



# ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Αριστείδης Κουτρούλης

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου



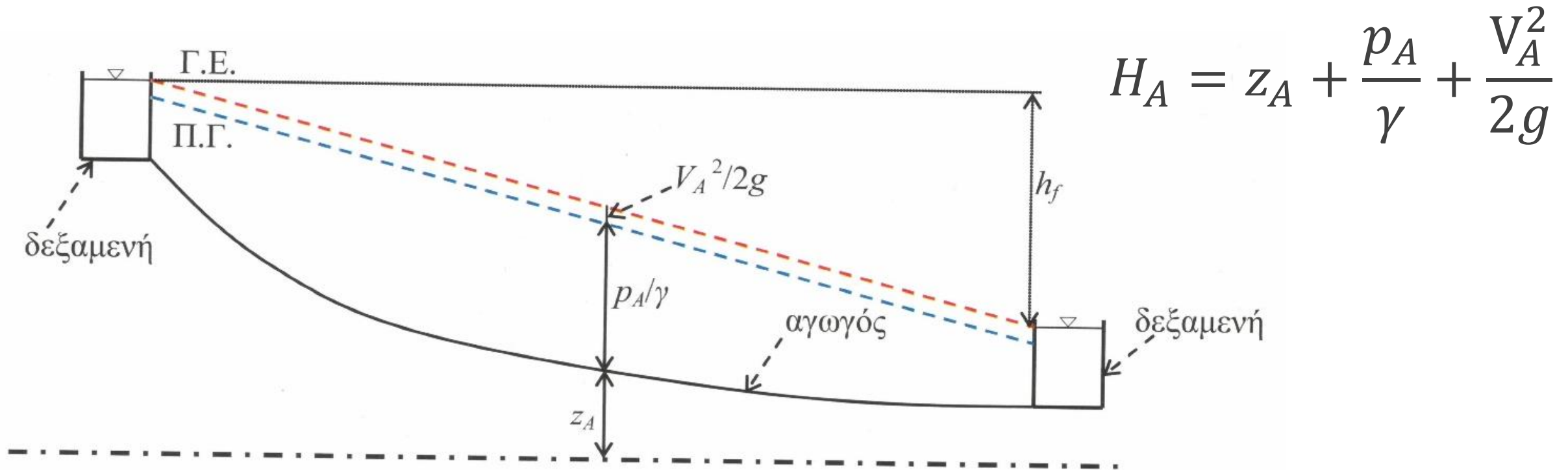
# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου



# Στοιχεία υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα

## Χαρακτηριστικά ροής κλειστών αγωγών



# Στοιχεία υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα

## Χαρακτηριστικά ροής κλειστών αγωγών

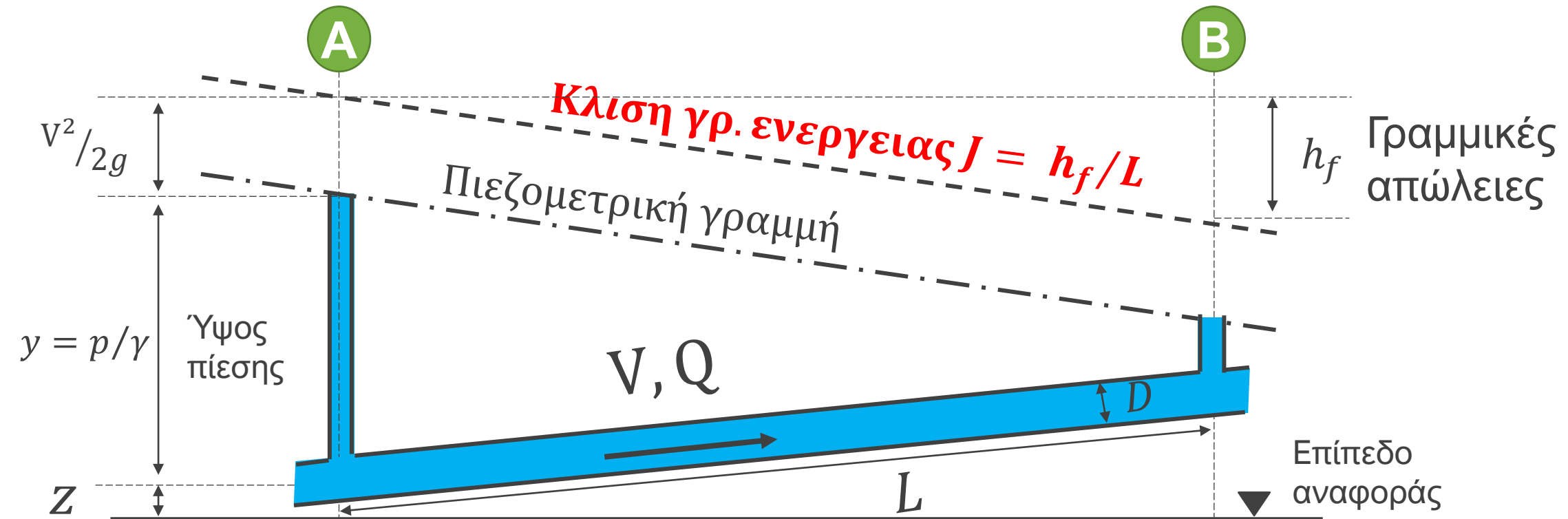
Αρχές μόνιμης ομοιόμορφης ροής

Αρχή διατήρησης

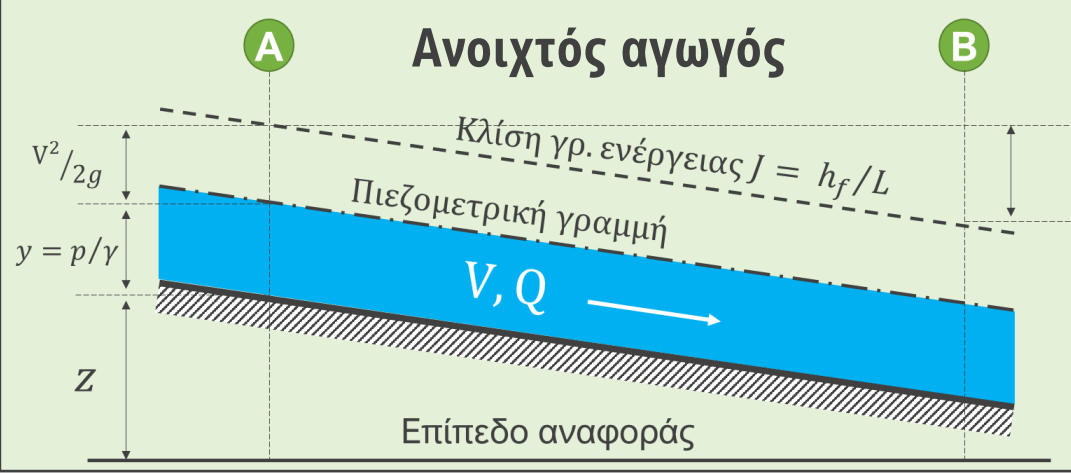
ΜΑΖΑΣ

ΟΡΜΗΣ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



# Συγκριτικά μόνιμη ομοιόμορφη ροή μεταξύ ανοιχτών και κλειστών αγωγών

|                    |                                                                                                    |                                                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Γεωμετρικό μέγεθος | ΚΛΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ και ίση με κλίση πυθμένα και δεν εξαρτάται από υδραυλικά μεγέθη (παροχή, ταχύτητα) | ΔΙΑΤΟΜΗ και δεν εξαρτάται από υδραυλικά μεγέθη (παροχή, ταχύτητα)                    |
| Υδραυλικό μέγεθος  | Η ΔΙΑΤΟΜΗ είναι υδραυλικό μέγεθος (μεταβάλλεται με την παροχή)                                     | <b>Η ΚΛΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ είναι υδραυλικό μέγεθος (μεταβάλλεται με την παροχή)</b>        |
| Γεωμετρία αγωγών   | Πιο πολύπλοκη από κυκλικούς αγωγούς, (επιφάνεια, βρεχόμενη περίμετρος, υδραυλική ακτίνα)           | Κυκλική διατομή = απλούστερη γεωμετρία, περιγραφή από ένα μέγεθος (D)                |
| Ομοιομορφία ροής   | Δεν είναι δεδομένη (χρειάζεται υδραυλικές προϋποθέσεις)                                            | Είναι δεδομένη (έστω και κατά τμήματα)                                               |
|                    |                 |  |



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- **Σωληνώσεις**
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου



# Σωληνώσεις



# Σωληνώσεις

- Ο αγωγός μεταφοράς του εξωτερικού υδραγωγείου (που συνήθως αναφέρεται ως εξωτερικό υδραγωγείο) είναι συνήθως αγωγός υπό πίεση είτε με βαρύτητα είτε με κατάθλιψη,
- Οι σωληνώσεις ενός εξωτερικού υδραγωγείου μπορεί να είναι από χάλυβα , από χυτοσίδηρο, χλωριωμένο πολυβινύλιο uPVC, πολυαιθυλένιο 3<sup>ης</sup> γενιάς ή υαλοπλισμένο πολυεστέρα,
- Σε ελάχιστες περιπτώσεις μπορεί να είναι και από σκυρόδεμα ή προεντεταμένο σκυρόδεμα,
- Κατά τις προηγούμενες δεκαετίες χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο, υλικό όμως που τείνει να εγκαταλειφθεί για δίκτυα που προορίζονται για μεταφορά νερού για ανθρώπινη κατανάλωση επειδή έχει ενοχοποιηθεί για δημιουργία συνθηκών καρκινογενέσεων



# Σωληνώσεις

πολυβινυλοχλωρίδιο PVC

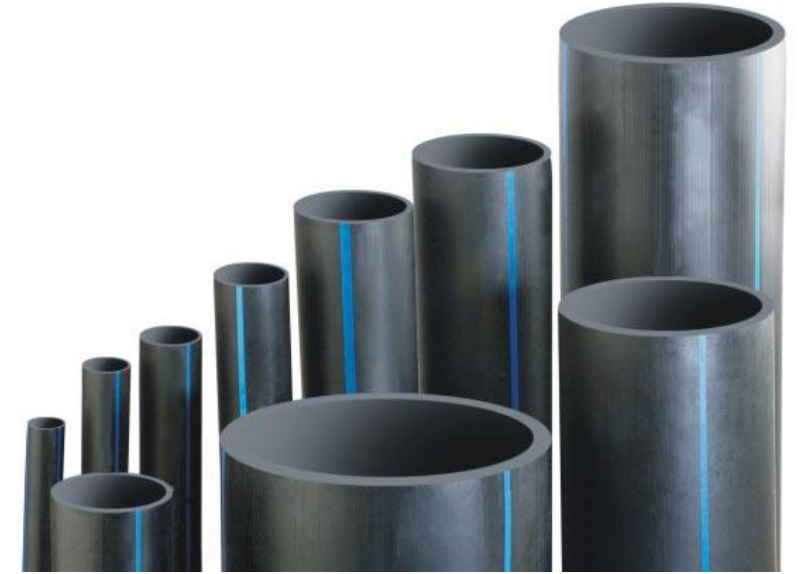


- Άκαμπτοι
- Μήκος = 6m
- <16 atm
- $\rho = 1380 \text{ kg/m}^3$



# Σωληνώσεις

πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας **HDPE**

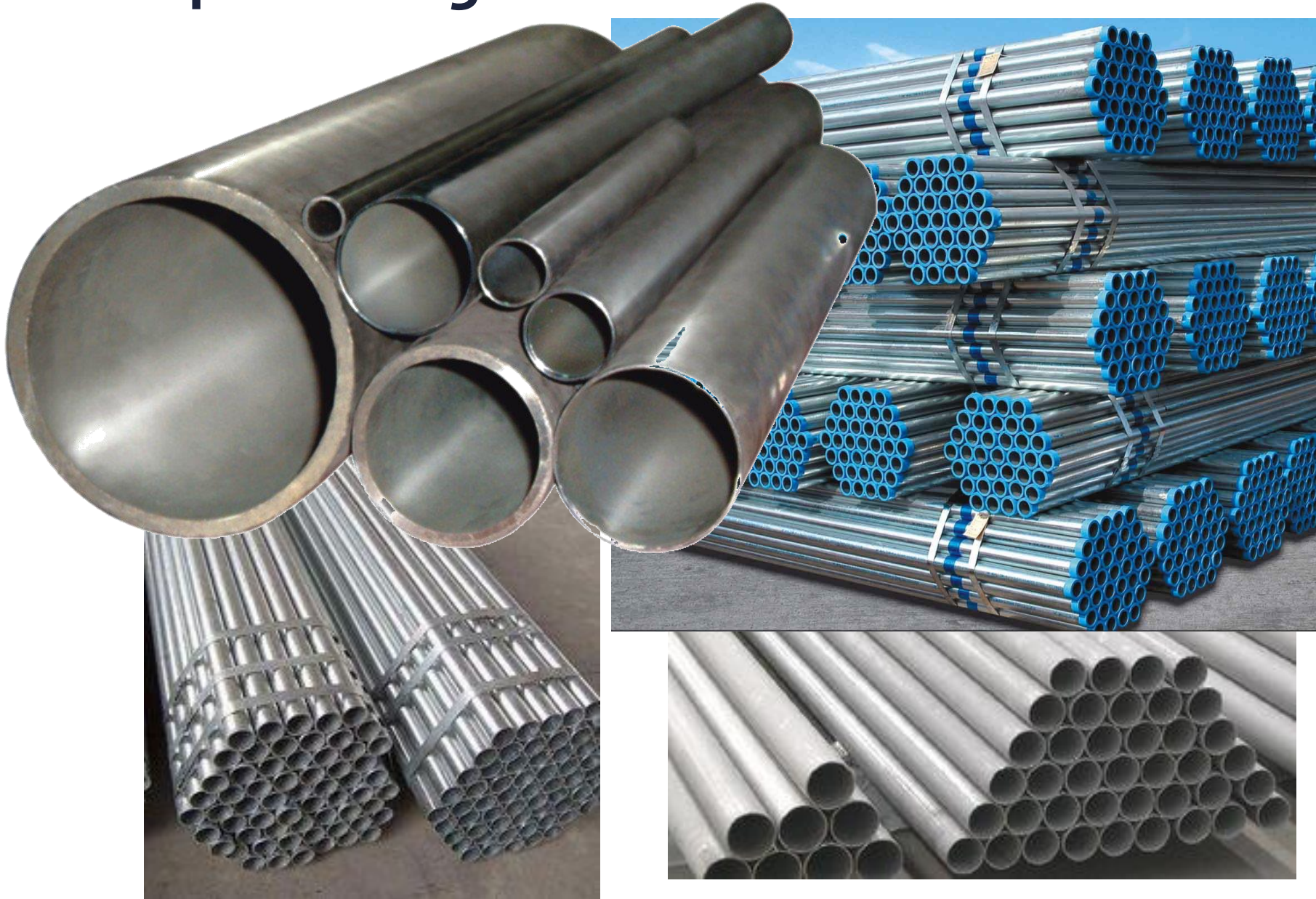


- Εύκαμπτοι
- Μήκος = 12 ή 100m
- <32 atm
- $\rho = 930 - 970 \text{ kg/m}^3$

# Σωληνώσεις

## Χάλυβα/χυτοσίδηρο

1/4 " - 32" (ίντσες)



