

- Τοπικές απώλειες ενεργείας
 - τοπικές αλλαγές της ροής
 - εξαρτήματα

2.4.5 Τοπικές Απώλειες Φορτίου

Οι τοπικές απώλειες οφείλονται στα τοπικά εμπόδια τα οποία συναντά η ροή. Οι κυριότερες αιτίες τοπικών απωλειών είναι οι παρακάτω:

- Απότομη διαστολή ή συστολή της διατομής του αγωγού
- Βαθμιαία διαστολή ή συστολή της διατομής του αγωγού
- Αλλαγή κατεύθυνσης του αγωγού
- Τοπικές απώλειες σε δικλείδες και άλλες συσκευές που παρεμβάλλονται στη ροή
- Μη ευθύγραμμη τοποθέτηση του αγωγού.

Στην πράξη η διαταραχή αυτής της ροής για τις παραπάνω αιτίες δεν περιορίζεται σε ένα σημείο και το φαινόμενο συνοδεύεται από την ανάπτυξη στροβίλων και αποκλίνουσας ροής (Νουτσόπουλος και Χριστοδούλου, 1996). Ωστόσο, για απλοποίηση θεωρείται ότι οι τοπικές απώλειες σημειώνονται σημειακά μετατοπίζοντας τη γραμμή ενέργειας κατακόρυφα. Οι τοπικές απώλειες προσδιορίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$h_f' = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.30)$$

2.4.6 Συνολικές Απώλειες Φορτίου και Πιεζομετρική Γραμμή

Όπως αναφέρθηκε οι τοπικές απώλειες φορτίου παρουσιάζονται στα σημεία με απότομες μεταβολές της διατομής ή αλλαγής διεύθυνσης ή ύπαρξης συναρμογών, δικλείδων κ.ά., και μπορούν να προσεγγισθούν αναλυτικά. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας των προβλημάτων σε πραγματικά υδραυλικά δίκτυα πόλεων ο αναλυτικός υπολογισμός των τοπικών απωλειών σε ένα δίκτυο ύδρευσης είναι δυσχερές. Επιπλέον, για μεγάλα μήκη αγωγών οι γραμμικές απώλειες είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις τοπικές απώλειες. Οπότε οι τοπικές απώλειες λαμβάνονται συνήθως υπόψη ενσωματωμένες συνήθως στις γραμμικές απώλειες θεωρούμενες ως ένα ποσοστό των γραμμικών απωλειών. Η προσαύξηση των γραμμικών απωλειών ώστε να περιλαμβάνονται οι πάσης φύσεως τοπικές απώλειες είναι 10 - 15%.

Μία άλλη προσέγγιση με ευρεία εφαρμογή στις μελέτες, ιδιαίτερα στο εσωτερικό υδραγωγείο, αποτελεί η προσαύξηση της τραχύτητας προκειμένου να συμπεριληφθούν οι τοπικές απώλειες, κατά μία τάξη μεγέθους.

Σημειώνεται ότι για τον ίδιο λόγο δε γίνεται διάκριση μεταξύ γραμμής ενέργειας και πιεζομετρικής γραμμής. Αν για παράδειγμα η ταχύτητα ροής είναι 1 m/s η ποσότητα $(V^2/2g) \approx (1/20) = 0.05$ m σε σχέση με τις συνήθεις πιέσεις 20 - 50 m αποτελεί πολύ μικρό μέγεθος.

Παραδοχές-προσεγγίσεις σε αυτό το μάθημα:

-Οι τοπικές απώλειες είναι ενσωματωμένες στις γραμμικές

- Σταθερός συντελεστής τριβής f

(οι παραπάνω παραδοχές πολλές φορές χρ. στην πράξη κατά το σχεδιασμό)

Υδραυλική: Λεπτομερής προσδιορισμός εκτός αν η εκφώνηση απλοποιεί την άσκηση (όπως σήμερα)...

