

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων

Υδροδοτικά Έργα

Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Ε.ΔΙ.Π. ΕΜΠ

Φεβρουάριος 2015

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων

Υδροδοτικά Έργα

Copyright ©Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, 2015

Δεν επιτρέπεται η αναπαραγωγή του παρόντος τεύχους σημειώσεων, τμηματική ή ολική, σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς την έγγραφη άδεια των συγγραφέων.

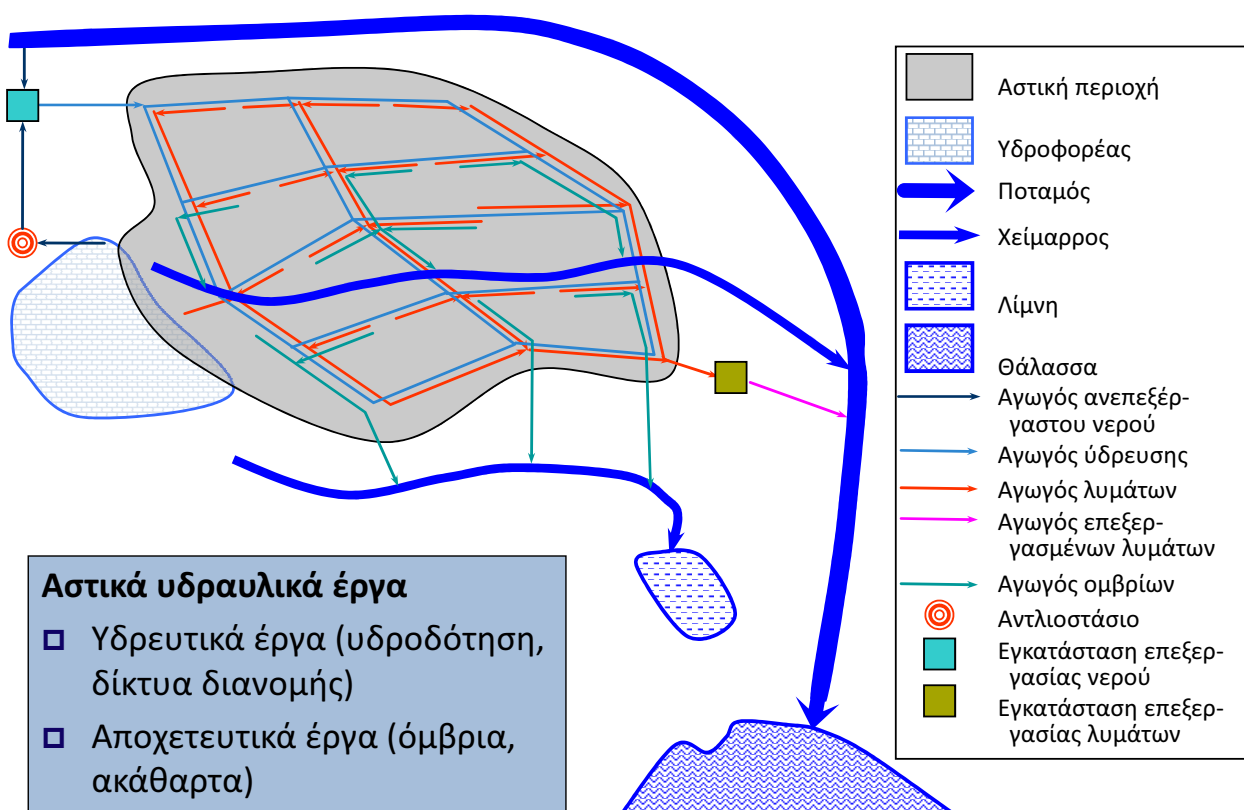
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα	1
2	Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων	5
3	Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας	14
4	Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού	31
5	Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα	42
6	Γενική διάταξη υδρευτικών έργων	63
7	Υδρευτικές καταναλώσεις	75
8	Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης	87
9	Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια	95
10	Δεξαμενές	106
11	Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής	115
12	Υδραυλική ανάλυση δικτύων διανομής	128
13	Διαμόρφωση μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης δικτύου διανομής	136
14	Διαστασιολόγηση αγωγών και έλεγχος πιέσεων δικτύων διανομής	145
15	Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα	152

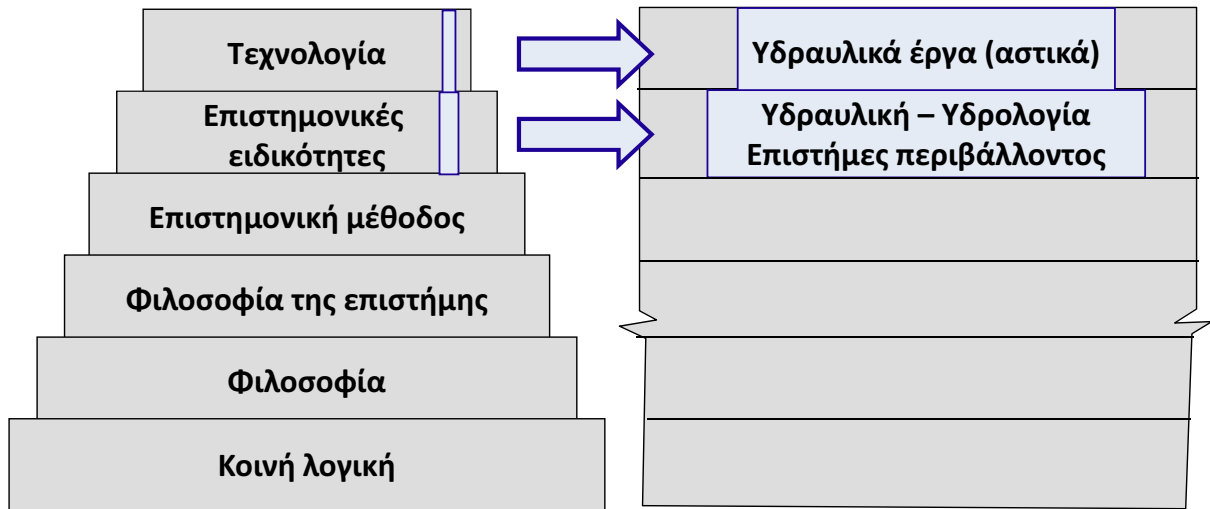
.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα

Συνιστώσες αστικού υδατικού συστήματος



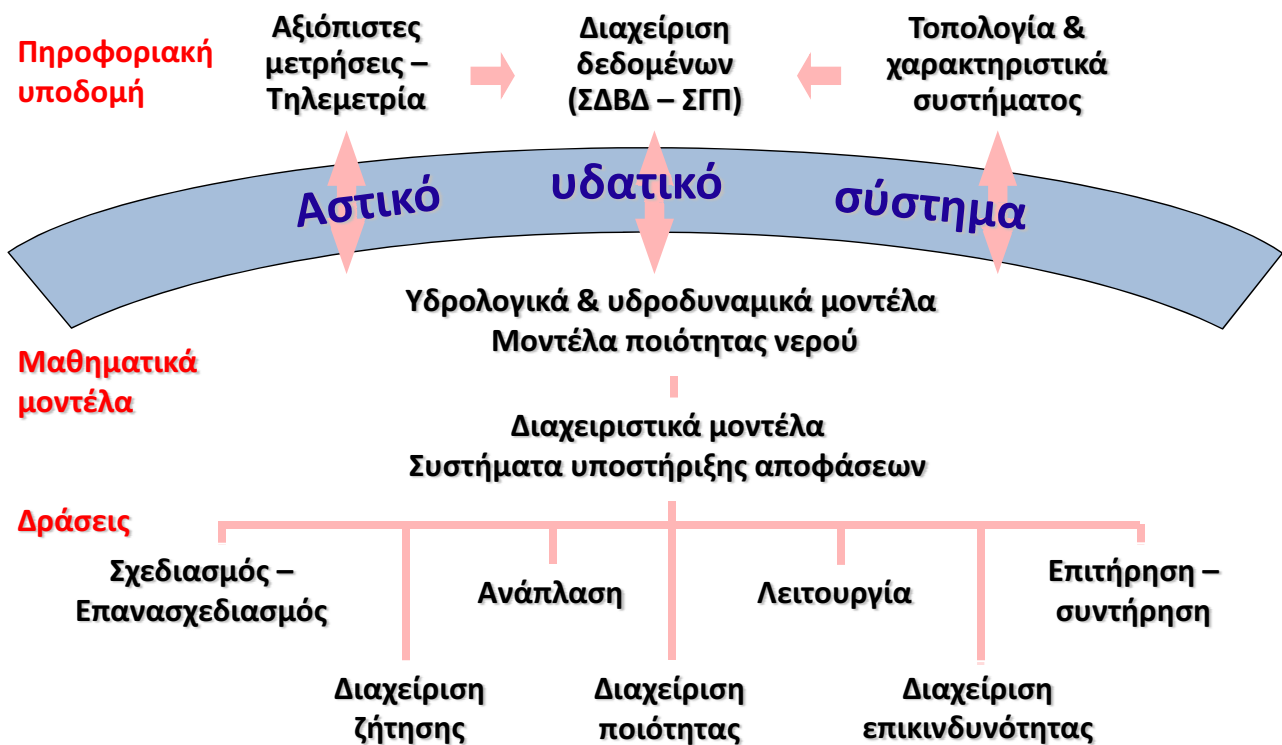
Τα αστικά υδραυλικά έργα στο γενικό επιστημονικό και τεχνολογικό πλαίσιο



Το επιστημονικο-τεχνολογικό οικοδόμημα

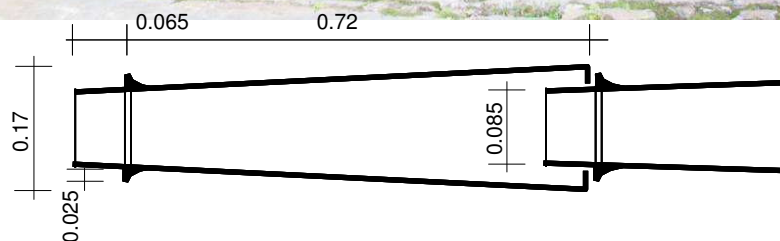
Πηγή: H.G. Gauch, Jr., *Scientific Method in Practice*, Cambridge, 2003

Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης αστικού υδατικού συστήματος

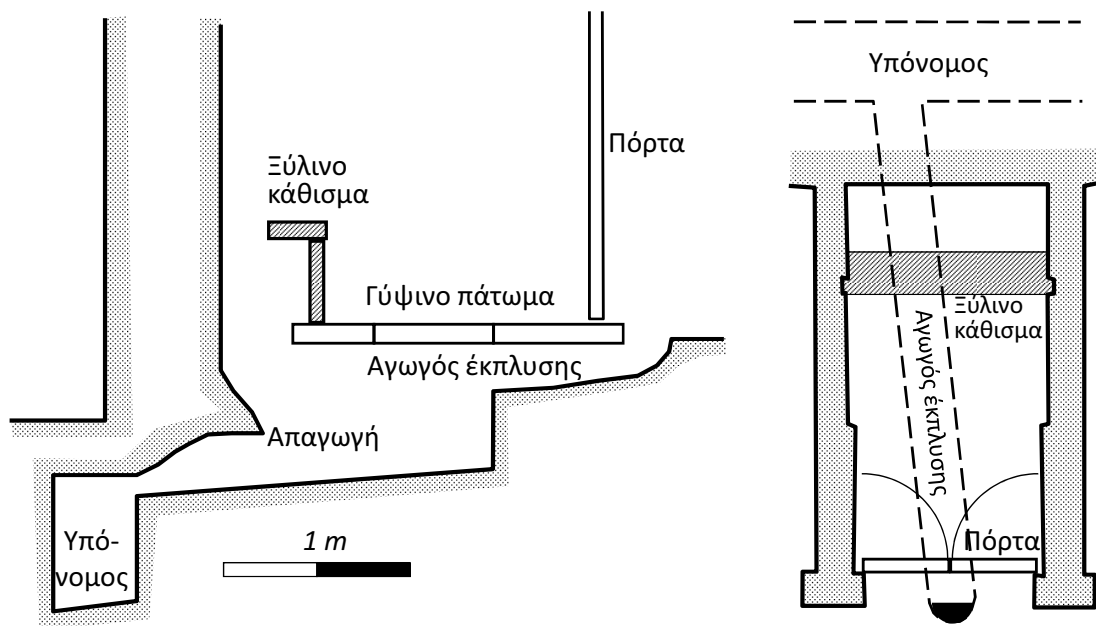


Κεφάλαιο 2: Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

Μινωϊκός πολιτισμός: Υδρευτικό δίκτυο στο ανάκτορο της Κνωσού



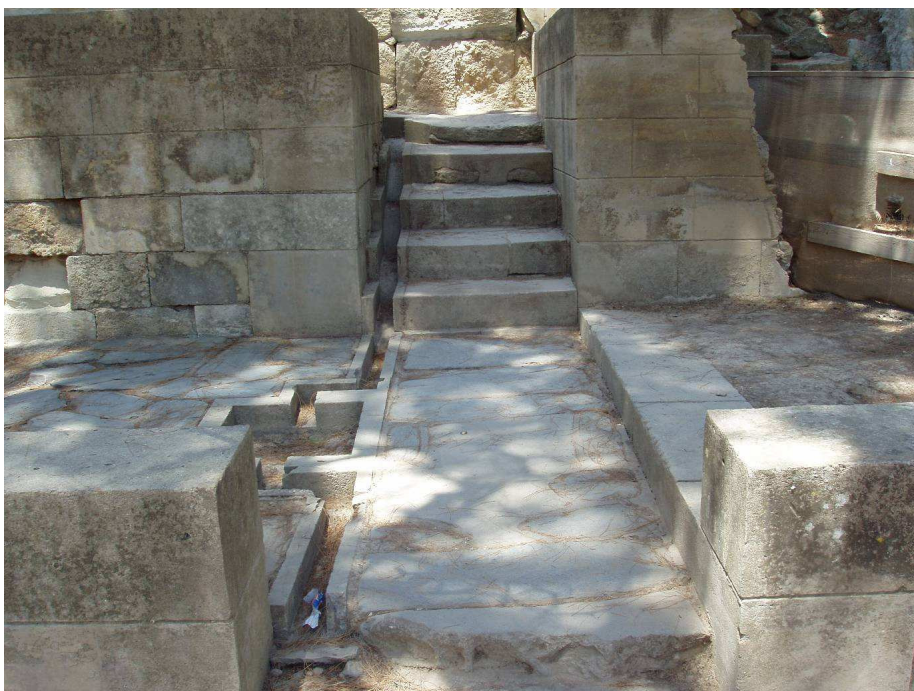
Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση τουαλέτας στο ανάκτορο της Κνωσού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

7

Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση ομβρίων στο ανάκτορο της Κνωσού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

8

Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση ομβρίων στην Αγία Τριάδα

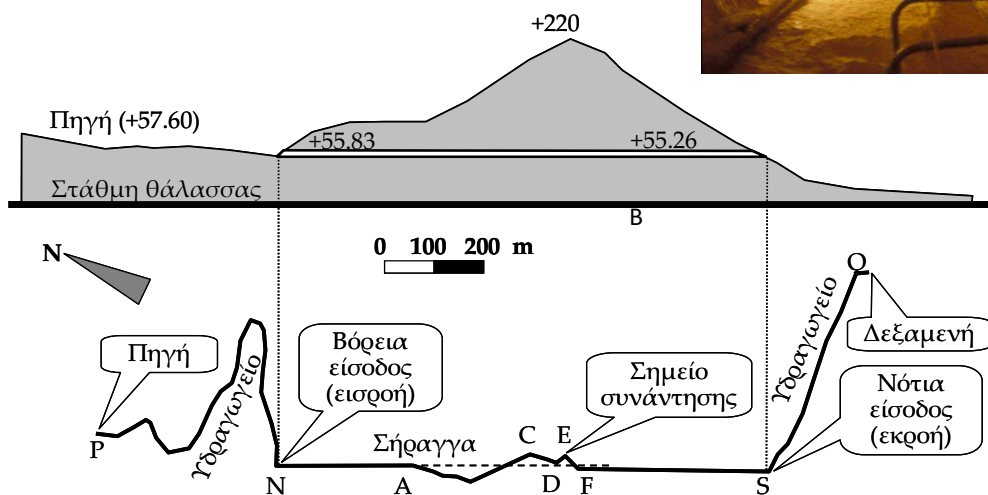


Ο ιταλός συγγραφέας Angelo Mosso, που επισκέφτηκε την περιοχή στις αρχές του 20ου αιώνα, κατά τη διάρκεια μιας έντονης βροχόπτωσης, παρατήρησε ότι οι αγωγοί λειτουργούσαν τέλεια και κατέγραψε το περιστατικό αναφέροντας: «Αμφιβάλλω αν υπάρχει άλλη περίπτωση αποχετευτικού συστήματος ομβρίων που να λειτουργεί 4000 χρόνια μετά την κατασκευή του»

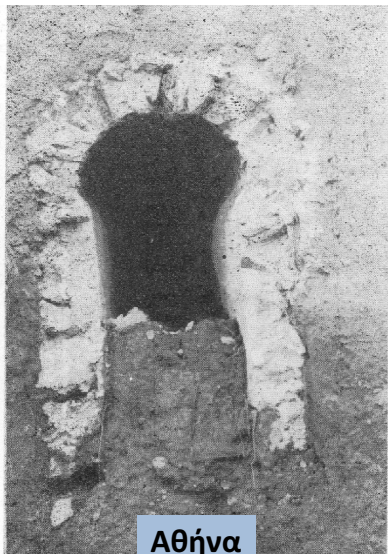
«Ακούμε συχνά να μιλούν για τη 'σύγχρονη υγιεινολογία' σαν ήταν κάτι που αναπτύχθηκε πρόσφατα και φαίνεται να υπάρχει μια κρατούσα ιδέα ότι η αστική αποχέτευση είναι κάτι πολύ σύγχρονο που καθιερώθηκε κάπου στα μέσα του τελευταίου [19ου] αιώνα. Ίσως αυτές οι ιδέες προσπαθούν να ενδυναμώσουν μια κάπως κλυδωνισμένη υπερηφάνεια στο σύγχρονο πολιτισμό [...], αλλά όταν εξετάζονται υπό το φως της ιστορίας προκύπτει ότι είναι κάθε άλλο παρά νέες ή πρόσφατες. Πράγματι, υπό το φως της ιστορίας, προκαλεί κατάπληξη, αν όχι πικρία, το γεγονός ότι ο άνθρωπος έχει προχωρήσει τόσο ελάχιστα, ίσως και καθόλου, σε περίπου τέσσερις χιλιάδες χρόνια [...]. Οι αρχαιολόγοι ερευνητές αυτού του [μινωικού] χώρου μας δίνουν την εικόνα ότι οι άνθρωποι είχαν προχωρήσει πολύ προς την άνετη και υγιεινή διαβίωση, με έναν ιδιαίτερο βαθμό ομορφιάς και πολυτέλειας [...]. Και αυτό επιτεύχθηκε περίπου τέσσερις χιλιάδες χρόνια πριν.»

Gray, H. F. (1940). Sewerage in Ancient and Medieval Times, *Sewage Works Journal*, 12(5), 939-946.

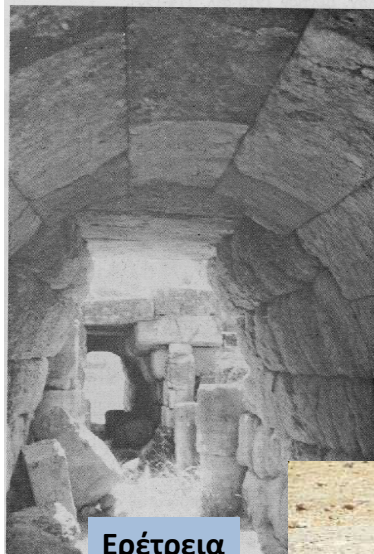
Αρχαϊκή περίοδος: Το υδραγωγείο της Σάμου



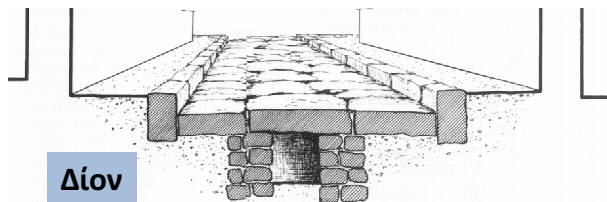
Κλασική περίοδος: Δίκτυα ομβρίων



Αθήνα



Ερέτρια



Δίον

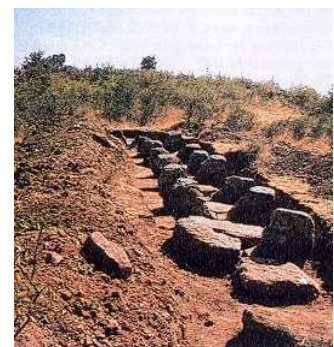
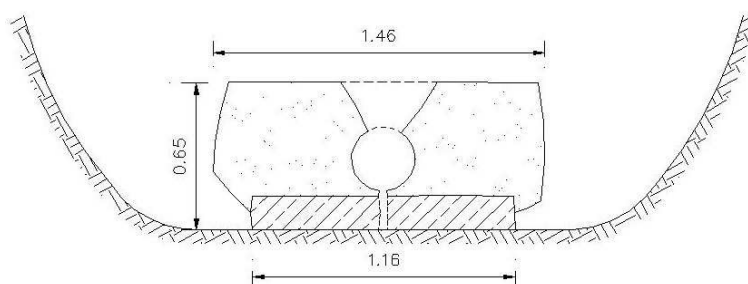
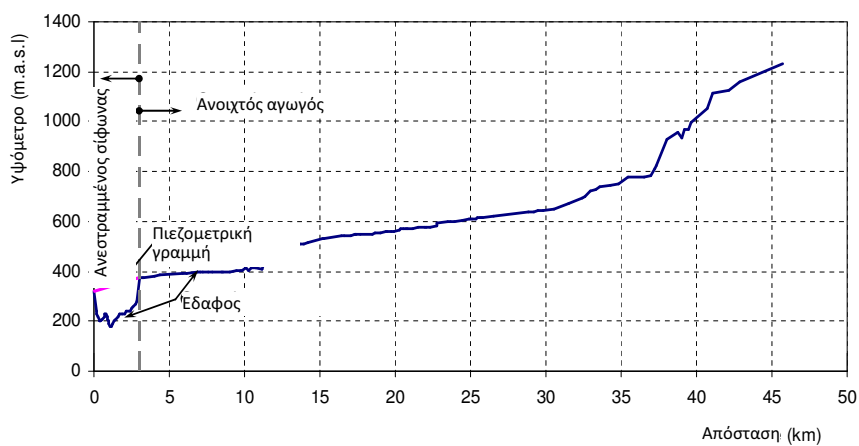


Κασσώπη

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

11

Ελληνιστική περίοδος: Το υδραγωγείο της Περγάμου



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

12

Ρωμαϊκός πολιτισμός: υδραγωγεία

Nîmes (αρχαία Νεμαυσός,
Υδραγωγείο Pont du Gard)



Ρώμη (Porta
Maggiore)

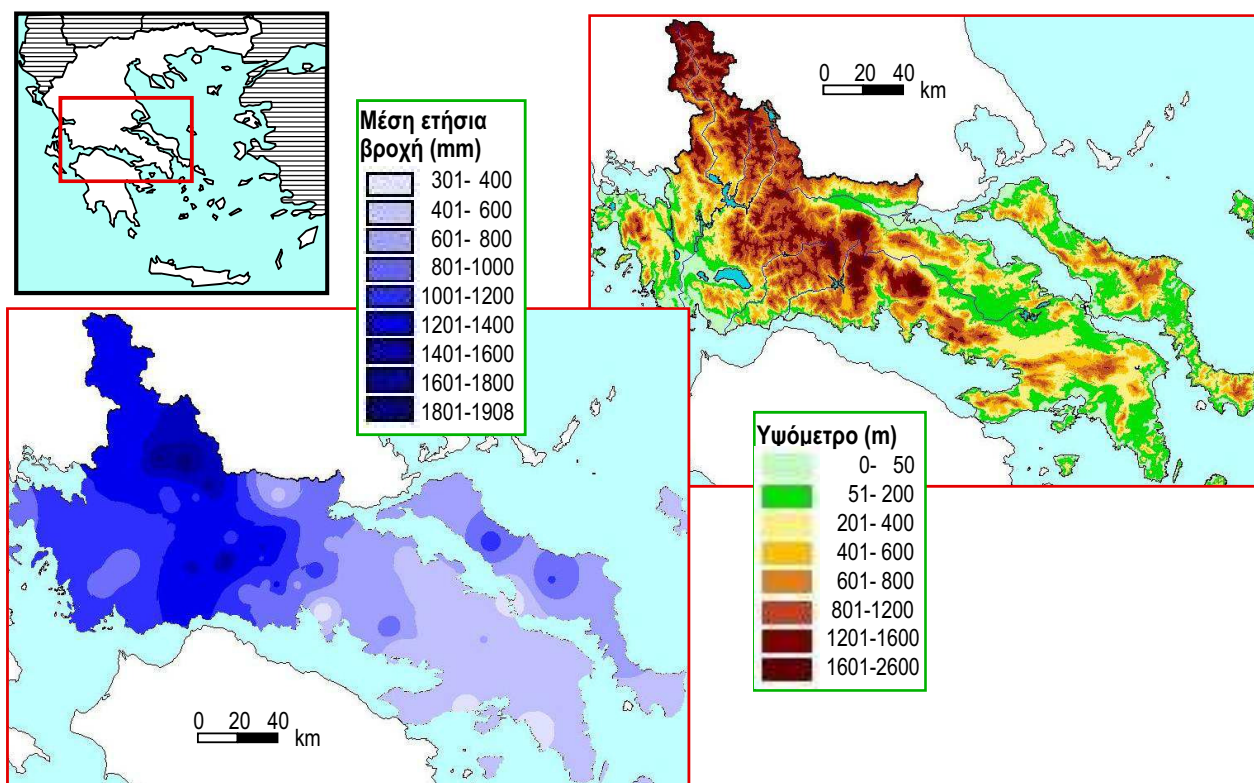


Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Σύνομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

13

Κεφάλαιο 3: Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

15

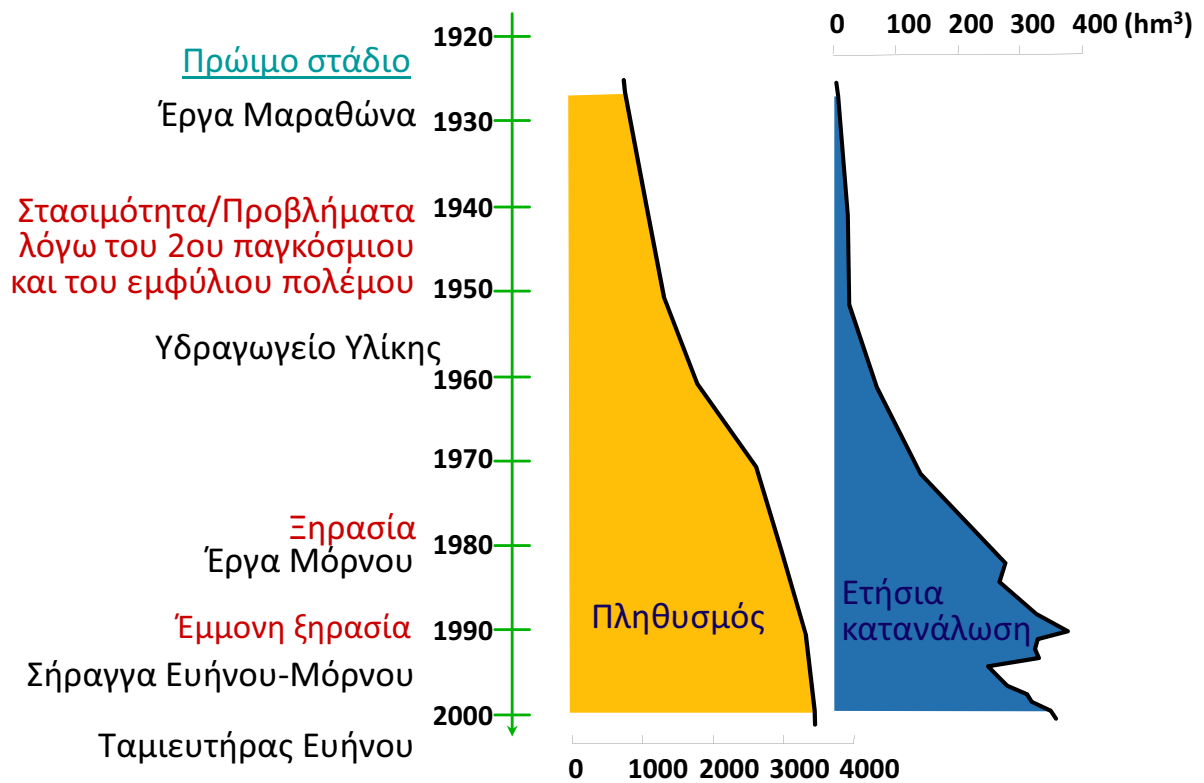
Η ύδρευση της Αθήνας στην αρχαιότητα

- Από τον πρώτο εποικισμό: Ύδρευση από πηγές (Κλεψύδρα) και πηγάδια.
- Νομοθεσία Σόλωνα: Ρύθμιση των απολήψεων νερού από δημόσιες κρήνες και πηγάδια (σε απόσταση 4 σταδίων – 740 m), ιδιότητα πηγάδια ή και πηγάδια γειτόνων σε ποσότητα 40 L ημερησίως (δύο δοχείων των 6 χοών ημερησίως αν μετά από διάνοιξη ιδιόκτητου πηγαδιού στα 18.3 m δεν βρισκόταν νερό).
- Πρώτο μεγάλο υδραυλικό έργο: Πεισιστράτειο Υδραγωγείο (~530 π.Χ., σε λειτουργία μέχρι σήμερα)
- Κλασική Αθήνα: έμφαση σε
 - θεσμικά μέτρα διαχείρισης και όχι σε δημόσια έργα (Κρουνών Επιμελητής)
 - μικρής κλίμακας έργα (στέρνες για όμβρια) για λόγους ασφάλειας.
- Ρωμαϊκή Αθήνα: Αδριάνειο υδραγωγείο (125-140 μ.Χ., σε λειτουργία – μετά από επισκευή – μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

16

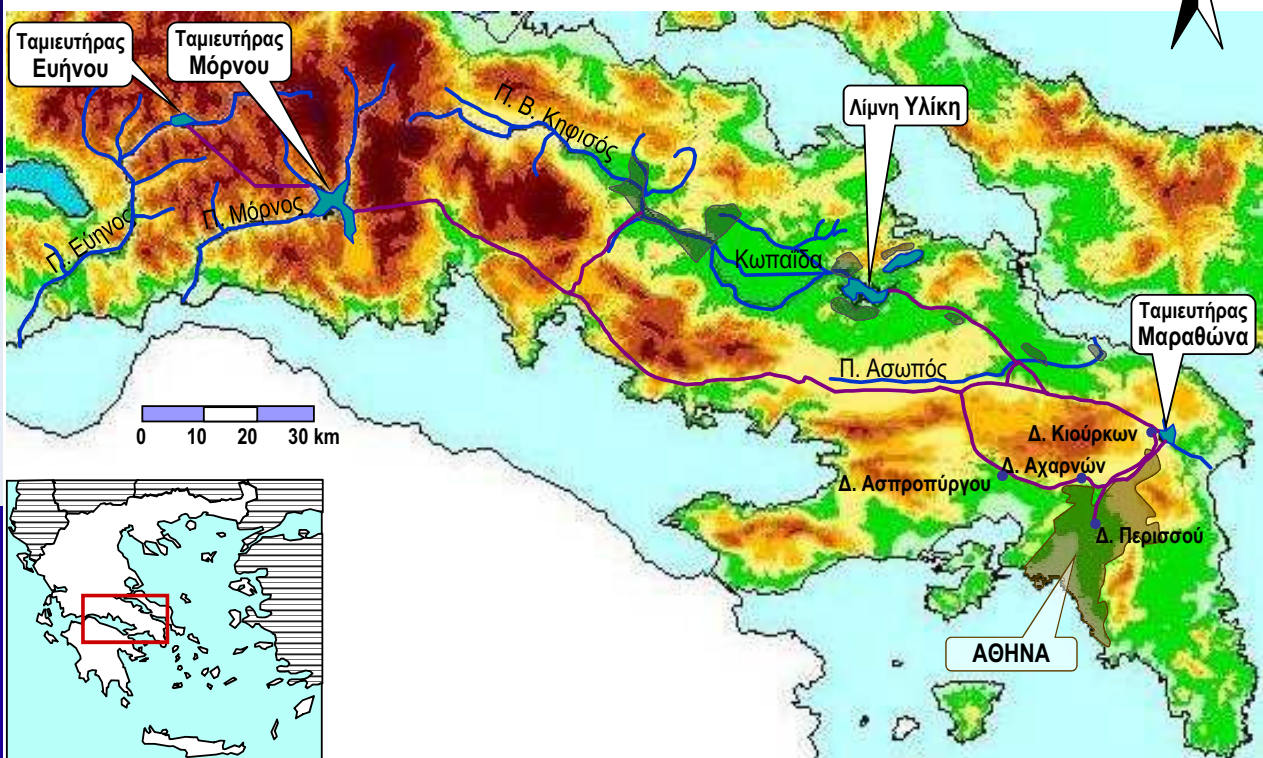
Σύγχρονη Αθήνα: Εξέλιξη – ορόσημα



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

17








Υδροδοτικό σύστημα Αθήνας: Κύριες συνιστώσες

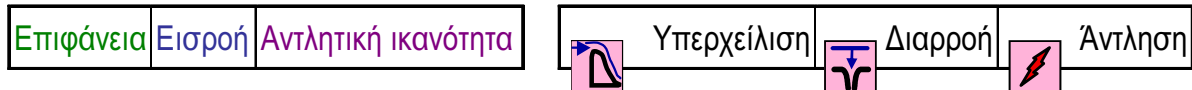


Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

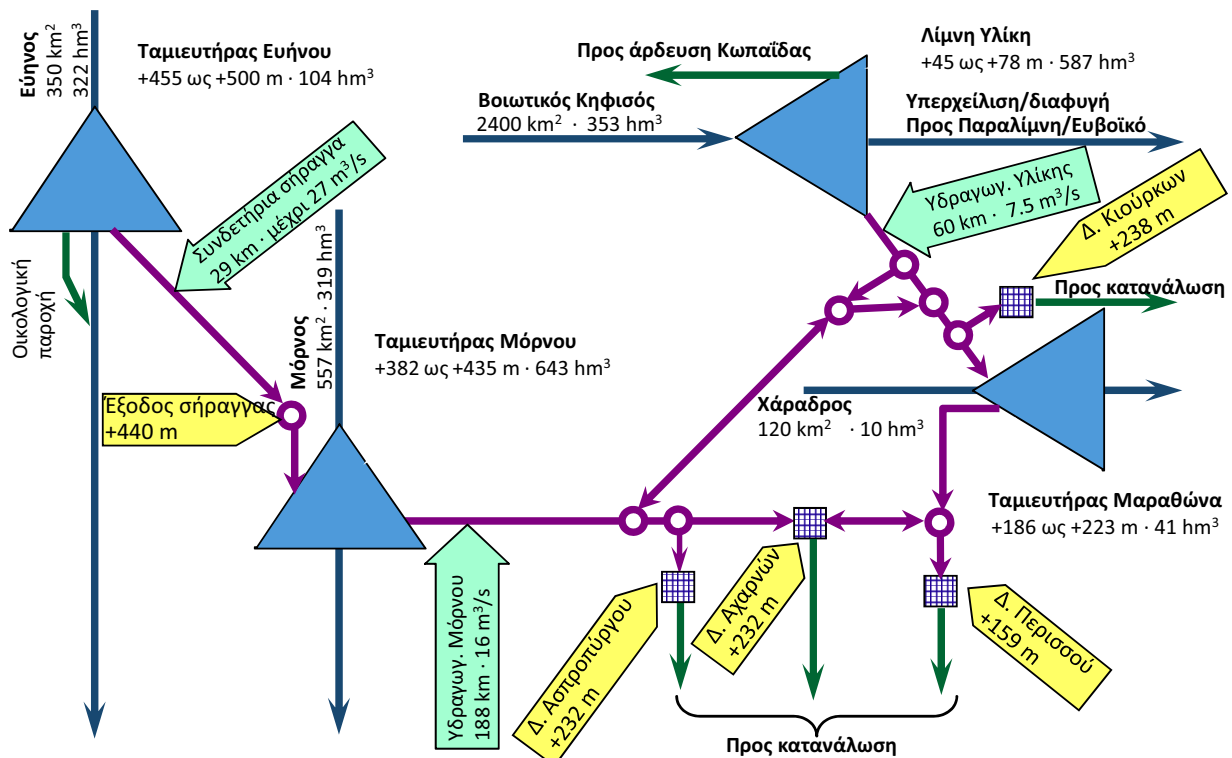
18

Κατηγορίες υδατικών πόρων

Basin	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ		ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΠΟΡΟΙ
	Κύριοι (Ταμιευτήρες)	Βοηθητικοί (Ταμιευτήρες)	Εφεδρικοί (Γεωτρήσεις)
Εύηνος 350 km ²	Εύηνος 322 hm ³ /y 		
Μόρνος 557 km ²	Μόρνος 319 hm ³ /y		
Βοιωτικός Κηφισός – Υλίκη 2400 km ²		Υλίκη 353 hm ³ /y  	Β. Κηφισός, μέσος ρους 136 hm ³ /y  Περιοχή Υλίκης 85 hm ³ /y 
Χάραδρος 120 km ²		Μαραθώνας 10 hm ³ /y	
Βόρεια Πάρνηθα			Βίλιζα 26 hm ³ /y  Μαυροσουβάλα 36 hm ³ /y 

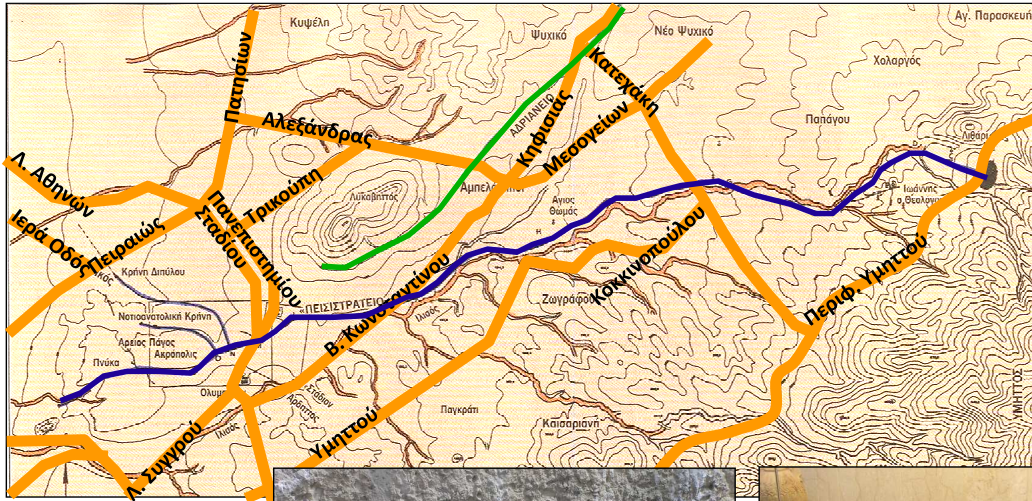


Δομή του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας



+ Γεωτρήσεις (με σωληνώσεις διασύνδεσης) + Αντλιοστάσια + Μικρά υδροηλεκτρικά έργα

Το Πεισιστράτειο Υδραγωγείο



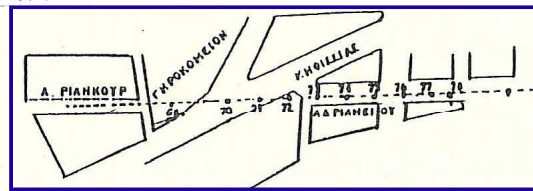
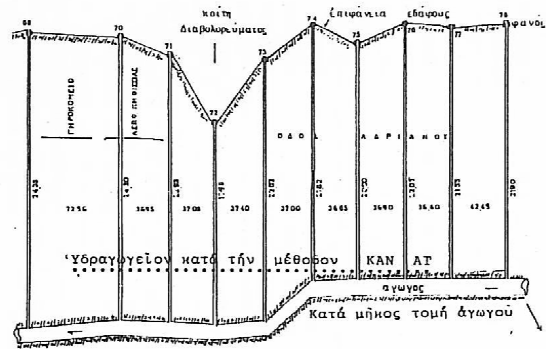
Τοπογραφικό υπόβαθρο: Tassios, T.P., Water supply of ancient Greek cities, *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), 165-172, 2007.