- Εκτεθειμένες
- Μεγάλοι  
διάμετροι
- >32 atm



# Σωληνώσεις

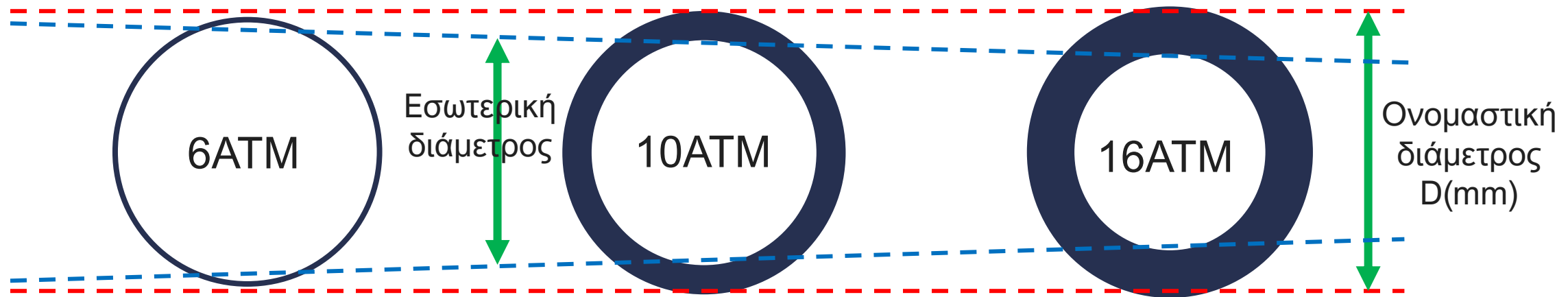


# Αμιαντοσιμεντοσωλήνες



- Οι ελληνικοί κανονισμοί απαγορεύουν την τοποθέτηση αγωγών κλάσης μικρότερης των 10atm σε δίκτυα ύδρευσης, ανεξαρτήτως υλικού
- Για αποφυγή εμφράξεων απαγορεύεται η χρήση αγωγών με διαμέτρους:
  - < 63mm για PVC και HDPE,
  - < 80mm για Α/Σ,
  - < 100mm για Χ/Σ,

- Οι ονομαστικές διαμέτροι αναφέρονται πάντα στην εξωτερική διάσταση του αγωγού.

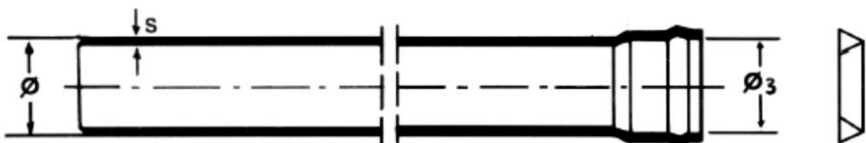


- Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται πάντοτε με βάση την **εσωτερική διάμετρο** των αγωγών.
- Στους πλαστικούς αγωγούς, η εσωτερική διάμετρος διαφέρει από την ονομαστική, και λαμβάνεται από πίνακες του κατασκευαστή.
- Στους χαλυβδοσωλήνες και αμιαντοτσιμεντοσωλήνες η ονομαστική διάμετρος είναι ίση με την εσωτερική.**

# Σωληνώσεις

- Η διάμετρος συμβολίζεται με  $\varnothing$ (mm) πχ  **$\varnothing 300$**  = αγωγός διαμέτρου 300mm
- Στο εμπόριο υπάρχουν **διάφορες διαμέτροι** ανάλογα με τον κατασκευαστή,
- Η πίεση που μπορεί να αντέξει ένας αγωγός είναι κατασκευαστική παράμετρος και λέγεται **κλάση**,

## ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΩΛΗΝΩΝ ΠΙΕΣΗΣ



Προδιαγραφές: Παράγονται και ελέγχονται σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 8061/8062, EN 1452 και ΕΛΟΤ 474.

Χρώμα: Σκούρο γκρι, σύμφωνα με RAL 7011.

Μήκος σωλήνα: 6 μέτρα.

Σύνδεση: Μούφα με ελαστικό δακτύλιο στεγανότητας.

Εφαρμογές: Χρησιμοποιούνται σε υπόγεια δίκτυα μεταφοράς πόσιμου νερού, άρδευσης, καθώς επίσης και σε δίκτυα υπό πίεση.

# Ελληνικοί κανονισμοί

## Αγωγοί από PVC

| Ονομαστική<br>διάμετρος<br>(mm) | 10 atm                      | 12.5 atm                    | 16 atm                      |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                 | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) |
| 63                              | 57.0                        | —                           | 53.6                        |
| 75                              | 67.8                        | —                           | 63.8                        |
| 90                              | 81.4                        | 79.0                        | 76.6                        |
| 110                             | 99.4                        | 97.0                        | 93.6                        |
| 125                             | 113.0                       | 110.2                       | 106.4                       |
| 140                             | 126.6                       | 12.6                        | 119.2                       |
| 160                             | 144.6                       | 141.2                       | 136.2                       |
| 200                             | 180.8                       | 176.4                       | 170.2                       |
| 225                             | 203.4                       | 198.6                       | 191.6                       |
| 250                             | 226.2                       | 220.6                       | 212.8                       |
| 280                             | 253.2                       | 247.0                       | 238.4                       |
| 315                             | 285.0                       | 278.0                       | 268.2                       |
| 355                             | 321.2                       | 313.2                       | —                           |
| 400                             | 361.8                       | 353.2                       | 340.6                       |
| 450                             | 407.0                       | 397.0                       | —                           |
| 500                             | 452.2                       | 441.2                       | —                           |

# Σωληνώσεις

# Ελληνικοί κανονισμοί

Αγωγοί από HDPE

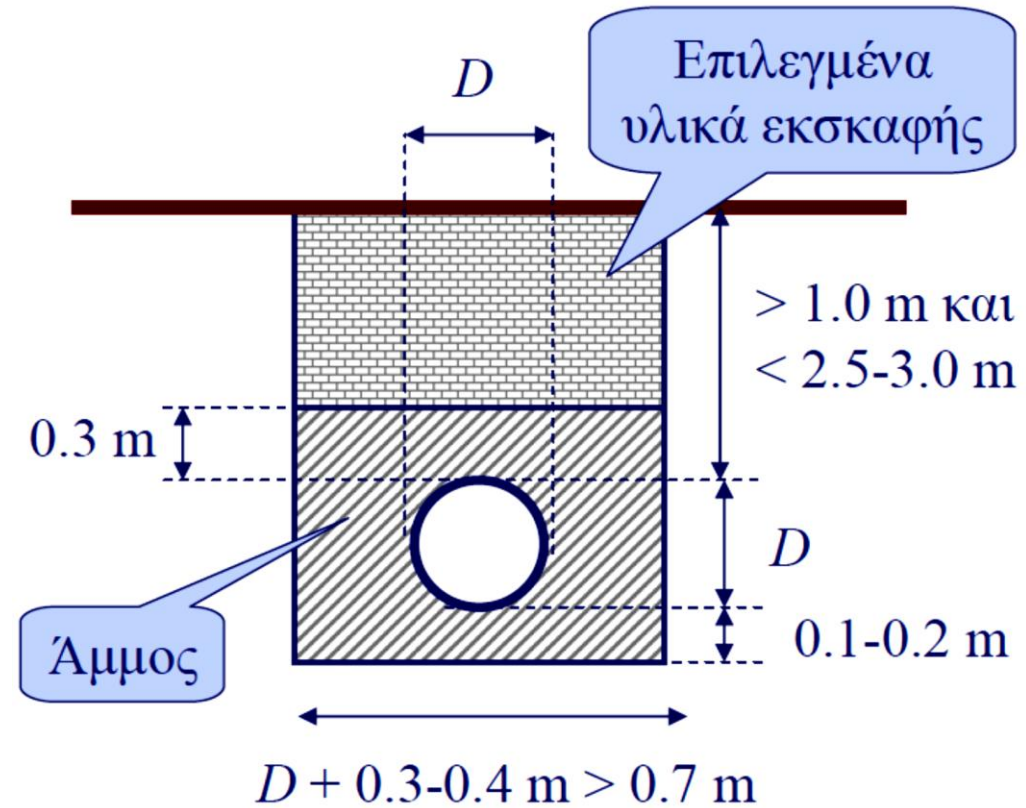
| Ονομαστική<br>διάμετρος<br>(mm) | 10 atm                      | 12.5 atm                    | 16 atm                      | 20 atm                      | 25 atm                      | 32 atm                      |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                 | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) | Εσωτερική<br>διάμετρος (mm) |
| 63                              | 55.4                        | 53.6                        | 51.4                        | 48.8                        | 45.8                        | 42.0                        |
| 75                              | 66.0                        | 63.8                        | 61.4                        | 58.2                        | 54.4                        | 50.0                        |
| 90                              | 79.2                        | 76.6                        | 73.6                        | 69.8                        | 65.4                        | 60.0                        |
| 110                             | 96.8                        | 93.8                        | 90.0                        | 85.4                        | 79.8                        | 73.4                        |
| 125                             | 110.2                       | 106.6                       | 102.2                       | 97.0                        | 90.8                        | 83.4                        |
| 140                             | 123.4                       | 119.4                       | 114.6                       | 108.6                       | 101.6                       | 93.4                        |
| 160                             | 141.0                       | 136.4                       | 130.8                       | 124.2                       | 116.2                       | 106.8                       |
| 180                             | 158.6                       | 153.4                       | 147.2                       | 139.8                       | 130.8                       | 120.2                       |
| 200                             | 176.2                       | 170.6                       | 163.6                       | 155.2                       | 145.2                       | 133.6                       |
| 225                             | 198.2                       | 191.8                       | 184.0                       | 174.6                       | 163.4                       | 150.2                       |
| 250                             | 220.4                       | 213.2                       | 204.6                       | 194.2                       | 181.6                       | 167.0                       |
| 280                             | 246.8                       | 238.8                       | 229.2                       | 217.4                       | 203.4                       | 187.0                       |
| 315                             | 277.6                       | 268.6                       | 257.8                       | 244.6                       | 228.8                       | 210.4                       |
| 355                             | 312.8                       | 302.8                       | 290.6                       | 275.6                       | 258.0                       | —                           |
| 400                             | 352.6                       | 341.2                       | 327.4                       | 310.6                       | 290.6                       | —                           |
| 450                             | 396.6                       | 383.8                       | 368.2                       | 349.4                       | 327.0                       | —                           |
| 500                             | 440.6                       | 426.4                       | 409.2                       | 388.4                       | —                           | —                           |
| 560                             | 493.6                       | 477.6                       | 458.4                       | —                           | —                           | —                           |
| 630                             | 555.2                       | 537.4                       | 515.6                       | —                           | —                           | —                           |

| Εσωτερική διάμετρος (mm)   | $V_{max}$ (m/s) | $V_{min}$ (m/s) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| $D_{εσωτ} \leq 125$        | 1.55            | 0.50            |
| $125 < D_{εσωτ} \leq 175$  | 1.85            | 0.50            |
| $175 < D_{εσωτ} \leq 350$  | 2.00            | 0.50            |
| $350 < D_{εσωτ} \leq 450$  | 2.10            | 0.50            |
| $450 < D_{εσωτ} \leq 600$  | 2.20            | 0.50            |
| $600 < D_{εσωτ} \leq 800$  | 2.30            | 0.70            |
| $800 < D_{εσωτ} \leq 1000$ | 2.40            | 0.70            |
| $D_{εσωτ} > 1000$          | 2.5             | 0.70            |

# Σωληνώσεις

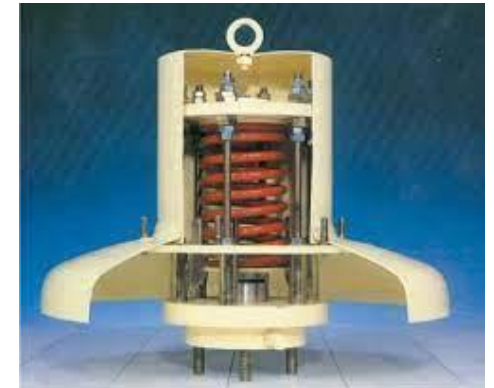
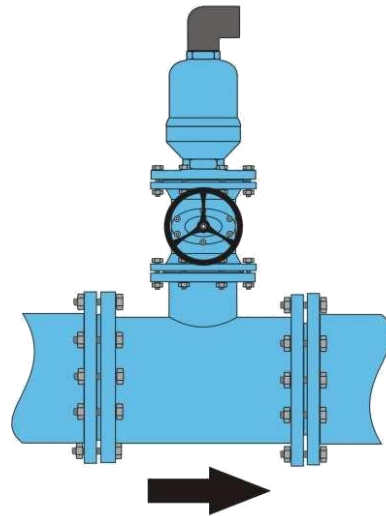
## Τοποθέτηση αγωγών δικτύων ύδρευσης

- Οι αγωγοί φέρουν επικάλυψη τουλάχιστον 1,0 m, ώστε να προστατεύονται από τον παγετό, την ηλιακή ακτινοβολία και την μηχανική καταπόνηση από την διέλευση τροχοφόρων (βλ, σκαρίφημα).
- Ως προς την κατά μήκος κλίση, γενικά ακολουθούν την τοπογραφία, ώστε να ελαχιστοποιείται ο όγκος των εκσκαφών.
- Σε περίπτωση οριζόντιου εδάφους ή πολύ μικρής κλίσης εδάφους, τοποθετούνται με ελάχιστη κλίση 0,2 έως 0,4%.
- Στις αλλαγές διευθύνσεως, συμβολές τύπου «T», και πολύ μεγάλες κλίσεις (>20%), οι αγωγοί αγκυρώνονται με σώματα από άοπλο σκυρόδεμα.