Τοπικές απώλειες

Τοπικές απώλειες

- Αποκόλληση της ροής και δημιουργία τυρβώδους (ετροβιλισμών)

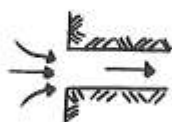
- $$h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

h_L : ύψος ή φορτίο τοπικής απώλειας

V : ταχύτητα στο μικρότερο διατομής τμήμα του αγωγού

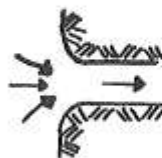
K_L : αδιάστατος συντελεστής τοπικής απώλειας

Στην είσοδο του αγωγού από δεξαμενή



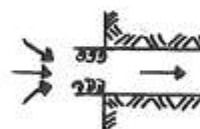
Εγκάρσια

$$K_L \approx 0.5$$



Κωδωνοειδής

$$K_L \approx 0.05$$

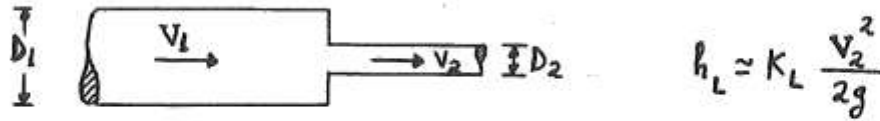


Εισέχουσα

$$K_L \approx 1.0$$

Τοπικές απώλειες

Απότομη στενωση

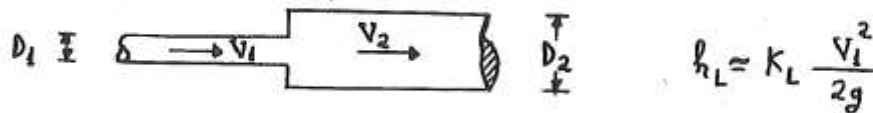


$$K_L = 0.48 - 0.3 \frac{D_2}{D_1}, \quad \text{για } 0 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 0.55$$

$$K_L = 0.7 \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right), \quad \text{για } 0.55 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 1.0$$

πειράματα

Απότομη διεύρυνση



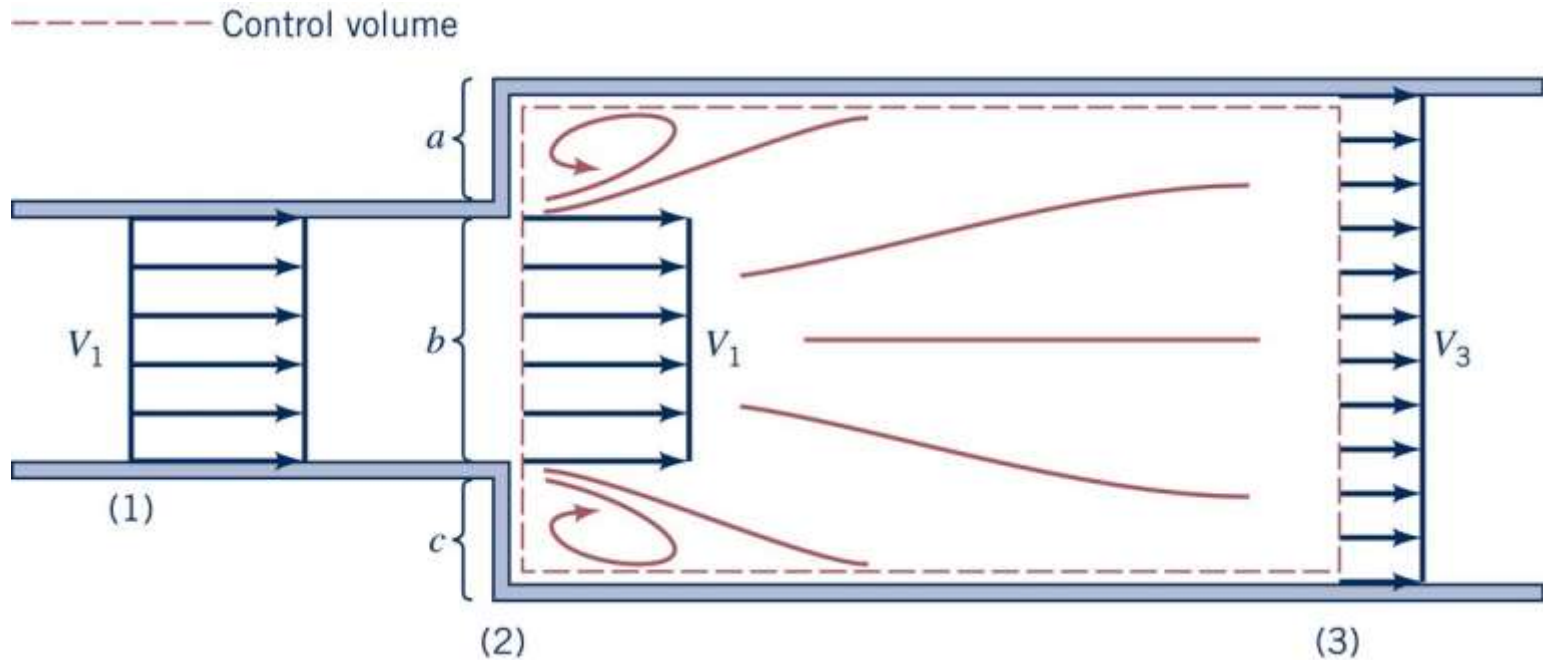
$$K_L = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2$$

