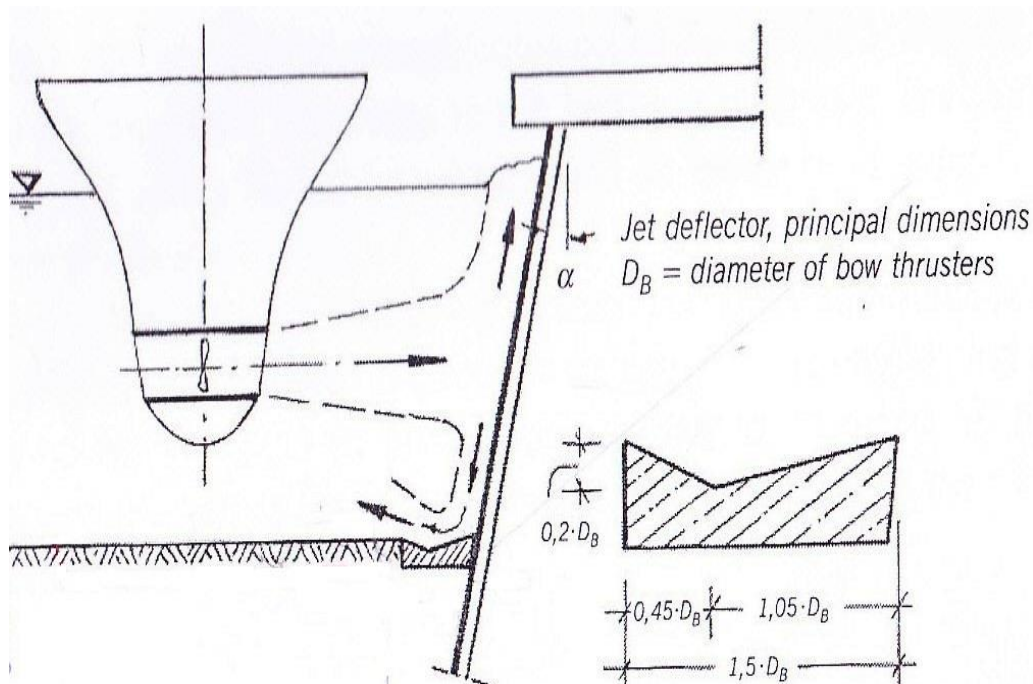
όπου

$C_M = 1.0$ για σταθερό φορτίο νερού

$C_M = 0.34$ όταν το πλοίο μανουβράρει για να αράξει

Άρα στον πόδα του τοίχους χρειαζόμαστε μια προστασία όχι απλώς ενισχυμένη αλλά που να μην επιτρέπει στην φλέβα να φτάσει στον πυθμένα και να δημιουργήσει διάβρωση. Τέτοια προστασία έχει αναπτυχθεί και είναι οι λεγόμενοι ανακλαστήρες. Η λειτουργία τους συνίσταται στο να εκτρέπουν την φλέβα νερού προς τα ανοιχτά όταν αυτή τους συναντήσει.

Μια χαρακτηριστική εικόνα ενός ανακλαστήρα, των διαστάσεών του και του πως τοποθετείται είναι η παρακάτω:



ΣΧΗΜΑ 1.14: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ, ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8th edition)

Στο σημείο αυτό και με τη βοήθεια του σχήματος 1.14 αξίζει να πούμε ότι η διάβρωση όταν χρησιμοποιούμε ανακλαστήρα και έχουμε κεκλιμένο τοίχο με τη γωνία α που φαίνεται και στο σχήμα 1.14 να μεγαλώνει τότε η διάβρωση μειώνεται και μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$T_K' = C_{SL} * (1 + 0.005 * \alpha) * C_a * T_K$$

ΣΧΕΣΗ 1.21

όπου:

T_K : διάβρωση χωρίς μέτρα προστασίας

C_a : συντελεστής που δείχνει την διασπορά της φλέβας σε σχέση με τη γωνία α

C_{SL} : μείωση της διάβρωσης όταν χρησιμοποιείται ανακλαστήρας

Ενδεικτικά δίνονται στον παρακάτω πίνακα οι τιμές των συντελεστών C_a και C_{SL} για διάφορες τιμές της γωνίας α .

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=30^\circ$
C_a	1.00	0.78	0.58	0.38
C_{SL}	0.25	0.20	0.10	0.05

Επίδραση στον τοίχο μας παρόμοια με τη φλέβα της εγκάρσιας προπέλας θα μπορούσε να έχει και η φλέβα που δημιουργείται από την κύρια προπέλα αν το πηδάλιο ήταν στραμμένο με γωνία τέτοια έτσι ώστε να στέλνει την φλέβα της κύριας προπέλας προς τον τοίχο η σε περίπτωση που πρυμνοδετούσαμε το πλοίο. Στις περιπτώσεις αυτές για το σχεδιασμό του ανακλαστήρα θα παίρναμε ως ταχύτητα σχεδιασμού την ταχύτητα της φλέβας από την κεντρική προπέλα που θα ανακλώταν προς τον πυθμένα

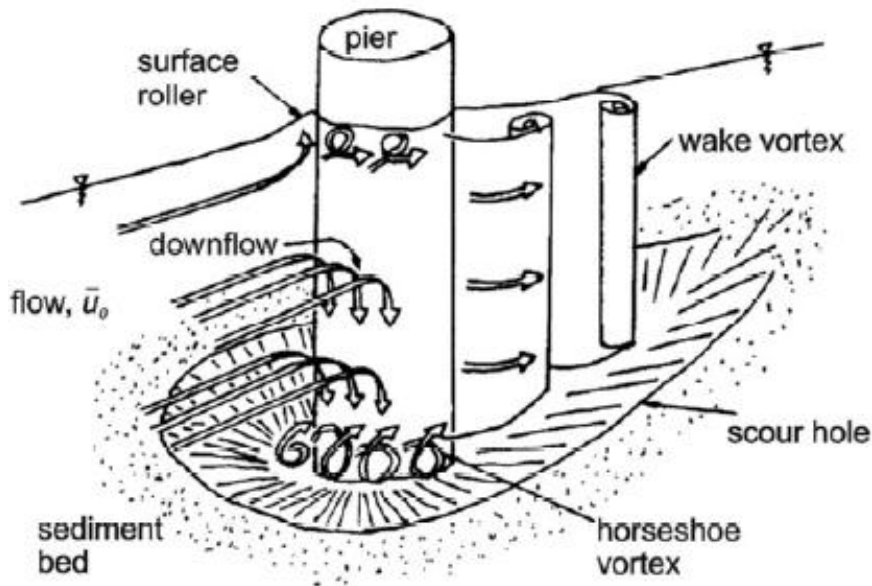
Στην περίπτωση που έχουμε μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους θεμελιωμένους σε πρανές συναρμογής και το πλοίο να αράζει παράλληλα στο μέτωπο δεν έχουμε με την ίδια ένταση το πρόβλημα με τον πόδα της κατασκευής. Αυτό συμβαίνει γιατί η φλέβα νερού δεν ανακλάται προς τον πυθμένα γιατί το νερό περνά μέσα από τους πασσάλους και δεν συναντά τοίχο ώστε να ανακλαστεί. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν δεν χρειαζόμαστε και ανακλαστήρες στον πόδα της κατασκευής. Τα προβλήματα που έχουμε σε αυτήν την περίπτωση είναι η διάβρωση του πυθμένα λόγω της φλέβας της κύριας προπέλας με τον μηχανισμό διάβρωσης να λειτουργεί όπως και στην προηγούμενη περίπτωση που έχουμε ήδη εξετάσει. Επιπλέον επειδή η φλέβα από την εγκάρσια προπέλα περνά μέσα από τους πασσάλους, αλλά χτυπάει και αυτούς, χτυπά με όλη της την ορμή πάνω στο πρανές που είναι οι πάσσαλοι θεμελιωμένοι. Το γεγονός αυτό, ακριβώς επειδή τα πρανά είναι πιο ευαίσθητα στην διάβρωση από τις επίπεδες επιφάνειες, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της θωράκισης (αν δεν έχει σχεδιαστεί σωστά) και έκπλυση του υλικού του πυρήνα. Αν αυτή η διαδικασία συνεχιστεί για πολύ τότε οι πάσσαλοι θα ξεχωθούν και θα παρασυρθούν παρασύροντας μαζί τους και το δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται πάνω τους.

Για να κατανοηθεί καλύτερα αυτό που αναφέρεται παραπάνω πρέπει να αναλύσουμε περαιτέρω τη ροή γύρω από τους πασσάλους και ποιοί είναι ακριβώς οι μηχανισμοί διάβρωσης. Σε ανοικτού τύπου κατασκευές οι πάσσαλοι, αποτελούν εμπόδια για τη ροή. Αυτό οδηγεί σε μια συστολή, ένα στένεμα της ροής ανάμεσα στους πασσάλους και στη δημιουργία στροβίλων στο κάτω μέρος των πασσάλων και γύρω από αυτούς. Στην περίπτωση αυτή έχουμε δύο μηχανισμούς διάβρωσης που αναπτύσσονται.

Στον πρώτο μηχανισμό επειδή οι πάσσαλοι λειτουργούν σαν εμπόδια η διάβρωση ξεκινά εξαιτίας μιας τοπικής επιτάχυνσης της ροής, της δημιουργίας μιας ροής προς τα κάτω και στροβίλων γύρω από τους πασσάλους.

Στον δεύτερο μηχανισμό η διάβρωση εξαιτίας της διασποράς της ροής προκαλείται από τη λειτουργία διατμητικών τάσεων και διαδικασιών ανάμιξης.

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει τη ροή γύρω από τους πασσάλους και μας δίνει καλύτερη εικόνα των μηχανισμών διάβρωσης.



ΣΧΗΜΑ 1.15: ΡΟΗ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ, ΠΗΓΗ: (SCHIERECK 2004, BREUSUERS and RAUDVIKI 1991)

Όταν έχουμε διάμετρο πασσάλων κατά πολύ μικρότερη του βάθους του νερού που και για μια τέτοια περίπτωση συζητάμε οι HOFFMANS και VERHEIJ παρουσίασαν μια εξίσωση για να υπολογίζουμε το συνολικό βάθος διάβρωσης:

$$S = 2.0 * D$$

ΣΧΕΣΗ 1.22

όπου:

S: το συνολικό βάθος της διάβρωσης

D: η διάμετρος του στύλου

Όπως μπορούμε να φανταστούμε η απόσταση των πασσάλων μεταξύ τους παίζει ρόλο στο βάθος της διάβρωσης που τελικά θα υποστούμε. Για πασσάλους που απέχουν μεταξύ τους 5

D οι τρύπες διάβρωσης γύρω από κάθε πάσσαλο δεν επηρεάζουν η μια την άλλη. Σε περίπτωση που έχουμε απόσταση μεταξύ των πασσάλων μικρότερη των 5 D τότε οι επιδράσεις της μιας τρύπας με την άλλη πρέπει να ληφθούν υπόψη και έτσι προκύπτει η εξίσωση:

$$S = 2.0 * K_i * D$$

ΣΧΕΣΗ 1.23

όπου στο SCOUR MANUAL των HOFFMANS και VERHEIJ η περίπτωση ενός και μόνο μεσόβαθρου έχει χρησιμοποιηθεί σαν σημείο αναφοράς και οποιεσδήποτε άλλες διαφοροποιήσεις εκφράζονται με συντελεστές K οπότε:

$$K_i = K_s * K_w * K_g * K_{gr}$$

ΣΧΕΣΗ 1.24

όπου:

K_i : συντελεστής διόρθωσης

K_s : συντελεστής που αφορά το σχήμα του στύλου (μεσόβαθρου)

K_w : συντελεστής που αφορά τον προσανατολισμό του στύλου σε σχέση με την ροή της φλέβας

K_g : συντελεστής που αφορά την επίδραση της διαβάθμισης του υλικού του πυθμένα K_{gr} : συντελεστής που αφορά την επίδραση των πολλών στύλων

Ιδιαίτερα προσεκτικοί πρέπει να είμαστε στην περίπτωση που το πηδάλιο της κύριας προπέλας είναι γυρισμένο με γωνία τέτοια έτσι ώστε να στέλνει τη φλέβα νερού πάνω στο πρανές ή αν το πλοίο πρυμνοδετεί οπότε η φλέβα από την κύρια προπέλα να χτυπά με όλη της την ορμή στο πρανές. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να συγκρίνουμε τις ταχύτητες των φλεβών της κύριας και εγκάρσιας προπέλας και να σχεδιάσουμε την προστασία μας με βάση τη μεγαλύτερη. Έχουμε ήδη δει για την κύρια προπέλα ότι η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} αναπτύσσεται στη ζώνη μεταξύ 4 H_p και 10 H_p . Την ίδια λειτουργία και την ίδια ζώνη ανάπτυξης έχει και η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα της φλέβας της εγκάρσιας προπέλας V_{maxb}' . Αναπτύσσεται δηλαδή στη ζώνη που η οριζόντια απόστασή της από την εγκάρσια προπέλα είναι 4 με 10 φορές το μήκος της απόστασης του άξονα της εγκάρσιας προπέλας από τον πυθμένα H_p' . Αναπτύσσεται δηλαδή στη ζώνη 4 H_p με 10 H_p . Αυτές είναι και οι 2 ταχύτητες οι οποίες θα συγκριθούν μεταξύ τους και θα σχεδιάσουμε με βάση τη μεγαλύτερη. Έχουμε δει τη διαδικασία υπολογισμού της V_{maxb} οπότε τώρα μπορούμε και πέρα από τις εξισώσεις

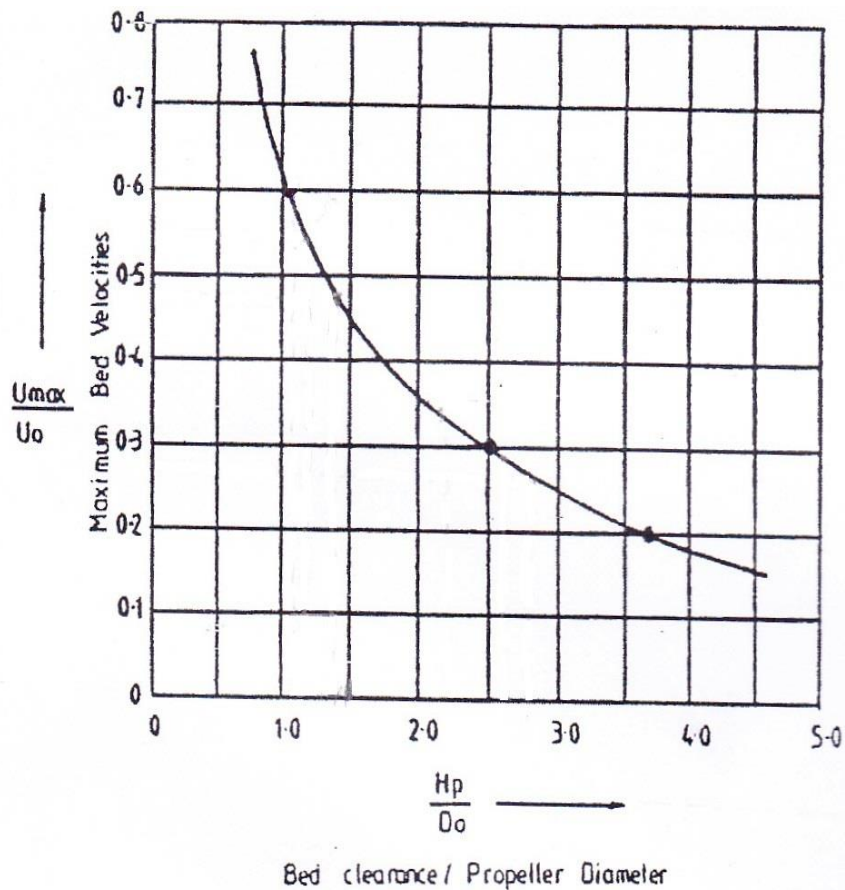
που έχουμε ήδη αναφέρει να δούμε μια ακόμη διαδικασία υπολογισμού της V_{maxb}' . Αρχικά πρέπει να δούμε την απόσταση του άξονα της εγκάρσιας προπέλας από τον πυθμένα H_p' που σχετίζεται με την αρχική διάμετρο της φλέβας D_0' και την απόσταση της καρίνας από τον πυθμένα h και μας δίνεται από τη σχέση:

$$H_p' = 1.5 * D_0' + h$$

ΣΧΕΣΗ 1.25

Έπειτα υπολογίζω το πηλίκο H_p' / D_0' και με τη χρήση κατάλληλου διαγράμματος μπορούμε να υπολογίσουμε το πηλίκο $V_{maxb}' / V_{0,b}$. Έπειτα αφού γνωρίζω την αρχική ταχύτητα της φλέβας της εγκάρσιας προπέλα $V_{0,b}$ μπορώ να βρω τη μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb}' και να τη συγκρίνω με τη V_{maxb} .

Το παρακάτω σχήμα είναι το διάγραμμα που το χρησιμοποιούμε για να βρούμε τη V_{maxb}'



Note :

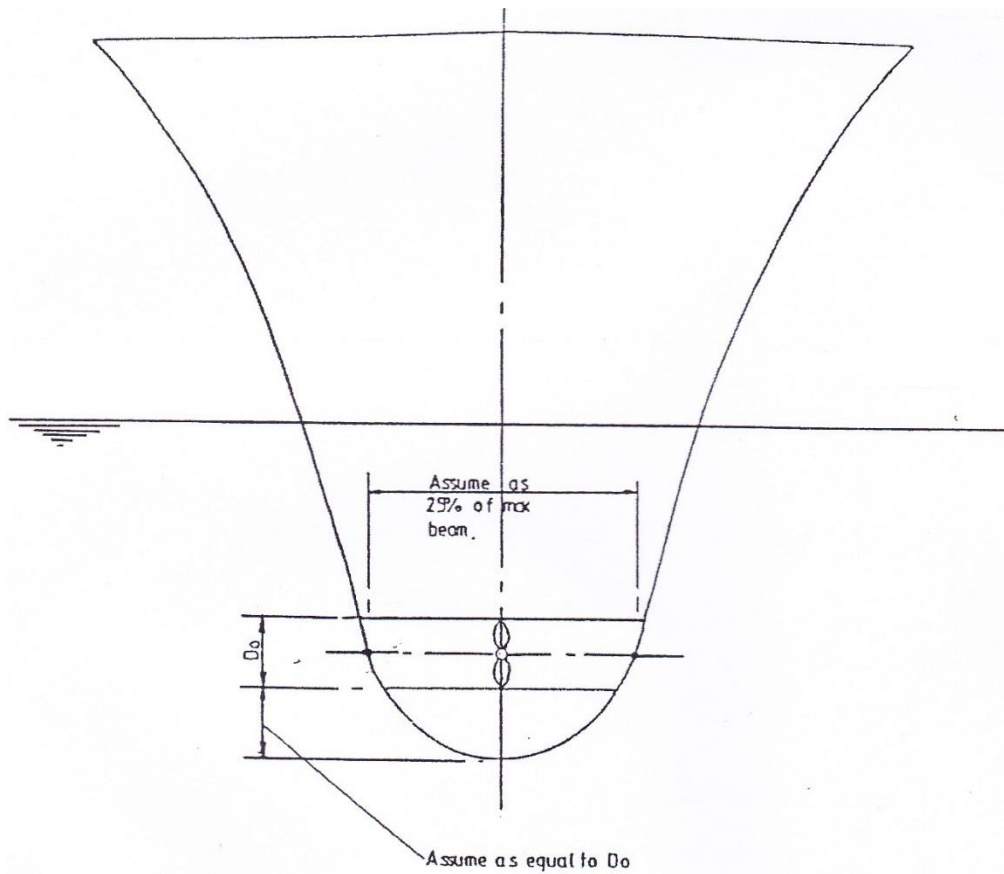
1. Ship with single propeller and rudder at zero deflection without obstruction to flow.
2. Rudder with vertical axis mounted astern of propeller

Source : Ref. 11

H

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ V_{max} ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΠΗΛΙΚΟΥ H_p/D_0 , ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Το παρακάτω σχήμα αναπαριστά την απόσταση του άξονα της εγκάρσιας προπέλας από τον πυθμένα και μας βοηθά να κατανοήσουμε τη σχέση 1.25



