



Ακτομηχανική και λιμενικά έργα

Διάλεξη 15^η. Υδροδυναμικές Φορτίσεις
Παράκτιων Τεχνικών Έργων- Φορτίσεις ογκωδών σωμάτων

Εύα Λουκογεωργάκη
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

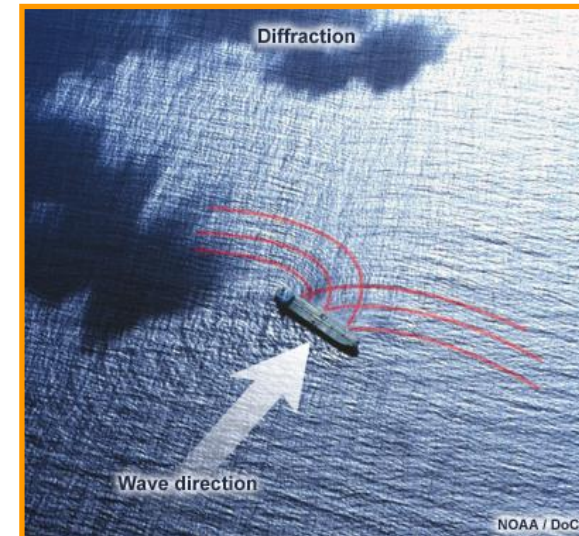


Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Γενικά (1)

- Όταν για ένα βυθισμένο σώμα:
 - (α) Η **χαρακτηριστική διάσταση** του σώματος D **ίδιας τάξης** με το **μήκος κύματος** L ($O[D]=O[L]$) \Rightarrow περίθλαση σημαντική
 - (β) Το **ύψος κύματος** H **μικρότερο** του D ($O[H/D]<0.1$) \Rightarrow μη ανάπτυξη οριακής στοιβάδας γύρω από την παράπλευρη επιφάνεια του σώματος (δύναμη σύρσης αμελητέα)

Ο υπολογισμός των υδροδυναμικών φορτίσεων $\Delta E N$ πραγματοποιείται με την **εξίσωση Morison**.

Στην περίπτωση αυτή το σώμα **επιδρά** στη **διαμόρφωση** του **κυματικού πεδίου** (ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ) \Rightarrow **Εφαρμογή Θεωρίας**. **Περίθλασης** (υπολογισμός συνισταμένης δύναμης λόγω πιέσεων στην επιφάνεια του σώματος μετά τον υπολογισμό του αναδιαμορφωμένου κυματικού πεδίου γύρω από το σώμα λόγω περίθλασης).



http://www.cityoforangebeach.com/pages/know_your_beach/ripcurrents/near_shore_formation/print.htm



Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Γενικά (2)

- **Περιγραφή πεδίου ροής:** Συνάρτηση Δυναμικού $\Phi(x,y,z,t)$ (παραδοχή αστρόβιλης ροής).
- Η **συνάρτηση δυναμικού Φ** για την περίπτωση εύρεσης υδροδυναμικής φόρτισης (θεώρησης ακίνητου σώματος) ισοδυναμεί με τη συνάρτηση δυναμικού λόγω περίθλασης (Φ_D) και αποτελείται από **δύο συνιστώσες** (γραμμικοί κυματισμοί, γραμμικοποίηση του προβλήματος).

$$\Phi \equiv \Phi_D = \Phi_i + \Phi_s$$

- Φ_i : **Συνάρτηση δυναμικού προσπίπτοντων κυματισμών** (γνωστή από θεωρία προωθούμενων κυματισμών σε δύο ή τρεις διαστάσεις), π.χ.

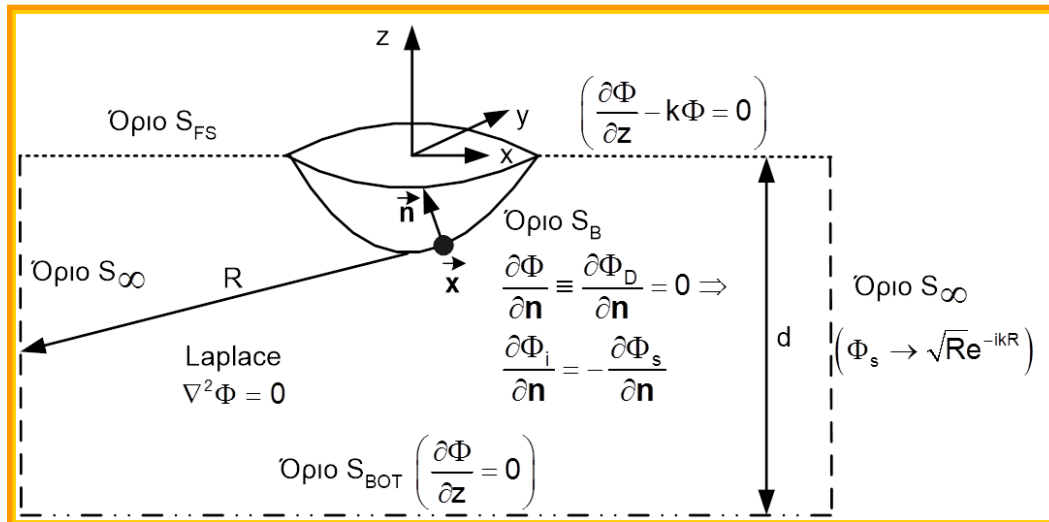
$$\Phi_i = \frac{igA}{\omega} \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} e^{-ikx \cos\beta - iky \sin\beta}$$

- Φ_s : **Συνάρτηση δυναμικού των κυματισμών που 'εκπέμπονται' από το σώμα λόγω διασκορπισμού** (πρέπει να υπολογιστεί).



Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Γενικά (3)

- **Μαθηματική διατύπωση:** Διαμόρφωση ενός Προβλήματος Συνοριακών Τιμών (Boundary Value Problem), το οποίο αποτελείται από διαφορικές εξισώσεις και συγκεκριμένες οριακές συνθήκες (ελεύθερη επιφάνεια, πυθμένας, σώμα, συνθήκη ακτινοβολίας) που περιγράφουν πλήρως τα διάφορα όρια αυτού.
- **Μαθηματική Επίλυση:** Μέθοδος Συνοριακών Ολοκληρωτικών Εξισώσεων



- **Πλήρης Δυναμική Ανάλυση Πλωτού Ογκωδούς Σώματος** \Rightarrow Συμπερίληψη ΚΙΝΗΣΗΣ σώματος \Rightarrow συμπερίληψη συναρτήσεων δυναμικού που εκφράζουν τους ακτινοβολούμενους λόγω της κίνησης του σώματος κυματισμούς.