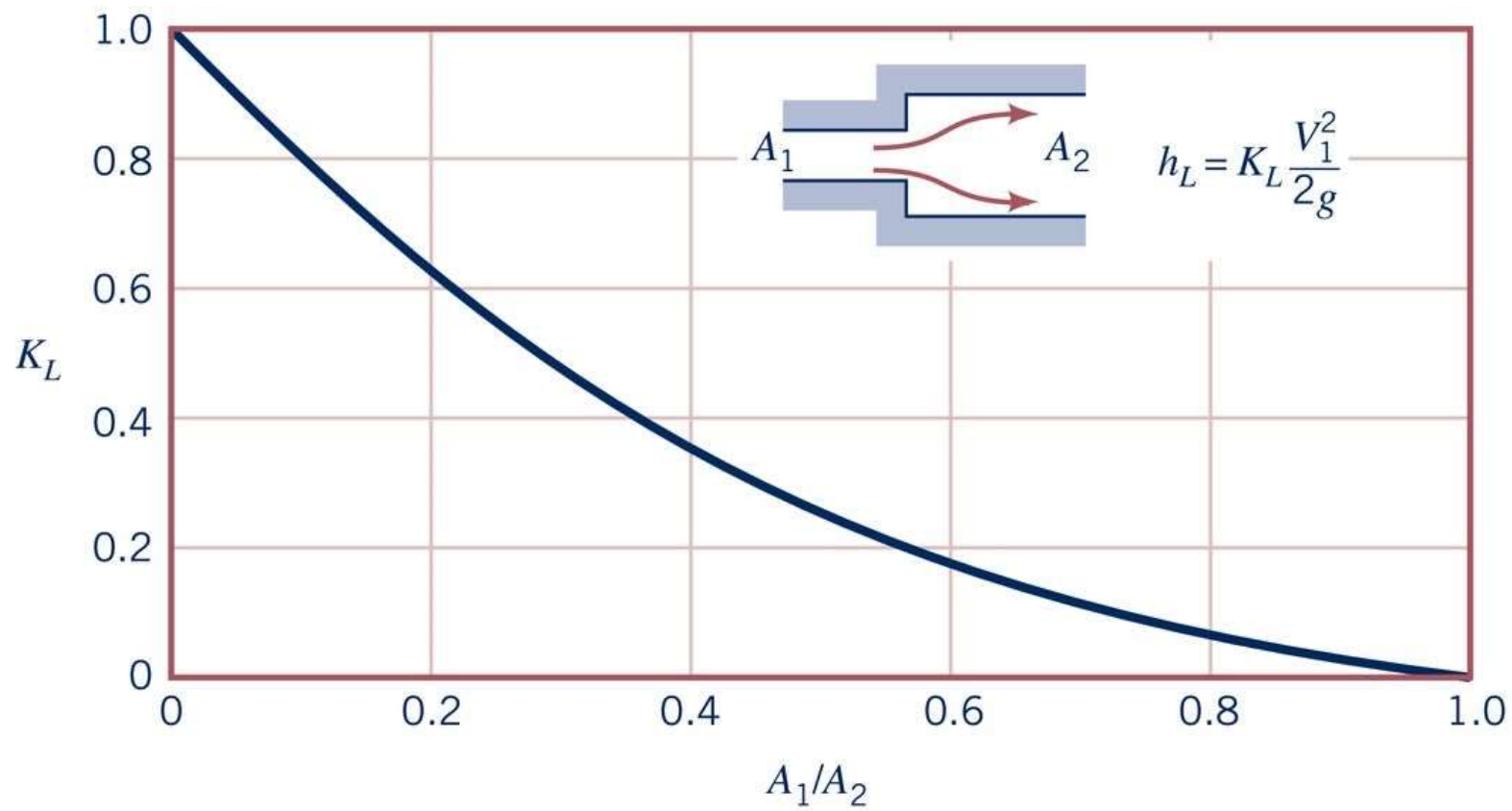
για $D_2 \rightarrow \infty$, $K_L = 1.0$
αγωγός σε
δεξαμενή