ΣΧΗΜΑ 1.16: ΑΞΟΝΑΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΠΡΟΠΕΛΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΡΙΝΑ, ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

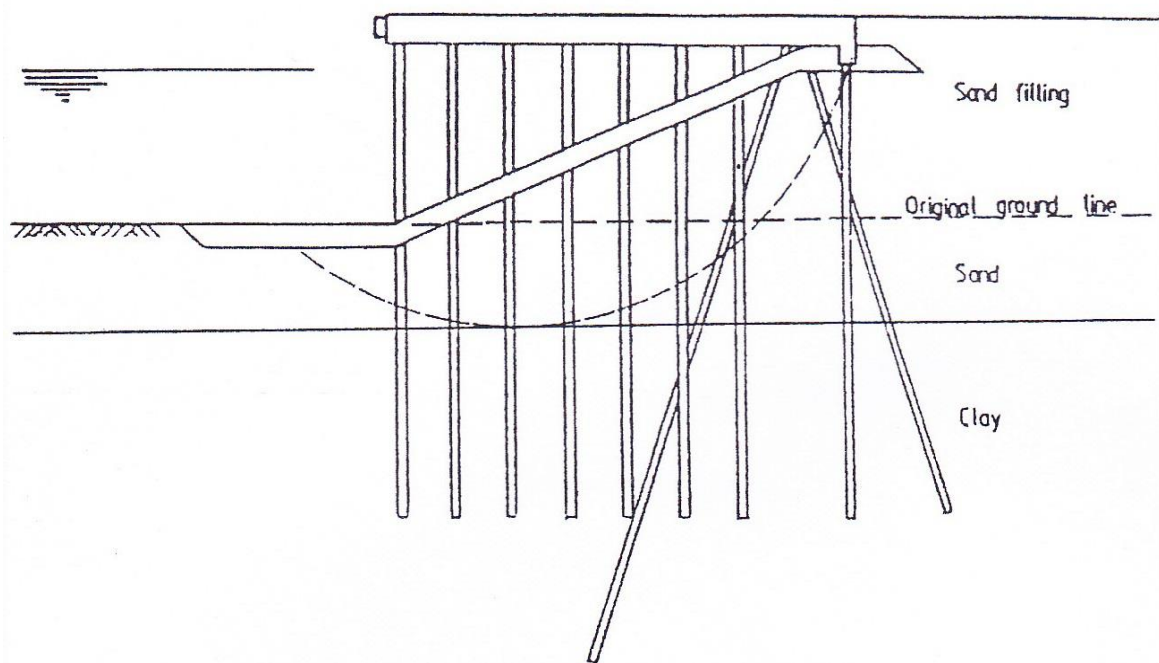
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα είδη προστασίας τόσο του πυθμένα όσο και του πρανούς συναρμογής μεταξύ του πυθμένα και του δαπέδου κυκλοφορίας του κρηπιδώματός μας. Είναι προφανές ότι δεν μπορούμε να αφήσουμε απροστάτευτες αυτές τις περιοχές. Η ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα ρεύματα που δημιουργούνται από την κύρια και την εγκάρσια προπέλα κάνουν επιτακτική την ανάγκη προστασίας. Καταρχήν θα πρέπει να αναφέρουμε το τι χαρακτηριστικά και το τι θα πρέπει να μας εξασφαλίζει τόσο η προστασία του πυθμένα όσο και η προστασία του πρανούς συναρμογής μεταξύ του πυθμένα και του δαπέδου κυκλοφορίας του κρηπιδώματός μας.

2.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η προστασία του πρανούς συναρμογής μεταξύ του πυθμένα και του δαπέδου κυκλοφορίας του κρηπιδώματος εξασφαλίζεται με θωράκιση αντίστοιχη με αυτήν της διατομής εξωτερικού έργου με πρανή. Η προστασία του πυθμένα είναι συμβατική διαμόρφωση προστασίας ποδός από τον κίνδυνο της υποσκαφής (στην περίπτωση αυτή δημιουργείται χαντάκι διάβρωσης, στον πόδα του πρανούς συναρμογής, το οποίο και είναι υπεύθυνο για την υποσκαφή). Η προστασία του πυθμένα βοηθά και στο να μην ολισθαίνει η προστασία του πρανούς συναρμογής προς τα κάτω. Τα μεγέθη σχεδιασμού είναι η ταχύτητα των ρευμάτων που δημιουργούνται στην περιοχή από τις προπέλες του πλοίου σχεδιασμού και οι κυματισμοί αν η περιοχή και το έργο μας είναι εκτεθειμένα. Με αυτόν τον τρόπο προστασίας εξασφαλίζουμε ότι η προστασία μας θα αντέχει τη δράση των κυματισμών και τη δράση των ρευμάτων που δημιουργούνται από τις προπέλες των πλοίων. Με τη σωστή τοποθέτηση της προστασίας θα πρέπει, να επιτυγχάνεται ευελιξία της προστασίας ώστε να προσαρμόζεται σε ενδεχόμενες καθιζήσεις, να αποφεύγεται η διέλευση του υποκείμενου υλικού του αναχώματος μέσα από τα κενά της λιθορριπής, να εξασφαλίσουμε ότι η προστασία δεν θα ολισθήσει κατά μήκος του πρανούς συναρμογής ούτε θα αρχίσει να επιπλέει προς την επιφάνεια, να αποκτήσει η προστασία μας αντοχή απέναντι στις μηχανικές κρούσεις (ένα πλοίο συγκρούεται με το πρανές συναρμογής) και να μπορούν αν χρειαστεί στο μέλλον να πραγματοποιηθούν επιδιορθώσεις. Επειδή αναφερόμαστε σε προστασία που τοποθετείται σε πρανές συναρμογής που βρίσκεται κάτω από το νερό θα πρέπει η προστασία που θα χρησιμοποιήσουμε να μπορεί να τοποθετηθεί και να αντέχει κάτω από το νερό.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια πιθανή μορφή αστοχίας του έργου μας. Η αστοχία αυτή είναι η ολίσθηση αναχώματος .



ΣΧΗΜΑ 2.1: ΑΣΤΟΧΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟ ΑΜΜΟ ΜΕ ΜΟΡΦΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ, ΠΗΓΗ:(ΡΙΑΝC 1997)

Πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι μια τέτοια αστοχία είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί όταν το υλικό του αναχώματος είναι από άμμο σε σύγκριση με το να ήταν πέτρα (κορήματα).

Αφού αναφέρθηκε το τι πρέπει μια προστασία να μας εξασφαλίζει θα πρέπει να αναφέρουμε τα χρησιμοποιούμενα είδη προστασίας.

2.2 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα πιο γνωστά είδη προστασίας είναι:

- Προστασία με συμβατική λιθορριπή (rock armour) και προστασία με διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) οι οποίοι είναι και οι πιο κοινοί τύποι προστασίας
- Λιθορριπή που στα κενά της εγχύεται κολλώδες τσιμέντο σχηματίζοντας έτσι ένα ρευστοκονίαμα
- Λιθορριπή που στα κενά της εγχύεται άσφαλτος
- Τεχνητούς ογκολίθους
- Στρώματα από διάφορα υλικά και τύπους
Θραυστές πέτρες (willow with rip rap)
Άσφαλτος
Συνθετική κατασκευή γεμισμένη με μπετό

Η προστασία με συμβατική λιθορριπή (rock armour) ή διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) είναι η πρώτη μας επιλογή όταν έχουμε μεγάλη δυνατότητα τροφοδοσίας φυσικών ογκολίθων από ένα λατομείο. Η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι ότι η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) έχει ένα μεγάλο εύρος μεγεθών και τοποθετείται με ανατροπή. Αντίθετα η συμβατική λιθορριπή (rock armour) έχει στενό εύρος μεγεθών και οι φυσικοί ογκολίθοι είναι αρκετά μεγάλοι και έτσι τοποθετούνται ένας ένας ξεχωριστά. Την σταθερότητά της η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) την αποκτά επειδή φυσικοί ογκολίθοι με πολλά και διαφορετικά μεγέθη σωρεύονται όλα μαζί δημιουργώντας ένα συσσωμάτωμα ενώ η συμβατική λιθορριπή (rock armour) αποκτά σταθερότητα λόγω του αλληλοκλειδώματος των φυσικών ογκολίθων κάτι το οποίο οφείλεται στη μέθοδο τοποθέτησης μονάδα ανά μονάδα. Ο μηχανισμός προστασίας της διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) συνίσταται στο γεγονός ότι απορροφά και ανακλά την ενέργεια των κυμάτων πριν φτάσουν στην προστατευόμενη περιοχή. Το μέγεθος και η ποικιλία στα υλικά της λιθορριπής (rip rap) απορροφούν την ενέργεια των κυμάτων ενώ τα κενά ανάμεσα στους ογκολίθους παγιδεύουν και επιβραδύνουν τη ροή του νερού μειώνοντας την διάβρωση. Επίσης αποτελεί καλό και ανθεκτικό υλικό απέναντι σε κρούσεις.

Φυσικός ογκολίθος άνω των 500 kg συνήθως δείχνει το άνω όριο της διαβαθμισμένης προστασίας (rip rap) επειδή ένα τέτοιο υλικό δεν μπορεί να τοποθετηθεί σωστά με ανατροπή. Επιπλέον αν η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) είναι ευρέως διαβαθμισμένη, τότε ο διαχωρισμός των υλικών κατά τη διάρκεια του χειρισμού και της τοποθέτησης γίνεται μεγάλο πρόβλημα. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό απαιτείται να έχουμε μια καλή διαβάθμιση έτσι ώστε να πετύχουμε και σταθερότητα της προστασίας.

2.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Πριν όμως μιλήσουμε για την διαβάθμιση των πετρών, το μέγεθος των ογκολίθων που θα διαλέξουμε έτσι ώστε να ξεκινήσουμε την κατασκευή, καλό θα ήταν να αναφερθούμε σε ορισμένες λεπτομέρειες που πρέπει να έχουμε υπόψη μας πριν ξεκινήσει η κατασκευή της προστασίας και να λάβουμε τα αντίστοιχα μέτρα:

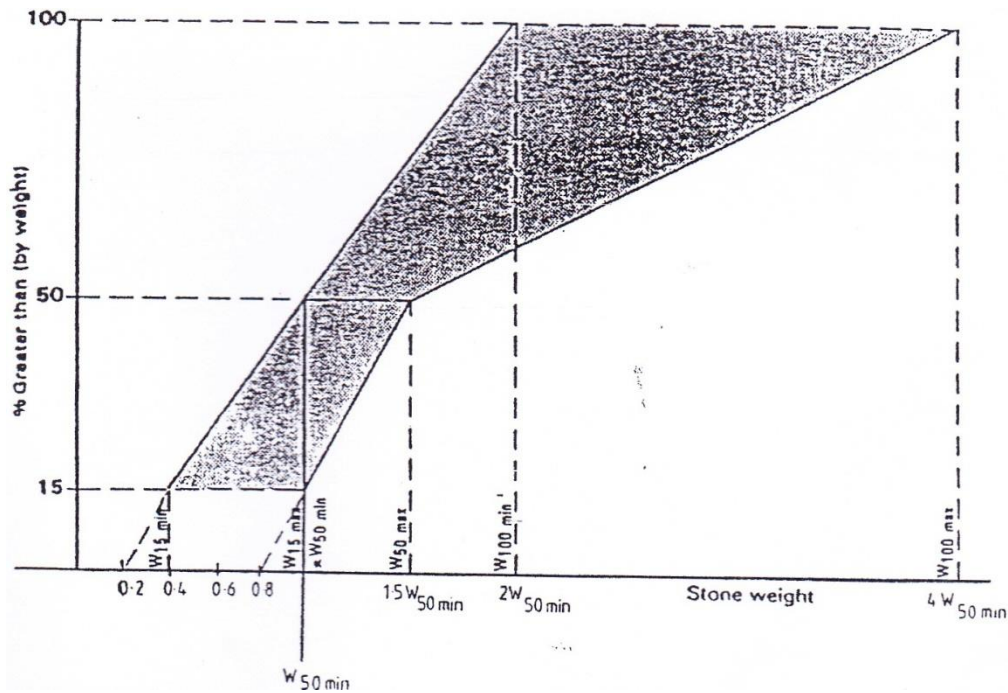
1. Το έδαφος εκεί που θα τοποθετηθεί η προστασία μας πρέπει προσεκτικά να καθαριστεί από βλάστηση, ρίζες και μπάζα που ενδεχομένως να υπάρχουν
2. Σε περίπτωση που έχουμε διαταραγμένο έδαφος στην περιοχή της προστασίας χρειάζεται να καθαρίσουμε την περιοχή κάνοντας βαθιές εκσκαφές έτσι ώστε να απομακρύνουμε το διαταραγμένο υλικό. Πρέπει να αναπληρώσουμε το διαταραγμένο υλικό με άλλο το οποίο να ταιριάζει στην πυκνότητα και γενικά στα χαρακτηριστικά της περιοχής.
3. Πρέπει να σκάψουμε ένα σφηνάλακα σε σταθερό υλικό στη βάση του πρανούς συναρμογής ώστε να ενισχύσουμε τον πόδα της κατασκευής. Το πάχος εκσκαφής του σφηνάλακα θα πρέπει να είναι 1.5 φορά το πάχος σχεδιασμού της προστασίας από διαβαθμισμένη λιθορριπή και θα πρέπει να εκτείνεται σε οριζόντια έκταση ίση με το πάχος σχεδιασμού της προστασίας.
4. Οι χρησιμοποιούμενες για τη δημιουργία φίλτρου πέτρες ή χαλίκια πρέπει να συμμορφώνονται με τη διαβάθμιση του περιβάλλοντος.
5. Τα κενά ανάμεσα στους ογκολίθους της διαβαθμισμένης προστασίας (rip rap) θα πρέπει να καλύπτονται με μικρότερες πέτρες.

2.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Τώρα που αναφερθήκαμε σε λεπτομέρειες που πρέπει να έχουμε υπόψη μας πριν ξεκινήσουμε την κατασκευή της προστασίας, μπορούμε τώρα να διαλέξουμε κατάλληλο μέγεθος ογκολίθων με διάφορους κανονισμούς διαβαθμίσεων έτσι ώστε να αποφύγουμε το πρόβλημα του διαχωρισμού που έχει ήδη αναφερθεί. Το κριτήριο με το οποίο θα διαλέξουμε το μέγεθος της διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) ή της συμβατικής λιθορριπής (rock armour) είναι ότι με την επιλογή μας θα πρέπει η θωράκιση να προστατεύει τις υποκείμενες στρώσεις. Η κοκκομετρία των στρώσεων επιλέγεται με κριτήριο την λειτουργία φίλτρου δηλαδή μέσα από τις στρώσεις να μην περνάει το υποκείμενο υλικό.

Υπάρχουν διάφοροι κανονισμοί διαβαθμίσεων που βάζουν όρια $0.2 w_{50}$ με $4 w_{50}$ με το χαμηλότερο όριο να περιγράφεται από το μέγεθος w_{15} , όρια από $0.22 w_{50}$ με $3.6 w_{50}$. Επιπλέον υπάρχουν κανονισμοί που βάζουν όρια $0.8w_{50}$ με $2w_{50}$.

Στο παρακάτω σχήμα αναπαρίσταται φάκελος διαβάθμισης.



ΣΧΗΜΑ 2.2: ΦΑΚΕΛΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΒΑΡΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Ένα ελάχιστο πάχος που να αντιστοιχεί σε 2 στρώσεις λιθορριπής w_{50} θα πρέπει να εξασφαλίζεται. Αυτό ισοδυναμεί με ένα ελάχιστο περίπου 1.5 με 1.8 D_{50} ($D_{50} = (W_{50}/8)^{1/3}$) ,εξαρτώμενο και από το σχήμα των ογκολίθων της λιθορριπής. Προφανώς το πάχος της στρώσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος της μεγαλύτερης πέτρας της διαβάθμισης. Αν η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) είναι για να προστατέψει πρανές συναρμογής από άμμο τότε για να μην διαφύγει η άμμος από τα κενά της λιθορριπής πρέπει να χρησιμοποιήσουμε φίλτρα. Ένας τύπος φίλτρου μπορεί να δημιουργηθεί από την κατάλληλη τοποθέτηση χαλκικών σωστής διαβάθμισης. Καμιά φορά αναγκαία είναι η τοποθέτηση φίλτρων 2 στρώσεων για να έχουμε ικανοποίηση των απαιτήσεων. Ένας άλλος

τύπος φίλτρου είναι η χρησιμοποίηση γεωφάσματος το οποίο τοποθετείται πάνω στο έδαφος και κάτω από τις στρώσεις της προστασίας και αποτρέπει τη μετακίνηση κόκκων άμμου προς τα πάνω.

Στα θετικά του γεωφάσματος είναι:

- Η διαβάθμιση της υπόστρωσης δεν είναι το κρίσιμο στοιχείο και δεν χρειάζεται να σχεδιαστεί με εξαιρετική λεπτομέρεια
- Μια δεύτερη υπόστρωση λιθορριπής δεν είναι αναγκαία προκειμένου να παίζει ρόλο φίλτρου

ενώ στα αρνητικά του είναι:

- Η δυσκολία να εγκατασταθεί επειδή επιπλέει
- Σε απότομα πρηνή συναρμογής μπορεί να συμβάλλει στην ολίσθηση
- Μπορεί να πάθει ζημιά εάν η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) τοποθετηθεί απευθείας επάνω του χωρίς την ύπαρξη υπόστρωσης χαλικιού για προστασία

Ακόμα, εάν η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) δεν προστατεύει πυρήνα από βράχο είναι καλό να σχεδιάζεται με μια χαλικώδη υπόστρωση επειδή η τελευταία θα προστατέψει το γεώφασμα από ζημιά όπως θα τοποθετείται η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) και θα μπορεί να παρέχει μικρής κλίμακας προστασίας στο πρηνές συναρμογής αν η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) πάθει ζημιά

Έχοντας διαλέξει μεγέθη ογκολίθων λιθορριπής, πάχη υποστρώσεων, και αν θα χρησιμοποιήσουμε γεώφασμα μπορούμε τώρα να παρουσιάσουμε λεπτομέρειες που θα έχουμε υπόψη και θα τηρήσουμε κατά τη φάση της κατασκευής:

1. Η τοποθέτηση της λιθορριπής θα πρέπει να γίνει ακριβώς μετά την τοποθέτηση του φίλτρου
2. Θα πρέπει η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) να εγκατασταθεί στο πλήρες της πάχος με την πρώτη προσπάθεια. Δεν πρέπει να το ανατρέψουμε από πλοίο ή να χρησιμοποιήσουμε μεθόδους που μπορούν να προκαλέσουν διαχωρισμό των μεγεθών της λιθορριπής. Θα πρέπει να αποφύγουμε την κακή τοποθέτηση ή το να έχουμε κάποια καταστροφή του υποκείμενου υλικού φίλτρου κατά την τοποθέτηση της λιθορριπής.
3. Αν το γεώφασμα καταστραφεί θα πρέπει να μετακινηθεί η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) και να επιδιορθώσουμε το ύφασμα προσθέτοντας μια άλλη στρώση επικαλύπτοντας το παλιό κατά 12 ίντσες.
4. Θα πρέπει να τοποθετήσουμε μικρότερες πέτρες στα κενά της λιθορριπής έτσι ώστε να φτιάξουμε μια πυκνή ομοιόμορφη καλά διαβαθμισμένη στρώση. Το να φορτώσουμε επιλεκτικά στο λατομείο ή κάποια τοποθέτηση με το χέρι ίσως είναι αναγκαία

προκειμένου να έχουμε μια ομοιόμορφη διανομή των μεγεθών των πετρών της λιθορριπής.

5. Χρειάζεται να ανακατέψουμε ομαλά την επιφάνεια των πετρών με το τριγύρω περιβάλλον χωρίς να επιτρέπουμε την δημιουργία προεξοχών.

