

Αστικά Υδραυλικά Έργα

Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα

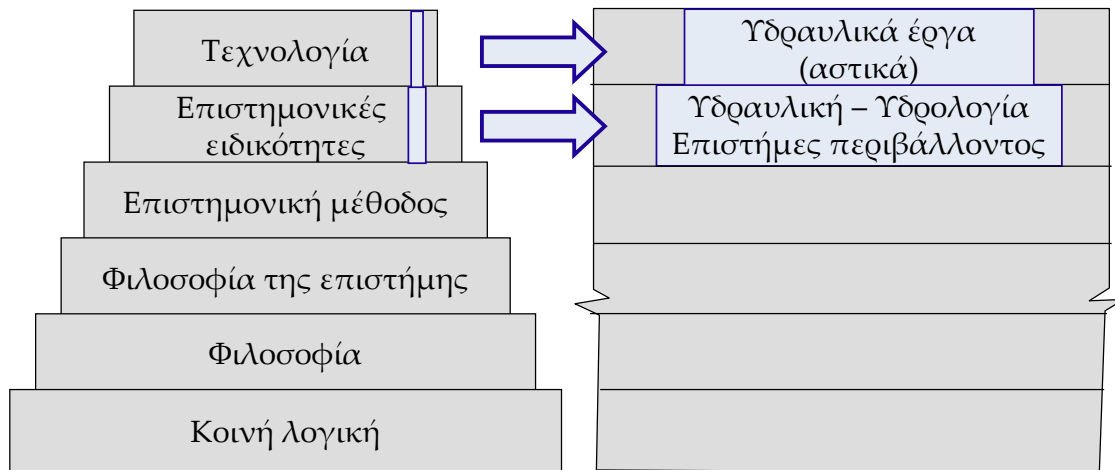
Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αντικείμενο

Αστικά υδραυλικά έργα

Υδρευτικά έργα (υδροδότηση, δίκτυα διανομής)
Αποχετευτικά έργα (όμβρια, ακάθαρτα)

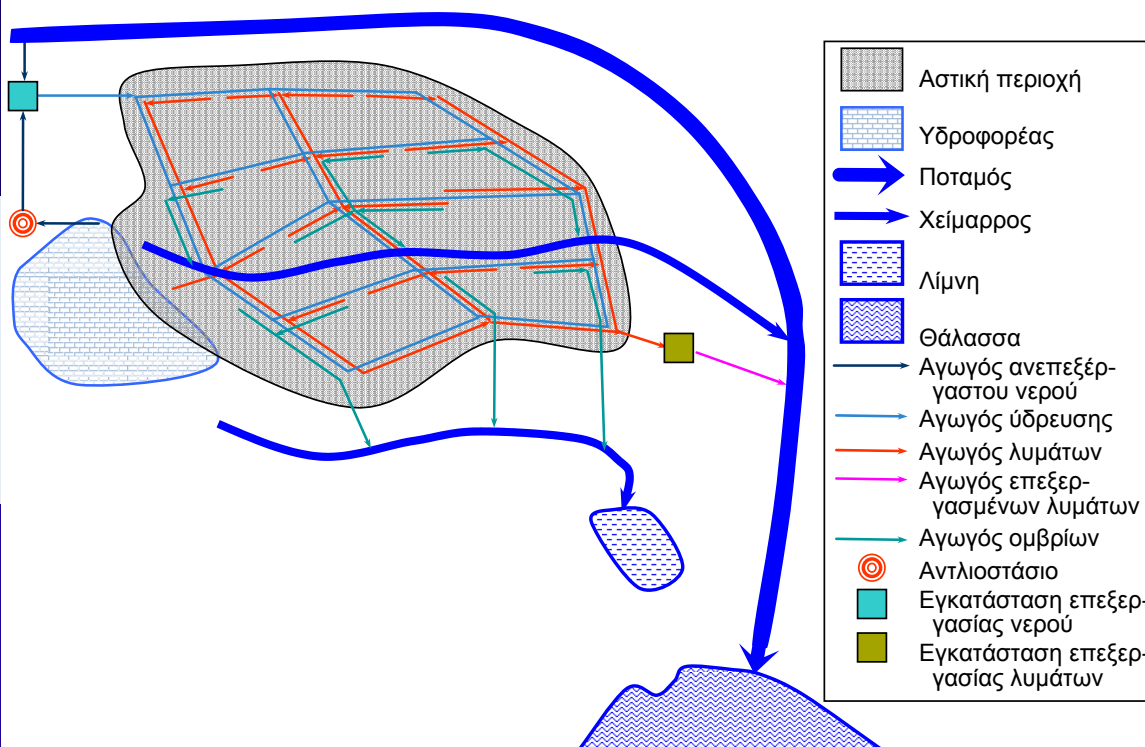
Τα αστικά υδραυλικά έργα στο γενικό επιστημονικό και τεχνολογικό πλαίσιο



Το επιστημονικο-τεχνολογικό οικοδόμημα
Πηγή: H.G. Gauch, Jr., *Scientific Method in Practice*, Cambridge, 2003

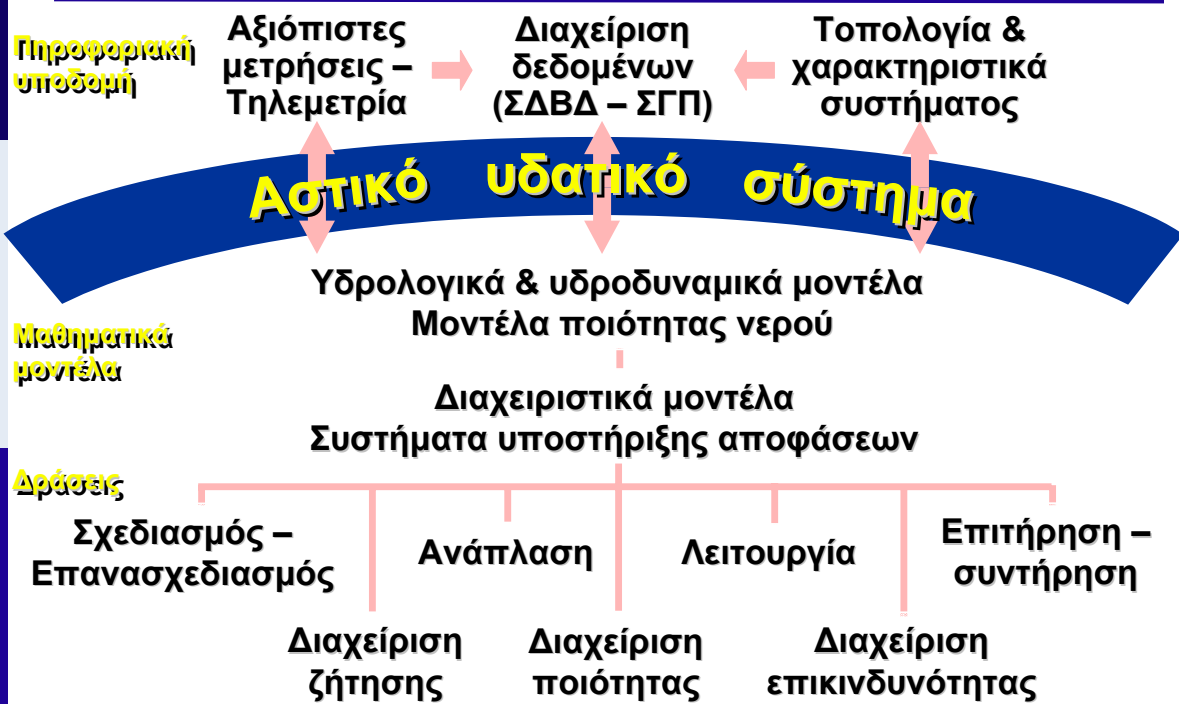
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 3

Συνιστώσες αστικού υδατικού συστήματος



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 4

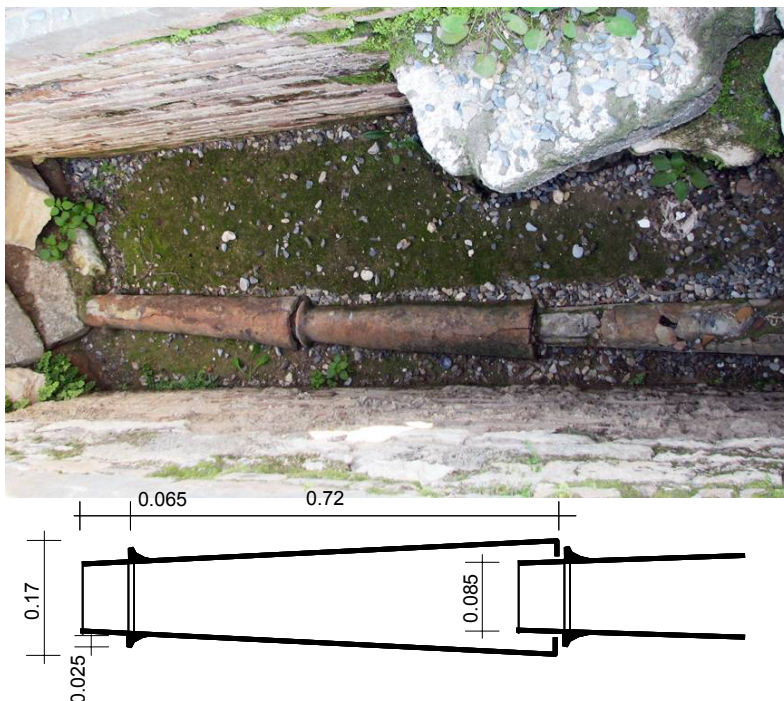
Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης της διαχείρισης αστικού υδατικού συστήματος



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 5

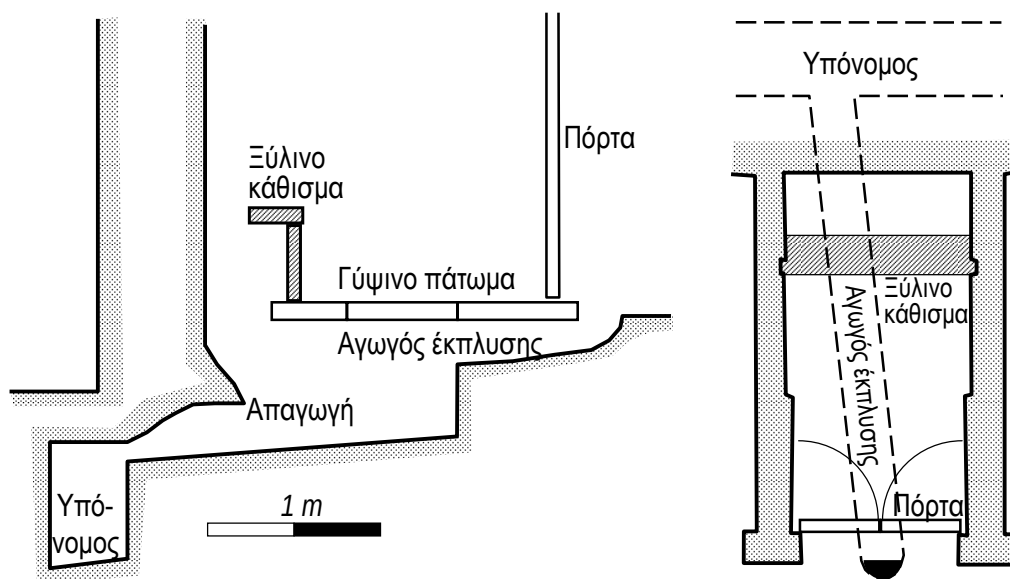
Σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης υδατικών συστημάτων

Μινωϊκός πολιτισμός – Υδρευτικό δίκτυο στο ανάκτορο της Κνωσού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 7

Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση τουαλέτας στο ανάκτορο της Κνωσού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 8

Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση ομβρίων στο ανάκτορο της Κνωσού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 9

Μινωικός πολιτισμός: Αποχέτευση ομβρίων στην Αγία Τριάδα

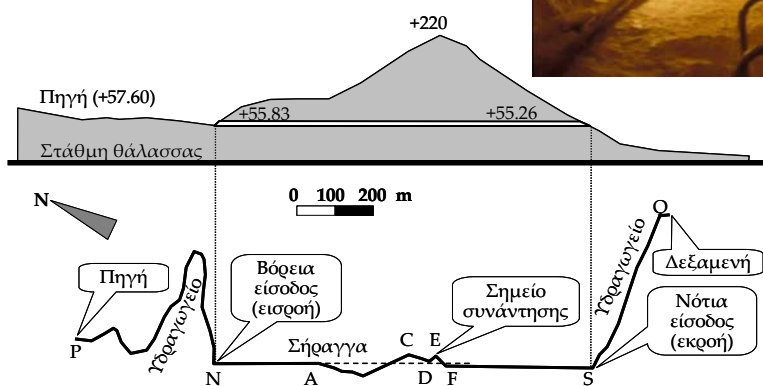


Ο ιταλός συγγραφέας Angelo Mosso, που επισκέφτηκε την περιοχή στις αρχές του 20ου αιώνα, κατά τη διάρκεια μιας έντονης βροχόπτωσης, παρατήρησε ότι οι αγωγοί λειτουργούσαν τέλεια και κατέγραψε το περιστατικό αναφέροντας: «Αμφιβάλλω αν υπάρχει άλλη περίπτωση αποχετευτικού συστήματος ομβρίων που να λειτουργεί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

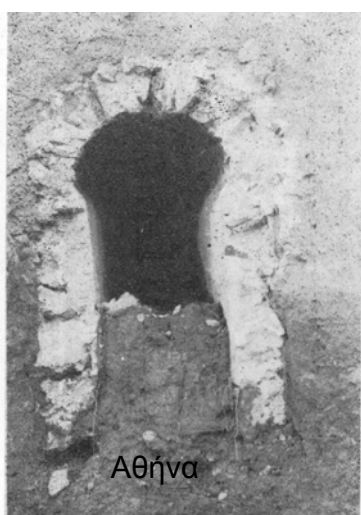
Gray, H. F. (1940). Sewerage in Ancient and Medieval Times, *Sewage Works Journal*, 12 (5), 939 - 946.

Αρχαϊκή περίοδος: Το υδραγωγείο της Σάμου



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 11

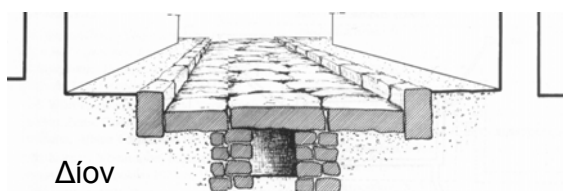
Κλασική περίοδος: Δίκτυα ομβρίων



Αθήνα



Ερέτρια



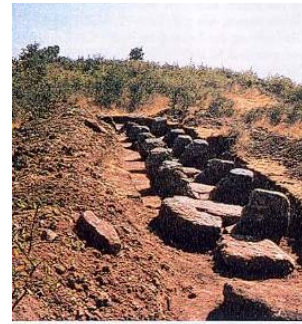
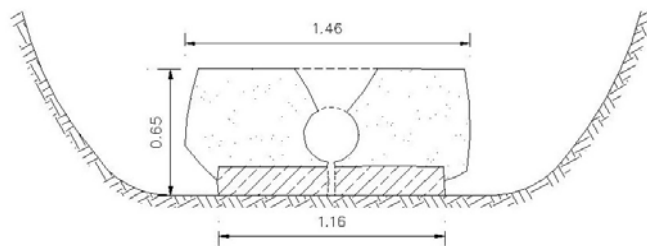
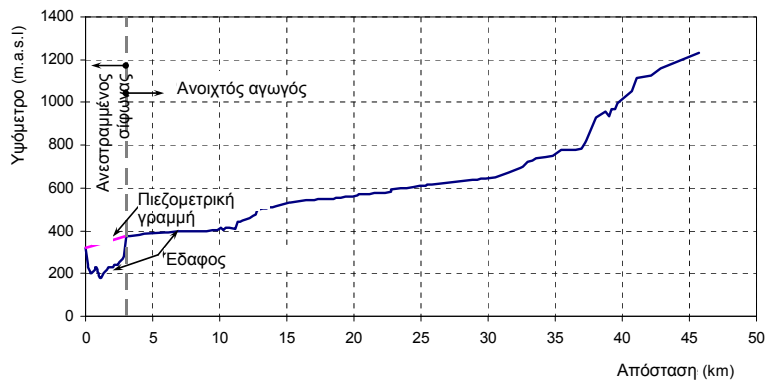
Δίον



Κασσώπη

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 12

Ελληνιστική περίοδος: Το υδραγωγείο της Περγάμου



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 13

Ρωμαϊκός πολιτισμός: υδραγωγεία

Nîmes (αρχαία Νεμανσός, Υδραγωγείο Pont du Gard)



Ρώμη (Porta Maggiore)