Με βάση τη
διατήρηση της
ορμής
Πειραματική
επιβεβαίωση

Απότομη στένωση: δημιουργία ζωνών ανακυκλοφορίας, οι
στρόβιλοι προκαλούν τις σημαντικότερες απώλειες ενέργειας

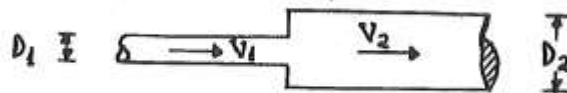
Δυνατότητα απόδειξης από ΑΔΟ





Τοπικές απώλειες

Απότομη διεύρυνση

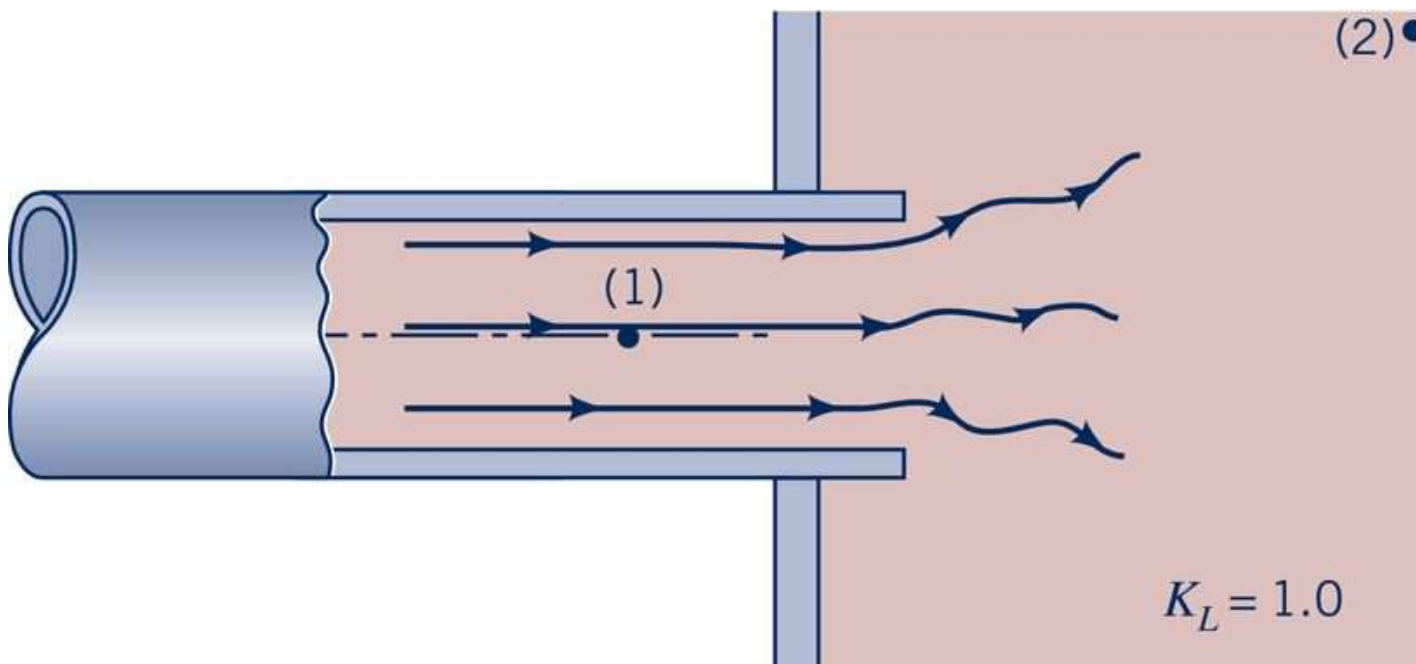


$$K_L = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2$$

$$h_L \approx K_L \frac{V_1^2}{2g}$$

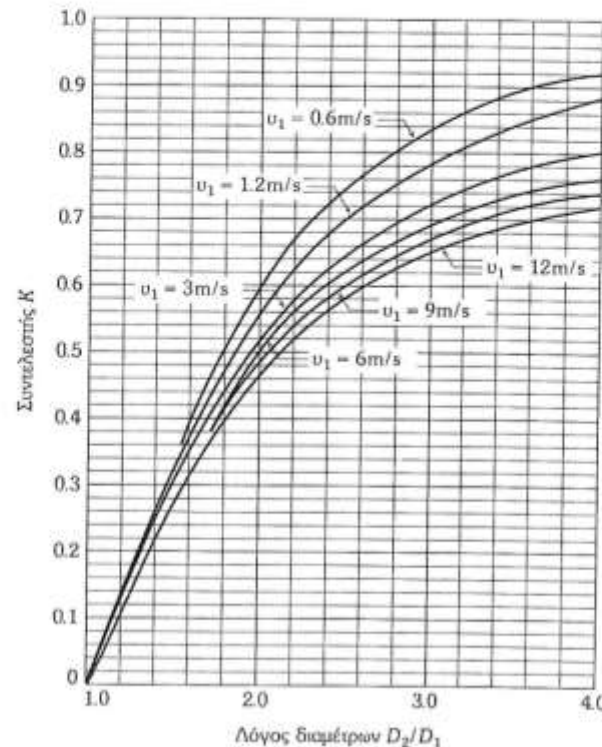
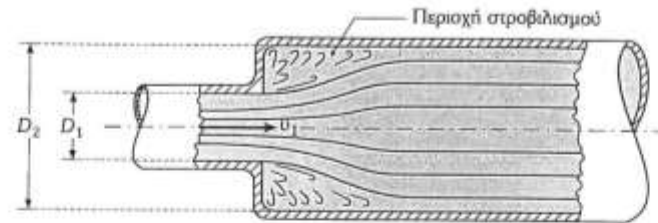