Αφού η διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) χρησιμοποιείται εκεί που έχουμε υψηλές πιθανότητες διάβρωσης θα πρέπει η διαδικασία της κατασκευής να γίνει γρήγορα, με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση.

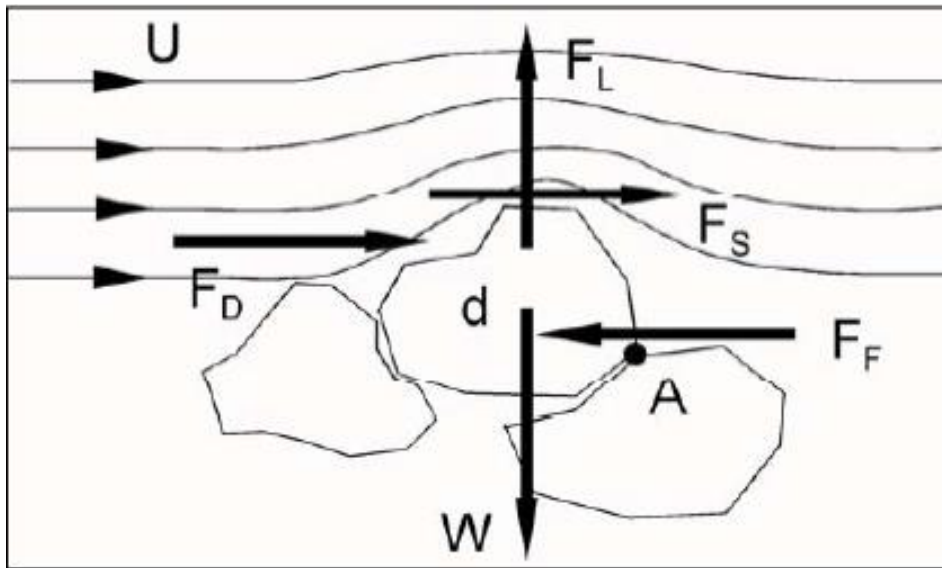
Όσον αφορά την συντήρηση της συγκεκριμένης προστασίας:

1. Η προστασία θα πρέπει να ελέγχεται ετησίως για πέτρες που έχουν σηκωθεί ή κατακυλήσει και για διάβρωση στις άκρες όπως στον πόδα της κατασκευής. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει αμέσως να διορθώσουμε την ζημιά πριν αυτή γίνει μεγαλύτερη.
2. Η σκληρή βλάστηση, δηλαδή βλάστηση όπως ρίζες δέντρων θα πρέπει να απομακρύνονται κάθε χρόνο γιατί τελικά θα μας ξεκολλήσουν την κατασκευή

Όσον αφορά την προστασία με συμβατική λιθορριπή (rock armour) την σχεδιάζουμε υιοθετώντας όρια βάρους από 0.75 με 1.25 φορές το βάρος που έχουμε υπολογίσει στο σχεδιασμό. Ένα πάχος που να αντιστοιχεί σε 2 στρώσεις βράχου είναι η συνηθισμένη πρακτική. Το μικρότερο μέγεθος βράχου για την κύρια στρώση προστασίας είναι 0.5t με 1t, μέγεθος το οποίο μπορεί να ικανοποιεί και κριτήρια για φίλτρο και μπορεί να τοποθετηθεί σε πρανές συναρμογής από πέτρες χωρίς να τοποθετούμε αναγκαία μια υπόστρωση.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε και όλους αυτούς τους κανονισμούς διαβάθμισης και τα βάρη που θα υιοθετούμε σε κάθε περίπτωση πρέπει να δούμε τι είναι αυτό που μας αναγκάζει να είμαστε τόσο προσεκτικοί στο τι βάρη θα διαλέγουμε.

Όταν μια πέτρα είναι εκτεθειμένη σε μια ροή (άσχετα αν η πέτρα είναι προστασία πρανούς ή πυθμένα) τότε διάφορες υδροδυναμικές δυνάμεις αναπτύσσονται πάνω της. Μια περιγραφή αυτών των δυνάμεων δίνεται στο SCHIERECK(2004). Οι δυνάμεις αυτές φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 2.3: ΔΡΑΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ,ΠΗΓΗ: (SCHIERECK 2004)

Οι δυνάμεις αυτές που αναπτύσσονται δίνονται από τις σχέσεις:

$$F_D = 1/2 * C_D * A_D * \rho_w * V * V$$

ΣΧΕΣΗ 2.1

$$F_S = 1/2 * C_S * A_S * \rho_w * V * V$$

ΣΧΕΣΗ 2.2

$$F_L = 1/2 * C_L * A_L * \rho_w * V * V$$

ΣΧΕΣΗ 2.3

όπου:

C_D : σταθερά τραβήγματος

C_S : σταθερά τριβής

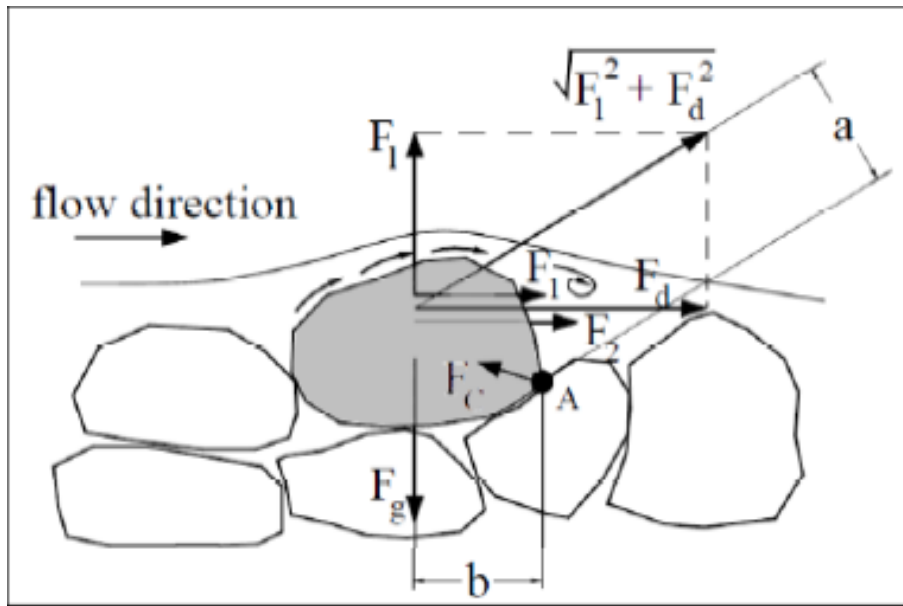
C_L : σταθερά άνωσης

A_D : επιφάνεια εκτεθειμένη στο τράβηγμα, ανάλογη με $D_{50}^{1/2}$

A_L : επιφάνεια εκτεθειμένη στην άνωση, ανάλογη με $D_{50}^{1/2}$

V : ταχύτητα κοντά στην προστασία

Στο HOAN(2008) δίνεται μια άλλη περιγραφή και εικόνα των δυνάμεων που αναπτύσσονται στη λιθορριπή της προστασίας.



ΣΧΗΜΑ 2.4: ΔΡΑΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΟΓΩ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΕ ΟΓΚΟΛΙΘΟΥΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, ΠΗΓΗ: (ΗΟΑΝ 2008)

Αυτό που πρέπει να βγάλουμε σαν συμπέρασμα από αυτά τα σχέδια είναι ότι πρέπει να διαλέξουμε βάρος ογκολίθων λιθορριπής τέτοιο ώστε αυτές να μην παρασυρθούν από τη ροή και να μην αρχίσουν να επιπλέουν λόγω ανωστικών δυνάμεων.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες εξισώσεις τις οποίες χρησιμοποιούμε για να υπολογίζουμε τη διάμετρο των ογκολίθων. Μια εξ αυτών είναι η παρακάτω:

$$D_{50} > \beta_{IZ,cr} * m_h * V_{max} / (2 * g * \Delta)$$

ΣΧΕΣΗ 2.4

όπου:

$\beta_{IZ,cr}$: κρίσιμος συντελεστής σταθερότητας (συνήθως 2.5-3)

m_h : συντελεστής του κεκλιμένου που έχει να κάνει με την σταθερότητα των πετρών στο πρηνές συναρμογής.

2.5 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

Εκεί που βράχος από λατομείο με το κατάλληλο βάρος δεν είναι διαθέσιμος τότε μπορούμε ως προστασία να αξιοποιήσουμε λιθορριπη με κολλώδες τσιμέντο. Δημιουργείται όταν ελαφρότερα βράχια τα αναμειξουμε με τσιμέντο σχηματίζοντας έτσι ένα ρευστοκονίαμα. Είναι μια τεχνική που απαιτεί μεγάλη εξειδίκευση ιδιαίτερα όταν εκτελείται κάτω από το νερό και μπορεί να είναι τεχνική που να μην είναι κατάλληλη για απότομης κλίσης πρανή συναρμογής. (κλίση 1: 1.5).

Όσον αφορά τα στρώματα προστασίας από διάφορα υλικά και τύπους (willow mattresses) , είναι ευέλικτα και κατασκευάζονται από δέσμες ξύλου (γνωστά ως wiers) οι οποίες δένονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα πλέγμα τετραγωνικό 1m*1m. Αυτό το πλέγμα ύστερα τοποθετείται πάνω σε ένα γεώφασμα στο πρανές συναρμογής. Η τοποθέτηση του πλέγματος γίνεται βυθίζοντάς το (είναι ξύλο και επιπλέει) φορτώνοντάς το με χαλκώδες υλικό μεγέθους που ανέρχεται στα 100mm. Έπειτα μια στρώση διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) τοποθετείται σαν στρώμα προστασίας. Αυτό το σύστημα προστασίας δεν είναι κατάλληλο για κλίσεις μεγαλύτερες από 1:2.5 επειδή υπάρχει ο κίνδυνος για το στρώμα να γλιστρήσει προς τα κάτω κατά μήκος του πρανούς συναρμογής. Αυτός είναι και ο λόγος που τα στρώματα προστασίας από διάφορα υλικά και τύπους (willow mattresses) όπως και οι προκατασκευασμένες ασφαλικές στρώσεις που αναφέρονται παρακάτω χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία του πυθμένα και πιο σπάνια για την προστασία των πρανών συναρμογής. Όταν τα στρώματα προστασίας από διάφορα υλικά και τύπους (willow mattresses) κατασκευάζονται σε ξηρές συνθήκες, κοντά ξύλινα παλούκια μπήγονται στο έδαφος προκειμένου να εμποδίσουν την ολίσθηση. Ο σχεδιασμός της διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) γίνεται με βάση όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω. Ένα ακόμα είδος στρώματος προστασίας είναι τα προκατασκευασμένα ασφαλικά στρώματα. Έχουν γενικά 150mm πάχος και αποτελούνται από στρώμα πίσσας κολλημένης πάνω σε γεώφασμα. Σηκώνονται και μεταφέρονται από συστήματα πολλαπλών καλωδίων ή ζωνών που υποστηρίζονται από ένα δυνατό μεταλλικό πλαίσιο. Αυτά τα στρώματα χρησιμοποιούνται σε ρηχά πρανή συναρμογής μόνο και όπως αναφέραμε παραπάνω για την προστασία του πυθμένα. Τελευταίο μέσο προστασίας που δεν αναφέρθηκε και στην αρχή είναι οι αμμόσακοι. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν μπορούν να αντέξουν σε περιοχές που πλήττονται από τα ρεύματα της κύριας προπέλας, γι αυτό και δεν συναντούνται συχνά ως

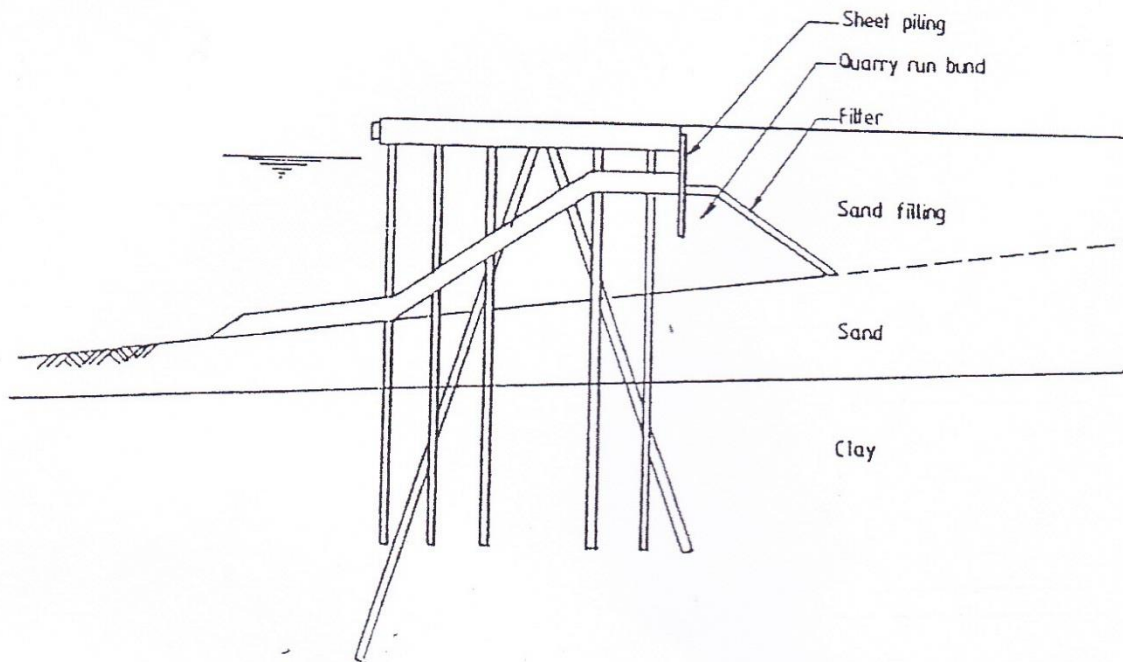
προστασία του πυθμένα. Η αστοχία των αμμόσακων συμβαίνει όταν λόγω των μεγάλων ταχυτήτων ενδέχεται να αναποδογυρίσουν. Ακόμα επειδή είναι δύσκολο να στοιβάξεις (και να τα κάνεις να λειτουργούν σαν ένα σώμα) σφιχτά τους αμμόσακους με τις πέτρες, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος το στριφογύρισμα κάποιων μεμονωμένων πετρών να κόψει τα καλώδια.

Τώρα που έχουμε αναφέρει τους τρόπους προστασίας μπορούμε να δούμε ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες οι οποίες μπορούν να μας εξασφαλίσουν ότι δεν θα έχουμε αστοχίες.

Καταρχήν είναι κρίσιμο να γίνει η σωστή επιλογή του πάχους των στρώσεων. Το ελάχιστο πάχος μιας στρώσης σε ένα σύστημα προστασίας 2 στρώσεων βασίζεται στο ποιές θα είναι οι συνέπειες από μια ενδεχόμενη αστοχία της προστασίας. Όσο πιο σοβαρές θα είναι οι συνέπειες από αστοχία τόσο πιο μεγάλο το πάχος της στρώσης που θα χρειαστούμε. Το πάχος της υπόστρωσης είναι τόσο σημαντικό όσο και το πάχος της κύριας στρώσης επειδή ακριβώς δεν μπορεί να διορθωθεί η να αυξήσουμε το πάχος της έπειτα από την ολοκλήρωσή της. Για υποστρώσεις που θα τοποθετηθούν πάνω σε πρανή συναρμογής από άμμο πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά έτσι ώστε να πληρούν και κριτήρια φίλτρου. Για να εξασφαλίσουμε ότι οι υποστρώσεις μας θα αντέξουν και θα παραμείνουν αέριες έχουμε δημιουργήσει κανόνες που προτείνουν το πάχος της υπόστρωσης να είναι τουλάχιστον στο 1m αν θα τοποθετηθεί κάτω από το νερό και 0.5m αν τοποθετηθεί πάνω από το νερό. Βέβαια, το πραγματικό πάχος της υπόστρωσης είναι μεγαλύτερο επειδή θα καλύψει κενά του πρανούς συναρμογής και θα πρέπει να προσαρμοστεί στο πρανές. Αν το πρανές είναι ανάχωμα από πέτρα τότε η προστασία διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) ή προστασία συμβατικής λιθορριπής (rock armour) μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας πάνω στο πρανές συναρμογής αρκεί να εξασφαλίζονται από το υλικό οι κανονισμοί φίλτρου. Βεβαία, ακόμα και αν οι έλεγχοι φιλτραρίσματος δείξουν ότι είναι αναγκαίο μια υπόστρωση ,η χρήση γεωφάσματος δεν πρέπει να παραληφθεί εξαιτίας της πιθανότητας να ξεσκιστεί από τις μυτερές κόχες των πετρών της κύριας στρώσης και της υπόστρωσης ή από τις κόχες των πετρών του αναχώματος. Όταν έχουμε ένα ανάχωμα από πέτρα υπάρχει η πιθανότητα να έχουμε μεγαλύτερες φυσικές κλίσεις από τις επιθυμητές. Λύση σε αυτό μπορούμε να βρούμε επιλέγοντας κατάλληλα πάχη υποστρώσεων.

Μια ακόμα κατασκευαστική λεπτομέρεια που πρέπει να προσεχτεί είναι η διαμόρφωση της κορυφής του πρανούς συναρμογής. Εξαιτίας του κινδύνου καθίζησης του πρανούς κάτω από το επίπεδο της προβλήτας είναι επιτακτική ανάγκη εάν αυτό συμβεί το υλικό στην κορυφή του πρανούς να παραμείνει στη θέση του. Για να αποφύγουμε την κατάσταση αυτή θα πρέπει

να χρησιμοποιήσουμε ένα κάθετο δοκάρι ή ένα τοίχιο στην κορυφή του πρανούς συναρμογής.



ΣΧΗΜΑ 2.5: ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΔΟΚΑΡΙ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΚΑΘΙΣΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΗΓΗ:(ΡΙΑΝΣ 1997)

Όσο κρίσιμη είναι η διαμόρφωση της κορυφής του πρανούς άλλο τόσο κρίσιμη είναι και η διαμόρφωση του πόδα του πρανούς όπου το σημείο διασταύρωσης της προστασίας του πυθμένα με την προστασία του πρανούς θα πρέπει να γίνεται πίσω από τη γραμμή προσάραξης του καραβιού έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι προεξέχουσες πέτρες από την προστασία του πυθμένα ή του πρανούς δεν θα ενοχλήσουν χτυπώντας τη γάστρα του πλοίου που δεν θα έχει μεγάλη απόσταση από τον πυθμένα. Μια οριζόντια απόσταση 1m θα ήταν καλό να προβλεφτεί.