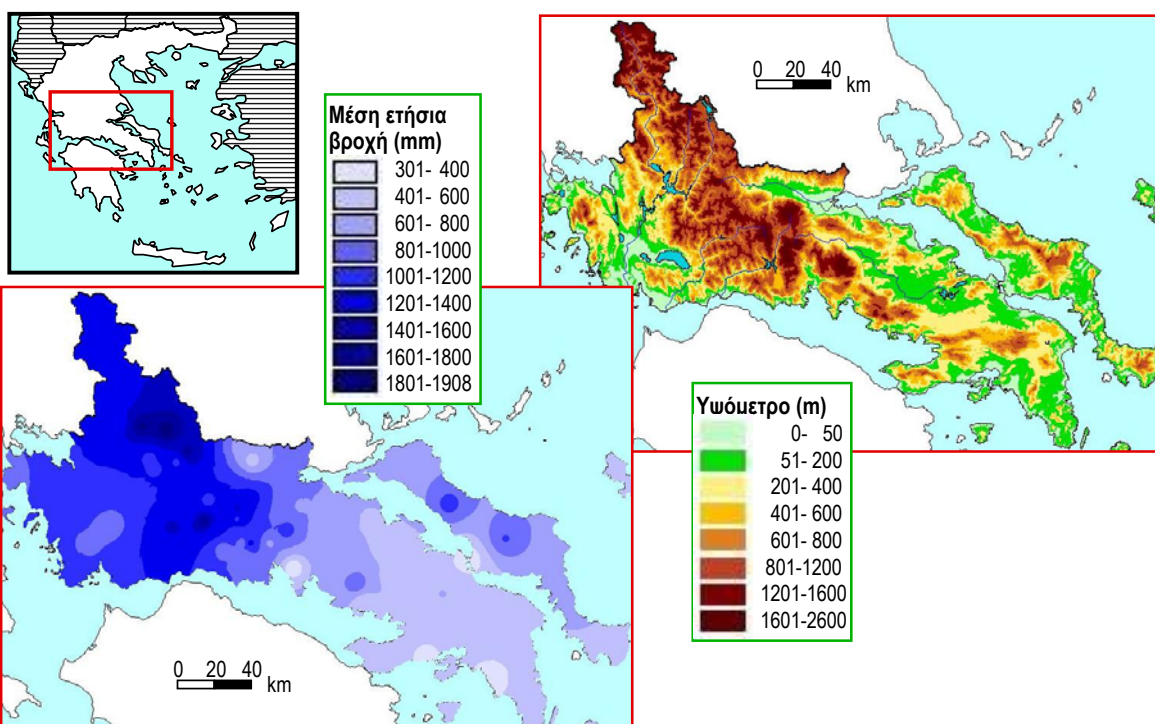


Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εισαγωγή στα αστικά υδραυλικά έργα 14

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

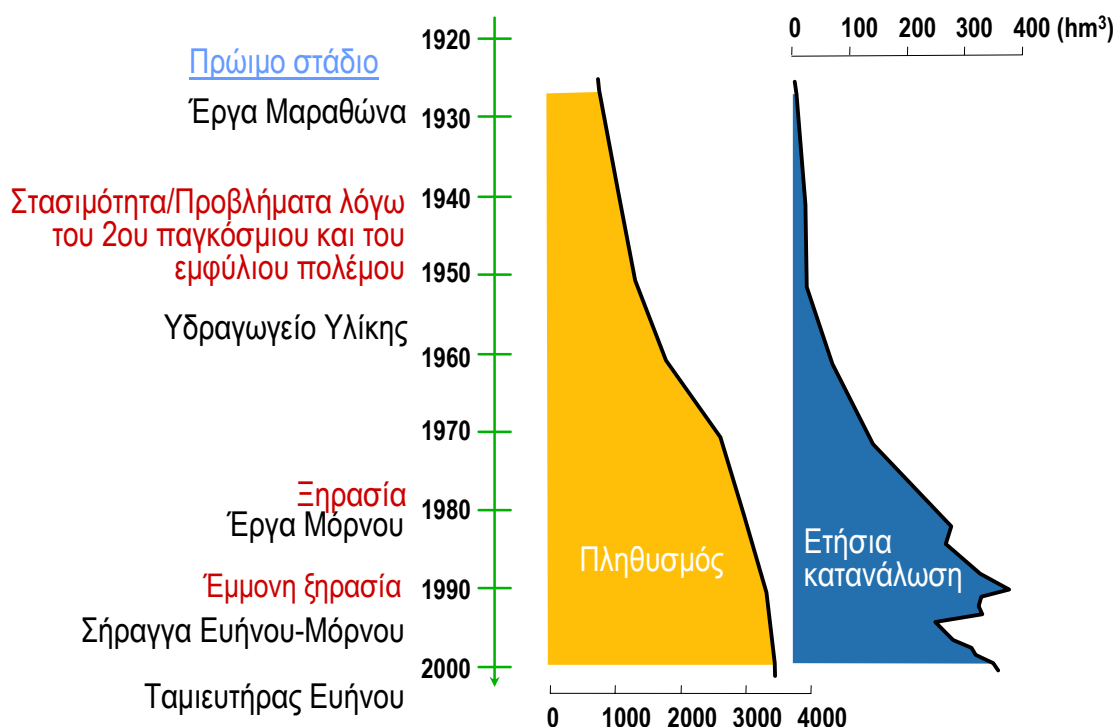
Τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες



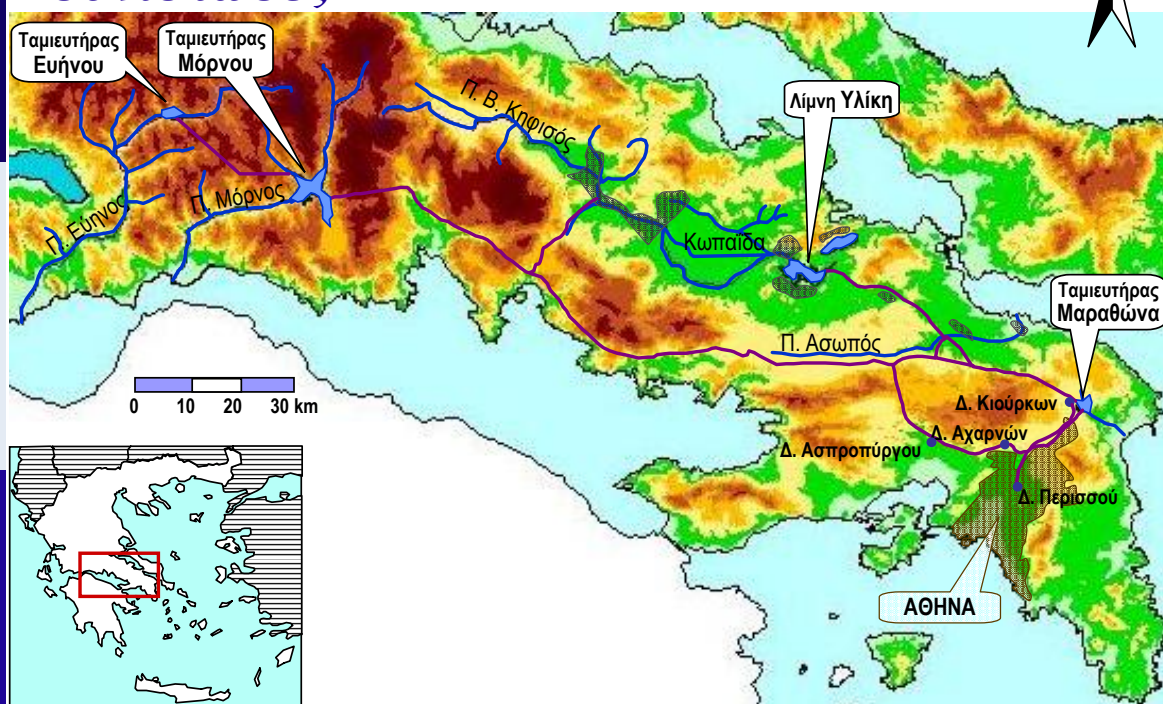
Η ύδρευση της Αθήνας στην αρχαιότητα

- 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), ιδιόκτητα πηγάδια ή και πηγάδια γειτόνων σε ποσότητα 40 L ημερησίως (δύο δοχείων των 6 χών 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).

Σύγχρονη Αθήνα: Εξέλιξη – ορόσημα



Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας: Κύριες συνιστώσες



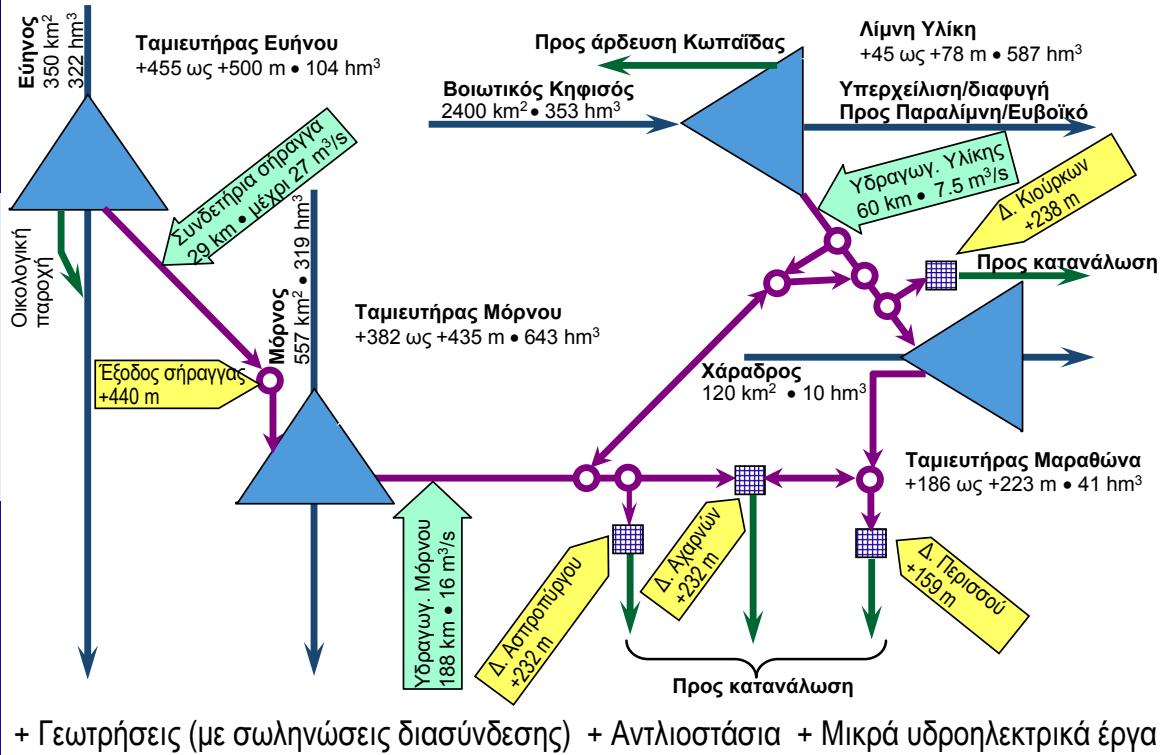
Κατηγορίες υδατικών πόρων

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

Επιφάνεια Εισροή Αντλητική ικανότητα

Υπερχείλιση Διαρροή Αντληση

Δομή του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας



Το Πεισιστράτειο Υδραγωγείο

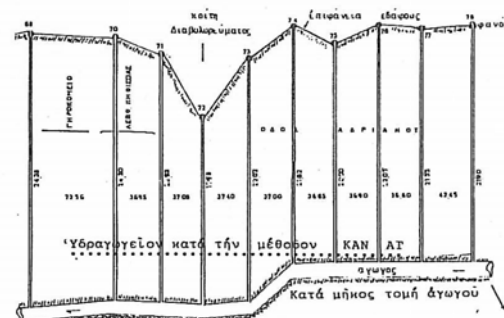


Τοπογραφικό υπόβαθρο:
Tassios, T.P., Water
supply of ancient Greek
cities, *Water Science and
Technology: Water Supply*,
7(1), 165-172, 2007.



Αρχαιότητα

Το Αδριάνειο υδραγωγείο



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



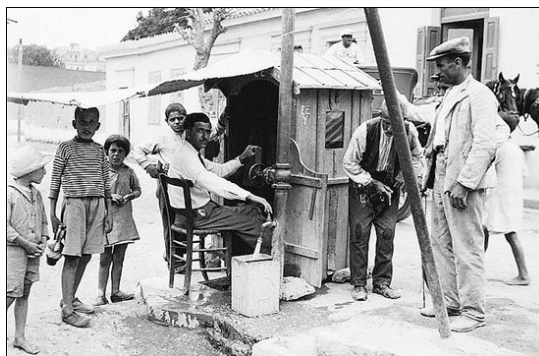
Αρχαιότητα

Νεότερη Αθήνα - πρώιμο στάδιο

Αντικατάσταση υδατογέφυρας Αδριάνειου
με ανεστραμμένο σίφωνα, 1929



Ορόσημα



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



Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Υδροσύστημα

Περισσότερες...

Φράγμα Μαραθώνα

Σήμερα



Κατασκευή φράγματος, 1928

Κατασκευή υπερχειλιστή, 1928

Πηγή: ΕΥΔΑΠ

Φράγμα Μαραθώνα (2)



Καταστροφική
πλημμύρα, 1926

Υπερχειλιστής σε
λειτουργία, 1941



Κατασκευή
Σήραγγας
Μπογιατίου,
1928

Εγκαίνια
Σήραγγας
Μπογιατίου,
1928



Υδροσύστημα

Προηγούμενες...

Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Λίμνη Υλίκη

Λίμνη Υλίκη και αντλιοστάσια



Πλωτά αντλιοστάσια Υλίκης



Κύριο Αντλιοστάσιο Υλίκης



Αντλιοστάσιο Κιούρκων



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Ταμιευτήρας και υδραγωγείο Μόρνου



Υδραγωγείο Μόρνου στους Δελφούς



Φράγμα & ταμιευτήρας Μόρνου

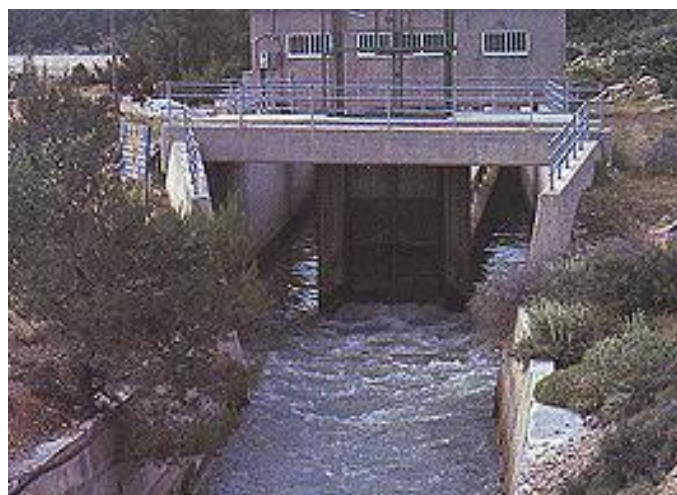
Υδραγωγείο Μόρνου στην Πεδιάδα Θηβών

Σίφωνας Διστόμου



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Έλεγχος υδραγωγείου Μόρνου

Κατασκευές ελέγχου ροής



Κέντρο εποπτείας και τηλεέλεγχου υδραγωγείου



Υδροσύστημα

Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Φράγμα και σήραγγα Ευήνου

Φράγμα Ευήνου
στη φάση της
κατασκευής,
1995-2000

Κατασκευή της
συνδετήριας
σήραγγας Ευήνου-
Μόρνου, 1995



Υδροσύστημα



Πηγή: ΕΥΔΑΠ



Διυλιστήρια Περισσού



Διυλιστήρια
Αχαρνών

Διυλιστήρια
Ασπροπύργου



Πηγή: ΕΥΔΑΠ

Υδροσύστημα

Αστικά Υδραυλικά Έργα

Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

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 Βαρβάρες)	Μερική κάλυψη - Λειτουργεί δοκιμαστικά με παροχή 2.0 m ³ /s
Καρδίτσα	Φράγμα Πλαστήρα	Λειτουργεί
Αγρίνιο	Φράγμα Καστρακίου	Λειτουργεί
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	Υπό κατασκευή
Ρόδος	Φράγμα Γαδουρά	Υπό κατασκευή

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 3

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 4

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)

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 5

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	Τετραχλωραιθένιο και τριχλωραιθένιο	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		

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 6

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	AK, XAM
*Αριθμός αποικιών στους 22°C και 37°C	XAM	Νάτριο	200 mg/L
*Αμμώνιο	0.50 mg/L	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	XAM
*Γεύση	AK, XAM	Ραδιενέργεια, τρίτιο	100 becquerel/L
Θευκά	250 mg/L	Ραδιενέργεια, ολική ενδεικτική δόση	0.1 mSv/έτος
*Θολότητα	AK, XAM	*Σίδηρος	200 $\mu\text{g/L}$
*Κολοβακτηριοειδή	0/100 mL	*Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	6.5 $\leq$ pH $\leq$ 9.5
*Κλωστρίδιο (Clostridium perfringens συμπεριλαμβανομένων των σπόρων)	0/100 mL	Χλωριούχα	250 mg/L
Μαγγάνιο	50 $\mu\text{g/L}$	*Χρώμα	AK, XAM

Συντομογραφίες: XAM: Χωρίς ασυνήθιστη μεταβολή, AK: Αποδεκτή στους καταναλωτές

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 7

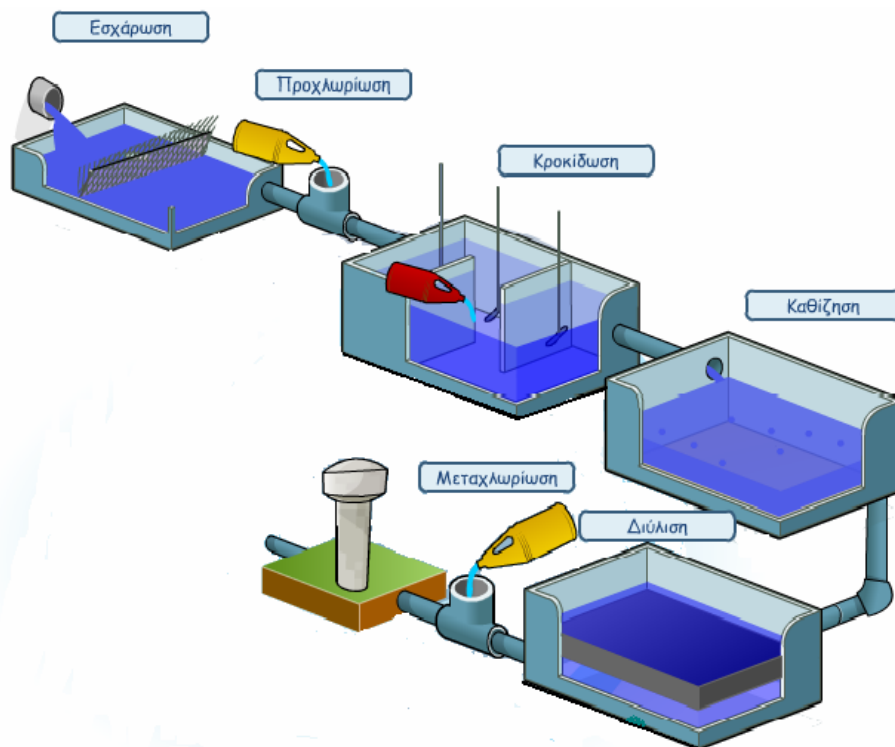
Ποιοτικές απαιτήσεις πόσιμου νερού: Επιπλέον μικροβιολογικές και φυσικοχημικές παράμετροι για συμπληρωματική παρακολούθηση