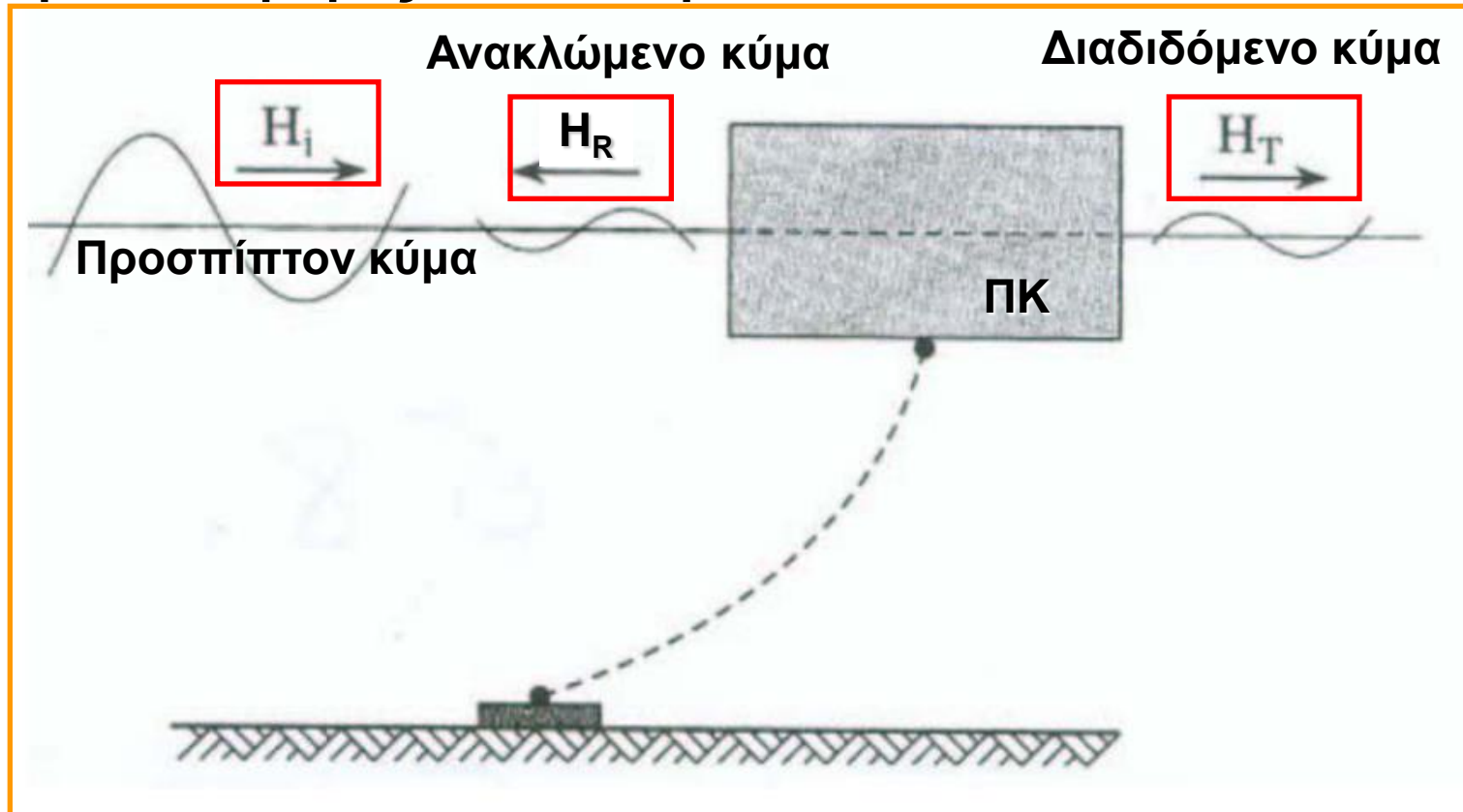
Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Πλωτοί Κυματοθραύστες (1)

- **Πλωτοί Κυματοθραύστες (ΠΚ):** Ογκώδεις κατασκευές που δεν είναι θεμελιωμένες στον πυθμένα (πλωτές) αλλά αγκυροβολούνται στον πυθμένα (ανάλογα με τον τρόπο αγκυροβόλησής τους έχουν δυνατότητα ταλάντωσης σε έναν ή περισσότερους βαθμούς ελευθερίας).
- **Σκοπός:** *Μείωση της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας* μέσω παρεμβολής τους στο ανώτερο τμήμα της στήλης νερού (τμήμα που περιέχεται το μεγαλύτερο μέρος της κυματικής ενέργειας).



Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Πλωτοί Κυματοθραύστες (2)

- **Παρεμβολή ΠΚ:** Μερική ανάκληση προσπίπτοντος κυματισμού και μερική διάδοση προς τα κατάντη



Λειτουργία ΠΚ (Σχήμα 9.13)



Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Πλωτοί Κυματοθραύστες (3)

- **Αποτελεσματικότητα ΠΚ:** Συντελεστής διάδοσης και Συντελεστής ανάκλασης.

