

# Δίκτυα καταιονισμού, άρδευση στο αγροτεμάχιο

Επιμέλεια: Δρ Μ. Σπηλιώτης  
Κείμενα –σχήματα Τσακίρης 2008  
Και κατά τις παραδόσεις του  
Κ.Κ.Μπέλλου

# Άρδευση με καταιονισμό

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι ο όρος "άρδευση με καταιονισμό" αναφέρεται συνήθως στη μέθοδο εφαρμογής του αρδευτικού νερού. Όμως, όπως είναι ευνόητο, η μέθοδος εφαρμογής συνδέεται άμεσα με τό δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Έτσι στη μέθοδο εφαρμογής με καταιονισμό η μεταφορά και η διανομή του νερού γίνεται με δίκτυο κλειστών σωληνωτών αγωγών υπό πίεση χωρίς βέβαια να αποκλείονται οι περιπτώσεις που η μεταφορά να γίνεται με δίκτυο ανοικτών αγωγών και το δίκτυο εφαρμογής να χρησιμοποιεί αντλητικό συγκρότημα για τη λειτουργία των εκτοξευτήρων.

Όπως γίνεται φανερό η μέθοδος καταιονισμού διαφέρει από τη μέθοδο επιφανειακής αρδεύσεως κατά το ότι απαιτεί κάποιο υδραυλικό φορτίο για την λειτουργία των εκτοξευτήρων και την εφαρμογή του αρδευτικού νερού.

# Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου με καταιονισμό σε σχέση με τη μέθοδο επιφανειακής αρδεύσεως μπορούν να συμπυκνωθούν στα παρακάτω :

- Ποιοτικά καλύτερη εφαρμογή του αρδευτικού νερού (μεγαλύτερος βαθμός ομοιομορφίας διανομής).
- Καλύτερος έλεγχος εφαρμογής του νερού (δυνατότητα εφαρμογής του ύψους που απαιτείται, δυνατότητα εφαρμογής μικρών δόσεων).
- Δυνατότητα αρδεύσεως εδαφών και περιοχών μη κατάλληλων για επιφανειακή άρδευση (εδάφη μεγάλης διηθητικότητας, γεωργικές εκτάσεις με μεγάλη κλίση). Για την άρδευση με καταιονισμό δεν είναι απαραίτητη η συστηματοποίηση των εδαφών.
- Δυνατότητα αξιοποίησεως μικρών παροχών νερού.
- Δυνατότητα χρήσης του δικτύου για άλλους σκοπούς (π.χ. αντι-παγετική προστασία).

Και μικρότερες απώλειες

Λιγότερη εξάρτηση από την τοπογραφία

Αν η μέθοδος καταιονισμού συνδεθεί και με το αντίστοιχο δίκτυο μεταφοράς και διανομής με σωληνωτούς αγωγούς υπό πίεση (συλλογικά δίκτυα) στα πλεονεκτήματα της μεθόδου εντάσσονται και τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος διανομής " με ελεύθερη ζήτηση" δηλαδή της ικανοποίησης των αναγκών των καλλιεργειών όταν υπάρχει ανάγκη ανεξάρτητα από τη σειρά αρδύσεως του αγροτεμαχίου που πρέπει συνήθως να τηρείται κατά την λειτουργία των δικτύων ανοικτών αγωγών.
- Δυνατότητα διανομής του αρδευτικού νερού κατ' όγκον που έχει βέβαια άμεση σχέση με τον καλύτερο έλεγχο εφαρμογής του νερού.
- Οικονομία γεωργικής εκτάσεως με την υπόγεια τοποθέτηση των σωληνώσεων. Στα δίκτυα ανοικτών αγωγών ένα σημαντικό ποσοστό της εκτάσεως ( 5 - 15% της εκτάσεως) καλύπτεται από το δίκτυο των διωρύγων.
- Η χάραξη του δικτύου δεν εξαρτάται από το ανάγλυφο του εδάφους και επομένως το συνολικό μήκος του δικτύου είναι μικρότερο. Αντίθετα στα δίκτυα διωρύγων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ισοψείς καμπύλες του εδάφους.
- Η χάραξη δεν εξαρτάται από τα όρια των ιδιοκτησιών
- Οι απώλειες νερού κατά την μεταφορά και διανομή είναι ελάχιστες. Στα δίκτυα ανοικτών αγωγών ένα σημαντικό ποσοστό του μεταφερόμενου νερού χάνεται α) με βαθειά διήθηση β) με την εξάτμιση γ) με τις απώλειες "λειτουργίας" (κατά την εκ περιτροπής λειτουργία η εκκένωση του νερού των διωρύγων στις αντίστοιχες ταφρους αλλά και ο έλεγχος της παροχής στις διώρυγες με απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων νερού δημιουργούν μεγάλες απώλειες νερού).
- Η συντήρηση και διαχείριση του αρδευτικού δικτύου είναι λιγότερο δαπανηρή. Για τη διαχείριση απαιτούνται ελάχιστα εργατικά χέρια και για εύκολες σχετικά εργασίες.
- Η δυνατότητα χρησιμοποίησης αυτοματισμών είναι ευκολότερη στα δίκτυα υπό πίεση.

# Καταιονισμός

Καταιονισμός Επιβάλλεται:

- Σε ανάγλυφο ανώμαλο ή με έντονες κλίσεις
- Όταν δεν επιτρέπεται ισοπέδωση (μικρό πάχος εδάφους)
- Όταν η διαθέσιμη παροχή είναι μικρή
- Έδαφος πολύ διαπερατό ή αδιαπέρατο
- Λειψυδρία

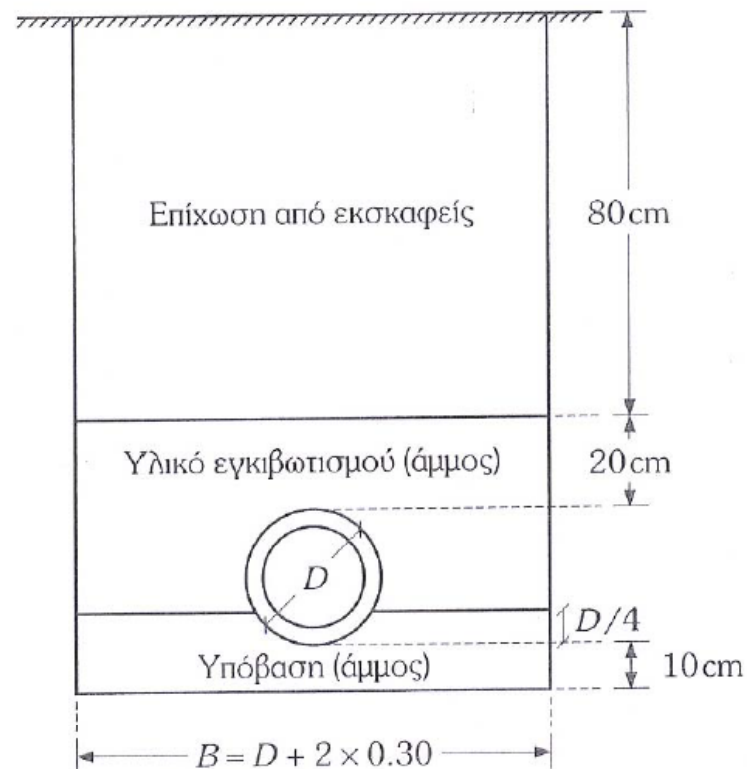
Δεν επιτρέπεται:

- Όταν η ταχύτητα ανέμου  $> 4-5 \text{ m/s}$
- Για αέρα ξηρό με ηλιακή ακτινοβολία (εξάτμιση)
- Όταν το νερό άρδευσης περιέχει με άλατα (εμφράξεις – εγκαύματα)
- Όταν το νερό άρδευσης περιέχει φερτές ύλες