για $D_2 \rightarrow \infty$, $K_L = 1.0$
αγωγός σε
δεξαμενή

Με βάση τη
διατήρηση της
ορμής
Πειραματική
επιβεβαίωση



Είσοδος αγωγού σε δεξαμενή (κατάντη, τέλος, όλη η κινητική ενέργεια γίνεται μία τοπική απώλεια ενέργειας)

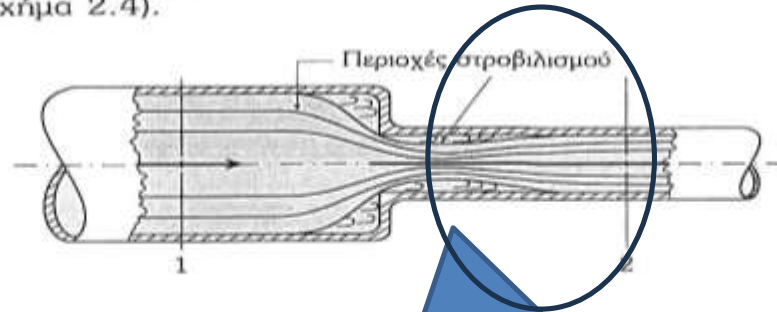
Τα αποτελέσματα της παραπάνω εξίσωσης είναι συμβατά με τα πειραματικά αποτελέσματα για ταχύτητα περί τα 1.2 m/s (συνήθης τιμή στα τυπικά υδραυλικά έργα). Για διαφορετικές τιμές της ταχύτητας συνιστάται η χρήση του νομογραφήματος του Σχήματος 2.3.



