



Μάθημα: ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

7^ο Κεφάλαιο : Κρίσιμη διατμητική τάση

Καθηγητής **Φώτιος Π. Μάρης**

7.1 Θεωρητικό υπόβαθρο διατμητικής τάσεως

Θεωρούμε ότι ο πυθμένας και τα πρηνή ανοικτού αγωγού είναι επιστρωμένα με στερεά σωματίδια ομοιομόρφου μεγέθους τα οποία είναι δυνατόν να μετατοπισθούν.

Έστω ότι ο φυσικός ή τεχνητός αυτός ανοικτός αγωγός παροχετεύει ρευστό.

Αν υποθέσουμε ότι η διατομή είναι σταθερή σε όλο το μήκος του αγωγού και ότι η ροή είναι σταθερή ως προς τον χρόνο.

7.1 Θεωρητικό υπόβαθρο διατμητικής τάσεως

Καθώς αρχίζει η ροή, οι υδροδυναμικές δυνάμεις εξασκούνται σε όλα τα σωματίδια του πυθμένα και των πρανών.

Εάν αυξηθεί η ταχύτητα ροής του ρευστού προφανώς θα αυξηθούν και οι δυνάμεις που ενεργούν στα σωματίδια αυτά.

Τα πρώτα σωματίδια θα αρχίζουν να μετακινούνται όταν δεν θα μπορούν να υπερνικήσουν τις υδροδυναμικές δυνάμεις οι οποίες δρουν πάνω σε αυτά.

Η πρώτη αυτή κίνηση των σωματιδίων ονομάζεται **κρίσιμη συνθήκη** και επιστημονικά έχει γίνει προσπάθεια να εξηγηθεί με διάφορους τρόπους κυριότεροι των οποίων είναι:

- α) θεωρία κρίσιμων ταχυτήτων,
- β) κρίσιμη διατμητική τάση,
- γ) θεωρία ανυψωτικής δυνάμεως

Από τεχνικής άποψης πρέπει να δοκιμασθεί η σταθερότητα του πυθμένα και των πρανών, ούτως ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση από τα ρέοντα ρευστά. Παλαιότερα η θεωρία κρίσιμων ταχυτήτων υποχρέωνε τον καθορισμό για κάθε ένα υλικό επικαλύψεως ένα ανώτατο όριο ταχύτητας που υποτίθεται εξασφάλιζε την σταθερότητα του πυθμένα και των πρανών, βλέπε Πίνακα 7.2. Η διεθνής πραγματικότητα προσανατολίζεται στην χρήση της κρίσιμου διατμητικής τάσεως T_{ocr} .

Κατά την θεωρία η ανάπτυξη διατμητικής τάσεως εντός ενός ανοικτού αγωγού μεγάλου πλάτους, με ομοιόμορφες συνθήκες ροής, με κλίση S_o και βάθος ύδατος h_n είναι:

$$\tau_0 = \rho g h_n S_o \quad (7.1)$$

Γενικά, όταν το πλάτος του αγωγού δεν θεωρείται ότι είναι μεγάλο, ισχύει η εξίσωση:

$$\tau_o = \rho g R S_o \quad (7.2)$$

Ονομάζεται κρίσιμη διατμητική τάση τ_{ocr} η διατμητική τάση πέρα από την οποία τα υλικά του πυθμένα αρχίζουν να μετακινούνται. Εάν ονομασθεί ως κρίσιμη διατμητική ταχύτητα η u^* (m/s), τότε η παρακάτω εξίσωση συσχετίζει την διατμητική ταχύτητα και την διατμητική τάση,

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} \quad (7.3)$$

Η καμπύλη του Shields, βλέπε Graf (1984), προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$\frac{\tau_{ocr}}{(\rho_s - \rho) gh} = \text{συνάρτηση} \left(\frac{hu_*}{\nu} \right) \quad (7.4)$$

όπου ρ_s (kg/m^3) η πυκνότητα του υλικού επικάλυψης του πυθμένα και των πρανών και ρ (kg/m^3) η πυκνότητα του ρέοντος ρευστού.