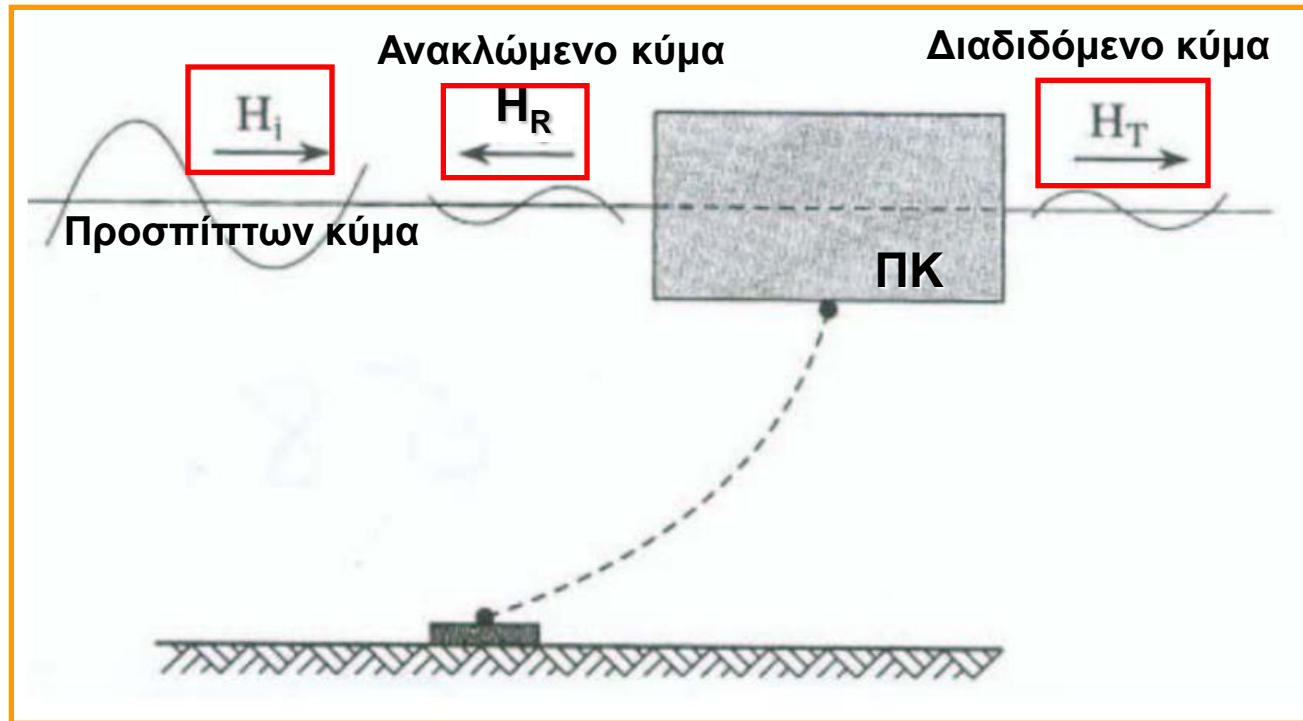
Συντελεστής διάδοσης

$$C_T = \frac{H_T}{H_i}$$

Συντελεστής ανάκλασης

$$C_R = \frac{H_R}{H_i}$$

$$H_i^2 \geq H_R^2 + H_T^2 \Rightarrow C_R^2 + C_T^2 \leq 1$$



Λειτουργία ΠΚ (Σχήμα 9.13)

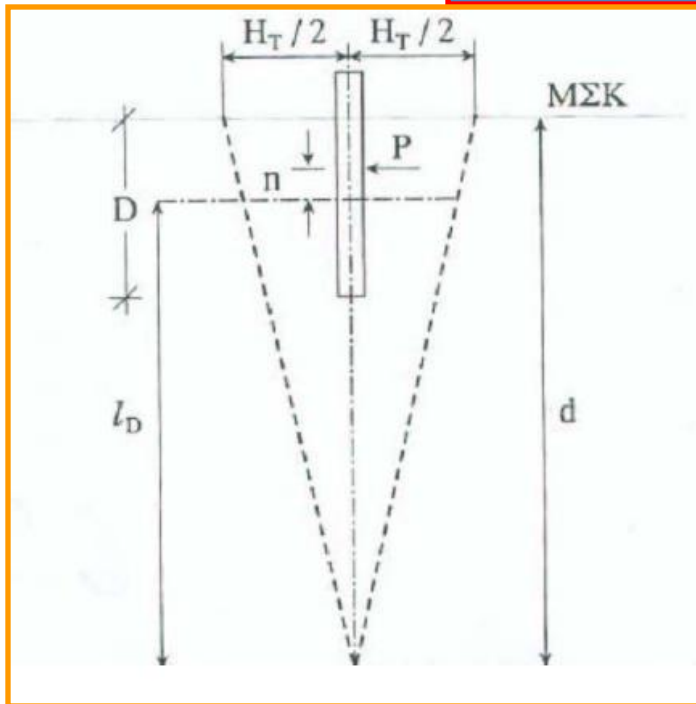


Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Πλωτοί Κυματοθραύστες (4)

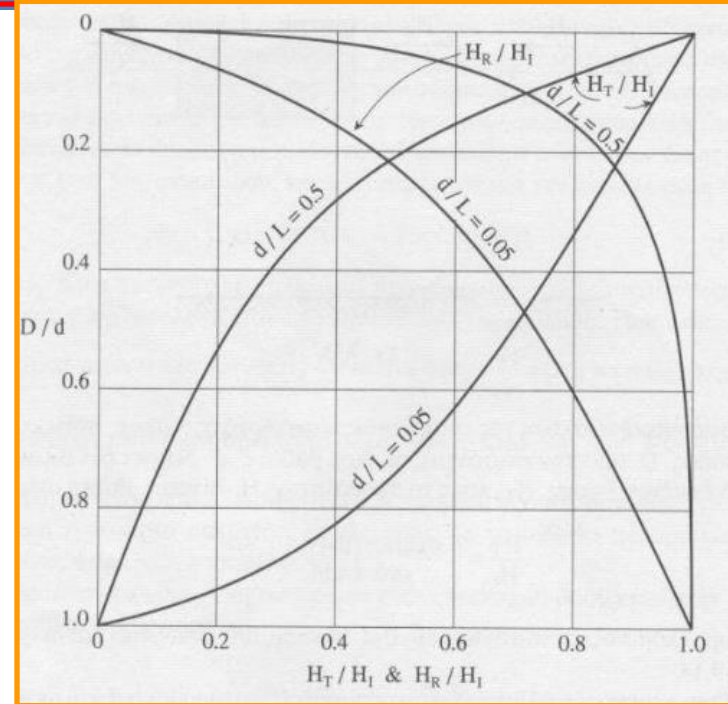
- Θεωρητική Ανάλυση Επιδράσεως Κατακόρυφης Πλάκας:

$$C_T = \frac{H_T}{H_i} = \left(\frac{\sinh \left[4\pi(d-D)/L \right]}{\sinh(4\pi d/L)} \right)^{1/2}$$

Αναλυτική
εξίσωση



Κατακόρυφη πλάκα (Σχήμα 9.14α)



Μεταβολή C_T και C_R (Σχήμα 9.14β)



Φορτίσεις Ογκωδών Σωμάτων: Πλωτοί Κυματοθραύστες (5)

- Για ΠΚ με δυνατότητα *κατακόρυφης ταλαντώσεως*, η *αποτελεσματικότητα* εξαρτάται και από την *ιδιοπερίοδο* της κατασκευής:

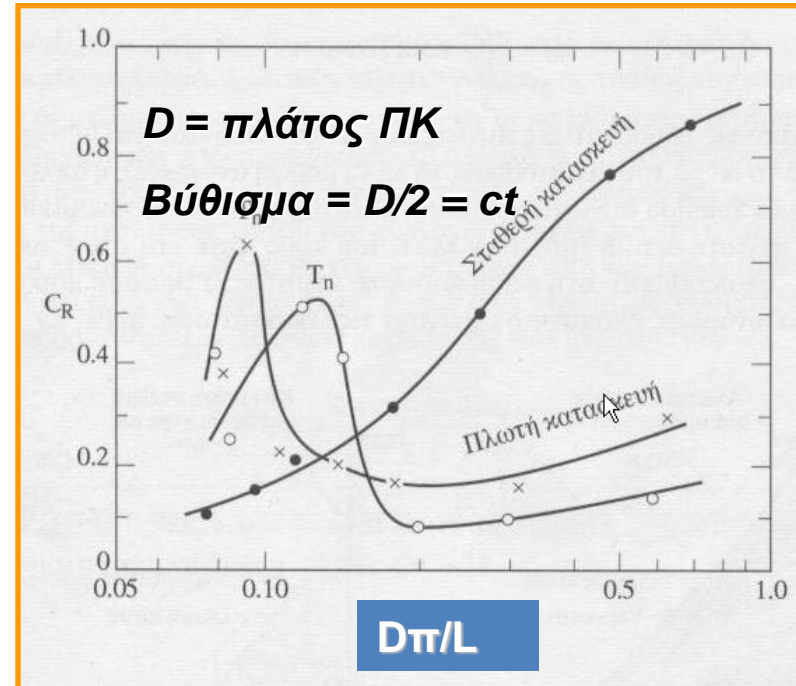
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{A\rho g}}$$