Ακόμη, θα πρέπει να δούμε και την έκταση της προστασίας του πυθμένα κάθετα στο μέτωπο παραβολής καθώς όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η φλέβα νερού που δημιουργείται λόγω κύριας προπέλας όταν διευρύνεται επηρεάζει και τον πυθμένα. Η έκταση αυτής της προστασίας εξαρτάται από το είδος του πλοίου και προφανώς το μέγεθος της προπέλας. Για παράδειγμα ένα container 50000 dwt έχει πλάτος 32m. . Η ζώνη επίδρασης της μέγιστης ταχύτητας πυθμένα εκτείνεται σε μία έκταση πάνω από 32m. Αν προστατεύαμε όλη αυτήν την περιοχή το κόστος θα ήταν τεράστιο και ίσως είναι πιο οικονομικό να φτιαχτεί μια

προστασία που θα επιδιορθώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα παρά μια προστασία που την σχεδιάζουμε για να αντέξει μια ζωή και θα κοστίζει πολλά. Είναι λοιπόν εμφανές ότι είναι στην κρίση του κατασκευαστή η έκταση αυτής της προστασίας. Υπάρχει κανόνας που μας δίνει μπούσουλα για το εύρος αυτής της προστασίας. Ο κανόνας αυτός περιγράφεται από την εξίσωση:

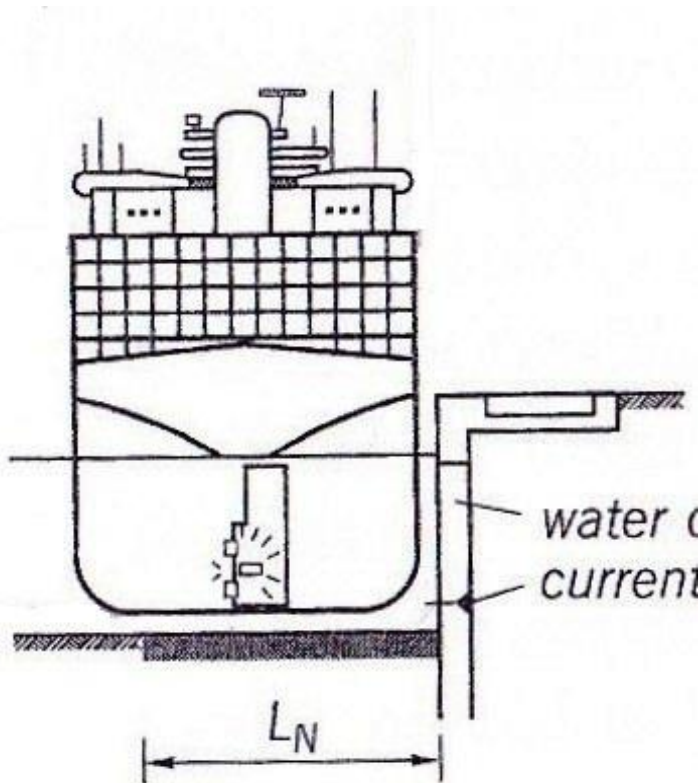
$$L_N = (3 \dots 4D) + \Delta RS$$

ΣΧΕΣΗ 2.5

D: διάμετρος προπέλας

Σε κάθε περίπτωση η έκταση της προστασίας θα πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 5m από τον άξονα του πλοίου όπως αυτό αράζει.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται παραστατικά η έκταση αυτής της προστασίας.



ΣΧΗΜΑ 2.6: ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ

ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8th edition)

Ακόμη όσον αφορά την προστασία του πυθμένα πρέπει να σχεδιαστεί και η έκταση της προστασίας κατά μήκος του μετώπου παραβολής. Η έκταση αυτή μας δίνεται από την εξίσωση:

$$L=L_{LH1}+L_{LH2}+L_Z+2L_{LB}$$

ΣΧΕΣΗ 2.6

Όπου:

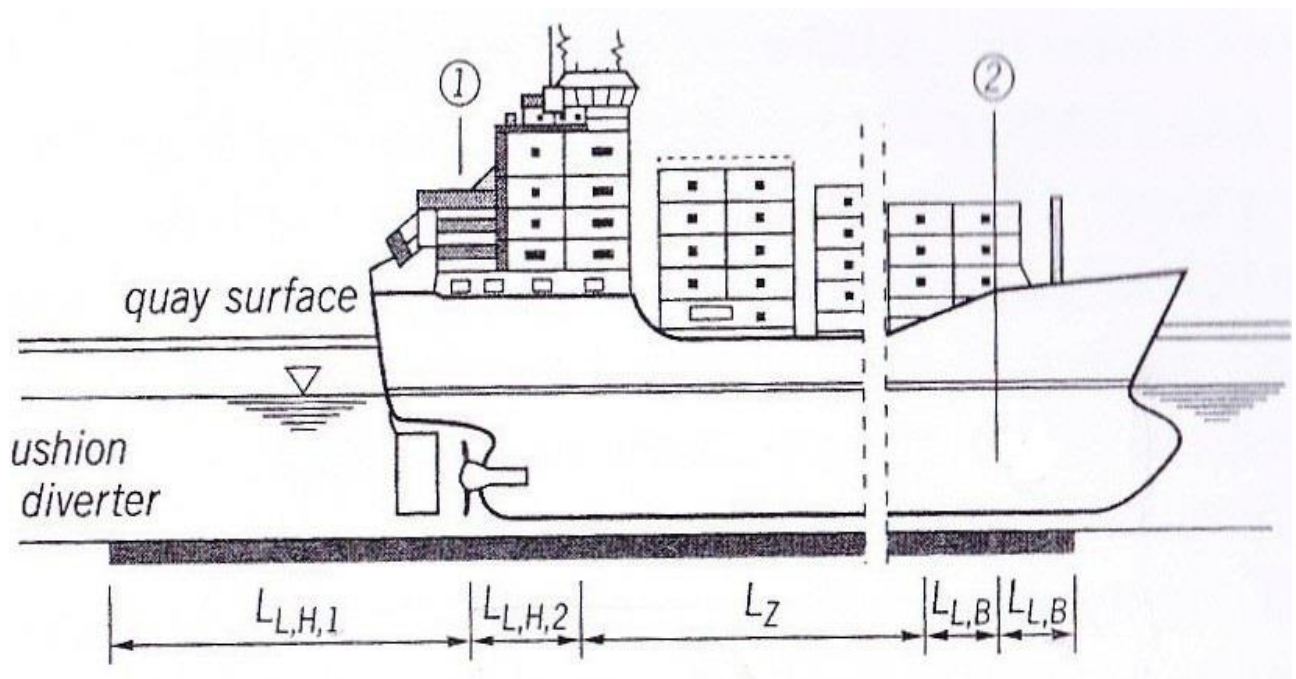
$$L_{LH1}=(6.....8D)+\Delta RS$$

$$L_{LH2}=3D+\Delta RS$$

$$L_{LB}=(3.....4D_B)+\Delta RS$$

ΔRS =ανοχή για προστασία στις άκρες περίπου 3.....5m. 3

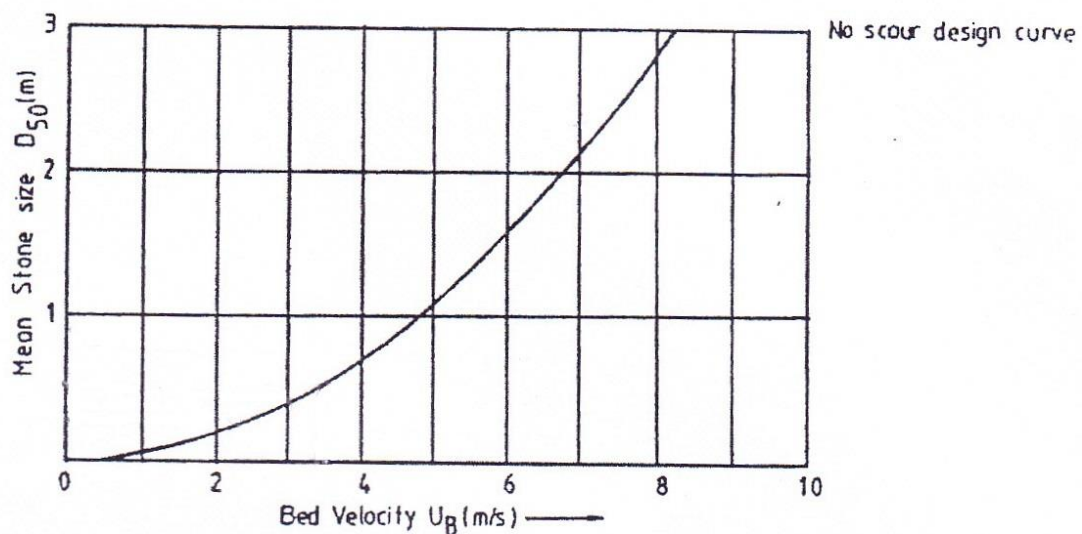
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται παραστατικά η έκταση αυτής της προστασίας



ΣΧΗΜΑ 2.7: ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΚΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΕΙ Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ
ΠΗΓΗ:(EAU 2004, 8th edition)

2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Αφού παρουσιάστηκαν οι τρόποι προστασίας και οι κανονισμοί που αυτοί πρέπει να πληρούν καλό θα ήταν να παρουσιαστεί με λίγα λόγια, καθώς σε επόμενα κεφάλαια θα πούμε περισσότερα, και η διαδικασία υπολογισμού της προστασίας τόσο για τις κύριες στρώσεις όσο και για τις υποστρώσεις. Όσον αφορά την διαδικασία για τον πυθμένα, αφού έχουμε υπολογίσει με τρόπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο τη μέγιστη ταχύτητα πυθμένα V_{maxb} μπορούμε αξιοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα 2.1 που σχετίζει τη V_{maxb} με την διάμετρο των πετρών της προστασίας να βρούμε την διάμετρο που έχουμε ανάγκη. Έπειτα αξιοποιώντας τον παρακάτω πίνακα 2.1 που μας δίνει βάρη πετρών για διάφορες διαμέτρους να βρούμε το βάρος των ογκολίθων προστασίας που έχουμε ανάγκη.



Note :

- (i) Data given for stones of specific weight $W_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ and sea-water, $W = 1026 \text{ kg/m}^3$, $D_{50} = U^2/C$.
- (ii) For stones of different specific weight multiply D by $(W_s - W)/1.58 W$.
- (iii) For sloping banks increase D_{50} by 50%.

Source : Ref. 18, which is based on Hydraulic Design Criteria Sheet 712-1 published by US Army Corps of Engineers (revised 9-70)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.1: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (D₅₀) ΤΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΥΘΜΕΝΑ
ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Table 5.1 - Rock Sizes (density 2.6 t/m³ or 25.9 kN/m³)

Weight	Equivalent sphere dia (mm)	Equivalent cube side (mm)	Size by sieve, grizzly or visual inspection ⁽¹⁾ (mm)
1 kg	90	70	80
5 kg	150	120	140
10 kg	190	160	180
50 kg	330	270	300
100 kg	420	340	370
200 kg	530	430	480
300 kg	600	490	570
400 kg	660	540	620
500 kg	720	580	660
600 kg	760	610	710
700 kg	800	650	740
800 kg	840	680	770
900 kg	870	700	810
1 t	900	730	850
2 t	1,140	920	1,050
3 t	1,300	1,050	1,200
4 t	1,430	1,150	1,330
5 t	1,540	1,240	1,420
6 t	1,640	1,320	1,500
7 t	1,730	1,390	1,600
8 t	1,800	1,450	1,660

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΥΣ (ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ)
ΠΗΓΗ:(PIANC 1997)

Ύστερα με χρήση του φακέλου διαβάθμισης επιλέγουμε την διαβάθμιση της προστασίας μας. Έπειτα διαλέγουμε με βάση τους κανόνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω το πάχος της στρώσης προστασίας. Στη συνέχεια για να διαμορφωθεί η υπόστρωση αξιοποιούμε κανόνα που λέει ότι το βάρος των ογκολίθων της υποστρώσης θα είναι το 1/10 με 1/15 του βάρους

των ογκολίθων της κύριας στρώσης. Τέλος επιλέγουμε πάχος για την υπόστρωση παίρνοντας υπόψη ότι βρισκόμαστε κάτω από το νερό και άρα ελάχιστο πάχος θα είναι το 1m.

Για την προστασία του πρανούς συναρμογής, τόσο για την κύρια στρώση όσο και για την υπόστρωση εκτελούμαι ακριβώς τις ίδιες διαδικασίες. Αυτό που πρέπει να προσεχτεί στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι πια ταχύτητα είναι αυτή που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και θα είναι η ταχύτητα σχεδιασμού. Αν το πλοίο αράζει παράλληλα στο μέτωπό μας η κρίσιμη ταχύτητα είναι η μέγιστη ταχύτητα πυθμένα λόγω bow thruster V_{maxb} . Εξαιρέση θα ήταν η περίπτωση που το πηδάλιο είναι στραμμένο κατά το πρανές οπότε θα διαστασιολογούσαμε με βάση την μέγιστη ταχύτητα πυθμένα λόγω κύριας προπέλας V_{maxb} . Αν το πλοίο πρυμνοδετούσε τότε θα διαστασιολογούσαμε με βάση τη V_{maxb} .

Αφού αναφέρθηκαν οι τρόποι προστασίας για το μέτωπο παραβολής που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους πρέπει τώρα να αναφερθούμε στην προστασία για ένα κατακόρυφο μέτωπο παραβολής.

2.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ

Αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο πως λόγω ανάκλασης ένα μέρος της φλέβας που δημιουργείται από τη λειτουργία του bow thruster οδηγείται στον πόδα του τοίχου. Αυτό το ρεύμα μπορεί να οδηγήσει στην υποσκαφή της κατασκευής. Για να αποφύγουμε την κατάσταση αυτή αξιοποιούμε τους ανακλαστήρες που αναφέρθηκαν και στο προηγούμενο. Η λειτουργία τους συνίσταται στο να εκτρέπουν τη φλέβα που κατευθύνεται στον πυθμένα προς τα ανοιχτά.

Αφού έχουμε προστατέψει τον πόδα της κατασκευής πρέπει να δούμε την προστασία που θα εκτείνεται προς τα ανοιχτά. Αφού υπολογίσουμε την V_{maxb} μπορούμε με χρήση της σχέσης:

$$g_D = (n_z \cdot 0.04 \cdot a \cdot v^2) / \cos\beta$$

ΣΧΕΣΗ 2.7

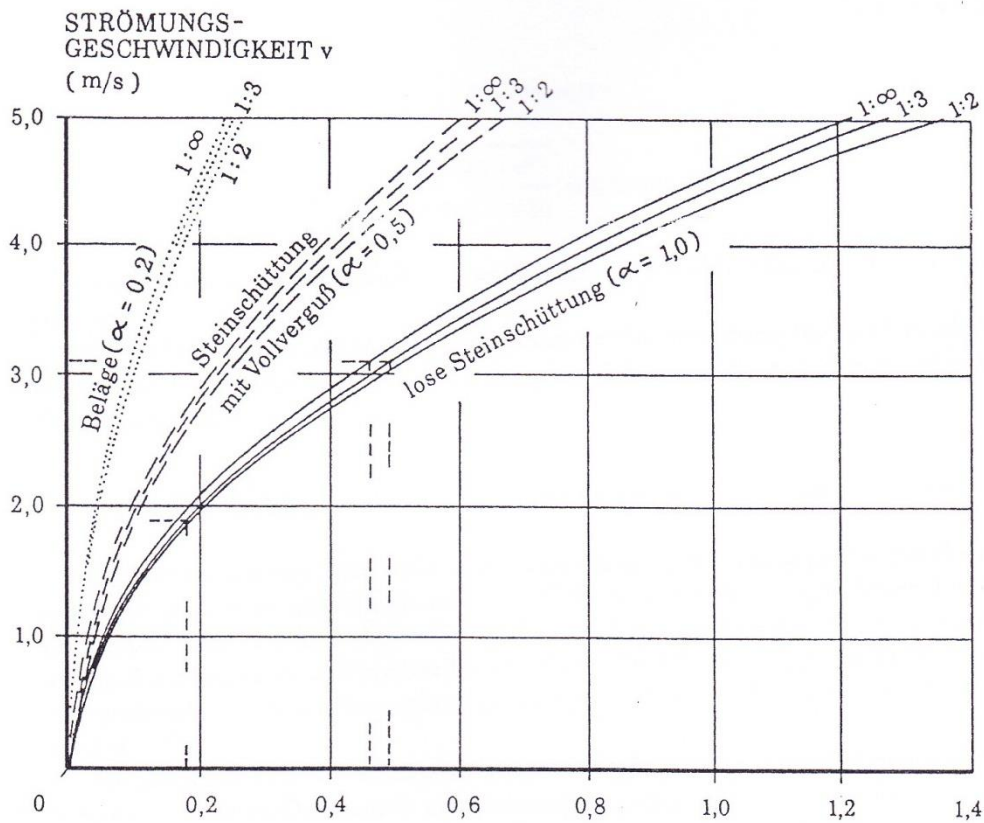
$$n_z = 1.2$$

$a = 1$ πέτρες η μια δίπλα στην άλλη

$a = 0.5$ πέτρες με πίσσα που έχουν γίνει ένα σώμα

$$a = 0.2$$

να υπολογίσουμε το βάρος των πετρών της προστασίας. Εναλλακτικά με χρήση του παρακάτω διαγράμματος 2.2 μπορούμε αν έχουμε την μέγιστη ταχύτητα πυθμένα και την κλίση της προστασίας και με τον κατάλληλο συντελεστή α να βρούμε το βάρος των πετρών της λιθορριπής προστασίας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.2: ΒΑΡΟΣ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΥΘΜΕΝΑ, ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Επιπλέον, από τη σχέση:

$$D_{r,0} = ((0.062 \cdot v^6) / (0.245 \cdot 2650))^{1/3}$$

ΣΧΕΣΗ 2.8

μπορούμε να υπολογίσουμε τη διάμετρο των πετρών της λιθορριπής μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται τόσο η διαδικασία σχεδίασης των διαστάσεων προστασίας όσο και η εφαρμογή της στα πλαίσια δύο χαρακτηριστικών διατομών. Πρέπει λοιπόν να γίνει ο σχεδιασμός της προστασίας μετώπου παραβολής. Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται τόσο για ένα μέτωπο που διαμορφώνεται με δάπεδο κυκλοφορίας που εδράζεται σε πασσάλους θεμελιωμένους σε πρανές συναρμογής, όσο και για ένα κατακόρυφο μέτωπο διαμορφωμένο με caisson. Το ζητούμενο λοιπόν στην 1^η περίπτωση είναι να βρούμε την κατάλληλη προστασία για τον πυθμένα και το πρανές συναρμογής, και στη 2^η περίπτωση να βρούμε προστασία για τον πυθμένα. Το ποιοί είναι οι λόγοι που χρειαζόμαστε προστασία σε κάθε περίπτωση αναλύεται στο 1^ο κεφάλαιο. Αναφέροντας τα δεδομένα του προβλήματος της 1^{ης} περίπτωσης, το πλοίο σχεδιασμού είναι ένα κιβωτιαγωγό (container ship) 60000 dwt και βάθος στη θέση παραβολής 15.5 m. Στη 2^η περίπτωση έχουμε να κάνουμε πάλι με πλοίο σχεδιασμού ένα κιβωτιαγωγό (container ship) 60000 dwt και με βάθος στη θέση παραβολής επίσης 15.5 m.

Όσον αφορά στην 1^η περίπτωση μπορεί να χωριστεί σε 3 κατηγορίες.

- το πλοίο μας απλά να παραβάλει παράλληλα με το μέτωπο παραβολής και το πηδάλιο να μην σχηματίζει γωνία με τον άξονα του καραβιού.
- το πλοίο μας να πρυμνοδετεί
- το πλοίο μας να παραβάλλει παράλληλα αλλά το πηδάλιό του να σχηματίζει γωνία με τον άξονα τέτοια που η φλέβα νερού από την προπέλα να χτυπάει στα πρανή.

Για την πρώτη κατηγορία αυτό που χρειάζεται να δούμε και να πάρουμε τα απαραίτητα μέτρα προστασίας είναι η διάβρωση του πυθμένα από τη λειτουργία της κύριας προπέλας και η διάβρωση του πρανούς από τη λειτουργία της εγκάρσιας προπέλας.

Τα χαρακτηριστικά του πλοίου σχεδιασμού είναι: $P_d=40000$ kw, $D_p=7.5$ m, $D_b=2.6$ m βύθισμα κιβωτιαγωγού =14m. Το πως προκύπτουν αυτά τα χαρακτηριστικά παρουσιάζεται παρακάτω.