Αρχαιότητα



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Το Αδριάνειο Υδραγωγείο



Πηγή: Παππάς, Α., *Η Υδρευσις των Αρχαίων Αθηνών*, Ελεύθερη Σκέψις, Αθήνα, 1999.



Αρχαιότητα

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

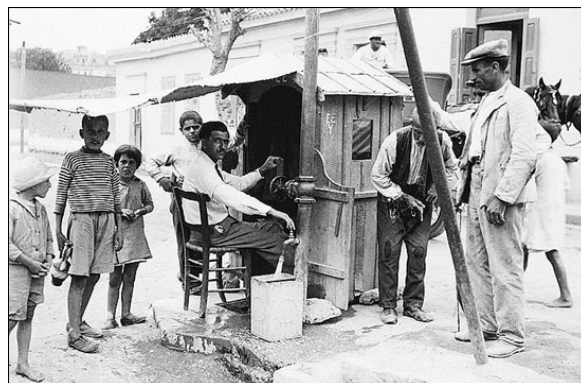
Νεότερη Αθήνα – Πρώιμο στάδιο

Αντικατάσταση υδατογέφυρας Αδριάνειου
με ανεστραμμένο σίφωνα, 1929



Ορόσημα

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

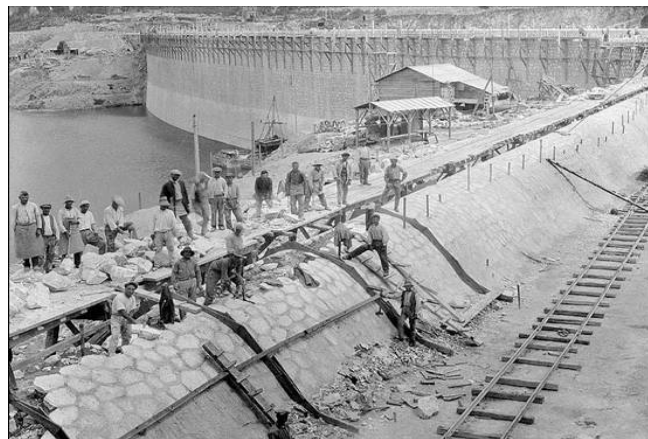


Συμπληρωματική συλλογή και διανομή νερού
στην Αθήνα (αρχές 20ου αιώνα μέχρι το 1940)



Πηγή: ΕΥΔΑΠ

23



Υδροσύστημα

Περισσότερες...

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Φράγμα Μαραθώνα (1)

Σήμερα



Κατασκευή φράγματος, 1928

Κατασκευή υπερχειλιστή, 1928

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

24

Φράγμα Μαραθώνα (2)



Καταστροφική
πλημμύρα, 1926

Υπερχειλιστής σε
λειτουργία, 1941



Κατασκευή
Σήραγγας
Μπογιατίου,
1928

Εγκαίνια
Σήραγγας
Μπογιατίου,
1928



Υδροσύστημα

Προηγούμενες...

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

25



Λίμνη Γλίκη

Λίμνη Γλίκη και αντλιοστάσια



Πλωτά αντλιοστάσια Γλίκης



Κύριο Αντλιοστάσιο Γλίκης



Αντλιοστάσιο Κιούρκων



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

26

Ταμιευτήρας και υδραγωγείο Μόρνου



Φράγμα & ταμιευτήρας Μόρνου

Υδραγωγείο Μόρνου στην Πεδιάδα Θηβών

Σίφωνα Διστόμου

Υδροσύστημα

Υδραγωγείο Μόρνου στους Δελφούς

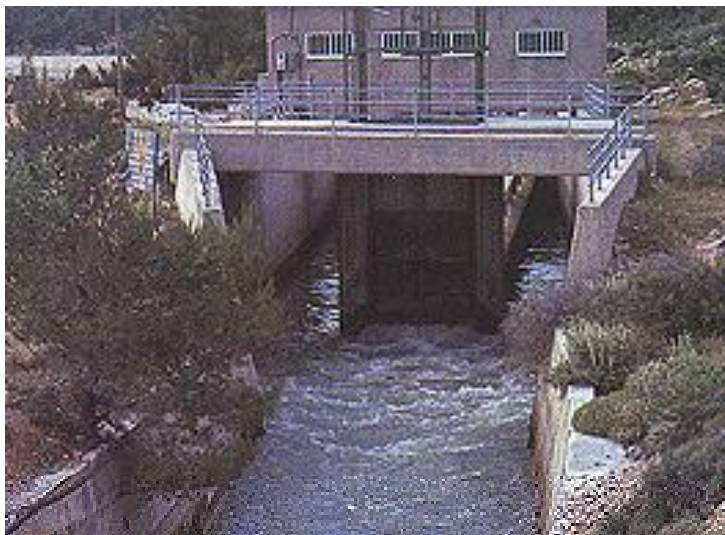


Πηγή: ΕΥΔΑΠ

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

27

Έλεγχος υδραγωγείου Μόρνου



Κατασκευές ελέγχου ροής



Κέντρο εποπτείας και τηλεέγχου υδραγωγείου

Υδροσύστημα



Πηγή: ΕΥΔΑΠ

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

28



Φράγμα και σήραγγα Ευήνου

Φράγμα Ευήνου
στη φάση της
κατασκευής,
1995-2000

Κατασκευή της
συνδετήριας
σήραγγας Ευήνου-
Μόρνου, 1995



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

29

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας



Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού

Διυλιστήρια Περισσού

Διυλιστήρια
Αχαρνών

Διυλιστήρια
Ασπροπύργου



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

30

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Κεφάλαιο 4: Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού

Κατηγορίες υδατικών πόρων για ύδρευση

- ❑ Όμβρια νερά (στέρνες)
- ❑ Πηγαία νερά (υδρομάστευση)
- ❑ Ρηχά υπόγεια νερά (πηγάδια)
- ❑ Βαθεία υπόγεια νερά (γεωτρήσεις)
- ❑ Νερά ποταμών χωρίς ρύθμιση (υδροληψία)
- ❑ Επιφανειακά νερά με ρύθμιση (ταμιευτήρες, λιμνοδεξαμενές)
- ❑ Φυσικές λίμνες (υδροληψία)
- ❑ Θάλασσα (αφαλάτωση)
- ❑ Συνδυασμός των παραπάνω

Κριτήρια επιλογής υδατικών πόρων προς αξιοποίηση

- ❑ Διαθεσιμότητα νερού – ποσότητα
- ❑ Ποιότητα νερού
- ❑ Περιβάλλον – επιπτώσεις
- ❑ Οικονομικότητα (αρχική επένδυση για συλλογή και μεταφορά, λειτουργικό κόστος για επεξεργασία)

Ελληνικές πόλεις με ολική ή μερική υδροδότηση από επιφανειακά νερά μετά από ρύθμιση

Πόλη	Λεκάνη τροφοδοσίας/Έργο	Παρατηρήσεις
Αθήνα	Φράγμα Μαραθώνα στο Χάραδρο	Λειτουργεί από τη δεκαετία του 1930
Αθήνα	Βοιωτικός Κηφισός - Υλίκη	Λειτουργεί από τη δεκαετία του 1950
Αθήνα	Φράγμα Μόρνου	Λειτουργεί από τη δεκαετία του 1980
Αθήνα	Φράγμα Αγίου Δημητρίου στον Εύηνο	Λειτουργεί μερικώς από τη δεκαετία του 1990 και πλήρως από τη δεκαετία του 2000
Θεσσαλονίκη	Αλιάκμονας κατάντη φράγματος Ασωμάτων (αναρρυθμιστικό έργο Αγ. Βαρβάρας)	Λειτουργεί από το 2003
Καρδίτσα	Φράγμα Πλαστήρα	Λειτουργεί από τη δεκαετία του 1960
Αγρίνιο	Φράγμα Καστρακίου	Λειτουργεί από τη δεκαετία του 1970
Πάτρα	Φράγμα Αστερίου στον π. Παραπείρο και φράγμα εκτροπής στη θέση Βαλμαδούρα του π. Πείρου	Υπό κατασκευή
Ηράκλειο	Φράγμα Αποσελέμη και σήραγγα εκτροπής οροπεδίου Λασιθίου	Ολοκληρώθηκε
Ρόδος	Φράγμα Γαδουρά	Ολοκληρώθηκε

Απαιτήσεις ποιότητας υδρευτικού νερού – Θεσμικό πλαίσιο

- ❑ Ευρωπαϊκή Οδηγία 1998/83/ΕΕ) σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης
- ❑ Εθνικό δίκαιο: Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/11-7-2001)
- ❑ Επίπεδα παρακολούθησης:
 - Η δοκιμαστική παρακολούθηση έχει ως στόχο να παρέχονται σε τακτική βάση στοιχεία για την οργανοληπτική και μικροβιολογική ποιότητα του νερού ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο το νερό τηρεί ορισμένες τιμές της ΚΥΑ.
 - Η ελεγκτική παρακολούθηση περιλαμβάνει το μεγαλύτερο πλήθος παραμέτρων σε σχέση με τα άλλα επίπεδα παρακολούθησης (συνολικά 47 μικροβιολογικές και φυσικοχημικές παράμετροι) και απαιτείται ώστε να εξετάζεται η καταρχήν καταλληλότητα του νερού προς πόση βάσει όλων των παραμέτρων που αναφέρονται στην ΚΥΑ.
 - Η συμπληρωματική παρακολούθηση πραγματοποιείται κατά περίπτωση για τις ουσίες και τους μικροοργανισμούς όταν υπάρχουν λόγοι να πιστεύεται ότι οι ουσίες ή οι μικροοργανισμοί ενδέχεται να υπάρχουν σε ποσότητες που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.
- ❑ Οι απαιτήσεις ποιότητας αφορούν μια σειρά παραμέτρων που και αναφέρονται στην τελική χρήση (βρύση του καταναλωτή, φιάλη, παρασκευαστήριο τροφίμων).
- ❑ Το θεσμικό πλαίσιο επιβάλλει την προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση.

Ποιοτικές απαιτήσεις πόσιμου νερού: Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Τιμή
*Escherichia coli (E. Coli, εντεροβακτηρίδια)	0/100 mL
Εντερόκοκκοι	0/100 mL

Εμφιαλωμένο νερό

Παράμετρος	Τιμή
Αριθμός αποικιών σε 22 ⁰ C	100/mL
Αριθμός αποικιών σε 37 ⁰ C	20/mL
Escherichia coli (E. coli)	0/250 mL
Εντερόκοκκοι	0/250 mL
*Ψευδομονάδα (Pseudomonas aeruginosa)	0/250 mL

Σημείωση: Οι παράμετροι που επισημαίνονται με * ελέγχονται σε τακτική βάση (δοκιμαστική παρακολούθηση)

Ποιοτικές απαιτήσεις πόσιμου νερού: Χημικές παράμετροι

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Ακρυλαμίδιο	0.10 µg/L	Νιτρικά	50 mg/L
Αντιμόνιο	5.0 µg/L	*Νιτρώδη	0.50 mg/L
Αρσενικό	10 µg/L	Παρασιτοκτόνα	0.10 µg/L
Βενζόλιο	1.0 µg/L	Παρασιτοκτόνα, σύνολο	0.50 µg/L
Βενζο-α-πυρένιο	0.01 µg/L	Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0.10 µg/L
Βινυλοχλωρίδιο	0.50 µg/L	Σελήνιο	10 µg/L
Βόριο	1.0 mg/L	Τετραχλωροαιθέριο και τριχλωροαιθέριο	10 µg/L
Βρωμικά	10 µg/L	Τριαλογονομεθάνια, ολικά	100 µg/L
1.2-διχλωροαιθάνιο	3.0 µg/L	Υδράργυρος	1.0 µg/L
Επιχλωρυδρίνη	0.10 µg/L	Φθοριούχα	1.5 mg/L
Κάδμιο	5.0 µg/L	Χαλκός	2.0 mg/L
Κυανιούχα	50 µg/L	Χρώμιο	50 µg/L
Μόλυβδος	10 µg/L		
Νικέλιο	20 µg/L		

Ποιοτικές απαιτήσεις πόσιμου νερού: Επιπλέον (ενδεικτικές) φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
*Αγωγιμότητα	2500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ στους 20°C	Οξειδωσιμότητα	5 mg/L O ₂
*Αργίλιο	200 $\mu\text{g/L}$	*Οσμή	ΑΚ, ΧΑΜ
*Αριθμός αποικιών στους 22°C και 37°C	ΧΑΜ	Νάτριο	200 mg/L
*Αμμώνιο	0.50 mg/L	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	ΧΑΜ
*Γεύση	ΑΚ, ΧΑΜ	Ραδιενέργεια, τρίτιο	100 becquerel/L
Θειικά	250 mg/L	Ραδιενέργεια, ολική ενδεικτική δόση	0.1 mSv/έτος
*Θολότητα	ΑΚ, ΧΑΜ	*Σίδηρος	200 $\mu\text{g/L}$
*Κολοβακτηριοειδή	0/100 mL	*Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	6.5 ≤ pH ≤ 9.5
*Κλωστρίδιο (Clostridium perfringens, συμπεριλαμβανομένων των σπόρων)	0/100 mL	Χλωριούχα	250 mg/L
Μαγγάνιο	50 $\mu\text{g/L}$	*Χρώμα	ΑΚ, ΧΑΜ

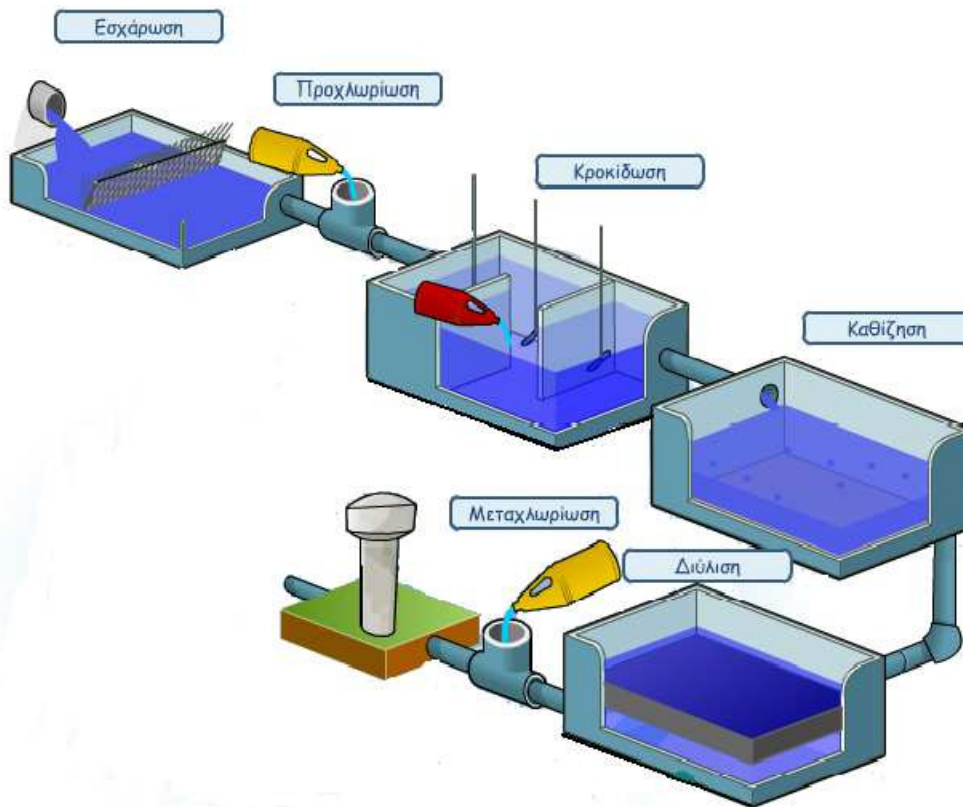
Συνομογραφίες: ΧΑΜ: Χωρίς ασυνήθιστη μεταβολή, ΑΚ: Αποδεκτή στους καταναλωτές

Ποιοτικές απαιτήσεις πόσιμου νερού: Επιπλέον μικροβιολογικές και φυσικοχημικές παράμετροι για συμπληρωματική παρακολούθηση

Παθογόνα βακτηρίδια: <ul style="list-style-type: none"> ■ Σαλμονέλλες ■ Σταφυλόκοκκοι παθογόνοι, ■ Βακτηριοφάγοι των κοπράνων ■ Ιοί των εντέρων ■ E. coli O:157 ■ Καμπυλοβακτηρίδιο 	Παράμετρος	Τιμή
	PCB	0.50 $\mu\text{g/L}$
Βιολογικοί οργανισμοί: <ul style="list-style-type: none"> ■ Παρασιτικοί οργανισμοί (π.χ. κρυπτοσπορίδιο, giardia lamblia) ■ Φύκη ■ Άλλα μορφοποιημένα στοιχεία (ζωάρια) 	PCT	0.10 $\mu\text{g/L}$
	Αργυρος	10 $\mu\text{g/L}$
	Φαινολικές ενώσεις (πλην πενταχλωροφαινόλης)	0.50 $\mu\text{g/L}$
	Υδρογονάνθρακες σε διάλυση ή σε γαλάκτωμα – Ορυκτέλαια	10 $\mu\text{g/L}$
	Επιφανειοδραστικοί παράγοντες	200 $\mu\text{g/L}$
	Φωσφόρος (P ₂ O ₅)	5 mg/L
	Ξηρό υπόλειμμα	1500 mg/L
	Κάλιο	12 mg/L
	Υδρόθειο	Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά

Για όλες αυτές τις μικροβιολογικές παραμέτρους η τιμή είναι μηδενική

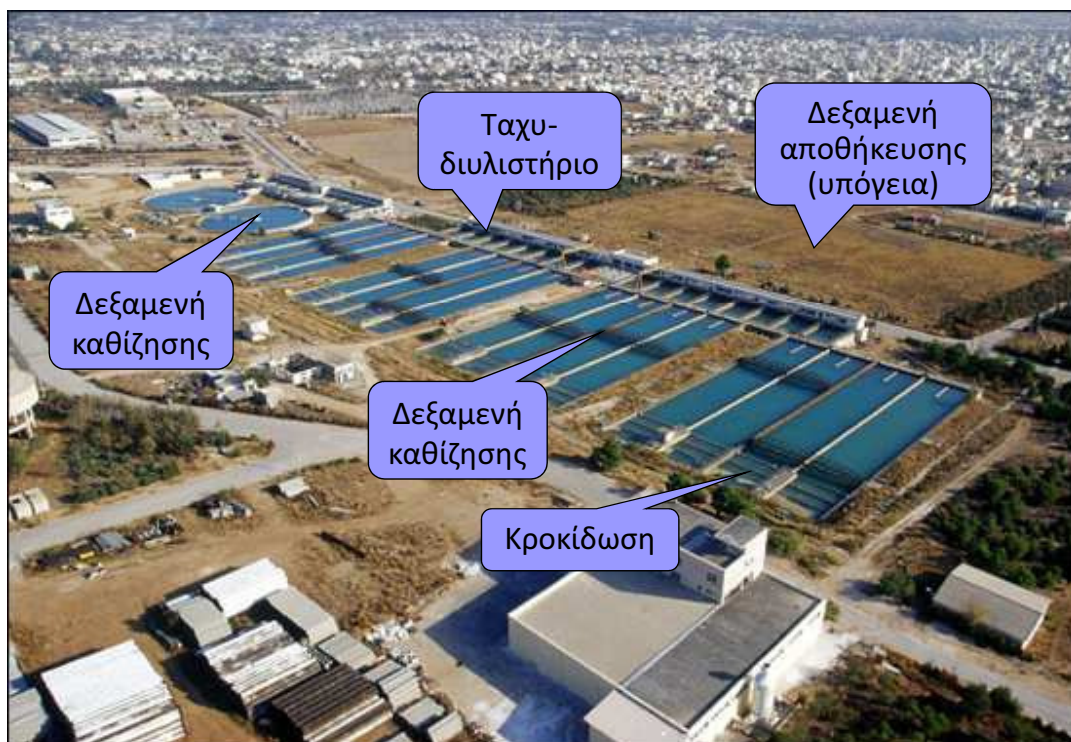
Τυπικές επεξεργασίες πόσιμου νερού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού

39

Τυπικές επεξεργασίες πόσιμου νερού: Εγκατάσταση επεξεργασίας νερού Αχαρνών



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού

40

Μη τυπικές διεργασίες πόσιμου νερού

- ❑ Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα
- ❑ Υπερδιύλιση με μεμβράνες (νανομεμβράνες, μικρομεμβράνες)
- ❑ Αφαλάτωση με αντίστροφη ώσμωση
- ❑ Απολύμανση με όζον (οζόνωση)
- ❑ Απολύμανση με υπεριώδεις ακτίνες
- ❑ Φθορίωση

Κεφάλαιο 5: Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα

Αρχές μόνιμης ομοιόμορφης ροής

Ροή σε κλειστό αγωγό

Αρχή διατήρησης μάζας (= εξίσωση συνέχειας)

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = VA$$

(όπου A το εμβαδό της διατομής)

Αρχή διατήρησης ορμής

$$\Sigma F = \rho Q (V_2 - V_1)$$

και λόγω συνέχειας και πρισματικού αγωγού:

$$\Sigma F = 0$$

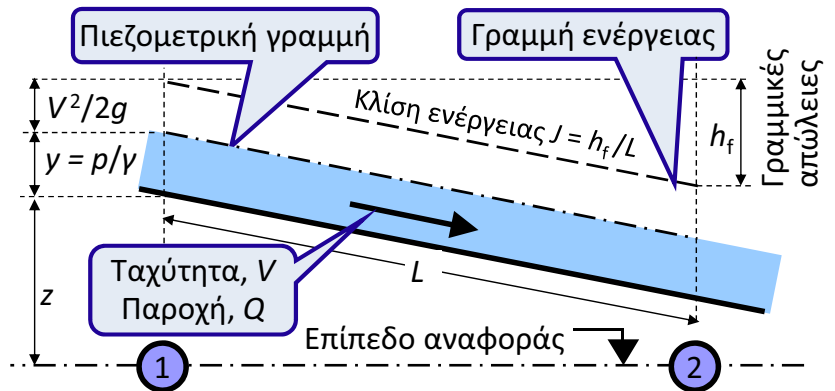
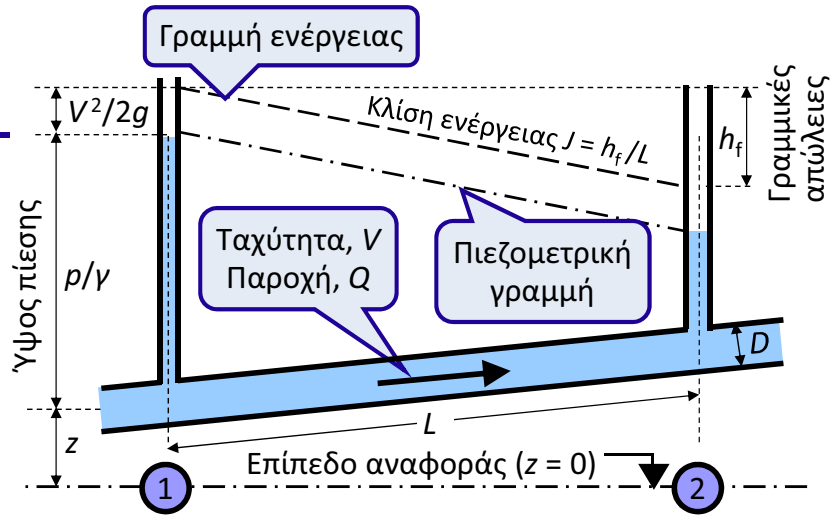
Αρχή διατήρησης ενέργειας

$$z_1 + p_1/\gamma + V_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + V_2^2/2g + h_f$$

και λόγω συνέχειας:

$$z_1 + p_1/\gamma = z_2 + p_2/\gamma + h_f$$

Ροή σε ανοιχτό αγωγό

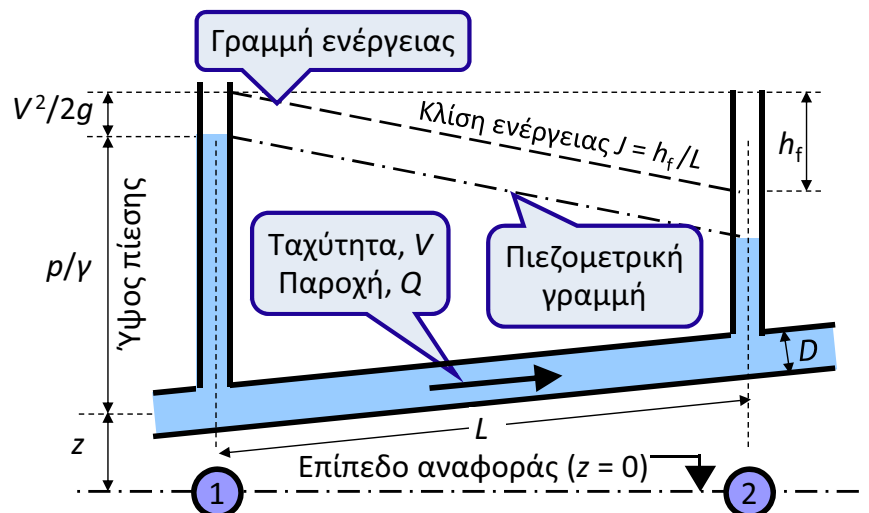


Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε κλειστό αγωγό

- Η διατομή αποτελεί καθαρά γεωμετρικό μέγεθος – δεν εξαρτάται από τα υδραυλικά μεγέθη (παροχή, ταχύτητα).
- Αντίθετα η κλίση ενέργειας είναι υδραυλικό μέγεθος (μεταβάλλεται με την παροχή).
- Κατά κανόνα οι σωλήνες είναι κυκλικής διατομής (κυλινδρικοί), κάτι που εξασφαλίζει:

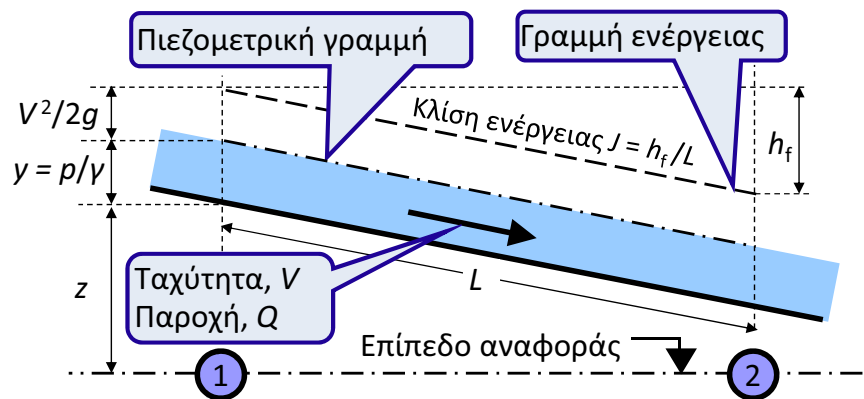
- την απλούστερη δυνατή γεωμετρία ροής (πολλαπλές συμμετρίες), και
- τη μαθηματική περιγραφή της γεωμετρίας ροής από ένα μέγεθος, την εσωτερική διάμετρο D .

- Η ομοιομορφία της ροής είναι δεδομένη (έστω κατά τμήματα).



Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοιχτό αγωγό

- Η κλίση ενέργειας αποτελεί καθαρά γεωμετρικό μέγεθος: είναι ίση με την κλίση πυθμένα και δεν εξαρτάται από τα υδραυλικά μεγέθη (παροχή, ταχύτητα).
- Αντίθετα η διατομή είναι υδραυλικό μέγεθος (μεταβάλλεται με την παροχή).
- Η γεωμετρία της διατομής είναι σαφώς πιο πολύπλοκη από τη γεωμετρία των κυκλικών αγωγών – χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη αποτελούν
 - η επιφάνεια, A ,
 - η βρεχόμενη περίμετρος P ,
 - η υδραυλική ακτίνα $R = A/P$.
- Η ομοιομορφία της ροής δεν είναι δεδομένη (χρειάζεται υδραυλικές προϋποθέσεις).



Γενικές αρχές εξίσωσης μόνιμης ομοιόμορφης ροής

- Από την αρχή διατήρησης ορμής (εν προκειμένω, την ισορροπία δυνάμεων) στον όγκο αναφοράς ανάμεσα στις διατομές 1 και 2, σε διεύθυνση παράλληλη με τον πυθμένα του αγωγού (αλλά και τη γραμμή ενέργειας), προκύπτει:

$$T = B \sin \vartheta$$

όπου λήφθηκε υπόψη ότι οι υδροστατικές πιέσεις αλληλοαναιρούνται.

- Παίρνουμε υπόψη ότι

$$B = m g = \rho L A g, \quad \sin \vartheta = J, \quad T = \tau P L$$

όπου m = μάζα, ρ = πυκνότητα και τ = μέση διατμητική τάση στο όριο.

- Αντικαθιστώντας και κάνοντας πράξεις παίρνουμε

$$\tau = \rho g R J = \gamma R J$$

- Η διατμητική τάση δίνεται και από τη σχέση

$$\tau = C_f \rho V^2 / 2$$

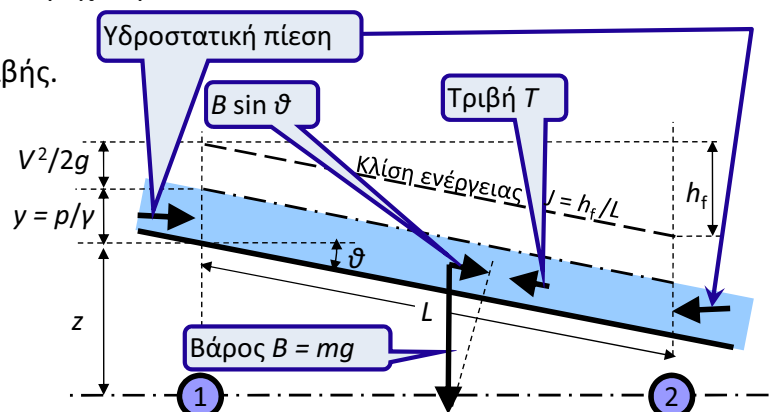
όπου C_f αδιάστατος συντελεστής τριβής.

- Απαλείφοντας το τ παίρνουμε

$$R J = C_f V^2 / 2g$$

(γενικευμένη εξίσωση Chezy).

- Η ίδια τελική εξίσωση θα προέκυπτε και αν ο αγωγός ήταν υπό πίεση, παρόλο που τα δεδομένα είναι διαφορετικά.



Υπολογισμός γραμμικών ενεργειακών απωλειών σε αγωγούς υπό πίεση κυκλικής διατομής (μόνιμη ροή)

- Αν στη γενικευμένη εξίσωση Chézy θέσουμε $f := 4 C_f$ και με δεδομένο ότι σε κυκλική διατομή $R = A/P = (\pi D^2/4) / (\pi D) = D/4$, παίρνουμε

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

που είναι γνωστή ως εξίσωση Darcy-Weisbach.

- Για μεγάλες τιμές του αριθμού Reynolds της ροής ($Re := VD/\nu$, όπου ν η κινηματική συνεκτικότητα του νερού, ίση με $1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, για θερμοκρασία 16°C), ο συντελεστής τριβής f είναι σταθερός για δεδομένο υλικό και διάμετρο σωλήνα.
- Ακριβέστερα, στις συνθήκες αυτές ο συντελεστής f είναι συνάρτηση της σχετικής τραχύτητας ε/D , όπου ε η απόλυτη επιφανειακή τραχύτητα του τοιχώματος του αγωγού, μέγεθος με διάταση μήκους.
- Για μικρότερους αριθμούς Reynolds, ο συντελεστής f είναι συνάρτηση και του Re , που δίνεται από τον (πεπλεγμένο) τύπο Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

ή γραφικά από το διάγραμμα Moody.