Αυτού του είδους ΠΚ εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι είναι *αποτελεσματικοί* όταν:

(α) η *κατά την κατεύθυνση διάστασή τους* (έστω B) είναι *παραπλήσια ή πολλαπλάσιο του μήκους κύματος* (για βραχείς ως προς το B κυματισμούς) ή/και

(β) *περίοδος κύματος* είναι *παραπλήσια με ιδιοπερίοδο του ΠΚ* (συντονισμός κατακόρυφης κίνησης \Rightarrow ακτινοβολούμενα κύματα με φάση αντίθετη από τη φάση του κύματος \Rightarrow αύξηση ποσοστού ανάκλασης).

όπου: M = μάζα του σώματος και A = εμβαδόν ίσαλης επιφάνειας



Μεταβολή C_R για σταθερό και αγκυροβολημένο ΠΚ (Σχήμα 9.15)



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (1)

- **Κατακόρυφα μέτωπα** (κρηπιδότοιχοι, μώλοι κ.α) διαμορφώνονται με τη χρήση σκυροδέματος ή πασσαλοσανίδων.
- **Φορτίσεις** λόγω **υδροστατικών** και **υδροδυναμικών** (κύμα) πιέσεων στο μέτωπο.
- Κατανομή **υδροδυναμικών πιέσεων**: Διαφοροποιείται ανάλογα με το εάν οι κυματισμοί που προσπίπτουν στο μέτωπο είναι θραυόμενοι ή όχι.
- Διακρίνονται **τρεις περιπτώσεις**:
 - (α) Αν $d > 1.5H$ (d βάθος στον πόδα του έργου και H ύψος προσπίπτοντος κύματος) τότε **οι κυματισμοί που προσπίπτουν στο μέτωπο δεν είναι θραυόμενοι.**
 - (β) Αν $d \approx d_b$ (d_b βάθος θραύσης) τότε **οι κυματισμοί που προσπίπτουν στο μέτωπο είναι θραυόμενοι.**
 - (γ) Αν $d < d_b$ τότε το μέτωπο **δέχεται τη δράση του κυματισμού μετά τη θραύση του, με τη μορφή κινούμενου υδραυλικού πλήγματος.**



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (2)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο)

- Κατανομή *υδροστατικών πιέσεων*: Τριγωνική από $MΣΗ$ έως $z = -d$
- *Πλήρης ανάκλαση κυματισμών* (ύπαρξη συνεχούς κατακόρυφου μετώπου χωρίς π.χ. οπές) \Rightarrow δημιουργία *στάσιμου κύματος* μπροστά από το κατακόρυφο μέτωπο \Rightarrow για πλάτος προσπίπτοντος κυματισμού $a = H/2$ το πλάτος του τελικά διαμορφωμένου κύματος είναι:
$$a' = (1 + C_R) * H/2 = H \text{ με } C_R = 1 \text{ (} C_R \text{ πρέπει } > 0.9)$$

- Επομένως, το *τελικά διαμορφωμένο κύμα* στο μέτωπο έχει ύψος H' ίσο με:

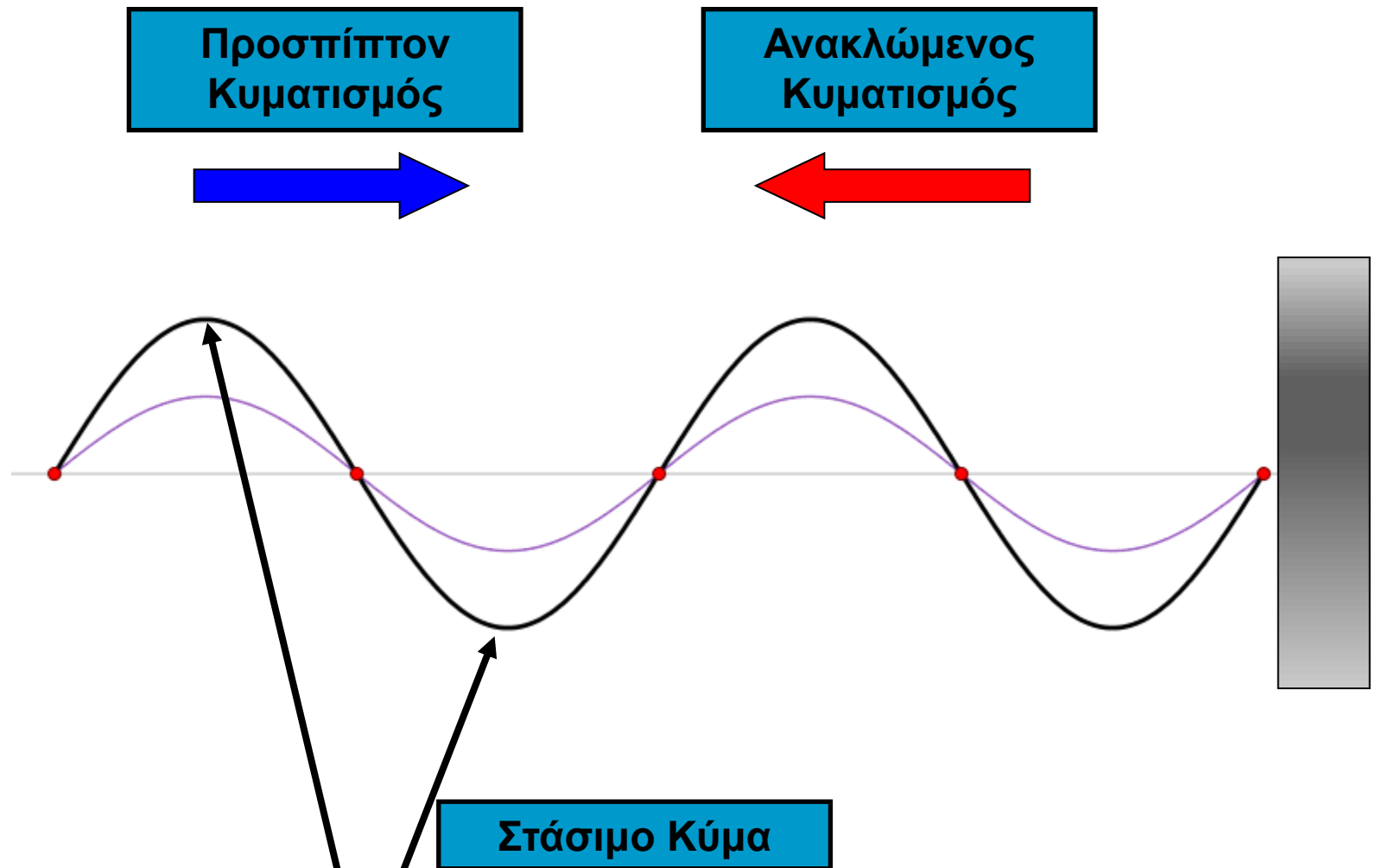
$$H' = 2a' = 2H \quad \text{ή ισοδύναμα}$$