Για ένα πλοίο 60000dwt μπορούμε από το διάγραμμα 1.2 να βρούμε τη διάμετρο της κύριας προπέλας που στην περίπτωση μας υπολογίζεται $D_p=7.5$ m και την εγκατεστημένη ισχύς της μηχανής μας που στην περίπτωση μας είναι $P_d=40000$ kw. Όταν ένα πλοίο αποπλέει δεν χρησιμοποιεί την πλήρη ισχύς της μηχανής του αλλά ένα ποσοστό της τάξης του 10%. Αυτή είναι και η ισχύς που θα χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς και είναι για το πρόβλημά μας 4000 kw. Στη συνέχεια αξιοποιώντας τη σχέση 1.4 υπολογίζουμε την ταχύτητα με την οποία η φλέβα νερού βγαίνει από την προπέλα. Για c θα δεχτούμε ότι έχουμε μη εγκιβωτισμένη προπέλα οπότε $c=1.48$. Κάνοντας την πράξη βρίσκουμε την ταχύτητα που είναι $U_0 = 6.13$ m/sec. Επειδή έχουμε μη εγκιβωτισμένη προπέλα το D_0 από τη σχέση 1.3 έχουμε ότι $D_0 = 5.33$ m. Από τον πίνακα 1.1 μπορούμε να δούμε ότι το βύθισμα του πλοίου είναι 14 m. Άρα έχουμε απόσταση της καρίνας του караβιού μέχρι την προστασία που ισούται με 1.5 m. Από τη σχέση 1.1 υπολογίζω την απόσταση της προστασίας από τον άξονα της προπέλας που είναι $H_p=5.75$ m. Υπολογίζοντας το πηλίκο H_p/D_0 και με τη χρήση του διαγράμματος 1.1 μπορούμε να υπολογίσουμε το πηλίκο U_{maxb}/U_0 . Το $H_p/D_0=1.078$ οπότε από το διάγραμμα το $U_{maxb}/U_0=0.6$. Άρα $U_{maxb}=0.6*6.13=3.7$ m/sec. Η τελευταία είναι και η ταχύτητα σχεδιασμού μας για την προστασία του πυθμένα. Τώρα σειρά έχει η ανάλυση της εγκάρσιας προπέλας. Για κιβωτιαγωγό 60000 dwt από διάγραμμα 1.4 προκύπτει ότι η διάμετρος της εγκάρσιας προπέλας είναι $D_b=2.6$ m. Επειδή έχουμε εγκιβωτισμένη προπέλα μιας και η εγκάρσια προπέλα βρίσκεται σε ένα σωλήνα στο εσωτερικό του караβιού $D_0=D_b$. Πρέπει τώρα να υπολογίσουμε την απόσταση του άξονα της εγκάρσιας προπέλας από την προστασία. Από τη σχέση 1.25 βρίσκω το $H_p'=5.4$ m. Από το διάγραμμα 1.3 μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα της φλέβας νερού μόλις βγαίνει από την εγκάρσια προπέλα. Στην περίπτωση μας είναι $U_{0,b}= 6.5$ m/sec. Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να έχουμε χρησιμοποιήσει τη σχέση 1.15 για να υπολογίσουμε τη $U_{0,b}$. Υπολογίζοντας το πηλίκο H_p'/D_0 και με χρήση του διαγράμματος 1.1 μπορούμε να υπολογίσουμε το πηλίκο $U_{maxb}'/U_{0,b}$. Το $H_p'/D_0=2.27$ οπότε από το διάγραμμα 1.1 το $U_{maxb}'/U_{0,b}= 0.34$. Άρα $U_{maxb}'= 0.34* U_{0,b}= 2.21$ m/sec. Αυτή είναι και η ταχύτητα σχεδιασμού για την προστασία του πρηνούς συναρμογής.

Πρώτα θα υπολογίσουμε την κύρια στρώση της προστασίας του πυθμένα:

Αφού $V_{\max} = 3.7 \text{ m/sec}$ το μέγεθος του ογκόλιθου ώστε να μην έχουμε διάβρωση είναι $D_{50} = 0.6 \text{ m}$ το οποίο προκύπτει από το διάγραμμα 2.1. Από τον πίνακα 2.1 βρίσκουμε για ισοδύναμη σφαίρα $W_{50} = 300 \text{ kg}$. Η κατάλληλη διαβάθμιση για σταθερότητα είναι $0.5 W_{50}$ με $2 W_{50}$ που είναι 150 kg με 600 kg . Θα χρειαστούμε πάχος 2 στρώσεων βράχου

$$= 1.5 D_{50} \text{ με } 1.8 D_{50}.$$

$$= 0.9 \text{ m με } 1.1 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 2.1 βλέπουμε ότι θα χρειαστούμε σφαίρα 760 mm . Άρα το πάχος της στρώσης που θα χρησιμοποιήσω επειδή βρισκόμαστε και κάτω από το νερό είναι 1 m .

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.1)

Έπειτα θα υπολογίσουμε την υπόστρωση της προστασίας του πυθμένα:

Θα σχεδιάσουμε υπόστρωση και εξαιτίας του ότι θα χρησιμοποιηθεί γεώφασμα που τοποθετείται κάτω από τις στρώσεις προστασίας ,πάνω στο έδαφος, για να συγκρατεί το αμμώδες υλικό του πυθμένα. (δεν θέλουμε το γεώφασμα να σκιστεί από μυτερές γωνίες των βράχων της κύριας στρώσης) Θα χρησιμοποιήσουμε σπασμένους ογκολίθους με βάρος μεταξύ $1/10$ και $1/15$ του βάρους των ογκολίθων της κύριας στρώσης δηλαδή $15 \text{ kg}-60 \text{ kg}$, $10 \text{ kg}-40 \text{ kg}$. Διαλέγω $10 \text{ kg}-50 \text{ kg}$ Παρατηρούμε στον πίνακα 2.1 ότι για βάρος 50 kg προκύπτει σφαίρα 330 mm . Διαλέγω το πάχος της υπόστρωσης προστασίας πυθμένα να είναι 1 m επειδή ακριβώς βρισκόμαστε και κάτω από το νερό.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.1)

Τώρα μπορούμε να δούμε την προστασία του πρανούς: Επειδή το πηδάλιο δεν είναι γυρισμένο προς το πρανές και άρα η φλέβα νερού λόγω κύριας προπέλας δεν μας επηρεάζει τόσο η ταχύτητα σχεδιασμού θα είναι η U_{\max} '.

Υπολογισμός κύριας στρώσης προστασίας κεκλιμένου πρανούς συναρμογής:

$U_{\max}' = 2.21 \text{ m/sec}$. Από διάγραμμα 2.1 προκύπτει $D_{50} = 0.3 \text{ m}$. Όμως για κεκλιμένο πρανές συναρμογής διαλέγουμε $1.5 * D_{50} = 0.45 \text{ m}$. Από πίνακα 2.1 $W_{50} = 150 \text{ kg}$.

$150 \text{ kg} < 500 \text{ kg}$ οπότε χρησιμοποιούμε rip rap. Η κατάλληλη διαβάθμιση για σταθερότητα είναι $0.5 W_{50}$ με $2 W_{50}$ που είναι $75 \text{ kg}-300 \text{ kg}$. Θα χρειαστούμε πάχος 2 στρώσεων ογκολίθων

$$= 1.5 D_{50} \text{ με } 1.8 D_{50}.$$

=0.675 m με 0.810 m οπότε διαλέγω και πάχος 0.8 m.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.1)

Υπολογισμός υπόστρωσης προστασίας κεκλιμένου πρανούς συναρμογής:

Θα χρησιμοποιήσουμε σπασμένους ογκόλιθους με βάρος μεταξύ 1/10 και 1/15 του βάρους των ογκόλιθων της κύριας στρώσης δηλαδή 7,5kg-30kg , 5kg-20kg. Διαλέγω 10kg-50kg. Διαλέγω το πάχος της υπόστρωσης προστασίας κεκλιμένου πρανούς συναρμογής να είναι 1m επειδή ακριβώς βρισκόμαστε και κάτω από το νερό. Και στο πρανές θα τοποθετηθεί γεώφασμα κάτω από τις στρώσεις της προστασίας προκειμένου να συγκρατεί αμμώδες υλικό του πρανούς συναρμογής. **(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.1)**

Τώρα πρέπει να αναφέρουμε τι συμβαίνει στην 2_η και 3_η κατηγορία. Ενώ την προστασία του πυθμένα θα την σχεδιάζαμε με τον ίδιο τρόπο που κάναμε στην 1_η κατηγορία, για την προστασία του κεκλιμένου πρανούς συναρμογής υπάρχει μια διαφορά και θα σχεδιαστεί αλλιώς. Η διαφορά είναι ότι στις δύο αυτές περιπτώσεις μεγαλύτερη επίδραση στα πρανή έχει η φλέβα που δημιουργείται από την κύρια προπέλα (στη μια περίπτωση χτυπάει απευθείας πάνω στο πρανές ενώ στην επόμενη το πηδάλιο εκτρέπει τη ροή προς το πρανές) και άρα η ταχύτητα σχεδιασμού για την προστασία του πρανούς θα είναι η V_{maxb} και όχι η V_{maxb}' . Επειδή η $V_{maxb} > V_{maxb}'$ μπορούμε να φανταστούμε ότι τα πρανή μας καταπονούνται περισσότερο και προφανώς θα χρειαστούν πιο βαριά προστασία και ίσως χρησιμοποιηθεί συμβατική λιθορριπή (rock armour) και όχι διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap). Κρατάμε από την ανάλυση που κάναμε παραπάνω την $V_{maxb}=3.7$ m/sec. Οπότε τώρα μπορεί να γίνει η σχεδίαση της προστασίας του πυθμένα. Πρώτα θα υπολογίσουμε την κύρια στρώση της προστασίας του πυθμένα:

Αφού $V_{maxb}= 3.7$ m/sec το μέγεθος ογκολίθων ώστε να μην έχουμε διάβρωση είναι $D_{50}= 0.6$ m το οποίο προκύπτει από το σχεδιάγραμμα 2.1. Από τον πίνακα 2.1 βρίσκουμε για ισοδύναμη σφαίρα $W_{50}= 300$ kg. Η κατάλληλη διαβάθμιση για σταθερότητα είναι $0.5 W_{50}$ με $2 W_{50}$ που είναι 150 kg με 600 kg. Θα χρειαστούμε πάχος 2 στρώσεων ογκολίθων

=1.5 D_{50} με 1.8 D_{50} .

=0.9 m με 1.1 m

Από τον πίνακα 2.1 βλέπουμε ότι θα χρειαστούμε σφαίρα 760 mm. Άρα το πάχος της στρώσης που θα χρησιμοποιήσω επειδή βρισκόμαστε και κάτω από το νερό είναι 1m.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.2)

Έπειτα θα υπολογίσουμε την υπόστρωση της προστασίας του πυθμένα:

Θα σχεδιάσουμε υπόστρωση και εξαιτίας του ότι θα χρησιμοποιηθεί γεωύφασμα κάτω από τις στρώσεις της προστασίας για να συγκρατεί το αμμώδες υλικό του πυθμένα. (δεν θέλουμε το γεωύφασμα να σκιστεί από μυτερές γωνίες των ογκόλιθων της κύριας στρώσης). Θα χρησιμοποιήσουμε σπασμένους ογκόλιθους με βάρος μεταξύ 1/10 και 1/15 του βάρους των ογκόλιθων της κύριας στρώσης δηλαδή 15kg-60kg, 10kg-40kg. Διαλέγω 10kg-50kg Παρατηρούμε στον πίνακα 2.1 ότι για βάρος 50kg προκύπτει σφαίρα 330 mm. Διαλέγω το πάχος της υπόστρωσης προστασίας πυθμένα να είναι 1m επειδή ακριβώς βρισκόμαστε και κάτω από το νερό.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.2).

Τώρα μπορούμε να δούμε την προστασία του πρανούς συναρμογής. Για τους λόγους που εξηγήσαμε παραπάνω η ταχύτητα σχεδιασμού θα είναι η V_{maxb} .

Υπολογισμός κύριας στρώσης προστασίας κεκλιμένου πρανούς συναρμογής:

$V_{maxb} = 3.7$ m/sec οπότε από διάγραμμα 2.1 προκύπτει ότι $D_{50} = 0.6$ m. Για κεκλιμένα πρανή συναρμογής όμως παίρνουμε $1.5 * D_{50} = 0.9$ m. Από τον πίνακα 2.1 προκύπτει ότι $W_{50} = 1$ t.

1 t > 500 kg οπότε θα χρησιμοποιηθεί συμβατική λιθορριπή (rock armour) και όχι διαβαθμισμένη λιθορριπή (rip rap) μιας και το ανώτερο όριο της διαβαθμισμένης λιθορριπής (rip rap) είναι τα 500 kg. Θα υιοθετήσουμε τα συνήθη όρια βάρους που είναι 0.75 t - 1 t σε 2 στρώσεις.

Πάχος = 2 * πάχος κύβου 1 t

= 2 * 0.73 = 1.46 m. Θα διαλέξουμε πάχος στρώσης 1.5 m. **(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.2)**

Υπολογισμός υπόστρωσης προστασίας κεκλιμένου πρανούς συναρμογής:

Υιοθετούμε βάρος ογκολίθων 1/10 με 1/15 του βάρους των ογκολίθων της κύριας στρώσης δηλαδή 50 kg-100 kg. Το πάχος της στρώσης θα είναι 1m γιατί βρισκόμαστε κάτω από το νερό. Αν η προστασία μας τοποθετούνταν πάνω από το νερό δεν έχουμε τόσο μεγάλη καταπόνηση και θα μπορούσαμε να έχουμε πάχος προστασίας 0.5 m. Προφανώς εδώ θα μπει

και ένα γεωφάσμα κάτω από τις στρώσεις της προστασίας και πάνω στο χώμα προκειμένου να μην έχω διαφυγή της άμμου από το πρανές.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.2)

Για την περίπτωση που έχω μέτωπο παραβολής διαμορφωμένο με caissons χρειάζομαι μόνο προστασία στον πυθμένα λόγω της δράσης των φλεβών νερού που δημιουργούνται από την κύρια προπέλα και επιλέγω πάχος κύριας στρώσης 1m και πάχος υπόστρωσης 1m επίσης. Οι υπολογισμοί δεν επαναλαμβάνονται καθώς έχουν ήδη γίνει στην αρχή του κεφαλαίου. Και εδώ θα τοποθετηθεί γεωφάσμα κάτω από τις στρώσεις της προστασίας προκειμένου να μην διαφεύγει αμμώδες υλικό.

(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.6)

Στο σημείο αυτό αξίζει να δούμε μια σύγκριση της προστασίας που προκύπτει για βάθος στη θέση παραβολής 15.5m, αυτή που είδαμε δηλαδή, και για βάθος 17m. Αναμένουμε ότι όσο μεγαλύτερο το βάθος τόσο μικρότερη ταχύτητα V_{maxb} και V_{maxb}' θα καταπονούν τον πυθμένα και το πρανές συναρμογής αντίστοιχα και άρα και μικρότερη προστασία θα χρειαστούμε προκειμένου να μην έχουμε προβλήματα. Για βάθος 17m το $H_p=3.5+0.5*7.5=7.25m$. Οπότε το πηλίκο $H_p/D_o=7.25/5.33=1.36$. Με χρήση του διαγράμματος 1.1 μπορώ να υπολογίσω το πηλίκο $V_{maxb}/U_0=0.48$ οπότε $V_{maxb}=0.48*6.13=2.94$ m/sec. Επιβεβαιώνεται και στην πράξη λοιπόν αυτό που υποθέταμε και στην αρχή ότι θα έχουμε μικρότερη ταχύτητα σχεδιασμού. Σειρά έχει τώρα ο υπολογισμός της V_{maxb}' . Αξιοποιώντας τη σχέση 1.25

το $H_p'=3+1.5*2.6=6.9m$. Τώρα το πηλίκο $H_p'/D_o=6.9/2.6=2.60$ και από το διάγραμμα 1.1 το πηλίκο $V_{maxb}'/V_{0,b}=0.29$ οπότε η $V_{maxb}'=0.29*6.5=1.9m/sec$. Επιβεβαιώνεται και στην περίπτωση αυτή η αρχική μας υπόθεση. Αφού βρήκαμε τις ταχύτητες σχεδιασμού μπορούμε να βρούμε και τις προστασίες του πυθμένα και του πρανούς συναρμογής.

Υπολογισμός προστασία πυθμένα:

Υπολογισμός κύριας στρώσης προστασίας πυθμένα:

Αφού $V_{maxb}=2.94$ m/sec από το διάγραμμα 2.1 βρίσκουμε $D_{50}=0.3$. Από πίνακα 2.1 βρίσκουμε $W_{50}=50$ kg. Η κατάλληλη διαβάθμιση είναι 0.5 W_{50} με 4 W_{50} δηλαδή 25kg-200kg. Θα διαλέξω πάχος 0.6m.

Υπολογισμός υπόστρωσης προστασίας πυθμένα:

Όσον αφορά την υπόστρωση διαλέγω ογκόλιθους βάρους 1/10 με 1/15 του βάρους των ογκόλιθων δηλαδή 5 kg-20 kg. Πάχος υπόστρωσης θα διαλέξω το 1m γιατί είμαστε κάτω από το νερό. Και εδώ θα τοποθετήσουμε γεωφύλασμα κάτω από τις στρώσεις της προστασίας και πάνω στο έδαφος.

Υπολογισμός προστασία κεκλιμένου πρανούς συναρμογής:

Υπολογισμός κύριας στρώσης προστασίας πρανούς συναρμογής:

Αφού $V_{max} = 1.9$ m/sec από το διάγραμμα 2.1 βρίσκω $D_{50} = 0.20$ m. Επειδή μιλάμε για κεκλιμένα πρανή συναρμογής θα έχουμε $D_{50} = 1.5 * 0.2 = 0.3$. Από πίνακα 2.1 προκύπτει $W_{50} = 50$ kg. Η κατάλληλη διαβάθμιση είναι 25kg-200kg και επιλέγω πάχος στρώσης 0.6m.

Υπολογισμός υπόστρωσης προστασίας πρανούς συναρμογής:

Όσον αφορά την υπόστρωση διαλέγω ογκόλιθους βάρους 1/10 με 1/15 του βάρους των ογκολίθων δηλαδή 5 kg-20 kg. Πάχος υπόστρωσης θα διαλέξω το 1m γιατί είμαστε κάτω από το νερό. Και εδώ δεν πρέπει να ξεχάσουμε το γεωφύλασμα.

Τα αποτελέσματα αυτά που προκύπτουν για βάθος 17 m σε σχέση με τα αποτελέσματα για βάθος 15m επιβεβαιώνουν την αρχική μας υπόθεση ότι όσο μεγαλύτερη απόσταση έχει η καρίνα του караβιού από τον πυθμένα τόσο μικρότερες είναι οι ταχύτητες σχεδιασμού και άρα μικρότερη προστασία χρειαζόμαστε.