Παθογόνα βακτηρίδια ■ Σαλμονέλλες ■ Σταφυλόκοκκοι παθογόνοι, ■ Βακτηριοφάγοι των κοπράνων ■ Ιοί των εντέρων ■ E. coli O:157 ■ Καμπυλοβακτηρίδιο Βιολογικοί οργανισμοί: ■ Παρασιτικοί οργανισμοί (π.χ. κρυπτοσπορίδιο, giardia lamblia) ■ Φύκη ■ Άλλα μορφοποιημένα στοιχεία (ζωάρια)	<table> <tr> <th>Παράμετρος</th><th>Τιμή</th></tr> <tr> <td>PCB</td><td>0.50 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>PCT</td><td>0.10 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>Άργυρος</td><td>10 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>Φαινολικές ενώσεις (πλην πενταχλωροφαινόλης)</td><td>0.50 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>Υδρογονάνθρακες σε διάλυση ή σε γαλάκτωμα – Ορυκτέλαια</td><td>10 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>Επιφανειοδραστικοί παράγοντες</td><td>200 $\mu\text{g/L}$</td></tr> <tr> <td>Φωσφόρος (P₂O₅)</td><td>5 mg/L</td></tr> <tr> <td>Ξηρό υπόλειμμα</td><td>1500 mg/L</td></tr> <tr> <td>Κάλιο</td><td>12 mg/L</td></tr> <tr> <td>Υδρόθειο</td><td>Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά</td></tr> </table>	Παράμετρος	Τιμή	PCB	0.50 $\mu\text{g/L}$	PCT	0.10 $\mu\text{g/L}$	Άργυρος	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
Παράμετρος	Τιμή																						
PCB	0.50 $\mu\text{g/L}$																						
PCT	0.10 $\mu\text{g/L}$																						
Άργυρος	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

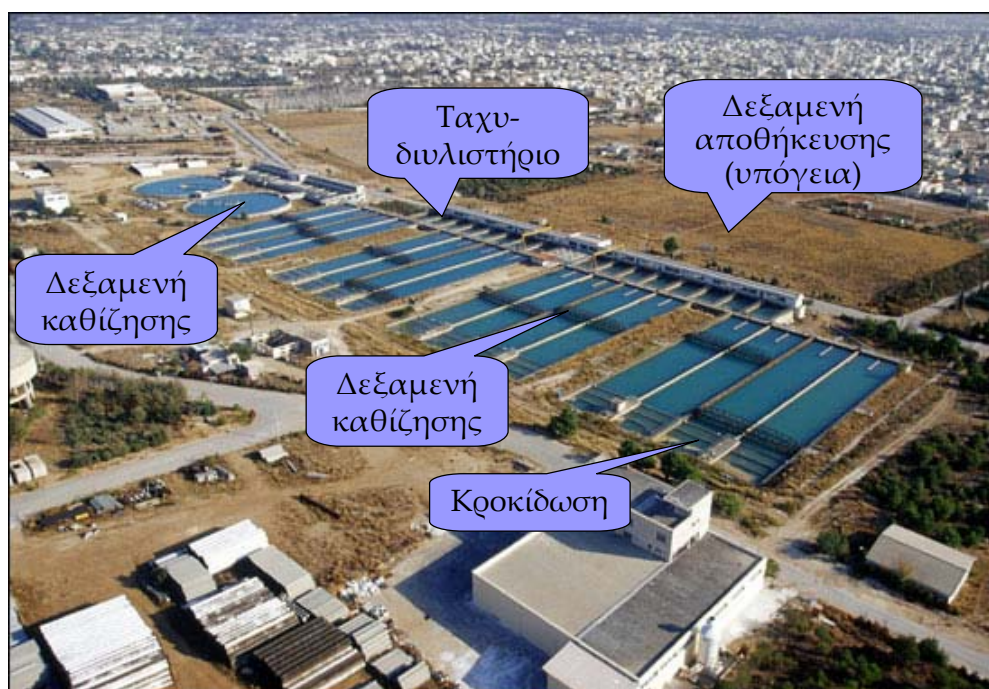
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 8

Τυπικές επεξεργασίες πόσιμου νερού



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 9

Τυπικές επεξεργασίες πόσιμου νερού: Εγκατάσταση επεξεργασίας νερού Αχαρνών



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και ποιότητα υδρευτικού νερού 10

Μη τυπικές διεργασίες πόσιμου νερού

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

Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αρχές μόνιμης ομοιόμορφης ροής

Ροή σε κλειστό αγωγό

Αρχή διατήρησης μάζας
(= συνέχεια)

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = V A$$

(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**

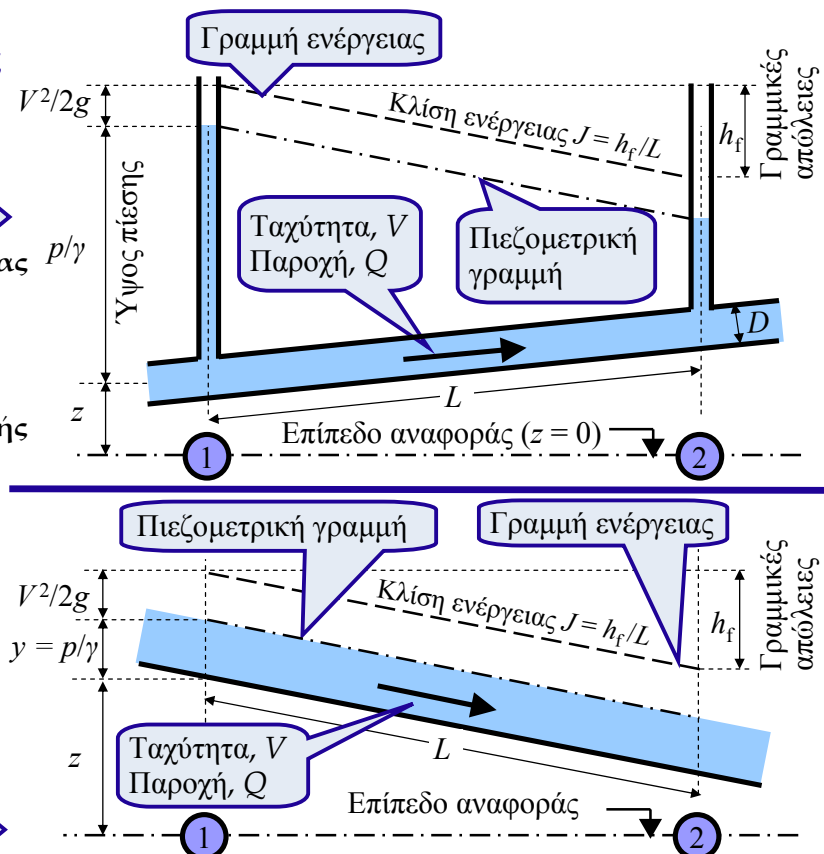
$$z_1 + p_1/\gamma + V_1^2/2g =$$

$$z_2 + p_2/\gamma + V_2^2/2g + h_f$$

και λόγω συνέχειας:

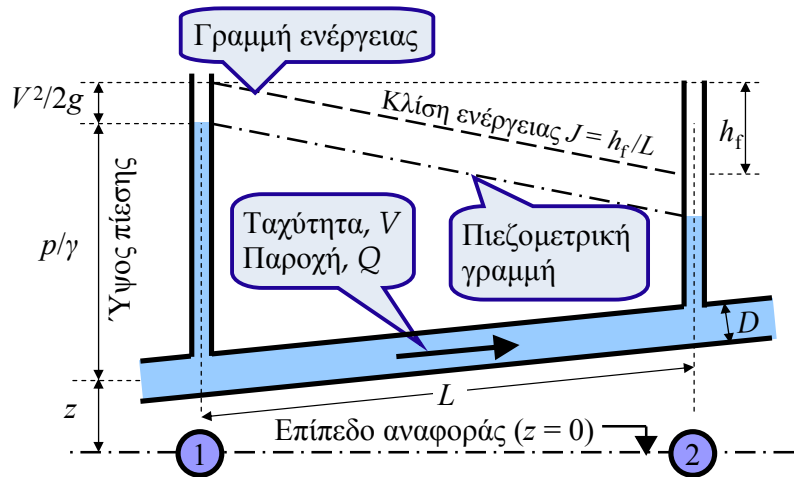
$$z_1 + p_1/\gamma = z_2 + p_2/\gamma + h_f$$

Ροή σε ανοιχτό αγωγό



Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε κλειστό αγωγό

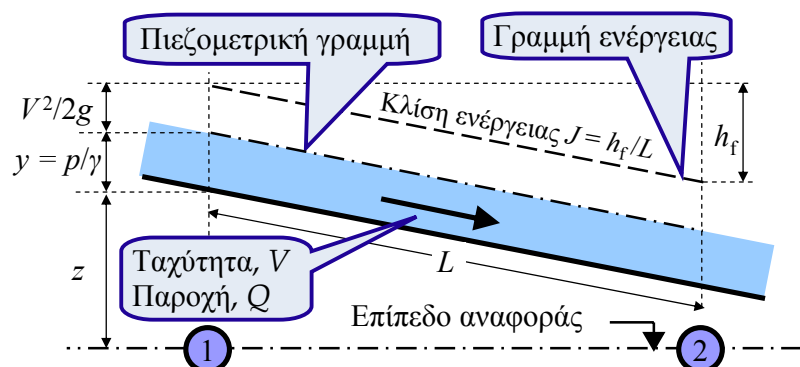
- Η διατομή αποτελεί καθαρά γεωμετρικό μέγεθος – δεν εξαρτάται από τα υδραυλικά μεγέθη (παροχή, ταχύτητα).
- Αντίθετα η κλίση ενέργειας είναι υδραυλικό μέγεθος (μεταβάλλεται με την παροχή).
- Κατά κανόνα οι σωλήνες είναι κυκλικής διατομής (κυλινδρικοί), κάτι που εξασφαλίζει:
 - την απλούστερη δυνατή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



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 3

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).



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 4

Γενικές αρχές για την εξίσωση 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:

$$T = B \sin \theta$$

όπου λήφθηκε υπόψη ότι οι υδροστατικές πιέσεις αλληλοαναιρούνται.

- Παίρνουμε υπόψη ότι

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

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

- Αντικαθιστώντας και κάνοντας πράξεις παίρνουμε

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

- Εξ άλλου η διατμητική τάση δίνεται και από τη σχέση

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

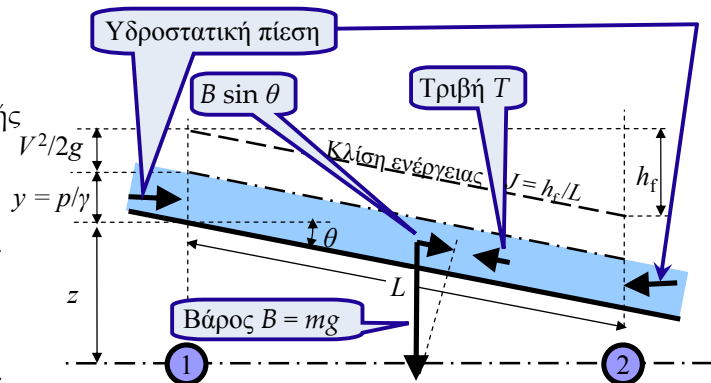
όπου C_f αδιάστατος συντελεστής τριβής.

- 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.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 5

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

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

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 διάταξη 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.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 6

Προσεγγιστικός απλουστευμένος υπολογισμός γραμμικών απωλειών

- Η εξίσωση Colebrook-White γράφεται ισοδύναμα

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

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)

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 7

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 :

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 8

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).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 9

Υπολογισμός των συντελεστών της γενικευμένης εξίσωσης Manning συναρτήσει της τραχύτητας

- Ορισμός της αδιαστατοποιημένης τραχύτητας ε_* :

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

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

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

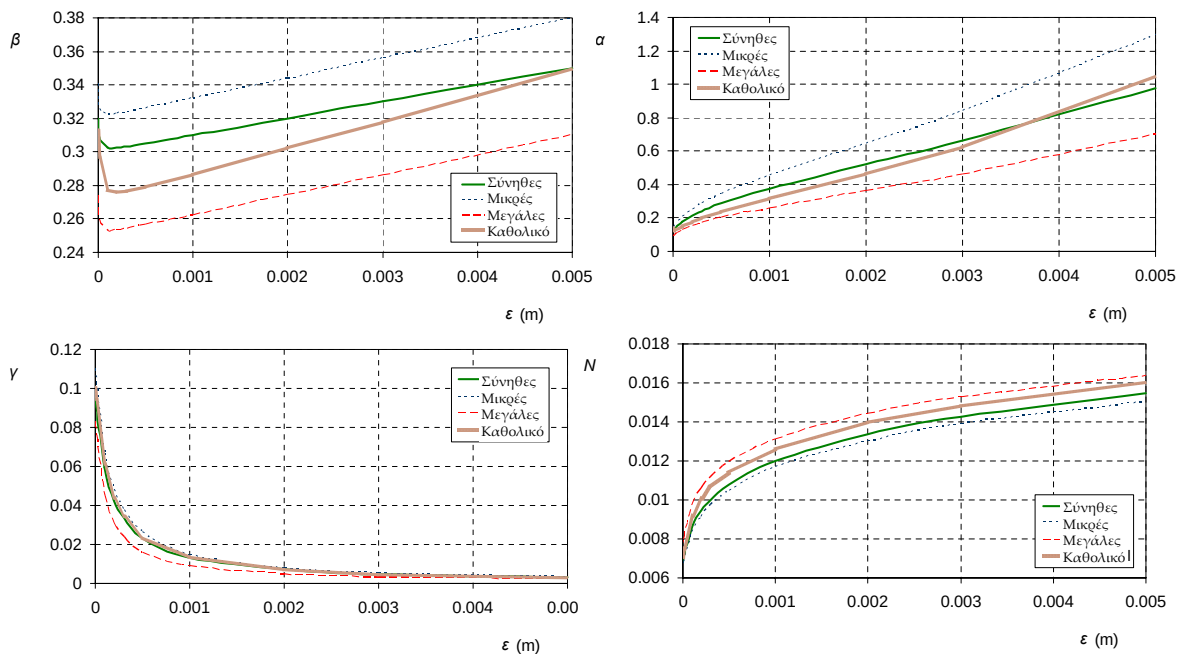
- **Καθολικό εύρος** ($0.05 \text{ m} \leq D \leq 10 \text{ m}$, $0.1 \text{ m/s} \leq V \leq 10 \text{ m/s}$)

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

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 10

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



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 11

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).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 12

Τιμές της τραχύτητας σχεδιασμού

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

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

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 13

Τοπικές απώλειες

- Πέραν των γραμμικών απωλειών, στα δίκτυα διανομής δημιουργούνται και τοπικές απώλειες, στις συνδέσεις των αγωγών και τις στροφές (**τυπικές τοπικές απώλειες**), καθώς 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, προσ αυξάνονται 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.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 14

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) 1.6 MPa (16 atm). (Ο καθορισμός της κλάσης των σωλήνων προκύπτει από άλλους σχεδιαστικούς παράγοντες που δεν συζητούνται εδώ.)
Για ασφαλή σχεδιασμό υποθέτουμε τραχύτητα $\varepsilon = 1 \text{ mm}$, λόγω του ενδεχομένου επικαθήσεων. Η αδιαστατοποιημένη τραχύτητα είναι $\varepsilon_* = \varepsilon / \varepsilon_0 = 1/0.05 = 20$. Θεωρώντας το σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων, οι συντελεστές της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι
$$\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon_* + 0.02/(1 + 6.8 \varepsilon_*) = 0.3 + 0.0005 \times 20 + 0.02/(1 + 6.8 \times 20) = 0.310,$$
$$\gamma = 0.096/(1 + 0.31 \varepsilon_*) = 0.096/(1 + 0.31 \times 20) = 0.0133,$$
$$N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon_*)^{0.16} = 0.00687 (1 + 1.6 \times 20)^{0.16} = 0.0120$$

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

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%.
Τελικώς επιλέγουμε σωλήνα πολυαιθυλενίου του εμπορίου 116k EÜÖ ονομαστικής διαμέτρου 400 mm με εσωτερική διάμετρο 341 mm > 337 mm.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 15

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 $D = 0.337 \text{ m}$ (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 $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$, 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,
$$D = [4^{3+\beta} N^2 Q^2 / (\pi^2 J^{1+\gamma})]^{1/(5+\beta)} = [4^{3+0.302} \times 0.0086^2 \times 0.1^2 / (\pi^2 \times 0.005^{1+0.059})]^{1/(5+0.302)} = 0.310 \text{ m},$$

δηλαδή, θα προέκυπτε μείωση της διαμέτρου κατά 9% (οι τύποι Darcy-Weisbach και Colebrook-White δίνουν $D = 0.308 \text{ m}$ – διαφορά < 1%).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 16

Παράδειγμα 2: Υπολογισμός γραμμικών απωλειών

- ❑ **Πρόβλημα:** Στο προηγούμενο 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 $Q = 60 \text{ L/s} = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$, $L = 10 \text{ km}$, $D = 341 \text{ mm}$ (από την επίλυση του προηγούμενου προβλήματος) ενώ η γεωμετρική κλίση είναι $J = 0.5\% = 0.005$, πράγμα που σημαίνει ότι διατίθεται γεωμετρικό ύψος $H = 0.005 \times 10\,000 = 50 \text{ m}$. Εφόσον το πρόβλημα αναφέρεται στην αρχή της περιόδου λειτουργίας του υδραγωγείου, θα δεχτούμε ισοδυναμική τραχύτητα $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$.
Όπως υπολογίσαμε προηγουμένως, για $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$ οι παράμετροι της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι $\beta = 0.302$, $\gamma = 0.059$, $N = 0.0086$. Κατά συνέπεια 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 $h_f = J L = 0.00117 \times 10\,000 = 11.73 \text{ m}$.
Κατά συνέπεια, υπάρχει ένα πλεόνασμα ενέργειας $50.0 - 11.73 = 38.27 \text{ m}$ που πρέπει να «σπάσει», δηλαδή να διατεθεί σε τοπικές απώλειες. Χρησιμοποιούμε για το σκοπό αυτό δικλείδα σε κατάλληλο άνοιγμα, ώστε $h_\tau = 38.27 \text{ m}$.
Η ταχύτητα που προκύπτει είναι $V = 4Q / \pi D^2 = 4 \times 0.06 / (\pi \times 0.341^2) = 0.657 \text{ m/s}$.
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 $(0.00117 - 0.00114)/0.00114 = 3\%$.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 17

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.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 18

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 19

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	426.4	409.2	388.4		
560	493.6	477.6	458.4			
630	555.2	537.4	515.6			

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αρχές υδραυλικής στα αστικά υδραυλικά έργα 20

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 αμιαντοτσιμέντο 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 αμιαντοτσιμέντο διατίθενται σε διαμέτρους 100-1000 mm με διαβαθμίσεις ανά 50 mm μέχρι τη διάμετρο των 500 mm και ανά 100 mm για τις μεγαλύτερες.