$$H' = H + H_R = H + C_R H \xrightarrow{C_R = 1} H' = 2H$$

- *Αποφυγή ολικής υπερπήδησης* (με βάση τα παραπάνω): Ύψος στέψης από *ΜΣΚ* τουλάχιστον ίσο με H .



Στάσιμο Κύμα



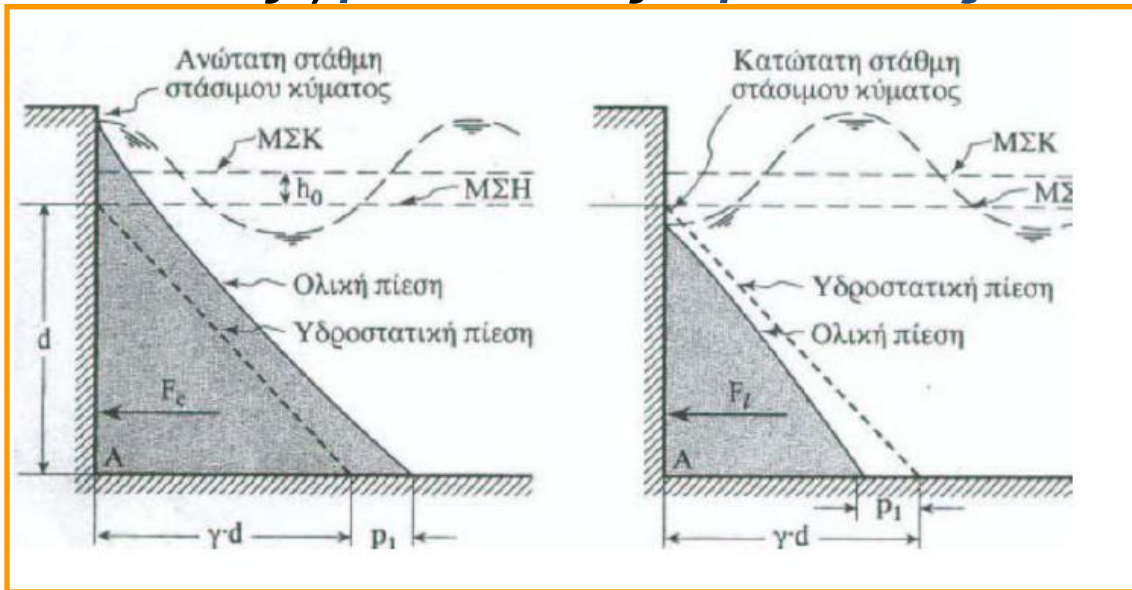
Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (3)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Η ΜΣΚ *δεν συμπίπτει* με τη ΜΣΗ: Ανύψωση ΜΣΚ από τη ΜΣΗ κατά h_o :

$$h_o = \frac{\pi H^2}{L} \coth(kd)$$

- Στη *φάση κορυφής* κύματος οι *υδροδυναμικές πιέσεις προστίθενται* στις *υδροστατικές*, ενώ στη *φάση κοιλιάς* του κύματος οι *υδροδυναμικές πιέσεις («υποπιέσεις»)* *μειώνουν* τις *υδροστατικές*.



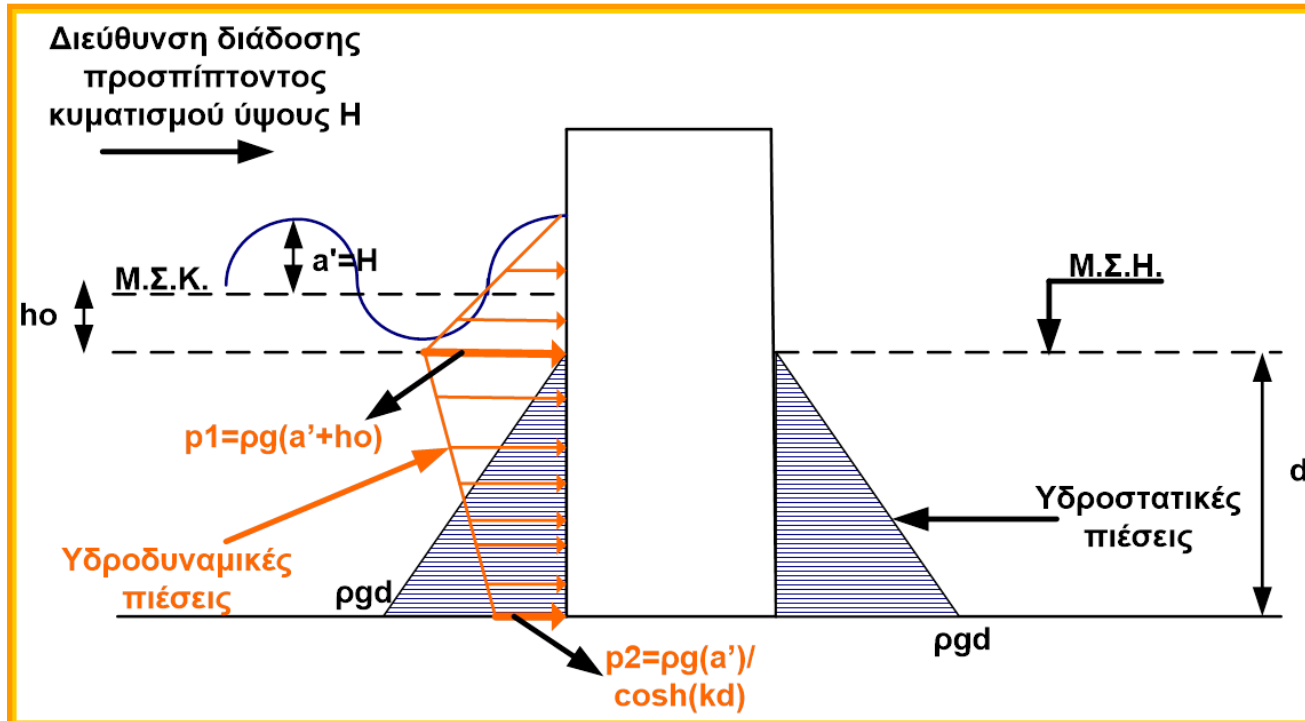
Κατανομή
υδροστατικών και
υδροδυναμικών
πιέσεων σε
κατακόρυφο μέτωπο
(Σχήμα 9.16)



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (4)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων: Απλοποιητική θεωρία Sainflou \Rightarrow γραμμική κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων .



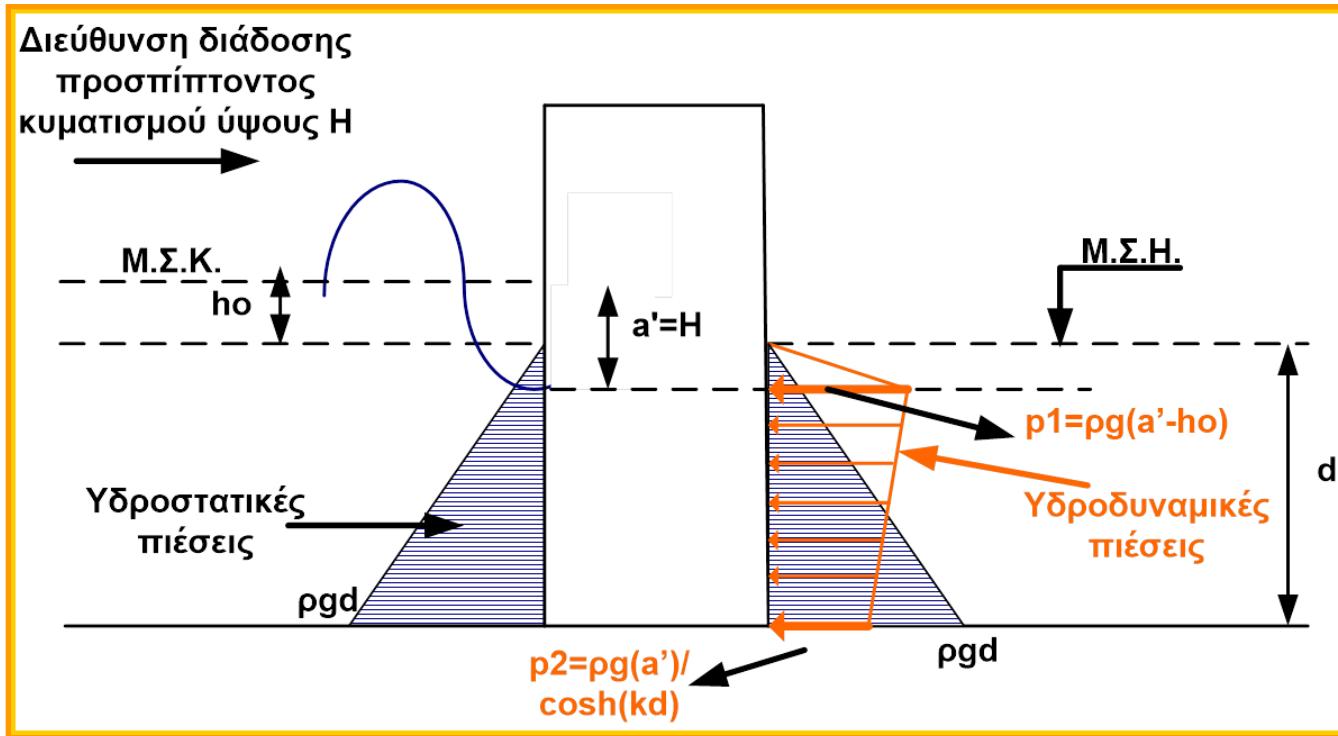
Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών (φάση κορυφής) πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο (θεώρηση ύπαρξης νερού και στις 2 παρειές του μετώπου, π.χ. κυματοθραύστης)



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (5)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων: Απλοποιητική θεωρία Sainflou \Rightarrow γραμμική κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων.

