



UNIVERSITY OF  
**PATRAS**  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

# Σημειώσεις διαλέξεων «Εφαρμοσμένη Υδραυλική»

Διάλεξη 3  
27/10/2022

Λευθεριώτης Γεώργιος  
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Πανεπιστήμιο Πατρών

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

- Δημιουργούνται σε σχετικά περιορισμένο μήκος αγωγού.
- Οφείλονται σε αλλαγή της γεωμετρίας ή/και αλλαγή κατεύθυνσης της ροής.
- Στις αλλαγές αυτές, δημιουργούνται στρόβιλοι και η ροή τοπικά παύει να είναι ομοιόμορφη.
- Οι τοπικές απώλειες αυξάνουν το μέγεθος των δημιουργούμενων στροβίλων λόγω της ανακυκλοφορίας της ροής.
- Εμφανίζονται σε είσοδο/έξοδο αγωγού, σε περιπτώσεις απότομης/βαθμιαίας στένωσης ή διεύρυνσης αγωγού, σε καμπές και σε ενώσεις αγωγών, και σε θέσεις δικλίδων.
- Στην Υδραυλική δεν ενδιαφερόμαστε για τη λεπτομερή περιγραφή της ροής σε αυτές της περιπτώσεις, αλλά δίνεται βάση στην εκτίμηση των **πρόσθετων απωλειών μηχανικής ενέργειας**.

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

Οι τοπικές απώλειες (εκτός από τη διεύρυνση) υπολογίζονται από τη σχέση:

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

όπου  $K$  = συντελεστής τοπικών απωλειών και  $V$  = η μεγαλύτερη ταχύτητα

- Ο **συντελεστής τοπικών απωλειών  $K$**  εξαρτάται από το είδος της ροής (**Re**) και τη γεωμετρία μεταβολής.
- Σε εφαρμογές **πλήρως τυρβώδους ροής** εξαρτάται **μόνο** από τη γεωμετρία.
- Οι τιμές του συντελεστή  $K$  προσδιορίζονται πειραματικά στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές.

Ενδεικτικές τιμές του  $K$  μπορούν να βρεθούν ηλεκτρονικά στο **Engineering Toolbox**.

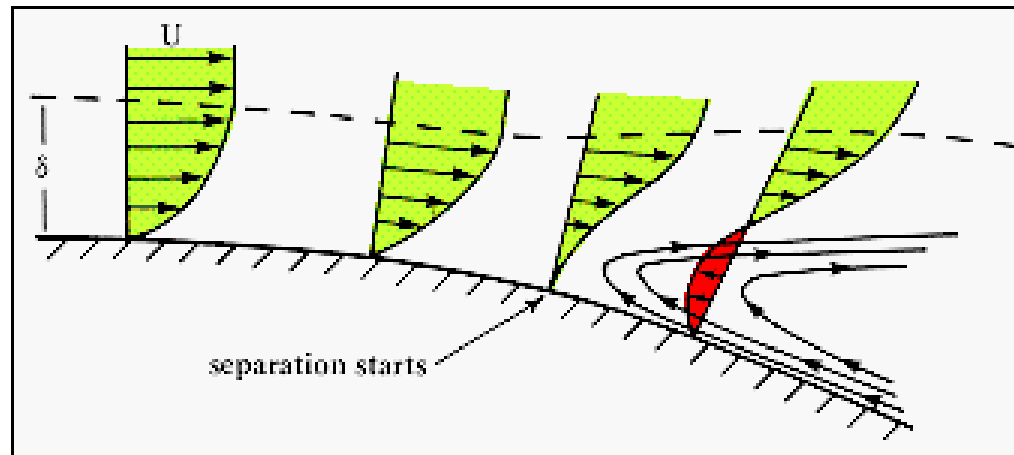
[https://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d\\_626.html](https://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d_626.html)

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Αποκόλληση της ροής

Το φαινόμενο της **αποκόλλησης της ροής** συναντάται όταν το οριακό στρώμα «αποκολλάται» λόγω των μεταβολών της γεωμετρίας του τοιχώματος του αγωγού.