Τώρα που είδαμε το είδος και τη διαμόρφωση της προστασίας πρέπει να δούμε την έκταση αυτής στον πυθμένα. Ουσιαστικά διαμορφώνουμε στον πυθμένα μια κουρτίνα προστασίας και πρέπει να δούμε το μήκος και το πλάτος της. Σε κάθε περίπτωση από τις παραπάνω η έκταση αυτής της προστασίας θα είναι η ίδια. Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι λόγοι που επιβάλλουν την ύπαρξη αυτής της προστασίας και υπάρχουν και τα σχήματα που αναπαριστούν αυτήν την προστασία. Αξιοποιώντας τη σχέση 2.5 μπορούμε να βρούμε το πλάτος της προστασίας (το μήκος που εκτείνεται κάθετα στο μέτωπο παραβολής). Με διάμετρο προπέλας 7.5m το μήκος που ψάχνουμε είναι $L_N = 3 * 7.5 + 5 = 27.5$ m. Από τον πίνακα 1.1 μπορούμε να δούμε ότι το πλάτος του караβιού μας είναι 36.5m. Υπάρχει κανόνας που λέει ότι αυτή η προστασία θα πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον 5 m από τον άξονα του πλοίου όταν αυτό αράζει. Ο άξονάς μας είναι στα 18m οπότε ακόμα και με κάποια απόσταση από την προβλήτα να αράζει το πλοίο τα 27.5 υπερεπαρκούν για να ικανοποιηθεί ο κανόνας. Διαλέγω 30m για επιπλέον ασφάλεια. **(ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.1)**

Με τη σχέση 2.6 και αξιοποιώντας τις επεξηγηματικές σχέσεις κάτω από την 2.6 μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος αυτής της προστασίας. Στην περίπτωση μας είναι:

$$L_{LH1}=8*7.5+5=65m$$

$$L_{LH2}=3*7.5+5=27.5m$$

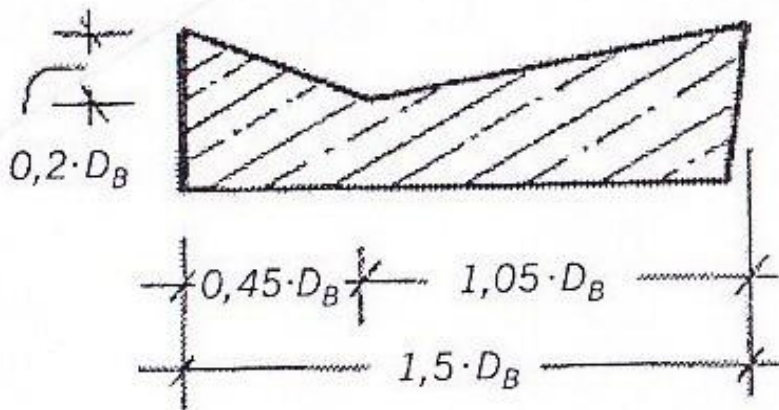
$$L_{LB}= 4*7.5+5= 35m$$

Με την βοήθεια του πίνακα 1.1 που μας δίνουν το μήκος μεταξύ των προπελών 217m και του σχήματος 2.7 που μας δείχνει παραστατικά το L_Z μπορούμε να υπολογίσουμε το $L_Z =271-27.5-35=208.5m$. Οπότε το συνολικό μήκος της προστασίας είναι

$$L= 65m+27.5m+208.5m+2*35m=371m. \text{ (ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.7)}$$

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑ ΜΕΤΩΠΟ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSON

Η προστασία που έχουμε ανάγκη στην περίπτωση αυτή είναι η δημιουργία ενός ανακλαστήρα στον πόδα του έργου έτσι ώστε να μην έχουμε υποσκαφή του έργου μας. Μια χαρακτηριστική διατομή ανακλαστήρα μας τη δίνει το παρακάτω σχήμα:



ΣΧΗΜΑ 3.1: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ, ΠΗΓΗ:(ΕΑΥ 2004, 8th edition)

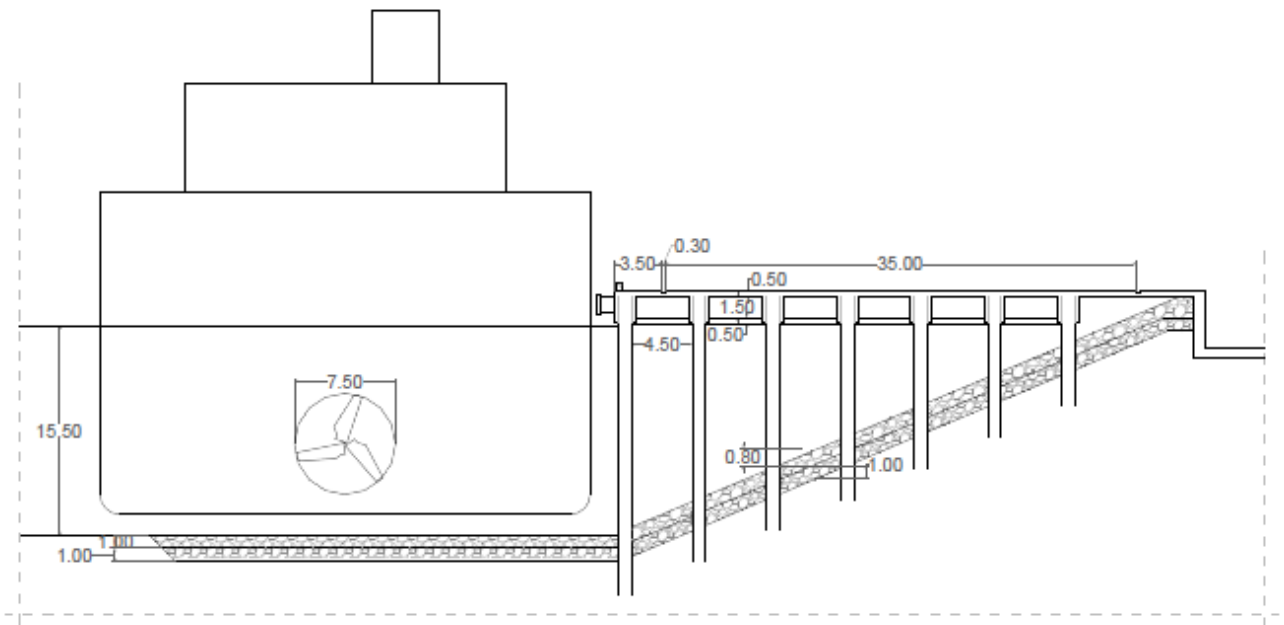
Με βάση λοιπόν το σχήμα αυτό και για τη διάμετρο εγκάρσιας προπέλας του προβλήματός μας $D_b= 2.6m$ έχουμε για τις διαστάσεις του ανακλαστήρα ότι η βάση του θα έχει μήκος

$1.5 * D_b = 1.5 * 2.6 = 3.9\text{m}$. Όσο για το ύψος του θα έχει μήκος όσο το πάχος της προστασίας του πυθμένα. Το χαρακτηριστικό μήκος $0.2 D_b = 0.2 * 2.6 = 0.52\text{ m}$. (ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.6)

Τώρα συνεχίζουμε με την προστασία του πυθμένα μας. Όσον αφορά αυτή την προστασία θα διαλέξουμε τα ίδια πάχη που έχουμε πάρει και στις άλλες περιπτώσεις γιατί η καταπόνηση είναι η ίδια και οι υπολογισμοί ίδιοι. (ΔΕΣ ΣΧΗΜΑ 4.6)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΣΧΕΔΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα σχήματα που αναπαριστούν τα μεγέθη και είδη των προστασιών που υπολογίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο για τους διαφορετικούς τύπους μετώπων παραβολής.



**ΣΧΗΜΑ 4.1: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ
ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ
ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ**

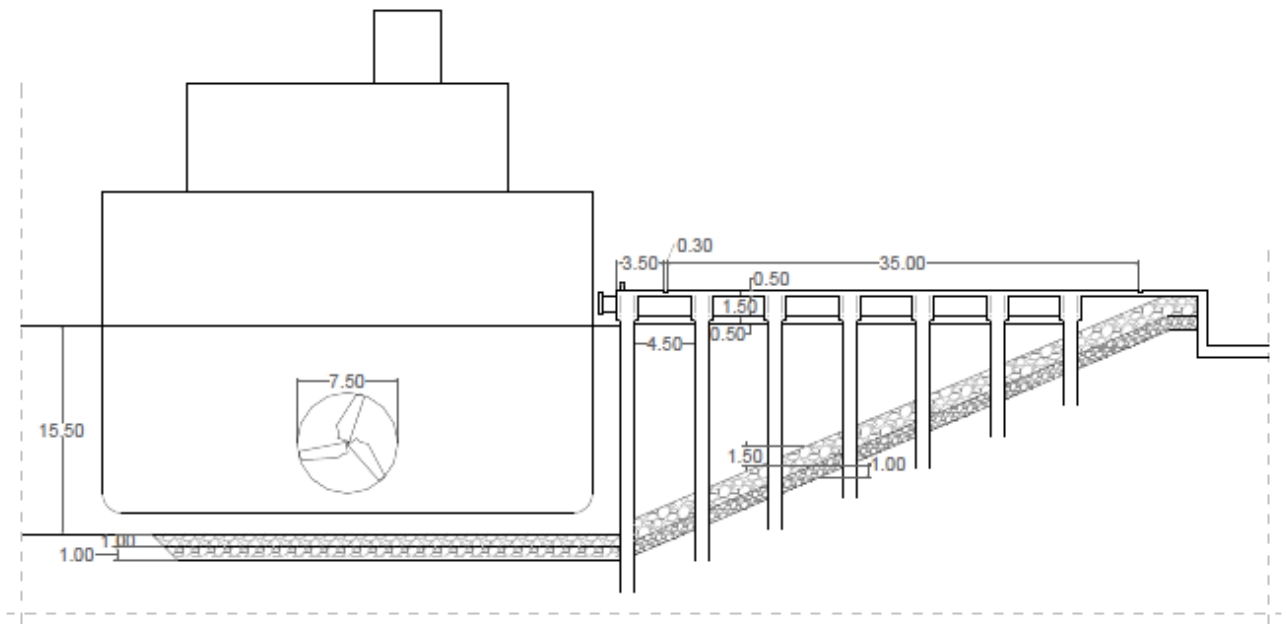
παράρτημα σχήματος:

κύρια στρώση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 760mm μέγεθος πέτρας

υπόστρωση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 330mm μέγεθος πέτρας

κύρια στρώση προστασίας πρανούς: βάρος ογκολίθων 75kg-300kg (rip rap)

υπόστρωση προστασίας πρανούς: βάρος ογκολίθων 10kg-50kg (θραυσμένοι ογκόλιθοι)



ΣΧΗΜΑ 4.2: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

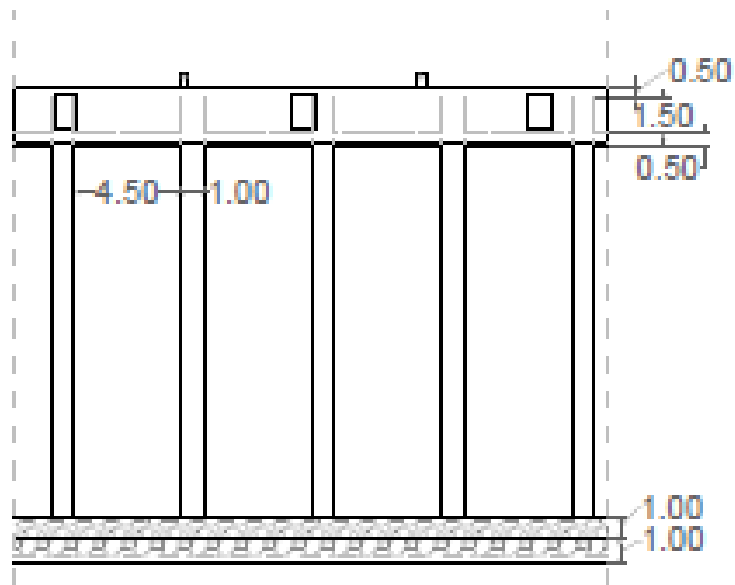
παράρτημα σχήματος:

κύρια στρώση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 760mm μέγεθος πέτρας

υπόστρωση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 330mm μέγεθος πέτρας

κύρια στρώση προστασίας πρανούς: βάρος πέτρας 0.75t-1t (rock armour)

υπόστρωση προστασίας πρανούς: βάρος πέτρας 50kg-100kg (θραυσμένοι ογκόλιθοι)

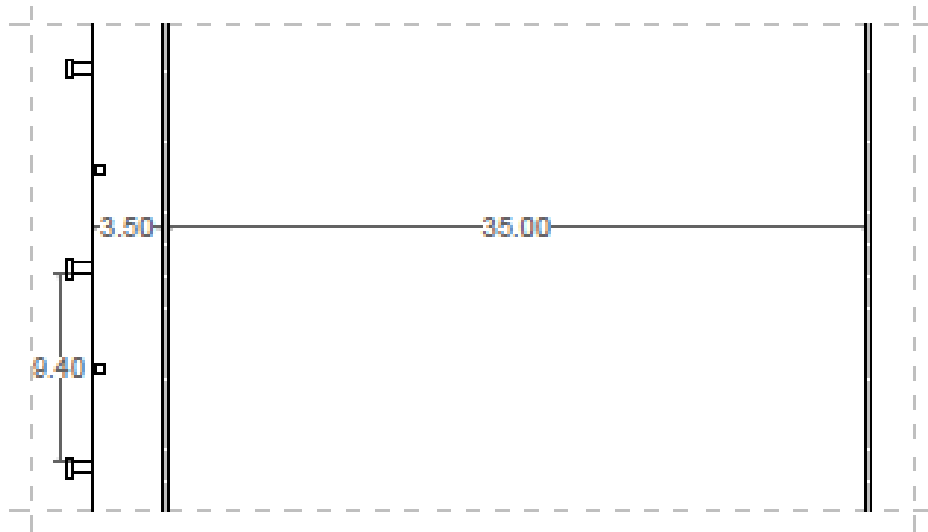


ΣΧΗΜΑ 4.3: Όψη μετώπου παραβολής διαμορφωμένο με δαπέδο κυκλοφορίας εδρασμένο σε πασσαλούς θεμελιωμένους σε πρηνές σύναρμογής

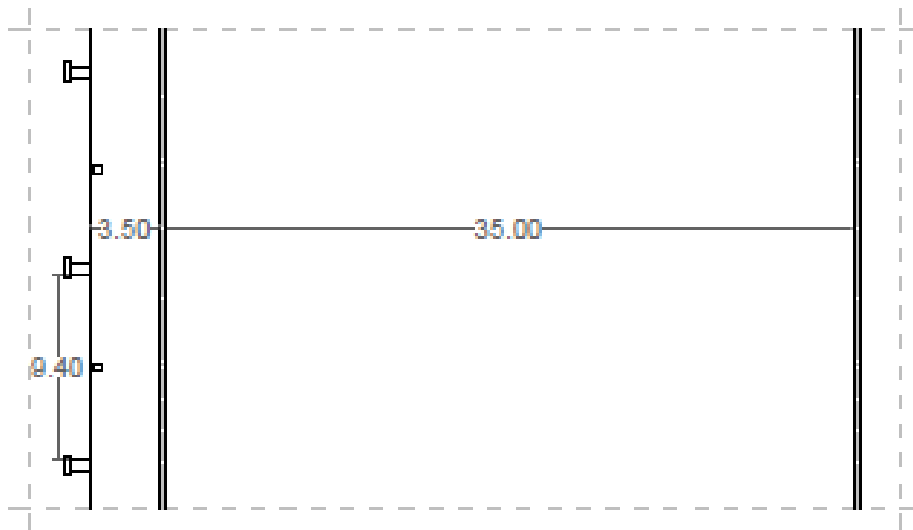
παράρτημα σχήματος:

κύρια στρώση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 760mm μέγεθος πέτρας

υπόστρωση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 330mm μέγεθος πέτρας

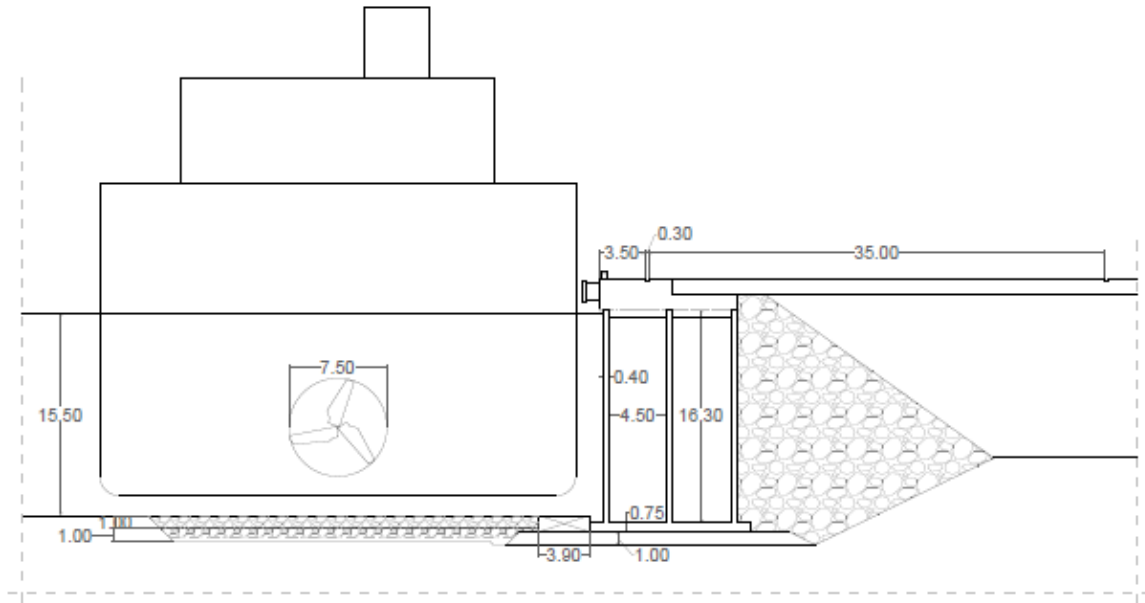


ΣΧΗΜΑ 4.4:ΚΑΤΟΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΔΡΑΣΜΕΝΟ ΣΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ



:

ΣΧΗΜΑ 4.5: ΚΑΤΟΨΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSONS

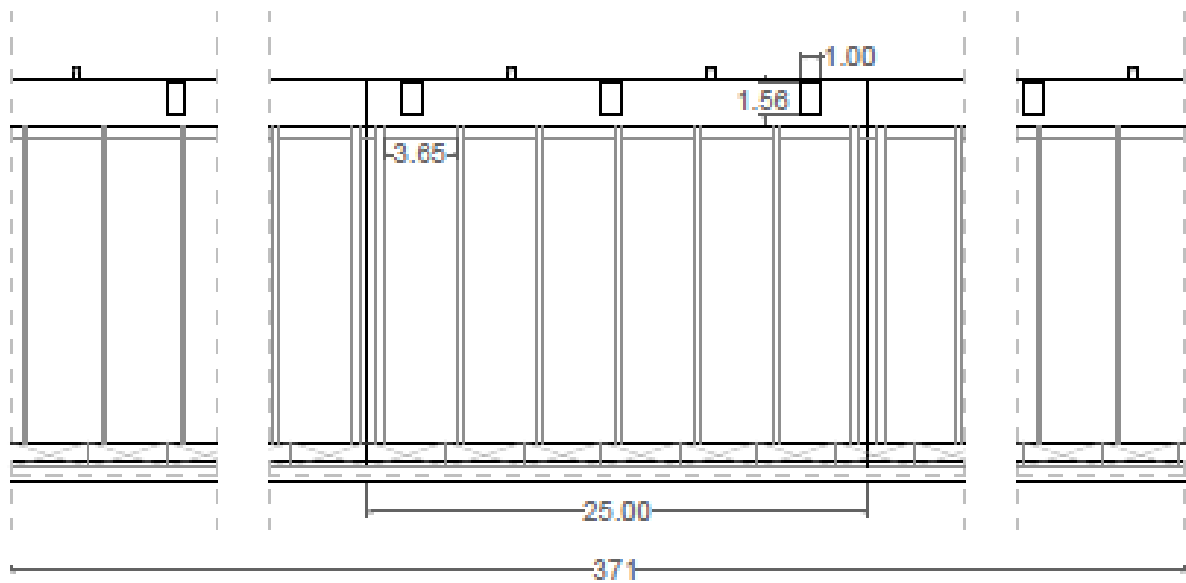


ΣΧΗΜΑ 4.6: ΤΟΜΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΠΑΡΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΜΕ CAISSONS

παράρτημα σχήματος:

κύρια στρώση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 760mm μέγεθος πέτρας

υπόστρωση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 330mm μέγεθος πέτρας



ΣΧΗΜΑ 4.7: Όψη μετώπου παραβολής διαμορφωμένο με CAISSONS

παράρτημα σχήματος:

κύρια στρώση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 760mm μέγεθος πέτρας

υπόστρωση προστασίας πυθμένα: πάχος στρώσης 1m και 330mm μέγεθος πέτρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^Ο ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί ο τρόπος κατασκευής των διαστάσεων της προστασίας.

5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΑΝΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

Καταρχήν η προστασία του πυθμένα πρέπει να τοποθετηθεί πρώτη έτσι ώστε η προστασία του πρανούς συναρμογής να μπορεί να υποστηριχτεί σωστά. Η υπόστρωση όσο και η κύρια στρώση της προστασίας θα τοποθετηθούν ξεκινώντας τα από τον πυθμένα και πηγαίνοντας προς την κορυφή έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε ότι η προστασία θα αλληλοκλειδώσει σωστά. Αν η τοποθέτηση γίνεται από πάνω προς τα κάτω θα πρέπει να διαλέξουμε και βαρύτερους ογκόλιθους.