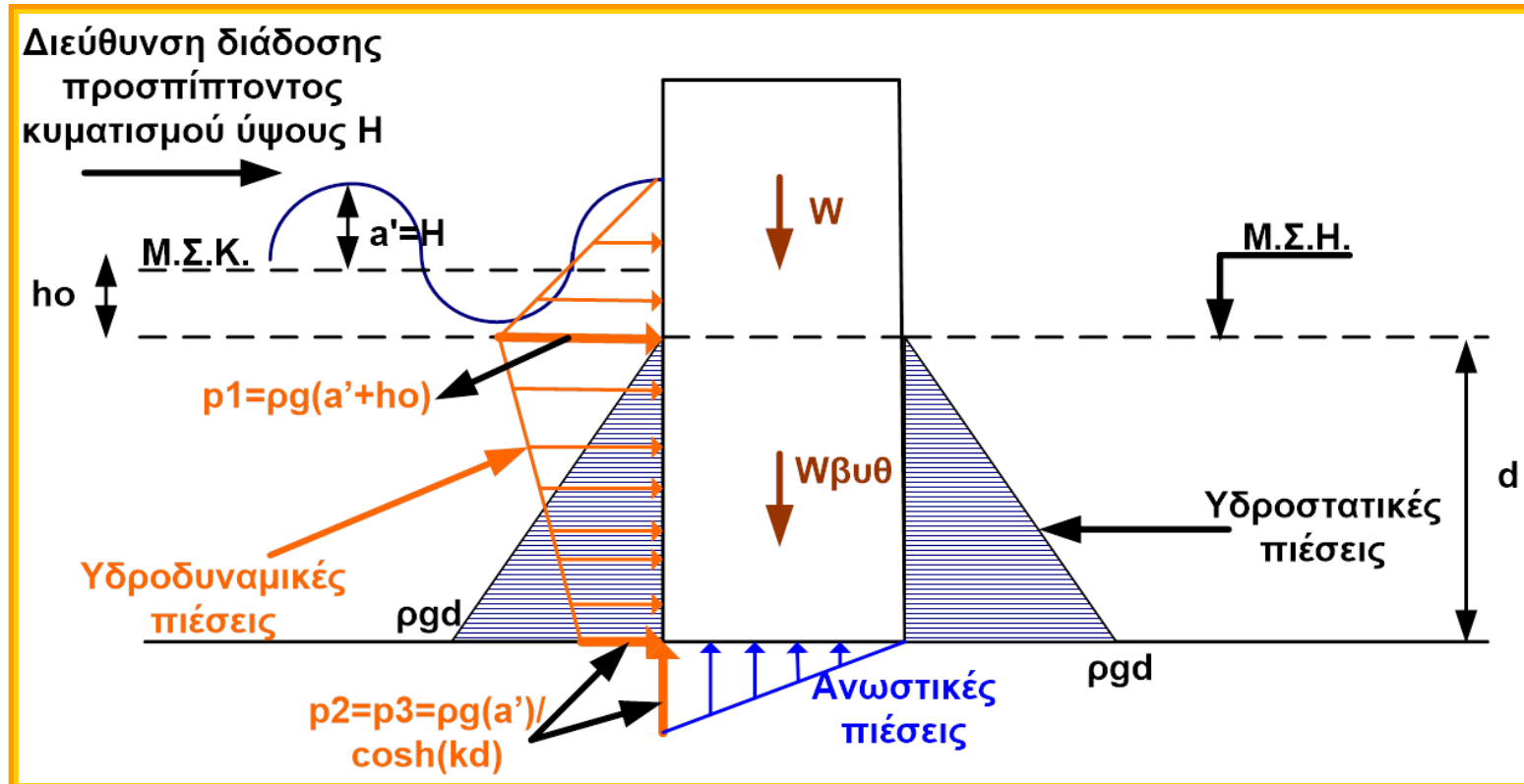


Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών (φάση κοιλιάς) πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο (θεώρηση ύπαρξης νερού και στις 2 παρειές του μετώπου, π.χ. κυματοθραύστης)



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (6)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)



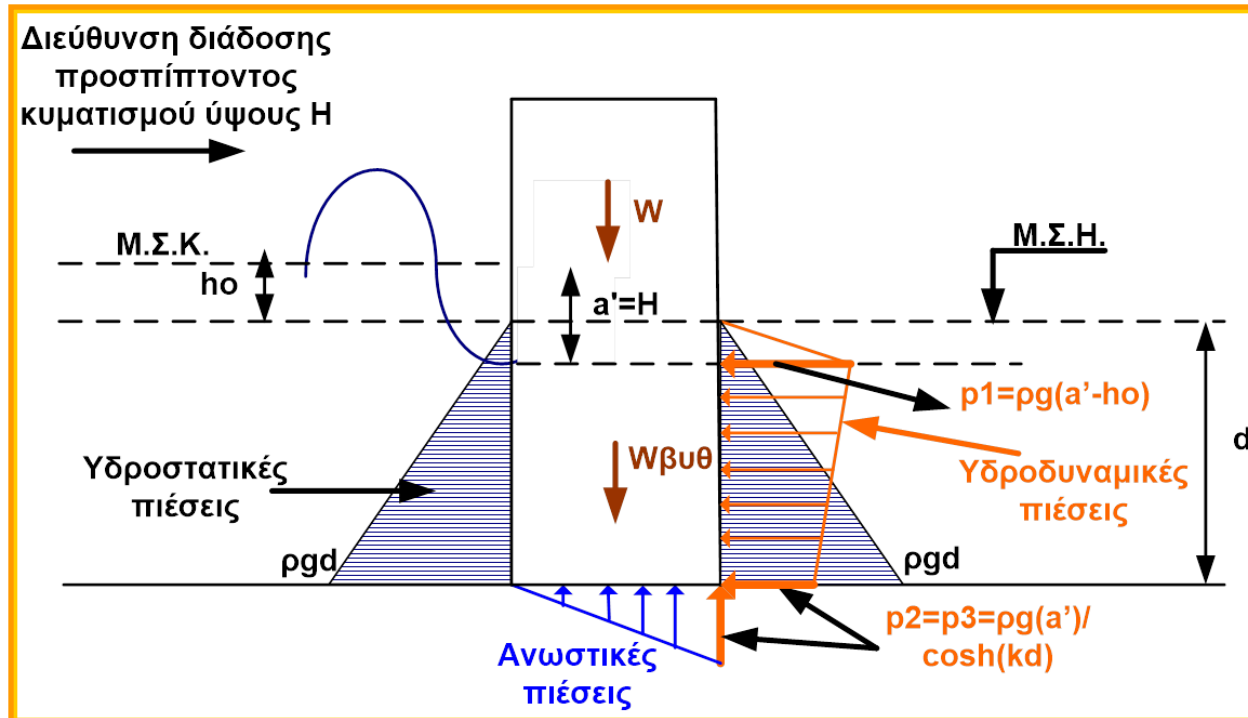
Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών (φάση κορυφής) πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο (θεώρηση ύπαρξης νερού και στις 2 παρειές του μετώπου, π.χ. κυματοθραύστης) + Δυνάμεις και πιέσεις στην κατακόρυφο



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (7)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων: Απλοποιητική θεωρία Stainflou \Rightarrow γραμμική κατανομή υδροδυναμικών πιέσεων.