Η ροή αρχίζει να κινείται προς τα ανάντη (ανάστροφη ροή) σχηματίζοντας δίνες (στροβίλους), που απορροφούν ενέργεια από την ροή και προκαλούν σημαντικές τοπικές απώλειες ενέργειας.



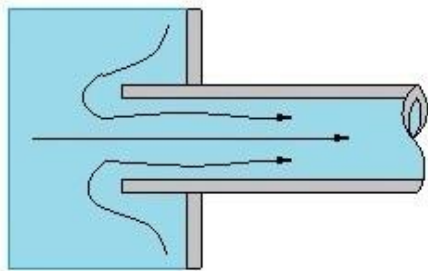
## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Είσοδος από δεξαμενή

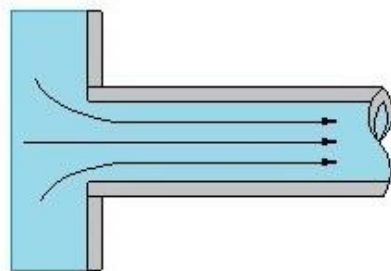
Στην είσοδο από δεξαμενή οι απώλειες εξαρτώνται από τη γεωμετρία της εισόδου.

Οι απότομες ακμές προκαλούν ζώνες αποκόλλησης της ροής.

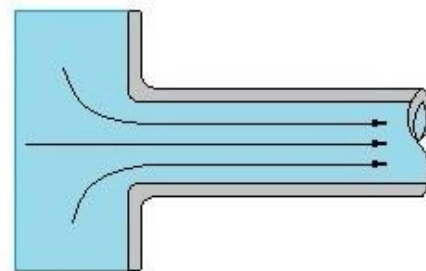
Οι στρογγυλεμένες γεωμετρίες ευνοούν την ομαλή είσοδο τη ροής στον αγωγό και τη μείωση του συντελεστή  $K$ .



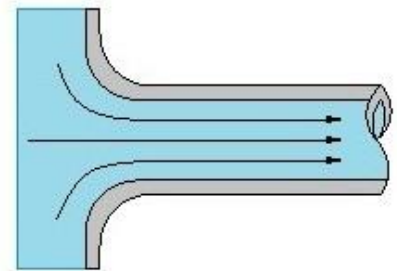
Reentrant  $K=0.8$



Sharp-Edged  $K=0.5$



Slightly-Rounded  $K=0.2$



Well-Rounded  $K=0.04$

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

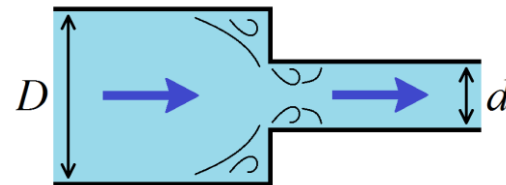
### Απότομη στένωση – διεύρυνση

Στην απότομη στένωση η ροή δημιουργεί δίνες πριν τη στένωση (ανάντη).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αποκόλληση της ροής, δημιουργία φλέβας, και μετά επανακόλληση της ροής στα τοιχώματα.

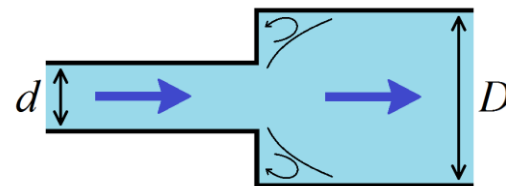
Η θεωρητική επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος δεν είναι δυνατή. Ο συντελεστής απωλειών έχει προσδιοριστεί πειραματικά (White, 1986):

- Στένωση: 
$$K_{\sigma} = 0.42 \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right)$$



Αντιθέτως στην απότομη διεύρυνση υπάρχει η θεωρητική σχέση:

- Διεύρυνση: 
$$K_{\delta} = \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2$$



όπου  $d$  η μικρότερη διάμετρος και  $D$  η μεγαλύτερη και στις 2 περιπτώσεις.