# Μέρη Δικτύου

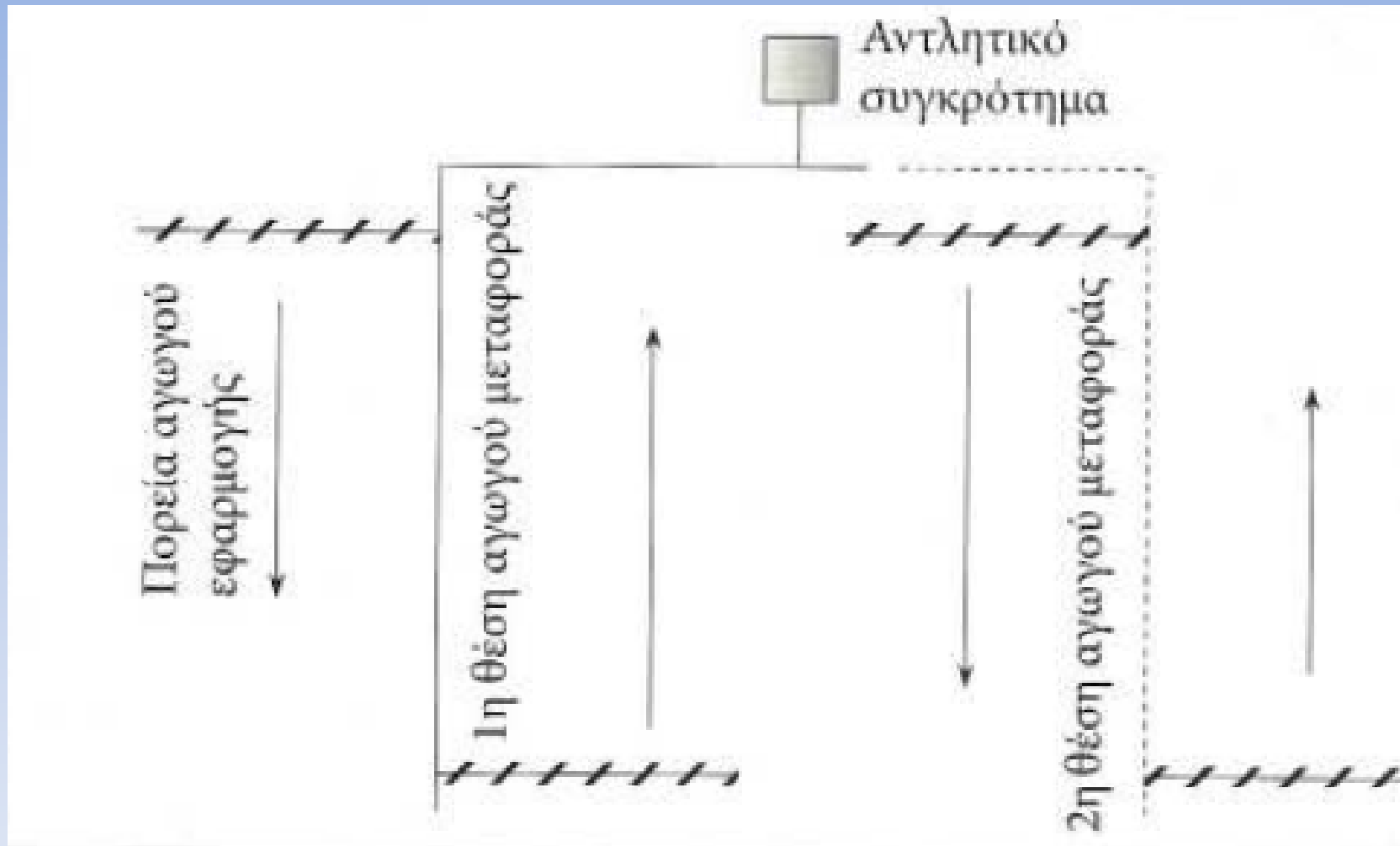
- Υδροληψία
- Κύρια γραμμή
- Γραμμή εφαρμογής

# Συλλογικό δίκτυο μέχρι υδροστόμια (μόνιμο ακτινωτό δίκτυο κλειστών αγωγών υπό πίεση με εκσκαφή)



Σχ. 8.55: Τυπική διατομή ορύγματος εκσκαφής.