Σχ. 2.3: Προσδιορισμός δείκτη K για απότομη διαστολή αγωγού, $h_f = K(V^2/2g)$.

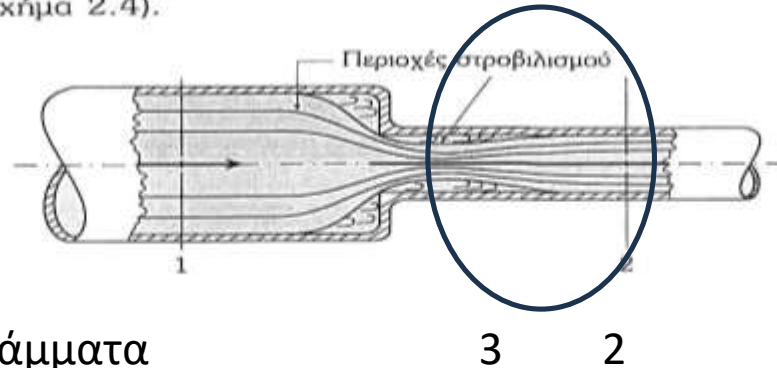
Ωστόσο το K
εξαρτάται
από την
ταχύτητα
όχι
απαραίτητο
για ασκήσεις

αποτέλεσμα να δημιουργούνται στρόβιλοι, αναγκάζοντας τη ροή κατά-
ντη να διέλθει από μικρότερη διατομή από τη D_2 . Τελικά, ο συντελε-
στής K προσεγγίζεται από το νομογράφημα που στηρίζεται σε πειραμα-
τικά δεδομένα και επηρεάζεται από την ταχύτητα και τις διαστάσεις των
αγωγών (Σχήμα 2.4).



Αποτομη στένωση: η ροή συστέλλεται έως
της μέγιστη συστολή (με μεγάλη ταχύτητα
και μικρότερη πίεση) και κατόπιν
αποκαθίσταται ροή σε όλη τη διατομή άρα
υπάρχει απώλεια ενέργειας λόγω
απότομης διεύρυνσης στο κατόντη αγωγό-
 $K \approx 0.44$ (Λιακόπουλος, 2020)

αποτέλεσμα να δημιουργούνται στρόβιλοι, αναγκάζοντας τη ροή κατά-
ντη να διέλθει από μικρότερη διατομή από τη D_2 . Τελικά, ο συντελε-
στής K προσεγγίζεται από το νομογράφημα που στηρίζεται σε πειραμα-
τικά δεδομένα και επηρεάζεται από την ταχύτητα και τις διαστάσεις των
αγωγών (Σχήμα 2.4).



Πείραμα: διαγράμματα

Εμπ. σχέσεις, μία προσπάθεια

ερμηνείας:

$$h_{l_{m3-2}} = \left(1 - \frac{A_3}{A_2}\right)^2 \frac{V_3^2}{2g}$$

$A_3 = \beta A_2$ ($0 < \beta < 1$), όπου A_2 είναι το εμβαδόν της διατομής 2, $A_2 = \pi \frac{D_2^2}{4}$

Από την εξίσωση συνέχειας έχουμε ότι

$V_3 = \frac{A_2}{A_3} V_2 \rightarrow V_3 = \frac{V_2}{\beta}$ και, επομένως, $h_{l_{m3-2}} = \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$ δηλαδή

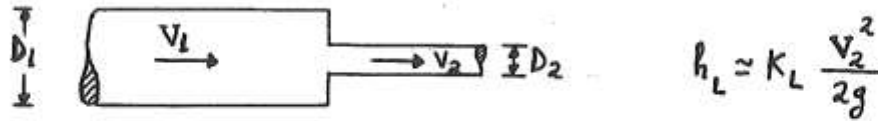
$$K_{3-2} = \left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)^2$$

Συχνά στην υδραυλική λαμβάνουμε κατά προσέγγιση $\beta = 0.6$ οπότε $K_{3-2} = 0.44$.