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

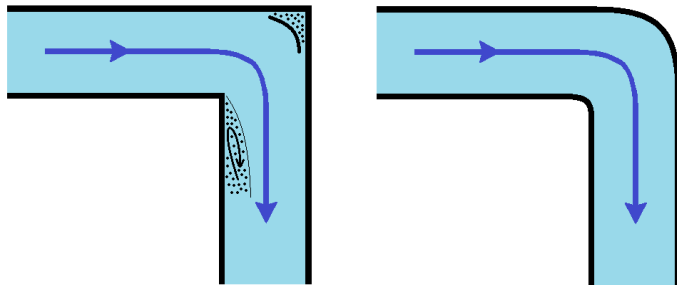
### Καμπές – Ταυ

Οι ομαλές **καμπές** ή απότομες αλλαγές κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται σε αλλαγή κατεύθυνσης της ροής.

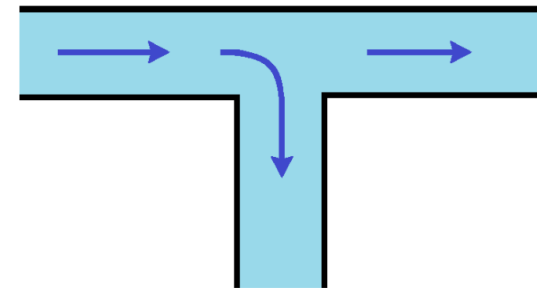
Εκτός από τις απώλειες λόγω τριβών έχουμε επιπλέον τις απώλειες λόγω συστροφής της ροής και παραγωγή δευτερεύουσας ροής.

Τα **Ταυ** χρησιμοποιούνται στις διακλαδώσεις της ροής.

Το μήκος του καμπύλου τμήματος προστίθεται στο μήκος του αγωγού για τον προσδιορισμό των γραμμικών απωλειών λόγω τριβών.



Καμπή απότομη ή ομαλή



Ταυ

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Δικλίδες (valves)

Εξαρτήματα που παρεμβάλλονται στον αγωγό και χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της παροχής.

Υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία δικλείδων στην αγορά και η επιλογή τους γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες.

- **Δικλίδες ελέγχου** (control valves): Έλεγχος της παροχής, και προσαρμογή της σε επιθυμητά επίπεδα.
- **Δικλίδες ανακούφισης** (relief valves): Προστασία από τις υπερπίεσεις. Αυτόματο άνοιγμα για την εκτόνωση της πίεσης.
- **Δικλίδες διπλής ενέργειας** (two-way relief valves): Προστασία από υπερπίεσεις και υποπίεσεις. Αυτόματο άνοιγμα για την εκτόνωση της πίεσης αλλά και είσοδος αέρα στον αγωγό.



# Ροή υπό πίεση ή ροή σε κλειστούς αγωγούς

9/15

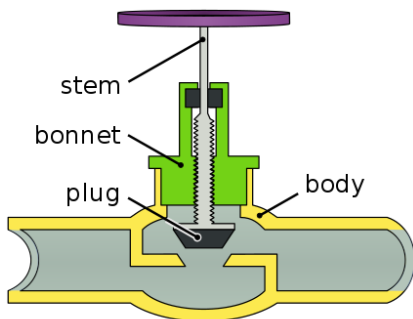
## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Δικλίδες (valves)

#### Σφαιροειδής (Globe)



<http://www.famat.com/products/industrial-valves/globe-valves/>

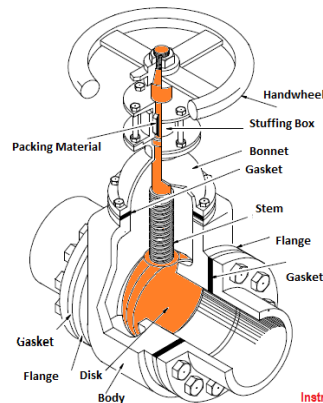


[https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Globe\\_valve\\_diagram.svg](https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Globe_valve_diagram.svg)