# Σωληνώσεις

# Ειδικές Συσκευές Δικτύων



Δικλείδες ή βάνες ελέγχου

Αερεξαγωγοί

Μειωτές πίεσης

Αντιπληγματικές  
βαλβίδες

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου



# Υδραυλικοί υπολογισμοί

## Υπολογισμός γραμμικών απωλειών (**A**)

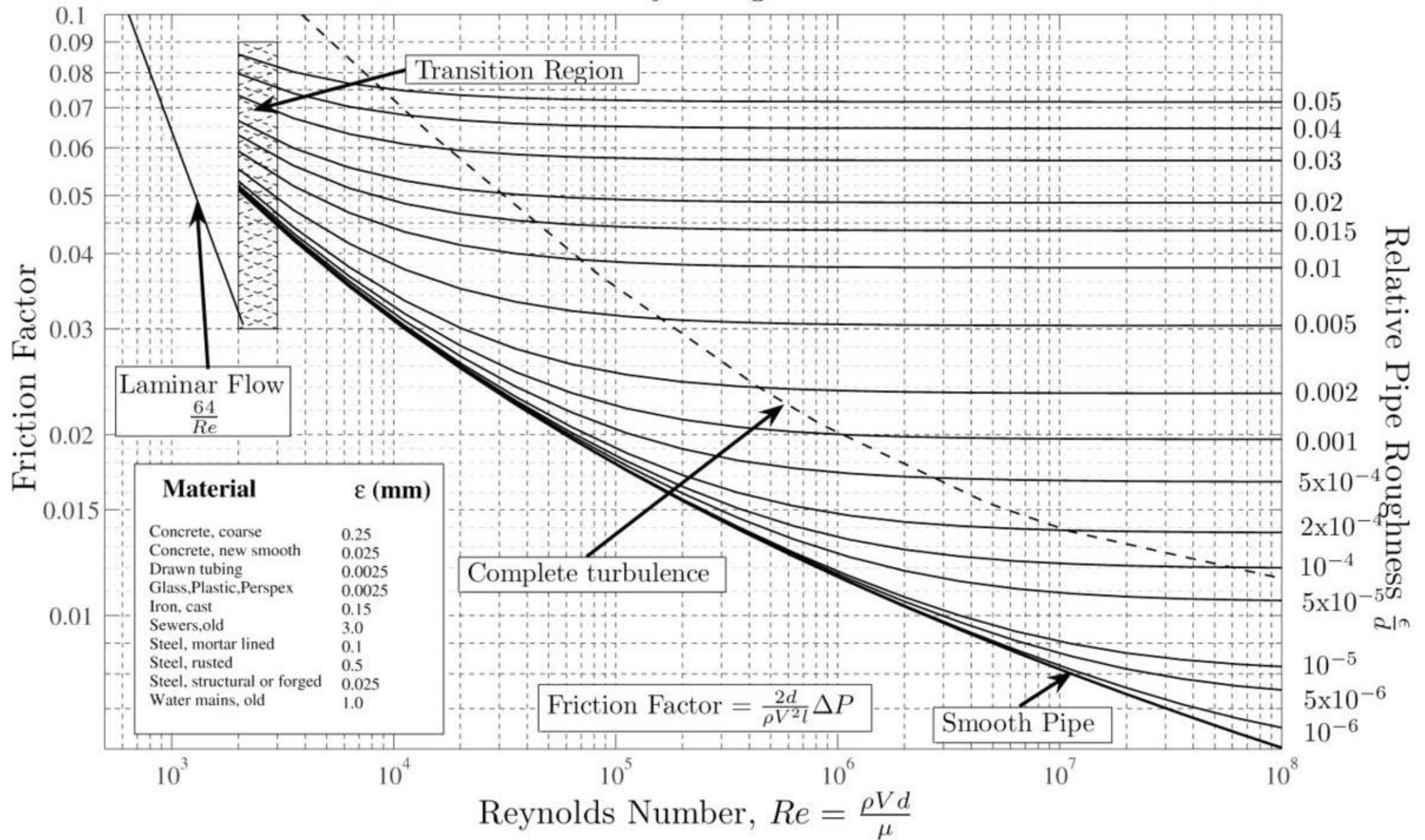
Darcy - Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Συντελεστής τριβής

Στρωτή ροή  $f = 64/Re$

Τυρβώδη ροή  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{K_s}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$  Colebrook-White



# Υδραυλικοί υπολογισμοί

## Υπολογισμός γραμμικών απωλειών (A)

Ισοδύναμες τραχύτητες αγωγών δικτύων ύδρευσης

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Υπολογισμός συντελεστής τριβής,  $f$  = γνώση της σχετικής τραχύτητας του αγωγού,  $ks/D$

- 1) Για αγωγούς από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC):  $ks = 0,1 \text{ mm}$
- 2) Για αμιαντοσωλήνες (A/Σ):  $ks = 0,5 \text{ mm}$
- 3) Για χαλυβδοσωλήνες (X/Σ):  $ks = 0,4 \text{ mm}$
- 4) Για αγωγούς από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE):  $ks, = 0,01 \text{ mm}$

Ιδανικές συνθήκες κατά την έναρξη της λειτουργίας του έργου

Για πρακτικές εφαρμογές συνιστάται χρήση ισοδύναμης τραχύτητας  $ks, = 0,5 - 1,0 \text{ mm}$ , τόσο για πλαστικούς αγωγούς όσο και για A/Σ και X/Σ



# Υδραυλικοί υπολογισμοί

## Υπολογισμός γραμμικών απωλειών (B)

- Πρακτικός υπολογισμός από νομογραφήματα
- Ένα νομογράφημα είναι αυτό που προκύπτει από τον τύπο του Colebrook:

όπου:

$J$  = οι απώλειες φορτίου σε m/m

$\lambda$  = συντελεστής απωλειών φορτίου

$V$  = ταχύτητα του υγρού σε m/s

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 m/s<sup>2</sup>

$D$  = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε m,

Ο συντελεστής  $\lambda$  είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds (Re):  $Re = \frac{vD}{\eta}$

όπου:  $\eta$  = το κινηματικό ιξώδες του υγρού σε m<sup>2</sup>/s

- Οι παραπάνω εξισώσεις οδηγούν στον πρακτικό τύπο:

$$J = 8,21 \cdot 10^{-4} \cdot (0,905 \cdot D)^{-4,76} \cdot Q^{1,76}$$

για αριθμό Reynolds μεταξύ  $3 \cdot 10^3$  και  $1,5 \cdot 10^5$

Κλίση γραμμής ενέργειας

$$J = \lambda V^2 / 2gD$$



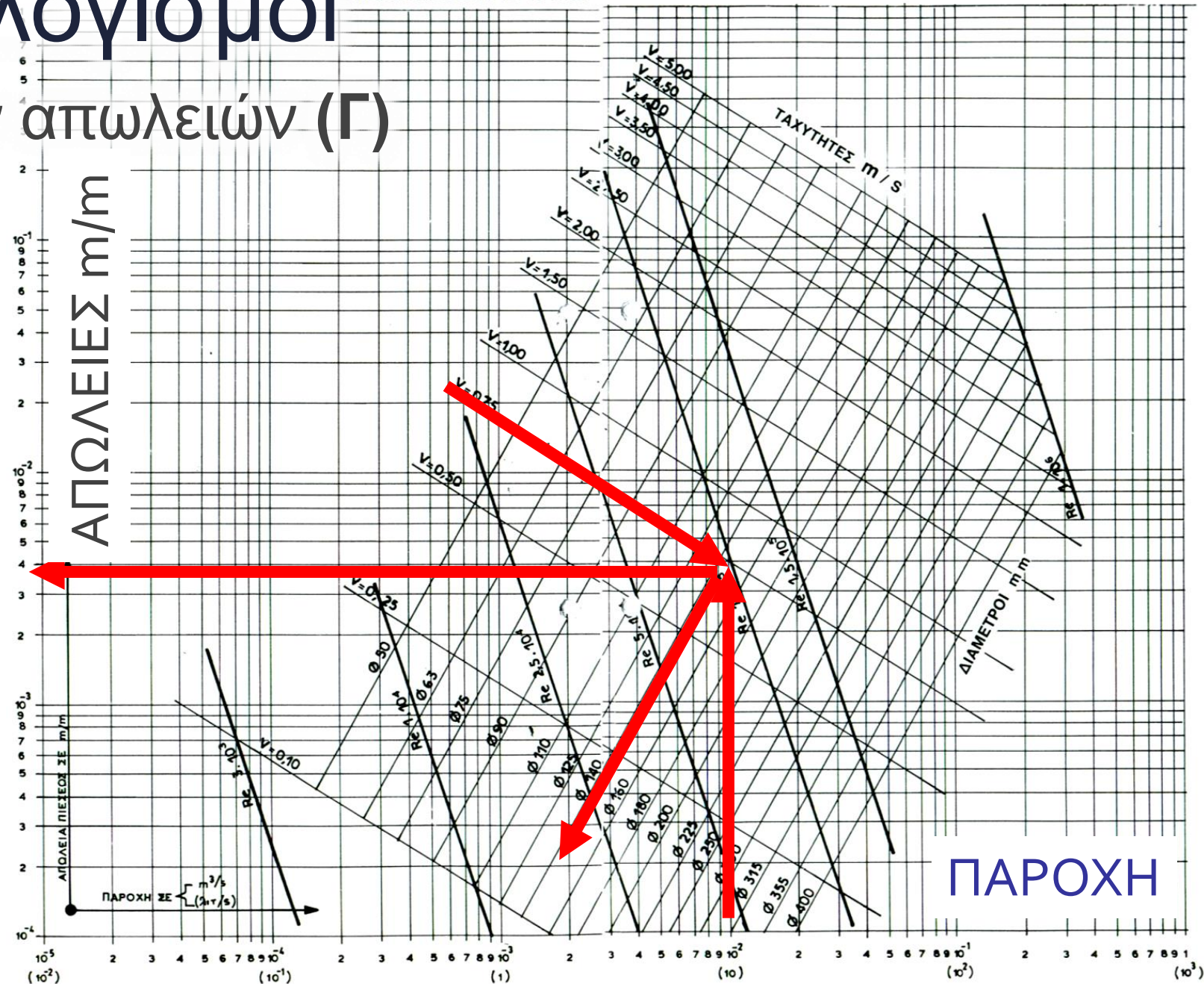
# Υδραυλικοί υπολογισμοί

ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ Νο 2  
ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΛΗΝΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ PVC 10 ATM

## Υπολογισμός γραμμικών απωλειών (Γ)

Νομογράφημα Νο 2 για  
σωλήνες PVC 10 ATM

Στα έργα ύδρευσης ως  
μέγιστη επιτρεπόμενη  
ταχύτητα ροής ορίζεται τα  
**2m/s** όμως προτιμάται η  
ταχύτητα να **μην**  
**υπερβαίνει το 1m/s**, για  
αποφυγή φαινομένων  
υδραυλικού πλήγματος  
(water hammer),



# Υδραυλικοί υπολογισμοί

## Πρακτική επιλογή διαμέτρου

- Όταν πρόκειται για αγωγό κατάθλιψης η επιλογή διαμέτρου γίνεται βάσει **πίνακα οικονομικών διαμέτρων**,

Για την επιλογή αγωγών κατάθλιψης σε ένα δίκτυο ύδρευσης επιλέγονται διάμετροι βάσει της οικονομικής ταχύτητας, δηλαδή διάμετροι που σταθμίζουν το κόστος του αγωγού και τις απώλειες φορτιού.

| Ονομαστ,<br>Διάμετρος | Παροχή<br>λ/δλ | Ονομαστ,<br>Διάμετρος | Παροχή<br>λ/δλ |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 60                    | 1,6            | 400                   | 70             |
| 80                    | 2,8            | 450                   | 90             |
| 100                   | 4,4            | 500                   | 100            |
| 125                   | 6,9            | 600                   | 160            |
| 150                   | 10,0           | 700                   | 218            |
| 175                   | 13,6           | 800                   | 284            |
| 200                   | 17,8           | 900                   | 360            |
| 250                   | 27,8           | 1000                  | 444            |
| 300                   | 40,0           | 1100                  | 538            |
| 350                   | 54,4           | 1250                  | 694            |



# Υδραυλικοί υπολογισμοί

## Υπολογισμός τοπικών απωλειών

$$h_{\tau} = K_{\tau} \frac{V^2}{2g}$$

$h_{\tau}$  : το ύψος των τοπικών απωλειών ενέργειας (m)  
 $K_{\tau}$  : ο συντελεστής απωλειών (αδιάστατος αριθμός)  
 $V$ : η ταχύτητα της ροής (m/s), και  
 $g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

Γενικά, οι τοπικές απώλειες,  $h_{\tau}$ , δεν λαμβάνονται χωριστά υπόψη κατά την υδραυλική επίλυση δικτύων ύδρευσης, αλλά έμμεσα, μέσω κατάλληλης προσαύξησης του ισοδύναμου συντελεστή τραχύτητας  $K_s$ , ή ως ποσοστό επί των γραμμικών απωλειών (π.χ. 5%).