Προσεγγιστικός απλουστευμένος υπολογισμός γραμμικών απωλειών

- Η εξίσωση Colebrook-White γράφεται ισοδύναμα

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51 (\varepsilon/D)^{3/2}}{\varepsilon_*^{3/2} J^{1/2}} \right), \text{ όπου } \varepsilon_* := \varepsilon/\varepsilon_0, \text{ ενώ } \varepsilon_0 := \left(\frac{V^2}{g} \right)^{1/3}$$

Εν προκειμένω $\varepsilon_0 = 0.05 \text{ mm}$ (σταθερά), ενώ το μέγεθος ε_* είναι αδιάστατο με γνωστή τιμή για καθορισμένο υλικό και συνθήκες σωλήνα

- Για απλοποίηση υποτίθεται η προσεγγιστική εξίσωση δύναμης

$$f \approx \alpha \frac{(\varepsilon_0/D)^\beta}{J^\gamma}$$

όπου α , β και γ συντελεστές που εξαρτώνται από το αδιάστατο μέγεθος ε_* (ήτοι $\alpha = \alpha(\varepsilon_*)$, $\beta = \beta(\varepsilon_*)$ and $\gamma = \gamma(\varepsilon_*)$) και εν τέλει από την απόλυτη τραχύτητα ε .

- Συνδυάζουμε την παραπάνω με την εξίσωση Darcy-Weisbach και, επιπλέον, εισάγουμε το (διαστατικό) μέγεθος (που θα αποκαλούμε γενικευμένο συντελεστή τραχύτητας Manning)

$$N := \frac{\varepsilon_0^{\beta/2}}{2^{3/2+\beta} g^{1/2} \alpha^{1/2}}$$

- Καταλήγουμε στην ακόλουθη απλή εξίσωση (που θα αποκαλούμε **γενικευμένη εξίσωση Manning**)

$$V = (1/N) R^{(1+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2}$$

Τυπικές μορφές της γενικευμένης εξίσωσης Manning (για άνετους υπολογισμούς)

- Γενικευμένη εξίσωση Manning:

$$V = (1/N) R^{(1+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2}$$

- Σχέση παροχής Q και ταχύτητας V :

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

- Σχέσεις ανάμεσα στην κλίση ενέργειας J , την ταχύτητα V και τη διάμετρο D :

$$J = \left(\frac{4^{1+\beta} N^2 V^2}{D^{1+\beta}} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}}, \quad V = \frac{1}{2^{1+\beta} N} D^{(1+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2}, \quad D = 4 \left(\frac{N^2 V^2}{J^{1+\gamma}} \right)^{\frac{1}{1+\beta}}$$

- Σχέσεις ανάμεσα στην κλίση ενέργειας J , την παροχή Q και τη διάμετρο D :

$$J = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 D^{5+\beta}} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}}, \quad Q = \frac{\pi}{2^{3+\beta} N} D^{(5+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2}, \quad D = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 J^{1+\gamma}} \right)^{\frac{1}{5+\beta}}$$

Τιμές των συντελεστών της γενικευμένης εξίσωσης Manning (για τυπικές τιμές της τραχύτητας σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη)

- Για δεδομένη τραχύτητα ε (ή, ισοδύναμα, αδιαστατοποιημένη τραχύτητα ε_*), οι τιμές των συντελεστών β , γ και α (ή ισοδύναμα N) προκύπτουν από βελτιστοποίηση, με στόχο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος σε σχέση με την αυθεντική σχέση Colebrook-White.
- Οι βέλτιστες τιμές εξαρτώνται από το θεωρούμενο εύρος διακύμανσης της διαμέτρου D και της ταχύτητας V .
- Οι ακόλουθες τιμές είναι βέλτιστες για εύρος διαμέτρου $0.05 \text{ m} \leq D \leq 10 \text{ m}$ και ταχύτητας $0.1 \text{ m/s} \leq V \leq 10 \text{ m/s}$:

ε (mm)	0	0.1	0.3	1	3
α	0.1273	0.1602	0.2200	0.3397	0.6458
β	0.31	0.28	0.28	0.29	0.32
γ	0.104	0.054	0.029	0.014	0.007
N (μονάδες SI: m, s)	0.0070	0.0093	0.0109	0.0128	0.0149

- Τα μέγιστα σχετικά σφάλματα στην εκτίμηση των μεγεθών J , D , V , Q είναι αντίστοιχα 10%, 2%, 6%, 6%.
- Τα σφάλματα αυτά είναι πολύ μικρότερα από άλλα τυπικά σφάλματα και αβεβαιότητες (π.χ. στην εκτίμηση της τραχύτητας ε).

Υπολογισμός των συντελεστών της γενικευμένης εξίσωσης Manning συναρτήσει της τραχύτητας

- Ορισμός της αδιαστατοποιημένης τραχύτητας ε_* :

$$\varepsilon_* := \varepsilon/\varepsilon_0, \text{ όπου } \varepsilon_0 = (v^2/g)^{1/3} = 0.00005 \text{ m (για } v = 1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s)}$$

- Σύνηθες εύρος** ($0.1 \text{ m} \leq D \leq 1 \text{ m}$, $0.2 \text{ m/s} \leq V \leq 2 \text{ m/s}$) [Σε αγκύλη δίνονται μέγιστα σχετικά σφάλματα στην εκτίμηση των μεγεθών J , D , V , Q , αντίστοιχα]

$$\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon_* + \frac{0.02}{1 + 6.8 \varepsilon_*} \quad \gamma = \frac{0.096}{1 + 0.31 \varepsilon_*} \quad N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon_*)^{0.16} \quad [5\%, 1\%, 3\%, 3\%]$$

- Μικρές διαμέτροι** ($0.05 \text{ m} \leq D \leq 1 \text{ m}$, $0.1 \text{ m/s} \leq V \leq 3 \text{ m/s}$)

$$\beta = 0.32 + 0.0006 \varepsilon_* + \frac{0.021}{1 + 12.1 \varepsilon_*} \quad \gamma = \frac{0.11}{1 + 0.32 \varepsilon_*} \quad N = 0.00648 (1 + 1.92 \varepsilon_*)^{0.16} \quad [9\%, 2\%, 5\%, 5\%]$$

- Μεγάλες διαμέτροι** ($0.1 \text{ m} \leq D \leq 10 \text{ m}$, $0.3 \text{ m/s} \leq V \leq 10 \text{ m/s}$)

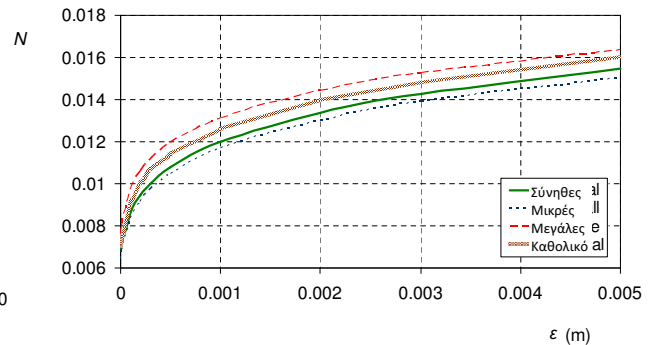
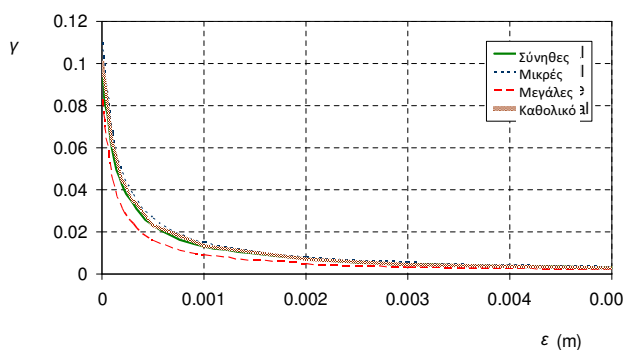
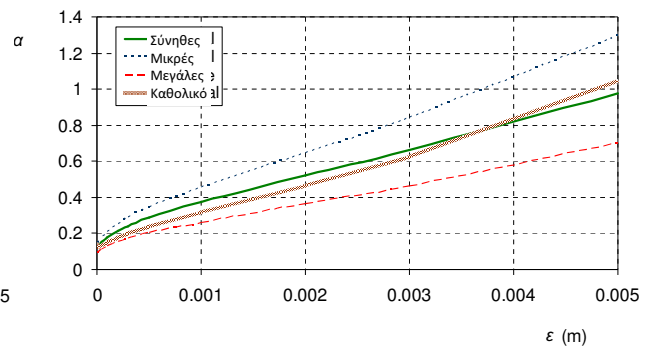
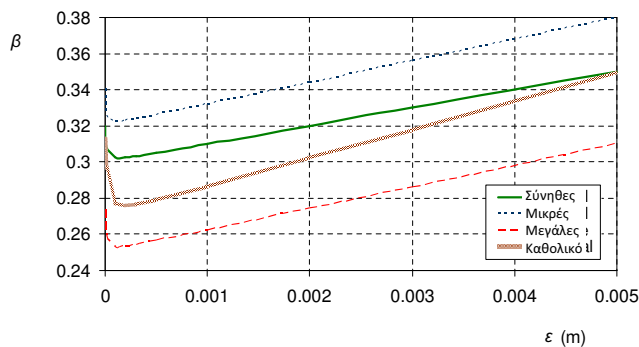
$$\beta = 0.25 + 0.0006 \varepsilon_* + \frac{0.024}{1 + 7.2 \varepsilon_*} \quad \gamma = \frac{0.083}{1 + 0.42 \varepsilon_*} \quad N = 0.00757 (1 + 2.47 \varepsilon_*)^{0.14} \quad [8\%, 2\%, 5\%, 5\%]$$

- Καθολικό εύρος** ($0.05 \text{ m} \leq D \leq 10 \text{ m}$, $0.1 \text{ m/s} \leq V \leq 10 \text{ m/s}$)

$$\beta = 0.27 + 0.0008 \varepsilon_* + \frac{0.043}{1 + 3.2 \varepsilon_*} \quad \gamma = \frac{0.1}{1 + 0.32 \varepsilon_*} \quad N = 0.00705 (1 + 2.38 \varepsilon_*)^{0.15} \quad [12\%, 2\%, 7\%, 7\%]$$

Σημείωση: το διαστατικό μέγεθος N δίνεται στο σύστημα μονάδων SI (m, s).

Γραφική απεικόνιση των συντελεστών της γενικευμένης εξίσωσης Manning (συναρτήσει της τραχύτητας)



Ειδικές περιπτώσεις: Οι εξισώσεις Manning και Hazen-Williams

- Για σχετικά μεγάλες τιμές της τραχύτητας ϵ μπορεί να θεωρηθεί:

$$\beta = 1/3, \quad \gamma = 0$$

ενώ από βελτιστοποίηση προκύπτει

$$N = n = 0.009 (1 + 0.3 \epsilon_*)^{1/6} \approx \epsilon^{1/6} / 26 \quad (\epsilon \text{ σε m}),$$

οπότε παίρνουμε την κλασική εξίσωση Manning

$$V = (1/n) (D/4)^{2/3} J^{1/2}$$

- Για σχετικά μικρές τιμές της τραχύτητας ϵ μπορεί να θεωρηθεί:

$$\beta = 0.26, \quad \gamma = 0.08$$

ενώ από βελτιστοποίηση προκύπτει

$$N = 0.008 (1 + 0.22 \epsilon_*)^{1/6}$$

οπότε παίρνουμε τη γνωστή εμπειρική εξίσωση Hazen-Williams

$$V = 0.85 C (D/4)^{0.63} J^{0.54}, \quad \text{όπου } C = 1 / (0.85 N)$$

- **Σημείωση:** Σε καμία περίπτωση δεν συστήνεται η χρήση της εξίσωσης Hazen-Williams λόγω μεγάλου σφάλματος. Η χρήση της κλασικής εξίσωσης Manning δεν συστήνεται για κλειστούς αγωγούς κυκλικής διατομής, είναι όμως η πιο κατάλληλη για ανοιχτούς αγωγούς (βλ. παρακάτω).

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 επικαθίσεις αλάτων, λαμβάνεται $\epsilon = 0.1 \text{ mm}$ ($\epsilon_* = 2$).
- Στη συνήθη περίπτωση πλαστικών αγωγών, με την υπόθεση ότι αναμένονται φαινόμενα **διάβρωσης ή επικαθίσεων αλάτων**, συστήνεται $\epsilon = 1.0\text{-}2.0 \text{ mm}$ ($\epsilon_* = 20\text{-}40$).

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 ασφαλτική 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

Τοπικές απώλειες

- Πέραν των γραμμικών απωλειών, στα δίκτυα διανομής δημιουργούνται και τοπικές απώλειες, στις συνδέσεις των αγωγών και τις στροφές (**τυπικές τοπικές απώλειες**), και στις θέσεις των ειδικών συσκευών και διατάξεων (**ειδικές τοπικές απώλειες**).
- Οι τοπικές απώλειες οφείλονται κυρίως στην ανάπτυξη στροβίλων αποκόλλησης της ροής και εκφράζονται με όρους **ύψους κινητικής ενέργειας**, ήτοι:

$$h_l = K_t V^2 / 2g \quad \text{ή} \quad h_l = K_t \Delta(V^2) / 2g$$

όπου K_t συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία της τοπικής μεταβολής διατομής και κατεύθυνσης και τα χαρακτηριστικά της ροής (αριθμός Reynolds).

- Για να ληφθούν υπόψη οι τυπικές τοπικές απώλειες χωρίς αναλυτικό υπολογισμό, προσαυξάνονται οι τιμές της τραχύτητας ϵ (**ισοδύναμη τραχύτητα**).
- Ειδικά για τις **δικλείδες**, οι τοπικές απώλειες πρέπει να λαμβάνονται ξεχωριστά υπόψη, ιδίως όταν αυτές περιορίζουν σημαντικά τη ροή. Στην περίπτωση αυτή, ανάλογα και με το άνοιγμα της δικλείδας, ο συντελεστής K_t μπορεί να αποκτήσει πολύ υψηλές τιμές (π.χ. > 100-1000).

Η εκτίμηση της ισοδύναμης τραχύτητας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες αβεβαιότητας κατά την προσομοίωση ενός δικτύου διανομής.

Παράδειγμα 1: Διαστασιολόγηση αγωγού

- **Πρόβλημα:** Να διαστασιολογηθεί υδρευτικός αγωγός ώστε να μεταφέρει παροχή σχεδιασμού 100 L/s αν η διαθέσιμη κλίση ενέργειας είναι 0.5%.

- **Λύση:** Τα δεδομένα είναι $Q = 100 \text{ L/s} = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $J = 0.5\% = 0.005$. Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε σωλήνες από πολυαιθυλένιο κλάσης (αντοχής) 1.25 MPa (12.5 atm). (Ο καθορισμός της κλάσης των σωλήνων προκύπτει από άλλους σχεδιαστικούς παράγοντες που δεν συζητούνται εδώ.)

Για ασφαλή σχεδιασμό υποθέτουμε τραχύτητα $\epsilon = 1 \text{ mm}$, λόγω του ενδεχομένου επικαθήσεων. Η αδιαστατοποιημένη τραχύτητα είναι $\epsilon_* = \epsilon / \epsilon_0 = 1/0.05 = 20$. Θεωρώντας το σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων, οι συντελεστές της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι

$$\beta = 0.3 + 0.0005 \epsilon_* + 0.02/(1 + 6.8 \epsilon_*) = 0.3 + 0.0005 \times 20 + 0.02/(1 + 6.8 \times 20) = 0.310,$$

$$\gamma = 0.096/(1 + 0.31 \epsilon_*) = 0.096/(1 + 0.31 \times 20) = 0.0133,$$

$$N = 0.00687 (1 + 1.6 \epsilon_*)^{0.16} = 0.00687 (1 + 1.6 \times 20)^{0.16} = 0.0120$$

Κατά συνέπεια,

$$D = [4^{3+\beta} N^2 Q^2 / (\pi^2 J^{1+\gamma})]^{1/(5+\theta)} = [4^{3+0.310} \times 0.0120^2 \times 0.1^2 / (\pi^2 \times 0.005^{1+0.0133})]^{1/(5+0.310)} = 0.337 \text{ m}$$

Η ταχύτητα προκύπτει $V = 4Q / \pi D^2 = 4 \times 0.1 / (\pi \times 0.337^2) = 1.12 \text{ m/s}$. Παρατηρούμε ότι τόσο η διάμετρος, όσο και η ταχύτητα βρίσκονται μέσα στο σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων και κατά συνέπεια το μέγιστο υπολογιστικό σφάλμα δεν θα ξεπεράσει το 1%.

Τελικά επιλέγουμε σωλήνα πολυαιθυλενίου του εμπορίου 1.25 MPa (12.5 atm) ονομαστικής διαμέτρου 400 mm με εσωτερική διάμετρο 341 mm > 337 mm.

Παράδειγμα 1: Διαστασιολόγηση αγωγού – διερεύνηση

- **Διερεύνηση 1:** Η ακριβής λύση, χρησιμοποιώντας τους τύπους Darcy-Weisbach και Colebrook-White βρίσκεται μετά από αρκετές δοκιμές που δεν παρουσιάζονται εδώ. Για σύγκριση παρουσιάζονται μόνο τα τελικά αποτελέσματα:
Διάμετρος $D = 0.337$ m (η απόκλιση από την προσεγγιστική λύση που υπολογίστηκε πιο πάνω είναι στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο) και $\varepsilon/D = 0.0030$, $V = 1.12$, $Re = 3.43 \times 10^5$ (για $\nu = 1.1 \times 10^6$), $f = 0.0265$.
- **Διερεύνηση 2:** Αν δεν αναμέναμε επικαθήσεις στο σωλήνα, θα μπορούσαμε να δεχτούμε τραχύτητα $\varepsilon = 0.1$ mm, οπότε $\varepsilon_* = \varepsilon / \varepsilon_0 = 0.1/0.05 = 2$ και
 $\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon_* + 0.02/(1 + 6.8 \varepsilon_*) = 0.3 + 0.0005 \times 2 + 0.02/(1 + 6.8 \times 2) = 0.302$,
 $\gamma = 0.096/(1 + 0.31 \varepsilon_*) = 0.096/(1 + 0.31 \times 2) = 0.059$,
 $N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon_*)^{0.16} = 0.00687 (1 + 1.6 \times 2)^{0.16} = 0.0086$
Κατά συνέπεια,
 $D = [4^{3+\beta} N^2 Q^2 / (\pi^2 J^{1+\gamma})]^{1/(5+\beta)} = [4^{3+0.302} 0.0086^2 0.1^2 / (\pi^2 0.005^{1+0.059})]^{1/(5+0.302)} = 0.310$ m, δηλαδή, θα προέκυπτε μείωση της διαμέτρου κατά 9% (οι τύποι Darcy-Weisbach και Colebrook-White δίνουν $D = 0.308$ m – διαφορά < 1%).

Παράδειγμα 2: Υπολογισμός γραμμικών απωλειών

- **Πρόβλημα:** Στο παράδειγμα, ποιοί πρέπει να είναι οι χειρισμοί στην αρχή της περιόδου λειτουργίας για να μεταφερθεί παροχή 60 L/s αν το μήκος του υδραγωγείου είναι 10 km;
- **Λύση:** Τα δεδομένα είναι $Q = 60$ L/s = 0.06 m³/s, $L = 10$ km, $D = 341$ mm (από την επίλυση του προηγούμενου προβλήματος) ενώ η γεωμετρική κλίση είναι $J = 0.5\% = 0.005$, πράγμα που σημαίνει ότι διατίθεται γεωμετρικό ύψος $H = 0.005 \times 10\,000 = 50$ m. Εφόσον το πρόβλημα αναφέρεται στην αρχή της περιόδου λειτουργίας του υδραγωγείου, θα δεχτούμε ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 0.1$ mm.
Όπως υπολογίσαμε προηγουμένως, για $\varepsilon = 0.1$ mm οι παράμετροι της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι $\beta = 0.302$, $\gamma = 0.059$, $N = 0.0086$. Συνεπώς η κλίση ενέργειας είναι:
 $J = [4^{3+\beta} N^2 Q^2 / (\pi^2 D^{5+\beta})]^{1/(1+\gamma)} = [4^{3+0.302} \times 0.0086^2 \times 0.06^2 / (\pi^2 \times 0.341^{5+0.302})]^{1/(1+0.059)} = 0.00117$
Οι γραμμικές απώλειες είναι $h_f = J L = 0.00117 \times 10\,000 = 11.73$ m.
Κατά συνέπεια, υπάρχει ένα πλεόνασμα ενέργειας $50.0 - 11.73 = 38.27$ m που πρέπει να «σπάσει», δηλαδή να διατεθεί σε τοπικές απώλειες. Χρησιμοποιούμε για το σκοπό αυτό δικλείδα σε κατάλληλο άνοιγμα, ώστε $h_\tau = 38.27$ m.
Η ταχύτητα που προκύπτει είναι $V = 4Q / \pi D^2 = 4 \times 0.06 / (\pi \times 0.341^2) = 0.657$ m/s.
Οι τοπικές απώλειες για τη δικλείδα είναι $h_\tau = K_\delta V^2 / 2g$. Κατά συνέπεια ο συντελεστής τοπικών απωλειών είναι
 $K_\delta = 2g h_\tau / V^2 = 2 \times 9.81 \times 38.27 / 0.657^2 = 1740$.
- **Σημείωση:** Η ακριβής λύση με τους τύπους Darcy-Weisbach και Colebrook-White είναι $J = 0.00114$, δηλαδή το σχετικό σφάλμα είναι $(0.00117 - 0.00114)/0.00114 = 3\%$.

Ενεργειακές απώλειες σε ανοιχτούς αγωγούς

- Αν και η εξίσωση γραμμικών ενεργειακών απωλειών στη βάση της δεν εξαρτάται από το αν ο αγωγός είναι ανοιχτός ή κλειστός (δηλαδή, αν η ροή είναι υπό πίεση ή με ελεύθερη επιφάνεια), υπάρχουν ορισμένες πρακτικές διαφορές.
- Συγκεκριμένα στους ανοιχτούς αγωγούς (σε αντίθεση με τους κλειστούς κυλινδρικούς σωλήνες):
 - η γεωμετρία της ροής δεν έχει την τέλεια συμμετρία ενός κύκλου,
 - αντίθετα, η γεωμετρία της ροής μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη, ακόμη και σε κυλινδρικό αγωγό (η υγρή διατομή είναι κυκλικός τομέας και όχι κύκλος), και
 - η τραχύτητα είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη (π.χ. σε κανάλια από σκυρόδεμα)
- Με αυτές τις συνθήκες, δεν έχει νόημα (ούτε θα προσέφερε μεγαλύτερη ακρίβεια) η χρήση των πολύπλοκων τύπων Darcy-Weisbach-Colebrook-White.
- Εξ άλλου, όπως συζητήθηκε παραπάνω, για μεγάλες τραχύτητες ο γενικευμένος τύπος Manning πρακτικώς μεταπίπτει στον κλασικό τύπο του Manning.
- Τέλος, η συσσωρευμένη εμπειρία επιτυχούς εφαρμογής του τύπου του Manning και η εκτεταμένη πινακοποίηση τιμών του συντελεστή n για ποικιλία συνθηκών, ουσιαστικά τον καθιστά την μοναδική αξιόπιστη επιλογή.

Συμπεράσματα

Ροή υπό πίεση σε κυλινδρικούς σωλήνες

- Για απλούστευση των υπολογισμών χωρίς ουσιαστικό σφάλμα μπορεί να χρησιμοποιείται ο γενικευμένος τύπος Manning αντί των πολύπλοκων τύπων Darcy-Weisbach και Colebrook-White – Η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της τραχύτητας οδηγεί σε σφάλμα πολύ μεγαλύτερο από το υπολογιστικό.
- Για τις πιο τυπικές τιμές της τραχύτητας και για σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων σε υδρευτικά έργα ($0.1 \text{ m} \leq D \leq 1 \text{ m}$, $0.2 \text{ m/s} \leq V \leq 2 \text{ m/s}$) οι βέλτιστες παράμετροι είναι οι εξής (το N στο SI για m, s):
 - για $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$: $\beta = 0.302$, $\gamma = 0.059$, $N = 0.0086$, και
 - για $\varepsilon = 1 \text{ mm}$: $\beta = 0.31$, $\gamma = 0.0133$, $N = 0.012$.

Ροή με ελεύθερη επιφάνεια

- Ο κλασικός τύπος του Manning αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή.
- Ο τύπος αυτός προκύπτει και ως ειδική περίπτωση του γενικευμένου τύπου Manning για $\beta = 1/3$, $\gamma = 0$, $n = N$.
- Κατά κανόνα στη χρήση του τύπου του Manning η βιβλιογραφία δίνει απευθείας τιμές για το συντελεστή τριβής n . Αν όμως είναι δεδομένη η τραχύτητα ε , τότε ο συντελεστής n μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$N = n = 0.009 (1 + 0.3 \varepsilon_*)^{1/6} \approx \varepsilon^{1/6} / 26 \quad (\varepsilon \text{ σε m}).$$

Παράρτημα 1: Εσωτερικές διαμέτροι αγωγών από πολυαιθυλένιο (HDPE)

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)					
	10 atm	12.5 atm	16 atm	20 atm	25 atm	32 atm
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	526.4	409.2	388.4		
560	493.6	477.6	458.4			
630	555.2	537.4	515.6			

Παράρτημα 2: Εσωτερικές διαμέτροι αγωγών από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Εσωτερική διάμετρος (mm)		
	10 atm	12.5 atm	16 atm
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	123.6	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	

Λοιποί σωλήνες ύδρευσης:

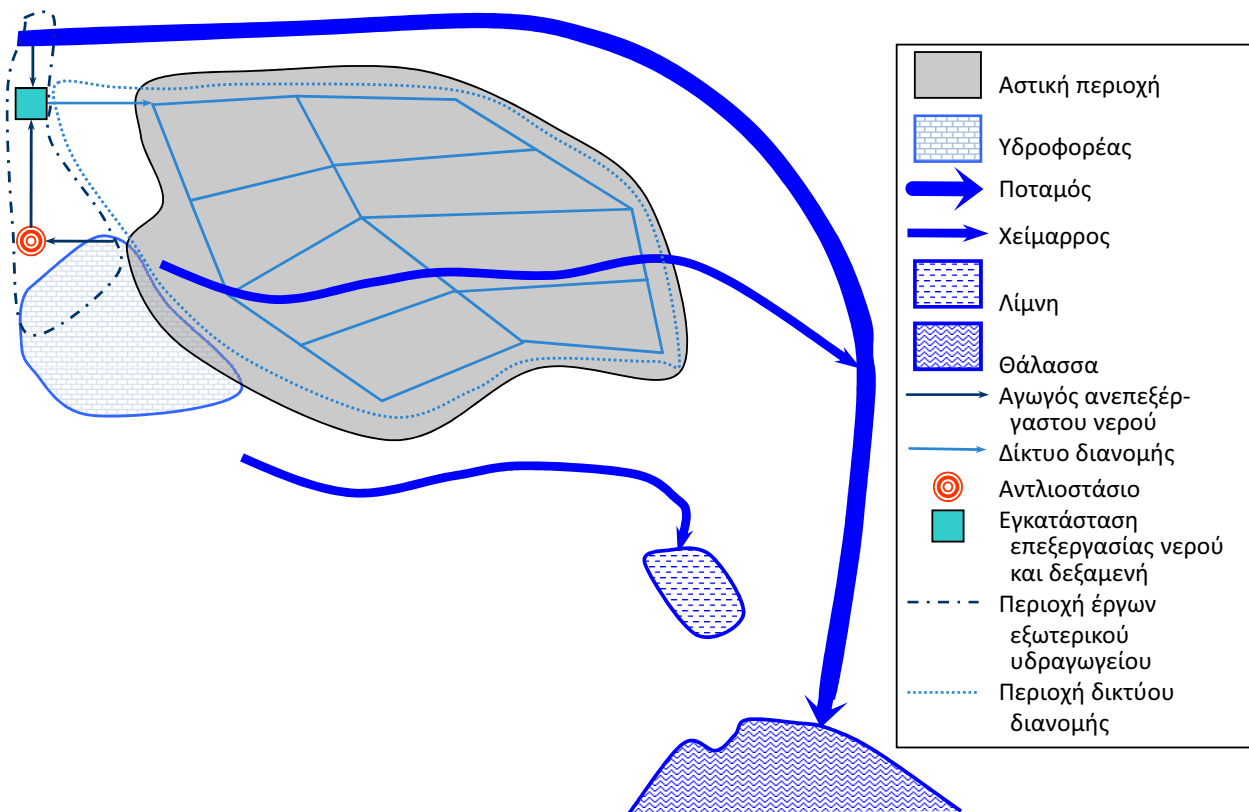
- Στους σωλήνες από χάλυβα και αμιαντοσιμέντο η ονομαστική διάμετρος ταυτίζεται με την εσωτερική.
- Σωλήνες από χάλυβα διατίθενται σε διαμέτρους 100-2000 mm με διαβαθμίσεις ανά 50 mm μέχρι τη διάμετρο των 400 mm και ανά 100 mm για τις μεγαλύτερες.
- Σωλήνες από αμιαντοσιμέντο διατίθενται σε διαμέτρους 100-1000 mm με διαβαθμίσεις ανά 50 mm μέχρι τη διάμετρο των 500 mm και ανά 100 mm για τις μεγαλύτερες.

Κεφάλαιο 6: Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

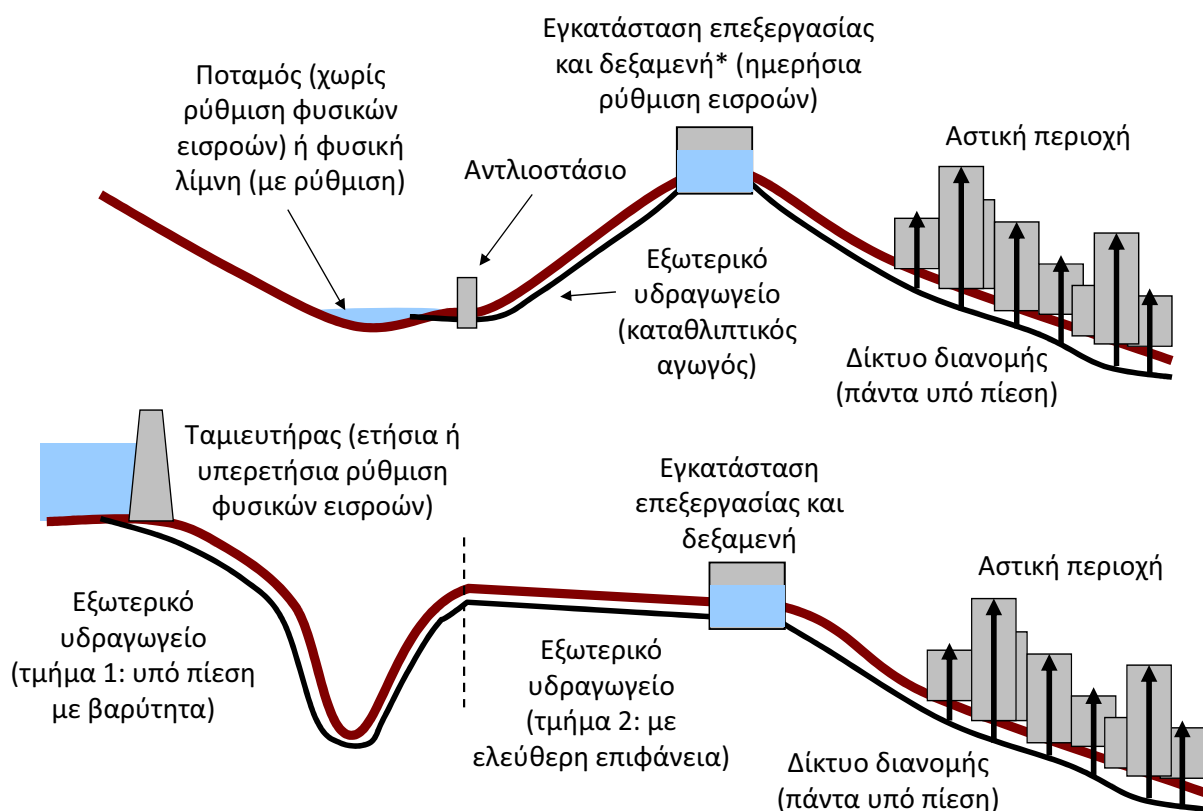
Γενικές παρατηρήσεις

- Σκοπός των έργων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε **επαρκή ποσότητα** και **κατάλληλη ποιότητα**, και η μεταφορά και διανομή του με **υψηλή αξιοπιστία** σε μια οικιστική περιοχή για την εξυπηρέτηση των πάσης φύσεως αναγκών της σε νερό.
- Δεν υπάρχει μοναδική «συνταγή» για το είδος και τη γενική διάταξη των έργων ύδρευσης. Ωστόσο, στην πλειονότητα των περιπτώσεων τα έργα μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:
 - **Έργα εξωτερικού υδραγωγείου ή υδροδοτικά έργα:** αναπτύσσονται κυρίως έξω από την αστική περιοχή και περιλαμβάνουν τα έργα συλλογής του νερού στις πηγές (υδατικοί πόροι), μεταφοράς του στις παρυφές της της αστικής περιοχής, τις μονάδες επεξεργασίας και τις ρυθμιστικές δεξαμενές.
 - **Δίκτυα διανομής:** αναπτύσσονται στο σύνολο της αστικής περιοχής ως συστήματα αγωγών υπό πίεση και διανέμουν το επεξεργασμένο (καθαρό) νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές) της αστικής περιοχής.
- Τα έργα εξωτερικού υδραγωγείου παρουσιάζουν τεράστια ποικιλία ως προς τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά (γενική διάταξη, συνιστώσες, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υλικά) αλλά και την υδραυλική τους (ροή με ελεύθερη επιφάνεια ή – συνηθέστερα – υπό πίεση).
- Αντίθετα, τα δίκτυα διανομής αποτελούν πάντα πλέγματα αγωγών που λειτουργούν υπό πίεση.