Αστικά Υδραυλικά Έργα

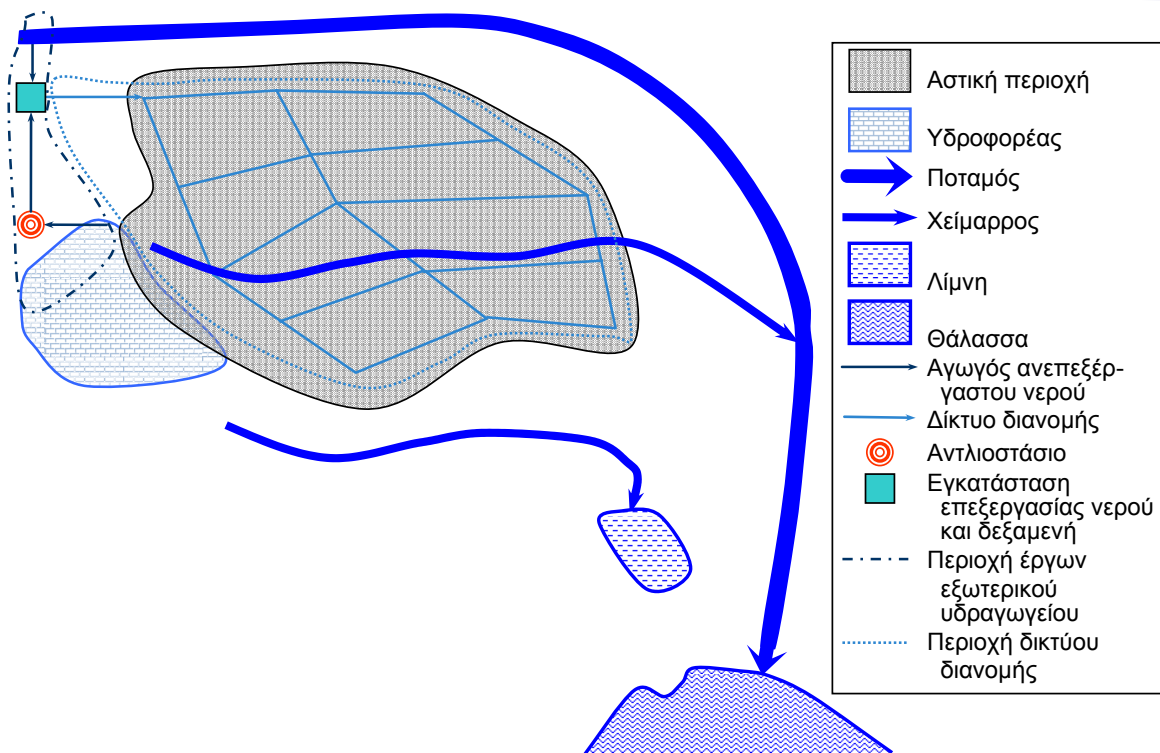
Γενική διάταξη υδρευτικών έργων

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Γενικές παρατηρήσεις

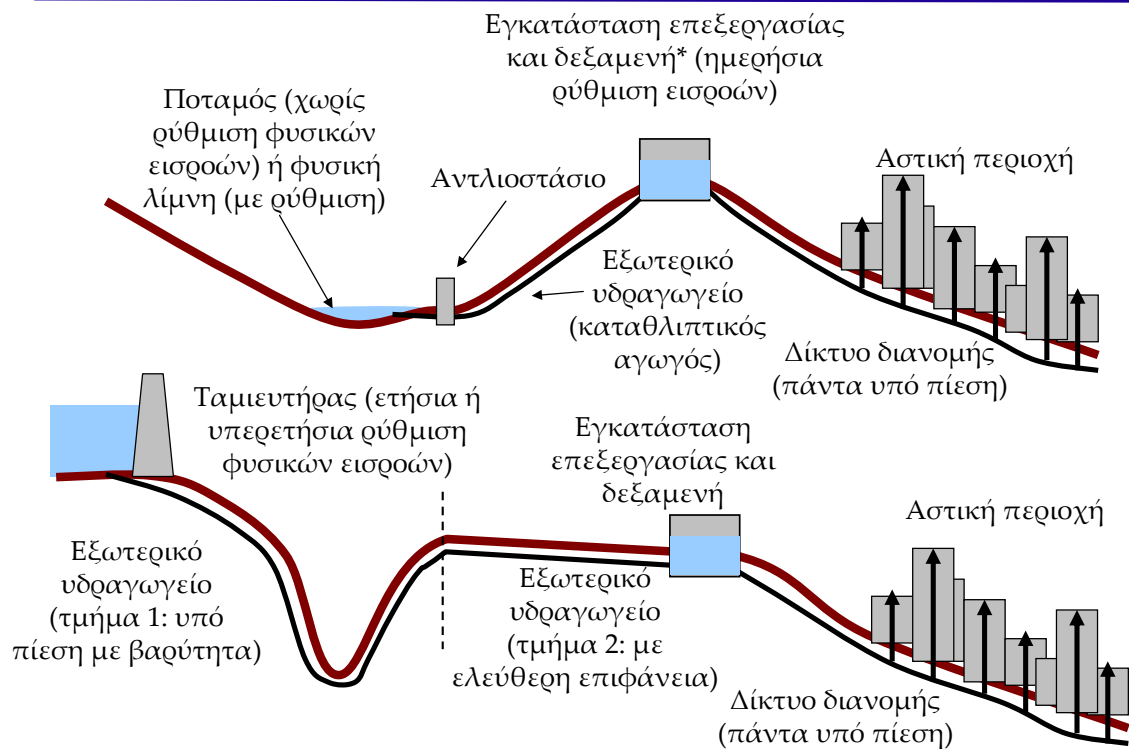
- Σκοπός των έργων ύδρευσης είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού, σε **επαρκή ποσότητα** και **κατάλληλη ποιότητα**, και η μεταφορά και διανομή του με **υψηλή αξιοπιστία** σε μια οικιστική περιοχή για την εξυπηρέτηση των πάσης φύσεως αναγκών της σε νερό.
- Δεν υπάρχει μοναδική «συνταγή» για το είδος 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



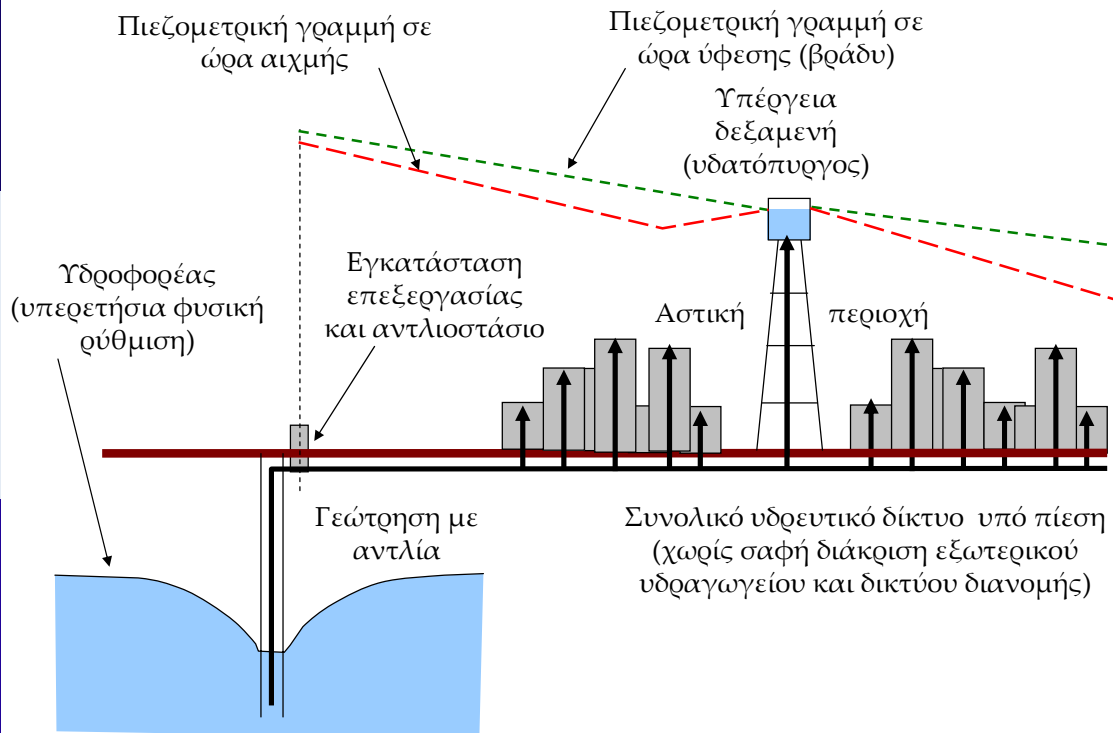
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 3

Τυπικές διατάξεις υδρευτικών έργων



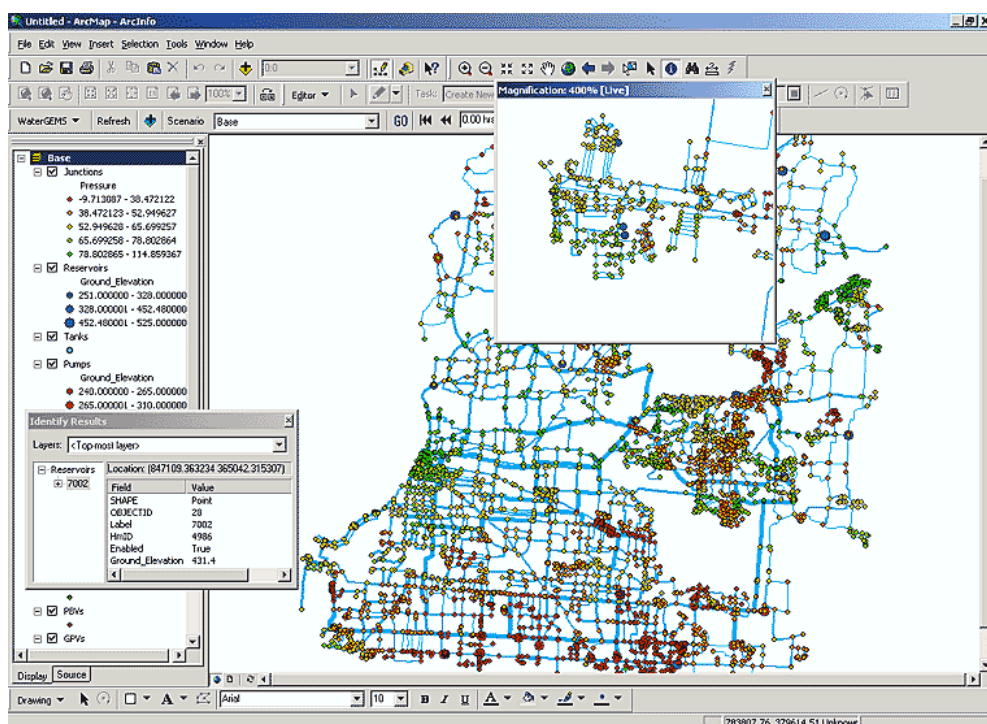
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 4

Μη τυπική διάταξη υδρευτικών έργων (επίπεδη πόλη)

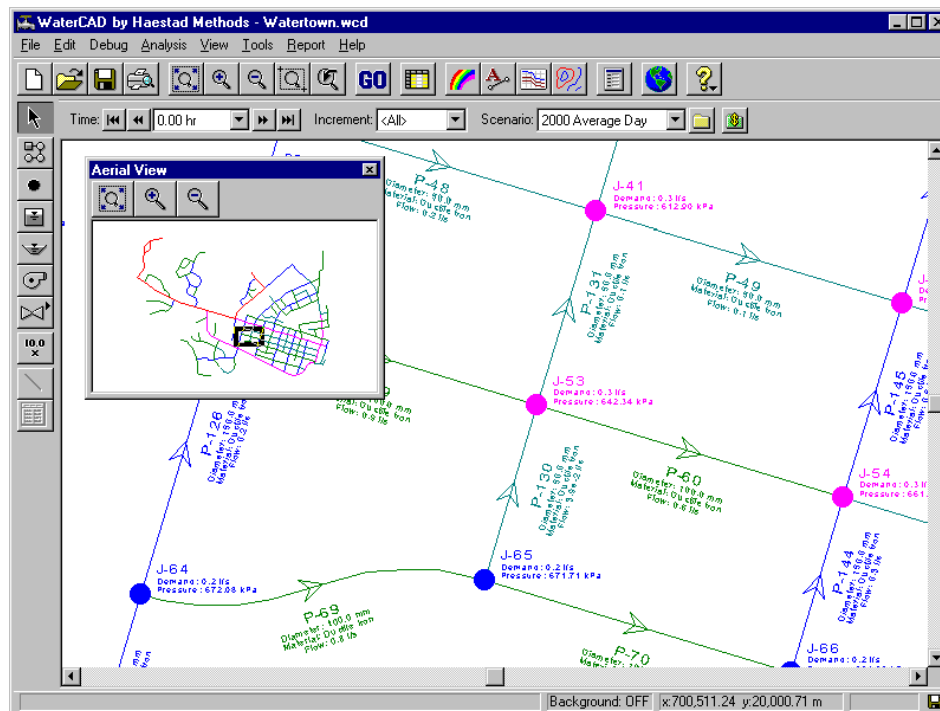


Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 5

Δίκτυο διανομής: Φυσική απεικόνιση



Δίκτυο διανομής: Μαθηματική αναπαράσταση



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 7

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
- ❑ Σχεδίαση λεπτομερών κατασκευαστικών σχεδίων

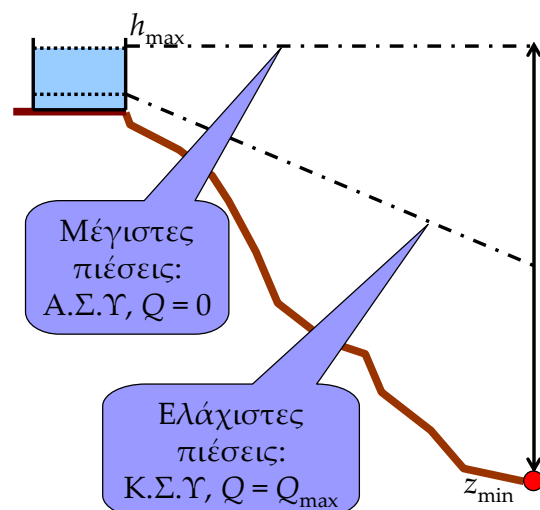
Βασικές παρατηρήσεις για τη γενική διάταξη

- 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.