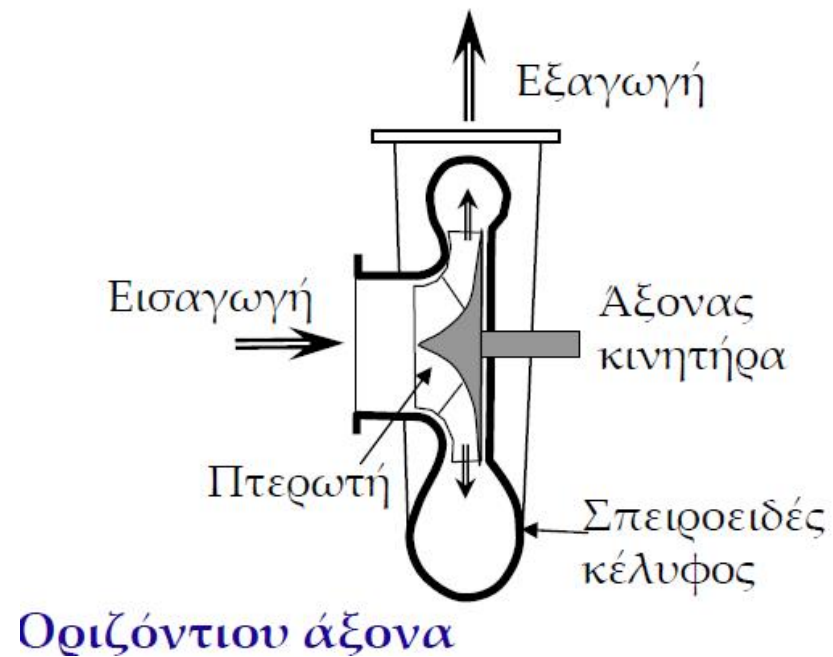
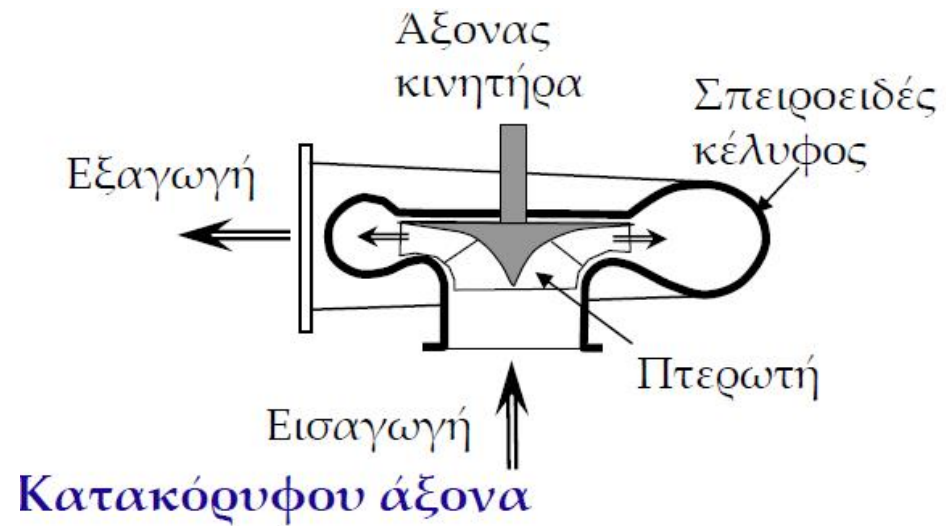
Για πρακτικές εφαρμογές συνιστάται χρήση ισοδύναμης τραχύτητας  $K_s = 0,5 - 1,0 \text{ mm}$ , τόσο για πλαστικούς αγωγούς όσο και για Α/Σ και Χ/Σ.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- **Αντλίες**
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

# Αντλίες



# Αντλίες

Η μηχανική ισχύς που καταναλίσκεται για ένα ρευστό με ειδικό βάρος  $\gamma = \rho \cdot g$  είναι:  $P_{\mu} = \rho g Q H_{\mu}$

Ολική ισχύς της αντλίας:  $P = \frac{\rho g V H_{\mu}}{n}$

Ενέργεια που καταναλώνεται:  $E = \frac{\rho g Q H_{\mu}}{n}$

όπου  $P$  = η ισχύς της αντλίας (Watt)

$Q$  = η παροχή σχεδιασμού για τον καταθλιπτικό αγωγό ( $\text{m}^3 / \text{s}$ ),

$H_{\mu}$  = το μανομετρικό ύψος (m),

$n$  = ο βαθμός απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος,



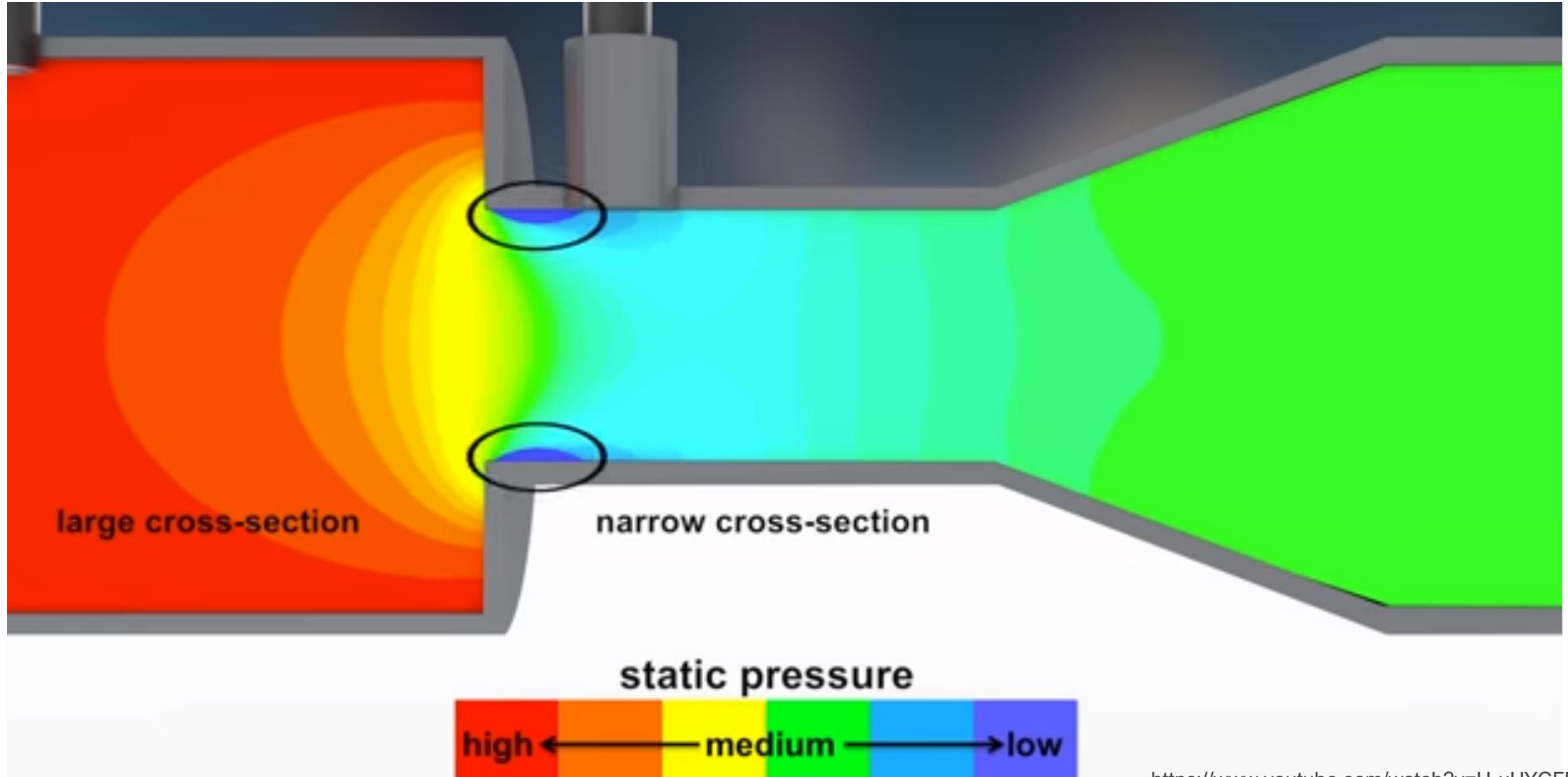
# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

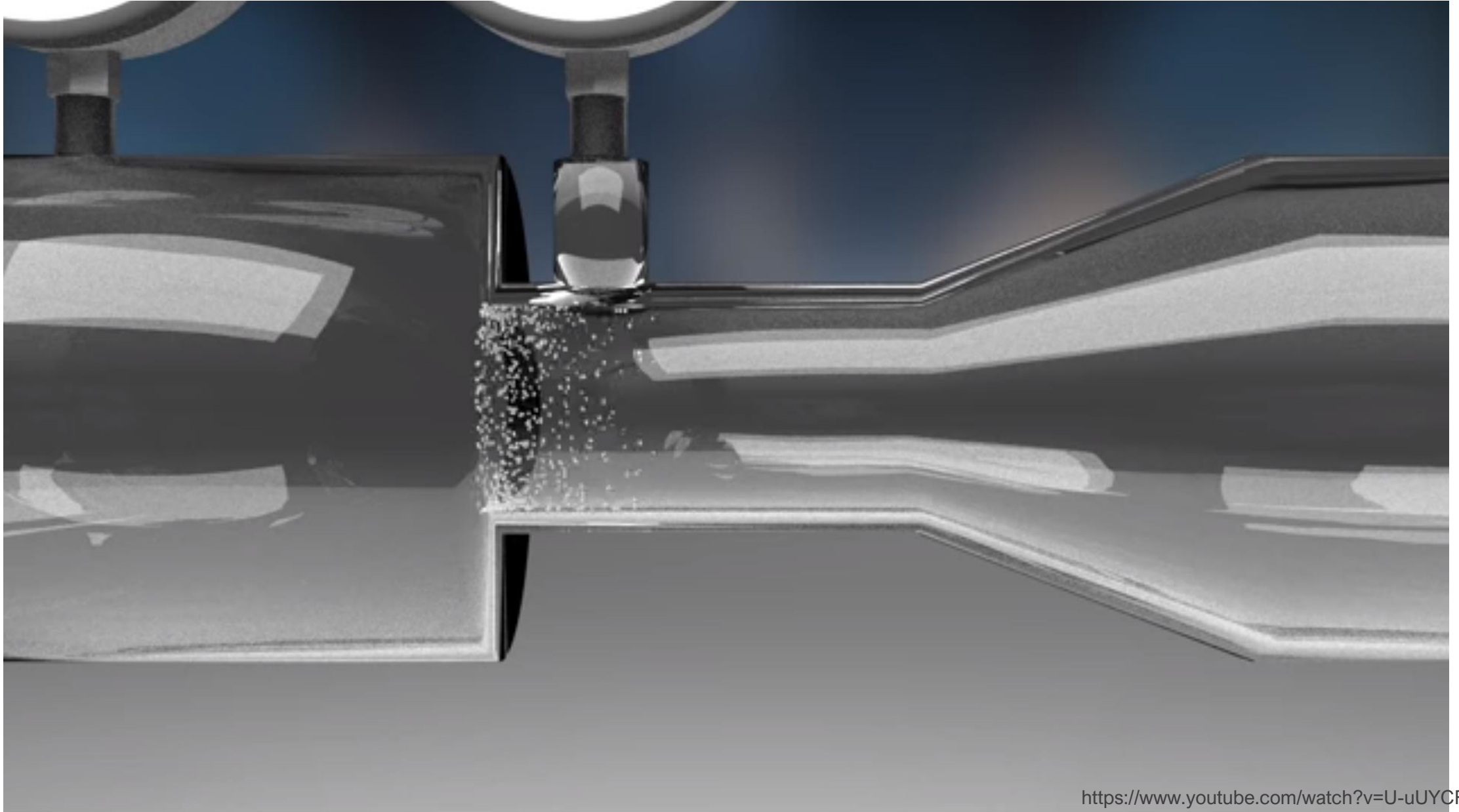
# Σπηλαίωση

- Όταν η πίεση του νερού γίνει μικρότερη από την τάση των ατμών στιγμιαία το νερό μεταπίπτει από την υγρή φάση στην αέρια και δημιουργούνται τοπικά φυσαλίδες.
- Οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας ή την πτώση της πίεσης (σημείο βρασμού).
- Κατάντη του σημείου βρασμού ενδέχεται η πίεση να αυξηθεί εκ νέου είτε λόγω διαπλάτυνσης της διατομής είτε λόγω ύπαρξης κατωφέρειας
- Σε αυτή την περίπτωση οι φυσαλίδες νερού θα καταστραφούν ασκώντας μία στιγμιαία σημαντική πίεση στα τοιχώματα του αγωγού
- Στα συνήθη υδραυλικά έργα ζητείται να ισχύει  $p/\gamma > 0$

# Σπηλαίωση



# Σπηλαίωση



<https://www.youtube.com/watch?v=U-uUYCFDTrc>



# Σπηλαίωση

## Continuous operation with cavitation



**brand new**

**6 months**

**12 months**

**24 months**

Damaged surfaces painted in grey.