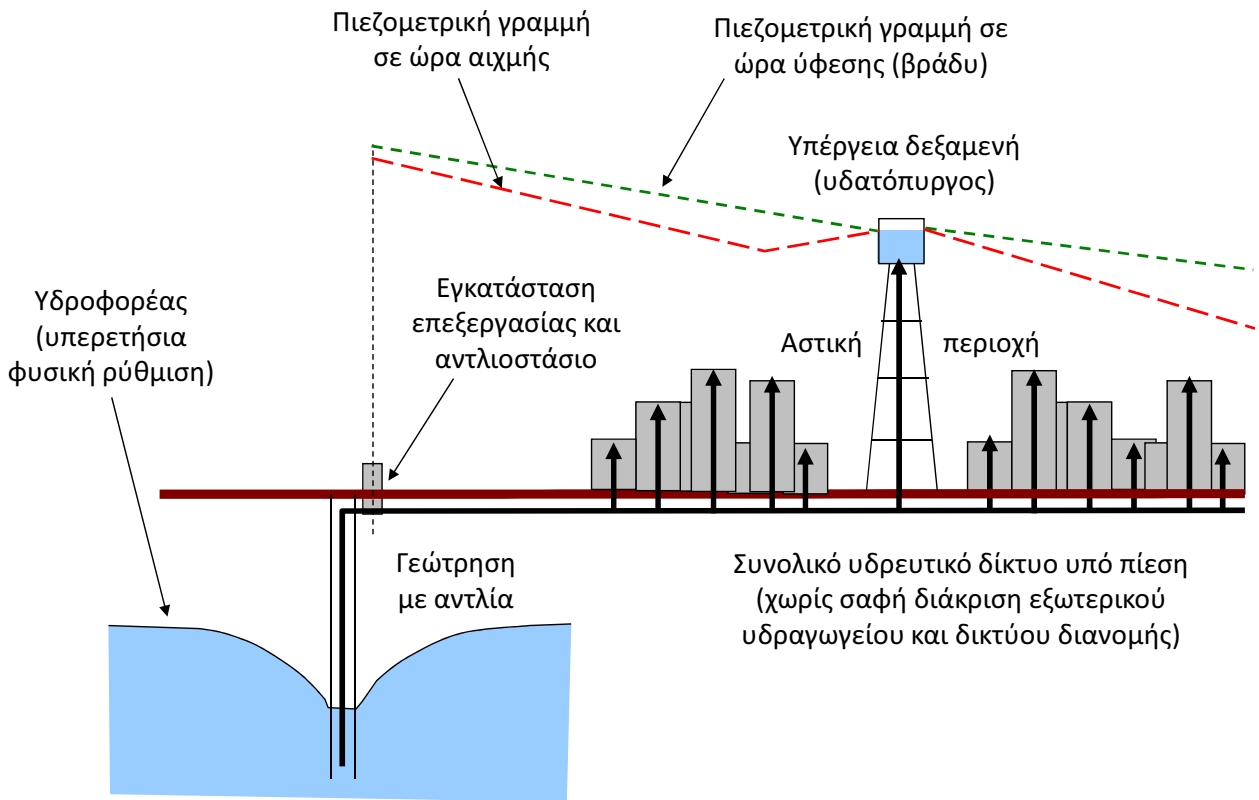
Σχηματική απεικόνιση υδρευτικού συστήματος



Τυπικές διατάξεις υδρευτικών έργων

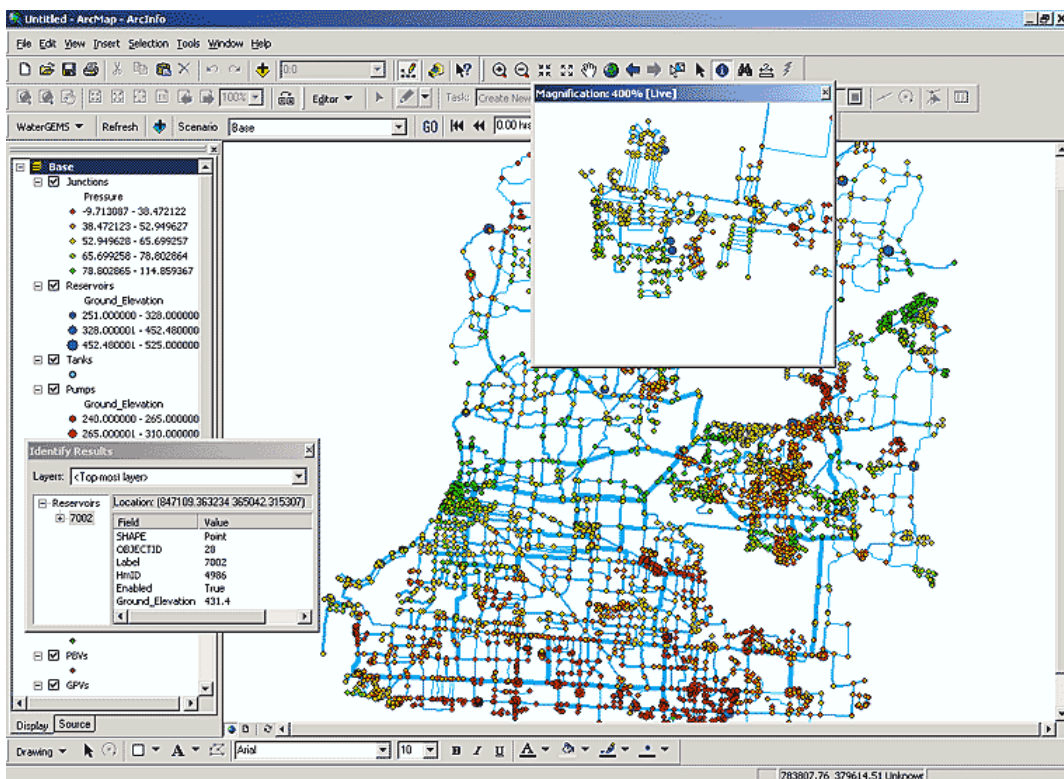


Μη τυπική διάταξη υδρευτικών έργων (επίπεδη πόλη)



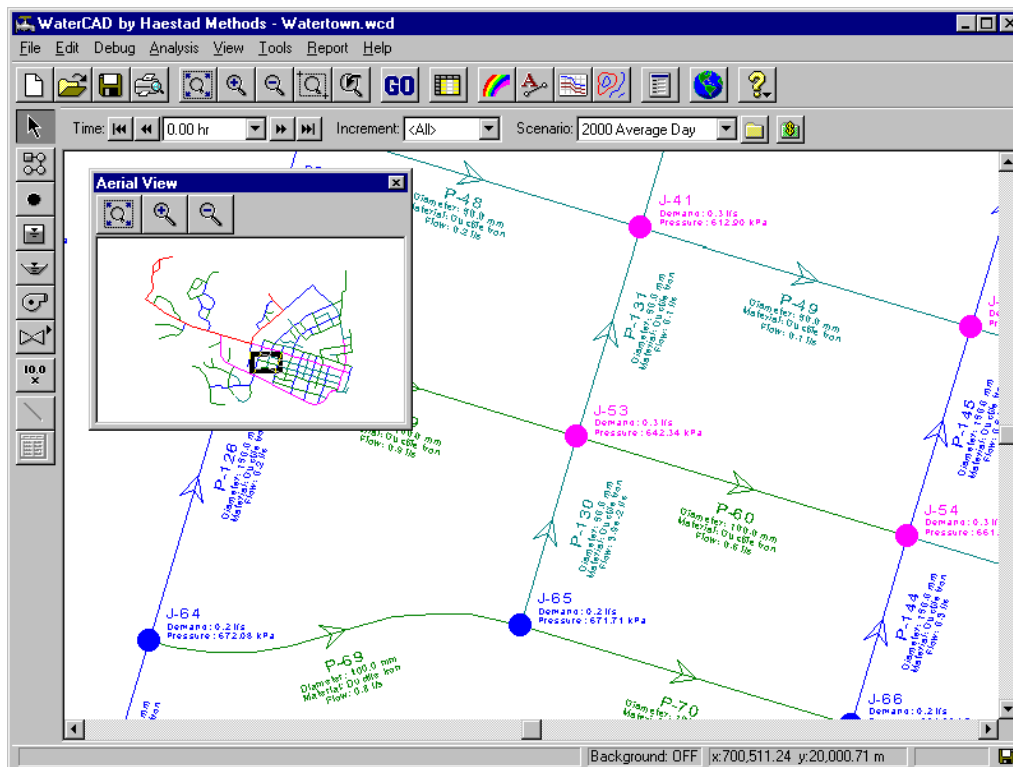
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

Δίκτυο διανομής: Φυσική απεικόνιση



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

Δίκτυο διανομής: Μαθηματική αναπαράσταση



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

69

Τυπικά προβλήματα για τον πλήρη σχεδιασμό ενός αστικού υδρευτικού συστήματος

- ❑ Ποσοτικοποίηση της ζήτησης νερού
- ❑ Καθορισμός των πηγών νερού
- ❑ Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού ανά πηγή
- ❑ Καθορισμός της μορφής επεξεργασίας του νερού
- ❑ Καθορισμός βασικών μεγεθών σχεδιασμού (παροχές και όγκοι)
- ❑ Χωροθέτηση των έργων υδροληψίας
- ❑ Χωροθέτηση των έργων επεξεργασίας και των δεξαμενών
- ❑ Χωροθέτηση των έργων εξωτερικού υδραγωγείου
- ❑ Χωροθέτηση του δικτύου διανομής
- ❑ Οικονομοτεχνική ανάλυση και επιλογή υλικών (σωληνώσεις, Η/Μ εξοπλισμός)
- ❑ Λεπτομερής διαστασιολόγηση και υδραυλικός έλεγχος του συνόλου των έργων, για διάφορα σενάρια καταναλώσεων
- ❑ Διαμόρφωση λεπτομερών κατασκευαστικών σχεδίων

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

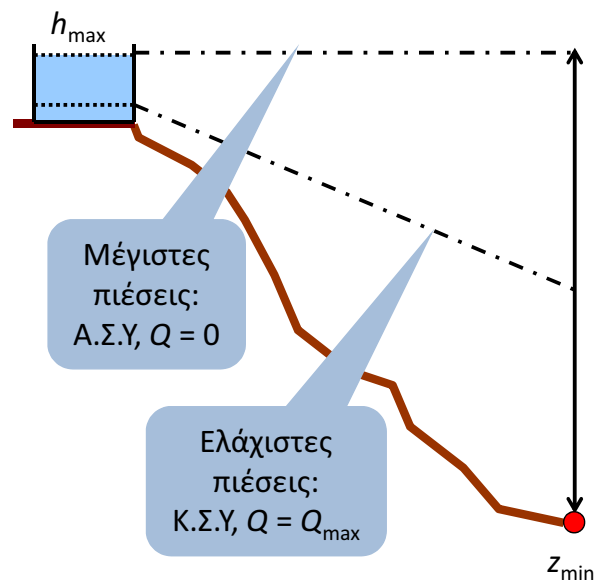
70

Βασικές παρατηρήσεις για τη γενική διάταξη

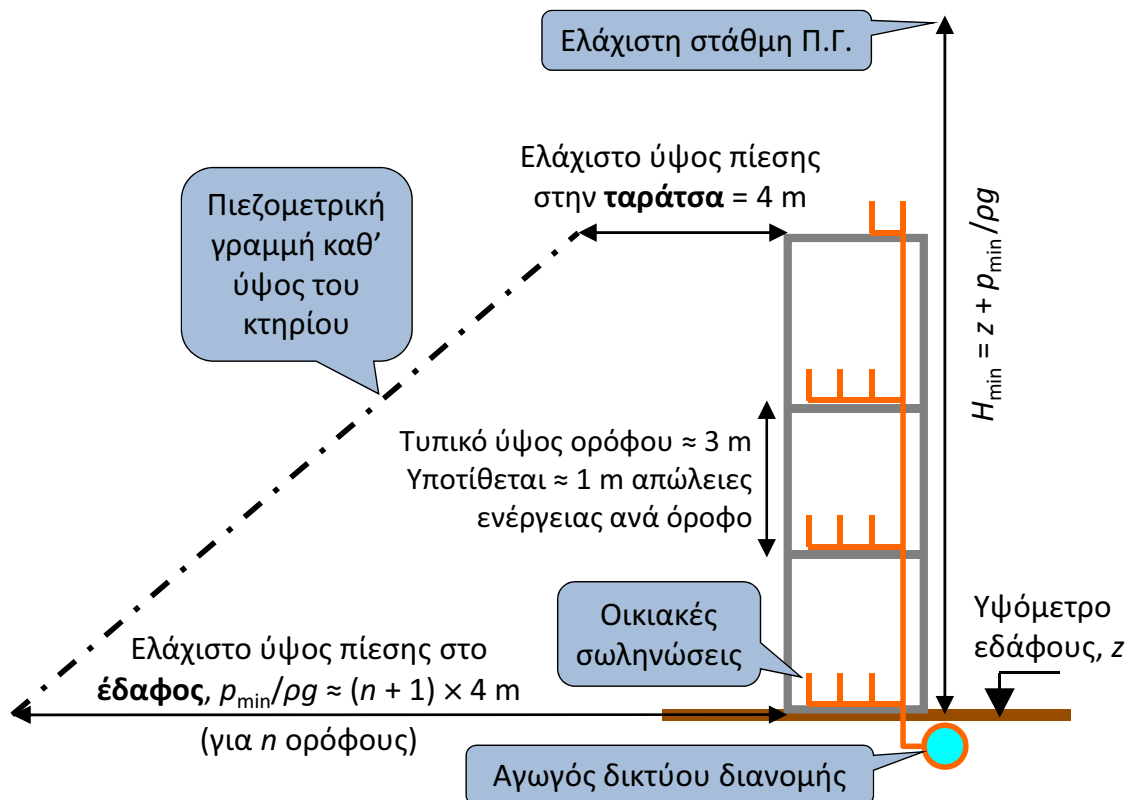
- Εφόσον μπορεί να γίνει διαχωρισμός του υδρευτικού συστήματος σε εξωτερικό υδραγωγείο και εσωτερικό δίκτυο διανομής, η δεξαμενή αποτελεί το όριο των δύο.
- Η εγκατάσταση επεξεργασίας τοποθετείται στο εξωτερικό υδραγωγείο. Στο δίκτυο διανομής κυκλοφορεί μόνο επεξεργασμένο νερό.
- Η δεξαμενή εκτελεί τρεις βασικές λειτουργίες:
 - (α) Ρυθμίζει σε 24ωρη βάση την παροχή. Ανάντη η παροχή είναι σταθερή στη διάρκεια του 24ώρου, ενώ κατάντη ακολουθεί τις διακυμάνσεις της ζήτησης.
 - (β) Ρυθμίζει την πίεση στα κατάντη (με τη δεδομένη ελεύθερη επιφάνεια το νερού, που διακυμαίνεται μέσα σε όρια 3-6 m).
 - (γ) Αποθηκεύει νερό για έκτακτες ανάγκες (βλάβη υδραγωγείου, πυρκαγιά).
- Ως συνέπεια της ρυθμιστικής λειτουργίας της δεξαμενής, η παροχή σχεδιασμού (= μέγιστη παροχή) ανάντη είναι μικρότερη από την παροχή σχεδιασμού κατάντη.
- Για λόγους οικονομίας και ασφάλειας, η δεξαμενή τοποθετείται όσο γίνεται πιο κοντά στην πόλη.

Κύριες λειτουργικές απαιτήσεις στο δίκτυο

- Η μέγιστη πίεση στο δίκτυο (που αντιστοιχεί σε **μηδενική φόρτιση** – οριζόντια πιεζομετρική γραμμή – και **ανώτατη στάθμη ύδατος** – Α.Σ.Υ. – στη δεξαμενή, h_{\max}) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 60-70 m, για να αποφευχθούν βλάβες στις εσωτερικές υδραυλικές εγκαταστάσεις των κτηρίων.
- Η ελάχιστη πίεση (που αντιστοιχεί στη **μέγιστη παροχή** στο δίκτυο και **κατώτατη στάθμη ύδατος** – Κ.Σ.Υ. – στη δεξαμενή) δεν πρέπει σε κανένα σημείο ενός τυπικού κτηρίου να είναι μικρότερη των 4 m.
- Τα δύο αυτά κριτήρια καθορίζουν την υψομετρική τοποθέτηση της δεξαμενής.
- Στην περίπτωση οικισμών με μεγάλες υψομετρικές διαφορές, μπορεί να μη συναληθεύουν τα δύο κριτήρια, οπότε γίνεται χωρισμός του δικτύου σε υδραυλικά ανεξάρτητες **πιεζομετρικές ζώνες** (περισσότερες από μία δεξαμενές ή φρεάτια).



Διευκρίνιση για την ελάχιστη πίεση

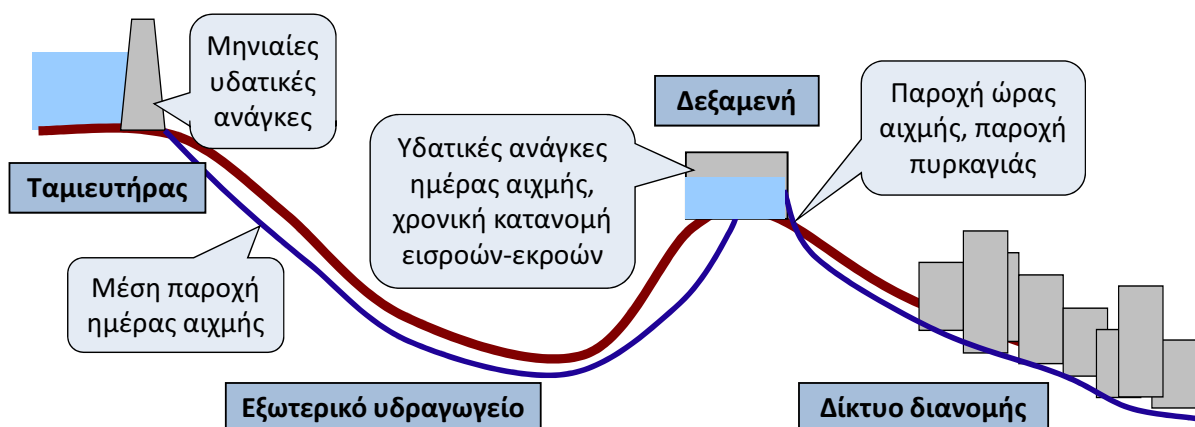


Κύριες λειτουργικές απαιτήσεις στο εξωτερικό υδραγωγείο

- Το μέγιστο ύψος πίεσης μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 60-70 m (φτάνοντας π.χ. ακόμη και 300-400 m). Πάντως, όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος των σωληνώσεων.
- Το ελάχιστο ύψος πίεσης μπορεί να φτάσει στο 0 ή ακόμη και σε μικρές αρνητικές τιμές (μέχρι -7 m).
- Εκτός από τις στατικές πιέσεις, λαμβάνονται υπόψη και οι υπερπιέσεις λόγω υδραυλικού πλήγματος (μη μόνιμης ροής σε περίπτωση απότομης διακοπής της ροής από κλείσιμο δικλείδας ή διακοπής λειτουργίας της αντλίας). Παράλληλα λαμβάνονται μέτρα για το μετριασμό των υπερπιέσεων.

Κεφάλαιο 7: Υδρευτικές καταναλώσεις

Μεγέθη σχεδιασμού υδρευτικών έργων



- Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων → διαστασιολόγηση με βάση τη μηνιαία κατανομή των υδρευτικών αναγκών του έτους σχεδιασμού
- Εξωτερικό υδραγωγείο → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες κατανάλωσης της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού
- Δίκτυο διανομής → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες κατανάλωσης της δυσμενέστερης ώρας του έτους σχεδιασμού (μεγιστοποίηση ζήτησης για τις συνήθειες χρήσεις, με ταυτόχρονη εκδήλωση πυρκαγιάς)
- Δεξαμενή ρύθμισης → διαστασιολόγηση με βάση συνδυαστικά μεγέθη του εσωτερικού δικτύου και του εξωτερικού υδραγωγείου

Συνιστώσες αστικών χρήσεων νερού και παράγοντες που τις επηρεάζουν

- **Συνιστώσες αστικής υδατικής κατανάλωσης:**
 - Οικιακή χρήση μόνιμου πληθυσμού
 - Εποχιακή οικιακή χρήση (παραθεριστικές περιοχές)
 - Τουριστική χρήση (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια)
 - Βιομηχανική/βιοτεχνική χρήση
 - Δημόσια και δημοτική χρήση (πάρκα και λοιποί χώροι πρασίνου, νοσοκομεία, σχολεία, εκκλησίες, δημόσιες υπηρεσίες, κλπ.)
 - Μη οικιακή γεωργική χρήση (μικρής κλίμακας καλλιέργειες)
 - Νερό που διατίθεται για πυρόσβεση
 - Απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού
- **Παράγοντες που επηρεάζουν την οικιακή κατανάλωση:**
 - Κλιματικές συνθήκες
 - Διαθεσιμότητα και ποιότητα νερού
 - Βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο – κοινωνικά πρότυπα
 - Τεχνολογία οικιακών συσκευών
 - Τιμολογιακή πολιτική
 - Θεσμικά και άλλα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης

Εκτίμηση μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για οικιακή και τουριστική χρήση

- Η **μέση ημερήσια παροχή** για κοινή οικιακή ή τουριστική χρήση είναι:

$$Q_E = q \Pi$$

όπου q η ειδική (μέση κατά κεφαλή) κατανάλωση και ο Π πληθυσμός σχεδιασμού, που αναφέρεται στο πέρας της ωφέλιμης ζωής των έργων ύδρευσης (συνήθως 40 έτη).

- Τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης (στην Ελλάδα):
 - Οικιακή χρήση μόνιμων κατοίκων: 150-200 L/d/κάτοικο
 - Οικιακή χρήση παραθεριστών: 200-250 L/d/κάτοικο
 - Τουριστική χρήση: 250-350 L/d/κλίνη
- Υδρευτικές ανάγκες ξενοδοχείων (ΦΕΚ 43Α/2002, εδάφιο 1.3β):
 - Ξενοδοχεία 5* και σύνθετα τουριστικά καταλύματα: 450 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 4*: 350 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 3*: 300 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 2*: 250 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 1*: 150 L/d/κλίνη
 - Αν το ξενοδοχείο διαθέτει κήπο, προστίθενται αρδευτικές ανάγκες 4.0 L/m² για χλοοτάπητα και 1.53 L/m² για λουλούδια.

Μαθηματικά μοντέλα χρονικής εξέλιξης πληθυσμού

- Τυπικά μοντέλα εξέλιξης πληθυσμού:

- Γραμμική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 + a t$
- Γεωμετρική αύξηση (σχέση ανατοκισμού): $\Pi_t = \Pi_0 (1 + b)^t$
- Λογιστική καμπύλη: $\Pi_t = \Pi_K / (1 + m e^{-\eta t})$

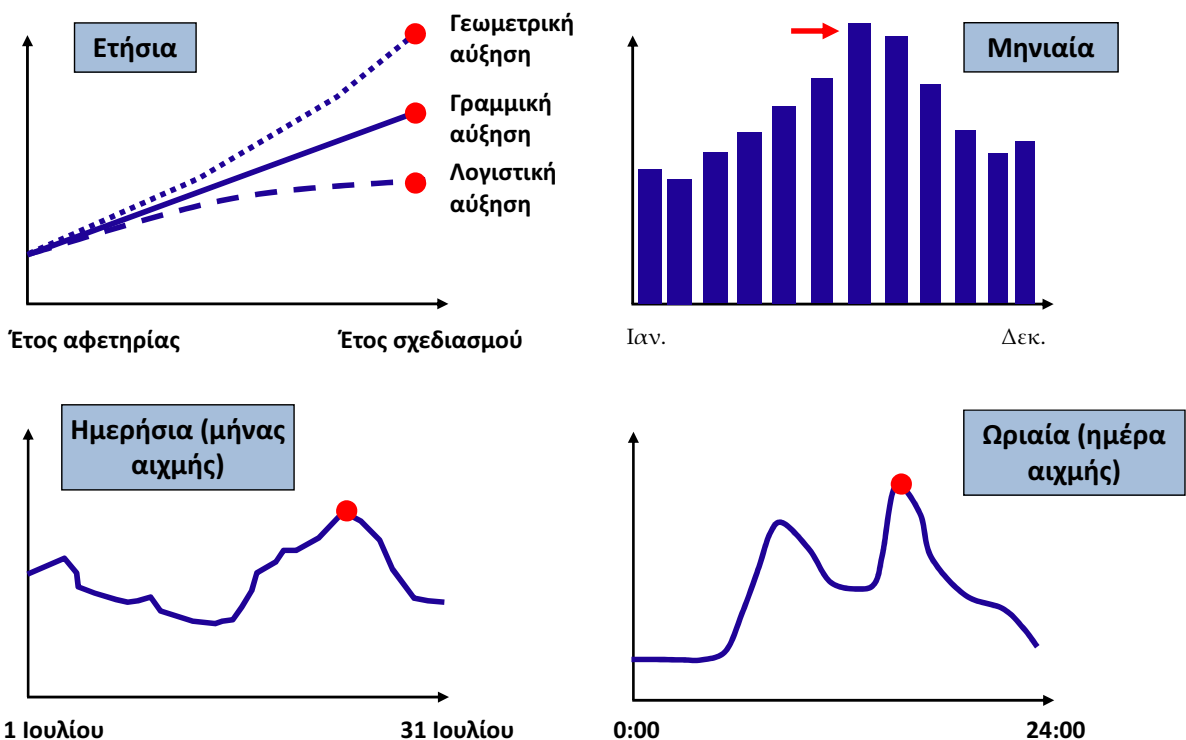
όπου Π_0 ο πληθυσμός αφετηρίας, Π_t ο πληθυσμός μετά από t έτη, Π_K ο πληθυσμός κορεσμού, και a, b, m, η παράμετροι που εκτιμώνται με βάση ιστορικά δεδομένα δύο ή τριών πρόσφατων απογραφών πληθυσμού.

- Επιπλέον *στατιστικά στοιχεία* που αξιοποιούνται είναι οι απογραφές των μαθητών των σχολείων, των καταναλωτών ρεύματος ή νερού, οι εγγραφές και διαγραφές στα δημοτολόγια, κτλ.
- Ακόμη, λαμβάνονται υπόψη *ποιοτικά στοιχεία* που αφορούν στις μεταβολές των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών, σε γενικό και τοπικό επίπεδο.
- Απαιτείται ξεχωριστή εκτίμηση του αριθμού των μη μόνιμων κατοίκων (σύντομης διάρκειας επισκέψεις για επαγγελματικούς ή τουριστικούς λόγους). Συχνά, ο αριθμός των μη μόνιμων κατοίκων είναι πολλαπλάσιος του μόνιμου πληθυσμού.
- Επειδή η μακροχρόνια εξέλιξη του πληθυσμού εξαρτάται από πληθώρα αστάθμητων παραγόντων (π.χ. εσωτερική και εξωτερική μετανάστευση, μεγάλης κλίμακας οικονομικές μεταβολές), η άκριτη χρήση των μοντέλων είναι επισφαλής.

Εκτίμηση πληθυσμού σχεδιασμού με βάση πολεοδομικά δεδομένα της περιοχής μελέτης

- Τα πολεοδομικά δεδομένα μιας περιοχής αφορούν σε συντελεστές δόμησης, συντελεστές κάλυψης, περιορισμούς σχετικά με τον μέγιστο αριθμός ορόφων, ειδικούς όρους για παραδοσιακούς οικισμούς, νησιωτικές περιοχές, κτλ.
- Συνήθεις τιμές πυκνότητας πληθυσμού οικιστικών περιοχών:
 - 35-50 κατ/ha για τομείς χαμηλής δόμησης (μονοκατοικίες).
 - 100-150 κατ/ha για τομείς μέσης δόμησης (διπλοκατοικίες, τριπλοκατοικίες).
 - 200-400 κατ/ha για περιοχές υψηλής δόμησης (πολυκατοικίες).
 - 2500 κατ/ha για περιοχές πολύ πυκνής δόμησης, με πολυώροφα κτήρια.
 - 25-75 κατ/ha για βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες.
- Σε νέους οικισμούς, μπορεί να γίνει ακριβέστερη εκτίμηση του μέγιστου αριθμού κατοικιών, με βάση την έκταση που πρόκειται να οικοδομηθεί ή, αναλυτικότερα, με καταμέτρηση των προβλεπόμενων από το πολεοδομικό σχέδιο οικοπέδων (ισχύει για επεκτάσεις σχεδίων πόλης ή νέους παραθεριστικούς οικισμούς).
- Σε κάθε οικόπεδο ή κατοικία, εκτιμάται ο αντίστοιχος πληθυσμός, θεωρώντας 3-4 μέλη ανά νοικοκυριό.
- Στον σχεδιασμό λαμβάνεται ως το 80-85% του πληθυσμού κορεσμού, καθώς οι οικιστικές περιοχές δεν μπορούν να αναπτυχθούν στο 100% του δυναμικού τους.

Χρονικές κλίμακες οικιακής κατανάλωσης



Λοιπές χρήσεις αστικού νερού

- **Τουριστικές χρήσεις**
 - Η ζήτηση συγκεντρώνεται ορισμένες περιόδους του έτους (π.χ. καλοκαίρι) και δεν μεταβάλλεται σημαντικά από ημέρα σε ημέρα.
 - Η διακύμανση της κατανάλωσης εντός του 24ώρου είναι λιγότερο έντονη σε σχέση με την οικιακή χρήση των μόνιμων κατοίκων.
- **Βιομηχανικές-βιοτεχνικές χρήσεις**
 - Η ζήτηση εκδηλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (μόνο τις εργάσιμες ημέρες και ώρες για τις μικρές μονάδες, σε συνεχή βάση για τις μεγάλες βιομηχανίες) και είναι γενικά σταθερή.
 - Η εκτίμηση της ημερήσιας κατανάλωσης γίνεται βάσει τυπικών βιβλιογραφικών συντελεστών, για τον αντίστοιχο κλάδο παραγωγής.
- **Δημόσιες-δημοτικές χρήσεις**
 - Συνήθως αποτελούν μικρό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης και συνυπολογίζονται με τις οικιακές.
- **Πυροσβεστική χρήση**
 - Αποτελεί έκτακτη χρήση, που διαρκεί ορισμένες ώρες και λαμβάνεται υπόψη μόνο στο σχεδιασμό του δικτύου διανομής και της δεξαμενής.
 - Η παροχή εκτιμάται με βάση το πλήθος των κρουνών που λειτουργούν ταυτόχρονα (σε συνήθεις οικισμούς θεωρείται ενεργοποίηση δύο κρουνών).

Εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών

- Ο ετήσιος όγκος νερού V_a εκτιμάται από τη σχέση:

$$V_a = Q_E T_a$$

όπου T_a η διάρκεια μέσα στο έτος στην οποία αφορά η υπόψη χρήση (οικιακή χρήση: 365 ημέρες, θερινή τουριστική χρήση: 180 ημέρες, βιομηχανική-βιοτεχνική χρήση: 250 εργάσιμες ημέρες, μεγάλες βιομηχανίες συνεχούς λειτουργίας: 365 ημέρες).

- Η μέγιστη ημερήσια παροχή Q_H εκτιμάται από τη σχέση:

$$Q_H = \lambda_H Q_E$$

όπου λ_H συντελεστής ανομοιομορφίας, διαφορετικός για κάθε χρήση ($\lambda_H \geq 1$).

- Ο μέγιστος ημερήσιος όγκος V_H υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_H = Q_H T_H$$

όπου T_H η διάρκεια της ημέρας.

- Η μέγιστη ωριαία παροχή Q_Ω εκτιμάται από τη σχέση:

$$Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H$$

όπου λ_Ω συντελεστής ανομοιομορφίας, διαφορετικός για κάθε χρήση ($\lambda_\Omega \geq 1$).

- Αφού ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί ανά χρήση, τα παραπάνω μεγέθη προστίθενται (εφόσον οι χρήσεις εκδηλώνονται **την ίδια χρονική περίοδο**), και προκύπτουν οι αντίστοιχοι όγκοι και παροχές σχεδιασμού.

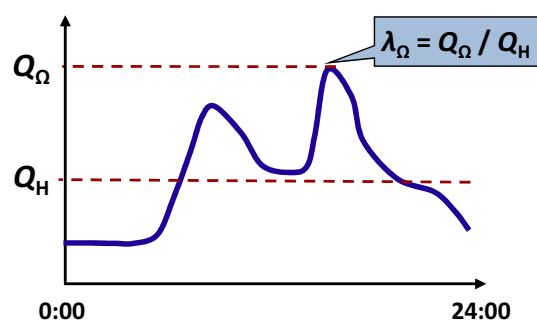
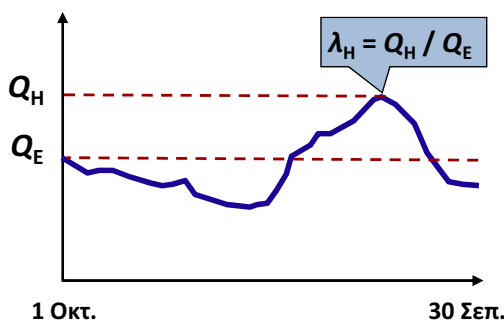
Ερμηνεία και εκτίμηση συντελεστών αιχμής

- Συντελεστής ημερήσιας αιχμής:

- Οικιακή χρήση: $\lambda_H = 1.5$ (αστικά κέντρα), $\lambda_H > 2.0$ (οικισμοί με εποχιακό πληθυσμό), $\lambda_H = 2.0 - 3.0$ (περιοχές με σημαντική ανάπτυξη κήπων)
- Τουριστική-παραθεριστική χρήση: $\lambda_H < 1.5$ (ξενοδοχεία: $\lambda_H \rightarrow 1.1$)
- Βιομηχανική χρήση: $\lambda_H \rightarrow 1.0$

- Συντελεστής ωριαίας αιχμής (σταθερός για όλες τις μέρες του έτους):

- Οικιακή χρήση: $\lambda_\Omega = 1.5 - 2.5$
- Μικροί οικισμοί, με ελάχιστες νυκτερινές καταναλώσεις: $\lambda_\Omega = 3.0$
- Τουριστική-παραθεριστική χρήση: $\lambda_\Omega = 1.5$
- Βιομηχανική χρήση: $\lambda_\Omega = 24 / T_B$ (T_B : ώρες λειτουργίας ανά ημέρα)



Απώλειες νερού στα δίκτυα διανομής

- Στα δίκτυα διανομής σημαντικό ποσοστό νερού, της τάξης του 20-30%, φαίνεται ότι «χάνεται» κατά τη μεταφορά από τις μονάδες επεξεργασίας ως την κατανάλωση (αυτό μπορεί να ξεπερνά το 50% για παλιά και κακά συντηρημένα δίκτυα).
- Οι λογιστικές απώλειες νερού, που αναφέρονται και ως **μη τιμολογημένο νερό** (unaccounted-for water), διακρίνονται σε φυσικές και πλασματικές.
- Οι **φυσικές απώλειες** οφείλονται σε διαρροές στις δεξαμενές, τις συνδέσεις των αγωγών (ιδιαίτερα στις οικιακές συνδέσεις) και στις θέσεις των ειδικών συσκευών. Σημαντικός παράγοντας είναι οι θραύσεις αγωγών λόγω καταπόνησης από φορτία οχημάτων, έντονες διακυμάνσεις της πίεσης, υδραυλικά πλήγματα, παγετό, κτλ.
- Οι **πλασματικές απώλειες** αναφέρονται στο νερό που καταναλώνεται χωρίς να τιμολογηθεί λόγω πλημμελούς καταμέτρησης, σφαλμάτων μετρητών και παράνομων συνδέσεων. Περιλαμβάνουν ακόμη τη δωρεάν παροχή νερού σε δήμους και κοινωφελείς οργανισμούς, καθώς και τις ποσότητες που καταναλώνονται για καθαρισμό των δεξαμενών και του δικτύου, για κατάσβεση πυρκαγιών, κτλ.
- Φυσικές απώλειες της τάξης του 15% θεωρούνται αποδεκτές, ενώ μείωσή τους κάτω από 10% καθίσταται δυσανάλογα δαπανηρή σε έρευνα και επισκευές.
- Στα εξωτερικά υδραγωγεία, οι φυσικές απώλειες κυμαίνονται στα επίπεδα του 10%.

Στον σχεδιασμό, τα αθροιστικά μεγέθη των παροχών Q_H και Q_D προσαυξάνονται με βάση το αναμενόμενο ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού.