Η εγκατάσταση των πασσάλων και το στρώσιμο της προστασίας του πρανούς μπορεί να εκτελεστεί με διάφορους τρόπους:

1. Μπορούμε πρώτα να θεμελιώσουμε τους πασσάλους στο ανάχωμα και έπειτα να τοποθετήσουμε την προστασία του πρανούς. Το πρόβλημα που έχουμε τότε είναι στο να αποτρέψουμε την μετακίνηση και την φθορά των στύλων. Συστήνεται ότι πριν τοποθετηθεί η προστασία του πρανούς, οι κεφαλές των στύλων συσφίγγονται είτε με ένα προσωρινό σύστημα είτε ρίχνοντας κάποιες από τις μόνιμες δέσμες της προβλήτας.
2. Πρώτα τοποθετούμε την προστασία του πρανούς και έπειτα θεμελιώνουμε τους πασσάλους. Το πρόβλημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι όπως περνάμε τους πασσάλους μέσα από την προστασία μπορεί να μην μπουκν στη σωστή θέση παρόλο την επιπλέον προσοχή και επίσης να φθαρεί η βάση τους. Για να αποτρέψουμε το πρόβλημα αυτό θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε λεπτή στρώση προστασίας αν και σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να μην επαρκεί η προστασία. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας κούφιους κοντούς στύλους από μπετό ή από ατσάλι κατά την τοποθέτηση της προστασίας. Θεμελιώνουμε προσωρινά τους στύλους αυτούς όσο τοποθετούμε την προστασία και μόλις αυτή τοποθετηθεί μπορούμε να απομακρύνουμε τους στύλους και να μείνουν τα κενά.

Τα παραπάνω ήταν ορισμένα γενικά πράγματα που αφορούν τον τρόπο κατασκευής των διαστάσεων της προστασίας και τώρα που αναφέρθηκαν μπορούμε να αναφερθούμε πιο ειδικά σε τρόπους κατασκευής της προστασίας πυθμένα και της προστασίας πρανών.

5.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ

5.2.1 Προστασία πυθμένα με χρήση γεωυφάσματος που καλύπτεται με φυσικούς ογκολίθους (rock armour -rip rap)

Τα γεωυφάσματα παρέχονται σε ρολά. Μπορούν να ραφτούν μαζί και να δημιουργήσουν πρακτικά σχήματα που μπορούν να τοποθετηθούν απευθείας πάνω στον πυθμένα και να προσαρμοστούν μια χαρά στις συνθήκες του πυθμένα, ενδεχομένως κάποιες ανωμαλίες της άμμου, να μην είναι ομοιόμορφο το έδαφος. Το γεωύφασμα μπορεί να τοποθετηθεί ξετυλίγοντάς το από ένα ρόλο που το τραβάμε πάνω από τον πυθμένα και μπορεί να σταθεροποιηθεί προσωρινά από πέτρες ή αμμόσακους που τοποθετούνται από δύτες μέχρι οι στρώσεις της προστασίας από ογκολίθους να πέσουν από πάνω. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί όταν τα κύματα και τα ρεύματα της θάλασσας δεν είναι τόσο δυνατά καθώς και για μικρής κλίμακας έργα. Σε μεγαλύτερης κλίμακας έργα τα υφάσματα μπορούν να απλωθούν σε πλέγματα και μετά να τυλιχτούν σε μεταλλικούς σωλήνες με τα κατάλληλα σχοινιά τραβήγματος και μετά μπορούν να ξετυλιχτούν στον πυθμένα. Όταν ρίχνουμε την πρώτη στρώση ογκολίθων πάνω στο γεωύφασμα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί για να μην του προκαλέσουμε ζημιά. Η λειτουργία του ως φίλτρο ενδεχομένως να καταστραφεί αν το γεωύφασμα πάθει ζημια. Το ύφασμα μπορεί να τρυπηθεί ή να σκιστεί από τις γωνίες των ογκολίθων που ρίχνονται πάνω του ως προστασία.

Διάφορα εργαστήρια έχουν κάνει έρευνες και πειράματα για να εκτιμήσουν την ζημιά του γεωυφάσματος από τις πέτρες που ρίχνονται (Caquel et al, 1999, Chew et al, 1999). Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών καταλήγουν και συνοψίζονται στα εξής:

- Η ενέργεια με την οποία ρίχνονται οι ογκολίθοι είναι σημαντικός παράγοντας για την όποια ζημιά στο γεωύφασμα
- Η σκληρότητα του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην διάχυση και την απορρόφηση αυτής της ενέργειας. Αυτό γίνεται επειδή το έδαφος αλλάζει μορφή.
- Η επιμήκυνση στη μέγιστη δύναμη είναι πολύ σημαντική για μαλακά εδάφη καθώς το γεωύφασμα πρέπει να διαπεράσει μαζί με τις πέτρες το έδαφος χωρίς να σκιστεί. Στη φάση του σχεδιασμού λοιπόν το τι χαρακτηριστικά θα έχει το γεωύφασμα θα εξαρτηθούν και από το είδος του εδαφικού υλικού.

Ένα μέγεθος ογκολίθου 10kg-60kg μπορεί να ριχτεί απευθείας πάνω στο γεωύφασμα. Επίσης αν και δεν είναι συνηθισμένο, ένα μέγεθος πέτρας 1kg-10kg θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί

και ως πρώτη στρώση προστασίας. Το τι μέγεθος ογκολίθου θα ριχτεί απευθείας πάνω στο ύφασμα εξαρτάται και από διάφορους παράγοντες που είναι:

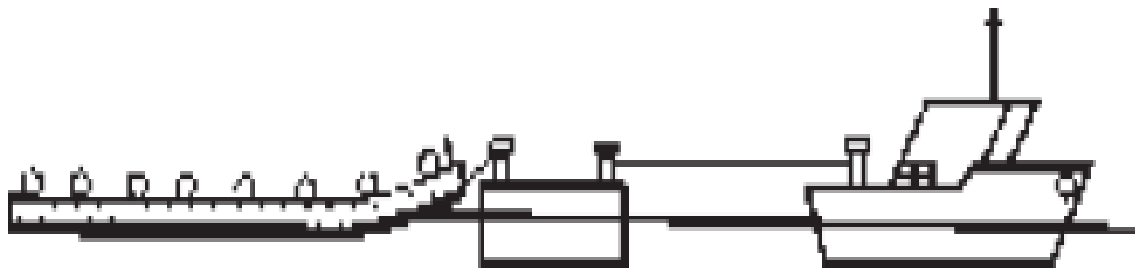
- Τα χαρακτηριστικά του γεωφάσματος
- Το βάθος του νερού
- Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός
- Το είδος του εδάφους του πυθμένα
- Το σχήμα του ογκολίθου
- Αν έχουμε φτιάξει και πόσες υποστρώσεις προστασίας

Πριν τοποθετήσουμε το γεωύφασμα πρέπει να έχουμε καθαρίσει τον πυθμένα από οτιδήποτε μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο γεωύφασμα όπως πέτρες και μεγάλες ρίζες φυτών. Η πρώτη στρώση πετρών που θα μπει πάνω στο γεωύφασμα πρέπει να είναι αρκετά πυκνή ώστε να μην φύγει η άμμος του πυθμένα και ώστε να αποτραπούν ζημιές στην ίδια τη στρώση από τους επόμενους και πιο μεγάλους ογκολίθους που θα πέσουν.

5.2.2 Προστασία πυθμένα χρησιμοποιώντας στρώματα φίλτρου καλυμμένα με πέτρες (willow mattresses)

Έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο τι είναι αυτά τα στρώματα. Το γεγονός ότι είναι πλέγματα από ελαφρύ ξύλο ή κάποιο άλλο συνθετικό μας διευκολύνει στην μεταφορά τους με το να αυξάνεται η άνωση (επειδή έχουμε ξύλο που επιπλέει) και επίσης δεν επιτρέπει ο σκελετός στο στρώμα να διπλώσει. Μας εξυπηρετούν επίσης στο να σταθεροποιείται η προστασία από πέτρα καθώς το στρώμα βυθίζεται σιγά σιγά μην επιτρέποντας οι πέτρες να κυλάνε στον πυθμένα. Τα στρώματα κατασκευάζονται σε ένα μέρος κατασκευής κοντά εκεί που θα τοποθετηθούν και οπωσδήποτε πάνω στο νερό. Το μέρος κατασκευής θα πρέπει να μην έχει εμπόδια. Μόλις το γεωύφασμα ξετυλιχτεί, κοπεί και ραφτεί στο κατάλληλο σχήμα τότε κολλάμε και τις διαδοκίδες μέχρι να σχηματιστεί το πλέγμα. Έπειτα τραβάμε το στρώμα διανέμοντας τις εφελκύστηκες δυνάμεις, προκειμένου να μην σκιστεί το στρώμα, μέσω μιας δέσμης τραβήγματος. Το στρώμα σύρεται από αυτήν την βυθιζόμενη δέσμη ή από κάποια σχέδια και προσκολλάται στις δέστρες της σχεδίας από βυθιζόμενα σχοινιά

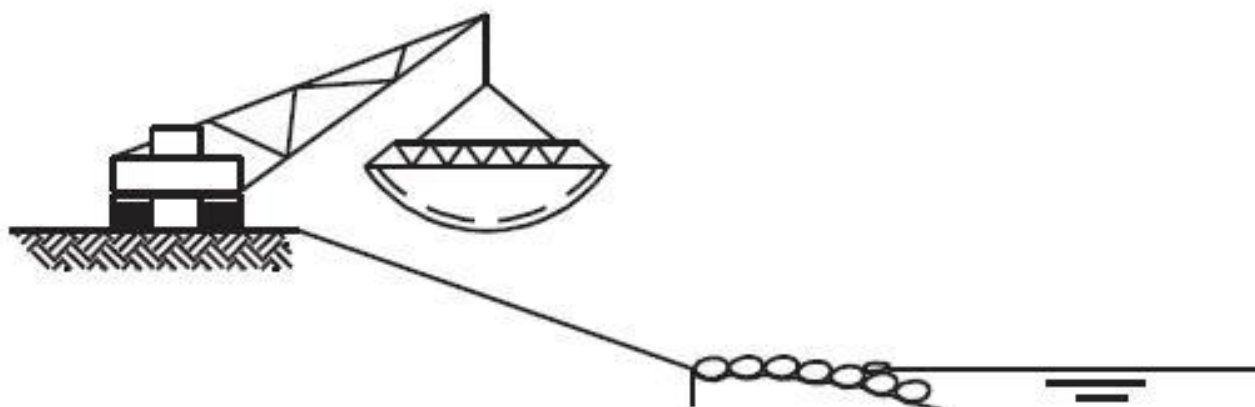
Το παρακάτω σχήμα είναι ενδεικτικό της διαδικασίας



ΣΧΗΜΑ 5.1: ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (WILLOW MATTRESS) ΞΕΤΥΛΙΓΕΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΣΗ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ
ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

Όποτε η τοποθέτηση γίνεται από το έδαφος τότε τα στρώματα τοποθετούνται από γερανό με τη χρήση πλαισίων

Το παρακάτω σχήμα είναι ενδεικτικό της διαδικασίας

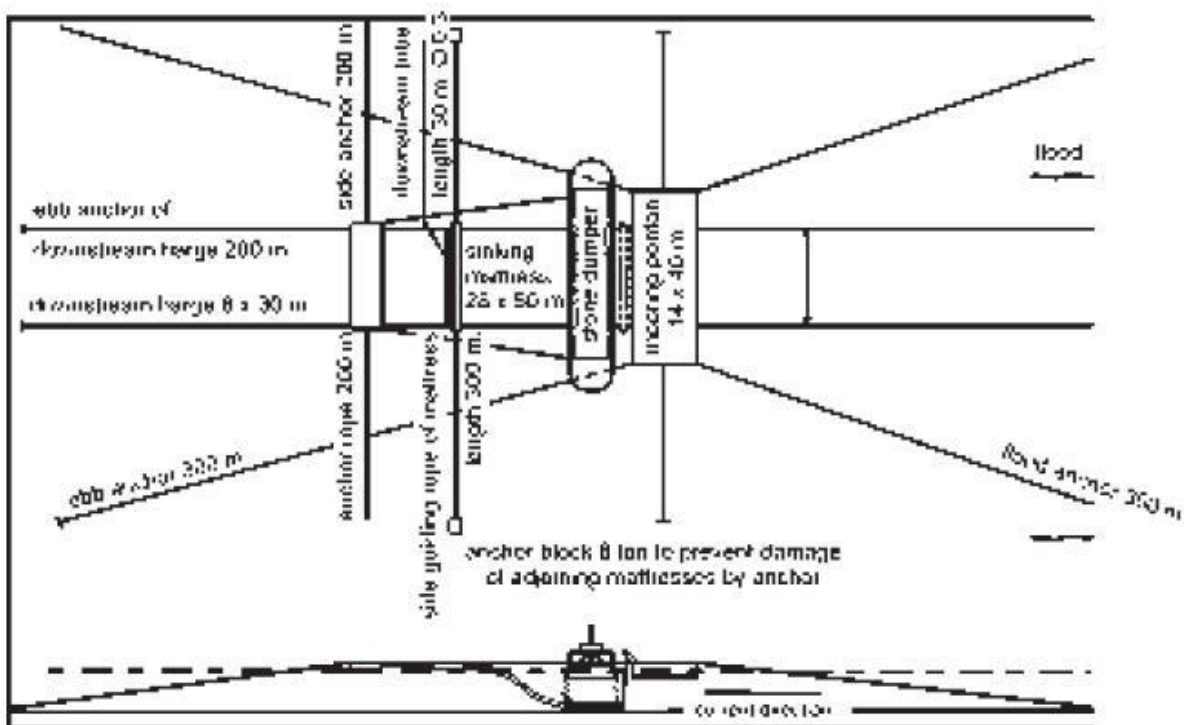


ΣΧΗΜΑ 5.2: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ (WILLOW MATTRESSES) ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΡΑΝΟΥ ΑΠΟ ΞΗΡΑ
ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

Αφού τα στρώματα έρθουν στη σωστή τους θέση βυθίζονται ρίχνοντας ελαφρές πέτρες (1kg-10kg, 5kg-40kg) πάνω τους. Ζημιές στα στρώματα πρέπει να αποτραπούν. Επιπλέον ενισχυτικά μπορούν να ραφτούν στα στρώματα έτσι ώστε να δυναμώσουν και να μπορούμε

να χρησιμοποιήσουμε βαρύτερες πέτρες παίρνοντας υπόψη μας βέβαια αν τα στρώματα θα είναι σταθερά καθώς θα βυθίζονται και αν οι πέτρες που χρησιμοποιούμε είναι κατάλληλες για φίλτρα. Για να πετύχουμε οι πέτρες να είναι κατάλληλα διασκορπισμένες πάνω στα στρώματα ένα αξιόπιστο σύστημα πλοήγησης ή ένα πλαίσιο που να επιπλέει πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά το βύθισμα και πρόσθετοι ογκόλιθοι να ριχτούν από ένα γερανό.

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει πως χρησιμοποιούμε δυο σχεδίες για να σταθεροποιήσουν το στρώμα μας κατά τη διάρκεια του βυθίσματος.



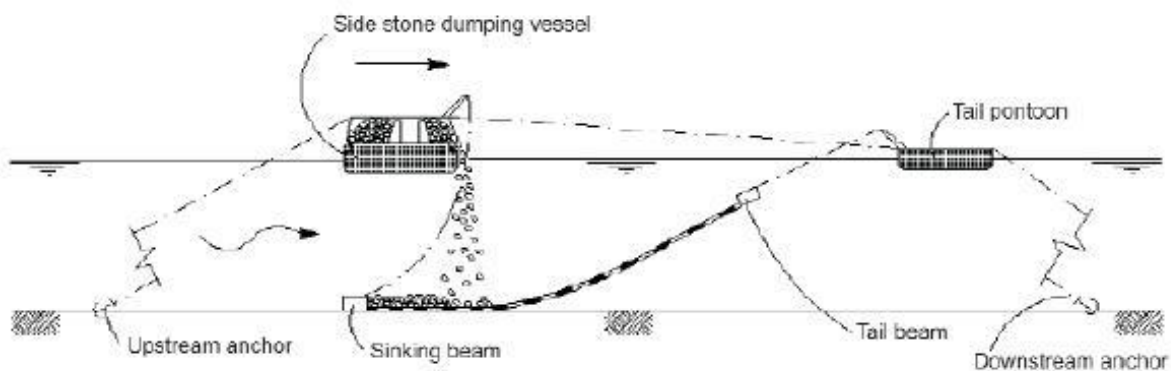
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ ΔΥΟ ΣΧΕΛΙΩΝ ΕΤΣΙ ΩΣΤΕ ΝΑ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΩΣΤΗ ΘΕΣΗ ΓΙΑ ΒΥΘΙΣΜΑ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

Όταν ένα στρώμα προστασίας του πυθμένα βυθίζεται τα χαλαρά πτερύγια του υφάσματος δένονται από την μια άκρη με τη βυθιζόμενη δέσμη και με την άλλη άκρη με τη δέσμη στην ουρά της πορείας. Για να εγκατασταθεί το στρώμα στη σωστή θέση μανουβράρεται ανάμεσα στις μπροστινές και στις πίσω σχεδίες, οι οποίες πρέπει να έχουν τοποθετηθεί με ακρίβεια από πριν. Αφού η βυθιζόμενη δέσμη έχει αρχίσει και χαμηλώνει τότε υπάρχει χώρος για πλοiάριο που ρίχνει πέτρες να προχωρήσει μέσα. Το μπροστινό μέρος του στρώματος

κρατιέται στη θέση του στον πυθμένα λόγω βάρους, και από κει και πέρα αρχίζει να βυθίζεται και το υπόλοιπο στρώμα. Με ελεγχόμενες κινήσεις του πλοιαρίου ανάμεσα στις σχεδίες μια καλά δουλεμένη και ομοιόμορφη στρώση από πέτρες μπορεί να πέσει πάνω από το στρώμα. Το στρώμα πρέπει να μείνει στην κατάλληλη θέση και να μην αποκτήσει μεγάλη κλίση εξαιτίας της βυθιζόμενης δέσμης που λειτουργεί σαν άγκυρα εμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό το στρώμα να πάρει τέτοια απότομη κλίση ώστε να κυλήσουν οι πέτρες κάτω.

Ένας εναλλακτικός τρόπος βυθίσματος μπορεί να επιτευχθεί αν συνδυαστούν οι λειτουργίες του πλοιαρίου που ρίχνει πέτρες και της μπροστινής σχεδίας. Το πλοiάριο στην περίπτωση αυτή είναι εφοδιασμένο με βαρούλκα που χρησιμεύουν για να χαμηλώσουν την βυθιζόμενη δέσμη του στρώματος. Αφού η δέσμη έχει φτάσει στον πυθμένα το πλοiάριο κινείται πάνω από το στρώμα. Η σχεδία κρατά το στρώμα υπό ένταση

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει τη διαδικασία:



ΣΧΗΜΑ 5.4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΥΘΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ , ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

Αφού το στρώμα τοποθετηθεί επιπλέον πέτρα ρίχνεται είτε με πλοiάρια είτε με πλωτούς γερανούς.

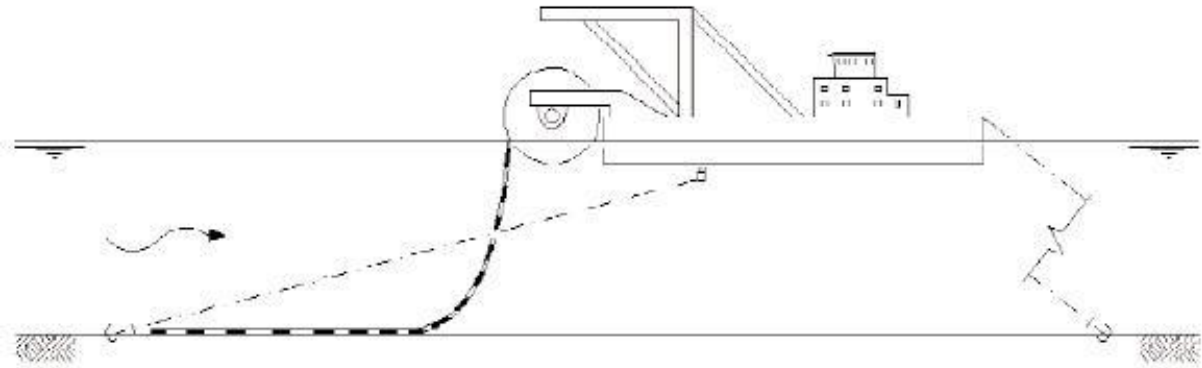
Αντί για ξύλινες διαδοκίδες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περιστασιακά και ένα πλέγμα από ενισχυμένο ατσάλι που περνιέται μέσα από βρόγχους του γεωφάσματος που έχουν κατασκευαστεί στο εργοστάσιο. Το πλέγμα παρέχει τη σκληρότητα που απαιτείται για να

χειριστούμε και να τοποθετήσουμε το στρώμα. Καθώς το στρώμα αυτό δεν το πιάνει άνωση πρέπει να τοποθετηθεί με πλωτό γερανό. Βέβαια η διάβρωση του ατσαλιού μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο γεωφάσμα γι αυτό διαδοκίδες από ατσάλι δεν είναι κατάλληλες για χρήση σε έργα με μεγάλο χρόνο ζωής όπου το ύφασμα πρέπει να διατηρήσει για όλον αυτόν τον χρόνο τη λειτουργία του ως φίλτρο. Αλλά το καλό είναι ότι μπορούν να επιδιορθωθούν και γρήγορα από δύτες.