#### Θυροφράγματος (Gate)



<https://www.target-valve.com/gate-valve-gt-200.html>



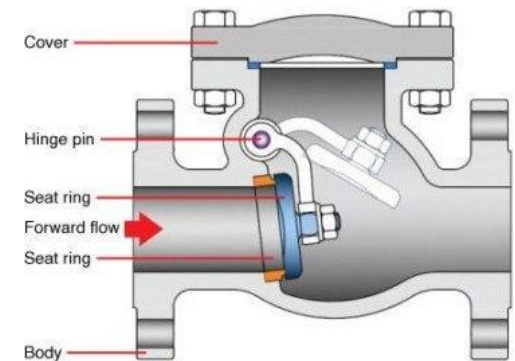
<https://instrumentationforum.com/t/gate-valve-design/4188>

#### Σφαιρική (Ball)



<https://www.ferrocompany.com/family-29.html>

#### Αντεπιστροφής (Check)



<https://megadepot.com/resource/a-guide-to-types-of-valves>

## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Βαθμιαία διεύρυνση – στένωση

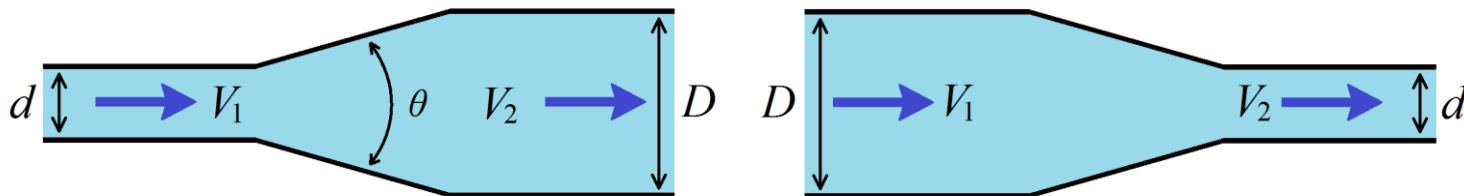
Στη βαθμιαία διεύρυνση (διαχυτήρας - diffuser) οι απώλειες δίνονται από:

$$h_{\tau} = K_d \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Ο συντελεστής απωλειών διεύρυνσης εξαρτάται από παραμέτρους όπως ο λόγος των διαμέτρων και η γωνία διεύρυνσης  $\theta$ .

Σε γωνίες διεύρυνσης  $40^\circ$  έως  $60^\circ$  έχουμε πολύ υψηλές απώλειες ( $K_d \approx 1$ ) λόγω υπέρμετρης αποκόλλησης της ροής.

Στη βαθμιαία στένωση οι απώλειες είναι πολύ μικρές ( $K \approx 0,02 - 0,07$ ).



Βαθμιαία διεύρυνση

Βαθμιαία στένωση

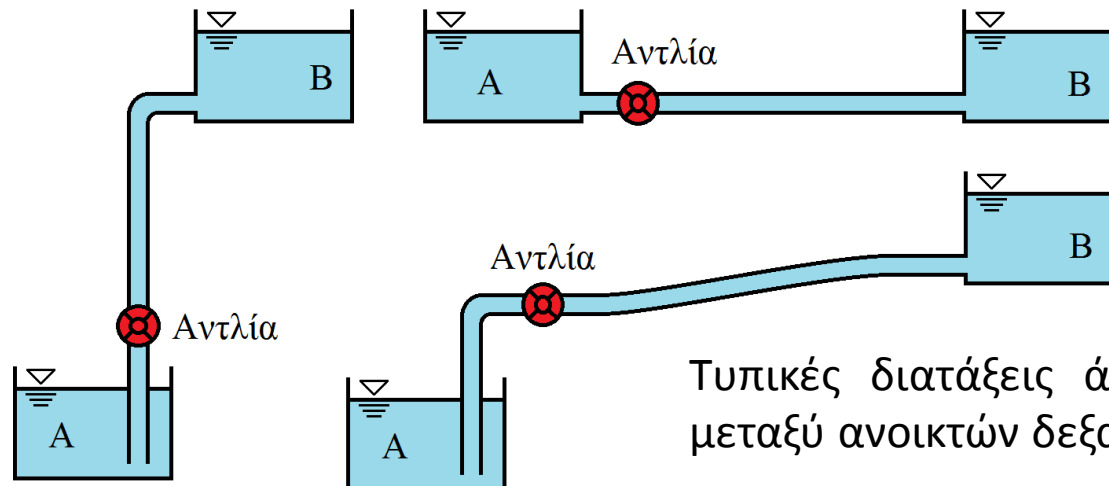
## Τοπικές απώλειες σε κλειστούς αγωγούς