Σύνοψη μεθοδολογικού πλαισίου εκτίμησης αστικών υδρευτικών καταναλώσεων

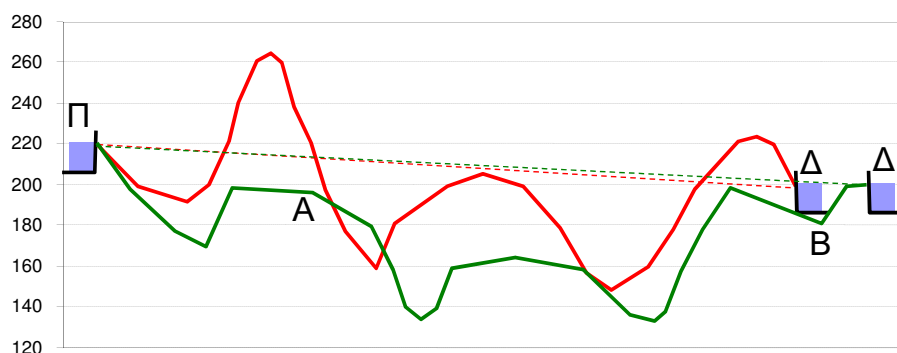
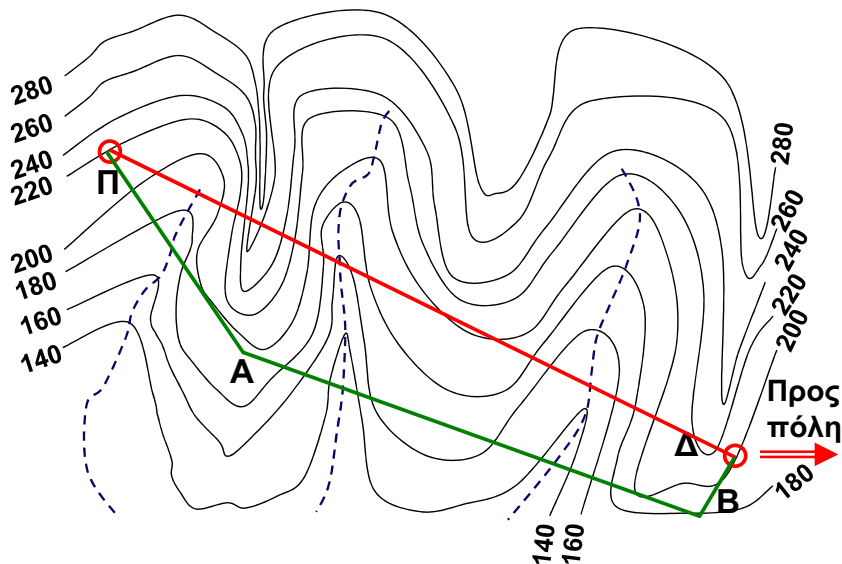
- Αναζήτηση πολεοδομικών στοιχείων, αναπτυξιακών δεδομένων και πρόσφατων απογραφών πληθυσμού περιοχής μελέτης.
- Καθορισμός χρήσεων νερού και εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών:
 - ειδική κατανάλωση
 - συντελεστές ανομοιομορφίας
- Εκτίμηση χαρακτηριστικών παροχών ανά χρήση:
 - μέση ημερήσια
 - μέγιστη ημερήσια
 - μέγιστη ωριαία
- Συνάθροιση μεγεθών για την εκτίμηση:
 - της **ετήσιας και μηνιαίας ζήτησης** νερού της περιοχής μελέτης (σχεδιασμός έργων σύλληψης και αξιοποίησης υδατικών πόρων – κατάρτιση προγραμμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων)
 - της **μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης** (διαστασιολόγηση υδροληπτικών έργων, έργων εξωτερικού υδραγωγείου και δεξαμενής)
 - της **μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης**, σε συνθήκες κανονικής και έκτακτης λειτουργίας του δικτύου διανομής (διαστασιολόγηση δικτύου διανομής και λοιπών συνιστωσών εσωτερικού υδραγωγείου)

Κεφάλαιο 8: Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης

Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Χάραξη σε οριζοντιογραφία

Ερώτηση: Ποια από τις χαράξεις ΠΔ (ευθεία) ή ΠΑΒΔ (τεθλασμένη) είναι προσφορότερη; (Π: πηγή, Δ: δεξαμενή πόλης)

Απάντηση: Η ΠΔ παρουσιάζει πρόβλημα στην περιοχή των μεγάλων υψομέτρων (+260 > +220 m) αλλά και στο ύψωμα κοντά στο Δ. Η ΠΑΒΔ δεν έχει προβλήματα.

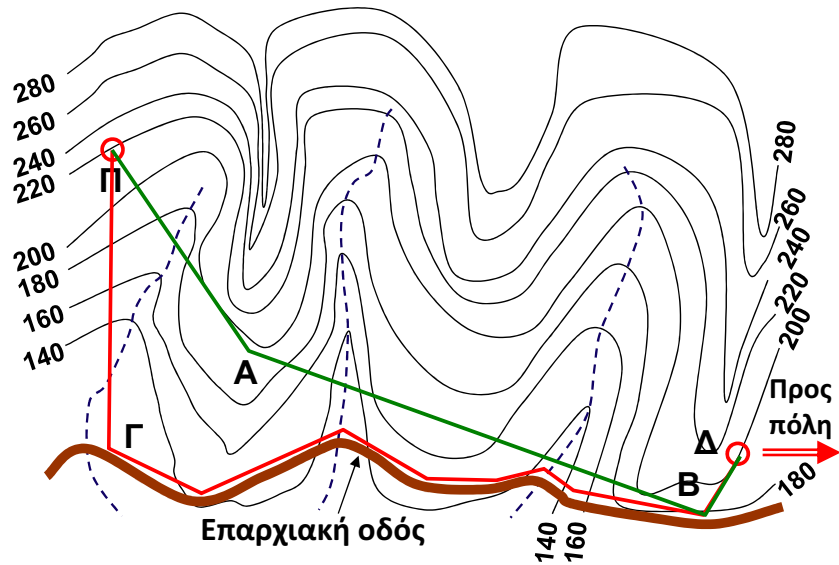


Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Χάραξη σε οριζοντιογραφία (2)

Ερώτηση: Ποια από τις χαράξεις ΠΑΒΔ ή ΠΓΒΔ είναι προσφορότερη;

Απάντηση: Και οι δύο χαράξεις είναι τεχνικά άρτιες.

Υψομετρικά καμιά δεν εμφανίζει πρόβλημα υψηλών υψομέτρων. Η ΠΓΒΔ έχει μεγαλύτερο μήκος και παρουσιάζει μικρή αύξηση στη μέγιστη πίεση.



Όμως το γεγονός ότι βρίσκεται δίπλα (ή πάνω) σε υφιστάμενη επαρχιακή οδό είναι πιθανόν να καθιστά την ΠΓΒΔ οικονομικότερη (ευχερέστερη, άρα φτηνότερη, κατασκευή και αποφυγή απαλλοτρίωσης ή δουλείας) καθώς και λειτουργικότερη (ευχερέστερη εποπτεία και συντήρηση).

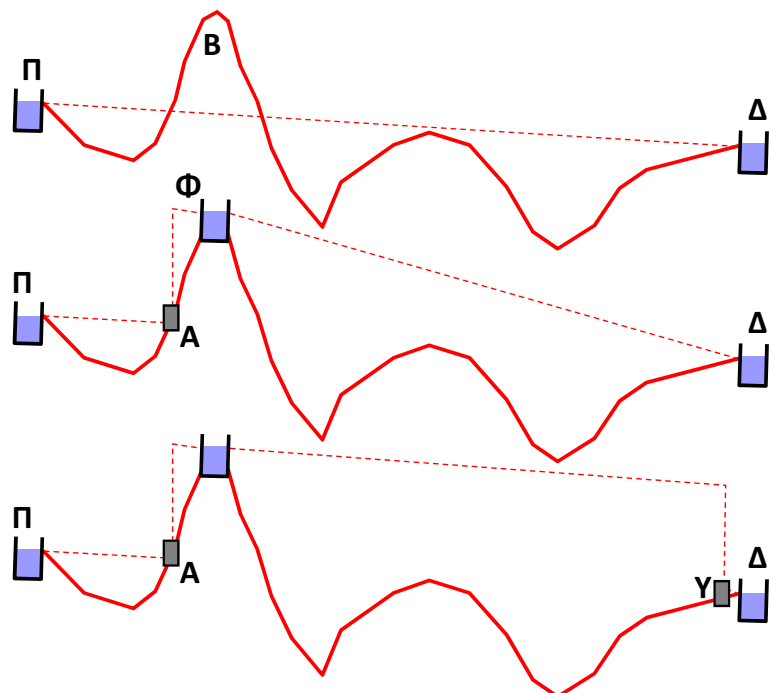
Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Αντιμετώπιση προβλημάτων σε μηκοτομή

Ερώτηση: Πως θα αντιμετωπιστεί το εμπόδιο του ορεινού όγκου Β, αν η τοπογραφία δεν επιτρέπει την παράκαμψή του;

Λύση 1: Αγωγός βαρύτητας ΠΑ, αντλιοστάσιο Α, καταθλιπτικός αγωγός ΑΦ, φρεάτιο Φ (για έλεγχο της στάθμης και περιορισμό του υδραυλικού πλήγματος), αγωγός βαρύτητας ΦΔ

Λύση 2 (για σχετικά μεγάλη παροχή): Όπως Λύση 1, αλλά και με την κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου Υ για ανάκτηση (μερική ή πλήρη) της ενέργειας άντλησης.

Σημείωση: Για πολύ μεγάλη παροχή (π.χ. $10 \text{ m}^3/\text{s}$ – άρα μεγάλη διάμετρο υδραγωγείου) έχει νόημα και η κατασκευή σήραγγας στον ορεινό όγκο (χωρίς άντληση).

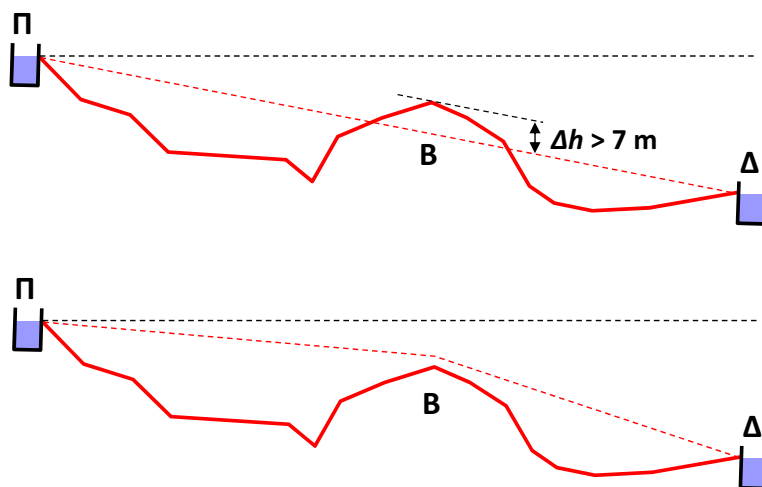


Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Αντιμετώπιση προβλημάτων σε μηκοτομή (2)

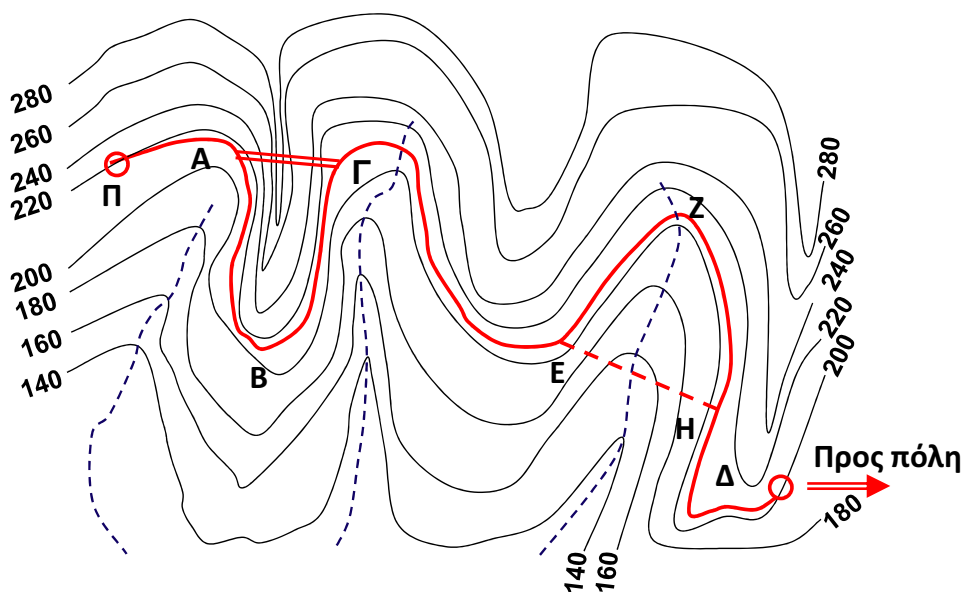
Ερώτηση: Πως θα αντιμετωπιστεί το εμπόδιο της προεξοχής Β του εδάφους πάνω από την πιεζομετρική γραμμή, το μέγεθος της οποίας υπερβαίνει το μέγιστο ύψος σίφωνα (πρακτικώς 7 m) αλλά χωρίς να ξεπερνά τη στάθμη της ανάντη δεξαμενής Π;

Απάντηση: Χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές διαμέτρους, μεγαλύτερη για το τμήμα ΠΒ και μικρότερη για το τμήμα ΒΔ, οπότε ανυψώνουμε την πιεζομετρική γραμμή στο Β.

Σημείωση: Συχνά προβλέπεται η κατασκευή φρεατίου με ελεύθερη επιφάνεια στο Β αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο.



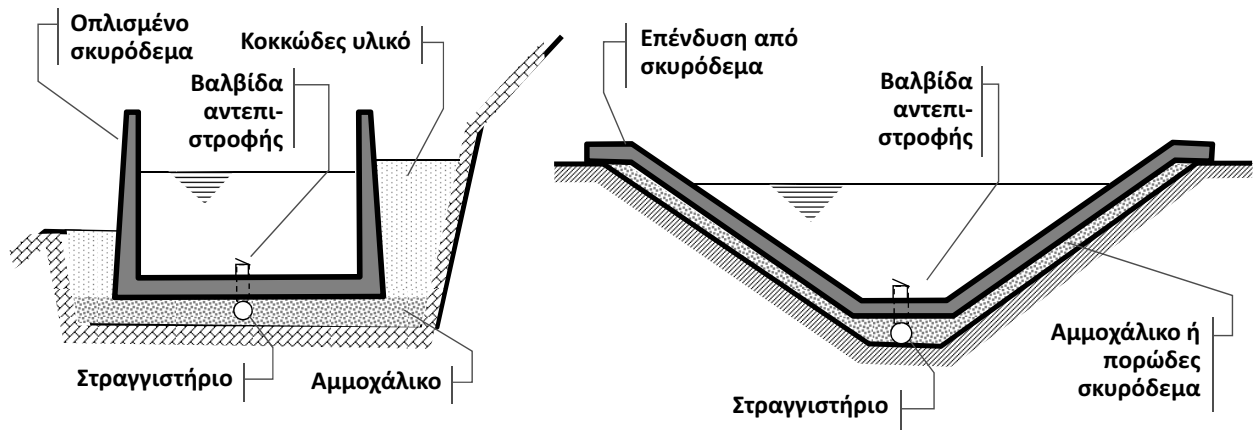
Εξωτερικά υδραγωγεία με ελεύθερη επιφάνεια: Εναλλακτικές χαράξεις



Ερώτηση: Ποια από τις χαράξεις ΠΑΒΓΕΖΗΔ (αποκλειστικά διώρυγα), ΠΑΓΕΖΗΔ (με τη σήραγγα ΑΓ), ΠΑΒΓΕΗΔ (με το σίφωνα ΕΗ) ή ΠΑΓΕΗΔ (με τη σήραγγα και το σίφωνα) είναι προτιμότερη;

Απάντηση: Όλες είναι τεχνικά άρτιες. Η καλύτερη θα επιλεγεί με οικονομικά κριτήρια.

Εξωτερικά υδραγωγεία με ελεύθερη επιφάνεια: Τυπικές διατομές

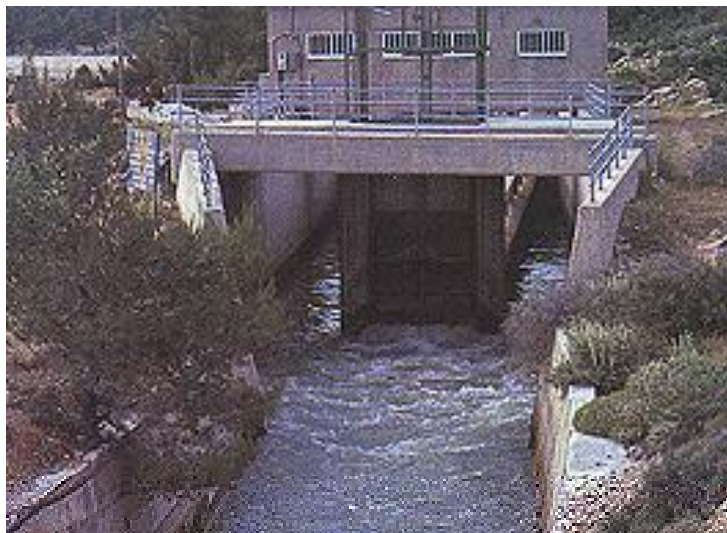


Ορθογωνική διατομή

- ❑ Μικρό πλάτος κατάληψης
- ❑ Οπλισμένα τοιχώματα και πυθμένες
- ❑ Κατάλληλη για βραχώδη εδάφη (ορεινές περιοχές)

Τραπεζοειδής διατομή

- ❑ Μεγάλο πλάτος κατάληψης
- ❑ Άοπλη ή ελαφρά οπλισμένη (με πλέγμα) επένδυση
- ❑ Κατάλληλη για γαιώδη εδάφη (πεδινές περιοχές)



Εξωτερικά υδραγωγεία με ελεύθερη επιφάνεια: Δυναμική ρύθμιση

Υδραγωγείο Μόρνου:
Κατασκευές ελέγχου ροής
(ρυθμιστές Λ)

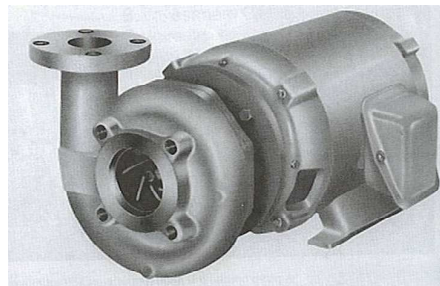
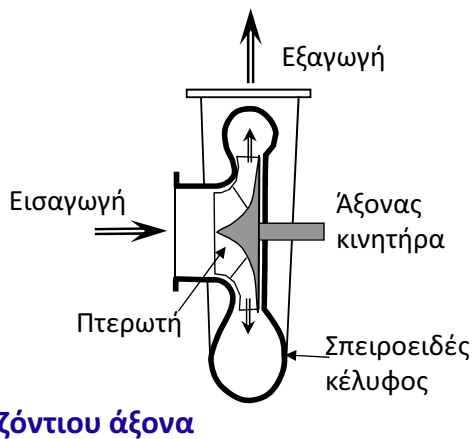
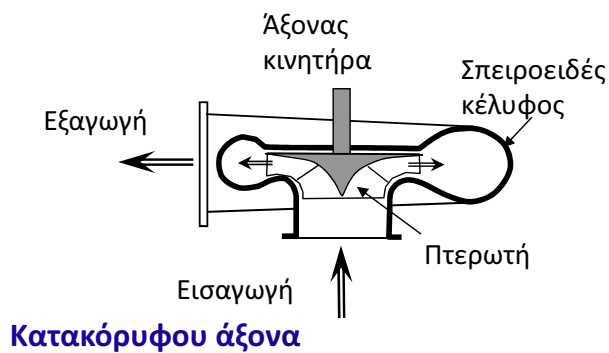


Κέντρο
ελέγχου
υδραγωγείου
Μόρνου

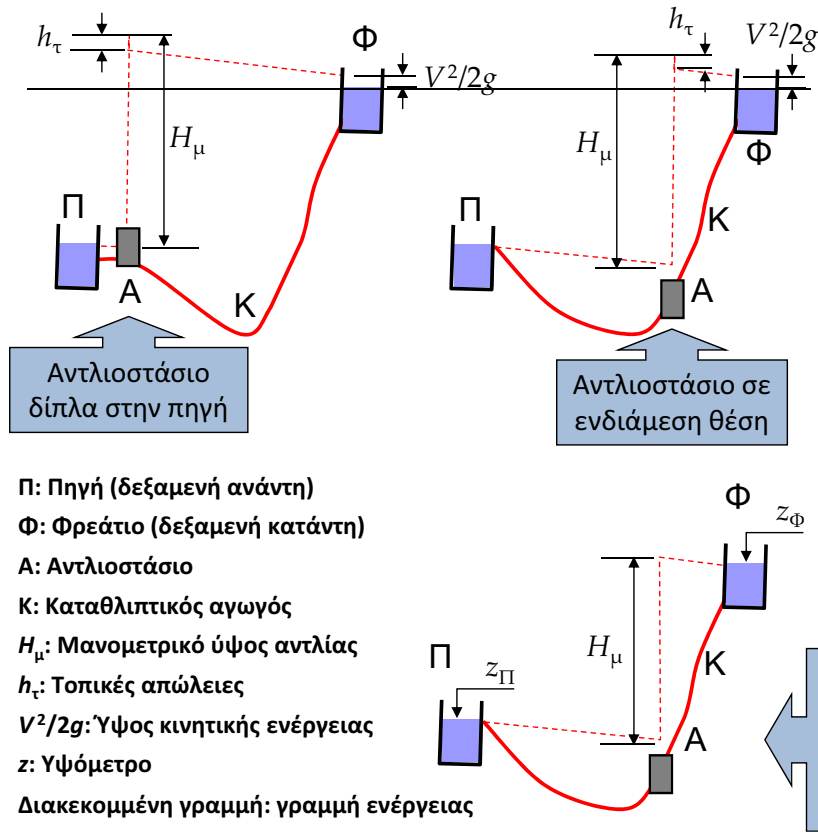


Κεφάλαιο 9: Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια

Τυπικές φυγοκεντρικές αντλίες



Μανομετρικό ύψος αντλίας



Το μανομετρικό ύψος είναι η διαφορά υψομέτρων της γραμμής ενέργειας ανάντη και κατόντη. Από το σχήμα προκύπτει:

$$H_{\mu} = z_{\Phi} - z_{\Pi} + \Sigma h_f + \Sigma h_{\tau}$$

(όπου και το $V^2/2g$ έχει θεωρηθεί ως τοπική απώλεια στην είσοδο του φρεατίου).

Στο απλουστευμένο σχήμα:

$$H_{\mu} = z_{\Phi} - z_{\Pi} + \Sigma h_f = z_{\Phi} - z_{\Pi} + J L$$

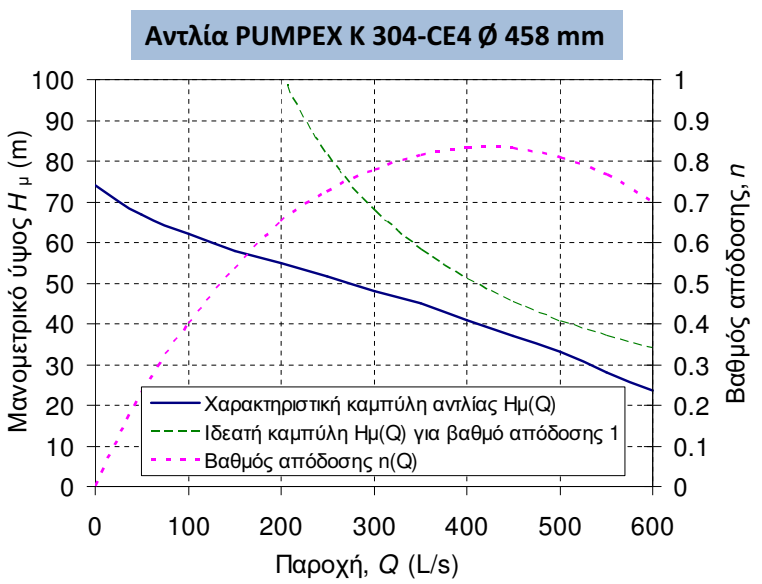
όπου J η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής και L το συνολικό μήκος του αγωγού.

Απλουστευμένη υδραυλική, θεωρώντας ότι η γραμμή ενέργειας ταυτίζεται με την πιεζομετρική γραμμή και οι τοπικές απώλειες έχουν ενσωματωθεί στις γραμμικές

- Π: Πηγή (δεξαμενή ανάντη)
- Φ: Φρεάτιο (δεξαμενή κατόντη)
- A: Αντλιοστάσιο
- K: Καταθλιπτικός αγωγός
- H_{μ} : Μανομετρικό ύψος αντλίας
- h_{τ} : Τοπικές απώλειες
- $V^2/2g$: Ύψος κινητικής ενέργειας
- z: Υψόμετρο
- Διακεκομμένη γραμμή: γραμμή ενέργειας

Ισχύς και ενέργεια αντλίας

- ❑ Μηχανική ισχύς: $P_{\mu} = \rho g Q H_{\mu}$ (για παροχή Q και μανομετρικό ύψος H_{μ})
- ❑ Παραγόμενο μηχανικό έργο: $W = \rho g V H_{\mu}$ (για συνολικό όγκο V)
- ❑ Ολική ισχύς της αντλίας: $P = \rho g Q H_{\mu} / n$ (για βαθμό απόδοσης n)
- ❑ Ενέργεια που καταναλώνεται: $E = \rho g V H_{\mu} / n$
- ❑ Μια συγκεκριμένη αντλία έχει δεδομένη ισχύ κινητήρα P_0 (στο παράδειγμα 200 kW)
- ❑ Στην ιδεατή περίπτωση μηδενικών απωλειών ($n = 1$) θα μπορούσε να ανυψώσει οποιαδήποτε παροχή Q σε ύψος $H_{\mu} = P_0 / (\rho g Q)$.
- ❑ Στην πράξη το ύψος είναι μικρότερο και δίνεται από καμπύλη του κατασκευαστή
- ❑ Ο συντελεστής απόδοσης n και η αποδιδόμενη ισχύς P μεταβάλλονται με την παροχή.



Σημείο λειτουργίας αντλίας

- Για δεδομένο τύπο αντλίας είναι δεδομένη από τον κατασκευαστή η χαρακτηριστική καμπύλη $H_{\mu} = f(Q)$.
- Για δεδομένο σύστημα αντλιοστασίου-καταθλιπτικού αγωγού μπορεί να προσδιοριστεί με υδραυλικούς υπολογισμούς μια άλλη σχέση $H_{\mu} = \varphi(Q)$.
- Συγκεκριμένα ισχύει:

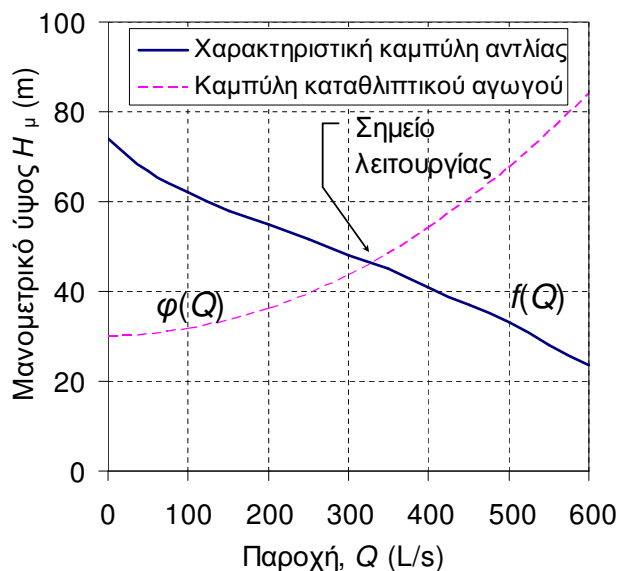
$$H_{\mu} = \varphi(Q) = \Delta z + J L$$

όπου $\Delta z = z_{\phi} - z_{\pi}$, J η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής και L το συνολικό μήκος του αγωγού.

- Υπενθυμίζεται ότι η κλίση J δίνεται από την ακόλουθη σχέση (γενικευμένος τύπος Manning):

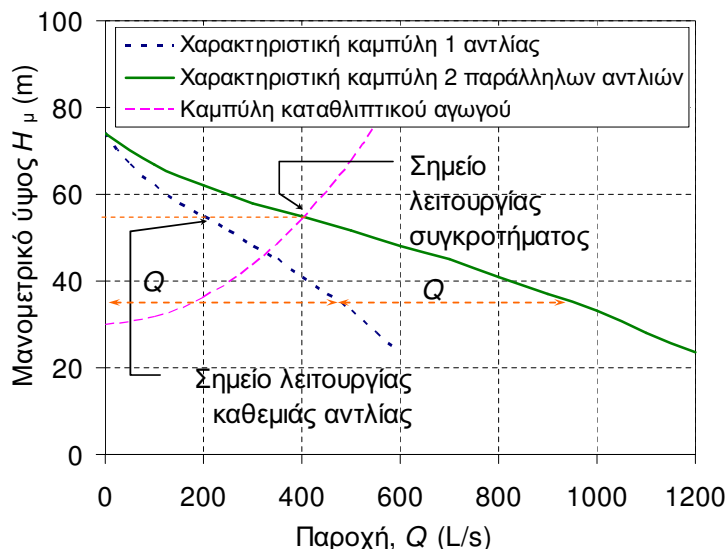
$$J = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 D^{5+\beta}} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}}$$

- Τελικά, το (μοναδικό) σημείο (Q, H_{μ}) στο οποίο θα λειτουργήσει η αντλία στο δεδομένο σύστημα αντλιοστασίου-καταθλιπτικού αγωγού δίνεται από τη σχέση $f(Q) = \varphi(Q)$.



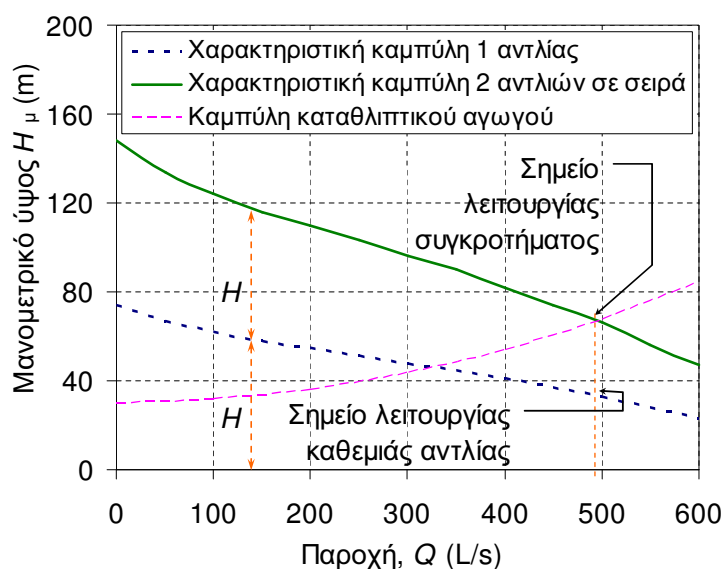
Αντλίες σε παράλληλη διάταξη

- Η παροχή σε ένα υδρευτικό αντλιοστάσιο δεν είναι σταθερή σε όλη τη περίοδο λειτουργίας του έργου. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερη η τοποθέτηση περισσότερων από μιας αντλιών σε παράλληλη διάταξη.
- Στην ίδια λύση συνηγορούν και λόγοι ασφάλειας, αξιοπιστίας και λειτουργικότητας: π.χ. τοποθέτηση δύο αντλιών και μιας όμοιας εφεδρικής αντί μιας μοναδικής.
- Οι αντλίες σε παράλληλη διάταξη έχουν το ίδιο μανομετρικό ύψος ενώ οι παροχές τους προστίθενται.
- Ωστόσο, αυτό το μανομετρικό ύψος είναι διαφορετικό από εκείνο στο οποίο λειτουργεί μία μοναδική αντλία.
- Το νέο σημείο λειτουργίας (Q, H_{μ}) του συγκροτήματος των αντλιών καθώς και το σημείο λειτουργίας (Q', H_{μ}') καθεμιάς από τις αντλίες του συγκροτήματος βρίσκεται όπως στο διπλανό παράδειγμα (για δύο αντλίες).



Αντλίες με διάταξη σε σειρά

- Για μεγάλα μανομετρικά ύψη ο βαθμός απόδοσης μικραίνει σημαντικά, οπότε είναι προτιμότερη η χρήση δύο ή περισσότερων αντλιών σε σειρά αντί μιας μοναδικής αντλίας.
- Οι αντλίες σε σειρά έχουν την ίδια παροχή ενώ τα μανομετρικά ύψη τους προστίθενται.
- Ωστόσο, αυτή η παροχή είναι διαφορετική από εκείνη στην οποία λειτουργεί μία μοναδική αντλία.
- Το νέο σημείο λειτουργίας (Q, H_{μ}) του συγκροτήματος των αντλιών καθώς και το σημείο λειτουργίας (Q, H_{μ}') καθεμιάς από τις αντλίες του συγκροτήματος βρίσκεται όπως στο διπλανό παράδειγμα (για δύο όμοιες αντλίες)



Σχεδιασμός αντλιοστασίου και καταθλιπτικού αγωγού

- Ο σχεδιασμός του αντλιοστασίου και του καταθλιπτικού αγωγού αντιμετωπίζεται ως ενιαίο πρόβλημα και όχι ως δύο μεμονωμένα προβλήματα
- Δεν υπάρχει μια μοναδική τεχνική λύση στο πρόβλημα. Από τις πολυάριθμες εφικτές τεχνικές λύσεις επιλέγεται η οικονομικότερη.
- Το συνολικό κόστος, το οποίο και ελαχιστοποιείται, περιλαμβάνει τρεις κύριες συνιστώσες:
 - (K_1) το αρχικό κόστος για την προμήθεια και εγκατάσταση του καταθλιπτικού αγωγού,
 - (K_2) το αρχικό κόστος για την προμήθεια και εγκατάσταση του αντλητικού συγκροτήματος και το ενδιάμεσο κόστος για την αντικατάσταση των αντλιών,
 - (K_3) το καταναμεμημένο στο χρόνο κόστος ενέργειας.
- Τα K_1 και K_2 είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους, καθώς και τα K_1 και K_3 .
- Όλες οι συνιστώσες κόστους πρέπει να αναχθούν σε ετήσια βάση προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό κόστος (βλ. Παράρτημα 3 και Κεφάλαιο 15).
- Πριν οποιοδήποτε υπολογισμό θα πρέπει να εκπονηθεί μια γενική διάταξη των έργων, να επιλεγεί το υλικό του αγωγού και να υιοθετηθεί το γενικό σχήμα του συγκροτήματος (πόσες αντλίες σε παράλληλη διάταξη ή/και σε σειρά).

Παράρτημα 1: Παρατηρήσεις για την επιλογή αντλιών

- Γενικός στόχος είναι να πετύχουμε τον υψηλότερο δυνατό βαθμό απόδοσης n για να αποφύγουμε σπατάλη ενέργειας.
- Για πολύ μεγάλες παροχές έχουν επιτευχθεί συντελεστές απόδοσης αντλιών (καθώς και στροβίλων και αντλιοστροβίλων) πολύ υψηλοί, που φτάνουν το 0.95. Όμως για παροχές σε τυπικά αστικά δίκτυα οι συντελεστές απόδοσης είναι αρκετά χαμηλότεροι.
- Αφού καθορίσουμε την παροχή της αντλίας, ανάλογα με το σχήμα του συγκροτήματος (π.χ. $Q = Q_{ολ}/2$ για δύο παράλληλες αντλίες) μπορούμε να εκτιμήσουμε μια πρώτη προσεγγιστική τιμή του n , τεχνολογικά εφικτή, από την εμπειρική σχέση

$$n = n_{\infty} - \frac{1}{\sqrt[3]{1/n_{\infty}^3 + Q/\lambda}} \quad \text{όπου } n_{\infty} = 0.95 \text{ και } \lambda = 0.14 \text{ L/s}$$

- Αφού ολοκληρώσουμε το σχεδιασμό του αντλιοστασίου, μετά από οικονομική βελτιστοποίηση βασισμένη στην παραπάνω τιμή του n θα συνεχίσουμε με λεπτομερέστερους υπολογισμούς προκειμένου να επιλέξουμε τον κατάλληλο τύπο αντλίας.
- Για την επιλογή αντλίας, υπάρχουν χρήσιμα εργαλεία και βάσεις δεδομένων στο διαδίκτυο (π.χ. <http://impeller.net/spaix.asp?LGG=en>)
- Αφού επιλέξουμε την αντλία, θα χρησιμοποιήσουμε τις καμπύλες του κατασκευαστή προκειμένου να εκτιμήσουμε: (α) το σημείο λειτουργίας του συγκροτήματος και της κάθε αντλίας, και (β) τον τελικό συντελεστή απόδοσης, την ισχύ και την ενέργεια.