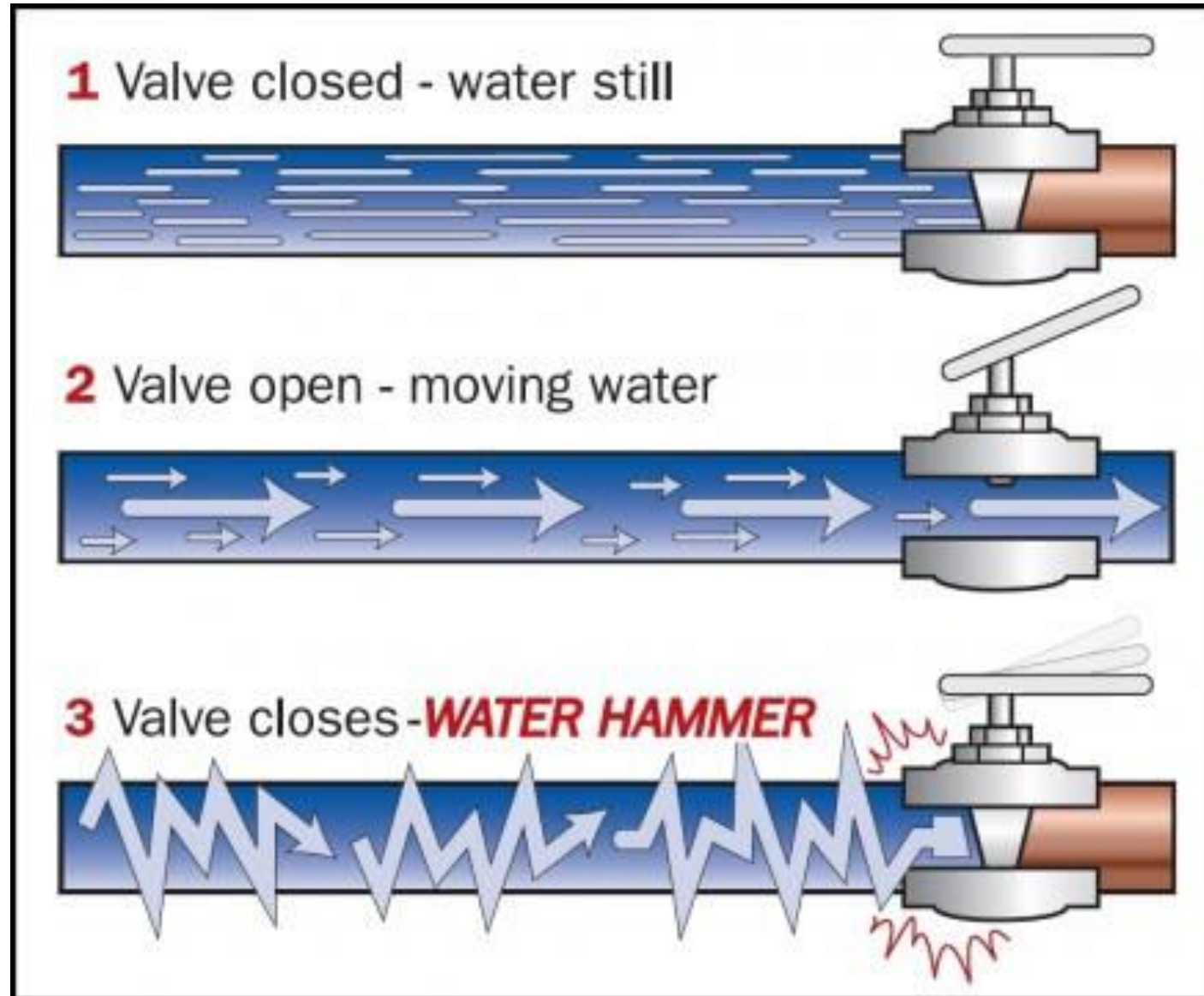
<https://www.youtube.com/watch?v=U-uUYCFDTrc>

Demonstration impellers provided by Häny AG.

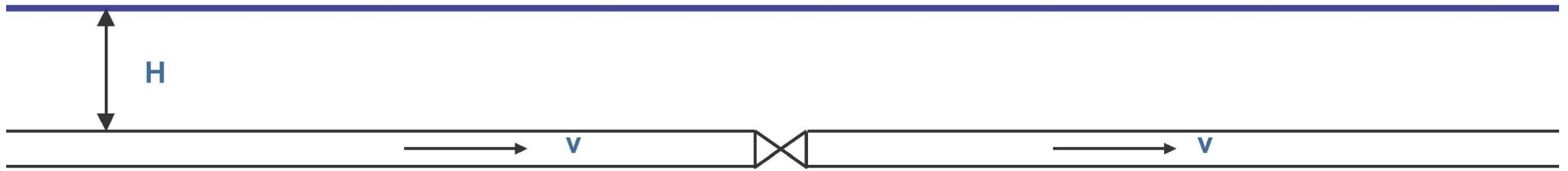
# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

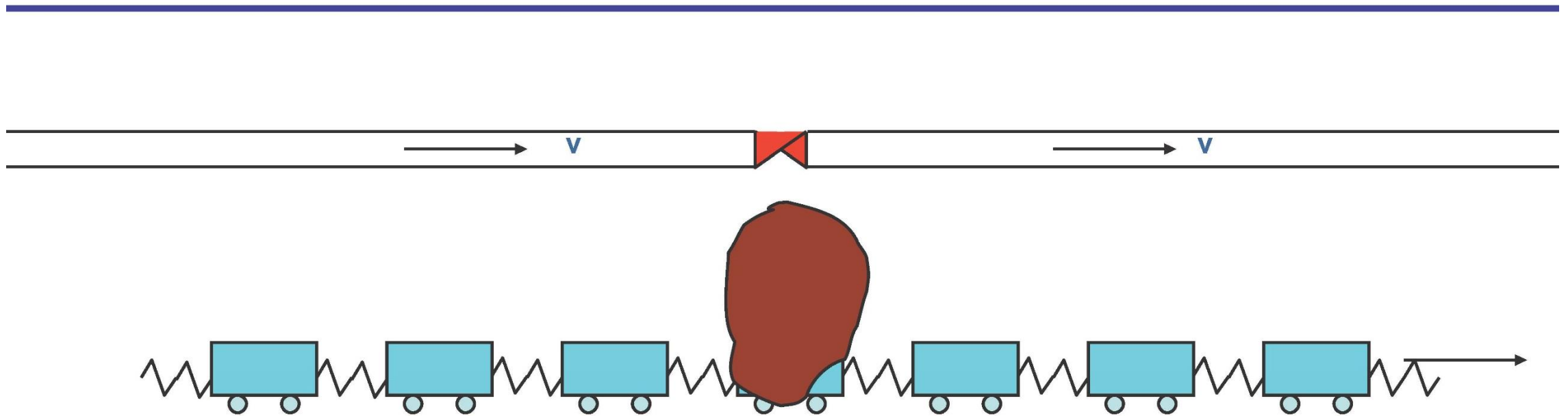
# Υδραυλικό πλήγμα



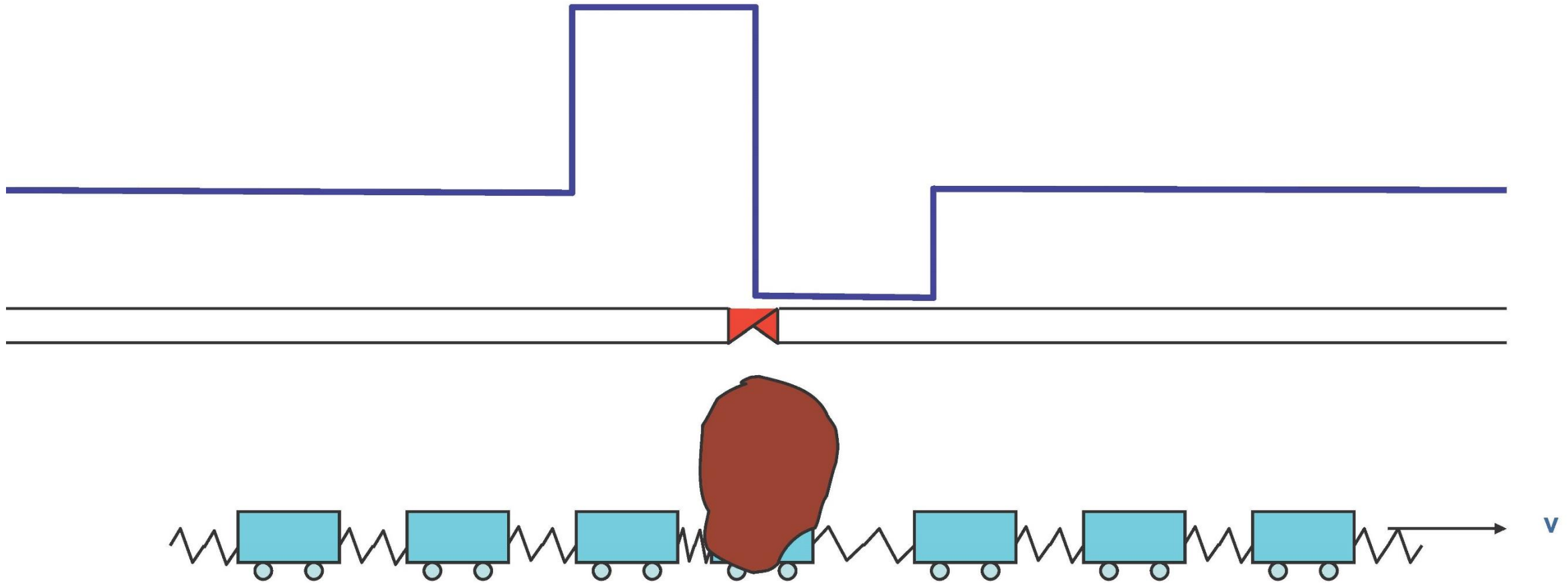
# Υδραυλικό πλήγμα



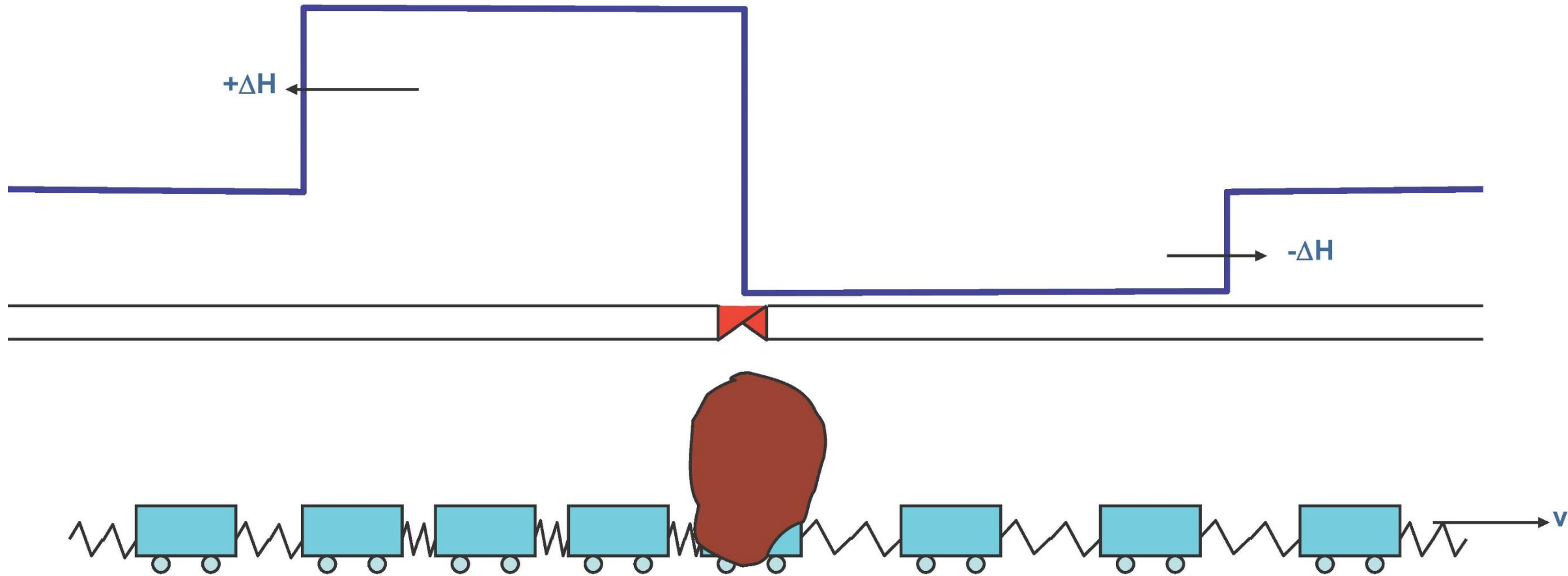
# Υδραυλικό πλήγμα



# Υδραυλικό πλήγμα



# Υδραυλικό πλήγμα



Κύματα υπερ-πίεσης και υπο-πίεσης

# Υδραυλικό πλήγμα



[besseges-vtf.co.uk](http://besseges-vtf.co.uk); [home.howstuffworks.com](http://home.howstuffworks.com)