# Κινητά και μη μέρη





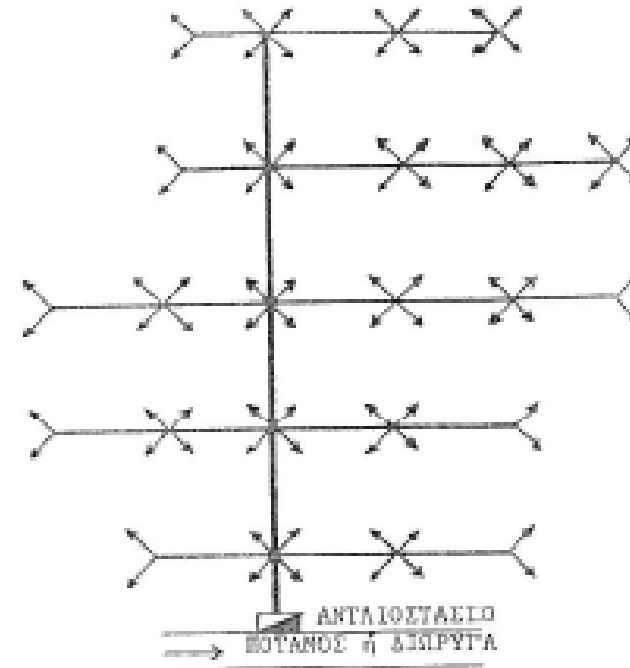
# Ατομικά και συλλογικά δίκτυα

-7.5-



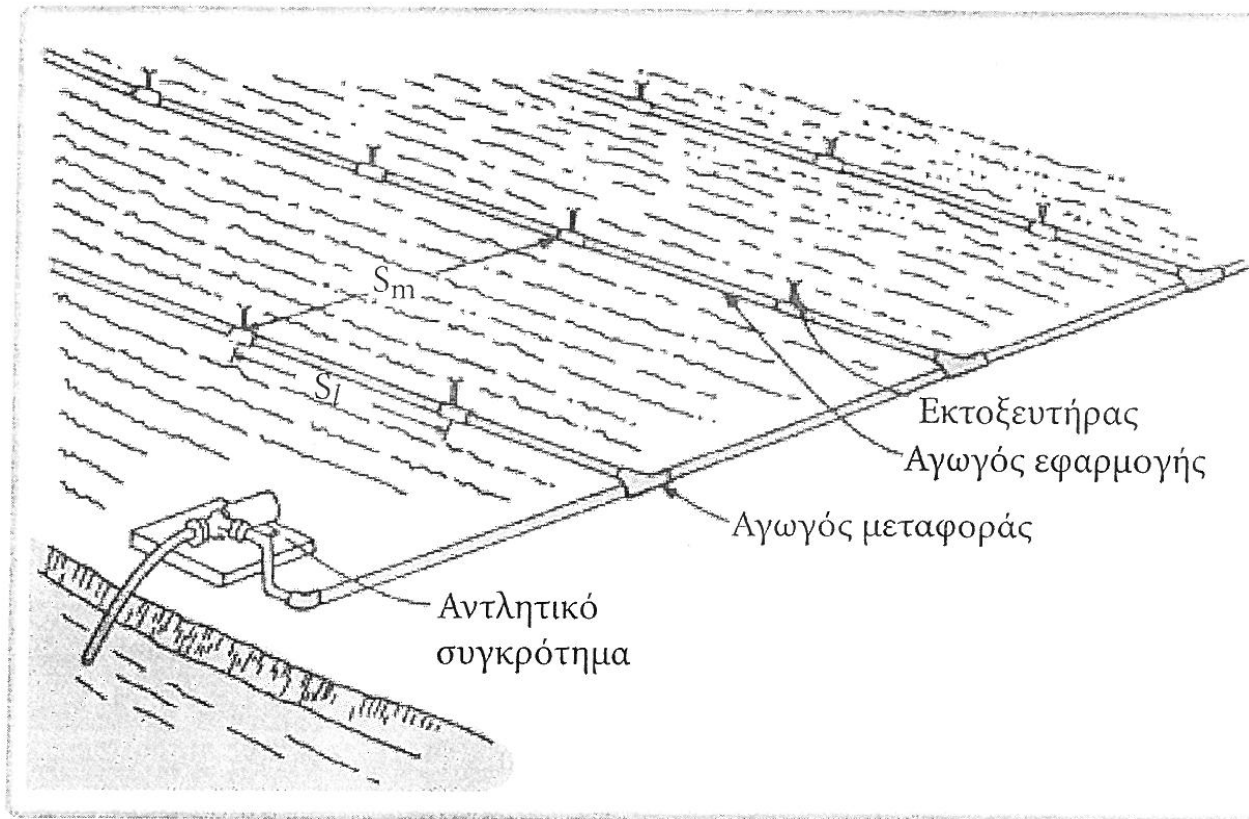
Εχ. 7.1

Τυπικό ατομικό δίκτυο αρδύσεως με καταλονισμό

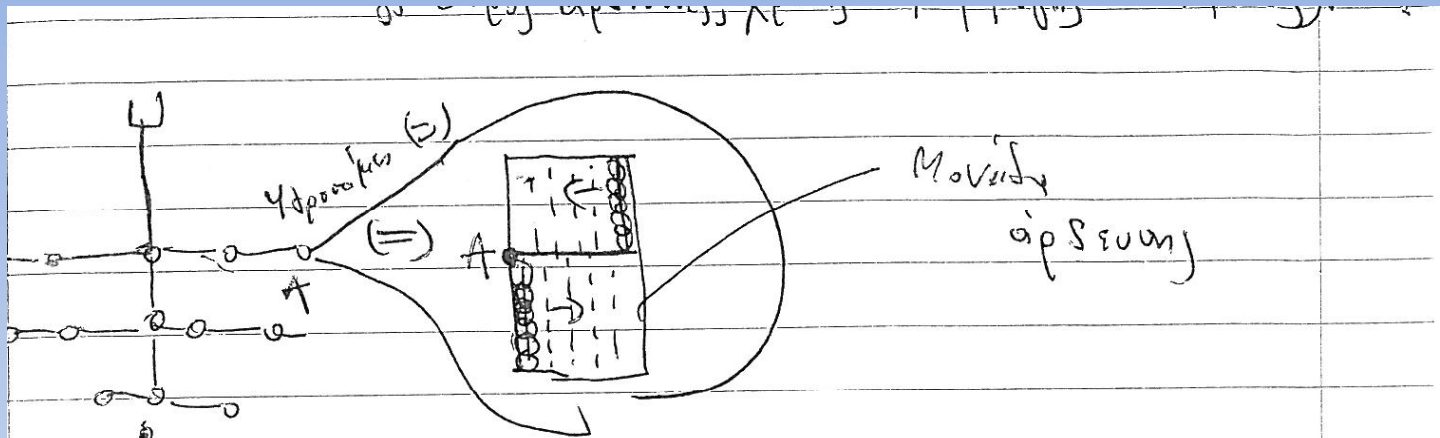


Εχ. 7.2

Τυπικό συλλογικό δίκτυο αρδύσεως με καταλονισμό



Σχήμα 10.2. Τυλικό σύστημα καταιονισμού.



Συλλογή ύδατος

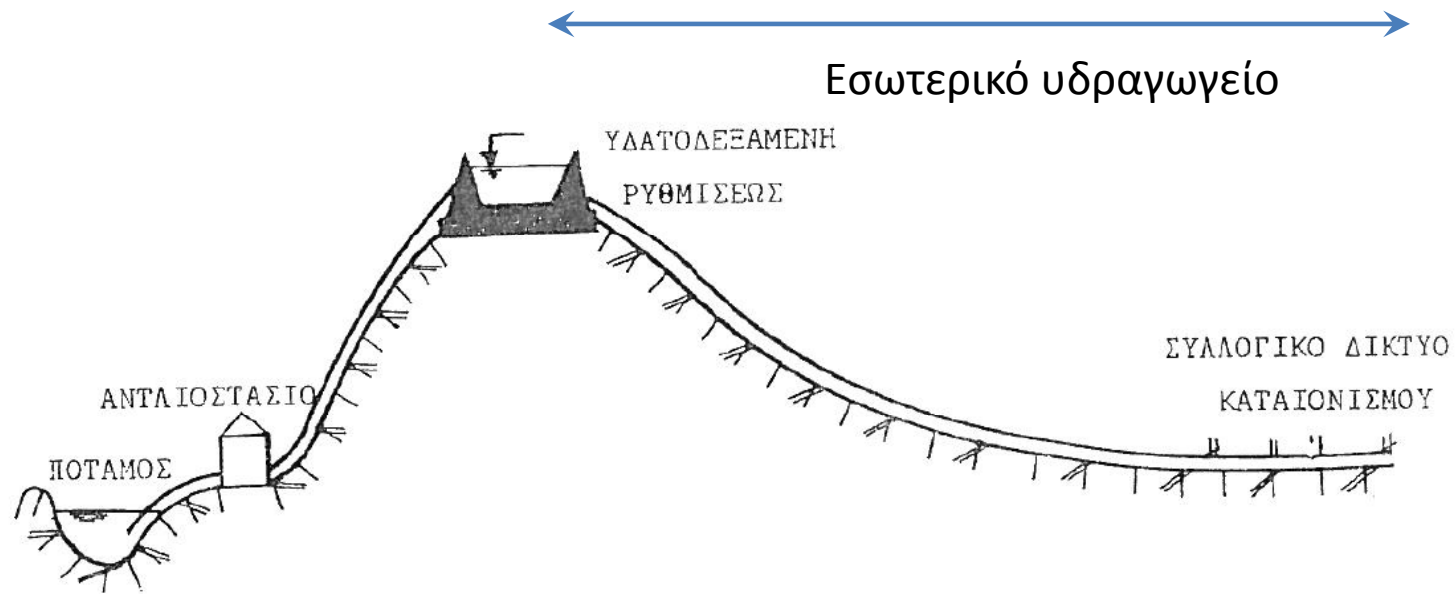
- κόμβοι Υδροδότησης: Αποθήκευση ύδατος, από τη μονάδα άρδευσης
- Άλλοι κόμβοι (εγκαταστάση επίγειου, υδρακτικού κλπ) από  $h_p > 0$ .



# Υδροστόμιο

Τα συλλογικά δίκτυα αρδύσεως με καταιονισμό στην απλούστερη μορφή τους μοιάζουν κατά βάση με τα ατομικά δίκτυα με τη διαφορά ότι το δίκτυο μεταφοράς και διανομής είναι συνήθως ένα ακτινωτό δίκτυο με υδροστόμια για την εξυπηρέτηση των αγροτεμαχίων. Από κάθε υδροστόμιο ενός συλλογικού δικτύου ξεκινά ένα ατομικό δίκτυο.

# Εξωτερικό και Εσωτερικό Υδραγωγείο



Σχ. 7.3 Συλλογικό δίκτυο καταίονισμού με υδατοδεξαμενή ρυθμίσεως

# Μόνιμα και κινητά μέρη

Τα δίκτυα αρδεύσεως με καταιονισμό διακρίνονται σε μόνιμα, αν όλα τα τμήματα του δικτύου είναι μόνιμα, σε ημιμόνιμα, αν μόνο οι γραμμές αρδεύσεως μετακινούνται κατά την άρδευση, και φορητά (συνήθως μικρά ατομικά δίκτυα) όταν όλα τα τμήματα του δικτύου είναι φορητά.