### Σημασία των τοπικών απωλειών

- Σε πρακτικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως τα **εξωτερικά** δίκτυα ύδρευσης (π.χ. υδραγωγεία), περιλαμβάνονται σωλήνες μήκους μερικών εκατοντάδων ή χιλιάδων μέτρων.
- Στις περιπτώσεις αυτές οι **τοπικές απώλειες** είναι συνήθως **μικρές** σε σχέση με τις γραμμικές απώλειες και συχνά θεωρούνται αμελητέες και αγνοούνται.
- Αντιθέτως, σε **εσωτερικά** δίκτυα ύδρευσης (κτίρια) οι σωληνώσεις έχουν σχετικά μικρό μήκος και πολλές μεταβολές της γεωμετρίας.
- Στις περιπτώσεις αυτές οι τοπικές απώλειες είναι **σημαντικές** και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς.

## Μηχανολογικός Εξοπλισμός - Αντλίες

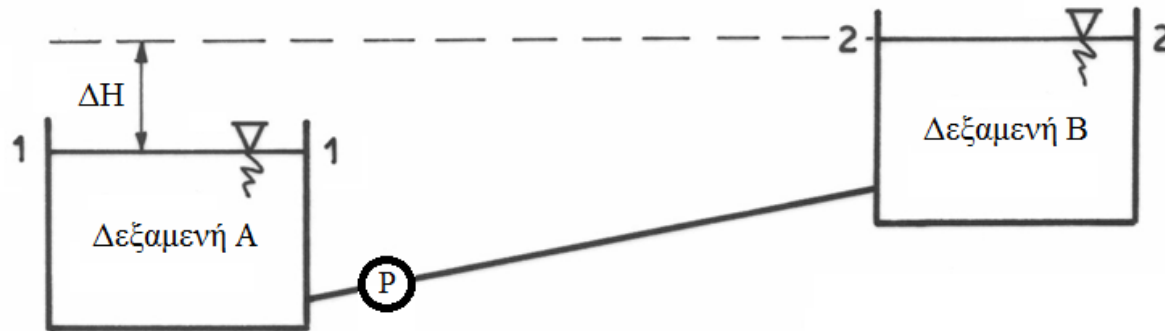
- Ο συνηθισμένος μηχανολογικός εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιείται σε υδραυλικά έργα είναι οι **αντλίες** και οι **υδροστρόβιλοι**. Με τις **αντλίες** προσδίδουμε μηχανική ενέργεια στη ροή ενώ με τους **υδροστρόβιλους** απορροφούμε ενέργεια.
- Οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών από χαμηλότερη σε υψηλότερη στάθμη (**ανύψωση**), αλλά και σε περιπτώσεις **οριζόντιας** μεταφοράς για την αντιμετώπιση της αντίστασης λόγω των τριβών.



Τυπικές διατάξεις άντλησης μεταξύ ανοικτών δεξαμενών.

## Μηχανολογικός Εξοπλισμός - Αντλίες

Η κλασική περίπτωση μεταφοράς ύδατος μέσω άντλησης από δεξαμενή A σε δεξαμενή B η οποία βρίσκεται ψηλότερα.