Παράρτημα 2: Παρατηρήσεις για προκαταρκτική εκτίμηση της χαρακτηριστικής καμπύλης της αντλίας

- Σε προκαταρκτικούς υπολογισμούς που δεν έχουμε ακόμη επιλέξει συγκεκριμένο τύπο αντλίας και επομένως δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη της, μπορούμε προσεγγιστικά να εργαστούμε με τον ακόλουθο τρόπο.
- Θεωρούμε ότι κοντά στο επιθυμητό σημείο λειτουργίας ($H_{\mu,\lambda}, Q_{\lambda}$) η κλίση της εξίσωσης $H_{\mu} = f(Q)$ είναι ίδια με αυτή της θεωρητικής καμπύλης, δηλαδή:

$$H_{\mu} = P_0 / (\rho g Q).$$

- Η τελευταία είναι:

$$(dH_{\mu}/dQ)_{\lambda} = -P_0 / (\rho g Q_{\lambda}^2) = -H_{\mu,\lambda} / Q_{\lambda}.$$

- Προσεγγίζουμε την $H_{\mu} = f(Q)$ με μια γραμμική εξίσωση με την παραπάνω κλίση.
- Απλοί υπολογισμοί οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ζητούμενη προσέγγιση είναι:

$$H_{\mu} = 2H_{\mu,\lambda} - (H_{\mu,\lambda} / Q_{\lambda}) Q.$$

Παράρτημα 3: Παρατηρήσεις την οικονομική ανάλυση

- Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής για τα έργα Πολιτικού Μηχανικού του αντλιοστασίου και του καταθλιπτικού αγωγού γενικά λαμβάνεται 40-50 χρόνια.
- Η αντίστοιχη διάρκεια για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (αντλίες και κινητήρες τους) είναι 20-25 χρόνια.
- Ο χρόνος απόσβεσης n του όλου συστήματος λαμβάνεται ίσος με τη διάρκεια των έργων Πολιτικού Μηχανικού.
- Η αναγωγή του αρχικού κόστους των έργων πολιτικού μηχανικού K_1 ($\equiv P$) σε ετήσια δαπάνη k_1 ($\equiv A$) γίνεται με βάση το συντελεστή απόσβεσης κεφαλαίου:

$$\frac{A}{P} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

όπου i το επιτόκιο (αποπληθωρισμένο, 4-8%) και n χρόνος απόσβεσης (π.χ. 50).

- Στη διάρκεια του χρόνου απόσβεσης θα πρέπει να γίνει μία τουλάχιστον αντικατάσταση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
- Το αντίστοιχο κόστος θα πρέπει κατ' αρχάς να αναχθεί σε αρχικό κόστος. Αν F είναι το κόστος του εξοπλισμού σε σημερινές τιμές, τότε το ισοδύναμο αρχικό κόστος P προσδιορίζεται από τον τύπο του ανατοκισμού:

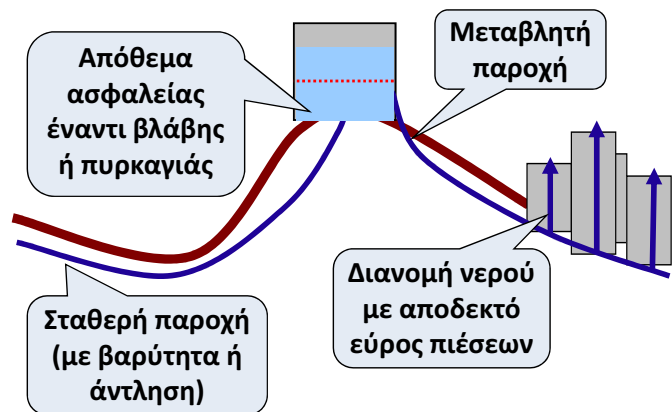
$$\frac{P}{F} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

- Το ολικό κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είναι ίσο με F (αρχική εγκατάσταση) προσαυξημένο κατά P (για μία αντικατάσταση). Αυτό θα πρέπει και πάλι να αναχθεί σε ετήσια βάση σύμφωνα με τα παραπάνω.

Κεφάλαιο 10: Δεξαμενές

Υδραυλικός σχεδιασμός δεξαμενών

- Τα μεγέθη του **υδραυλικού σχεδιασμού** είναι η κατώτατη (ή ανώτατη) στάθμη λειτουργίας, η ωφέλιμη χωρητικότητα και το ωφέλιμο ύψος, με βάση τα οποία προκύπτουν οι διαστάσεις της κάτοψης.
- Η **κατώτατη και ανώτατη στάθμη** προκύπτουν με βάση την τοπογραφία της περιοχής και τους περιορισμούς ελάχιστης και μέγιστης πίεσης στο δίκτυο.
- Η επιλογή του **ωφέλιμου ύψους** (συνήθως κυμαίνεται από 3.0 έως 6.0 m) γίνεται με κριτήρια χωροταξικά (μέγεθος οικοπέδου, όροι δόμησης) και στατικά (όσο αυξάνει το ύψος των τοιχίων, τόσο μεγαλύτερο το αναγκαίο πάχος και οπλισμός).
- Η **ωφέλιμη χωρητικότητα** περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:
 - όγκος ρύθμισης (για εξισορρόπηση της χρονικής ανισοκατανομής μεταξύ των εισροών από το εξωτερικό υδραγωγείο και των εκροών προς το δίκτυο)
 - όγκος ασφαλείας (απόθεμα που διατηρείται σε μόνιμη βάση, είτε για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιάς).

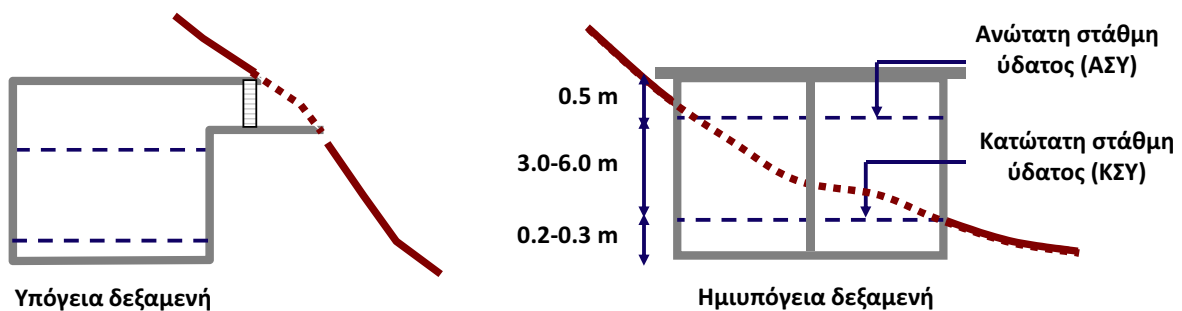


Γενικές αρχές δεξαμενής ρύθμισης

- Η δεξαμενή τοποθετείται όσο το δυνατόν εγγύτερα στον οικισμό, κατόπιν της μονάδας επεξεργασίας, και σε κατάλληλο υψόμετρο.
- Η θέση της επηρεάζει το σχεδιασμό του συνόλου των υδρευτικών έργων (εσωτερικού και εξωτερικού υδραγωγείου).
- Επειδή λειτουργεί ως έργο ημερήσιας ρύθμισης, η διαστασιολόγησή της βασίζεται στις συνθήκες της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού.
- Με την επιλογή κατάλληλης χωρητικότητας:
 - Εξισορροπείται η διακύμανση ανάμεσα στην σταθερή εισροή νερού από τον αγωγό τροφοδοσίας (ακριβέστερα, τη μονάδα επεξεργασίας), και την χρονικά κυμαινόμενη, ανάλογα με τις απαιτήσεις της ζήτησης μέσα στο 24ωρο, εκροή.
 - Διατηρείται εφεδρικό απόθεμα για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου και πυρκαγιάς εντός του οικισμού.
 - Εξασφαλίζεται αυτοτέλεια των κατόπιν από τα ανάντη έργα, που επιδιώκεται για λόγους ασφαλείας (στην περίπτωση βλάβης διάρκειας ορισμένων ωρών) και οικονομικότητας.
- Με την επιλογή κατάλληλης κατώτατης και ανώτατης στάθμης λειτουργίας:
 - Εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα ανάντη έργα) η τεχνικά και οικονομικά πιο πρόσφορη διάταξη και λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου.
 - Εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα κατόπιν έργα) το επιθυμητό εύρος διακύμανσης των πιέσεων στο δίκτυο διανομής.

Επίγειες και υπόγειες δεξαμενές

- ❑ Είναι ο τύπος που εφαρμόζεται συνηθέστερα και είναι ο πλέον οικονομικός.
- ❑ Η κατασκευή είναι από σκυρόδεμα, για μεγάλη χωρητικότητα ($> 2000 \text{ m}^3$) με ορθογωνική κάτοψη, ενώ για μικρή με ορθογωνική ή κυκλική.
- ❑ Διαμορφώνονται δύο τουλάχιστον ίσοι θάλαμοι, ώστε να είναι δυνατή η συντήρηση και ο καθαρισμός τους, χωρίς διακοπή της υδροδότησης.
- ❑ Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη στεγανότητα της κατασκευής και την τοποθέτηση αρμών διαστολής μεταξύ των θαλάμων.
- ❑ Αν η δεξαμενή τοποθετηθεί υπόγεια, απαιτείται υψηλή συνοχή του εδάφους (διαφορετικά η κατασκευή καθίσταται αντιοικονομική).
- ❑ Στον πυθμένα δίνεται ρύση με κλίση έως 8%, για έκπλυση των φερτών.
- ❑ Από τον πυθμένα αφήνεται ένα ελεύθερο περιθώριο 0.20-0.30 m, ενώ μεταξύ της ανώτατης στάθμης και της οροφής, αφήνεται ένα περιθώριο περί τα 0.50 m.

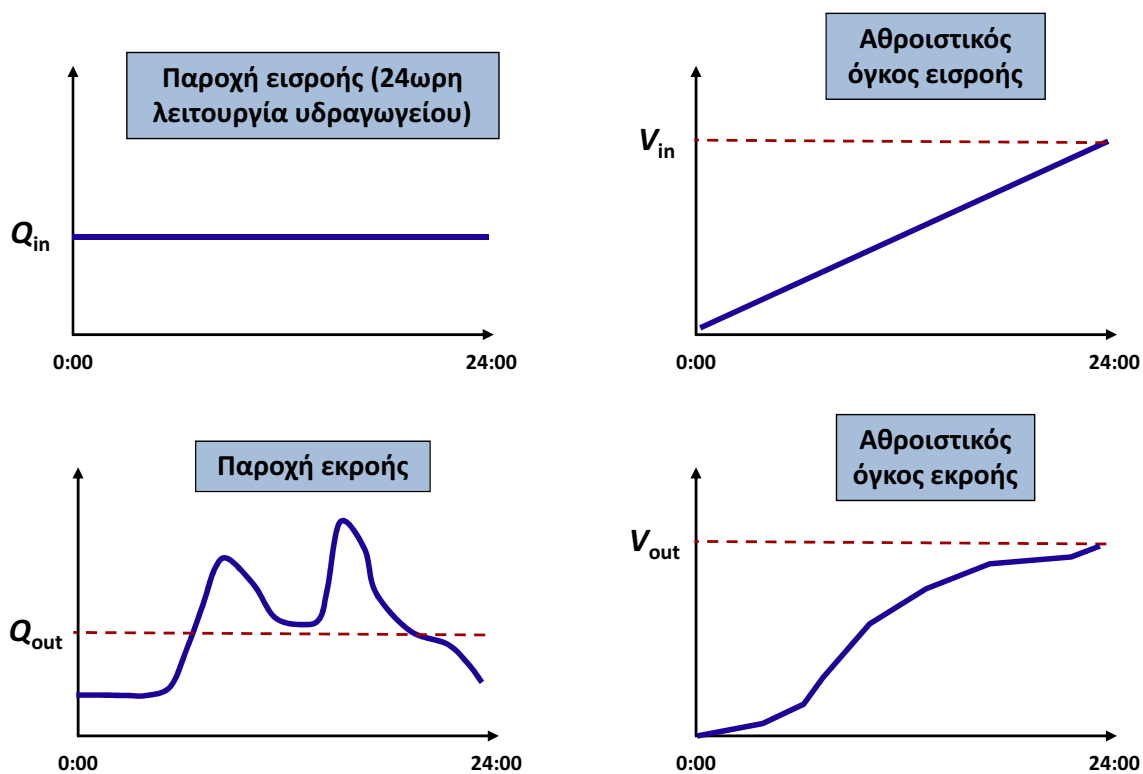


Υδατόπυργοι

- ❑ Επιλέγονται για την τροφοδοσία οικισμών που αναπτύσσονται σε περιοχές με πολύ χαμηλές κλίσεις και συνδυάζονται με τη λειτουργία αντλιοστασίων.
- ❑ Πρόκειται για δαπανηρές (σε σχέση με τις επίγειες δεξαμενές) κατασκευές, αποτελούμενες από μια υπέργεια υδαταποθήκη μικρής, σχετικά, χωρητικότητας ($\sim 1500 \text{ m}^3$), η οποία στηρίζεται σε υποστυλώματα.
- ❑ Επειδή το ύψος των υποστυλωμάτων είναι αναγκαστικά μικρό, η πίεση που εξασφαλίζουν είναι σχετικά χαμηλή.
- ❑ Οι σφαιρικοί υδατόπυργοι είναι πάντοτε μεταλλικοί, ενώ οι κυλινδρικής κάτοψης κατασκευάζονται και από σκυρόδεμα.
- ❑ Οι σύγχρονες κατασκευές μορφώνονται με κυλινδρικές βάσεις αντί για υποστυλώματα.



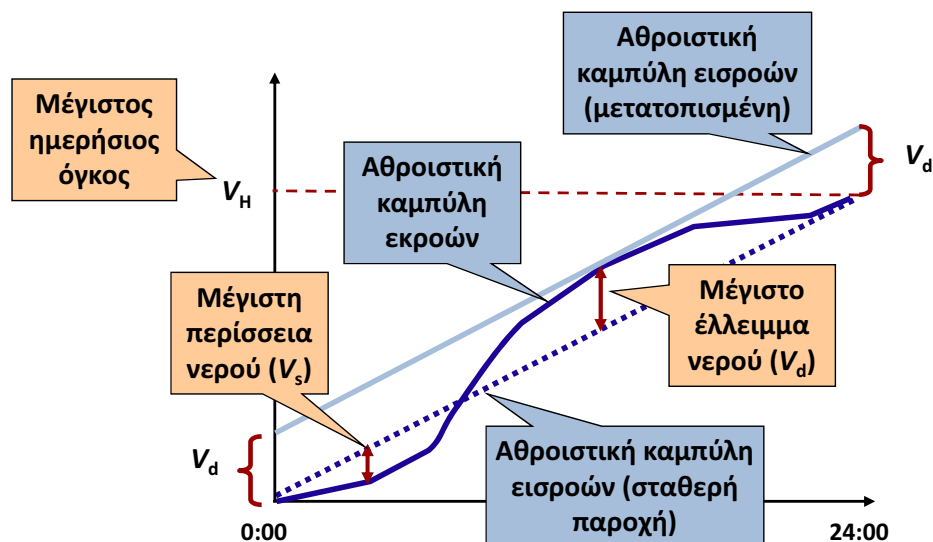
Τυπικά διαγράμματα εισρών-εκροών



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Δεξαμενές

111

Εκτίμηση ρυθμιστικού όγκου δεξαμενής

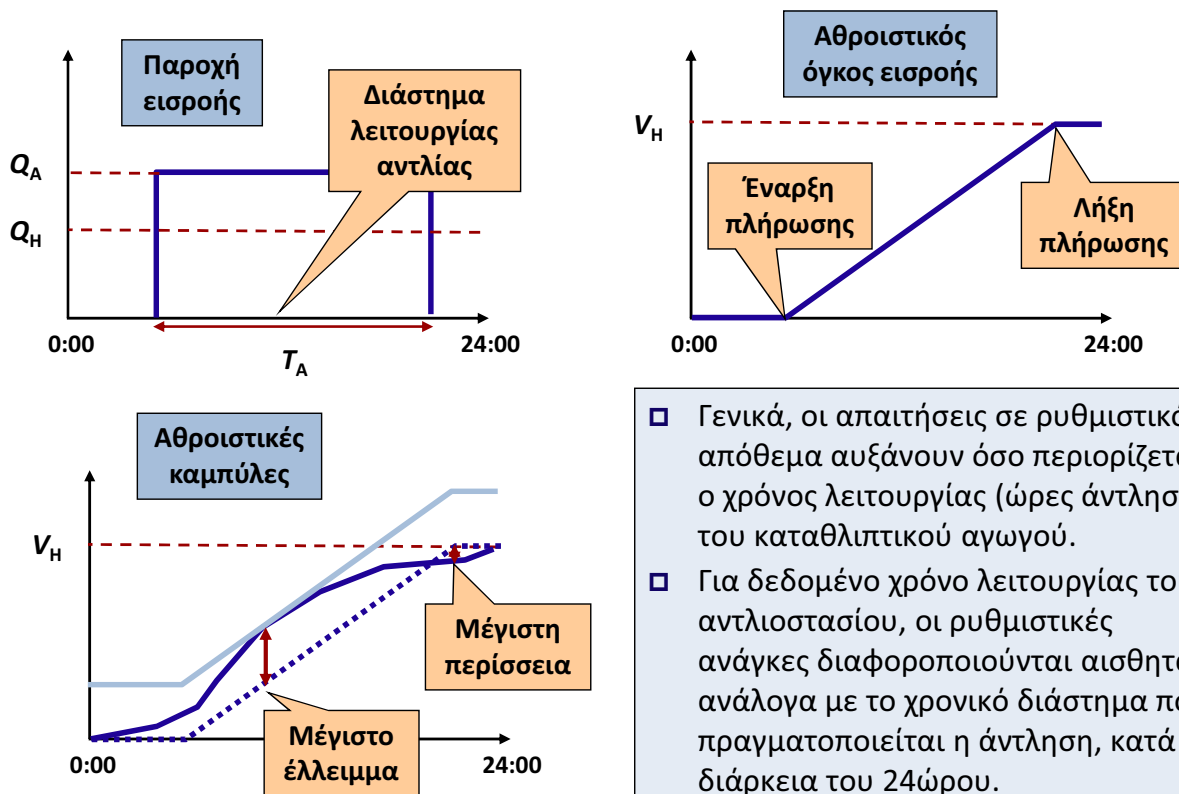


- Ρυθμιστικός όγκος = μέγιστη περίσσεια (V_s) + μέγιστο έλλειμμα (V_d)
- Εξ ορισμού, ο ρυθμιστικός όγκος αποτελεί ποσοστό του μέγιστου ημερήσιου όγκου κατανάλωσης, δηλαδή $V_p = \alpha V_H$
- Αν δεν υπάρχουν δεδομένα εισρών-εκροών, λαμβάνεται $\alpha = 30-50\%$ για μεσαίους και μικρούς οικισμούς και $\alpha = 25\%$ για πόλεις (με την υπόθεση ότι η συνολική κατανάλωση του 12ώρου της ημέρας είναι τριπλάσια του 12ώρου της νυκτερινής).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Δεξαμενές

112

Τροφοδοσία από καταθλιπτικό αγωγό



- Γενικά, οι απαιτήσεις σε ρυθμιστικό απόθεμα αυξάνουν όσο περιορίζεται ο χρόνος λειτουργίας (ώρες άντλησης) του καταθλιπτικού αγωγού.
- Για δεδομένο χρόνο λειτουργίας του αντλιοστασίου, οι ρυθμιστικές ανάγκες διαφοροποιούνται αισθητά, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η άντληση, κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

Υπολογισμός ωφέλιμου όγκου δεξαμενής

- Εκτός από αναρρύθμιση των εισροών, η δεξαμενή καλύπτει και έκτακτες ανάγκες σε απόθεμα νερού, έναντι περιστατικών **βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιάς** (ελέγχεται η δυσμενέστερη περίπτωση, που κατά κανόνα είναι η πρώτη).
- Δεχόμενοι **ολιγόωρη διακοπή** λειτουργίας (π.χ. λόγω βλάβης) του εξωτερικού υδραγωγείου, παροχής σχεδιασμού Q_A , για χρόνο T_B , το απαιτούμενο εφεδρικό απόθεμα είναι ίσο με:

$$V_B = Q_A T_B$$

- Δεχόμενοι ενεργοποίηση n πυροσβεστικών κρουστών, ονομαστικής παροχής Q_{Π} , για διάρκεια πυρκαγιάς T_{Π} , το απαιτούμενο εφεδρικό απόθεμα είναι ίσο με:

$$V_{\Pi} = n Q_{\Pi} T_{\Pi}$$

- Για λόγους ασφαλείας, δεχόμαστε πιθανή την εκδήλωση είτε της βλάβης ή της πυρκαγιάς την ημέρα μεγιστοποίησης της κατανάλωσης. Με την παραπάνω παραδοχή, ο **ωφέλιμος όγκος** της δεξαμενής υπολογίζεται ως:

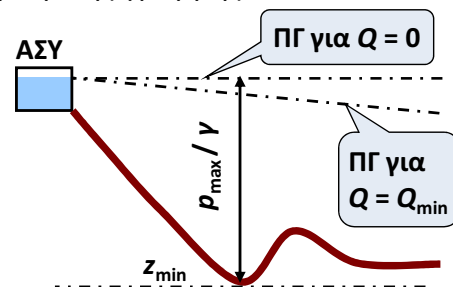
$$V_{\Omega} = V_p + \max \{V_B, V_{\Pi}\}$$

- Με εξαίρεση μικρούς οικισμούς, δεσμενέστερος είναι ο όγκος βλάβης έναντι του όγκου πυρκαγιάς.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι όγκοι ρύθμισης και ασφαλείας, λόγω βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου, δεν διαφέρουν σημαντικά.
- Ο όγκος ασφαλείας οφείλει να είναι συνεχώς διαθέσιμος στη δεξαμενή, ενώ ο ρυθμιστικός όγκος εξαντλείται μόνο την ημέρα αιχμής.

Κεφάλαιο 11: Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

Προδιαγραφές δικτύων: μέγιστες πιέσεις

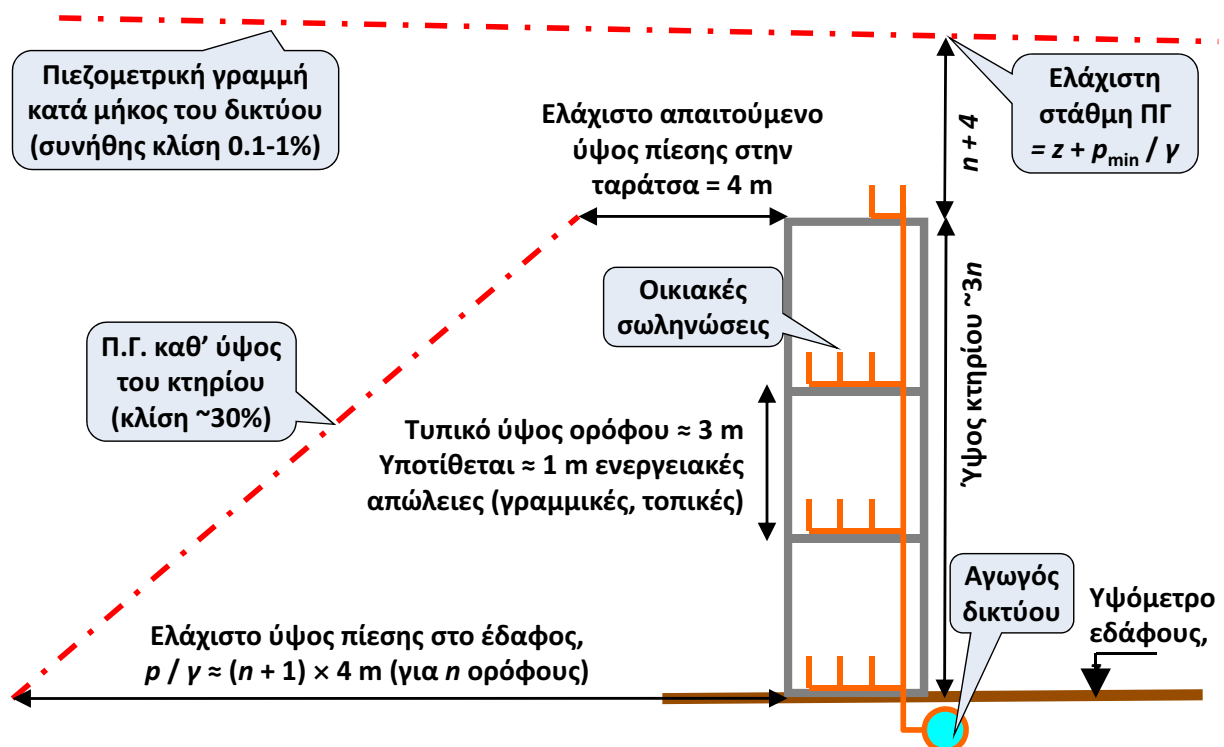
- Για την προστασία των ευάλωτων σημείων του δικτύου (π.χ. συνδέσεις αγωγών), των εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων και των οικιακών συσκευών, η πίεση σε όλο το μήκος του δικτύου δεν πρέπει να ξεπερνά ένα μέγιστο όριο.
- Γενικά, το ανώτερο επιθυμητό όριο είναι 6-7 atm (60-70 m ισοδύναμου ύψους νερού).
- Ο έλεγχος μέγιστων πιέσεων αναφέρεται στην υψομετρικά δυσμενέστερη θέση του δικτύου, δηλαδή στο χαμηλότερο σημείο, z_{\min} , θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτερη στάθμη ύδατος (ΑΣΥ). Τυπικά, λαμβάνεται οριζόντια πιεζομετρική γραμμή, που υποδηλώνει συνθήκες μηδενικής κατανάλωσης νερού στο δίκτυο, οπότε ο σχετικός έλεγχος γίνεται για στατικό ύψος πίεσης ίσο με $p_{\max} / \gamma = \text{ΑΣΥ} - z_{\min}$.
- Στην πράξη, γίνονται δεκτά αρκετά μεγαλύτερα όρια σε σχέση με το επιθυμητό (π.χ. 12 atm στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ), δεδομένου ότι, κυρίως στα αστικά κέντρα, οι νυκτερινές παροχές (και συνακόλουθα οι υδραυλικές απώλειες) είναι σημαντικές, οπότε κρίνεται υπερβολικά συντηρητική η υπόθεση οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής.
- Ο έλεγχος γίνεται πριν τη διαστασιολόγηση του δικτύου διανομής, και αφορά στην υψομετρική τοποθέτηση της δεξαμενής και τον καθορισμό των απαιτούμενων πιεζομετρικών ζωνών.
- Εφόσον δεν τηρείται το όριο των 6-7 atm, απαιτείται η εφαρμογή αγωγών κατάλληλης αντοχής και η χρήση μειωτών πίεσης στην είσοδο της υδραυλικής εγκατάστασης κάθε κτηρίου.



Προδιαγραφές δικτύων: ελάχιστες πιέσεις

- Σύμφωνα με τους κανονισμούς, στις εσωτερικές υδραυλικές εγκαταστάσεις, η ελάχιστη πίεση εκροής των λήψεων κυμαίνεται από 0.4 έως 1.2 atm (TOTEE-2411/86, "Εγκαταστάσεις σε κτίρια και οικόπεδα – Διανομή κρύου ζεστού νερού"). Συνεπώς, στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων (υφιστάμενων ή προβλεπόμενων, με βάση τον πολεοδομικό σχεδιασμό) πρέπει να εξασφαλίζεται ύψος πίεσης τουλάχιστον 4 m.
- Αν n είναι ο αριθμός των ορόφων ενός κτηρίου (προσμετρώντας και την ταράτσα), και θεωρώντας τυπικό ύψος ορόφου 3 m και υδραυλικές απώλειες 1 m ανά όροφο, προκύπτει ότι το ελάχιστο ύψος πίεσης στο έδαφος πρέπει να είναι ίσο με $4(n + 1)$.
- Συχνά, αντί της παραπάνω εμπειρικής σχέσης, το ελάχιστο όριο πίεσης ορίζεται από τον κανονισμό λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης (π.χ. 2 atm στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ).
- Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων αναφέρεται σε συνθήκες κατώτατης στάθμης δεξαμενής και μέγιστης κατανάλωσης, και προϋποθέτει μαθηματική προσομοίωση του δικτύου. Ο έλεγχος πραγματοποιείται σε όλο το μήκος του δικτύου, και αφορά τόσο στη γενική διάταξη των έργων όσο και στη διαστασιολόγηση των αγωγών διανομής
- Η ανεπαρκής πίεση σε μια περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:
 - αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό).
 - αντικατάσταση κρίσιμων κλάδων από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου.
 - τοποθέτηση αντλιών (αν έχουν εξαντληθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις).
- Στην πράξη, ζητούμενο του σχεδιασμού είναι η λειτουργία του δικτύου σε ένα μικρό, εύρος πιέσεων, της τάξης των 30 ως 40 m.

Ερμηνεία του περιορισμού ελάχιστης πίεσης, με βάση το εμπειρικό κριτήριο ελέγχου



Λοιπές προδιαγραφές και σχετικοί έλεγχοι

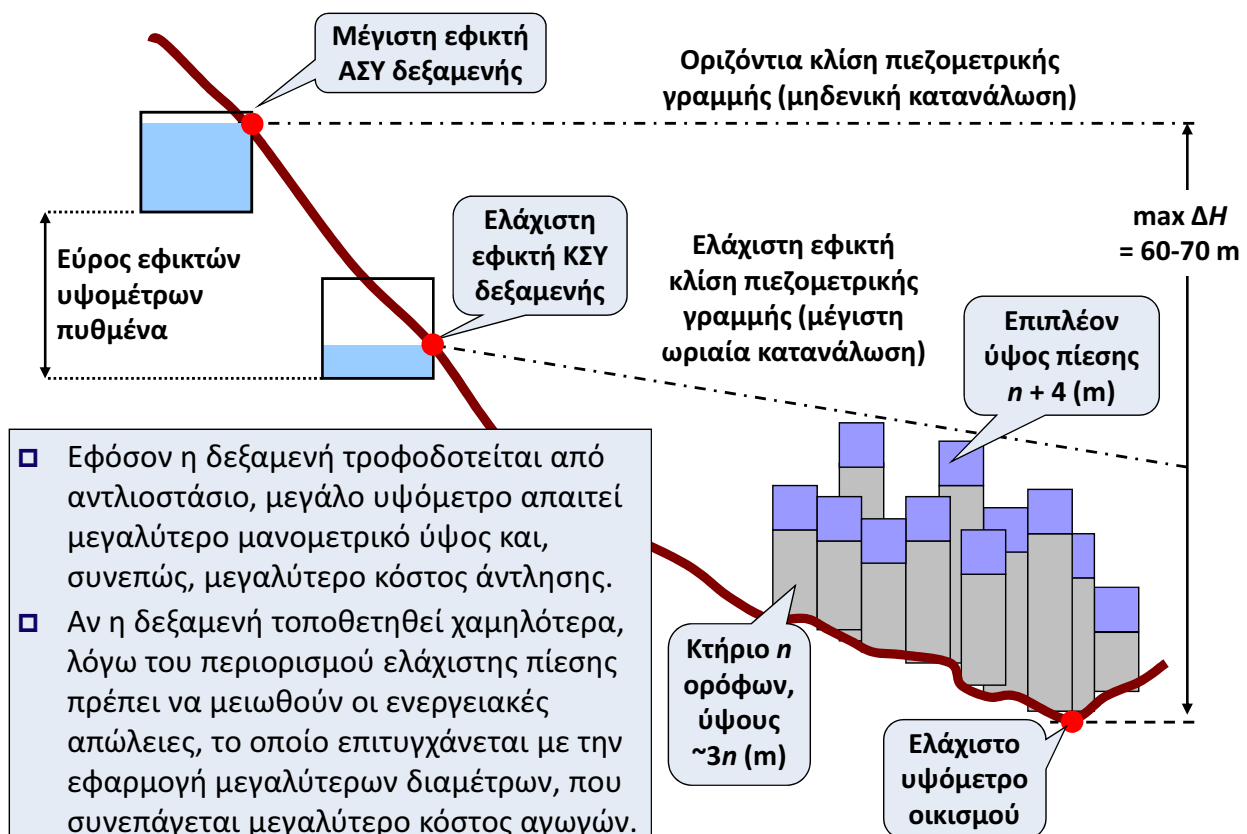
□ Έλεγχος ποιότητας νερού:

- Κατά τη λειτουργία του δικτύου, παρακολουθείται συστηματικά η δίαιτα κρίσιμων ποιοτικών παραμέτρων του νερού (κυρίως το υπολειμματικό χλώριο), κατά τη διαδρομή του από τη μονάδα επεξεργασίας (όπου πραγματοποιείται η χλωρίωση) έως την κατανάλωση. Οι σχετικοί έλεγχοι γίνονται μέσω τακτικών δειγματοληψιών, καθώς και με την υποστήριξη εξειδικευμένων μοντέλων υδραυλικής και ποιοτικής προσομοίωσης.
- Στο επίπεδο του σχεδιασμού, πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή πολύ μεγάλων διαμέτρων σε περιοχές με χαμηλές καταναλώσεις, που έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη υπερβολικά μικρών ταχυτήτων ροής για μακρά χρονικά διαστήματα.

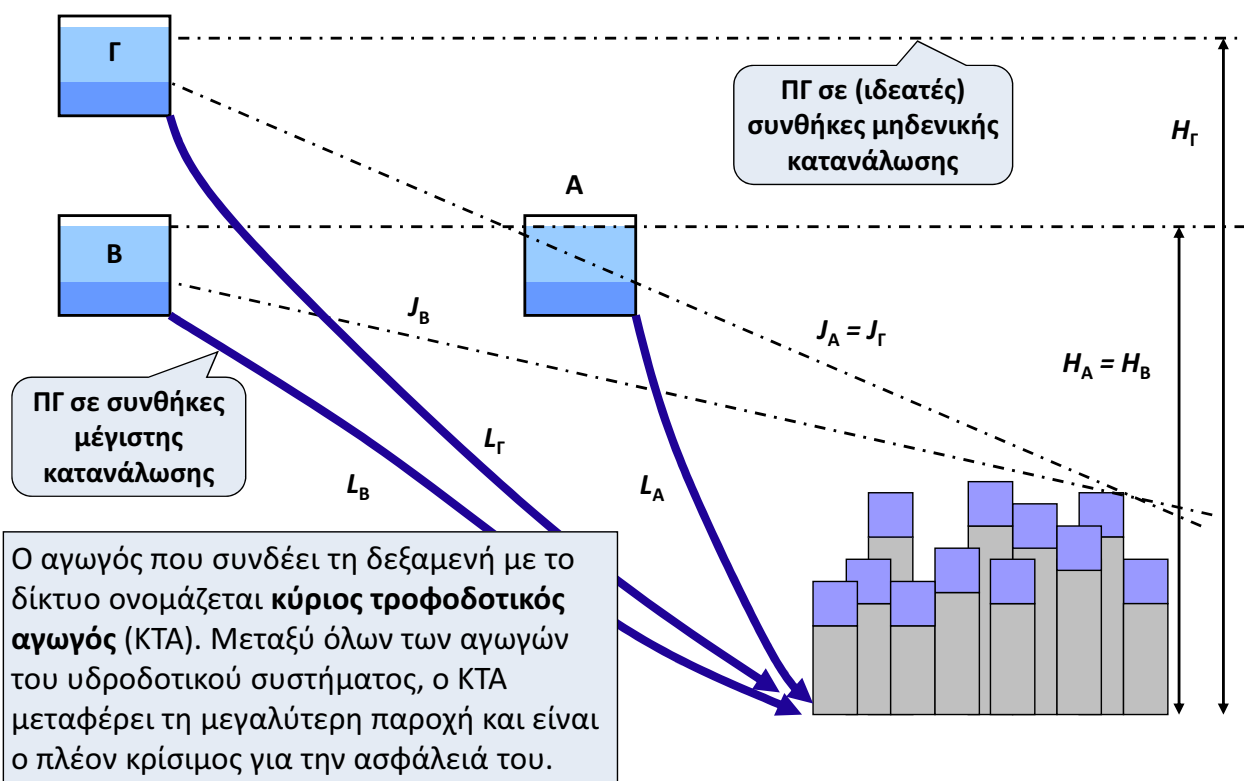
□ Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας:

- Το δίκτυο πρέπει να ελέγχεται (και να εξοπλίζεται κατάλληλες υδραυλικές διατάξεις) έναντι της εμφάνισης μεγάλων υποπιέσεων και υπερπιέσεων, λόγω υδραυλικού πλήγματος, το οποίο οφείλεται σε απότομες αυξομειώσεις της παροχής (π.χ. λόγω βλάβης). Ο έλεγχος αυτός αναφέρεται σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, και απαιτεί εξειδικευμένα μοντέλα.
- Στην πράξη, κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν μόνο τα ακτινωτά τμήματα ενός δικτύου και οι καταθλιπτικοί αγωγοί. Η διαμόρφωση βροχωτών δικτύων (κλειστές διαδρομές αγωγών), παρόλο που αυξάνει το ολικό μήκος των σωληνώσεων, εξασφαλίζει στην πράξη πλήρη αντιπληγματική προστασία.