Τα συλλογικά δίκτυα είναι συνήθως ημιμόνιμα δίκτυα. Έχουν δηλαδή το υπόγειο - μόνιμο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ενώ το τμήμα του δικτύου από το υδροστόμιο μέχρι το αγροτεμάχιο, είναι επιφανειακό, μετακινούμενο ανάλογα με τις ανάγκες. Μόνιμα δίκτυα υπάρχουν συνήθως σε αποδοτικές και ευαίσθητες καλλιέργειες και όπου η μεταφορά των σωληνώσεων κατά την άρδευση είναι προβληματική. Στα μόνιμα δίκτυα το κόστος των εργατικών είναι πολύ μικρό ενώ αντίθετα το αρχικός κόστος εγκαταστάσεως είναι πολύ μεγάλο.



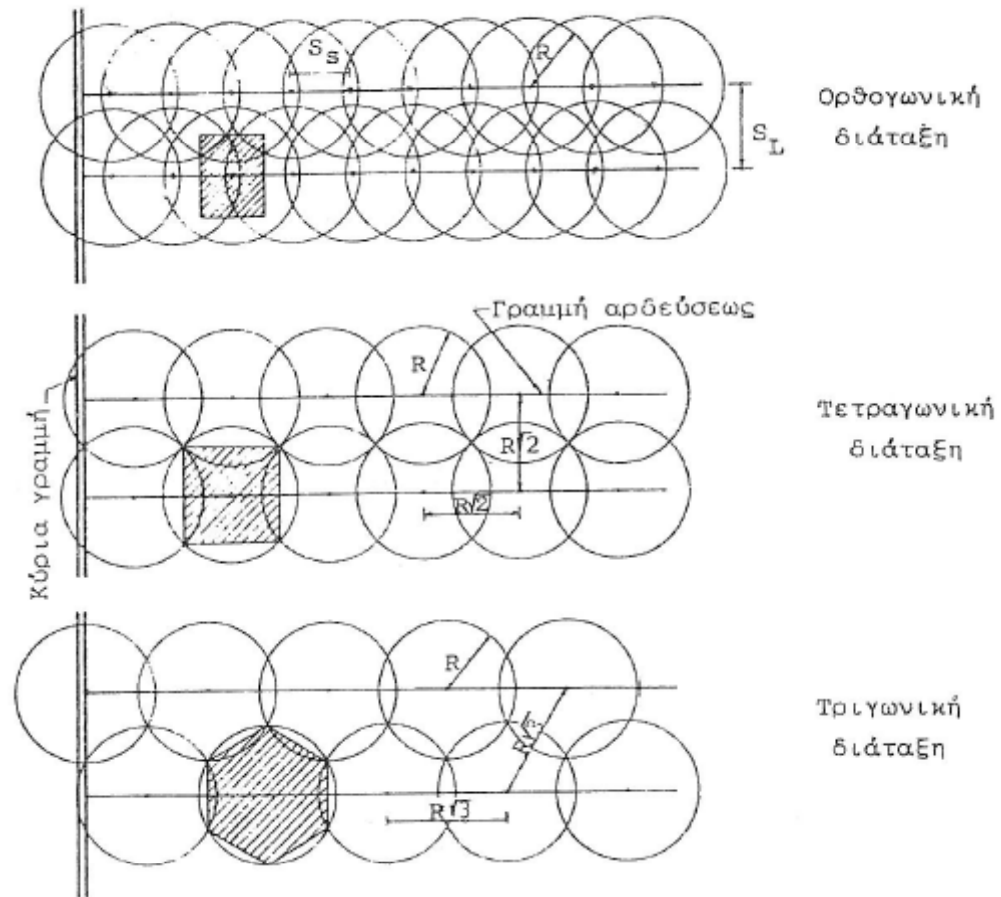
# Εκτοξευτήρες

Από τα πολλά είδη εκτοξευτήρων που υπάρχουν στο εμπόριο τον μελετητή των δικτύων καταιονισμού ενδιαφέρουν κυρίως οι περιστροφόμενοι εκτοξευτήρες που διακρίνονται ανάλογα με την πίεση λειτουργίας (Σχ. 7.7) σε:

- α) εκτοξευτήρες χαμηλής πιέσεως (1-3 Atm, Ακτίνα διαβροχής 6 - 15 m)
- β) εκτοξευτήρες μέσης πιέσεως (3-5 Atm, Ακτίνα διαβροχής 15 - 35 m)
- γ) εκτοξευτήρες υψηλής πιέσεως (5-8 Atm, Ακτίνα διαβροχής 35 - 70 m)

Συνήθως στα συλλογικά δίκτυα καταιονισμού προτείνονται από τους μελετητές γραμμές αρδεύσεως με εκτοξευτήρες χαμηλής ή μέσης πιέσεως (sprinklers). Οι εκτοξευτήρες μεγάλης πιέσεως (guns) δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στα συλλογικά δίκτυα κυρίως λόγω του μεγάλου πιεζομετρικού φορτίου που απαιτείται για τη λειτουργία τους και της ανομοιόμορφης διανομής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Οι εκτοξευτήρες μεγάλης πιέσεως χρησιμοποιούνται μόνο σε ατομικά δίκτυα ή όταν η μετατόπιση των γραμμών αρδεύσεως είναι δύσκολη.





Σχ. 7.8 Διατάξεις εκτοξευτήρων

# Διάταξη και έλεγχος ομοιομορφίας

Για τον έλεγχο του σχεδιασμού ενός δικτύου από την πλευρά της ομοιομορφίας της κατανομής του αρδευτικού νερού χρησιμοποιείται συνήθως ένας ή περισσότεροι συντελεστές ομοιομορφίας. Κατά τον έλεγχο ο αντίστοιχος συντελεστής ομοιομορφίας, που υπολογίζεται από την τελική κατανομή της αντιπροσωπευτικής εκτάσεως (αρδευόμενη έκταση μεταξύ τεσσάρων εκτοξευτήρων), πρέπει να υπερβαίνει το κατώτατο επιτρεπόμενο όριο.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία για τον υπολογισμό των συντελεστών ομοιομορφίας ο έλεγχος της καταλληλότητας των παραμέτρων σχεδιασμού (τύπος και χαρακτηριστικά εκτοξευτήρα, διάταξη κτλ) γίνεται με τα ακόλουθα εμπειρικά κριτήρια:

Ορθογωνική διάταξη:

$$S_s \leq R$$

$$S_L \leq 1.5 R$$

όπου R η ακτίνα διαβροχής του εκτοξευτήρα για την κανονική πίεση λειτουργίας που παίρνεται από τους πίνακες των κατασκευαστών

Τετραγωνική διάταξη:

$$S_s = S_L \leq R\sqrt{2}$$

Τριγωνική διάταξη:

$$S_s \leq R\sqrt{3}$$

$$S_L \leq \sim 2R$$

# Μέση ένταση εφαρμογής, ορθογωνική διάταξη (1)

$$r = \frac{1000 \cdot q}{S_s \cdot S_L} \frac{\eta_{\text{πν}}}{\eta_{\text{ν}}} \quad (7.1)$$

$r$  είναι η μέση ένταση εφαρμογής του αρδευτικού νερού (mm/hr)

$q$  είναι η παροχή του εκτοξευτήρα ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) και

$S_s$  και  $S_L$  είναι η ισαποχή εκτοξευτήρων και γραμμών αρδεύσεως αντίστοιχα (m).

Για τον υπολογισμό της παροχής του εκτοξευτήρα όταν είναι γνωστή η επιθυμητή ένταση εφαρμογή η Εξ. 7.1 λύνεται ως προς  $q$ . Σ αυτή την περίπτωση η επιθυμητή ένταση εφαρμογής παίρνεται στην περιοχή της τελικής διηθητικότητας του εδάφους ( $i_f$ , mm/hr). (Συνήθως  $r = i_f$ ).

# Μέση ένταση εφαρμογής

## (1) Τυποποίηση εκτοξευτήρων με 2 ακροφύσια

Πιν. 7.5 Τμήμα πίνακα εκτοξευτήρα με δύο ακροφύσια.