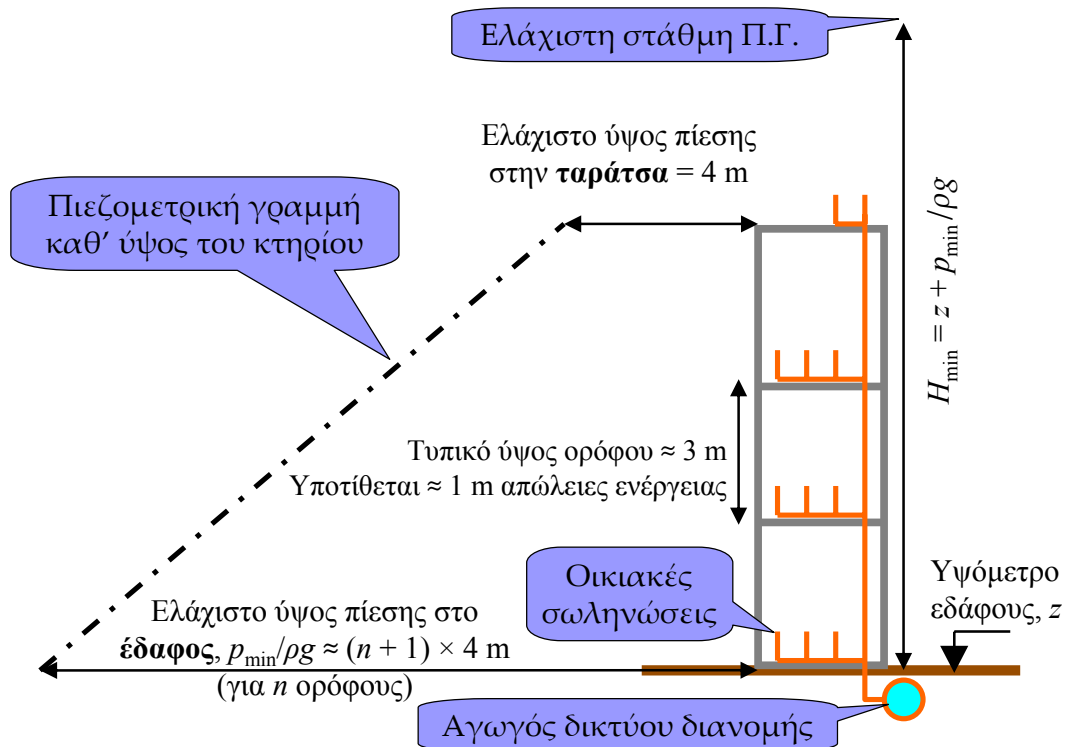
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 9

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



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 11

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 υπερπίεσεις 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 υπερπίεσεων.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Γενική διάταξη υδρευτικών έργων 12

Υδρευτικές καταναλώσεις

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Συνιστώσες 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, νοσοκομεία, σχολεία, εκκλησίες, δημόσιες υπηρεσίες, κλπ.)
- Μη οικιακή γεωργική χρήση (π.χ. μικρής έκτασης 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
- Τιμολογιακή πολιτική και θεσμικά μέτρα ελέγχου της ζήτησης

Οικιακή και τουριστική χρήση

- Η μέση ημερήσια παροχή για κοινή οικιακή ή τουριστική χρήση προφανώς 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
- Μοντέλα εξέλιξης πληθυσμού:
 - Γραμμική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 + a t$
 - Γεωμετρική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 (1 + b)^t$
 - Φθίνουσα αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 + (\Pi_\kappa - \Pi_0) (1 - e^{-\eta t})$
 - Λογιστική καμπύλη: $\Pi_t = \Pi_\kappa / (1 + c e^{-\eta t})$

όπου Π_0 ο πληθυσμός το έτος αναφοράς, Π_t ο πληθυσμός μετά από t έτη, Π_κ ο πληθυσμός κορεσμού, και a, b, c, η παράμετροι.

Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 3

Εκτίμηση πληθυσμού με βάση πολεοδομικά δεδομένα της περιοχής μελέτης

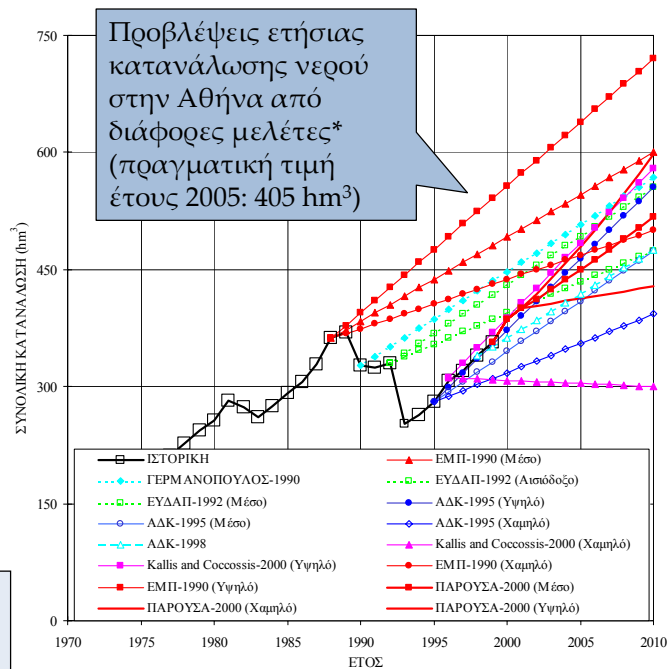
- Υπολογισμός μέγιστου αριθμού κατοικιών, με βάση την έκταση που πρόκειται να οικοδομηθεί ή, αναλυτικότερα, με καταμέτρηση των προβλεπόμενων από το πολεοδομικό σχέδιο οικοπέδων (ισχύει για επεκτάσεις σχεδίων πόλης ή νέους παραθεριστικούς οικισμούς).
- Εκτίμηση πλήθους οικογενειών (νοικοκυριών) ανά οικοπέδο, βάσει των εγκεκριμένων πολεοδομικών όρων (συντελεστές δόμησης, συντελεστές κάλυψης, μέγιστος αριθμός ορόφων, ειδικοί όροι για παραδοσιακούς οικισμούς, νησιωτικές περιοχές, κλπ.).
- Εκτίμηση πληθυσμού κορεσμού, λαμβάνοντας υπόψη τις σύγχρονες δημογραφικές συνθήκες (τυπική τιμή 3-4 μέλη ανά οικογένεια).
- Εφαρμογή μειωτικού συντελεστή (80-85%) επί του πληθυσμού κορεσμού, λαμβάνοντας υπόψη ότι μια περιοχή κατοικίας δεν πρόκειται ποτέ να αναπτυχθεί οικιστικά σε ποσοστό 100%.

Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 4

Επιστημονικές σχέσεις με τη χρήση μοντέλων πρόγνωσης της κατανάλωσης

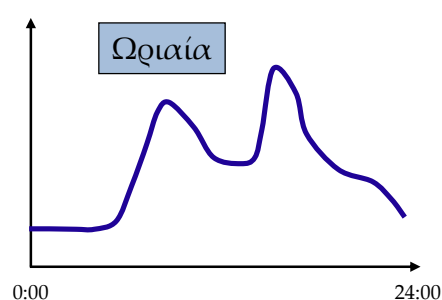
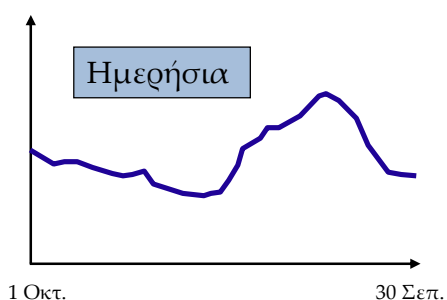
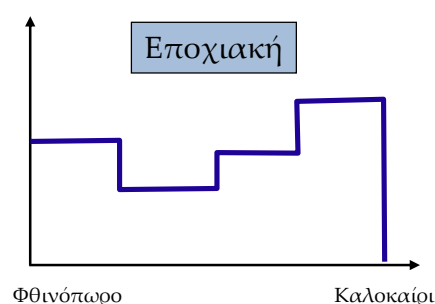
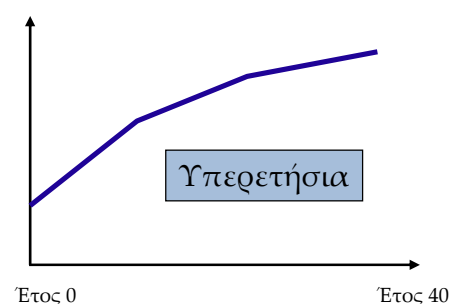
- Θεωρητικά, οι παράμετροι των μοντέλων μπορούν να εκτιμηθούν με βάση στοιχεία πρόσφατων απογραφών πληθυσμού (ή μετρήσεων κατανάλωσης), και «προβολή» τους σε ορίζοντα 40 ετών.
- Επειδή η εξέλιξη του πληθυσμού (και συνακόλουθα της ζήτησης) εξαρτάται από αστάθμητους παράγοντες (π.χ. μετανάστευση, πολιτικές και οικονομικές συνθήκες), η υιοθέτηση τέτοιων μοντέλων είναι ιδιαίτερα επισφαλής.

* Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., Σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας — Έτος 2002–2003, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 14, ΤΥΠΥΘΕ-ΕΜΠ, Αθήνα, Δεκέμβριος 2002.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 5

Χρονικές κλίμακες οικιακής κατανάλωσης



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 6

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, ανάλογα με τον 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).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 7

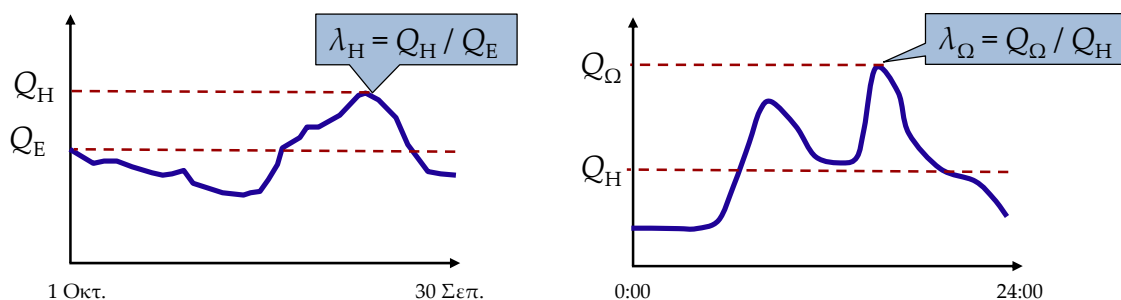
Εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών

- Για κάθε χρήση νερού εκτιμάται η μέση ημερήσια παροχή Q_E .
- Ο ετήσιος όγκος νερού V_a υπολογίζεται από τη σχέση:
$$V_a = Q_E T_a$$
όπου T_a η διάρκεια μέσα στο έτος στην οποία αφορά η υπόψη χρήση.
- 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.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 8

Ερμηνεία και εκτίμηση συντελεστών αιχμής

- **Συντελεστής ημερήσιας αιχμής:**
 - Οικιακή χρήση: $\lambda_H = 1.5$
 - 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: $\lambda_\Omega = 1.5$ (μικροί οικισμοί) - 2.0 (αστικά κέντρα)
 - Τουριστική-παραθεριστική χρήση: $\lambda_\Omega = 1.5$
 - Βιομηχανική χρήση: $\lambda_\Omega = 24 / T_B$ (T_B : ώρες λειτουργίας ανά ημέρα)



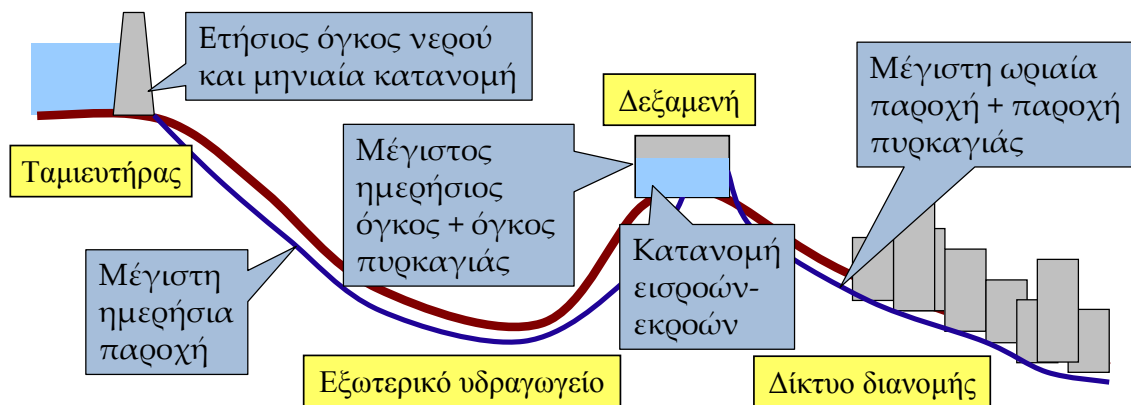
Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 9

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 που γίνονται από μη εξειδικευμένα συνεργεία) 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 πληρωθεί λόγω πλημμελούς καταμέτρησης, σφαλμάτων μετρητών στο δίκτυο και τα έργα κεφαλής 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.
- Φυσικές απώλειες της τάξης του 15% θεωρούνται αποδεκτές, ενώ μείωσή τους κάτω από 10% καθίσταται δυσανάλογα δαπανηρή σε έρευνα και επισκευές.

Στην εκτίμηση των **ετήσιων υδρευτικών αναγκών**, η αθροιστική ζήτηση όλων των χρήσεων προσανξάνεται κατά έναν συντελεστή 10-20%, ώστε να ληφθούν υπόψη οι συνολικές φυσικές απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού.

Μεγέθη σχεδιασμού υδρευτικών έργων



- ❑ **Εξωτερικό υδραγωγείο** → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού
- ❑ **Δίκτυο διανομής** → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες της δυσμενέστερης ώρας του έτους σχεδιασμού (μεγιστοποίηση ζήτησης για τις συνήθεις χρήσεις, με ταυτόχρονη εκδήλωση πυρκαγιάς)
- ❑ **Δεξαμενή ρύθμισης** → διαστασιολόγηση με βάση συνδυαστικά μεγέθη του εσωτερικού δικτύου και του εξωτερικού υδραγωγείου

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 11

Σύνοψη μεθοδολογικού πλαισίου εκτίμησης αστικών υδρευτικών καταναλώσεων

- ❑ Αναζήτηση πολεοδομικών στοιχείων, αναπτυξιακών δεδομένων και πρόσφατων απογραφών πληθυσμού περιοχής μελέτης
- ❑ Καθορισμός χρήσεων νερού
- ❑ 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 έργων εξωτερικού υδραγωγείου και δεξαμενής)
 - της **μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης**, σε συνθήκες κανονικής και έκτακτης λειτουργίας του δικτύου διανομής (διαστασιολόγηση έργων εσωτερικού υδραγωγείου)

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Υδρευτικές καταναλώσεις 12

Αστικά Υδραυλικά Έργα

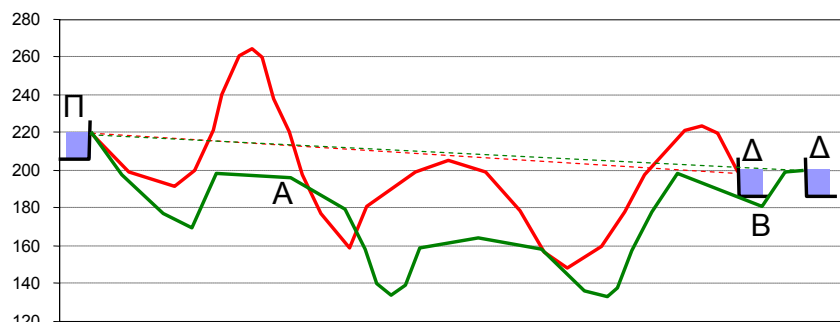
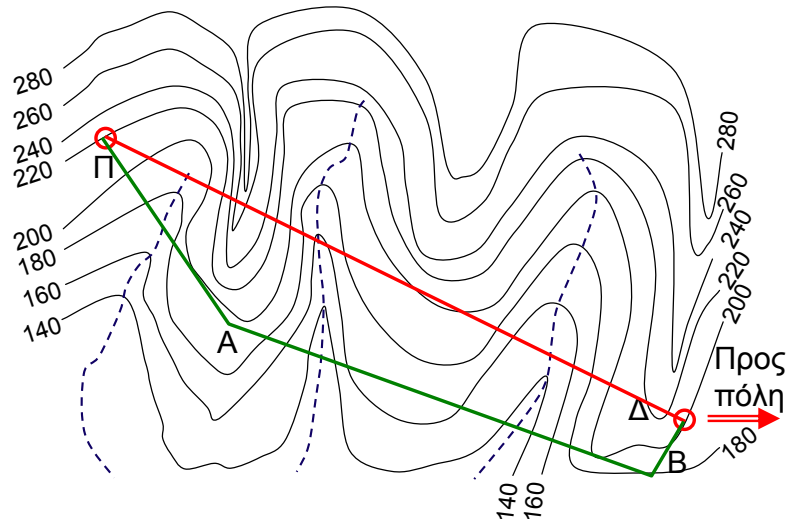
Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

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



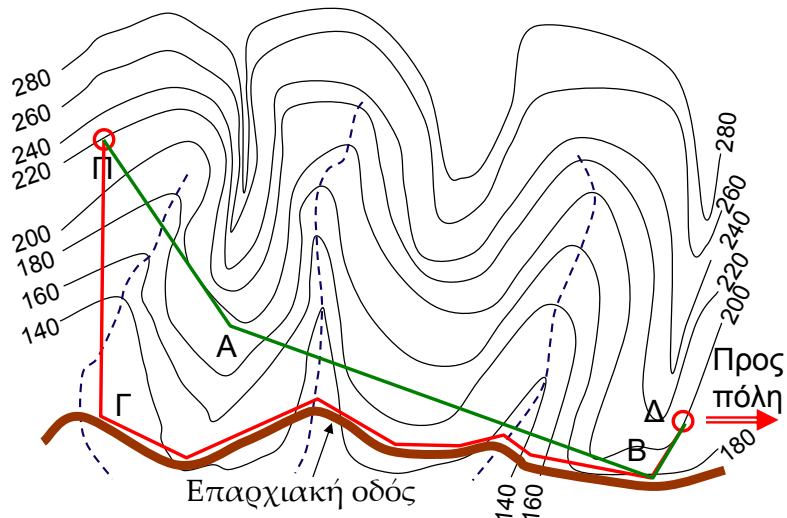
Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Χάραξη σε οριζοντιογραφία (2)

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

Απάντηση: Και οι δύο χαράξεις είναι τεχνικά άριστες.

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).



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 3

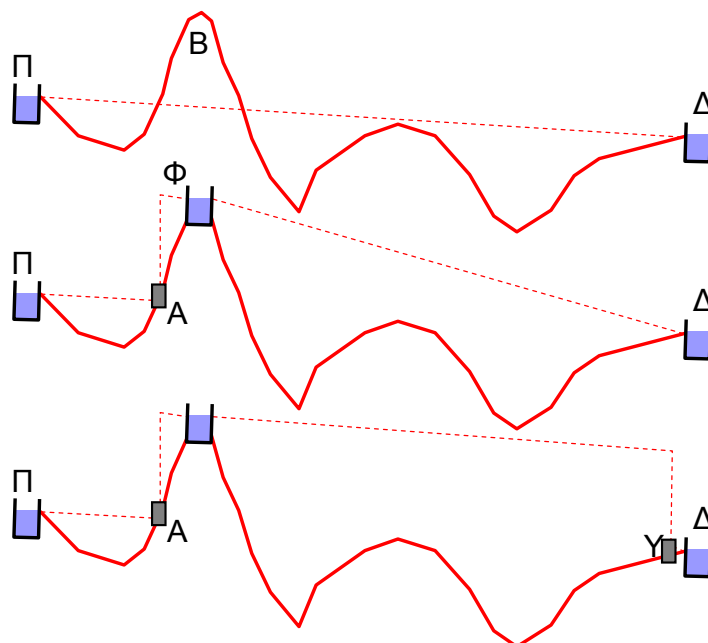
Εξωτερικά υδραγωγεία υπό πίεση: Αντιμετώπιση προβλημάτων σε μηκοτομή

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 της ενέργειας άντλησης.