5.2.3 Προστασία πυθμένα με χρήση προκατασκευασμένων στρωμάτων με ενσωματωμένο έρμα (prefabricated mattresses)

Έχουμε και στο κεφάλαιο 2 αναφερθεί σε τέτοιου είδους στρώματα που αποτελούνται από ένα συνδυασμό γεωφάσματος με διάφορα υλικά όπως προσκολλημένα κομμάτια πίσσας η προσκολλημένους τσιμεντόλιθους και μπορούν να αξιοποιηθούν ως προστασία τόσο στον πυθμένα όσο και στα κεκλιμένα πρανή με μια προσοχή ώστε να μην μας γλιστρήσουν προς τα κάτω. Κατά την παραγωγή τους θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί έτσι ώστε να εξασφαλιστεί καλό δέσιμο μεταξύ του γεωφάσματος και των τσιμεντόλιθων. Μια άλλη επιλογή είναι ένα στρώμα από γεωφάσμα γεμισμένο με άμμο ως έρμα. Όσον αφορά την τοποθέτησή τους, για μεγάλης κλίμακας έργα το στρώμα μπορεί να ξεδιπλωθεί από μια σχεδία. Η σχεδία καθώς προχωράει ο κύλινδρος ξετυλίγεται.

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει αυτήν την διαδικασία:



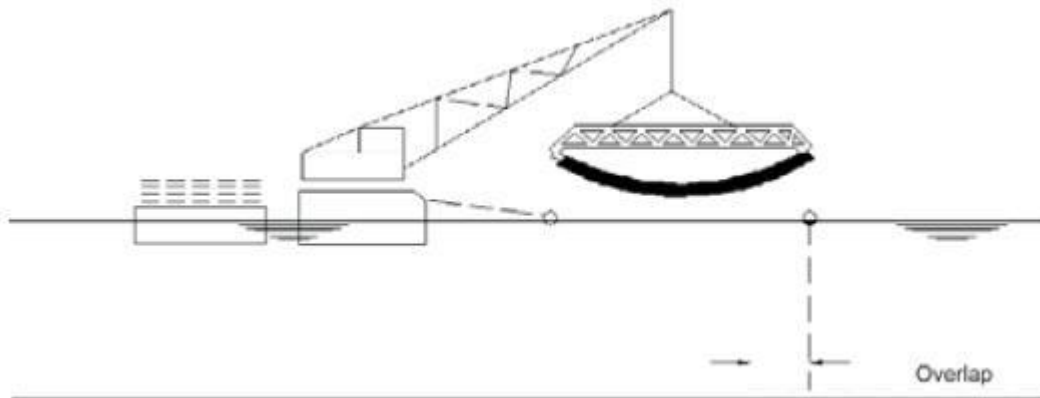
**ΣΧΗΜΑ 5.5: ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΞΕΤΥΛΙΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΧΕΔΙΑ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΠΗΓΗ:(CIRIA C683
CHAPTER 9, 2007)**

Αυτή η διαδικασία απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που θέλουμε να φτιάξουμε πολύ καλό φίλτρο. Εναλλακτικά, τα ρολά μπορούν να ξετυλιχτούν στην ακτή και να αποκτήσουν βάρος από ομοιόμορφα προσκολλημένα μικρά κομμάτια οπλισμού. Τα υφάσματα αυτά μετά τυλίγονται σε ένα μεταλλικό σωλήνα και όλο μαζί το ρολό βυθίζεται στη θάλασσα μέχρι να φτάσει στον πυθμένα. Το ξετύλιγμα γίνεται τραβώντας σχοινιά που έχουν και αυτά περαστεί στο γεωύφασμα. Τα άκρα των σχοινιών τραβιούνται στην επιφάνεια στη φορτηγίδα, που τα ξετυλίγει από την επιφάνεια. Αυτό απαιτεί τον εξοπλισμό που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4. Όταν χρησιμοποιείται ενσωματωμένο έρμα, μπορεί να μην χρειαστεί επιπλέον έρμα όταν το στρώμα κάτσει στον πυθμένα ακόμα και κάτω από δύσκολες συνθήκες που μπορούν να δημιουργήσουν οι φλέβες νερού. Όταν δεν πρόκειται να μπουν επιπλέον στρώσεις ογκολίθων από πάνω τότε η σύνδεση (μπάλωμα) μεταξύ των ξεχωριστών στρωμάτων είναι σημαντική. Επίσης προσοχή χρειάζεται στην τοποθέτηση του πλωτήρα. Συνήθως δεν τοποθετούμαι έρμα στην άκρη του τελευταίου στρώματος. Το γεωύφασμα αυτό σταθεροποιείται επίπεδα στον πυθμένα πριν το επόμενο στρώμα τοποθετηθεί από πάνω, δημιουργώντας δεσμό ανάμεσα στα δύο στρώματα

Για μικρής κλίμακας έργα τα στρώματα μπορούν να τοποθετηθούν με πλωτούς γεραμούς εξοπλισμένους με κατάλληλα πλαίσια. Στις περιπτώσεις αυτές το μέγιστο μέγεθος των

στρώματων κρίνεται από την ικανότητα των γερανών και από τις παραμορφώσεις που μπορούν να πάρουν τα στρώματα.

Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει την διαδικασία αυτή που περιγράψαμε παραπάνω:



ΣΧΗΜΑ 5.6: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (PREFABRICATED MATTRESSES) ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΠΛΩΤΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

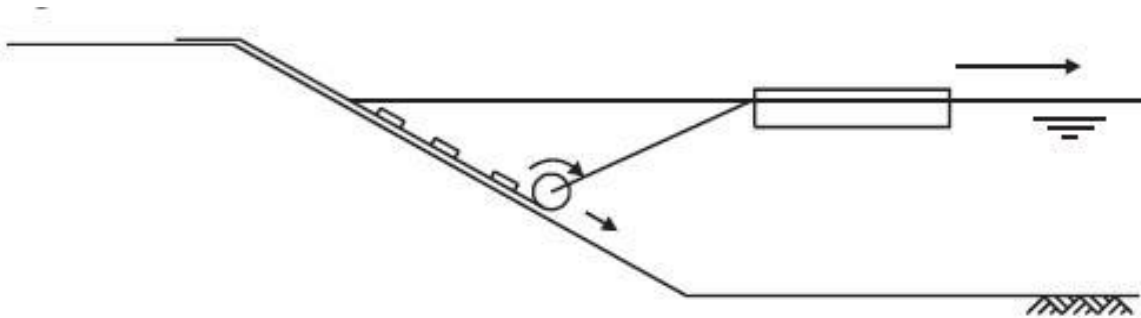
Όταν στρώματα από αμμόσακους τοποθετούνται μπορούν να τοποθετηθούν όπως με την παραπάνω διαδικασία εκτός από το ότι μεμονωμένα στρώματα μπορούν να συνδεθούν χρησιμοποιώντας κατάλληλους δεσμούς και έτσι δεν χρειάζονται επικαλύψεις (μπαλώματα). Η μέθοδος αυτή απαιτεί τη συνεχή παρουσία και προσοχή ενός δύτε έτσι ώστε να εξασφαλιστεί το σφιχτό δέσιμο μεταξύ των μονάδων και να τοποθετηθούν τα συνδετικά. Ένα γεώφασμα μπορεί να φτιαχτεί μέσα σε ένα στρώμα από αμμόσακο σαν κομμάτι της διαδικασίας γεμίσματος. Ένα πλεονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι τα έτοιμα κομμάτια μπορούν να στοιβαχτούν, έτσι ώστε οι διαδικασίες γεμίσματος να μπορούν να εκτελούνται σε μια πολύ μικρότερη περιοχή, που μπορεί να είναι και μακριά από την περιοχή τοποθέτησης.

5.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

5.3.1 Προστασία πρανούς με χρήση γεωφάσματος καλυμμένο με πέτρες (rock armour - rip rap)

Το γεωφάσμα μπορεί να τοποθετηθεί με το να το ξεδιπλώσουμε προς τα κάτω από την κορυφή του πρανούς. Αυτό μπορεί να γίνει με μέσα που βασίζονται στο έδαφος. Αφού το έχουμε ξεδιπλώσει πρέπει να το στερεώσουμε στο κάτω μέρος του πρανούς χρησιμοποιώντας αμμόσακους ή πέτρες που τοποθετούνται από δύτες. Επιπλέον το γεωφάσμα μπορεί να ξετυλιχτεί με χρήση θαλάσσιων μέσων όπως μια σχεδία

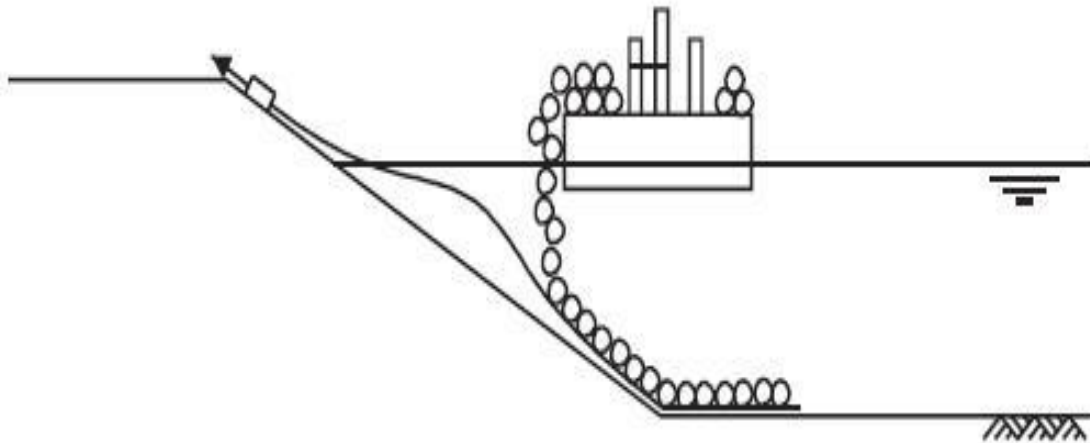
Το παρακάτω σχήμα είναι χαρακτηριστικό της παραπάνω διαδικασίας:



ΣΧΗΜΑ 5.7: ΞΕΤΥΛΙΓΜΑ ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΠΑΝΩ ΣΕ ΠΡΑΝΕΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

Αφού το γεωφάσμα έχει τοποθετηθεί οι στρώσεις των ογκόλιθων μπορούν να τοποθετηθούν με μέσα από το έδαφος αν αυτά φτάνουν. Αν δεν φτάνουν τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πλωτό γερανό ή ένα πλοiάριο που να ρίχνει πέτρες από τα πλάγια. Η τοποθέτηση γίνεται από το κάτω μέρος του πρανούς προς τα πάνω.

Το παρακάτω σχήμα είναι χαρακτηριστικό της παραπάνω διαδικασίας:

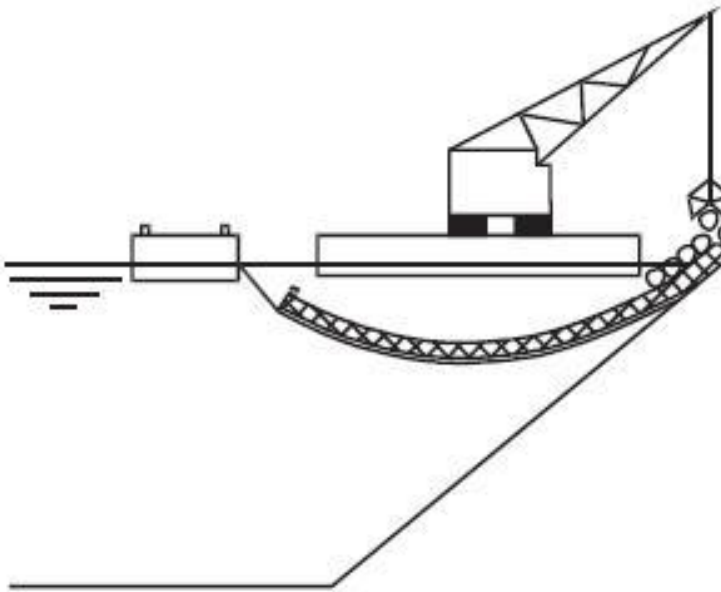


ΣΧΗΜΑ 5.8: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕΣΩ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑΡΙΟ ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

5.3.2 Προστασία πρανούς με στρώματα φίλτρου καλυμμένα με στρώσεις ογκολίθων (willow mattresses)

Τα στρώματα φίλτρου τα επιπλέουμε πάνω από τη σωστή θέση τοποθέτησης. Το στρώμα τότε το καρφώνουμε στην κορυφή του πρανούς. Το κατώτερο άκρο του στρώματος το κρατάμε σε θέση με μια σχεδία όταν έχουμε δυνατά ρεύματα. Τα στρώματα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν και με γερανό. Όταν τα στρώματα τοποθετηθούν μπορεί να μπει η προστασία από ογκολίθους με φορά από κάτω προς τα πάνω. (Βέβαια όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω επειδή τα στρώματα αυτά μπορούν να ολισθήσουν κατά μήκος του πρανούς συναρμογής συνήθως τα συναντάμε ως τρόπο προστασίας πυθμένα.)

Το παρακάτω σχήμα είναι ενδεικτικό της παραπάνω διαδικασίας:

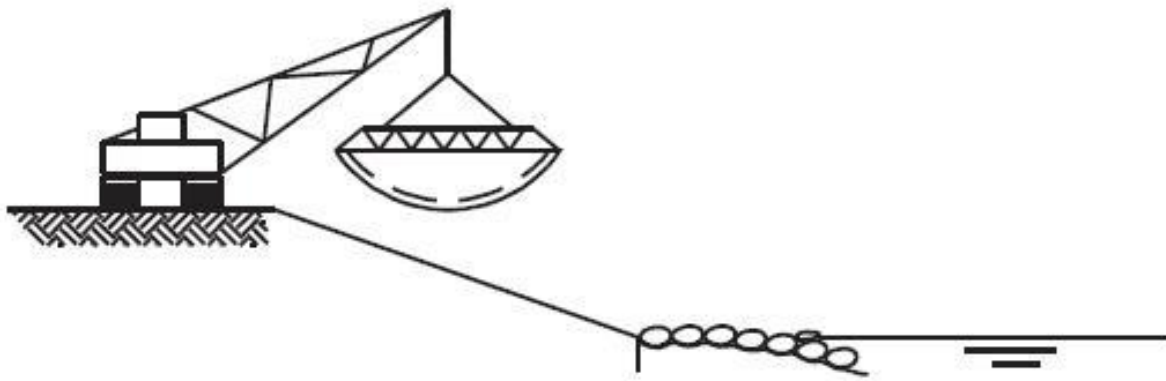


ΣΧΗΜΑ 5.9: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ (WILLOW MATTRESSES) ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΓΚΟΛΙΘΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΠΡΟΣ ΤΗ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ
ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

5.3.3 Προστασία πρανούς με χρήση προκατασκευασμένων στρωμάτων με ενσωματωμένο έρμα. Αναφέρονται και αμμόσακοι.

Τα προκατασκευασμένα στρώματα μπορούν να τοποθετηθούν είτε από έναν πλωτό γερανό είτε από ένα γερανό στο έδαφος με τη χρήση μεταλλικού πλαισίου. Αν το ενσωματωμένο έρμα φτάνει να αντέξει τα ρεύματα της θάλασσας, τις ταχύτητες των φλεβών νερού είτε από την εγκάρσια είτε από την κεντρική προπέλα, τότε ίσως να μη χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε πέτρες βυθίσματος πάνω στο στρώμα.

Παρακάτω στο σχήμα αναπαρίσταται γερανός που τοποθετεί τα παραπάνω στρώματα από την ξηρά:



ΣΧΗΜΑ 5.10: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΣΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, ΠΗΓΗ:(CIRIA C683 CHAPTER 9, 2007)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κωνσταντίνος Μέμος (2008), '' Εισαγωγή στα λιμενικά έργα ''.

BLAAUW, H.B. and VAN DE KAA, E.J. [1978] Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of maneuvering ships, publication 202, Delft, The Netherlands.

BLOKLAND, T. [1997] Bodembescherming belast door schroefstralen - huidige ontwerpmethode. Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam.

CIRIA, CUR and CETMEF [2007] The rock manual. C683 the use of rock in hydraulic engineering. CIRIA, London.

CUR/CIRIA 'Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering', 1991.

EAU 2004, 8th Edition, 'Recommendations of the committee for waterfront structures harbours and waterways'.

FUEHRER, M., Pohl, H. and RÖMISCH, K. 'Propeller jet erosion and stability criteria for bottom protections of various constructions'. PIANC Bulletin No. 58, 1987.

FUEHRER, M. and RÖMISCH, K. [1977] Effects of modern ship traffic on islands and ocean waterways and their structures. Proceedings 24th PIANC Congress, Leningrad, Russia, pp. 187-198.

FUEHRER, M. RÖMISCH, K. and Engelke, G. 'Criteria for dimensioning the bottom and slope protections and for applying the new methods of protecting navigation canals', PIANC 25th Congress, Edinburgh, 1981.

'Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways'. Supplement to Bulletin No. 57, PIANC, 1987.

HAMILL, G.A., QURRAIN, R.M.M. and JOHNSTON, H.T. [1996b] The influence of a revetment on diffusion of a propeller wash. PIANC Bulletin No. 91: 39-43.

HANSA 130, annual set 1993, Nr 8.

HANSA 131, annual set 1994, No 9.

HOAN, N.T. [2008] Stone stability under non-uniform flow, Delft University, Delft, The Netherlands.

HOFFMANS, G.J.C.M. and VERHEIJ, H.J. [1997] Scour manual. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands.

IGWR [2010] Bed and bank protection, Intern presentation by IGWR. IGWR, Rotterdam, The Netherlands.

‘Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering’. CIRIA Special Publication 83/ CUR Report 154, 1991

Longe, J-P., Hebert, P. and Byl, R. ‘Erosion problems at existing quay structures due to bow thrusters and main propellers of ships when berthing or leaving’ PIANC Bulletin No.58, 1987.

PIANC [1997] Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls. PIANC, Brussels, Belgium.

PIANC [2012] Guidelines for berthing structures related to thrusters. PIANC, Brussels, Belgium.

RÖMISCH, K. [2001] Scouring in front of quay walls caused by bow thrusters and new measures for its reduction. Proceedings 5th Int. Seminar on Renovation and Improvements to existing Quay Structures, Gdansk, Poland, pp. 1-11.

RÖMISCH, K. [2006] Erosion potential of bow thrusters on canal banks (in german). Binnenschiffahrt – ZfB 11.

RÖMISCH, K. and HERING, W. [2002] Input data of propeller induced velocities for dimensioning of bed protection near quay walls – a comment on existing recommendations. PIANC Bulletin 109(january 2002).

TRELLEBORG AB, 2008.

VERHEIJ, H.J. [1983] The stability of bottom and banks subjected to the velocities in the propeller jet behind ships. Proceedings 8th Int. Harbour Congress, Antwerp, Belgium, pp. 1-11.