Αποστάσεις ακροφυσίου σε m	Πίεση σε atm	Ποροχή σε $\frac{m^3}{hr}$	Διάμετρος βελώνων σε mm	Ένταση εφαρμογής, mm/hr				
				Αποστάσεις σε m				
				6 x 12	12x12	12x15	12x18	18x18
5.5x4.2	1.5	2.02	29	28.3	13.9	11.3	9.3	6.3
	2.0	2.33	30	32.6	16.1	13.0	10.7	7.2
	2.5	2.59	31	36.3	17.9	14.5	11.9	8.0
	3.0	2.83	32	39.6	19.5	15.8	13.0	8.8
	3.5	3.06	33	42.8	21.1	17.1	14.1	9.5
	4.0	3.27	35	45.8	22.6	18.3	15.0	10.1
	4.5	3.47	35	48.6	23.9	19.4	16.0	10.8

# Ύψος γραμμικών απωλειών ενέργειας

Γραμμικές απώλειες φορτίου

Η γενικά αποδεκτή εξίσωση υπολογισμού των γραμμικών απωλειών φορτίου σε ένα ευθύγραμμο σωληνωτό αγωγό 1-2 (Σχ. 7.17) είναι η εξίσωση των Darcy - Weisbach που γράφεται

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2 \cdot 2g} \quad (7.19)$$

όπου  $h_f$  είναι η διαφορά πιεζομετρικού φορτίου μεταξύ των δύο διατομών 1 και 2 (m)

$L$  είναι το μήκος του αγωγού (m)

$D$  είναι η εσωτερική διάμετρος (m)

$v$  είναι η μέση ταχύτητα (m/sec)

$g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>) και

$f$  είναι ένας αδιάστατος συντελεστής τριβών

$$= f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{\frac{\pi^2 D^2}{16}}$$

$$= f \frac{L}{D^3} \frac{Q^2 \cdot 16}{2g\pi^2}$$

$$D \uparrow \Rightarrow h_f \downarrow$$

## Διάμετρος ταχύτητα και γραμμικές απώλειες, γενικοί κανόνες

- Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι μικρή (οικονομική διάμετρος) οδηγεί σε πολλαπλάσια μεγάλες απώλειες
- Σε εγγειοβελτιωτικά έργα και έργα υδρεύσεις πόλεων θεωρούνται ταχύτητες μεταξύ 0.5-1.5 (περίπου) m/s
- Με βάση την παροχή και τον περιορισμό ταχύτητας επιλογή διάμετρο του εμπορίου

# Συντελεστής τριβής $f$

όπου  $R_e$  είναι ο αριθμός Reynolds που είναι αδιάστατος και υπολογίζεται από την σχέση:

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (7.21)$$

με  $\nu$  το κινηματικό ιξώδες του νερού ( $m^2/sec$ )

Για τους σωλήνες του εμπορίου όπου η ροή είναι τυρβώδης ( $R_e > 2000$ ) οι Colebrook και White στηριζόμενοι σε πειραματικά δεδομένα του Nikuradse πρότειναν την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση γνωστή ως "παγκόσμια εξίσωση για σωλήνες του εμπορίου" :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right] \quad (7.22)$$

- Για  $Re < 2100$  η ροή είναι στρωτή και ο συντελεστής τριβής μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.14)$$

- Για τιμές μεταξύ  $2100 < Re < 4000$  όπου πραγματοποιείται η μετάβαση από τη στρωτή στην τυρβώδη ροή υπάρχει αστάθεια στη ροή.
- Για τιμές  $Re > 4000$  μπορεί με ικανοποιητική ακρίβεια να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση των Colebrook - White.
- Για τυρβώδη ροή και λείους σωλήνες ( $k/D \rightarrow 0$ ) ο συντελεστής τριβής εξαρτάται μόνο από τον αριθμό  $Re$  και συγκεκριμένα η αύξηση του αριθμού  $Re$  οδηγεί σε μείωση του συντελεστή τριβής:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{λείοι σωλήνες}) \quad (2.15)$$

Η περίπτωση των λείων σωλήνων περιγράφεται από την κάτω καμπύλη που περιβάλλει το διάγραμμα Moody. Παρατηρήστε ότι για μικρές τιμές της τραχύτητας και ένα εύρος τιμών  $Re$  οι καμπύλες του συντελεστή τριβής συγκλίνουν στην καμπύλη των λείων σωλήνων. Η χρήση νέων υλικών που χαρακτηρίζονται από μικρή τραχύτητα έδωσε αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον στην προσέγγιση των λείων σωλήνων (Larock et al., 2000).

- Η αύξηση του αριθμού  $Re$  οδηγεί σε μείωση του συντελεστή τριβής  $f$  ενώ από ένα σημείο και πέρα για αγωγό δεδομένης τραχύτητας, ο συντελεστής τριβής δεν αλλάζει με την περαιτέρω αύξηση του αριθμού  $Re$ . Επίσης, όσο αυξάνεται η τραχύτητα αυξάνεται και ο συντελεστής τριβής  $f$ . Για μεγάλες τιμές του αριθμού  $Re$  και σημαντική τραχύτητα ο συντελεστής τριβής εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή της σχετικής τραχύτητας:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3.7D} \right) \quad (2.16)$$

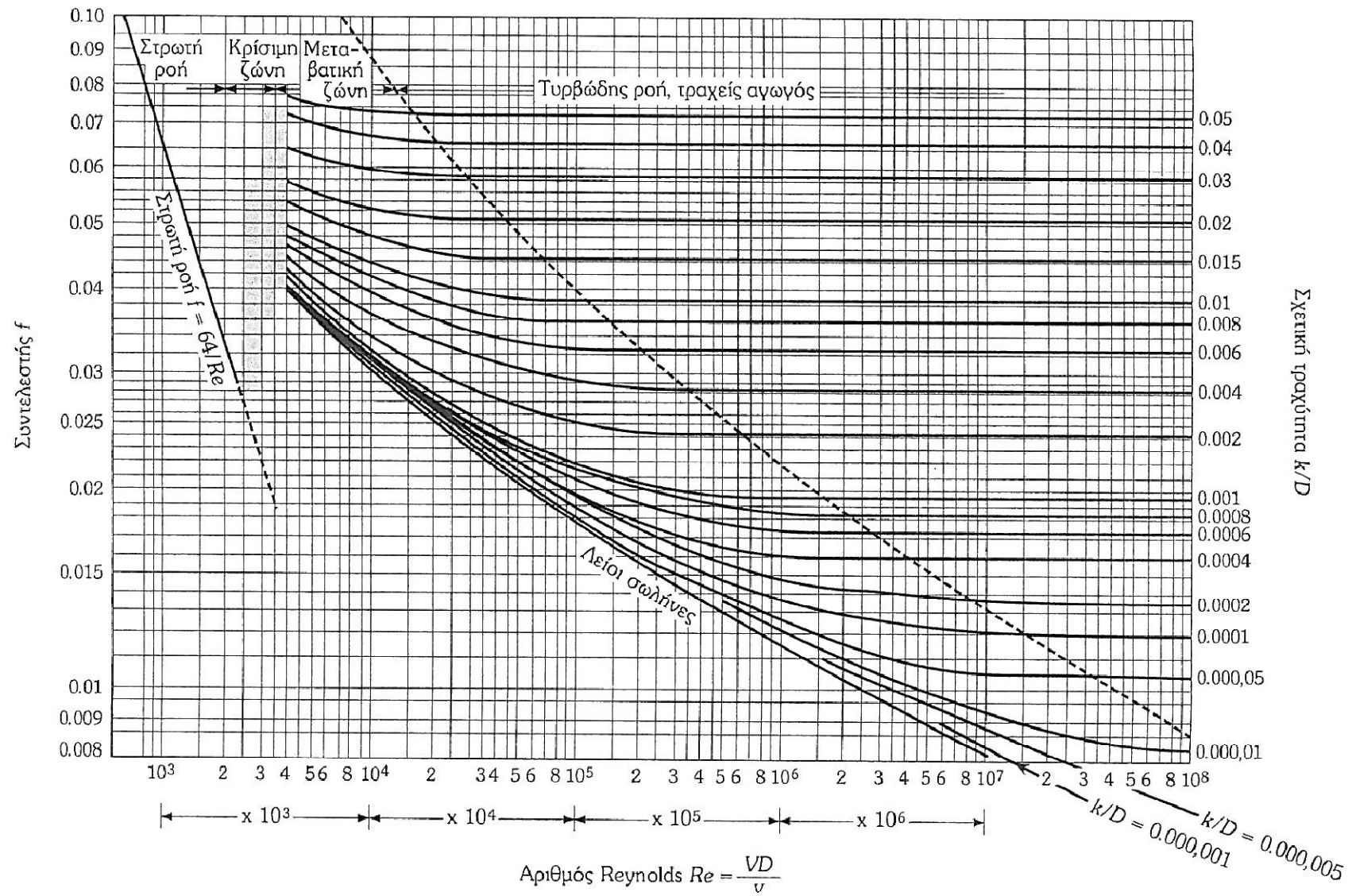
(πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή, μεγάλες συγκριτικά τιμές  $Re$  και  $k/D$ ).