(Λιακόπουλος)

Τοπικές απώλειες

Απότομη στενωση



$$h_L \approx K_L \frac{V_2^2}{2g}$$

$$K_L = 0.48 - 0.3 \frac{D_2}{D_1}, \quad \text{για } 0 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 0.55$$

$$K_L = 0.7 \left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right), \quad \text{για } 0.55 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 1.0$$

πειράματα

**Συντελεστής τοπικών
απωλειών ενέργειας K_L**

Συντελεστής **απότομης**
διεύρυνσης (εξίσωση από ΑΔΟ)

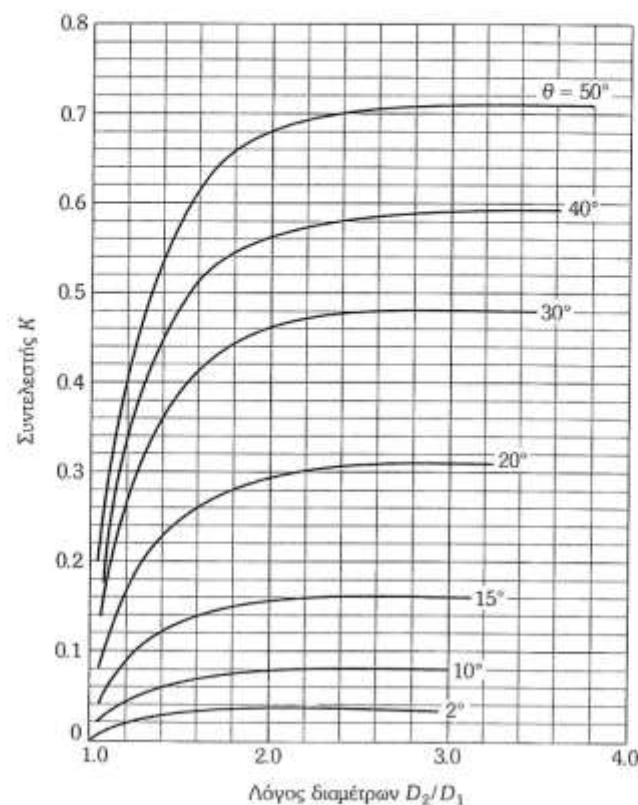
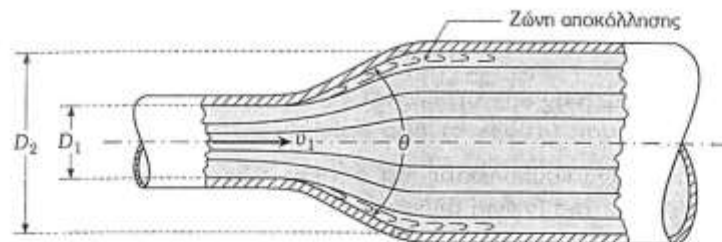
$K_L \neq$ Συντελεστής **απότομης**
στένωσης

(άλλη φυσική διαδικασία) K_L

Απότομη διέυρυνση (εξίσωση από ΑΔΟ)

Απότομη στένωση : πείραμα, διαγράμματα

1997 και Munson et al., 1990). Για μικρές γωνίες προκύπτει σημαντικό μήκος διαχυτή (το μήκος του αγωγού που μεσολαβεί μεταξύ D_1 και D_2) και συνεπώς προκύπτουν αυξημένες γραμμικές απώλειες. Η βέλτιστη γωνία προκύπτει περί τις 7° (Mott et al., 2006). Για τον προσδιορισμό του συντελεστή K μπορεί να χρησιμοποιηθεί νομογράφημα του Σχήματος 2.5.



Σταδιακή διεύρυνση

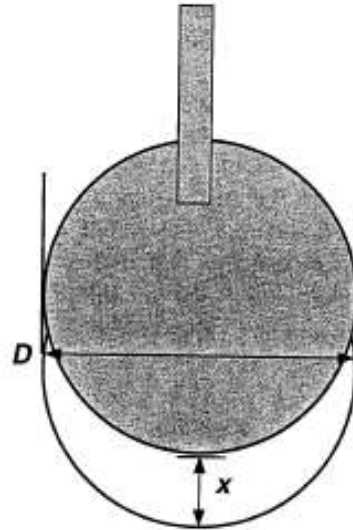
- Μικρές γωνίες: οι απώλειες κυρίως από διατμητική τάση
- Μεγάλες γωνίες: μηχανισμός αποκόλλησης ροής

Τσακίρης και Σπηλιώτης,
2011

Σχ. 2.5: Προσδιορισμός δείκτη K για βαθμαία διαστολή αγωγού, $h_f' = K(V^2/2g)$.