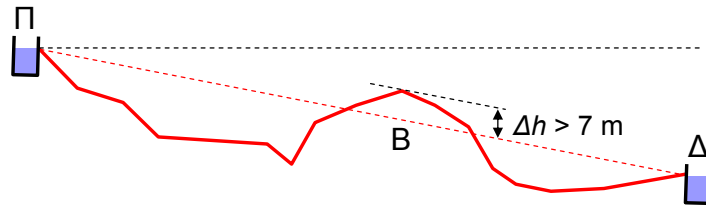
Σημείωση: Για πολύ μεγάλη παροχή (π.χ. 10 m³/s – άρα μεγάλη διάμετρο υδραγωγείου) έχει νόημα και η κατασκευή σήραγγας στον ορεινό όγκο (χωρίς άντληση).



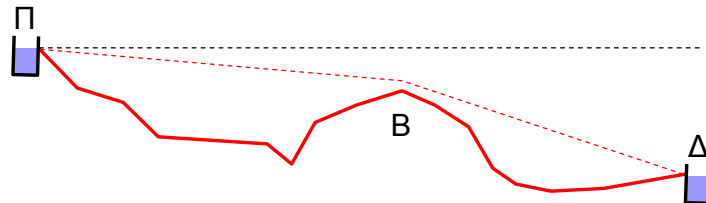
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 4

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;



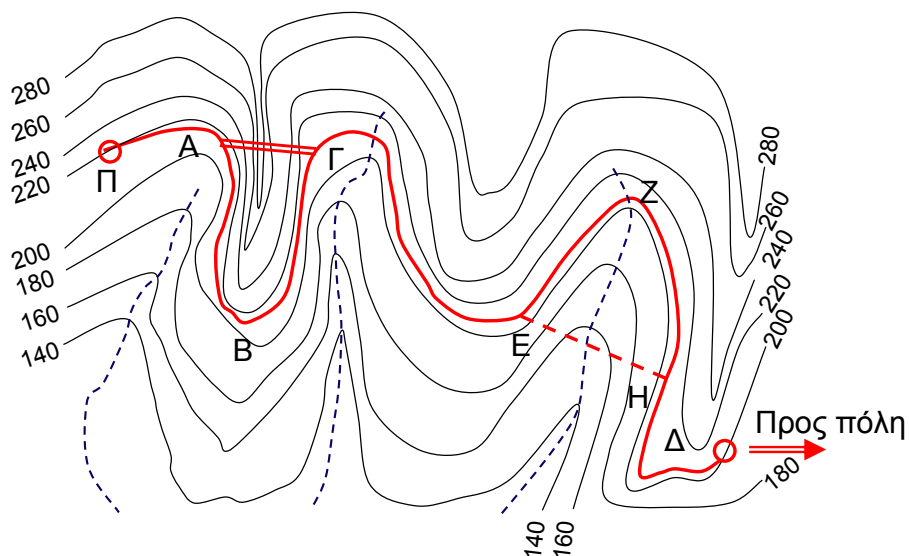
Απάντηση: Χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές διαμέτρους, μεγαλύτερη για το τμήμα ΠΒ και μικρότερη για το τμήμα ΒΔ, οπότε ανυψώνουμε την πιεζομετρική γραμμή στο Β.



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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 5

Εξωτερικά υδραγωγεία με ελεύθερη επιφάνεια: Εναλλακτικές χαράξεις

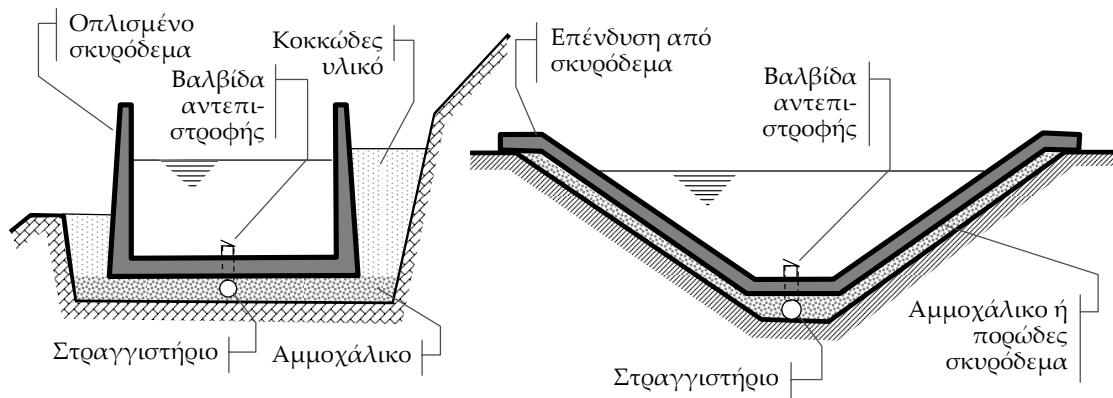


Ερώτηση: Ποια από τις χαράξεις ΠΑΒΓΕΖΗΔ (αποκλειστικά διώρυγα), ΠΑΓΕΖΗΔ (με τη σήραγγα ΑΓ), ΠΑΒΓΕΗΔ (με το σίφωνα ΕΗ) ή ΠΑΓΕΗΔ (με τη σήραγγα και το σίφωνα) είναι προτιμότερη;

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 6

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)

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 7



Εξωτερικά υδραγωγεία με ελεύθερη επιφάνεια: Δυναμική ρύθμιση

Υδραγωγείο Μόρνου:
Κατασκευές ελέγχου ροής
(ρυθμιστές Λ)



Κέντρο
ελέγχου
υδραγωγείου
Μόρνου

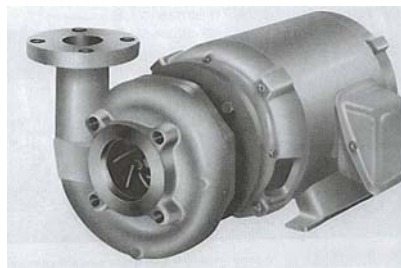
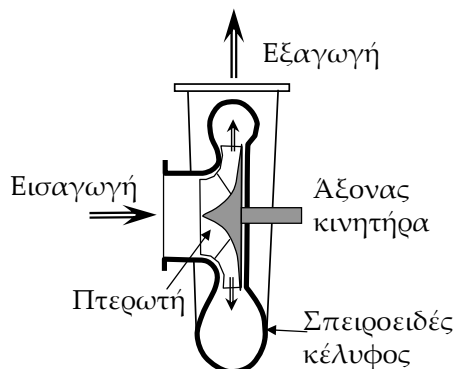
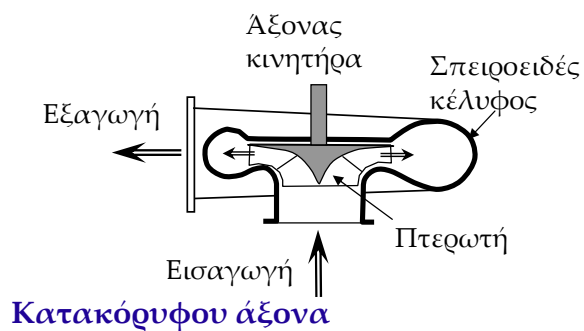


Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Εξωτερικά υδραγωγεία: Αρχές χάραξης 8

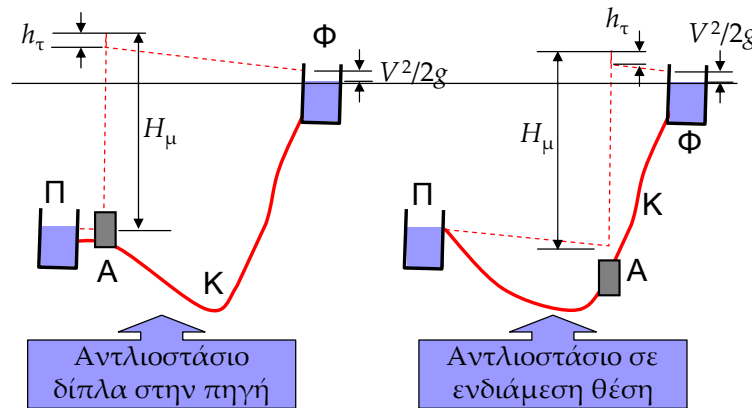
Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τυπικές φυγοκεντρικές αντλίες



Μανομετρικό ύψος αντλίας



Π: Πηγή (δεξαμενή ανάντη)
 Φ: Φρεάτιο (δεξαμενή κατόντη)
 Α: Αντλιοστάσιο
 Κ: Καταθλιπτικός αγωγός
 Διακεκομμένη γραμμή: γραμμή ενέργειας
 H_μ : Μανομετρικό ύψος αντλίας
 h_t : Τοπικές απώλειες
 $V^2/2g$: Ύψος κινητικής ενέργειας
 z : Υψόμετρο

Το μανομετρικό ύψος είναι η διαφορά υψομέτρων της γραμμής ενέργειας ανάντη και κατόντη. Από το σχήμα προκύπτει: $H_\mu = z_\Phi - z_\Pi + \Sigma h_f + \Sigma h_t$ (όπου και το $V^2/2g$ έχει θεωρηθεί ως τοπική απώλεια στην είσοδο του φρεατίου). Στο απλουστευμένο σχήμα:

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

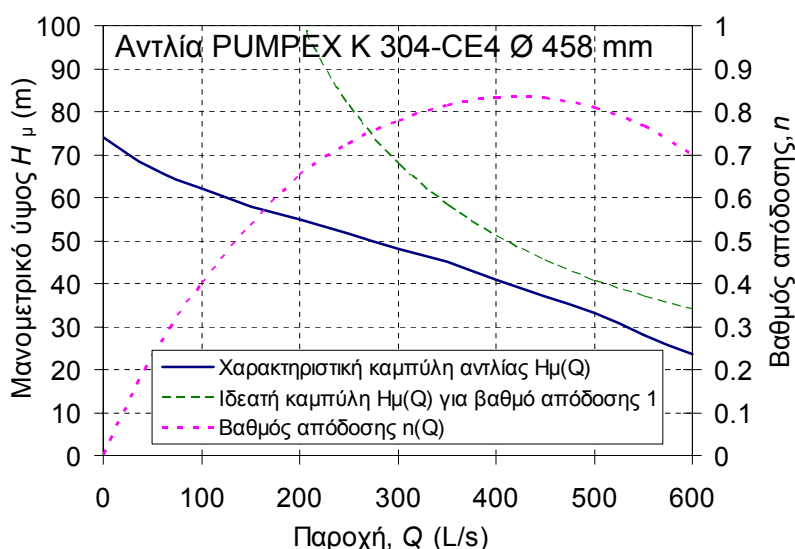
όπου J η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής και L το συνολικό μήκος του αγωγού.

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 3

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: $P = \rho g Q H_\mu / \eta$ (για βαθμό απόδοσης η)
- Ενέργεια που καταναλώνεται: $E = \rho g V H_\mu / \eta$



- Μια συγκεκριμένη αντλία έχει δεδομένη ισχύ κινητήρα P_0 (στο παράδειγμα 200 kW)
- Στην ιδεατή περίπτωση μηδενικών απωλειών ($\eta = 1$) 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 η και η αποδιδόμενη ισχύς P μεταβάλλονται με την παροχή.

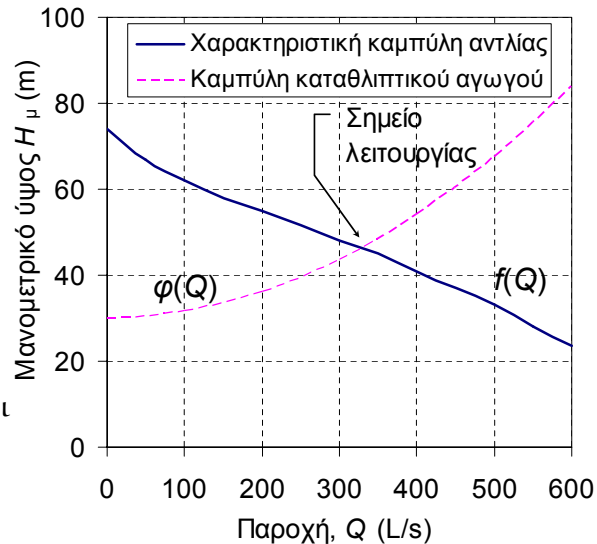
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 4

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 $H_\mu = \phi(Q)$.
- Συγκεκριμένα ισχύει:

$$H_\mu = \phi(Q) = \Delta z + J L$$
 όπου $\Delta z = z_\Phi - z_\Gamma$, 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):

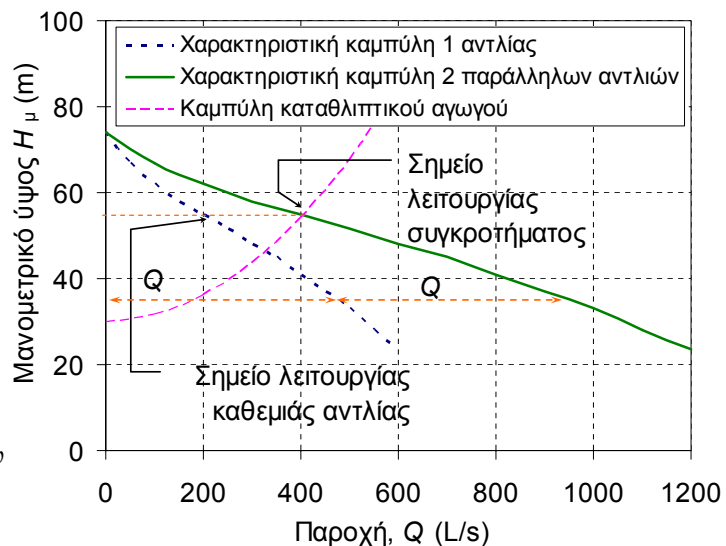
$$J = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 D^{5+\beta}} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}}$$
- Τελικώς το (μοναδικό) σημείο (Q, H_μ) στο οποίο θα λειτουργήσει η αντλία στο δεδομένο σύστημα αντλιοστασίου-καταθλιπτικού αγωγού δίνεται από τη σχέση $f(Q) = \phi(Q)$



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 5

Αντλίες σε παράλληλη διάταξη

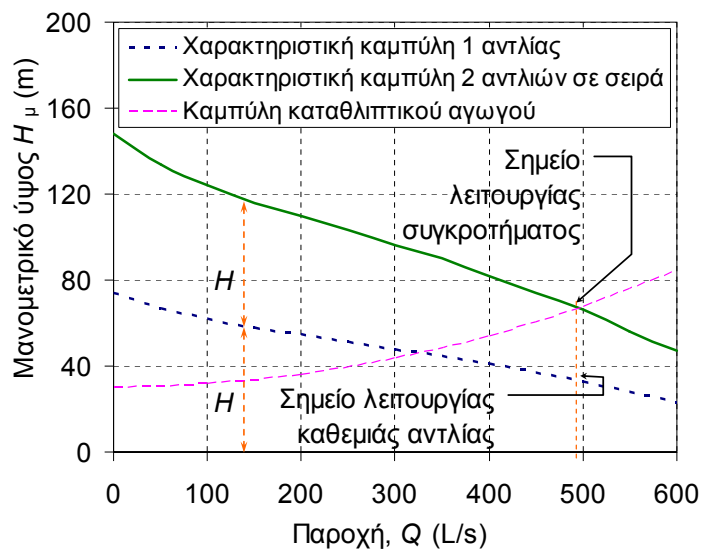
- Η παροχή σε ένα υδρευτικό αντλιοστάσιο δεν είναι σταθερή σε όλη τη περίοδο λειτουργίας του έργου. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερη η τοποθέτηση περισσότερων από μιας αντλιών σε παράλληλη διάταξη.
- Στην ίδια λύση συνηγορούν και λόγοι ασφάλειας, αξιοπιστίας και λειτουργικότητας: π.χ. τοποθέτηση δύο 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 2 αντλίες).