7.2 Απλές εξισώσεις υπολογισμού κρίσιμης διατμητικής τάσεως

Για υλικά επικαλύψεως μέσης διαμέτρου: $d > 0.006 \text{ m}$, ισχύει βλέπε Graf (1984),

$$\tau_{ocr} = 0.076(\rho_s - \rho)h \quad \text{kg}^*/\text{m}^2 \quad (7.5)$$

Για υλικά διαμέτρου: $0.0001 < d < 0.003 \text{ m}$, ισχύει,

$$\tau_{ocr} = 0.000285(\rho_s - \rho)h^{1/3} \quad \text{kg}^*/\text{m}^2 \quad (7.6)$$

ενώ ισχύει μεταβατική ζώνη μεταξύ των παραπάνω δύο περιπτώσεων.

Στην περίπτωση αδρών, μη συνεκτικών υλικών η κρίσιμος διατμητική τάση εκφράζεται ως Kg^*/m^2 με τον ίδιο αριθμό όπως και η διάμετρος των υλικών η οποία εκφράζεται σε cm στην οποία αντιστοιχεί το 75.0% των υλικών με μικρότερη διάμετρο. Η διάμετρος αυτή υπολογίζεται από τη καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως και παριστάνεται με το d_{75} . Με περιθώριο ασφαλείας, Lencastre (1987), είναι,

$$\tau_{ocr} (\text{Kg}^*/\text{m}^2) = 0.8d_{75} (\text{cm}) \quad (7.7)$$

Η παραπάνω εξίσωση εφαρμόζεται για υλικά με πυκνότητα ίση προς $2560.0 \text{ Kg} / \text{m}^3$.