Κλείσιμο βαλβίδας  
αντεπιστροφής  
προκάλεσε έντονη  
κίνηση στον αγωγό



# Υδραυλικό πλήγμα



# Υδραυλικό πλήγμα

**Sayano-Shushenskaya**

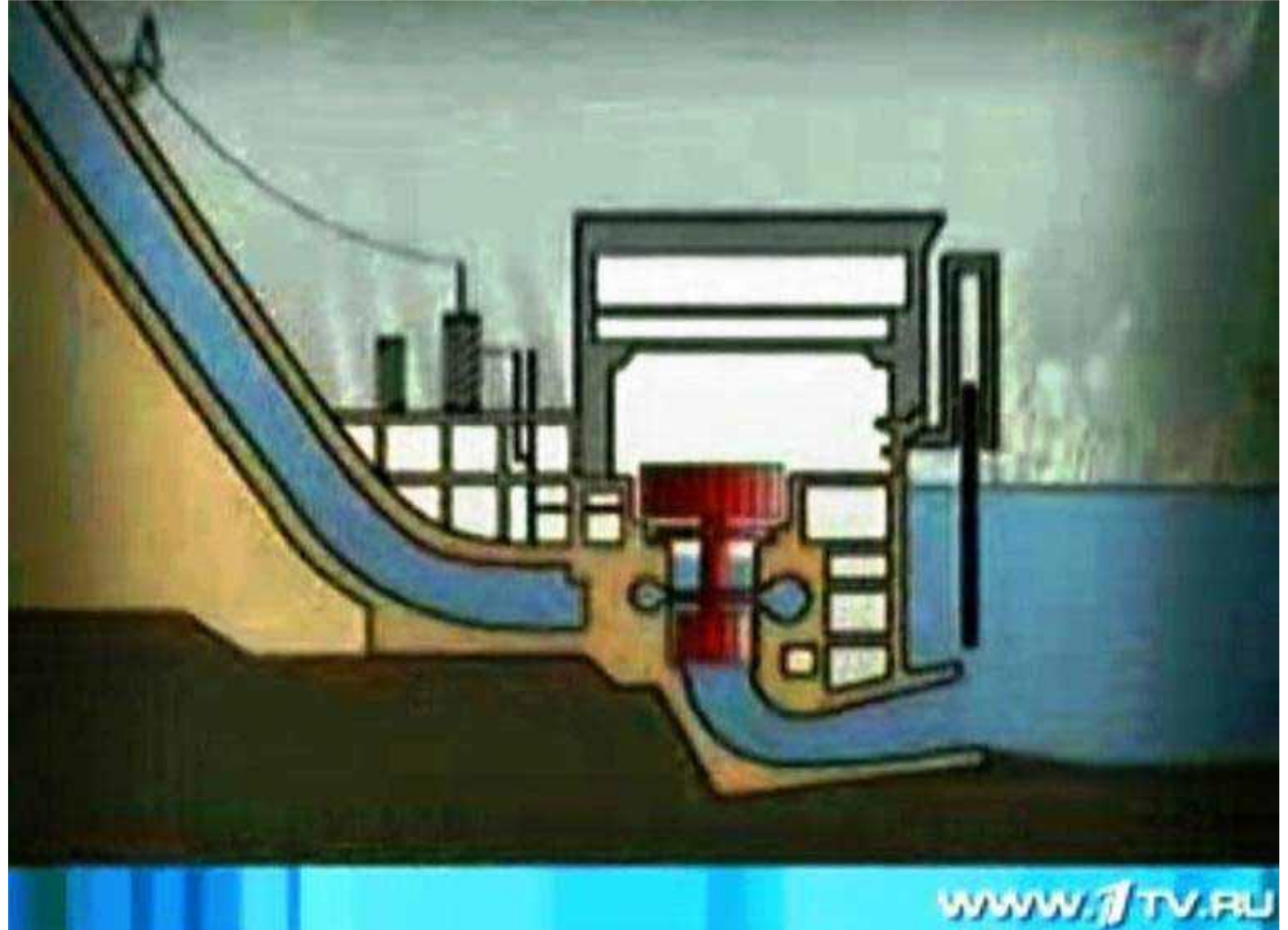
2009 August 17

Accident at Russia's Biggest  
Hydroelectric



# Υδραυλικό πλήγμα

**Sayano-Shushenskaya**  
2009 August 17  
Accident at Russia's Biggest  
Hydroelectric



# Υδραυλικό πλήγμα

**Sayano-Shushenskaya**  
2009 August 17  
Accident at Russia's Biggest  
Hydroelectric



# Υδραυλικό πλήγμα

**Sayano-Shushenskaya**

2009 August 17

Accident at Russia's Biggest  
Hydroelectric



# Υδραυλικό πλήγμα

## Sayano-Shushenskaya 2009 August 17

- 76 νεκροί
- 310 εκ, \$ τουλάχιστο
- Απόβλητα κατάντη
- Απώλεια ενέργειας – κάλυπτε 10% των αναγκών της Σιβηρίας



# Υδραυλικό πλήγμα

Ο χρόνος που διαρκεί κατά την μεταφορά των κυμάτων υποπίεσης και υπερπίεσης ονομάζεται **κρίσιμος χρόνος**, Οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν τον κρίσιμο χρόνο είναι, **το μήκος του δικτύου, η διατομή και το υλικό του αγωγού, η παροχή, οι κλίσεις του εδάφους,**

Σύμφωνα με τον Allievi η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στον αγωγό προκύπτει από την σχέση:

$$a = \sqrt{\frac{g / \gamma}{\frac{1}{\varepsilon} + \frac{Di}{S \cdot E}}}$$

$a$  = ταχύτητα διαδόσεως του κύματος σε  $m/sec$

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 m/sec^2$ ,  $45^\circ$  γεωγρ. πλάτος)

$\varepsilon$  = μέτρο ελαστικότητας του νερού ( $2,08 \times 10^8 kg/m^2$ )

$\gamma$  = ειδικό βάρος νερού σε  $kg/m^3$

$Di$  = εσωτερική διατομή αγωγού σε  $m$

$S$  = πάχος τοιχώματος αγωγού σε  $m$

$E$  = μέτρο ελαστικότητας αγωγού σε  $kg/m^2$

# Υδραυλικό πλήγμα

Ο κρίσιμος χρόνος, δηλαδή, ο χρόνος που διαρκεί κατά την μεταφορά κυμάτων υποπίεσης και υπερπίεσης δίνεται από την σχέση:

$$T_k = \frac{2L}{a}$$

Στην πράξη υπάρχουν τρεις περιπτώσεις πλήγματος:

- α) Όταν ο χρόνος διακοπής της ροής είναι μικρότερος του κρίσιμου χρόνου:  $T < T_k$
- β) Όταν ο χρόνος διακοπής της ροής είναι μεγαλύτερος του κρίσιμου χρόνου:  $T > T_k$
- γ) Όταν ο χρόνος διακοπής της ροής είναι ίσος του κρίσιμου χρόνου:  $T = T_k$

Όπου:

$T$  = χρόνος ανοίγματος ή κλεισίματος της ροής σε sec,

$L$  = μήκος του αγωγού

$a$  = ταχύτητα μετάδοσης του κύματος σε m/sec,



# Υδραυλικό πλήγμα

Έτσι, αναλόγως με τον χρόνο διακοπής της ροής, υπολογίζεται η υπερπίεση:

α) Στην περίπτωση  $T < \frac{2L}{a}$  το  $\Delta\rho$  δίνεται από την σχέση:

$$\Delta\rho = \frac{\alpha \cdot V_o}{g}$$

όπου

$\Delta\rho$ = υπερπίεση σε ύψος ανά  $m$ .

$\alpha$ = ταχύτητα διαδόσεως του κύματος σε  $m/sec$

$V_o$ = ταχύτητα ροής του νερού υπό κανονικές συνθήκες σε  $m/sec$

$g$ = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 m/sec^2$ ,  $45^\circ$  γεωγρ. πλάτος)



# Υδραυλικό πλήγμα

Έτσι, αναλόγως με τον χρόνο διακοπής της ροής, υπολογίζεται η υπερπίεση:

β) Στην περίπτωση  $T > \frac{2L}{a}$  το  $\Delta\rho$  δίνεται από την σχέση:

$$\Delta\rho = \gamma \left[ \frac{m}{2} + \sqrt{\left(\frac{m}{2}\right)^2 + m} \right] \cdot H$$

όπου

$\Delta\rho$ = υπερπίεση σε ύψος ανά  $m$ .

$\gamma$ = ειδικό βάρος νερού σε  $kg/m^3$

$$m = \left( \frac{L \cdot V_o}{g \cdot T \cdot H} \right)^2$$

$H$ = αρχικό στατικό φορτίο σε  $m$ .

$L$ = μήκος του αγωγού

$V_o$ = ταχύτητα ροής του νερού υπό κανονικές συνθήκες σε  $m/sec$

$g$ = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 m/sec^2$ ,  $45^\circ$  γεωγρ. πλάτος)

$T$ = χρόνος ανοίγματος ή κλεισίματος της ροής σε  $sec$ .



# Υδραυλικό πλήγμα

Έτσι, αναλόγως με τον χρόνο διακοπής της ροής, υπολογίζεται η υπερπίεση:

γ) Στην περίπτωση  $T = \frac{2L}{a}$  το  $\Delta\rho$  δίνεται από την σχέση:

$$\Delta\rho = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T}$$

$\Delta\rho$ = υπερπίεση σε ύψος ανά  $m$ .

$L$ = μήκος του αγωγού

$V_0$ = ταχύτητα ροής του νερού υπό κανονικές συνθήκες σε  $m/sec$

$g$ = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 m/sec^2$ ,  $45^\circ$  γεωγρ. πλάτος)

$T$ = χρόνος ανοίγματος ή κλεισίματος της ροής σε  $sec$ .

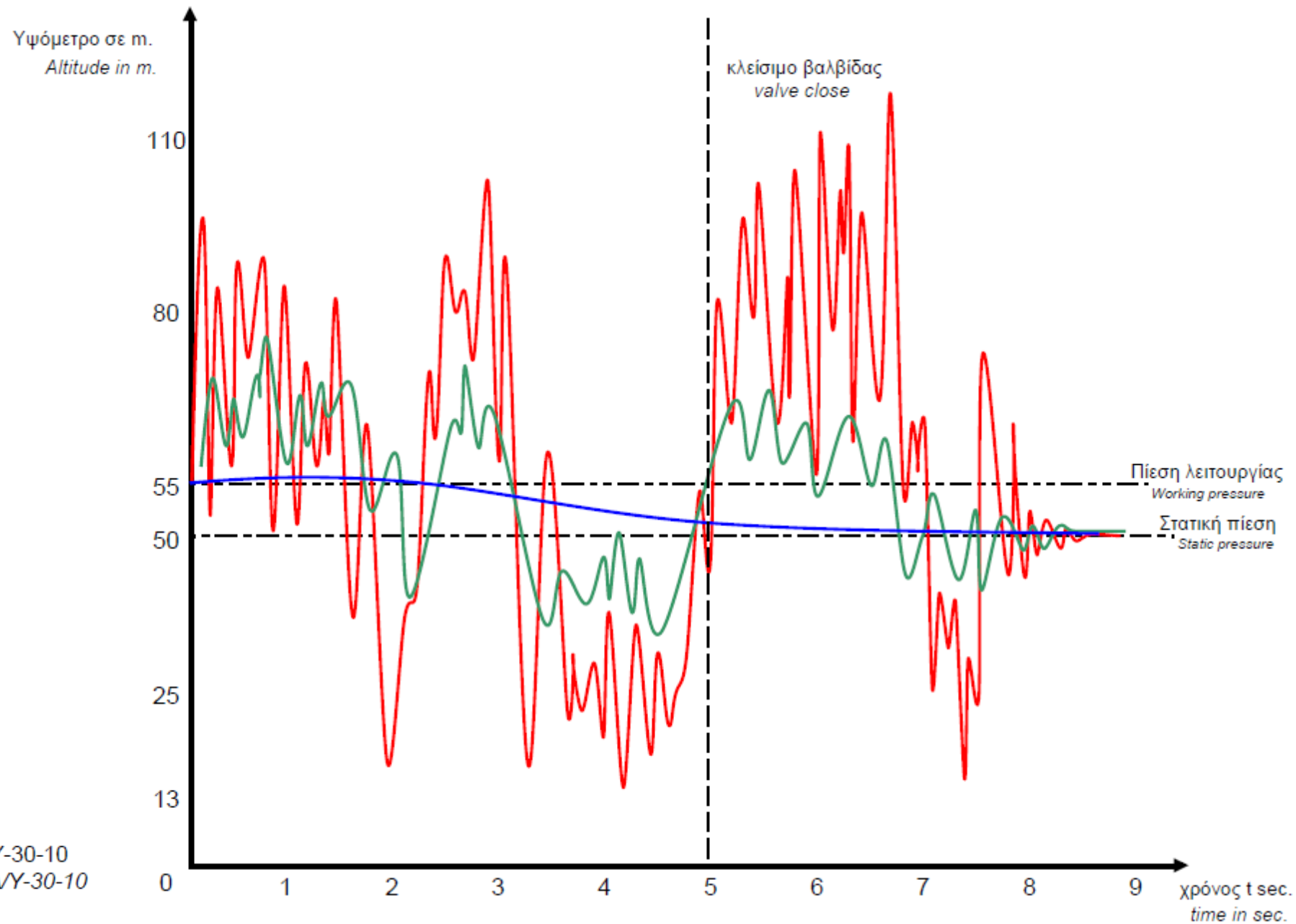


# Υδραυλικό πλήγμα



# Υδραυλικό πλήγμα

Απεικόνιση της  
λειτουργίας των  
βαλβίδων



Πλήγμα / Surge

Βαλβίδα ελατηρίου / Spring type valve

Βαλβίδα GEMAK AS-A/Y-35-10, AS-A/Y-30-10  
GEMAK valve type AS-A/Y-35-10, AS-A/Y-30-10

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα (σύντομη επανάληψη)
- Σωληνώσεις
  - Υδραυλικοί υπολογισμοί
- Αντλίες
- Σπηλαίωση
- Υδραυλικό πλήγμα
- Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου



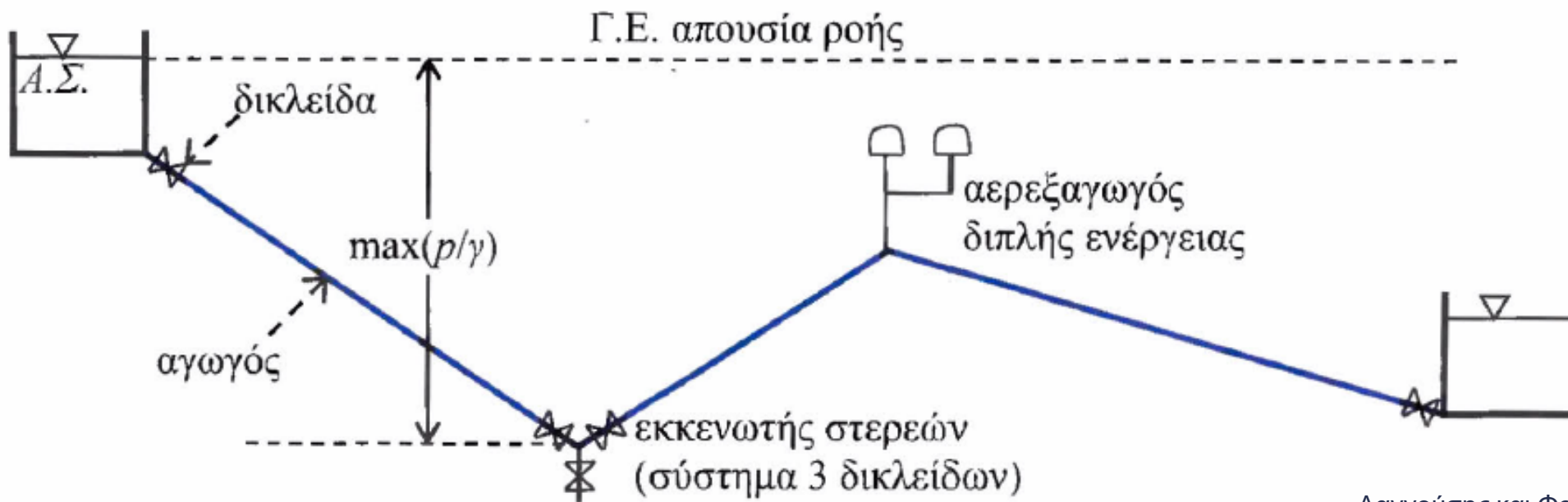
# Επιλογή κλάσης αγωγού

Εκτίμηση της ελάχιστης επιτρεπτής κλάσεως αγωγού

$$\min' \kappa\lambda\alpha\sigma\eta' = \max \left( \frac{g \cdot \Delta H_{\max}}{100}, 10 \text{ atm} \right)$$

$$\Delta H_{\max} = \max \left( \frac{P}{\gamma} \right) = H_{A.\Sigma.} - H_{K.Y.} + (30 \text{ ως } 40 \text{ m προσαυξηση για Υδρ. Πλήγμα})$$

δεξαμενή τροφοδοσίας



# Επιλογή διαμέτρου

- μικρό εύρος διαμέτρων αγωγών σύμφωνα με τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών,
- χρήση της ελάχιστης διαμέτρου αγωγού που συνεπάγεται και το ελάχιστο κόστος αγοράς και τοποθέτησης

Αναζητάται η ελάχιστη διάμετρος που ικανοποιεί

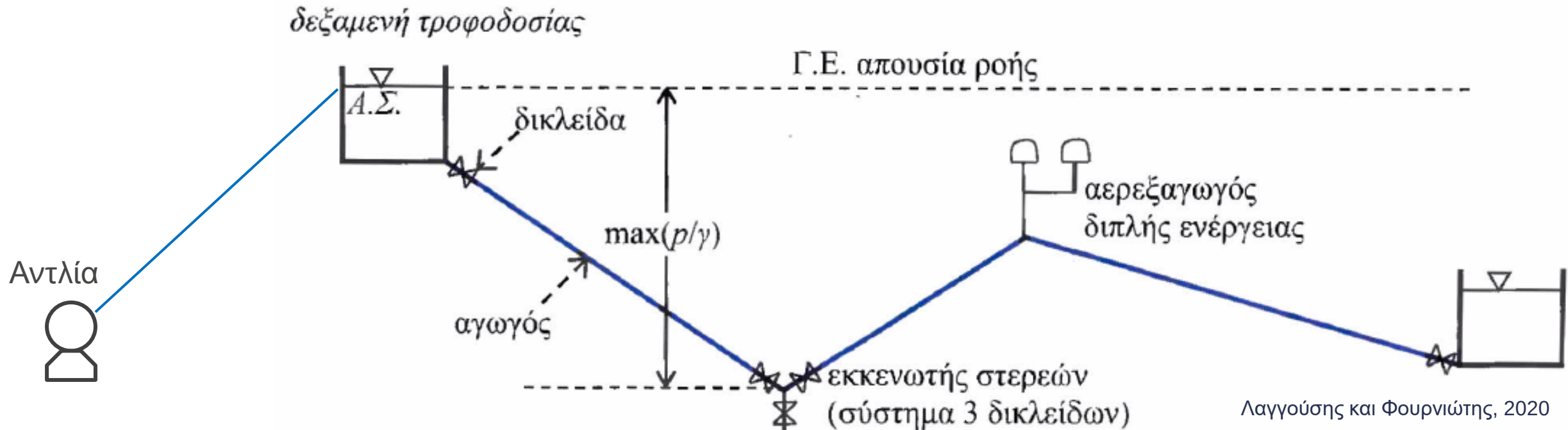
- τις μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς, και
- το διαθέσιμο ενεργειακό ύψος για απώλειες ενέργειας (βλέπε ΆΣΚΗΣΗ 5 ως παράδειγμα εφαρμογής),

| Εσωτερική διάμετρος (mm)   | $V_{max}$ (m/s) | $V_{min}$ (m/s) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| $D_{εσωτ} \leq 125$        | 1.55            | 0.50            |
| $125 < D_{εσωτ} \leq 175$  | 1.85            | 0.50            |
| $175 < D_{εσωτ} \leq 350$  | 2.00            | 0.50            |
| $350 < D_{εσωτ} \leq 450$  | 2.10            | 0.50            |
| $450 < D_{εσωτ} \leq 600$  | 2.20            | 0.50            |
| $600 < D_{εσωτ} \leq 800$  | 2.30            | 0.70            |
| $800 < D_{εσωτ} \leq 1000$ | 2.40            | 0.70            |
| $D_{εσωτ} > 1000$          | 2.5             | 0.70            |

# Επιλογή κλάσης - διαμέτρου αγωγού

## Πρακτικές συμβουλές

- Όταν το νερό ξεκινά από «κάπου» (π.χ. δεξαμενή, φρεάτιο κλπ) τότε η στάθμη ύδατος αυτού του «κάπου» είναι η κατώτατη (δηλ. δυσμενέστερη περίπτωση).
- Όταν το νερό πάει «κάπου» (π.χ. δεξαμενή, φρεάτιο κλπ) τότε η στάθμη ύδατος αυτού του «κάπου» είναι η ανώτατη (δηλ. δυσμενέστερη περίπτωση).
- Για έλεγχο πιέσεων, η δεξαμενή ή το φρεάτιο λαμβάνονται ως έχοντα την ανώτατη στάθμη (Α.Σ.).

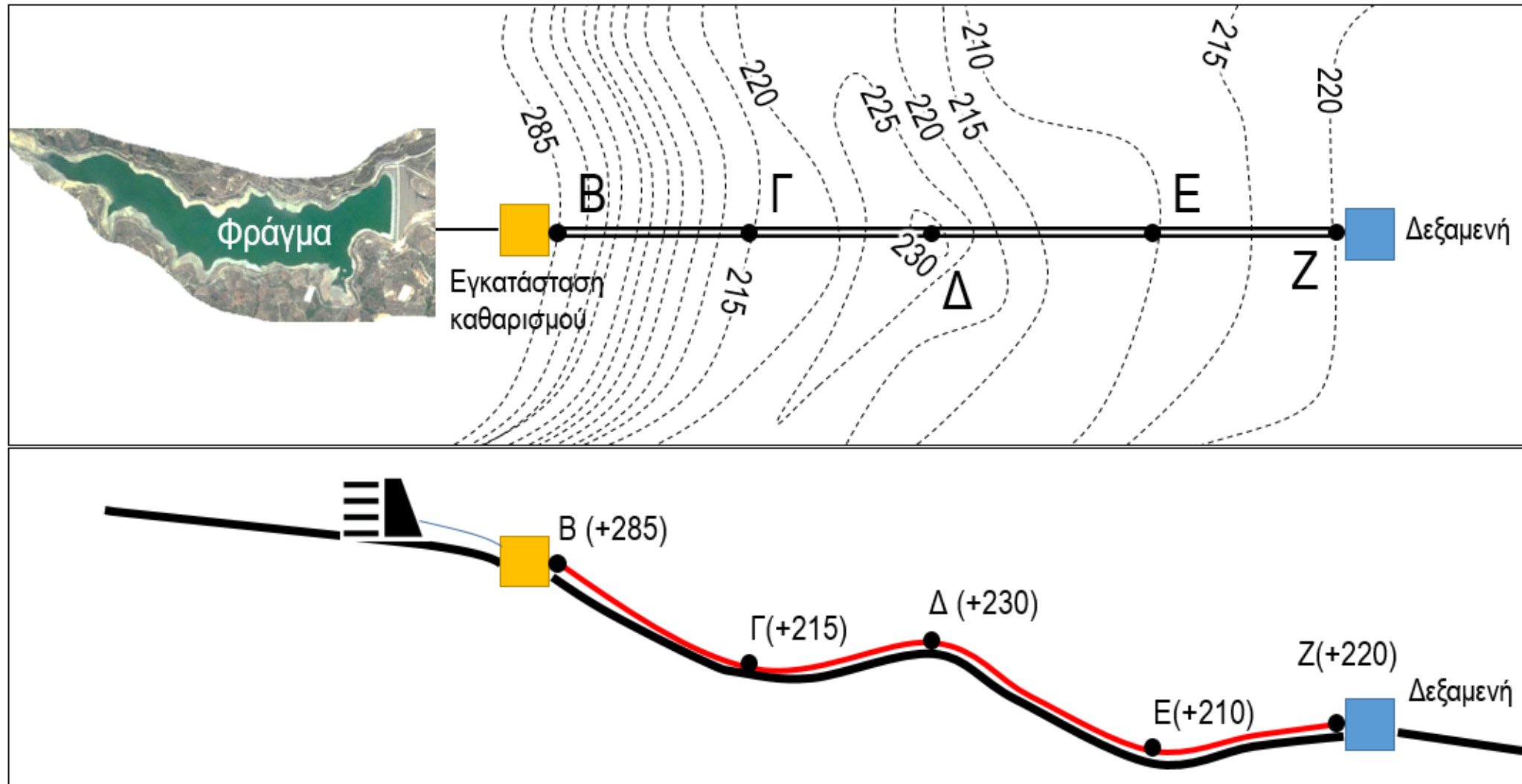


# ΑΣΚΗΣΗ 5

Διαστασιολόγηση βαρυτικού  
αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

# Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

Αγωγός εξωτερικού υδραγωγείου Β-Γ-Δ-Ε-Ζ με παροχή σχεδιασμού 18,87 l/s πρόκειται να υδρεύσει οικισμό από ταμιευτήρα σύμφωνα με τη διάταξη του σχήματος:



# Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

- Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 6000m (το μήκος ΒΔ είναι 2700m και το μήκος ΔΖ είναι 3300m).
- Το υψόμετρο της γραμμής ενέργειας στην έξοδο της εγκατάστασης καθαρισμού (σημείο Β) κυμαίνεται από 2-5m πάνω από το υψόμετρο εδάφους, ενώ η στάθμη της δεξαμενής ρύθμισης κυμαίνεται από 1-5 m πάνω από το υψόμετρο εδάφους ( $H_{\omega\phi} = 4 \text{ m}$ ).
- Επισημαίνεται ότι κατά την έναρξη λειτουργίας του έργου δεν υφίστανται επικαθήσεις αλάτων στον αγωγό, και η ισοδύναμη τραχύτητα αυτού μπορεί να ληφθεί ίση με  $k_s = 0,05 \text{ mm}$ .
- Για το πέρας της περιόδου σχεδιασμού του έργου, να ληφθεί προσαυξημένη τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας  $k_s = 0,5 \text{ mm}$  (τιμή σχεδιασμού).
- Οι ονομαστικές και εσωτερικές διάμετροι και τιμές αγωγών HDPE κλάσεως 10, 12,5 και 16 atm που διατίθενται στο εμπόριο δίδονται στον ακόλουθο πίνακα.
- Η κινηματική συνεκτικότητα το νερού είναι  $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$



# Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

| Ονομ.<br>Διάμμ.<br>(mm) | 10 ATM              |                     |               | 12,5 ATM            |                     |               | 16 ATM              |                     |               |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|
|                         | Πάχος τοιχ.<br>(mm) | Εσωτ. Διάμ.<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) | Πάχος τοιχ.<br>(mm) | Εσωτ. Διάμ.<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) | Πάχος τοιχ.<br>(mm) | Εσωτ. Διάμ.<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) |
| 63                      | 3,8                 | 55,4                | 3,28          | 4,7                 | 53,6                | 4,19          | 5,8                 | 51,4                | 5,01          |
| 75                      | 4,5                 | 66,0                | 4,68          | 5,6                 | 63,8                | 5,82          | 6,8                 | 61,4                | 7,02          |
| 90                      | 5,4                 | 79,2                | 6,72          | 6,7                 | 76,6                | 8,33          | 8,2                 | 73,6                | 10,14         |
| 110                     | 6,6                 | 96,8                | 9,96          | 8,1                 | 93,8                | 12,49         | 10                  | 90,0                | 15,15         |
| 125                     | 7,4                 | 110,2               | 12,74         | 9,2                 | 106,6               | 16,15         | 11,4                | 102,2               | 19,51         |
| 140                     | 8,3                 | 123,4               | 15,49         | 10,3                | 119,4               | 19,48         | 12,7                | 114,6               | 23,52         |
| 160                     | 9,5                 | 141,0               | 20,09         | 11,8                | 136,4               | 25,48         | 14,6                | 130,8               | 30,86         |
| 180                     | 10,7                | 158,6               | 26,46         | 13,3                | 153,4               | 32,31         | 16,4                | 147,2               | 39,07         |
| 200                     | 11,9                | 176,2               | 31,35         | 14,7                | 170,6               | 39,61         | 18,2                | 163,6               | 48,1          |
| 225                     | 13,4                | 198,2               | 39,57         | 16,6                | 191,8               | 50,28         | 20,5                | 184,0               | 60,85         |
| 250                     | 14,8                | 220,4               | 48,84         | 18,4                | 213,2               | 61,96         | 22,7                | 204,6               | 74,88         |
| 280                     | 16,6                | 246,8               | 64,14         | 20,6                | 238,8               | 81,52         | 25,4                | 229,2               | 98,51         |
| 315                     | 18,7                | 277,6               | 81,18         | 23,2                | 268,6               | 103,48        | 28,6                | 257,8               | 124,71        |
| 355                     | 21,1                | 312,8               | 103,34        | 26,1                | 302,8               | 130,95        | 32,2                | 290,6               | 158,71        |
| 400                     | 23,7                | 352,6               | 140,29        | 29,4                | 341,2               | 177,55        | 36,3                | 327,4               | 215,34        |
| 450                     | 26,7                | 396,6               | 177,22        | 33,1                | 383,8               | 224,86        | 40,9                | 368,2               | 272,00        |
| 500                     | 29,7                | 440,6               | 219,85        | 36,8                | 426,4               | 279,22        | 45,4                | 409,2               | 338,63        |
| 560                     | 33,2                | 493,6               | 275,96        | 41,2                | 477,6               | 350,92        | 50,8                | 458,4               | 424,21        |
| 630                     | 37,4                | 555,2               | 348,99        | 46,3                | 537,4               | 443,58        | 57,2                | 515,6               | 537,42        |



# Διαστασιολόγηση βαρυτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου

Ζητούνται:

- 1) Να διαστασιολογηθεί αγωγός HDPE για μεταφορά της παροχής σχεδιασμού με τη βοήθεια της οικονομικής βελτιστοποίησης με αναγωγή μεγεθών σε ετήσια βάση.
- 2) Κατά την έναρξη λειτουργίας του έργου η μέγιστη ημερήσια παροχή είναι 8 l/s. Προτείνετε κατάλληλο τρόπο ρύθμισης της παροχής.
- 3) Στην περίπτωση που το υψόμετρο του σημείου Δ είναι +260m να προταθεί λύση για τη διαστασιολόγηση του εξωτερικού υδραγωγείου.



# Διαθέσιμοι σωλήνες HDPE στο εμπόριο

| HYDROLIFE PE 100 EN 12201 10ATM - SDR 17 |                  |                     |           |
|------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| Κωδικός                                  | Εξ. Διάμετρος mm | Πάχος Τοιχώματος mm | Τιμή €/ m |
| 0300321000                               | 32               | 2,0                 | 0,99      |
| 0300401000                               | 40               | 2,4                 | 1,35      |
| 0300501000                               | 50               | 3,0                 | 2,07      |
| 0300631000                               | 63               | 3,8                 | 3,28      |
| 0300751000                               | 75               | 4,5                 | 4,68      |
| 0300901000                               | 90               | 5,4                 | 6,72      |
| 0301101000                               | 110              | 6,6                 | 9,96      |
| 0301251000                               | 125              | 7,4                 | 12,74     |
| 0301401000                               | 140              | 8,3                 | 15,49     |
| 0301601000                               | 160              | 9,5                 | 20,09     |
| 0301801000                               | 180              | 10,7                | 26,46     |
| 0302001000                               | 200              | 11,9                | 31,35     |
| 0302251000                               | 225              | 13,4                | 39,57     |
| 0302501000                               | 250              | 14,8                | 48,84     |
| 0302801000                               | 280              | 16,6                | 64,14     |
| 0303151000                               | 315              | 18,7                | 81,18     |
| 0303551000                               | 355              | 21,1                | 103,34    |
| 0304001000                               | 400              | 23,7                | 140,29    |
| 0304501000                               | 450              | 26,7                | 177,22    |
| 0305001000                               | 500              | 29,7                | 219,85    |
| 0305601000                               | 560              | 33,2                | 275,96    |
| 0306301000                               | 630              | 37,4                | 348,99    |

| HYDROLIFE PE 100 EN 12201 12,5ATM - SDR 13.6 |                  |                     |           |
|----------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| Κωδικός                                      | Εξ. Διάμετρος mm | Πάχος Τοιχώματος mm | Τιμή €/ m |
| 0300321250                                   | 32               | 2,4                 | 1,11      |
| 0300401250                                   | 40               | 3,0                 | 1,73      |
| 0300501250                                   | 50               | 3,7                 | 2,61      |
| 0300631250                                   | 63               | 4,7                 | 4,19      |
| 0300751250                                   | 75               | 5,6                 | 5,82      |
| 0300901250                                   | 90               | 6,7                 | 8,33      |
| 0301101250                                   | 110              | 8,1                 | 12,49     |
| 0301251250                                   | 125              | 9,2                 | 16,15     |
| 0301401250                                   | 140              | 10,3                | 19,48     |
| 0301601250                                   | 160              | 11,8                | 25,48     |
| 0301801250                                   | 180              | 13,3                | 32,31     |
| 0302001250                                   | 200              | 14,7                | 39,61     |
| 0302251250                                   | 225              | 16,6                | 50,28     |
| 0302501250                                   | 250              | 18,4                | 61,96     |
| 0302801250                                   | 280              | 20,6                | 81,52     |
| 0303151250                                   | 315              | 23,2                | 103,48    |
| 0303551250                                   | 355              | 26,1                | 130,95    |
| 0304001250                                   | 400              | 29,4                | 177,55    |
| 0304501250                                   | 450              | 33,1                | 224,86    |
| 0305001250                                   | 500              | 36,8                | 279,72    |
| 0305601250                                   | 560              | 41,2                | 350,92    |
| 0306301250                                   | 630              | 46,3                | 443,58    |

| HYDROLIFE PE 100 EN 12201 16ATM - SDR 11 |                  |                     |           |
|------------------------------------------|------------------|---------------------|-----------|
| Κωδικός                                  | Εξ. Διάμετρος mm | Πάχος Τοιχώματος mm | Τιμή €/ m |
| 0300201600                               | 20               | 2,0                 | 0,69      |
| 0300251600                               | 25               | 2,3                 | 0,95      |
| 0300321600                               | 32               | 3,0                 | 1,38      |
| 0300401600                               | 40               | 3,7                 | 2,07      |
| 0300501600                               | 50               | 4,6                 | 3,17      |
| 0300631600                               | 63               | 5,8                 | 5,01      |
| 0300751600                               | 75               | 6,8                 | 7,02      |
| 0300901600                               | 90               | 8,2                 | 10,14     |
| 0301101600                               | 110              | 10,0                | 15,15     |
| 0301251600                               | 125              | 11,4                | 19,51     |
| 0301401600                               | 140              | 12,7                | 23,52     |
| 0301601600                               | 160              | 14,6                | 30,86     |
| 0301801600                               | 180              | 16,4                | 39,07     |
| 0302001600                               | 200              | 18,2                | 48,10     |
| 0302251600                               | 225              | 20,5                | 60,85     |
| 0302501600                               | 250              | 22,7                | 74,88     |
| 0302801600                               | 280              | 25,4                | 98,51     |
| 0303151600                               | 315              | 28,6                | 124,71    |
| 0303551600                               | 355              | 32,2                | 158,71    |
| 0304001600                               | 400              | 36,3                | 215,34    |
| 0304501600                               | 450              | 40,9                | 272,00    |
| 0305001600                               | 500              | 45,4                | 338,63    |
| 0305601600                               | 560              | 50,8                | 424,21    |
| 0306301600                               | 630              | 57,2                | 537,42    |

# Διαθέσιμοι σωλήνες HDPE στο εμπόριο

|                        | 10 ATM                 |                        |               | 12,5 ATM               |                        |               | 16 ATM                 |                        |               |
|------------------------|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Ονομ,<br>Διάμ,<br>(mm) | Πάχος<br>τοιχ,<br>(mm) | Εσωτ,<br>Διάμ,<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) | Πάχος<br>τοιχ,<br>(mm) | Εσωτ,<br>Διάμ,<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) | Πάχος<br>τοιχ,<br>(mm) | Εσωτ,<br>Διάμ,<br>(mm) | Τιμή<br>(€/m) |
| 63                     | 3,8                    | 55,4                   | 3,28          | 4,7                    | 53,6                   | 4,19          | 5,8                    | 51,4                   | 5,01          |
| 75                     | 4,5                    | 66,0                   | 4,68          | 5,6                    | 63,8                   | 5,82          | 6,8                    | 61,4                   | 7,02          |
| 90                     | 5,4                    | 79,2                   | 6,72          | 6,7                    | 76,6                   | 8,33          | 8,2                    | 73,6                   | 10,14         |
| 110                    | 6,6                    | 96,8                   | 9,96          | 8,1                    | 93,8                   | 12,49         | 10                     | 90,0                   | 15,15         |
| 125                    | 7,4                    | 110,2                  | 12,74         | 9,2                    | 106,6                  | 16,15         | 11,4                   | 102,2                  | 19,51         |
| 140                    | 8,3                    | 123,4                  | 15,49         | 10,3                   | 119,4                  | 19,48         | 12,7                   | 114,6                  | 23,52         |
| 160                    | 9,5                    | 141,0                  | 20,09         | 11,8                   | 136,4                  | 25,48         | 14,6                   | 130,8                  | 30,86         |
| 180                    | 10,7                   | 158,6                  | 26,46         | 13,3                   | 153,4                  | 32,31         | 16,4                   | 147,2                  | 39,07         |
| 200                    | 11,9                   | 176,2                  | 31,35         | 14,7                   | 170,6                  | 39,61         | 18,2                   | 163,6                  | 48,10         |
| 225                    | 13,4                   | 198,2                  | 39,57         | 16,6                   | 191,8                  | 50,28         | 20,5                   | 184,0                  | 60,85         |
| 250                    | 14,8                   | 220,4                  | 48,84         | 18,4                   | 213,2                  | 61,96         | 22,7                   | 204,6                  | 74,88         |
| 280                    | 16,6                   | 246,8                  | 64,14         | 20,6                   | 238,8                  | 81,52         | 25,4                   | 229,2                  | 98,51         |
| 315                    | 18,7                   | 277,6                  | 81,18         | 23,2                   | 268,6                  | 103,48        | 28,6                   | 257,8                  | 124,71        |
| 355                    | 21,1                   | 312,8                  | 103,34        | 26,1                   | 302,8                  | 130,95        | 32,2                   | 290,6                  | 158,71        |
| 400                    | 23,7                   | 352,6                  | 140,29        | 29,4                   | 341,2                  | 177,55        | 36,3                   | 327,4                  | 215,34        |
| 450                    | 26,7                   | 396,6                  | 177,22        | 33,1                   | 383,8                  | 224,86        | 40,9                   | 368,2                  | 272,00        |
| 500                    | 29,7                   | 440,6                  | 219,85        | 36,8                   | 426,4                  | 279,22        | 45,4                   | 409,2                  | 338,63        |
| 560                    | 33,2                   | 493,6                  | 275,96        | 41,2                   | 477,6                  | 350,92        | 50,8                   | 458,4                  | 424,21        |
| 630                    | 37,4                   | 555,2                  | 348,99        | 46,3                   | 537,4                  | 443,58        | 57,2                   | 515,6                  | 537,42        |



# Πίνακας οικονομικών διαμέτρων

| Ονομαστ.<br>Διάμετρος | Παροχή<br>λ/δλ | Ονομαστ.<br>Διάμετρος | Παροχή<br>λ/δλ |
|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 60                    | 1,6            | 400                   | 70             |
| 80                    | 2,8            | 450                   | 90             |
| 100                   | 4,4            | 500                   | 100            |
| 125                   | 6,9            | 600                   | 160            |
| 150                   | 10,0           | 700                   | 218            |
| 175                   | 13,6           | 800                   | 284            |
| 200                   | 17,8           | 900                   | 360            |
| 250                   | 27,8           | 1000                  | 444            |
| 300                   | 40,0           | 1100                  | 538            |
| 350                   | 54,4           | 1250                  | 694            |



| Εσωτερική διάμετρος (mm)   | $V_{max}$ (m/s) | $V_{min}$ (m/s) |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| $D_{εσωτ} \leq 125$        | 1.55            | 0.50            |
| $125 < D_{εσωτ} \leq 175$  | 1.85            | 0.50            |
| $175 < D_{εσωτ} \leq 350$  | 2.00            | 0.50            |
| $350 < D_{εσωτ} \leq 450$  | 2.10            | 0.50            |
| $450 < D_{εσωτ} \leq 600$  | 2.20            | 0.50            |
| $600 < D_{εσωτ} \leq 800$  | 2.30            | 0.70            |
| $800 < D_{εσωτ} \leq 1000$ | 2.40            | 0.70            |
| $D_{εσωτ} > 1000$          | 2.5             | 0.70            |



Εναλλακτικά προσεγγιστική εξίσωση Colebrook

$$J = 8,21 \cdot 10^{-4} \cdot (0,905 \cdot D)^{-4,76} \cdot Q^{1,76}$$