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 6

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 2 όμοιες αντλίες)



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 7

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, και
 - (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. οδηγίες στο Παράρτημα 3).
- 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).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 8

Παράρτημα 1: Παρατηρήσεις για την επιλογή αντλιών

- Γενικός στόχος είναι να πετύχουμε τον υψηλότερο δυνατό βαθμό απόδοσης η 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 υδρευτικά δίκτυα οι συντελεστές απόδοσης είναι αρκετά χαμηλότεροι.
- Αφού καθορίσουμε την παροχή της αντλίας, ανάλογα με το σχήμα του συγκροτήματος (π.χ. $Q = Q_{0\lambda}/2$ για δύο παράλληλες αντλίες) μπορούμε να εκτιμήσουμε μια πρώτη προσεγγιστική τιμή του η , τεχνολογικά εφικτή, από την εμπειρική σχέση

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

- Αφού ολοκληρώσουμε το σχεδιασμό του αντλιοστασίου, μετά από οικονομική βελτιστοποίηση βασισμένη στην παραπάνω τιμή του η 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:
 - το σημείο λειτουργίας του συγκροτήματος και της κάθε αντλίας, και
 - τον τελικό συντελεστή απόδοσης, την ισχύ και την ενέργεια.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Καταθλιπτικοί αγωγοί και αντλιοστάσια 9

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

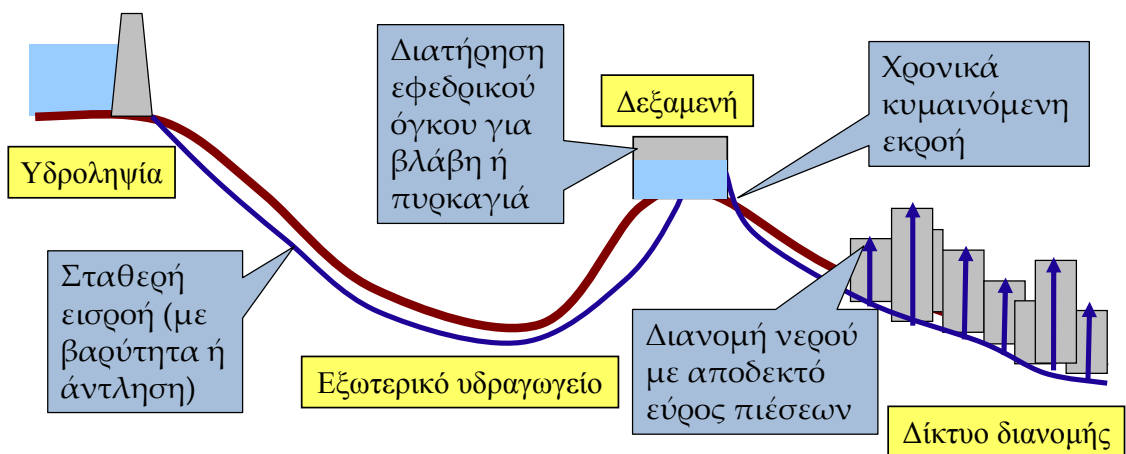
- Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής για τα έργα πολιτικού μηχανικού του αντλιοστασίου και του καταθλιπτικού αγωγού γενικά λαμβάνεται 40-50 χρόνια.
- Η αντίστοιχη διάρκεια για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (αντλίες και κινητήρες τους) είναι 20-25 χρόνια.
- Ο χρόνος απόσβεσης n του όλου συστήματος λαμβάνεται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

Δεξαμενές

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Γενικές αρχές δεξαμενής ρύθμισης



- Η δεξαμενή τοποθετείται κοντά στον οικισμό, κατάντη 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.

Υδραυλικός σχεδιασμός δεξαμενών

- ❑ Τα μεγέθη του **υδραυλικού σχεδιασμού** είναι η κατώτατη (ή ανώτατη) στάθμη λειτουργίας, η ωφέλιμη χωρητικότητα και το ωφέλιμο ύψος (από τα δύο τελευταία 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 **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 διανομής)
 - **όγκος ασφαλείας** (απόθεμα που διατηρείται σε μόνιμη βάση για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιάς).
- ❑ Η επιλογή του **ωφέλιμου ύψους** (που συνήθως κυμαίνεται από 3.0 έως 6.0 m) γίνεται με κριτήρια χωροταξικά (μέγεθος οικοπέδου, όροι δόμησης) και στατικά (όσο μεγαλύτερο το ύψος των τοιχίων, τόσο μεγαλύτερο το αναγκαίο πάχος και οπλισμός).

Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 3

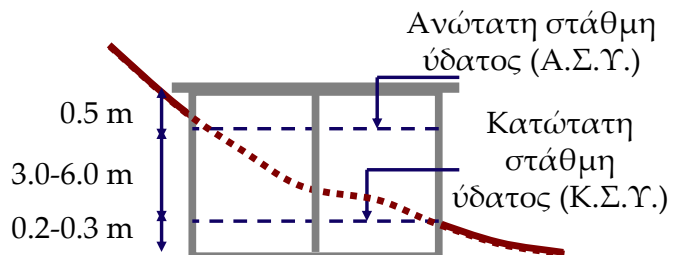
Ερμηνεία μεγεθών σχεδιασμού δεξαμενής

- ❑ Με την επιλογή κατάλληλης **χωρητικότητας**:
 - Εξισορροπείται η διακύμανση ανάμεσα στην εισροή από τον αγωγό τροφοδοσίας (ή την μονάδα επεξεργασίας), που συνήθως πραγματοποιείται με σταθερή παροχή, και την 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 κατάντη από τα ανάντη έργα, που επιδιώκεται για λόγους ασφάλειας (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 κατάντη έργα) το επιθυμητό εύρος διακύμανσης των πιέσεων στο δίκτυο διανομής.

Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 4

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.
- ❑ Στον πυθμένα δίνεται ρύση με κλίση έως 8%, για έκπλυση των φερτών.
- ❑ Από τον πυθμένα αφήνεται ένα ελεύθερο περιθώριο της τάξης των 0.2-0.3 m.
- ❑ Ομοίως, μεταξύ της ανώτατης στάθμης και της οροφής, αφήνεται περιθώριο περί τα 0.5 m.



Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 5

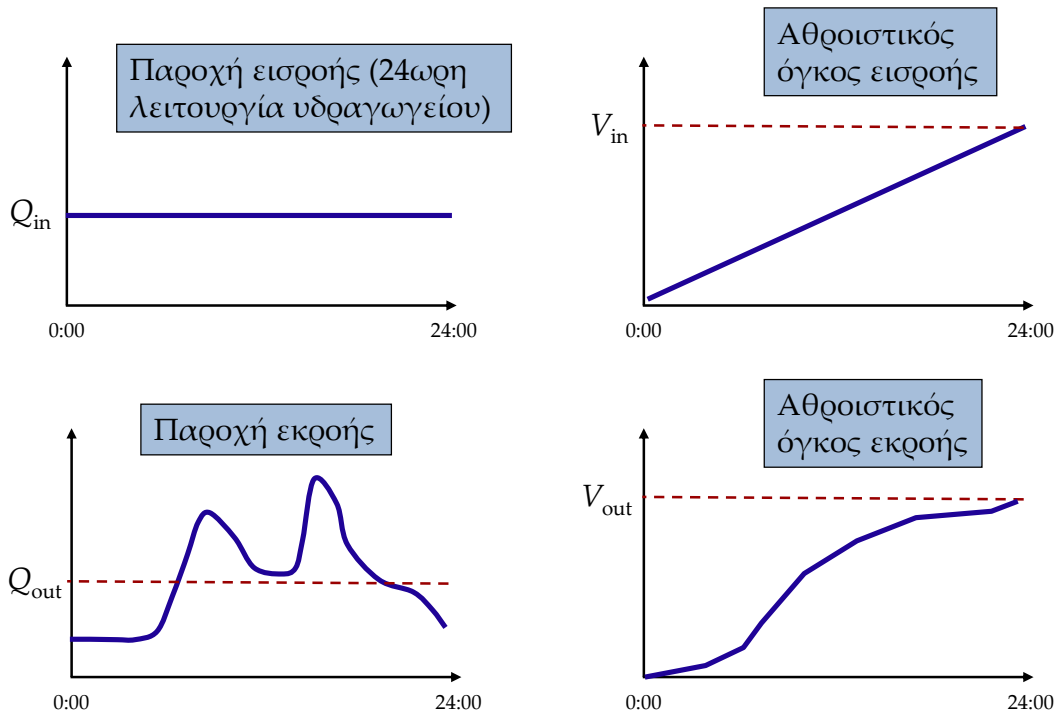
Υδατόπυργοι

- ❑ Επιλέγονται για τροφοδοσία οικισμών σε επίπεδες περιοχές και συνδυάζονται με τη λειτουργία αντλιοστασίων.
- ❑ Πρόκειται για δαπανηρές κατασκευές, αποτελούμενες από μια υπέργεια υδαταποθήκη μικρής, σχετικά, χωρητικότητας ($\sim 1500 \text{ m}^3$), που 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 διατάξεις μορφώνονται με κυλινδρικές βάσεις αντί για υποστυλώματα.



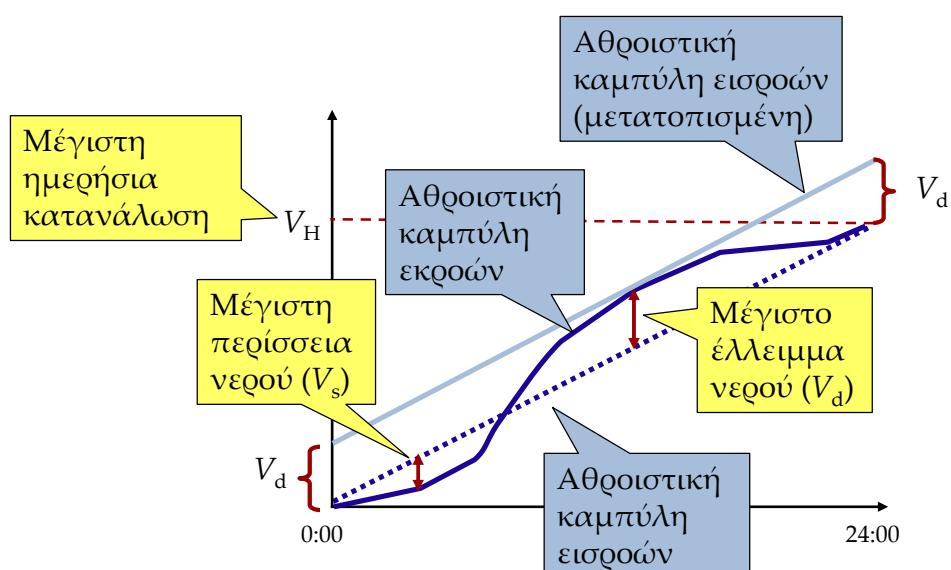
Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 6

Τυπικά διαγράμματα εισροών-εκροών



Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 7

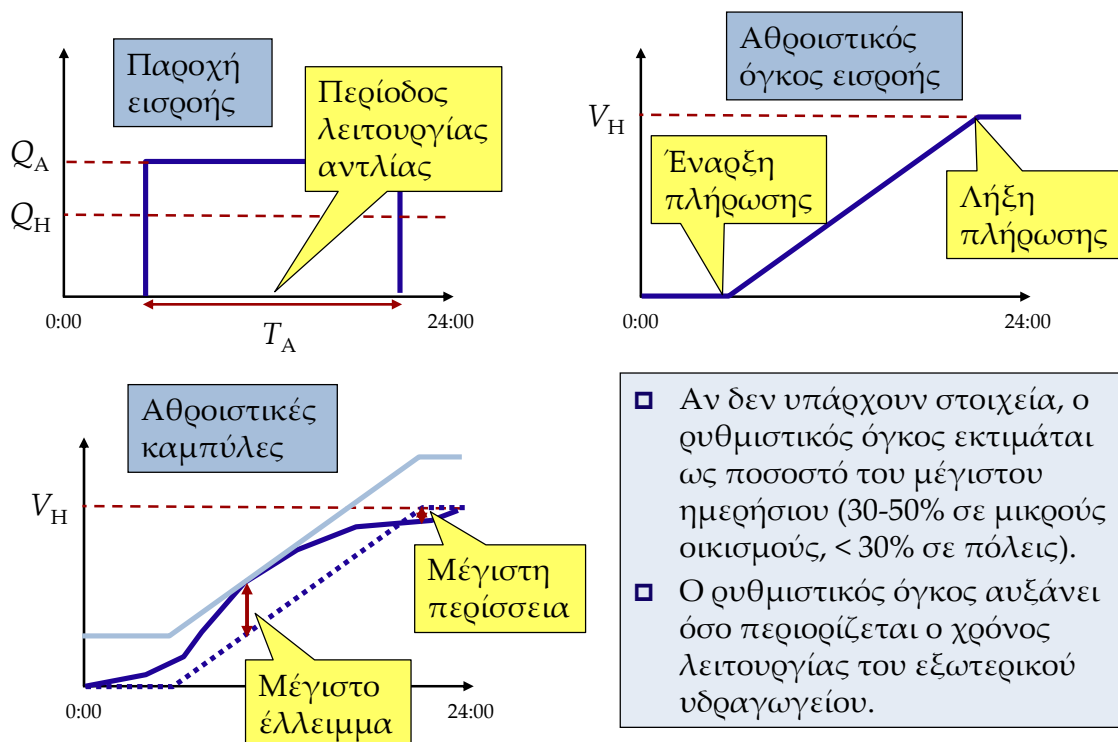
Υπολογισμός ρυθμιστικού όγκου δεξαμενής



Ρυθμιστικός όγκος = μέγιστη περίσσεια (V_s) + μέγιστο έλλειμμα (V_d) ή ποσοστό επί του μέγιστου ημερήσιου όγκου κατανάλωσης, δηλ. $V_p = \alpha V_H$

Α. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 8

Τροφοδοσία από καταθλιπτικό αγωγό



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 9

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).
- 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 το πλήθος πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής Q_{Π} , για χρόνο πυρκαγιάς T_{Π} , το απαιτούμενο εφεδρικό απόθεμα είναι ίσο με:

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

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

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

- Ο όγκος ασφαλείας είναι συνεχώς διαθέσιμος στη δεξαμενή, ενώ ο ρυθμιστικός όγκος εξαντλείται μόνο την ημέρα αιχμής.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Δεξαμενές 10

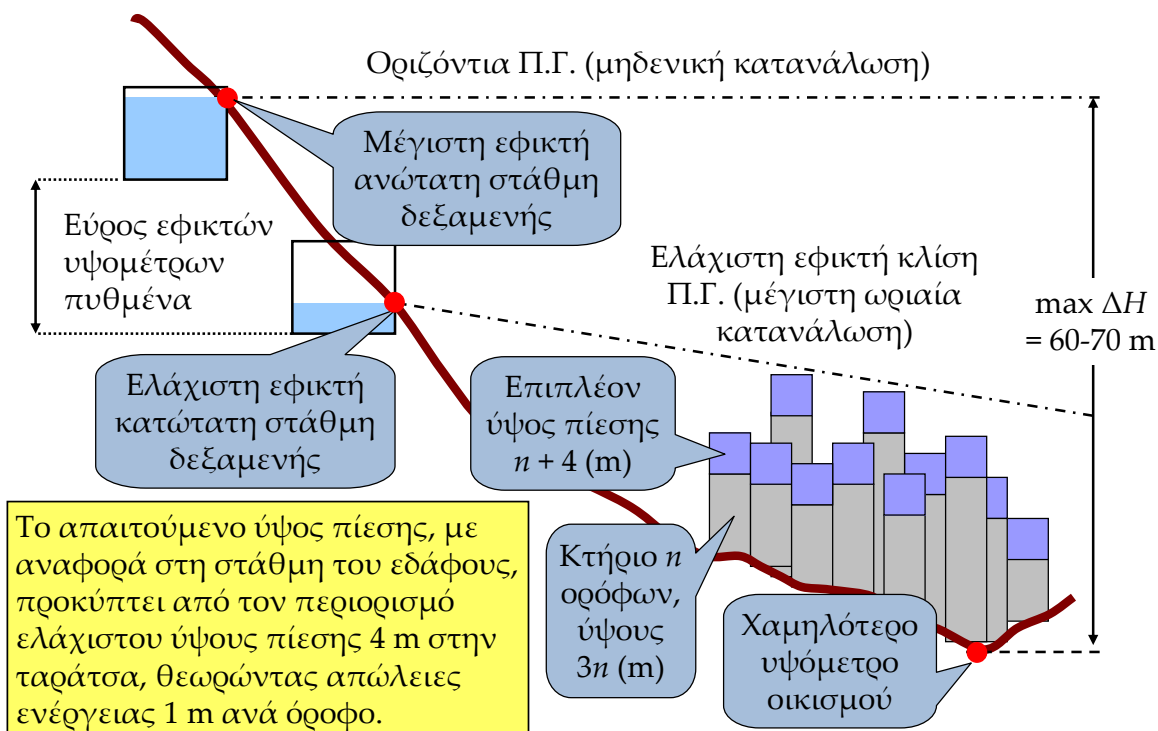
Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Προδιαγραφές δικτύων και σχετικοί έλεγχοι

- **Έλεγχος μέγιστων πιέσεων:** Για την προστασία των υδραυλικών εγκαταστάσεων των σπιτιών και των οικιακών συσκευών, η πίεση σε κάθε σημείο του δικτύου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60 έως 70 m. } Στοιχειώδης έλεγχος, αφορά στη γενική διάταξη του δικτύου
- **Έλεγχος ελάχιστων πιέσεων:** Η πιεζομετρική γραμμή της οικιακής παροχής στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων (υφιστάμενων ή προβλεπόμενων, με βάση τον πολεοδομικό σχεδιασμό) πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 m, που αντιστοιχεί σε ύψος πίεσης στο έδαφος ίσο με $4(n + 1)$, όπου n ο αριθμός των ορόφων. } Τυπικός έλεγχος, αφορά στη διάταξη και διαστασιολόγηση των έργων, απαιτεί επίλυση του δικτύου
- **Έλεγχοι ποιότητας νερού:** Εξετάζεται η διάταξη των κρίσιμων ποιοτικών παραμέτρων του πόσιμου νερού (π.χ. υπολειμματικό χλώριο), σε συνδυασμό με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής. } Αφορά στη λειτουργία του δικτύου, απαιτεί εξειδικευμένα μοντέλα προσομοίωσης
- **Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας:** Το δίκτυο πρέπει να ελέγχεται έναντι της εμφάνισης μεγάλων υποπίεσεων και υπερπίεσεων, που οφείλονται σε υδραυλικό πλήγμα (πρακτικά, κίνδυνο πλήγματος αντιμετωπίζουν τα ακτινωτά τμήματα ενός δικτύου). } Αναφέρεται σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, απαιτεί εξειδικευμένα μοντέλα