- Η εξίσωση των Colebrook-White καλύπτει τις «ακραίες» καταστάσεις των λείων σωλήνων και των τραχέων σωλήνων εφόσον για  $(k/D) \rightarrow 0$  ή  $Re \rightarrow \infty$  αντίστοιχα οδηγούμαστε στις εξισώσεις των λείων σωλήνων και της πλήρους ανεπτυγμένης τυρβώδους ροής αντίστοιχα όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1.

**Πίν. 2.1:** Τιμές του συντελεστή τριβής  $f$

Είδος Ροής	Εξίσωση $f$	Περιοχή ισχύος
Στρωτή	$f = \frac{64}{Re}$	$Re < 2100$
Λείοι σωλήνες	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	$(k/D) \rightarrow 0, Re > 4000$
Μεταβατική περιοχή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$	$Re > 4000$
Πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3.7D} \right)$	$Re > 4000$ , σημαντικοί αριθμοί $Re$ και σημαντική τραχύτητα



Σχ. 2.2: Διάγραμμα Moody.

Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της εύρεσης του  $f$  από μία πεπλεγμένη εξίσωση αναπτύχθηκαν διάφορες ρητές εξισώσεις.

Ευρέως διαδεδομένη είναι η ρητή εξίσωση των Swamee and Jain (1976) για τον προσδιορισμό του συντελεστή τριβής  $f$ :

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7} \right) \right]^2} \quad (2.17)$$

Η εξίσωση των Swamee and Jain προσεγγίζει την εξίσωση των Colebrook-White με μεγάλη ακρίβεια και χρησιμοποιείται ευρύτατα στο σχεδιασμό αγωγών υπό πίεση. Το σφάλμα στο  $f$  είναι της τάξης του  $\pm 1\%$  όταν  $Re > 10^4$ , γεγονός σύννηθες στα περισσότερα πρακτικά προβλήματα κλειστών αγωγών.

**Προσοχή: για τυρβώδη ροή (σύννηθες σε πρακτικά προβλήματα και εφαρμογές) – προσεγγιστική σχέση**

## (Ισοδύναμη) Τραχύτητα αγωγών προσαύξηση για υδραυλικό δίκτυο

- Θεωρητικά: Τραχύτητα υλικού από εργοστάσια (Υδραυλική, σε ένα κόσμο αγγελικά πλασμένο...)
- Σε εφαρμογές: Αυξάνεται η τραχύτητα του υλικού μία και πλέον τάξη μεγέθους για να προβλεφθεί η γήρανση αλλά και οι τοπικές απώλειες (βλπ Τσακίρης και Σπηλιώτης, 2010)



# Προσαύξηση τραχύτητας για υδραυλικό δίκτυο (Κουτσογιάννης και Ευστρατιάδης, 2014)


## Τιμές της τραχύτητας σχεδιασμού

- Δεδομένου ότι τα δίκτυα διανομής σχεδιάζονται με ορίζοντα 40 ετών, οι τιμές εφαρμογής των συντελεστών τραχύτητας πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη γήρανση των αγωγών.
- Κατά κανόνα οι τιμές εφαρμογής λαμβάνονται προσαυξημένες (ισοδύναμη τραχύτητα) προκειμένου να συμπεριληφθούν και τοπικές απώλειες (βλ. επόμενη σελίδα).
- Η ελάχιστη αποδεκτή ισοδύναμη τραχύτητα, με την προϋπόθεση νερού που δεν προκαλεί διάβρωση ή επικαθήσεις αλάτων, λαμβάνεται  $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$  ( $\varepsilon_* = 2$ ).
- Στη συνήθη περίπτωση πλαστικών αγωγών, με την υπόθεση ότι αναμένονται φαινόμενα διάβρωσης ή επικαθήσεων αλάτων, συστήνεται  $\varepsilon = 1.0\text{-}2.0 \text{ mm}$  ( $\varepsilon_* = 20\text{-}40$ ).

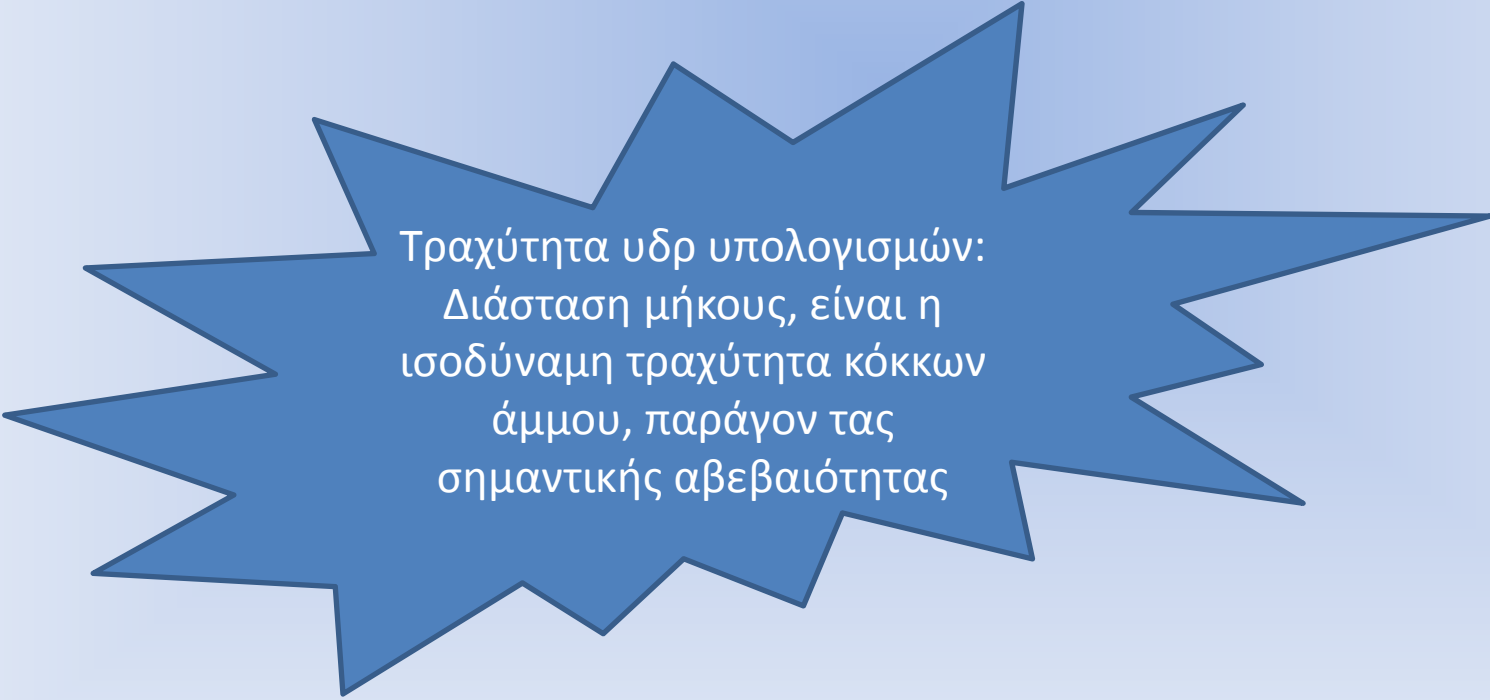
Ενδεικτικός πίνακας εργαστηριακών τιμών ισοδύναμης τραχύτητας τυπικών υλικών (Δεν συστήνεται η χρήση τους σε μελέτες δικτύων)