Υψομετρική τοποθέτηση δεξαμενής



Οριζοντιογραφική τοποθέτηση δεξαμενής ως προς την απόστασή της από τον οικισμό



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

121

Κριτήρια χωροθέτησης δεξαμενής

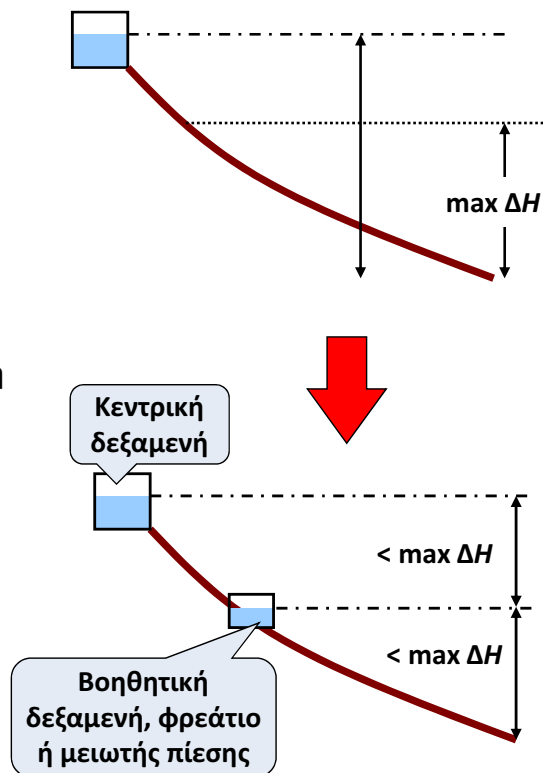
- Ως γενική αρχή, συστήνεται η τοποθέτηση της δεξαμενής όσο το δυνατόν **πιο κοντά στο κέντρο βάρους** του οικισμού, το οποίο παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:
 - για δεδομένο υψόμετρο δεξαμενής, μεγιστοποιείται η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής (αφού $J = h_f / L$), που συνεπάγεται οικονομικότερες διαμέτρους αγωγών·
 - για δεδομένη κλίση της Π.Γ., ελαχιστοποιείται το υδροστατικό φορτίο στην κατάσταση μηδενικής φόρτισης (= έλεγχος μέγιστων πιέσεων), αλλά και μειώνεται το μανομετρικό ύψος, εφόσον η μεταφορά νερού γίνεται μέσω άντλησης·
 - μειώνεται το μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού σε σχέση με το μήκος του αγωγού μεταφοράς (εξωτερικό υδραγωγείο), που ωστόσο σχεδιάζεται με πολύ μικρότερη παροχή (εξ ορισμού $Q_H \ll Q_\Omega + Q_\Pi$).
- Γενικά, αν η τροφοδοσία γίνεται από **αγωγό βαρύτητας** εξαντλείται το μέγιστο επιτρεπόμενο υψόμετρο τοποθέτησης της δεξαμενής (περιορισμός μέγιστων πιέσεων).
- Κατ' ελάχιστον, η δεξαμενή τοποθετείται 15 ως 25 m πάνω από το μέγιστο υψόμετρο ανάπτυξης του οικισμού, ανάλογα και με τα ύψη των κτηρίων που αναπτύσσονται στην περιοχή των μεγάλων υψομέτρων (ο ακριβής προσδιορισμός απαιτεί υδραυλική προσομοίωση του δικτύου, για τον έλεγχο των ελάχιστων πιέσεων).
- Αν η τροφοδοσία γίνεται από **καταθλιπτικό αγωγό**, η τελική επιλογή της θέσης (υψόμετρο και απόσταση) της δεξαμενής προκύπτει με βελτιστοποίηση του **συνολικού κόστους επένδυσης** των έργων του εξωτερικού και του εσωτερικού υδραγωγείου (κόστος αγωγών, αντλιών, συντήρησης Η/Μ εξοπλισμού, κτλ.).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

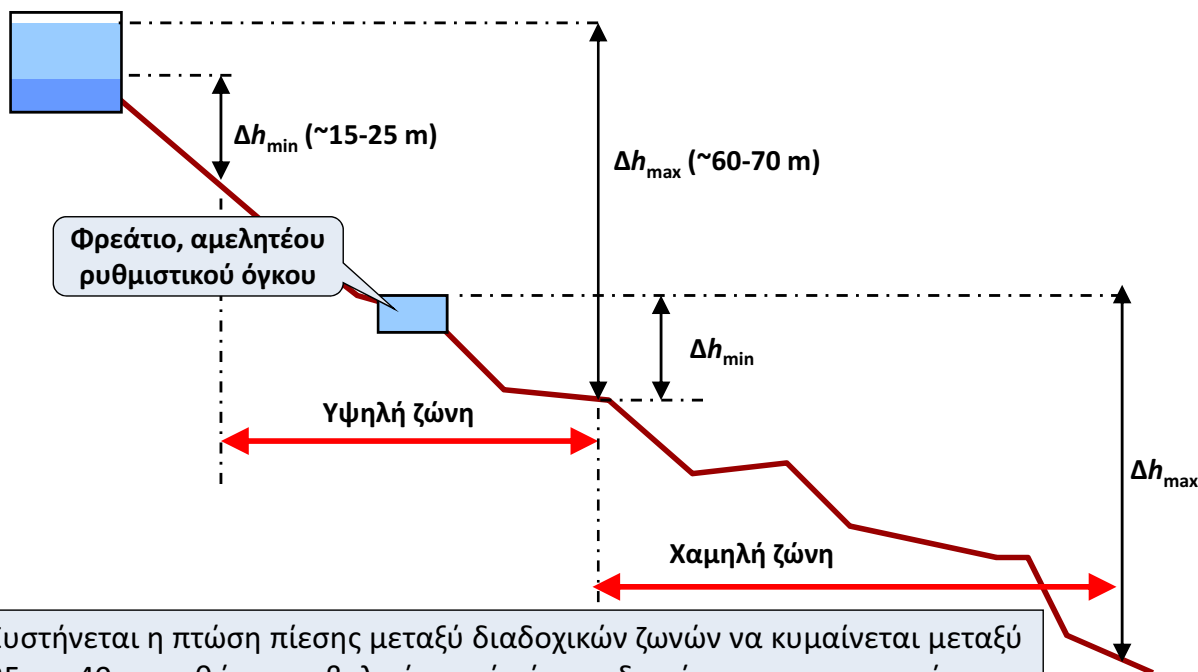
122

Πιεζομετρικές ζώνες δικτύων

- Σε περιοχές με σημαντικές υψομετρικές διαφορές, μια μεμονωμένη κεντρική δεξαμενή ενδέχεται να μην επαρκεί για την εξυπηρέτηση όλου του οικισμού χωρίς να προκαλεί προβλήματα ανεπίτρεπτα χαμηλών πιέσεων στα μεγάλα υψόμετρα και ανεπίτρεπτα υψηλών πιέσεων στα μικρά.
- Στην περίπτωση αυτή, ο οικισμός χωρίζεται σε **υδραυλικά ανεξάρτητες** πιεζομετρικές ζώνες καθ' ύψος της επιτρεπόμενης πίεσης, με χρήση διατάξεων ελέγχου της πίεσης (βοηθητικές δεξαμενές, φρεάτια ή μειωτές πίεσης).
- Γενικά, προτιμάται η διαμόρφωση των πιεζομετρικών ζωνών με απλές υδραυλικές διατάξεις, όπως πιεζοθραυστικά φρεάτια, τα οποία έχουν αμελητέο κόστος κατασκευής και δεν απαιτούν συντήρηση.
- Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μειωτές πίεσης, που τοποθετούνται σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου.



Παράδειγμα χωρισμού σε πιεζομετρικές ζώνες με σύστημα δεξαμενής-φρεατίου



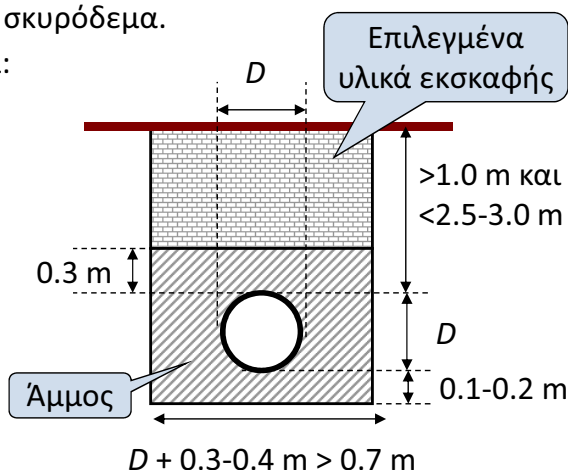
Συστήνεται η πτώση πίεσης μεταξύ διαδοχικών ζωνών να κυμαίνεται μεταξύ 25 και 40 m, καθώς υπερβολικά μικρό εύρος οδηγεί σε αντιοικονομικό σχεδιασμό (πολλές δεξαμενές, μεγάλες διάμετροι), ενώ πολύ μεγάλο εύρος οδηγεί σε έντονες διακυμάνσεις της διατιθέμενης πίεσης στο δίκτυο.

Γενικές αρχές χάραξης αγωγών δικτύου

- Στη χάραξη του δικτύου χρησιμοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες, καθώς και χάρτες γενικής πολεοδομικής διάταξης (συνήθεις κλίμακες 1:2000 ή 1:1000).
- Από τη δεξαμενή ξεκινά ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που φτάνει στην περίμετρο της πόλης, απ' όπου διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής.
- Το δίκτυο διανομής καλύπτει το 100% του οδικού δικτύου. Στις μεγάλες οδικές αρτηρίες τοποθετούνται δίδυμοι αγωγοί, εκατέρωθεν των πεζοδρομίων.
- Επιδιώκεται η τροφοδοσία κάθε καταναλωτή από εναλλακτικές διαδρομές (βροχωτή διάταξη αγωγών), ώστε να εξασφαλίζεται απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου σε περιπτώσεις βλάβης και να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος υδραυλικού πλήγματος.
- Οι κύριοι και δευτερεύοντες αγωγοί που τίθενται κατά μήκος διαδρομών που εξυπηρετούν στόμια πυρκαγιάς έχουν διαμέτρους 125-150 mm και άνω, ενώ στις εμπορικές και πυκνοκατοικημένες περιοχές, οι διάμετροι ξεπερνούν τα 200 mm.
- Επιδιώκεται η τοποθέτηση των αγωγών μεγάλης διαμέτρου στις κορυφογραμμές, ενώ, αντίθετα, αντενδείκνυται η τοποθέτησή τους στις μισγάγγειες .
- Οι ελάχιστες διάμετροι που εφαρμόζονται είναι 90 mm, και αφορούν μόνο στους τριτεύοντες αγωγούς που δεν εξυπηρετούν κρουνοί.
- Οι πυροσβεστικοί κρουνοί τοποθετούνται σε αποστάσεις έως 200 m, ενώ σε μεγάλες πόλεις η τοποθέτηση των κρουνοί είναι πιο πυκνή (ανά 75-100 m).
- Το δίκτυο διανομής συμπληρώνεται από ειδικές συσκευές, για τη ρύθμιση της παροχής (δικλείδες, εκκενωτές) και της πίεσης (μειωτές, φρεάτια, αερεξαγωγοί).

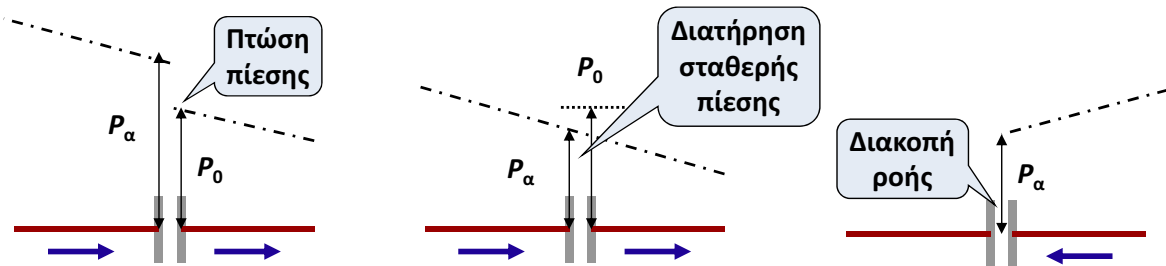
Αγωγοί δικτύων ύδρευσης

- Οι αγωγοί ύδρευσης τοποθετούνται σε σκάμμα, κάτω από το ρείθρο του πεζοδρομίου, και διαγώνια σε σχέση με τις υποδομές αποχέτευσης ακαθάρτων και ομβρίων (στο μικρότερο βάθος και την πιο ακραία οριζοντιογραφική θέση).
- Οι αγωγοί φέρουν επικάλυψη τουλάχιστον 1.0 m, ώστε να προστατεύονται από τον παγετό, την ηλιακή ακτινοβολία και την καταπόνηση από την διέλευση τροχοφόρων.
- Ως προς την κατά μήκος κλίση, γενικά ακολουθούν την τοπογραφία, ώστε να ελαχιστοποιείται ο όγκος των εκσκαφών. Οι ελάχιστες κλίσεις που εφαρμόζονται είναι 0.2% (ανερχόμενοι αγωγοί) και 0.4% (κατερχόμενοι αγωγοί).
- Σε αλλαγές διευθύνσεως, συμβολές τύπου «Τ», και πολύ μεγάλες κλίσεις (>20%), οι αγωγοί αγκυρώνονται με σώματα από άοπλο σκυρόδεμα.
- Γενικά, επιλέγονται αγωγοί από τα εξής υλικά:
 - **PVC**: Οικονομική επιλογή για αγωγούς μικρής διαμέτρου (<400 mm).
 - **HDPE**: Εξαιρετικά ελαφρύ και εύκαμπτο υλικό, τυλίγονται σε ρολά και δεν απαιτούν ειδικά τεμάχια στις στροφές.
 - **Χαλυβδωσώληνες**: Οικονομική επιλογή για διαμέτρους >400 mm.
 - **Αμιαντοσιμεντοσωλήνες**: Είχαν εκτεταμένη εφαρμογή, πλέον αποφεύγονται.



Ειδικές συσκευές δικτύων (τοποθέτηση σε φρεάτιο)

- **Δικλείδες ή βάννες:** Συσκευές ρύθμισης της παροχής, τοποθετούνται σε όλες τις διακλαδώσεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης/συντήρησης να εξασφαλίζουν απομόνωση του υπόλοιπου δικτύου. Συνηθέστεροι τύποι είναι η συρταρωτή και η «πεταλούδα».
- **Βαλβίδες αντεπιστροφής:** Εγκαθίστανται κυρίως σε καταθλιπτικούς αγωγούς, ώστε να εξασφαλίσουν ότι η ροή γίνεται μόνο προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.
- **Εκκενωτές:** Διακλαδώσεις τύπου «Τ», τοποθετούνται σε χαμηλά σημεία του δικτύου, και επιτρέπουν την ελεύθερη εκροή προς ένα φυσικό αποδέκτη, για έκπλυση του δικτύου και απομάκρυνση των φερτών.
- **Αερεξαγωγοί:** Συνήθως διπλού στομίου, τοποθετούνται σε υψηλά σημεία, ώστε σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας να απομακρύνουν τον αέρα, ενώ σε συνθήκες υποπίεσης (υδραυλικό πλήγμα) να εισάγουν αέρα, για την αποσυμπίεση του δικτύου.
- **Μειωτές πίεσης:** Ειδικές αυτόματες βαλβίδες που εξασφαλίζουν σταθερή πίεση εξόδου P_0 , αν η ανάντη πίεση P_α είναι μεγαλύτερη από την P_0 , ενώ σε περίπτωση αντιστροφής της ροής λειτουργούν ως βαλβίδες αντεπιστροφής.



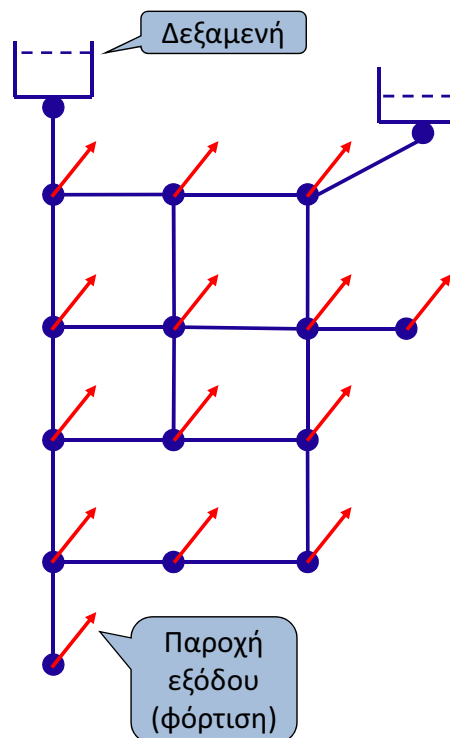
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

127

Κεφάλαιο 12: Υδραυλική ανάλυση δικτύων διανομής

Εννοιολογική αναπαράσταση δικτύων διανομής

- ❑ **Σχηματοποίηση:** δικτυακή απεικόνιση των συνιστωσών του φυσικού συστήματος ως συνιστώσες ενός εννοιολογικού μοντέλου γράφου (κόμβοι, κλάδοι)
- ❑ **Μαθηματική περιγραφή:** διατύπωση εξισώσεων που αναφέρονται στην υδραυλική λειτουργία των συνιστωσών του δικτύου
- ❑ **Περιγραφικά-γεωμετρικά δεδομένα:** τοπολογία δικτύου, υψόμετρα κόμβων, χαρακτηριστικά αγωγών, δεξαμενών και ειδικών διατάξεων
- ❑ **Αρχικές συνθήκες:** στάθμες δεξαμενών
- ❑ **Φόρτιση δικτύου:** κατανάλωση νερού (σταθερή ή χρονικά μεταβαλλόμενη), επιμερισμένη στους κόμβους του δικτύου (= παροχές εξόδου)
- ❑ **Επίλυση δικτύου:** υπολογισμός υδραυλικών χαρακτηριστικών ροής σε συνθήκες σταθερής (στιγμιαίας) κατανάλωσης
- ❑ **Προσομοίωση δικτύου:** διαδοχικές επιλύσεις δικτύου σε συνθήκες μεταβαλλόμενης κατανάλωσης



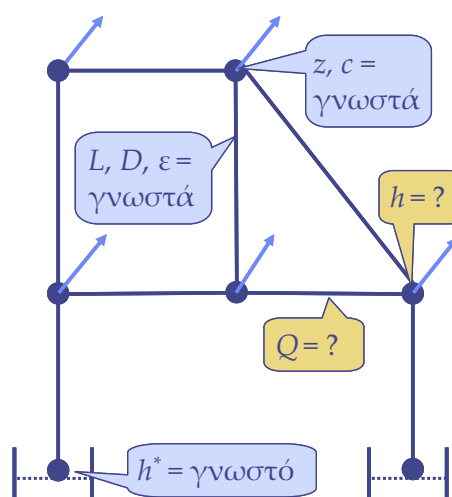
Διατύπωση του προβλήματος υδραυλικής ανάλυσης

Δεδομένοι ενός δικτύου αγωγών υπό πίεση με:

- ❑ γνωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αγωγών (μήκος L , εσωτερική διάμετρος D , τραχύτητα ε).
- ❑ γνωστά τοπογραφικά υψόμετρα z και γνωστές παροχές εξόδου c κόμβων.
- ❑ γνωστά ενεργειακά υψόμετρα h^* των σημείων ελέγχου της πιεζομετρικής γραμμής (δεξαμενές, φρεάτια).

ζητείται ο υπολογισμός:

- ❑ των ενεργειακών υψομέτρων h (ισοδύναμα, των πιέσεων p/γ) σε όλους τους κόμβους.
- ❑ των διερχόμενων παροχών Q (ισοδύναμα, των ταχυτήτων V) σε όλους τους κλάδους.



Θεμελιώδης παραδοχή: Οι κατανεμημένες καταναλώσεις του δικτύου (συνολική ζήτηση νερού για κάθε χρήση) ανάγονται σε σημειακές παροχές εξόδου κόμβων.

Ζητούμενο: Ο έλεγχος των περιορισμών που αναφέρονται στις συνιστώσες του δικτύου (ύψη πίεσης κόμβων, ταχύτητες ροής αγωγών).

Τοπολογία δικτύων – Θεμελιώδεις σχέσεις

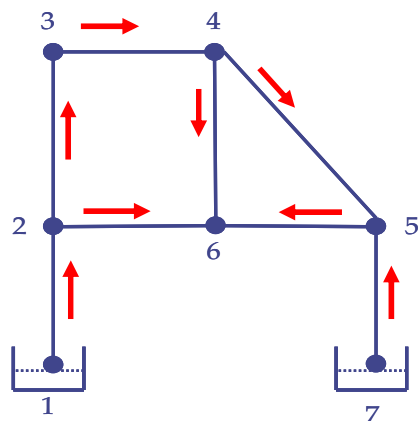
- Σε ένα δίκτυο n κόμβων, m κλάδων και r βρόχων ισχύει η θεμελιώδης σχέση:

$$m = n + r - 1$$

- Αν το δίκτυο είναι ακτινωτό (χωρίς βρόχους), η σχέση απλοποιείται σε $m = n - 1$.
- Αν στο δίκτυο υπάρχουν $n_0 > 1$ σημεία γνωστού ενεργειακού υψομέτρου, θεωρούνται $n_0 - 1$ επιπλέον ιδεατοί βρόχοι, τοποθετώντας εικονικούς κλάδους μηδενικής παροχής που συνδέουν τα σημεία αυτά ανά δύο, οπότε ισχύει (δεν καταμετρώνται οι εικονικοί κλάδοι) :

$$m = n + r - n_0$$

- Η τοπολογία του δικτύου (γράφου) περιγράφεται από το $n \times m$ **μητρώο πρόσπτωσης** (incidence matrix), με στοιχεία $a_{ik} = -1$ αν ο κλάδος k ξεκινά από τον κόμβο i , $a_{ik} = 1$ αν ο κλάδος καταλήγει στον κόμβο i , και $a_{ik} = 0$ διαφορετικά (η φορά της ροής ορίζεται αυθαίρετα).



	1-2	2-3	2-6	3-4	4-5	4-6	5-6	7-5
1	-1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-1	-1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	-1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	-1	-1	0	0
5	0	0	0	0	1	0	-1	1
6	0	0	1	0	0	1	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	-1

Εξισώσεις συνέχειας κόμβων

- Με την υπόθεση ότι κατά μήκος των κλάδων δεν υπάρχουν εισροές ή εκροές νερού, σε κάθε κόμβο i ισχύει η εξίσωση συνέχειας (αρχή διατήρησης μάζας):

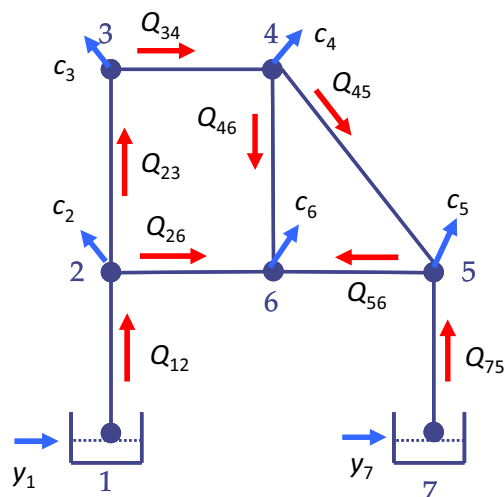
$$\sum a_{ij} Q_{ij} = y_i - c_i$$

όπου a_{ij} το στοιχείο του μητρώου πρόσπτωσης, y_i η παροχή εισόδου (άγνωστη), c_i η παροχή εξόδου και Q_{ij} η παροχή (άγνωστη) από ή προς τον κόμβο i .

- Αφού στο δίκτυο η συνολική προσφορά ισούται με τη συνολική ζήτηση, το άθροισμα των παροχών εισόδου ισούται με το άθροισμα των παροχών εξόδου στους κόμβους (καθολική εξίσωση συνέχειας):

$$\sum y_i = \sum c_i$$

- Σε ένα δίκτυο n κόμβων και n_0 σημείων γνωστού ενεργειακού υψομέτρου (δεξαμενές), μπορούν να διατυπωθούν $n - n_0$ γραμμικά ανεξάρτητες εξισώσεις συνέχειας ως προς τις m άγνωστες παροχές.
- Συνεπώς, για τον προσδιορισμό των παροχών απαιτούνται $m - (n - n_0)$ επιπλέον εξισώσεις.
- Αν το δίκτυο είναι ακτινωτό, δεν απαιτούνται επιπλέον εξισώσεις – το πρόβλημα είναι πλήρως ορισμένο μόνο από τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων.



Εξισώσεις διατήρησης ενέργειας βρόχων

- Οι επιπλέον εξισώσεις προκύπτουν με εφαρμογή της αρχής διατήρησης ενέργειας κατά μήκος των βρόχων του δικτύου, που διατυπώνεται στη γενικευμένη μορφή:

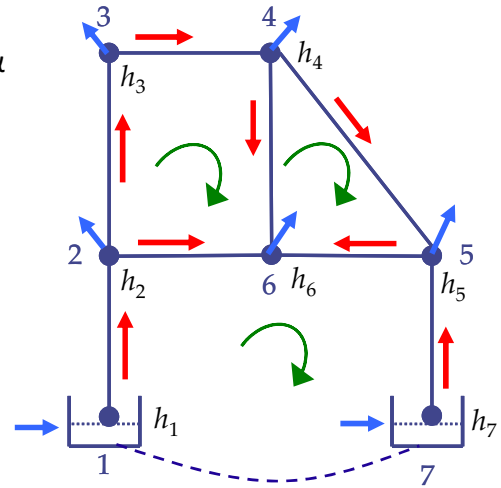
$$\sum \kappa_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^\lambda = \sum \Delta h_{ij}$$

όπου κ, λ συντελεστές που διαφοροποιούνται ανάλογα με τη σχέση ενεργειακών απωλειών που εφαμόζεται.

- Θεωρώντας τη γενικευμένη σχέση Manning, οι τιμές των συντελεστών είναι:

$$\kappa_{ij} = L_{ij} [4^{3+\beta} N^2 / (\pi^2 D_{ij}^{5+\beta})]^{1/(1+\nu)} \text{ και } \lambda = (1-\gamma) / (1+\gamma)$$

- Συμβατικά θεωρείται ότι το πρόσημο της παροχής Q είναι θετικό αν η φορά της συμπίπτει με τη φορά διαγραφής του βρόχου, αλλιώς είναι αρνητικό.
- Κατά μήκος των ιδεατών βρόχων, οι απώλειες ενέργειας είναι ίσες με τη γνωστή διαφορά στάθμης μεταξύ των δεξαμενών.
- Κατά μήκος των υπόλοιπων βρόχων, αν δεν παρεμβάλεται διάταξη προσφοράς ή καταστροφής της ενέργειας (αντλία, μειωτής πίεσης, δικλείδα, στρόβιλος), το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών ενέργειας είναι μηδενικό (η πιεζομετρική γραμμή αρχίζει και καταλήγει στην ίδια στάθμη).



Τεχνικές επίλυσης του προβλήματος

- Σε ένα δίκτυο n κόμβων, n_0 σημείων γνωστού ενεργειακού υψομέτρου και r βρόχων προκύπτει ένα μικτό σύστημα από $n - n_0$ γραμμικές εξισώσεις συνέχειας και r μη γραμμικές εξισώσεις διατήρησης ενέργειας, ως προς τις $m = n + r - n_0$ παροχές.
- Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους των μεταβλητών (που μπορεί να είναι εκατοντάδες ή χιλιάδες, σε πραγματικά προβλήματα υδραυλικής ανάλυσης δικτύων υπό πίεση), για την επίλυση του συστήματος χρησιμοποιούνται **αριθμητικές μέθοδοι** που βασίζονται στις ακόλουθες εναλλακτικές τεχνικές:
 - τεχνικές διόρθωσης του σφάλματος ανά εξίσωση (μέθοδος Cross).
 - τεχνικές επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων (μέθοδος Newton-Raphson).
 - τεχνικές επίλυσης γραμμικοποιημένων συστημάτων, με χαλάρωση του σφάλματος
- Οι παραπάνω τεχνικές επίλυσης είναι επαναληπτικές, δηλαδή ξεκινούν από κάποιες αυθαίρετες αρχικές τιμές των μεταβλητών του προβλήματος και επιδιώκουν την σταδιακή μείωση του σφάλματος, μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση (δηλαδή το αριθμητικό σφάλμα να γίνει μικρότερο από κάποια επιθυμητή ανοχή).
- Υπάρχουν δύο τρόποι διατύπωσης του προβλήματος:
 - Μέθοδος βρόχων:** δίνονται αρχικές τιμές στις παροχές των κλάδων και διορθώνονται οι εξισώσεις διατήρησης ενέργειας στους βρόχους.
 - Μέθοδος κόμβων:** δίνονται αρχικές τιμές στα ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων και διορθώνονται οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους.

Παράδειγμα: Μέθοδος κόμβων με γραμμικοποίηση

- Στην αρχή κάθε κύκλου, είναι γνωστή μια εκτίμηση των ενεργειακών υψομέτρων h_i στους κόμβους (αρχικά, η εκτίμηση είναι αυθαίρετη).
- Με βάση τα γνωστά ενεργειακά υψόμετρα, υπολογίζονται οι ενεργειακές απώλειες Δh_{ij} και, συναρτήσει αυτών, οι παροχές Q_{ij} των κλάδων.
- Υπολογίζονται το μέγιστο και καθολικό σφάλμα παροχών στους κόμβους (δεν ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας) και ελέγχεται αν ξεπερνούν μια τιμή ανοχής.
- Οι παροχές διατυπώνονται συναρτήσει των ενεργειακών υψομέτρων ως εξής:

$$Q_{ij}^{[n+1]} = \frac{1}{K_{ij} |Q_{ij}^{[n]}|^{\lambda}} (h_i - h_j) = r_{ij}^{[n]} (h_i - h_j)$$

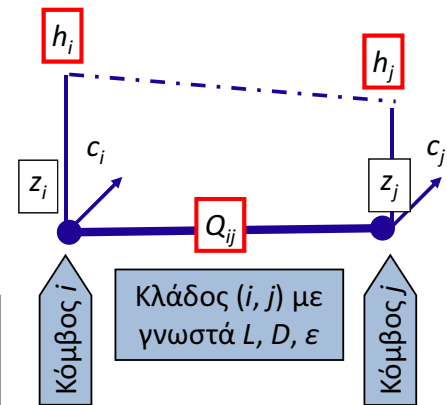
όπου $Q_{ij}^{[n]}$ οι τρέχουσες εκτιμήσεις των παροχών, μετά το πέρας του επαναληπτικού βήματος n , και $Q_{ij}^{[n+1]}$ οι νέες εκτιμήσεις.

- Οι εξισώσεις συνέχειας των κόμβων διατυπώνονται με τη μορφή του γραμμικοποιημένου συστήματος $\mathbf{B} \mathbf{h} = \mathbf{c}$, όπου \mathbf{B} μητρώο που περιέχει τους όρους r_{ij} (= συναρτήσεις των εκτιμημένων ενεργειακών υψομέτρων), \mathbf{h} διάνυσμα ενεργειακών υψομέτρων και \mathbf{c} διάνυσμα γνωστών παροχών εξόδου.
- Επιλύοντας το σύστημα ως προς το διάνυσμα \mathbf{h} , λαμβάνεται μια βελτιωμένη εκτίμηση των ενεργειακών υψομέτρων στους κόμβους, και ελέγχεται η σχετική απόκλιση μεταξύ της αρχικής και βελτιωμένης εκτίμησης των ενεργειακών υψομέτρων.
- Η μέθοδος εγγυάται ταχεία σύγκλιση, ακόμη και για πολύ μεγάλο αριθμό κόμβων.

Κεφάλαιο 13: Διαμόρφωση μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης δικτύου διανομής

Συνιστώσες μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης

- ❑ **Κόμβος:** Σημείο εισροής ή εκροής νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών, με γνωστό απόλυτο υψόμετρο z και γνωστή παροχή εξόδου c , και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο h .
- ❑ **Κλάδος (αγωγός):** Στοιχείο μεταφοράς νερού μήκους L , που αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, με κοινή διαμέτρο D και τραχύτητας ε , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q .
- ❑ **Δεξαμενή:** Διάταξη αποθήκευσης νερού, ωφέλιμου όγκου V , με γνωστή αρχική στάθμη z_0 , και άγνωστη εκροή νερού y .
- ❑ **Φρεάτιο:** Διάταξη μηδενισμού της πίεσης, αμελητέας αποθηκευτικής ικανότητας, στην οποία διατηρείται σταθερή στάθμη z_0 .
- ❑ **Βαλβίδα:** Διάταξη ρύθμισης της πίεσης ή της παροχής (π.χ. δικλείδα, μειωτής πίεσης), η λειτουργία της οποίας περιγράφεται από μια γνωστή σχέση παροχής-ενεργειακών απωλειών.
- ❑ **Αντλία:** Διάταξη ανύψωσης της πιεζομετρικής γραμμής, με γνωστή χαρακτηριστική καμπύλη.



Οι βασικές εργασίες για τη διαμόρφωση του μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης είναι η **τοποθέτηση των κόμβων** (σχηματοποίηση) και η εκτίμηση των **παροχών εξόδου**.

Τυπικά δεδομένα εισόδου υδραυλικής ανάλυσης

- ❑ **Τοπολογία δικτύου**
 - Διασύνδεση των επιμέρους συνιστωσών του δικτύου (κατά κανόνα η τοπολογία διαμορφώνεται με τη βοήθεια γραφικών εργαλείων που διαθέτουν τα μοντέλα)
- ❑ **Χαρακτηριστικά μεγέθη κόμβων:**
 - Υψόμετρο εδάφους (μέτρηση στον χάρτη, καθώς για τις ανάγκες του μοντέλου και τον έλεγχο των πιέσεων δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια στα υψόμετρα)
 - Παροχή εξόδου (αθροιστική από όλες τις χρήσεις νερού, σημειακές και κατανεμημένες)
 - Σε προβλήματα προσομοίωσης (= βήμα προς βήμα επίλυση) η παροχή εξόδου κάθε κόμβου δίνεται με τη μορφή χρονοσειράς.
- ❑ **Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων (αγωγών):**
 - Μήκος (μέτρηση στον χάρτη, καθώς ούτε εδώ απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια)
 - Εσωτερική διάμετρος (εξαρτάται από το υλικό και την κλάση του αγωγού)
 - Ισοδύναμη τραχύτητα (γενικά λαμβάνεται $\varepsilon = 1.0$ mm, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα σχεδιασμού, οπότε λαμβάνονται υπόψη η γήρανση των αγωγών καθώς και οι τοπικές απώλειες)
- ❑ **Χαρακτηριστικά μεγέθη δεξαμενών:**
 - Στάθμη νερού (γενικά λαμβάνεται η ΚΣΥ, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα ελέγχου πιέσεων)

Σχηματοποίηση κόμβων δικτύου

- Οι κόμβοι του δικτύου τοποθετούνται:
 - στα σημεία τροφοδοσίας (δεξαμενές, υδατόπυργοι)·
 - στα σημεία διακλαδώσεων (όχι όμως απαραίτητα σε στροφές αγωγών)·
 - στα σημεία αλλαγής υλικού, τραχύτητας ή διαμέτρου αγωγού·
 - στα σημεία αλλαγής των χρήσεων νερού (αστική, ημιαστική, τουριστική)·
 - στα σημεία αλλαγής της πυκνότητας του πληθυσμού και της δόμησης·
 - στις θέσεις των ειδικών καταναλωτών (π.χ. βιομηχανίες, ξενοδοχεία)·
 - στις θέσεις των πυροσβεστικών κρουνών·
 - στις θέσεις των ειδικών διατάξεων (φρεάτια, βαλβίδες, αντλίες).
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, συστήνεται η τοποθέτηση κόμβων σε σημεία όπου είναι επιθυμητός, κατά την κρίση του μηχανικού, ο έλεγχος πιέσεων κατά την υδραυλική ανάλυση του δικτύου (σε πολύ υψηλά, πολύ χαμηλά ή πολύ απομακρυσμένα σημεία του).
- Ειδικοί καταναλωτές και κρουνοί που βρίσκονται σχετικά κοντά σε κόμβους άλλης αιτιολογίας είναι δυνατόν να αναχθούν σε αυτούς (μείωση υπολογιστικού φόρτου).
- Για λόγους ευστάθειας του αριθμητικού σχήματος επίλυσης, ο σχετικός λόγος των μηκών των κλάδων του ίδιου βρόχου δεν πρέπει να ξεπερνά το 10.