Ισχύει:  $p_1 = p_2 = 0$ ,  $V_1 = V_2 = 0$ ,  $z_2 - z_1 = \Delta H$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_m = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{L_{1-2}} \Rightarrow \boxed{h_m = \Delta H + h_{L_{1-2}}}$$

Το φορτίο της αντλίας πρέπει να καλύψει την υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο δεξαμενών συν τις συνολικές απώλειες ενέργειας.

## Αντλίες

- Με τη χρήση αντλιών προσδίδουμε μηχανική ενέργεια,  $h_m$ , στη ροή
- Μεταφορά ύδατος από χαμηλότερη σε υψηλότερη στάθμη ύδατος
- Η ενέργεια που προστίθεται ονομάζεται **φορτίο της αντλίας**,  $h_p$

Η **ισχύς που αποδίδεται** στο νερό, είναι:  $P_w = \gamma Q h_p$

Η μηχανική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας είναι μεγαλύτερη καθώς υπάρχουν εσωτερικές μηχανικές απώλειες κατά τη λειτουργία της και ονομάζεται **ισχύς της αντλίας  $P$**  ή  **$bhp$**  (break horsepower).

$$P = bhp = T \omega$$

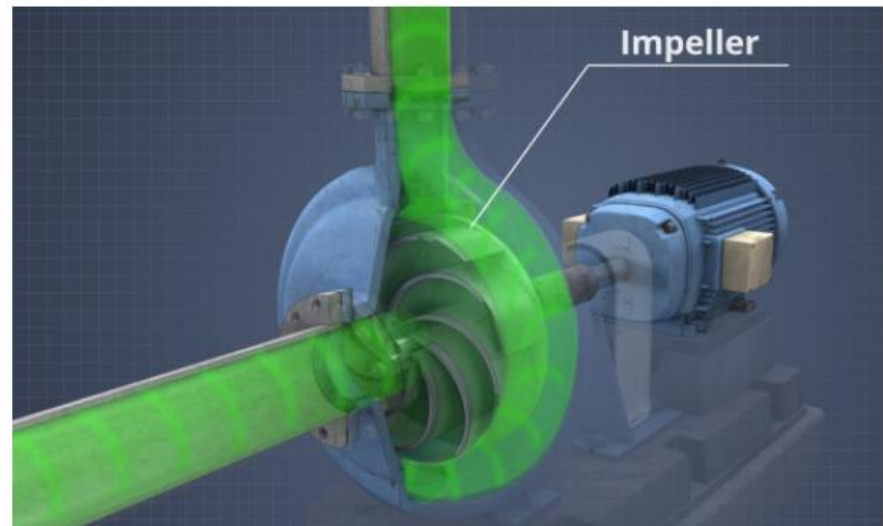
όπου  $T$  η ροπή στρέψης του άξονα της αντλίας και  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα.

Η **απόδοση της αντλίας** είναι:

$$n = \frac{P_w}{P}$$

## Αντλίες

- Υπάρχουν πάρα πολλά είδη αντλιών όμως τα περισσότερα βασίζονται στη χρήση περιστρεφόμενης πτερωτής (impeller).
- Η πτερωτή βρίσκεται εντός περιβλήματος και προσθέτει μηχανική ενέργεια στο νερό που ρέει εντός του αγωγού με τη μορφή αυξημένου φορτίου πίεσης.
- Ο αγωγός που προσάγει νερό στην αντλία ονομάζεται **αγωγός αναρροφήσεως**, ενώ ο αγωγός κατόντη της αντλίας ονομάζεται **αγωγός καταθλίψεως**.



# Ροή υπό πίεση ή ροή σε κλειστούς αγωγούς

---

## Βιβλιογραφία

- Δημητρακόπουλος Α. **Στοιχεία υδραυλικής κλειστών και ανοικτών αγωγών**, Εκδόσεις Gotsis, 2018.
- Λιακόπουλος Α. **Υδραυλική**, 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2020,
- Στάμου Α. **Εφαρμοσμένη Υδραυλική**, 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2016.