Υλικό	$\varepsilon$ (mm)
Ορείχαλκος, χαλκός	0.0015
Χάλυβας εμπορίου ή σφυρήλατος σίδηρος	0.045
Χυτοσίδηρος με ασφαλική επάλειψη	0.12
Γαλβανισμένος σίδηρος	0.15
Χυτοσίδηρος χωρίς επάλειψη	0.26
Σκυρόδεμα	0.3 – 3.0
Πλαστικό (λείοι σωλήνες εργοστασίου)	< 0.01
Πλαστικό, μετά από χρήση	> 0.10

[http://www.itia.ntua.gr/getfile/774/90/documents/2007UHWHydraulics\\_1.pdf](http://www.itia.ntua.gr/getfile/774/90/documents/2007UHWHydraulics_1.pdf)



Δε θέτω την τραχύτητα του  
εργαστηριακού σωλήνα του  
«κουτιού»



Τραχύτητα υδρ υπολογισμών:  
Διάσταση μήκους, είναι η  
ισοδύναμη τραχύτητα κόκκων  
άμμου, παράγοντας  
σημαντικής αβεβαιότητας

**Πίν. 2.2:** Προσδιορισμός των γραμμικών απωλειών για κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση

	Εξίσωση γραμμικών απωλειών ενέργειας	Αντίσταση αγωγού (διεθνές σύστημα μονάδων)	Εκθέτης της εξίσωσης
Darcy-Weisbach	$h_f = RQ^n$	$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$ μεταβλητή με την παροχή	$n = 2$
Darcy-Weisbach προσέγγιση λογαριθμικής ευθείας	$h_f = RQ^n$	$R = \frac{8La}{g\pi^2 D^5}$ μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 2 - b$ ( $a, b$ προκύπτουν από εκτίμηση του εύρους της παροχής)
Hazen-Williams	$h_f = RQ^n$	$R = \frac{10.7L}{C^{1.852} D^{4.87}}$ μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 1.852 < 2$
Manning	$h_f = RQ^n$	$R = \frac{10.29 n_{MANNING}^2 L}{D^{5.33}}$ μη μεταβλητή με την παροχή	$n = 2$

Η εξίσωση Darcy-Weisbach πρέπει να προτιμάται από τις άλλες εμπειρικές ή ημιεμπειρικές εξισώσεις προσδιορισμού των απωλειών, γιατί έχει θεωρητική βάση (διατήρηση της ορμής) και ενσωματώνει με το συντελεστή  $f$ , πειραματικά δεδομένα και θεωρητικές υποθέσεις που εδράζονται στη θεώρηση του οριακού στρώματος

Οι Darcy - Weisbach κατέληξαν στην παρακάτω σχέση που αποδίδει το γραμμικό ύψος απωλειών  $h_f$ , συναρτήση του συντελεστή τριβής  $f$ , της διαμέτρου του αγωγού, του μήκους του αγωγού και της ταχύτητας:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, \quad (2.9)$$

ή ισοδύναμα θέτοντας όπου  $Q = V \cdot A = V \cdot \pi(D/2)^2$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2g(\pi D^2/4)^2},$$

ή ισοδύναμα:

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2$$

όπου:  $f = f(Re, k/D)$  = συντελεστής τριβής αδιάστατος αριθμός,

$Q$  = παροχή ( $m^3/s$ ),

$V$  = ταχύτητα ( $m/s$ ),

$L$  = μήκος του αγωγού για το οποίο προσδιορίζονται οι απώλειες (m) και

$D$  = (εσωτερική) διάμετρος του αγωγού (m).

Με τον όρο αντίσταση του αγωγού εννοείται η ποσότητα:

$$R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \quad (2.10)$$

Οπότε:

$$h_f = RQ^2 \quad (2.11)$$



# Αντί πινάκων, υπολογισμός γραμμικών απωλειών

Για κάθε κλάδο προσδιορίζεται η ταχύτητα ροής (με βάση την αρχικά θεωρηθείσα παροχή και την τοποθετούμενη διάμετρο του εμπορίου (στους Υδραυλικούς υπολογισμούς τίθεται η εσωτερική διάμετρος):

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

για τους επόμενους υπολογισμούς:

D: εσωτερική διάμετρος (m)

Q (m<sup>3</sup>/s)

k (m)

Ακολουθως προσδιορίζεται ο αριθμός Re:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{V \cdot D}{10^{-6}} \text{ όπου } \nu \text{ η κινηματική συνεκτικότητα (1} \cdot 10^{-6}\text{)}$$

Προτιμάται ο προσδιορισμός του συντελεστή τριβής f με την εξίσωση των Swamee και Jain και του ύψους γραμμικών απωλειών από την εξίσωση των Darcy-Weisbach:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k_s/D}{3.7} \right) \right]^2}$$

$$h_f = RQ^2, R = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$$

Προσαύξηση 10%  
για τοπικές απώλειες  
→ ×1.1

# Τοπικές απώλειες ενέργειας

## Τοπικές απώλειες

Οι τοπικές απώλειες οφείλονται σε τοπικές ανωμαλίες που επηρεάζουν τις συνθήκες ροής και προκαλούνται από διάφορες αιτίες (π.χ. αλλαγή κατευθύνσεως, μεταβολή διατομής, εμπόδιο στη ροή - δικλείδες κ.τ.λ.). Οι τοπικές απώλειες  $h_m$  εκφράζονται συνήθως με τη γενική σχέση

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (7.23)$$

όπου  $K$  είναι συντελεστής τοπικών απωλειών και εξαρτάται από την τοπική ανωμαλία που προκαλείται. Τιμές του  $K$  βρίσκονται στα βιβλία Υδραυλικής.

Έμμεσα από Προσαύξηση γραμμικών κατά 10% για τοπικές απώλειες  $\rightarrow \times 1.1$

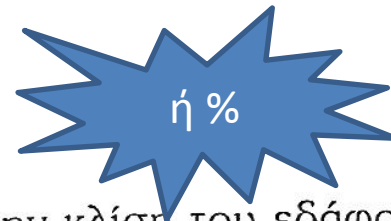
# Προτεινόμενη τάξη απωλειών οικονομικοί και τεχνικοί λόγοι όχι άβατος κανόνας

Όταν το φορτίο στην είσοδο του αγωγού μεταφοράς είναι θετικό, οι επιτρεπόμενες απώλειες δεν πρέπει να υπερβαίνουν το φορτίο αυτό όταν ο αγωγός εφαρμογής βρίσκεται στο τέρμα του αγωγού μεταφοράς. Αν δεν υπάρχει ο περιορισμός αυτός, οι μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες καθορίζονται με κριτήρια κυρίως οικονομικά και, όπως αναφέρθηκε, κυμαίνονται από 3 μέχρι 10 m/100 m όταν ο αγωγός δεν έχει κλίση, δηλαδή:

$$H_{\max} = 3 \div 10 \text{ m}/100 \text{ m} \quad (7.77)$$

Σε κεκλιμένα εδάφη, αν η διεύθυνση του αγωγού είναι αντίθετη προς την κλίση του εδάφους, από τις παραπάνω απώλειες αφαιρείται η υψομετρική διαφορά μεταξύ των άκρων του αγωγού ( $\Delta Z$ ), αναγμένη σε μήκος 100 m αγωγού, οπότε:

$$H_{\max} = (3 \div 10) - \frac{100 \Delta Z}{L} \text{ m}/100 \text{ m} \quad (7.78)$$