Σημειακές και μη σημειακές φορτίσεις

- Η εκτίμηση της κατανάλωσης του δικτύου γίνεται ξεχωριστά για κάθε χρήση νερού, για την οποία εκτιμάται η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία παροχή.
- Ως σημειακοί χρήστες (ή ειδικοί καταναλωτές) νοούνται βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πάρκα, πυροσβεστικοί κρουνοί κτλ., και γενικά κάθε μεγάλος καταναλωτής που υδροδοτείται από συγκεκριμένη θέση του δικτύου.
- Ως μη σημειακοί (κατανεμημένοι) χρήστες νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές, οι κάτοικοι παραθεριστικών περιοχών, και οι τουρίστες που καταλύουν σε εκτεταμένες περιοχές όπου αναπτύσσονται μικρής κλίμακας τουριστικές μονάδες, π.χ. ενοικιαζόμενα δωμάτια (μεμονωμένα ξενοδοχειακά συγκροτήματα μεγάλης κλίμακας αναπαρίστανται ως σημειακοί καταναλωτές νερού).
- Οι μέγιστες ωριαίες παροχές των ειδικών καταναλωτών μεταφέρονται απευθείας ως σημειακές φορτίσεις στον εγγύτερο κόμβο.
- Για τους κατανεμημένους καταναλωτές, η αθροιστική μέγιστη ωριαία παροχή q_k ανά χρήση νερού k επιμερίζεται στους κόμβους του δικτύου, με χρήση κατάλληλων συντελεστών κατανομής:

$$c_{jk} = w_{jk} q_k$$

- Ο συντελεστής w_{jk} εκφράζει το ποσοστό της συνολικής ζήτησης κάθε μη σημειακής (κατανεμημένης) χρήσης k που εξυπηρετείται από τον κόμβο j .
- Η παροχή εξόδου κάθε κόμβου προκύπτει ως άθροισμα όλων των καταναλώσεων c_{jk} από τις σημειακές και μη σημειακές χρήσεις νερού.

Αναγωγή κατανεμημένης ζήτησης στους κόμβους

□ Μέθοδος επιφανειών επιρροής:

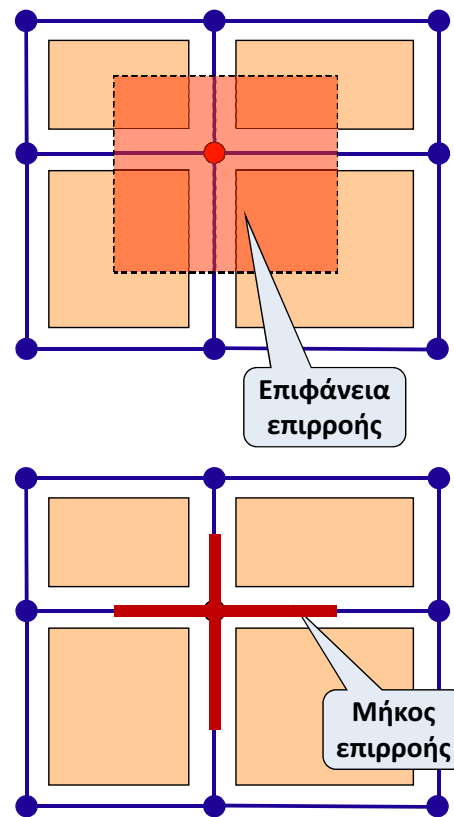
- Κάθε κόμβος i εξυπηρετεί συγκεκριμένη επιφάνεια α_i , οπότε το ποσοστό συμμετοχής του κόμβου στη συνολική κατανάλωση εκτιμάται από τη σχέση:

$$w_i = \alpha_i / \sum \alpha_i$$

- Η χάραξη των επιφανειών γίνεται με τεχνικές χωρικής ολοκλήρωσης, (π.χ. πολύγωνα Voronoi, γνωστά και ως πολύγωνα Thiessen).

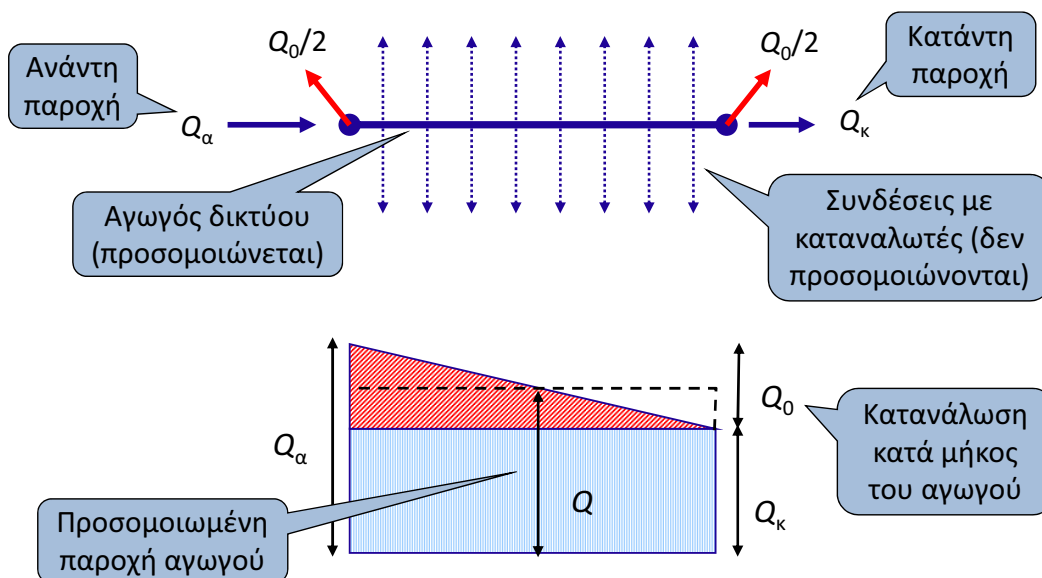
□ Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής:

- Θεωρείται ότι η διανεμόμενη παροχή κατά μήκος κάθε αγωγού ισομοιράζεται στον ανάντη και τον κατάντη κόμβο, οπότε κάθε αγωγός που συμβάλλει σε έναν κόμβο συμμετέχει στην κατανομή της κατανάλωσης με το ήμισυ του μήκους του.
- Η μέθοδος των μηκών είναι λιγότερο ακριβής σε σχέση με αυτή των επιφανειών, αλλά πιο απλή στην εφαρμογή της (δεν απαιτεί χωρικές επεξεργασίες)



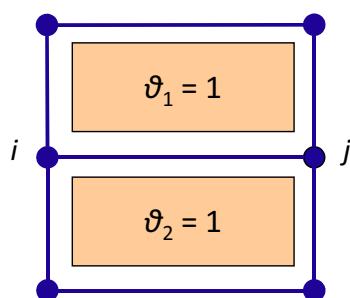
Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Η έννοια της ανηγμένης κατανάλωσης

- Με την υπόθεση ότι η διανεμόμενη παροχή ανά μέτρο μήκους του αγωγού είναι **ομοιόμορφη**, η συνολική **κατά μήκος κατανάλωση** Q_0 ισομοιράζεται στον ανάντη και κατάντη κόμβο, δηλαδή ανάγεται σε **σημειακή παροχή εξόδου**.

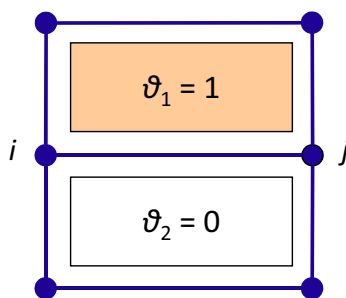


Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Εκτίμηση συντελεστών ανομοιομορφίας

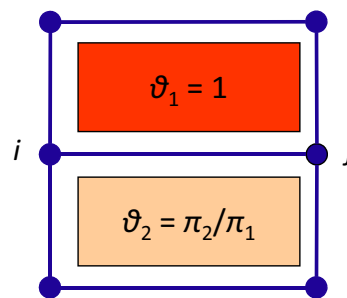
- Αν η κατανομή της κατανάλωσης για κάποια χρήση νερού δεν είναι ομοιόμορφη, τότε η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ζώνες διαφορετικής πυκνότητας $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N$.
- Αν π_1 είναι η περιοχή με την υψηλότερη πυκνότητα, τότε τίθεται (συμβατικά) $\vartheta_1 = 1$, $\vartheta_2 = \pi_2/\pi_1$, $\vartheta_3 = \pi_3/\pi_1$ κτλ.
- Ως μέτρο πυκνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πραγματική πυκνότητα του πληθυσμού (κάτοικοι/μέτρο επιφάνειας) ή πολεοδομικά μεγέθη όπως συντελεστές δόμησης και κάλυψης, ύψη κτηρίων, εμβαδά οικοπέδων, κτλ.



Αμφίπλευρη κατανάλωση, ομοιόμορφα κατανεμημένη:
 $\pi_1 = \pi_2 \rightarrow \vartheta_{ij} = 1$



Μονόπλευρη κατανάλωση:
 $\pi_2 = 0 \rightarrow \vartheta_{ij} = 0.5$



Αμφίπλευρη κατανάλωση, ανομοιόμορφα κατανεμημένη:
 $\pi_1 > \pi_2 \rightarrow \vartheta_{ij} = 0.5 (1 + \pi_2/\pi_1)$

Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Εκτίμηση συντελεστών κατανομής

- Μετρώνται τα πραγματικά μήκη των κλάδων του δικτύου, L_{ij} (που σε κάθε περίπτωση αποτελούν δεδομένο εισόδου του μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης).
- Εφόσον η κατανομή της χρήσης είναι ανομοιόμορφη, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ζώνες διαφορετικής πυκνότητας, για τις οποίες εκτιμάται ο αντίστοιχος συντελεστής ανομοιομορφίας.
- Για κάθε κλάδο (i, j) υπολογίζεται ο συντελεστής ανομοιομορφίας ϑ_{ij} ως ημιάθροισμα των συντελεστών των δύο περιοχών εκατέρωθεν του κλάδου.
- Εκτιμάται το ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j προς τον κλάδο (i, j) ως:

$$L_{ij}^* = 0.5 \vartheta_{ij} L_{ij}$$

- Το ολικό ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους μηκών όλων των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο, δηλαδή:

$$L_j^* = \sum L_{ij}^*$$

- Το ολικό ισοδύναμο μήκος της συγκεκριμένης χρήσης προκύπτει ως:

$$L^* = \sum L_j^*$$

- Ο συντελεστής κατανομής της ολικής παροχής της συγκεκριμένης χρήσης στον κόμβο j υπολογίζεται ως το κλάσμα:

$$w_j = L_j^* / L^*$$

- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τις υπόλοιπες κατανεμημένες χρήσεις νερού.

Κεφάλαιο 14: Διαστασιολόγηση αγωγών και έλεγχος πιέσεων δικτύων διανομής

Έλεγχος λειτουργίας δικτύων διανομής με χρήση μοντέλων υδραυλικής ανάλυσης

- ❑ Βασικό ζητούμενο της υδραυλικής ανάλυσης είναι ο έλεγχος της καλής υδραυλικής λειτουργίας του δικτύου διανομής, που αφορά στην τήρηση των περιορισμών που σχετίζονται με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου.
- ❑ Στα αστικά υδρευτικά δίκτυα διανομής, ο κύριος περιορισμός αφορά στις ελάχιστες πιέσεις που εξασφαλίζονται στους κόμβους, σε συνθήκες αιχμής της κατανάλωσης.
- ❑ Σε κάθε κόμβο, στην περιοχή του οποίου αναπτύσσονται κτήρια έως n ορόφων, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστο ύψος πίεσης $(p/\gamma)_{\min} = 4(n + 1)$ ή, ισοδύναμα, ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο $h_{\min} = z + 4(n + 1)$, όπου z το υψόμετρο εδάφους.
- ❑ Ο έλεγχος πιέσεων αφορά τόσο στη διαχείριση ενός υφιστάμενου δικτύου όσο και στον σχεδιασμό ενός νέου δικτύου (πρόβλημα διαστασιολόγησης).
- ❑ Για την υδραυλική ανάλυση και τον έλεγχο πιέσεων απαιτούνται:
 - η σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου του δικτύου (ορισμός κόμβων, κλάδων και σημείων γνωστού ενεργειακού υψομέτρου)·
 - ο ορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μοντέλου δικτύου (υψόμετρα κόμβων, στάθμες δεξαμενών, μήκη διαμέτρων και ισοδύναμη τραχύτητα αγωγών)·
 - η διαμόρφωση του σεναρίου φόρτισης του δικτύου·
 - ο επιμερισμός της συνολικής ζήτησης στους κόμβους (παροχές εξόδου)·
 - η επίλυση του προβλήματος με χρήση κάποιου μαθηματικού μοντέλου.

Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου

- Αφορά στον έλεγχο λειτουργίας υφιστάμενου δικτύου καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του.
- Απαιτεί απογραφή των στοιχείων του δικτύου και συλλογή των αρχείων των υδρομετρητών όλων των καταναλωτών, διαδικασία που είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, εφόσον δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή.
- Ειδικότερα, για την αποτύπωση των αγωγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές συσκευές ανίχνευσης (π.χ. ραντάρ).
- Ακολουθείται η τυπική διαδικασία σχηματοποίησης του μοντέλου, με τη διαφορά ότι η ζήτηση νερού και ο επιμερισμός της στους κόμβους προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές καταναλώσεις.
- Το μοντέλο που διαμορφώνεται πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου (ρύθμιση ή βαθμονόμηση μοντέλου).
- Η ρύθμιση γίνεται με δοκιμές, ώσπου η απόκλιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές (μετρούμενες) τιμές να είναι αποδεκτή. Αποκλίσεις αναμένονται, μεταξύ άλλων, για τους εξής λόγους:
 - ασυνέπεια μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της υλοποίησής τους (αβεβαιότητα στον καθορισμό των μηκών και διαμέτρων)
 - θραύσεις αγωγών και παράνομες συνδέσεις (σφάλματα εκτίμησης της ζήτησης)
 - αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των συντελεστών τραχύτητας.

Διαστασιολόγηση αγωγών νέου δικτύου διανομής

- Στο πρόβλημα υδραυλικής ανάλυσης δικτύου διανομής υπό σχεδιασμό:
 - οι διάμετροι των αγωγών είναι άγνωστες
 - τα σενάρια ζήτησης διαμορφώνονται με βάση υποθέσεις των μελλοντικών καταναλώσεων, στο χρονικό ορίζοντα της οικονομικής ζωής του δικτύου.
- Η διαστασιολόγηση των αγωγών του δικτύου βασίζεται σε μια **επαναληπτική διαδικασία**, σύμφωνα με την οποία ελέγχεται η υδραυλική λειτουργία του δικτύου εφαρμόζοντας διάφορες τιμές διαμέτρων, ώσπου να εντοπιστεί η οικονομικότερη διάταξη που ικανοποιεί τους περιορισμούς ελάχιστων πιέσεων.
- Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει τον προσδιορισμό ενός εύλογου αρχικού συνόλου διαμέτρων, με βάση την εμπειρία του μελετητή (προφανώς, θα πρέπει να έχει ήδη γίνει επιλογή του υλικού και της κλάσης των αγωγών).
- Γενικές αρχές επιλογής αρχικού συνόλου διαμέτρων:
 - Αν η τροφοδοσία του δικτύου γίνεται από μια κεντρική δεξαμενή, η επιλογή της διαμέτρου του κύριου τροφοδοτικού αγωγού (ΚΤΑ) γίνεται υποθέτοντας μια εύλογη κλίση ενέργειας (π.χ. 1.0%) ή μια εύλογη ταχύτητα ροής (π.χ. 1.0 m/s)
 - Διαμορφώνεται ένα πρωτεύον δίκτυο από αγωγούς μεγάλης διαμέτρου (αλλά μικρότερης του ΚΤΑ), που διατρέχει τους μεγάλους οδικούς άξονες και συνδέει μεταξύ τους τους πυροσβεστικούς κρουνοί και τους μεγάλους καταναλωτές
 - Για το δευτερεύον δίκτυο αγωγών μπορεί καταρχήν να εφαρμοστεί η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος (90 mm).

Διαμόρφωση σεναρίων φόρτισης

- Επειδή, γενικά, δεν μπορεί εκ των προτέρων να καθοριστεί ο πλέον δυσμενής κόμβος για κάθε συνδυασμό καταναλώσεων στους κόμβους, ούτε, αντίστροφα, ο πλέον δυσμενής συνδυασμός για κάθε κόμβο, σε κάθε δοκιμή διαμέτρων εξετάζονται πολλαπλά σενάρια καταναλώσεων, που αφορούν σε δυσμενείς συνθήκες ζήτησης.
- Με εξαίρεση ορισμένες πολύ μεγάλες πόλεις, η τυπική δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας είναι η περίπτωση πυρκαγιάς, οπότε προκύπτουν εξαιρετικά υψηλές σημειακές φορτίσεις εξαιτίας της ενεργοποίησης κρουνών.
- Σε αστικές περιοχές, συνήθως θεωρούνται συνθήκες **μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης**, και ταυτόχρονης ενεργοποίησης **δύο πυροσβεστικών κρουνών** (αν ωστόσο υπάρχουν βιομηχανικές ζώνες ή περιαστικά δάση, ελέγχεται μεγαλύτερος αριθμός κρουνών).
- Τα σενάρια πυρκαγιάς διαμορφώνονται κατά την κρίση του μηχανικού, για την κάλυψη δυσμενών περιπτώσεων, και οφείλουν να είναι ρεαλιστικά, ώστε να μην οδηγούν σε υπερβολικά δαπανηρό σχεδιασμό.
- Επειδή δεν είναι εφικτή η διερεύνηση όλων των δυνατών συνδυασμών κρουνών, εξετάζονται επιλεγμένα μόνο σενάρια πυρκαγιάς, όπως:
 - σενάρια με κρουνοί σε ακτινωτές απολήξεις·
 - σενάρια με κρουνοί στα υψηλά σημεία του δικτύου·
 - σενάρια που επιβαρύνουν διαφορετικές ομάδες κλάδων·
 - σενάρια με ενεργοποίηση γειτονικών κρουνών.

Σχόλια σχετικά με τους ελέγχους πιέσεων

- Η ανεπαρκής πίεση σε μια περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:
 - αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό)·
 - αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου (εναλλακτικά, τοποθέτηση παράλληλων αγωγών)·
 - τοποθέτηση αντλιών (αν έχουν εξαντληθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις).
- Εξαιτίας της τοπογραφίας, στα υψηλά σημεία του δικτύου που βρίσκονται κοντά στις δεξαμενές, είναι ορισμένες φορές αναπόφευκτο η τιμή της πίεσης να είναι μικρότερη της επιθυμητής. Στην περίπτωση αυτή, και εφόσον οι πιέσεις των υπόλοιπων κόμβων κυμαίνονται στα επιτρεπόμενα όρια, δεν θεωρείται γενική αστοχία του δικτύου.
- Στην πράξη, ζητούμενο του σχεδιασμού είναι η λειτουργία του δικτύου σε ένα μικρό, σχετικά, εύρος πιέσεων, της τάξης των 20-40 m.
- Εκτός των πιέσεων, πρέπει να ελέγχονται και οι ταχύτητες ροής των αγωγών, που, εμπειρικά, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 1.5-2.0 m/s. Διαφορετικά, προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες κλίσεις της πιεζομετρικής γραμμής, που έχουν ως συνέπεια μεγάλες απώλειες ενέργειας (μη οικονομικός σχεδιασμός).
- Κατά τη διαδικασία δοκιμών, στο πλαίσιο της μελέτης διαστασιολόγησης, ο έλεγχος ταχυτήτων βοηθά στον εντοπισμό των αγωγών του δικτύου που παρουσιάζουν υψηλές απώλειες ενέργειας και πρέπει να αντικατασταθούν κατά προτεραιότητα.
- Κατ' αντιστοιχία, αγωγοί με πολύ μικρές ταχύτητες πρέπει να αντικατασταθούν από αγωγούς μικρότερης διαμέτρου, μέχρι την επιτρεπόμενη ελάχιστη τιμή των 90 mm.

Διαστασιολόγηση αγωγών μέσω βελτιστοποίησης

- Έστω δίκτυο γνωστής τοπολογίας, αποτελούμενο από m αγωγούς άγνωστης διαμέτρου, με τιμές από ένα διακριτό σύνολο τιμών εμπορίου $[\varnothing_1, \varnothing_2, \dots, \varnothing_N]$, και αντίστοιχα μοναδιαία κόστη $[c_1, c_2, \dots, c_N]$. Το πρόβλημα διαστασιολόγησης μπορεί να αυτοματοποιηθεί, με διατύπωσή του σε όρους βελτιστοποίησης του συνολικού κόστους των αγωγών, ως εξής:

$$\min f = \sum_{j=1}^m c_j(d_j) L_j$$

$$\text{s.t. } d_j \in (\varnothing_1, \varnothing_2, \dots, \varnothing_N) \text{ για κάθε κλάδο } j$$

$$h_i - z_i \geq p_{i, \min} \text{ για κάθε κόμβο } i$$

- Η δυσκολία του προβλήματος οφείλεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά του:
 - το διακριτό πεδίο ορισμού των μεταβλητών ελέγχου (διάμετροι εμπορίου).
 - τη μη γραμμικότητα των περιορισμών ελάχιστης πίεσης.
 - το πολύ μεγάλο πλήθος των μεταβλητών ελέγχου και περιορισμών.
 - τον υπολογιστικό φόρτο που απαιτεί η αποτίμηση της συνάρτησης κόστους (προϋποθέτει υδραυλική επίλυση του δικτύου, για πολλαπλά σενάρια φόρτισης).
- Εφαρμόζονται εξειδικευμένες τεχνικές, κατάλληλες για μη κυρτούς χώρους, με πολλούς περιορισμούς και πολλά τοπικά ακρότατα (ευρετικοί γενετικοί αλγόριθμοι).
- Μαθηματικά βέλτιστες λύσεις μπορεί να παρουσιάζουν κατασκευαστικές δυσκολίες (π.χ. ακανόνιστες εναλλαγές διαμέτρων).

Κεφάλαιο 15: Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα

Επιμερισμός κόστους έργων

- Αρχικό κατασκευαστικό κόστος
 - Δαπάνες κατασκευής (υλικά, προσωπικό, μηχανήματα, ασφάλιση) } Άμεσες δαπάνες
 - Δαπάνες εξοπλισμού
 - Δαπάνες μελέτης, επίβλεψης και ελέγχου
 - Δαπάνες διοίκησης στη φάση κατασκευής
 - Δαπάνες αποζημιώσεων για την εξασφάλιση της δυνατότητας κατασκευής (απαλλοτριώσεις) και την όχληση που προκαλείται (δουλεία) } Έμμεσες δαπάνες
 - Αξία προσωρινών έργων και εγκαταστάσεων
- Ενδιάμεσο κατασκευαστικό κόστος (αν απαιτείται)
 - Δαπάνες αντικατάστασης εξοπλισμού
 - Δαπάνες (προβλέψιμων) επεκτάσεων
- Κατανεμημένο (ετήσιο) κόστος
 - Δαπάνες λειτουργίας (αξιοποίηση του έργου, π.χ. ενέργεια, καύσιμα κτλ.)
 - Δαπάνες συντήρησης και διοίκησης (διατήρηση έργου σε λειτουργική κατάσταση)
 - Λοιπές δαπάνες (π.χ. ασφάλιση, φόροι κτλ – αν απαιτούνται)
- Συνολικό κόστος
 - Αναγωγή συνιστωσών του κόστους στην ίδια χρονική βάση
 - Συνολικό κόστος = αρχικό + ενδιάμεσο + κατανεμημένο – υπολειμματική αξία

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα

153

Τρόποι προσδιορισμού κόστους και οφέλους

- **Δαπάνες κατασκευής:**
 - Σε προκαταρκτική φάση, ως ενιαίο ποσό (lump-sum) με βάση την εμπειρία από παρόμοια έργα
 - Στη φάση οριστικής μελέτης, με τιμές μονάδας με βάση
 - ανάλυση τιμών
 - προμέτρηση ποσοτήτων
 - Μετά την κατασκευή, από τους πίνακες δαπανών
- **Δαπάνες εξοπλισμού**
 - ως ενιαίο ποσό, μετά από έρευνα αγοράς
 - με τιμές μονάδας (π.χ. ανά kW εγκατεστημένης ισχύος)
- **Έμμεσες δαπάνες**
 - ως ποσοστό των άμεσων δαπανών
- **Κατανεμημένο κόστος:**
 - Δαπάνες λειτουργίας: μετά από εκτίμηση των ποσοτήτων υλικών και εργασιών που απαιτούνται και εφαρμογή τιμών μονάδας
 - Δαπάνες συντήρησης και διοίκησης:
 - ως ποσοστό του αρχικού κόστους, ή
 - με εφαρμογή συντελεστών κόστους (τιμή μονάδας) από παρόμοια έργα
- **Όφελος υδροδότησης:**
 - Με βάση το κόστος υποκατάστασης με άλλο έργο υδροδότησης·
 - Με βάση τρέχουσες τιμές κατανάλωσης υδρευτικού νερού·
 - Με βάση εκτίμηση της τιμής που οι καταναλωτές θα πλήρωναν με προθυμία (willingness-to-pay).
- **Περιβαλλοντικό κόστος και όφελος περιβαλλοντικής προστασίας ή αναβάθμισης:**
δεν υπάρχει καθιερωμένη μεθοδολογία.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα

154

Ενδεικτικά μοναδιαία μεγέθη κόστους και οφέλους (τιμές 2014)

- **Υδρευτική χρήση**
 - Τιμή πώλησης νερού ΕΥΔΑΠ (οικιακή χρήση/χαμηλή κατανάλωση): ~0.40 €/m³
 - Κόστος νερού από φράγμα Ευήνου (μόνο κατασκευαστικό κόστος φράγματος και σήραγγας): 0.06 €/m³
 - Κόστος αδιύλιστου νερού συνολικού υδροσυστήματος της ΕΥΔΑΠ⁽¹⁾: 0.15 €/m³
 - Κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού: 0.80-3.00 €/m³
 - Κόστος μεταφοράς νερού με πλωτά μέσα σε ελληνικά νησιά: 1.50-7.00 €/m³
 - Τυπικό κόστος νερού από λιμνοδεξαμενή χωρητικότητας 200 000 m³: 4.40 €/m³
- **Οικονομικά μεγέθη ενέργειας**
 - Τιμή πώλησης ενέργειας ΔΕΗ (οικιακή χρήση/χαμηλή κατανάλωση): 0.095 €/kWh
 - Τιμή πώλησης ενέργειας ΔΕΗ (νυχτερινή χρέωση): 0.065 €/kWh
 - Όφελος ενέργειας από μικρό υδροηλεκτρικό έργο: 0.073 €/kWh (N. 3468/2006)

(1) Μακρόπουλος, Χ., Δ. Δαμίγος, Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, και Α. Μπενάρδος, Συνοπτική έκθεση και τελικά συμπεράσματα, *Κοστολόγηση αδιύλιστου νερού για την ύδρευση της Αθήνας*, 32 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2010 (www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1099/).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, *Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα*

155

Τεχνικο-οικονομική ανάλυση: Εισαγωγή

- **Θεμελιώδεις ορισμοί:**
 - *Τεχνικο-οικονομική ανάλυση*: Διαδικασία αποτίμησης και οικονομικής σύγκρισης διάφορων εναλλακτικών έργων με στόχο την επιλογή του καταλληλότερου.
 - *Ωφέλιμη (ή οικονομική) ζωή*: Ο χρόνος μέσα στον οποίο το έργο προβλέπεται να λειτουργήσει ωφέλιμα, εξυπηρετώντας το σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε. Πέραν της ωφέλιμης ζωής και ενόσω διαρκεί ακόμη η φυσική ζωή του έργου, η λειτουργία του έργου γίνεται ανασφαλής ή αντιοικονομική.
- **Προϋποθέσεις οικονομικής σύγκρισης:**
 - Εκτίμηση και επιμερισμός του κόστους των τεχνικά εφικτών λύσεων.
 - Αναγωγή των συνιστωσών του κόστους στην ίδια χρονική βάση – Συνήθως όλες οι συνιστώσες μετατρέπονται σε νομισματική αξία στον παρόντα χρόνο, γνωστή ως *παρούσα αξία*.
- **Αρχικές παράμετροι προς καθορισμό:**
 - *Επιτόκιο αναγωγής*: Εκτιμάται με βάση το πραγματικό αποπληθωρισμένο κόστος μακροπρόθεσμου δανεισμού του δημοσίου στην εσωτερική και τις διεθνείς αγορές. Αυτό το επιτόκιο συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4% και 6%, ενώ αν συνυπολογιστεί και ο επιχειρηματικός κίνδυνος μπορεί να αυξηθεί μέχρι 8%.
 - *Χρόνος απόσβεσης* (χρόνος στον οποίο θα γίνει η απόσβεση των κεφαλαίων): Λαμβάνεται ίσος με την ωφέλιμη ζωή του έργου ή της κυρίαρχης συνιστώσας του (εφόσον διαφορετικές συνιστώσες έχουν διαφορετική ωφέλιμη ζωή).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, *Οικονομικά στοιχεία για υδρευτικά έργα*

156

Ωφέλιμη ζωή (σε έτη) διάφορων συνιστωσών υδροσυστημάτων

Έργα Πολιτικού Μηχανικού

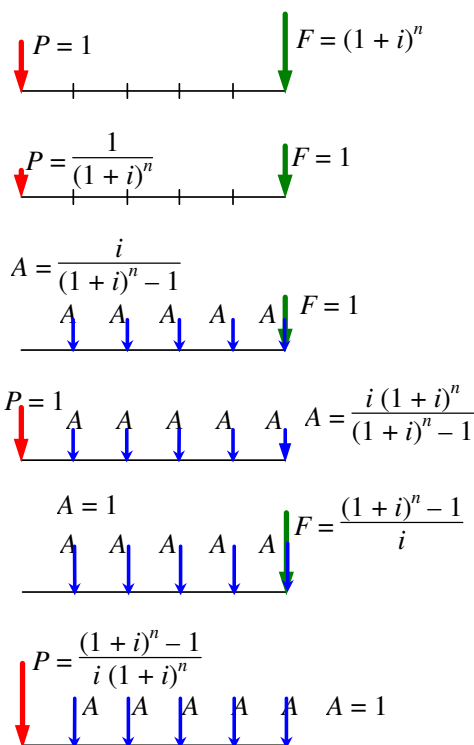
□ Φράγματα, διώρυγες	50
□ Δομικές κατασκευές, υδραυλικές κατασκευές	50
□ Σήραγγες	100
□ Δίκτυα διανομής	40-50
□ Χαλύβδινες δεξαμενές	30

Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

□ Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος	50
□ Στρόβιλοι και γεννήτριες	35
□ Αεριοστρόβιλοι	25
□ Μετασχηματιστές	25
□ Αντλίες	25
□ Βοηθητικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	35
□ Γεννήτριες diesel χαμηλής ταχύτητας	20
□ Γεννήτριες diesel υψηλής ταχύτητας	10

Χρονική αναγωγή οικονομικών μεγεθών

P : παρόν κεφάλαιο – F : τελικό κεφάλαιο – A : δόση – i : επιτόκιο – n : χρονική περίοδος



Συντελεστής ανατοκισμού (μιας δόσης)– (Single-payment) compound-amount factor

$$\frac{F}{P} = (1 + i)^n$$

Συντελεστής προεξόφλησης ή συντελεστής παρούσας αξίας (μιας δόσης) – (Single-payment) present-worth factor

$$\frac{P}{F} = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

Συντελεστής χρεολυσίου – Sinking-fund factor

$$\frac{A}{F} = \frac{i}{(1 + i)^n - 1}$$

Συντελεστής απόσβεσης κεφαλαίου – Capital-recovery factor

$$\frac{A}{P} = \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Συντελεστής ανατοκισμού ίσων δόσεων – Uniform series compound-amount factor

$$\frac{F}{A} = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Συντελεστής παρούσας αξίας ίσων δόσεων – Uniform series present-worth factor

$$\frac{P}{A} = \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}$$

Ανάλυση οφέλους-κόστους (benefit-cost analysis)

- Διαδικασία οικονομικής σύγκρισης του κόστους και του οφέλους μιας ή περισσότερων εναλλακτικών διατάξεων ενός έργου, με στόχο την τεκμηρίωση της σκοπιμότητας κατασκευής του έργου και την επιλογή της καταλληλότερης διάταξης.

- Συντελεστής οφέλους-κόστους (ή συντελεστής ωφελιμότητας – benefit-cost ratio):

$$B/C = (\text{παρούσα αξία οφέλους}) / (\text{παρούσα αξία κόστους})$$

- Περιθώριος συντελεστής οφέλους-κόστους (marginal or incremental benefit-cost ratio):

$$\Delta B/\Delta C = (B_j - B_i) / (C_j - C_i)$$

όπου B_i και C_i η παρούσα αξία του οικονομικού οφέλους και κόστους, αντίστοιχα, της εναλλακτικής διάταξης i , και B_j και C_j τα αντίστοιχα μεγέθη της διάταξης αναφοράς j .

- Κριτήριο τεκμηρίωσης της οικονομικής σκοπιμότητας του έργου

$$B/C > 1$$

- Κριτήριο επιλογής της καταλληλότερης διάταξης:

- Επιλέγεται η διάταξη με το μεγαλύτερο B/C
- Διατάσσονται οι εναλλακτικές διατάξεις με $B/C > 1$ κατά αύξουσα σειρά κόστους και επιλέγεται η διάταξη με το μεγαλύτερο δυνατό κόστος που παράλληλα εμφανίζει $\Delta B/\Delta C > 1$ σε σχέση με την προηγούμενή της.

Τελικές παρατηρήσεις

- **Αθροιστική ιδιότητα οφέλους-κόστους συνιστωσών υδροσυστήματος:** Το όφελος και κόστος ενός υδροσυστήματος που αποτελείται από επιμέρους συνιστώσες-έργα είναι ίσο με το άθροισμα των αντίστοιχων μεγεθών των επιμέρους έργων.
- **Αθροιστική ιδιότητα οφέλους-κόστους πολλαπλών στόχων:** Το συνολικό όφελος ενός υδροσυστήματος που εξυπηρετεί πολλούς επιμέρους στόχους είναι ίσο με το άθροισμα των τιμών του οφέλους των επιμέρους στόχων. Εφόσον το κόστος μπορεί να επιμεριστεί στους επιμέρους στόχους, η ίδια ιδιότητα ισχύει και για το κόστος.
- **Μη οικονομικές ωφέλειες υδροσυστημάτων:** Υδροσυστήματα που κυρίως αποσκοπούν στην ανάπτυξη και εκμετάλλευση υδατικών πόρων ή/και στην προστασία από τις πλημμύρες έχουν και άλλες θετικές επιπτώσεις που είναι δύσκολο ή αδύνατο να αναχθούν σε οικονομικά μεγέθη. Μερικά απ' αυτά είναι:
 - Αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος
 - Βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και της ποιότητας ζωής του πληθυσμού
 - Ανάπτυξη εθνικής οικονομίας (αύξηση ΑΕΠ, βελτίωση παραγωγής αγαθών & υπηρεσιών)
 - Βελτίωση της απασχόλησης
 - Βελτίωση των δημογραφικών συνθηκών
- Με αυτή τη λογική είναι πιθανή η ανάπτυξη υδροσυστημάτων, ακόμη και αν το οικονομικό όφελος υπολείπεται του κόστους (συντελεστής ωφελιμότητας < 1), μετά από πολιτική συνεκτίμηση των μη οικονομικών ωφελειών. Αντίστροφα, είναι πιθανή η μη κατασκευή οικονομικά ευνοϊκών έργων, όταν προκαλούν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή προβλήματα κοινωνικής αποδοχής.