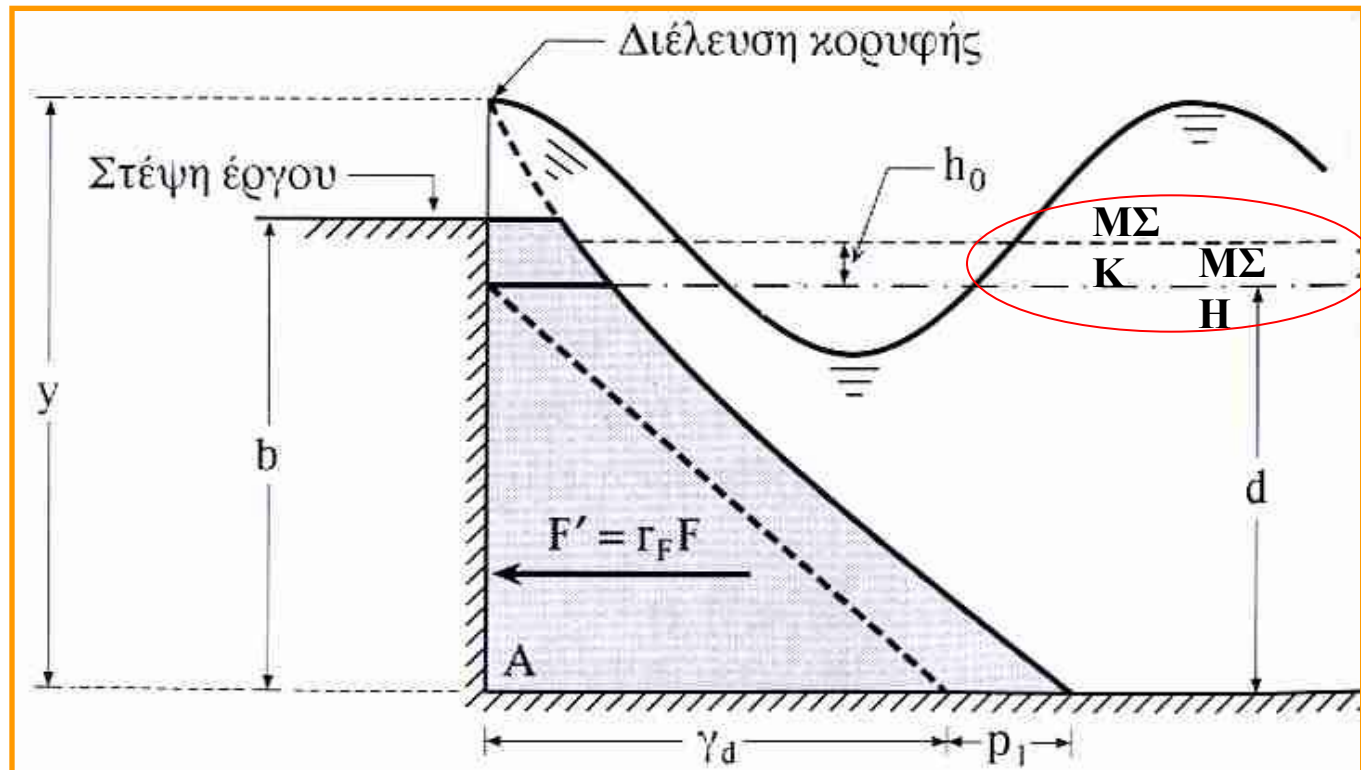
Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών (φάση κοιλιάς) πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο (θεώρηση ύπαρξης νερού και στις 2 παρειές του μετώπου, π.χ. κυματοθραύστης) + Δυνάμεις και πιέσεις στην κατακόρυφο



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (8)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Όταν η στέψη του έργου από $MΣΗ$ χαμηλότερη από $h_0 + (1 + C_R) \cdot H/2 \Rightarrow$ οι πιέσεις λαμβάνονται με την ίδια κατανομή αλλά από τη στέψη του έργου και κάτω



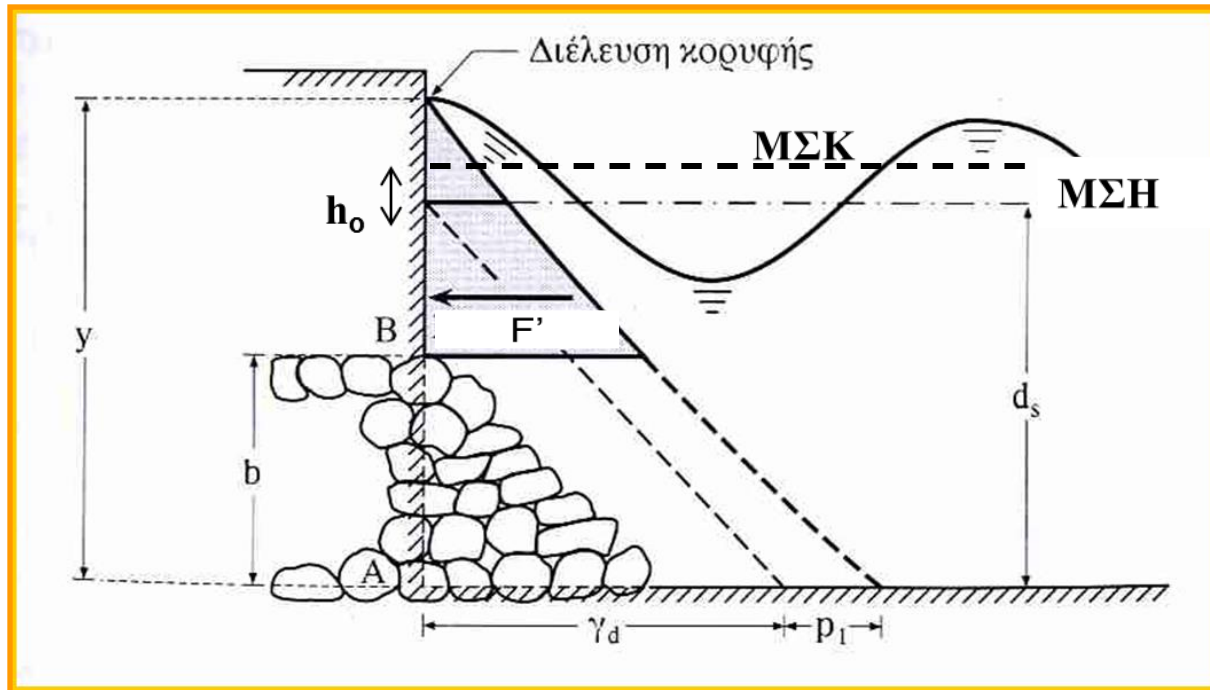
Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο με ύψος στέψης μικρότερο από ανώτατη στάθμη στάσιμου κύματος (Σχήμα 9.17)



Φορτίσεις Κατακόρυφων Μετώπων (9)

(α) Φορτίσεις στην περίπτωση $d > 1.5H$ (μη θραυόμενο κύμα στο μέτωπο) (συνέχεια...)

- Όταν το κατακόρυφο μέτωπο εδράζεται σε λιθορριπή \Rightarrow οι πιέσεις λαμβάνονται με την ίδια κατανομή αλλά με αφαίρεση του τμήματος του διαγράμματος πιέσεων που «αντιστοιχεί» στην περιοχή της λιθορριπής



Προϋπόθεση εφαρμογής των παραπάνω:
Λιθορριπή έδρασης αρκετά διαπερατή και περιορισμένων διαστάσεων ώστε να αναπτύσσεται πλήρως το στάσιμο κύμα

Κατανομή υδροστατικών και υδροδυναμικών πιέσεων σε κατακόρυφο μέτωπο που εδράζεται σε λιθορριπή



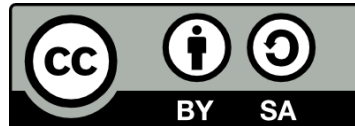
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λουκογεωργάκη Εύα.
«Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Υδροδυναμικές Φορτίσεις Παράκτιων
Τεχνικών Έργων-Φορτίσεις ογκωδών σωμάτων». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη
2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS425/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

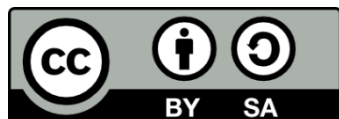
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Μαυρίδου Σοφία>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό Εξάμηνο 2013-2014>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