6.8 Δεικλίδαι-θυροφράγματα

Διά τας βαλβίδας ολισθήσεως εντός αγωγών κυκλικής διατομής, ιδέ Σχήμα 6.12, παρατίθεται ο κάτωθι Πίναξ 6.4, ληφθείς εκ του *Lencastre (1987)*,



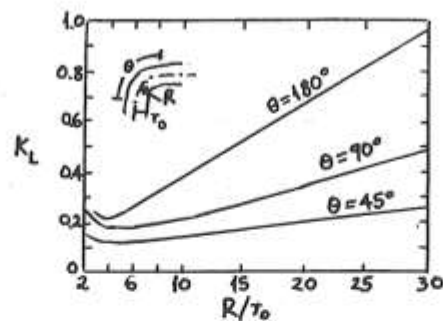
Σχήμα 6.12 Ολισθαίνουσα βαλβίς εντός αγωγού μεταφοράς κυκλικής διατομής

x/D	K	x/D	K	x/D	K	x/D	x/D
0.181	41.21	0.250	22.68	0.417	6.33	0.583	1.55
0.194	35.36	0.333	11.89	0.458	4.57	0.667	0.77
0.208	31.35	0.375	8.63	0.500	3.27	1.000	0.00

Πίναξ 6.4 Τιμαί των συντελεστών απωλειών φορτίου K διά βαλβίδας ολισθήσεως εντός αγωγών κυκλικής διατομής

Σούλης,
Υδραυλική

(33)

Γωνίες

$$H_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Ρυθμιστικές Δικλίδες

Σφαιρική
 $K_L \approx 10$

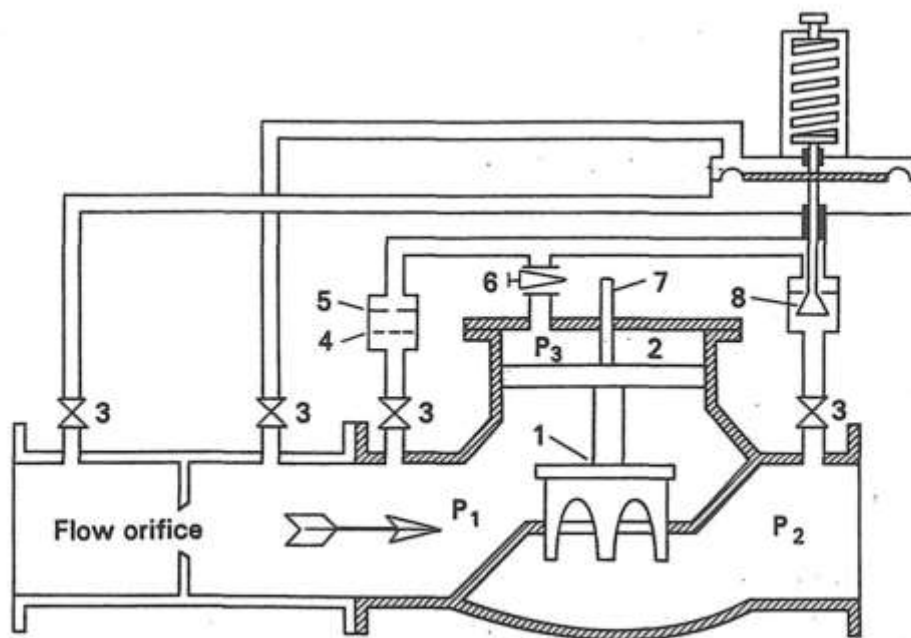


Γωνιακή
 $K_L = 3.1$



Ολιεθαίνουσα
 $K_L \approx 0.19$

Βαλβίδα ρύθμισης παροχής



Προσαύξηση ισοδύναμης τραχύτητας για υδραυλικό δίκτυο, μελετητική πρακτική (έμμεση συμπερίληψη των τοπικών απωλειών ενέργειας)

(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	ε (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