7.3 Επίδραση των πρανών

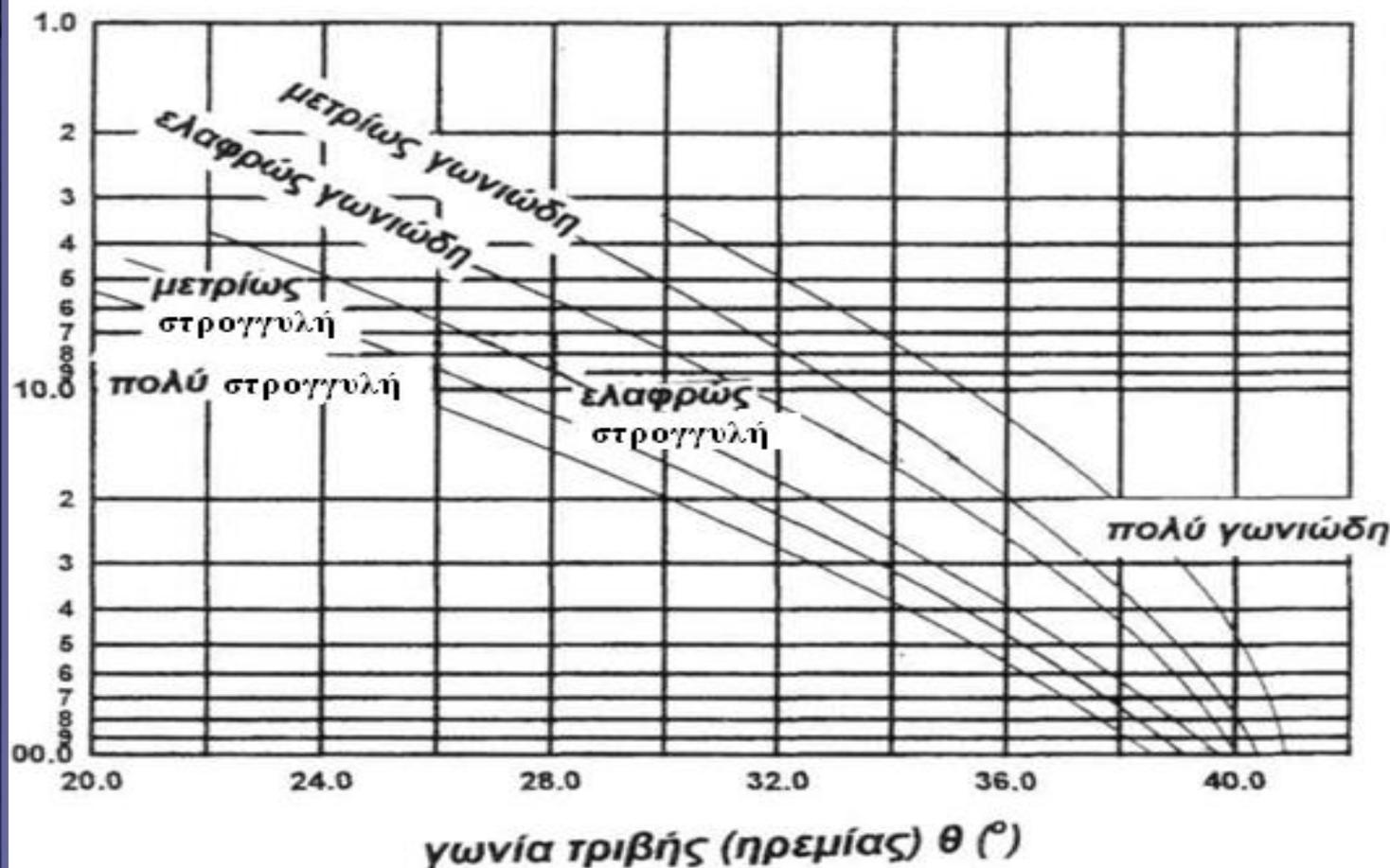
Στην περίπτωση σχεδόν οριζόντιου πυθμένα ανοικτών αγωγών, η έναρξη της μεταφοράς των υλικών εξαρτάται αποκλειστικά από τη κρίσιμη διατμητική τάση T_{ocr} . Η διατμητική αυτή τάση είναι το τελικό αποτέλεσμα των υδροδυναμικών δυνάμεων οι οποίες ωθούν τα σωματίδια προς τα κατάντη στην διεύθυνση ροής. Επί των πρανών όμως εκτός των υδροδυναμικών δυνάμεων υπάρχουν και οι δυνάμεις βαρύτητας οι οποίες ωθούν τα σωματίδια στην διεύθυνση κλίσεως των πρανών. Στην περίπτωση αδρού υλικού και μη-συνεκτικού και από πρακτική άποψη οι επιπλέον αυτές δυνάμεις μπορούν να εκφραστούν από ένα συντελεστή K ο οποίος ορίζεται από το λόγο της αναγκαίας κρίσιμης διατμητικής τάσεως για τη μετακίνηση του υλικού των πρανών προς την κρίσιμη διατμητική τάση για την μετακίνηση του ίδιου υλικού όταν αυτό βρίσκεται τοποθετημένο επί του οριζόντιου πυθμένα. Άρα,