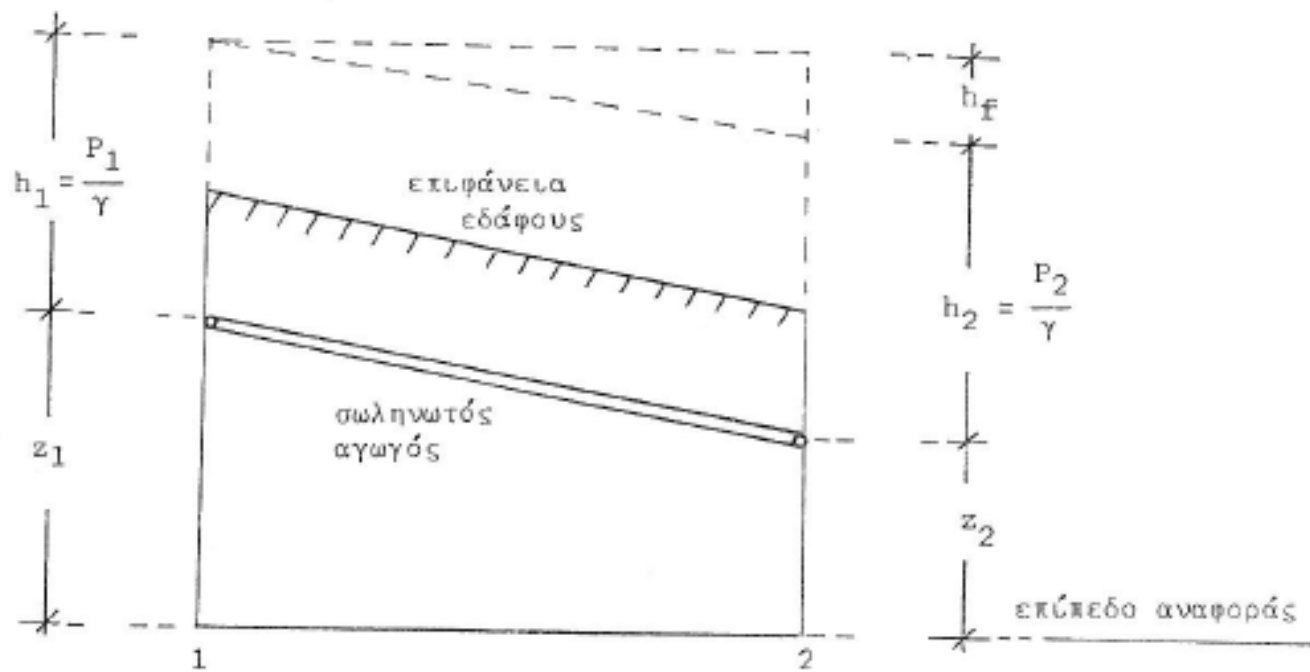


Αν η διεύθυνση του αγωγού είναι προς την κλίση του εδάφους, τότε:

## Εφαρμογές κλειστών αγωγών, παραδοχές

- Ταχύτητα περίπου 0.5-1.5 m/s
- Σημαντικό ύψος πίεσης
- Αμελητέο ύψος κινητικής ενέργειας σε σχέση με τους άλλους όρους  $\text{Π.Γ} \approx \text{Γ.Ε}$
- Δεν προσδιορίζω τις περισσότερες από τις τοπικές απώλειες ενέργειας πρακτικά αδύνατο, αλλά κάνω μία υπόθεση (π.χ. 10% επί των γραμμικών)

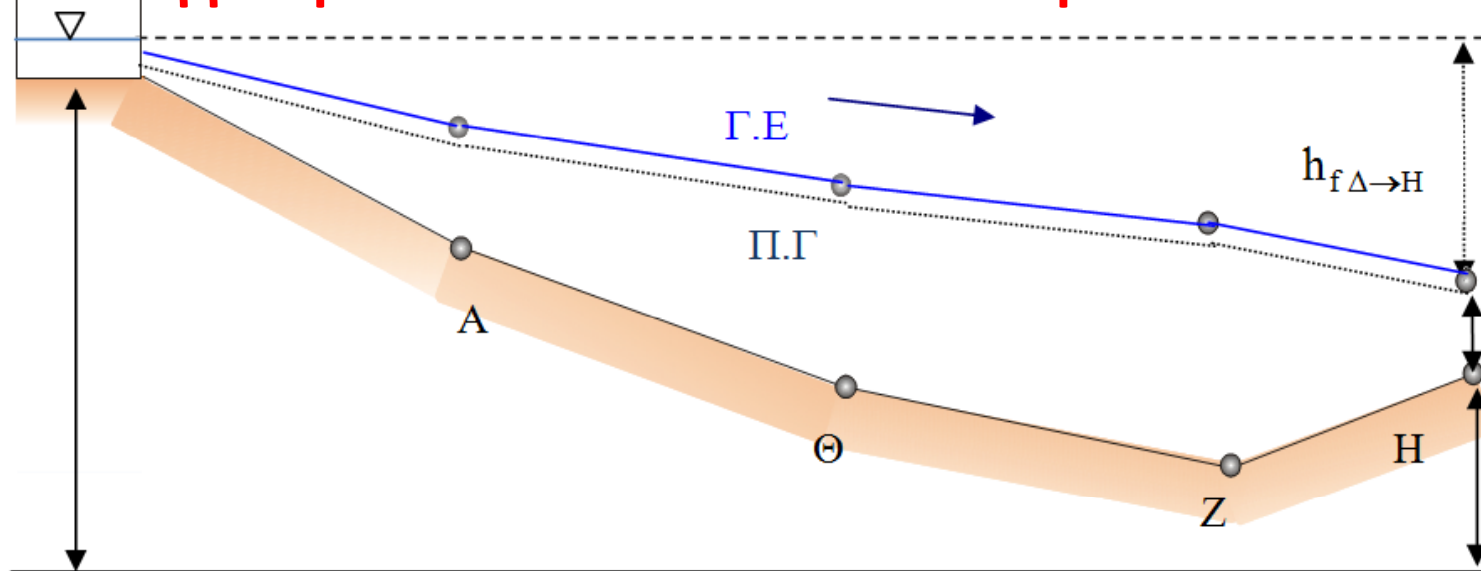
# Πιεζομετρική Γραμμή $\approx$ Γ.Ε



Σχ. 7.17 Απώλειες φορτίου σε ευθύγραμμο σωληνωτό αγωγό υπό πίεση

# Γραμμή ενέργειας σε ένα αγωγό (χωρίς αντλία)

- Γραμμή ενεργείας: ο γεωμετρικός τόπος του ύψους θέσης, του ύψους πίεσης και του ύψους κινητικής ενέργειας
- **Πάντοτε πτωτική από τη διατήρηση της ενέργειας**
- Δεν ισχύει πάντα το ίδιο για την Π.Γ. (βλπ. Επ. μάθημα)
- **Σε εγγειοβελτιωτικά  $\Gamma.E = \Pi.G.$  πτωτική**



Σχ. Ενεργειακή διαδρομή από την υψομετρική θέση της δεξαμενής, στο H

# Συνολικές απώλειες ενέργειας

Οι συνολικές απώλειες φορτίου υπολογίζονται ως το άθροισμα των επί μέρους γραμμικών και των τοπικών απωλειών καθ'όλο το τμήμα της σωληνώσεως.

$$h = \Sigma h_f + \Sigma h_m \quad (7.24)$$

Οι τοπικές απώλειες μπορούν να λαμβάνονται σαν ποσοστό των γραμμικών απωλειών φορτίου. Για τις συνήθεις συνθήκες οι τοπικές απώλειες είναι της τάξεως του 10% των γραμμικών απωλειών. Συνεπώς οι συνολικές απώλειες φορτίου μπορούν να υπολογισθούν χονδρικά

$$\left| h = 1.10 \Sigma h_f \right| \quad (7.25)$$