$$\tau'_{ocr} = K \tau_{ocr} \quad (7.8)$$

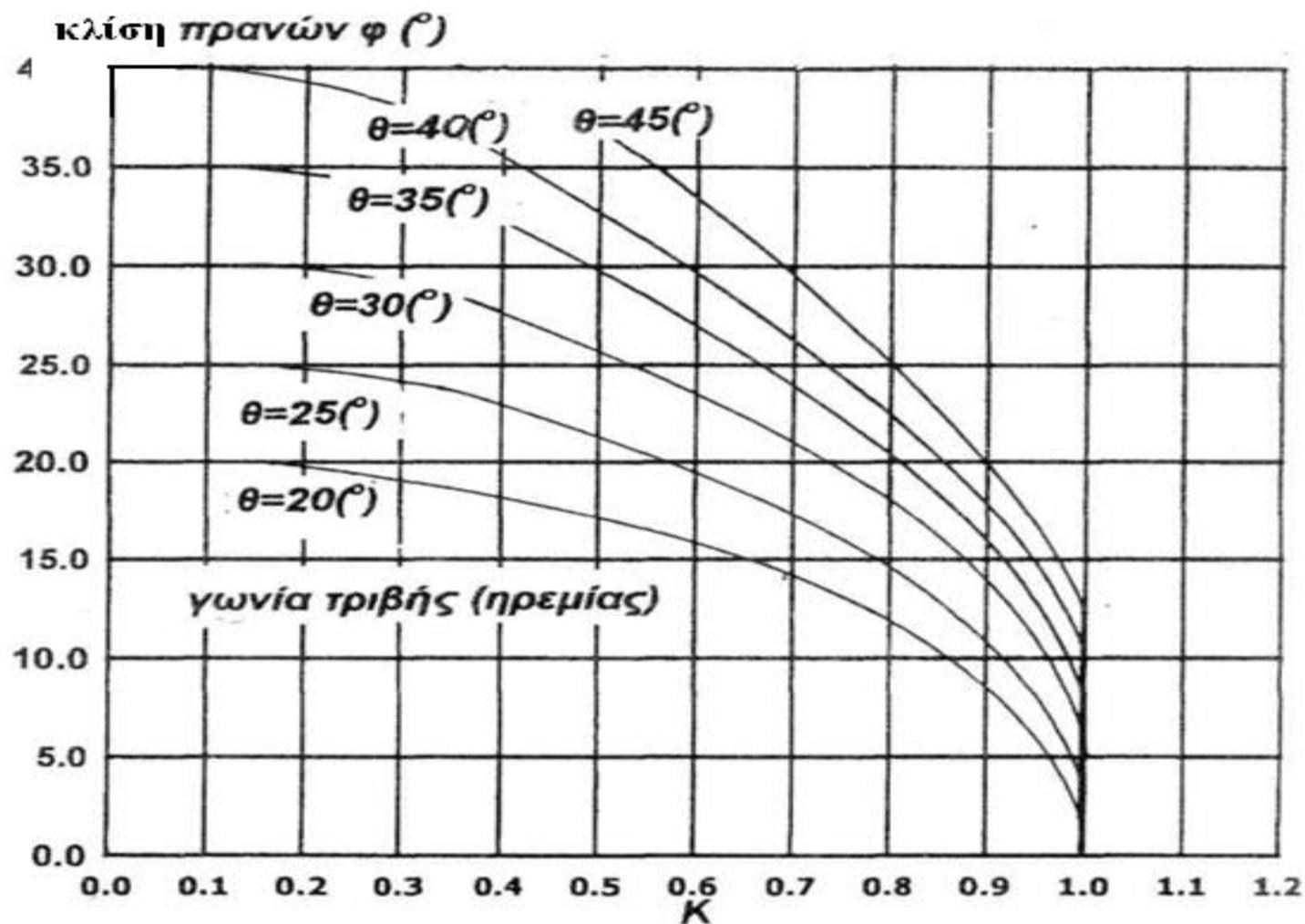
Η τιμή του συντελεστή K δίνεται, ως,
$$K = \sigma \nu \varphi \sqrt{1 - \frac{\varepsilon \varphi^2 \varphi}{\varepsilon \varphi^2 \theta}} \quad (7.9)$$

όπου φ η γωνία των πρανών του ανοικτού αγωγού με το οριζόντιο επίπεδο και θ η **γωνία τριβής** του υλικού. Οι τιμές των θ και K δίνονται από τα Σχήματα 7.1. και 7.2.

διάμετρος υλικών (mm)



Σχήμα 7.1 Μεταβολή της γωνίας ηρεμίας με τη διάμετρο στην περίπτωση αδρών μή-συνεκτικών υλικών



Σχήμα 7.2 Μεταβολή του συντελεστή K με τη γωνία των πρανών φ μετρημένη σε οριζόντιο επίπεδο