Υψομετρική τοποθέτηση δεξαμενής



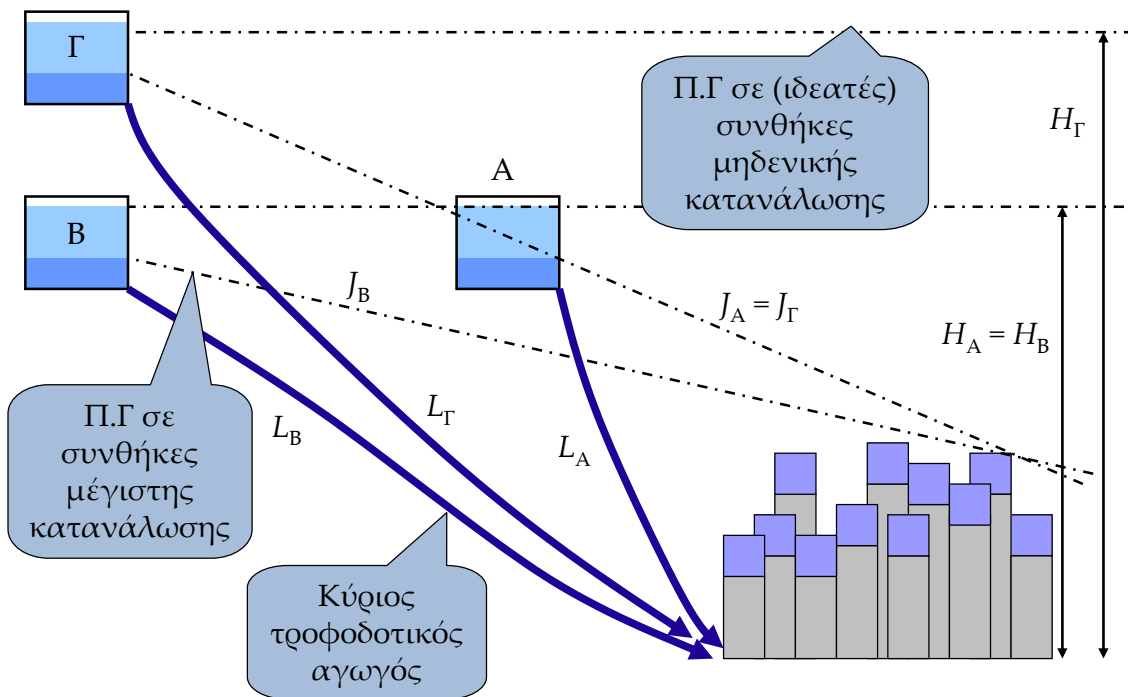
Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 3

Κριτήρια επιλογής υψομέτρου δεξαμενής

- Η πιεζομετρική γραμμή δεν πρέπει ξεπερνά τη ζώνη που ορίζεται από το ελάχιστο υψόμετρο εδάφους και τον περιορισμό μέγιστης πίεσης των 70 m, που αναφέρεται στις ιδεατές συνθήκες **ανώτατης στάθμης δεξαμενής** και **μηδενικής κατανάλωσης**, δηλαδή οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής.
- Η πιεζομετρική γραμμή δεν θα πρέπει να τέμνει την περιβάλλουσα γραμμή της ελάχιστης απαιτούμενης αστικής πίεσης. Ο περιορισμός αναφέρεται στον οριακό συνδυασμό **κατώτατης στάθμης δεξαμενής, μέγιστης κατανάλωσης** και **ελαχιστοποιημένων διαμέτρων** των αγωγών του δικτύου, που συνεπάγεται πιεζομετρική γραμμή με τη μέγιστη εφικτή κλίση.
- Βάσει των δύο οριακών καταστάσεων προκύπτουν η ελάχιστη κατώτατη και η μέγιστη ανώτατη στάθμη ύδατος, και συνακόλουθα το **εύρος εφικτών υψομέτρων** του πυθμένα της δεξαμενής.
- Αν η τροφοδοσία της δεξαμενής γίνεται από αντλιοστάσιο, **μεγάλο υψόμετρο** απαιτεί αντίστοιχα μεγάλο μανομετρικό ύψος και, συνεπώς, **μεγαλύτερο κόστος άντλησης**.
- Από την άλλη πλευρά, για **μικρό υψόμετρο** δεξαμενής, ο περιορισμός ελάχιστης αστικής πίεσης προϋποθέτει μικρότερες ενεργειακές απώλειες, που επιτυγχάνεται με επιλογή μεγαλύτερων διαμέτρων και, συνεπώς, **μεγαλύτερο κόστος αγωγών**.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 4

Χωροθέτηση δεξαμενής ως προς τον οικισμό



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 5

Κριτήρια επιλογής απόστασης δεξαμενής

- Ως γενική αρχή, συστήνεται η τοποθέτηση της δεξαμενής όσο το δυνατόν **πιο κοντά στο κέντρο βάρους** του οικισμού. Η επιλογή αυτή παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:
 - για δεδομένο υψόμετρο δεξαμενής, μεγιστοποιείται η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής στην κατάσταση δυσμενέστερης φόρτισης (μέγιστη κατανάλωση) του δικτύου (= έλεγχος ελάχιστων πιέσεων), που συνεπάγεται οικονομικότερες (μικρότερες) 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, στην περίπτωση που η μεταφορά νερού από την υδροληψία γίνεται μέσω άντλησης.
 - μειώνεται το μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού σε σχέση με το μήκος του αγωγού μεταφοράς (εξωτερικό υδραγωγείο), που ωστόσο σχεδιάζεται με μικρότερη παροχή (= μέση παροχή της ημέρας με τη μέγιστη κατανάλωση).
- Η τελική επιλογή της θέσης (υψόμετρο και απόσταση) της δεξαμενής ρύθμισης προκύπτει με βελτιστοποίηση του **συνολικού κόστους επένδυσης** των έργων του εξωτερικού και του εσωτερικού υδραγωγείου (κόστος αγωγών, αντλιών, συντήρησης μηχανολογικού εξοπλισμού, κτλ.).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 6

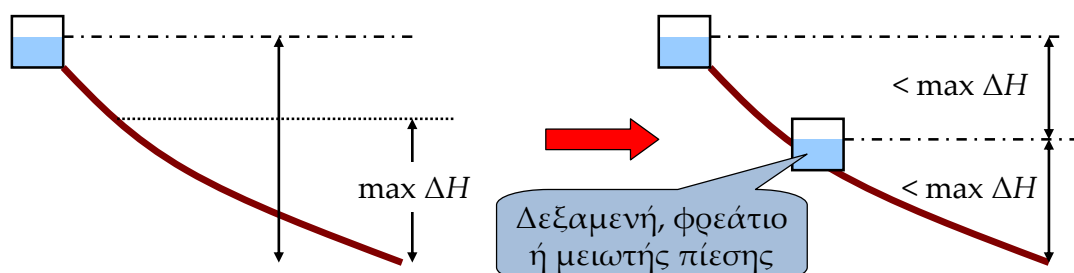
Χάραξη αγωγών σε οριζοντιογραφία

- Στη χάραξη του δικτύου χρησιμοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες, καθώς και χάρτες γενικής πολεοδομικής διάταξης (συνήθεις κλίμακες 1:2000, 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. Σε μεγάλες οδικές αρτηρίες τοποθετούνται δίδυμοι αγωγοί, εκατέρωθεν των πεζοδρομίων.
- Επιδιώκεται η τροφοδοσία κάθε καταναλωτή από εναλλακτικές διαδρομές (βροχωτή διάταξη), εξασφαλίζοντας συνεχή ροή σε περιπτώσεις βλάβης και προστατεύοντας το δίκτυο από τον κίνδυνο 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.
- Οι ελάχιστες διάμετροι που εφαρμόζονται είναι 90 mm, και αφορούν μόνο στους τριτεύοντες αγωγούς που δεν εξυπηρετούν κρουνοί.
- Το δίκτυο διανομής συμπληρώνεται από κατάλληλες ειδικές συσκευές, για τη ρύθμιση της παροχής και της πίεσης.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 7

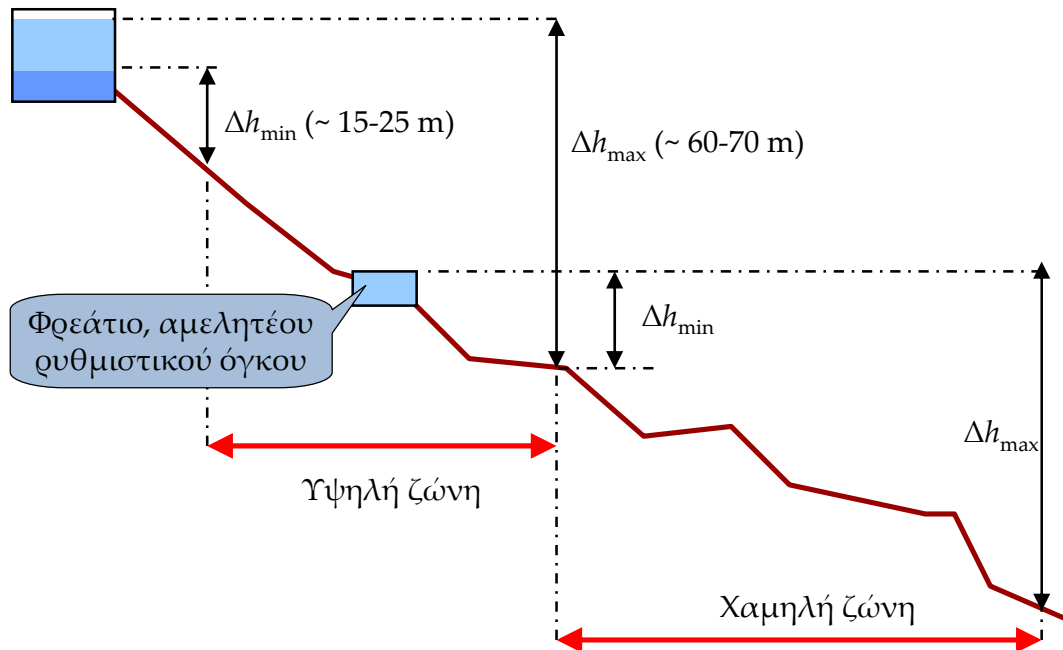
Πιεζομετρικές ζώνες δικτύων

- Σε λοφώδεις περιοχές, μια μεμονωμένη δεξαμενή ενδέχεται να μην επαρκεί για την εξυπηρέτηση όλου του οικισμού, χωρίς να προκαλεί προβλήματα χαμηλών πιέσεων στα μεγάλα υψόμετρα και υψηλών πιέσεων στα μικρά.
- Στην περίπτωση αυτή, ο οικισμός χωρίζεται σε **υδραυλικά ανεξάρτητες** πιεζομετρικές ζώνες καθ' ύψος της επιτρεπόμενης πίεσης, π.χ. με χρήση ανεξάρτητων δεξαμενών που λειτουργούν και ως πιεζοθραυστικές διατάξεις.
- Συστήνεται η πτώση πίεσης μεταξύ διαδοχικών ζωνών να κυμαίνεται μεταξύ 15 και 40 μέτρων. Υπερβολικά μικρό εύρος πίεσης οδηγεί σε αντιοικονομικό σχεδιασμό (απαιτεί πολλές δεξαμενές και μεγάλες διαμέτρους), ενώ υπερβολικά μεγάλο εύρος έχει ως συνέπεια έντονες διακυμάνσεις της διατιθέμενης πίεσης στους καταναλωτές.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 8

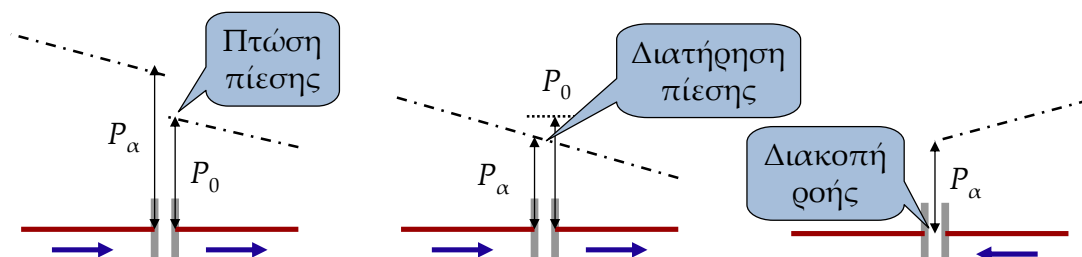
Χωρισμός σε πιεζομετρικές ζώνες με σύστημα δεξαμενής - φρεατίου



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 9

Χωρισμός σε πιεζομετρικές ζώνες με χρήση μειωτών πίεσης

- ❑ Οι μειωτές πίεσης χρησιμοποιούνται στα σημεία διαχωρισμού των πιεζομετρικών ζωνών και όπου, γενικά, επιδιώκεται περιορισμός του ενεργειακού υψομέτρου, στην περίπτωση που η τοπογραφία και χωροταξία δεν επιτρέπουν τη χρήση φρεατίων ή δεξαμενών.
- ❑ Πρόκειται για 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.
- ❑ Ο τριπλός τρόπος λειτουργίας των μειωτών πίεσης (βλ. σκαρίφημα) καθιστά δύσκολη την προσομοίωσή τους στα μαθηματικά μοντέλα.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων διανομής 10

Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων

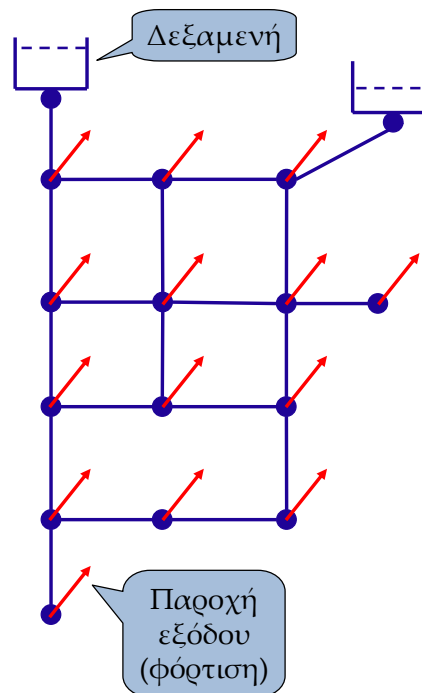
Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τοποθέτηση του προβλήματος

- Για την ομαλή υδραυλική λειτουργία ενός δικτύου διανομής θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι σε κάθε σημείο, εκατέρωθεν του οποίου αναπτύσσονται κτήρια έως n ορόφων, ισχύει $p > 4(n + 1)$, σε συνθήκες αιχμής της κατανάλωσης.
- Σε κάθε σημείο με γνωστό απόλυτο υψόμετρο z , το ύψος πίεσης είναι $p = h - z$, όπου h το ενεργειακό υψόμετρο, το οποίο εξαρτάται από τη διάταξη του δικτύου, τα χαρακτηριστικά των αγωγών (μήκος, διάμετρος, τραχύτητα) και των ειδικών συσκευών, τις στάθμες των δεξαμενών και την κατανάλωση.
- Για τον υπολογισμό των ενεργειακών υψομέτρων απαιτείται υδραυλική επίλυση του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου, που προϋποθέτει τη σχηματοποίηση του φυσικού συστήματος σε μοντέλο γράφου και τον επιμερισμό της συνολικής κατανάλωσης σε παροχές εξόδου των κόμβων.
- 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, διερευνώνται πολλαπλά σενάρια παροχών εξόδου, που αναφέρονται σε συνθήκες αιχμής της ζήτησης, με ταυτόχρονη εκδήλωση πυρκαγιάς (σενάρια φόρτισης δικτύου).
- Ζητούμενο είναι η κατασκευή της περιβάλλουσας της πιεζομετρικής γραμμής, για διάφορα δυσμενή αλλά ρεαλιστικά σενάρια, που αναφέρονται στον χρονικό ορίζοντα μελέτης του δικτύου.

Θεμελιώδεις έννοιες μοντέλων δικτύων

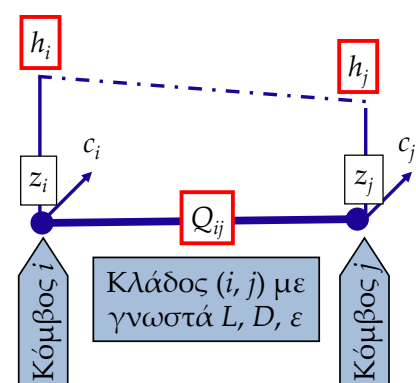
- ❑ **Σχηματοποίηση:** δικτυακή απεικόνιση των συνιστωσών του φυσικού συστήματος ως συνιστώσες ενός εννοιολογικού μοντέλου γράφου (κόμβοι, κλάδοι)
- ❑ **Μαθηματική περιγραφή:** διατύπωση εξισώσεων που αναφέρονται στην υδραυλική λειτουργία των συνιστωσών του δικτύου
- ❑ **Περιγραφικά δεδομένα:** τοπολογία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



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 3

Συνιστώσες μαθηματικών μοντέλων δικτύων

- ❑ **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, ομοιόμορφης διαμέτρου D , κλάσης 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, με αμελητέα αποθηκευτική ικανότητα, που διατηρεί σταθερή στάθμη z_0 .
- ❑ **Βαλβίδα:** Διάταξη ρύθμισης της πίεσης ή της παροχής (π.χ. δικλείδα, μειωτής πίεσης, βαλβίδα αντεπιστροφής, κτλ.), η λειτουργία της οποίας περιγράφεται από γνωστή σχέση παροχής-ενεργειακών απωλειών.
- ❑ **Αντλία:** Διάταξη ανύψωσης της πιεζομετρικής γραμμής, με γνωστή χαρακτηριστική καμπύλη.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 4

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 επίλυση του μοντέλου (σε πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά σημεία του δικτύου).
- Ειδικοί καταναλωτές και κρουνοί που βρίσκονται σχετικά κοντά σε κόμβους άλλης αιτιολογίας είναι δυνατόν να αναχθούν σε αυτούς (για 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.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 5

Σημειακές και μη σημειακές φορτίσεις

- Οι 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 υδρεύεται από συγκεκριμένη έξοδο του δικτύου.
- Ως μη σημειακοί (κατανεμημένοι) χρήστες νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές και οι τουρίστες- παραθεριστές ευρύτερων τουριστικών περιοχών (όχι μεμονωμένων μεγάλων ξενοδοχειακών μονάδων).
- Οι μέγιστες ωριαίες παροχές των ειδικών καταναλωτών μεταφέρονται 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:

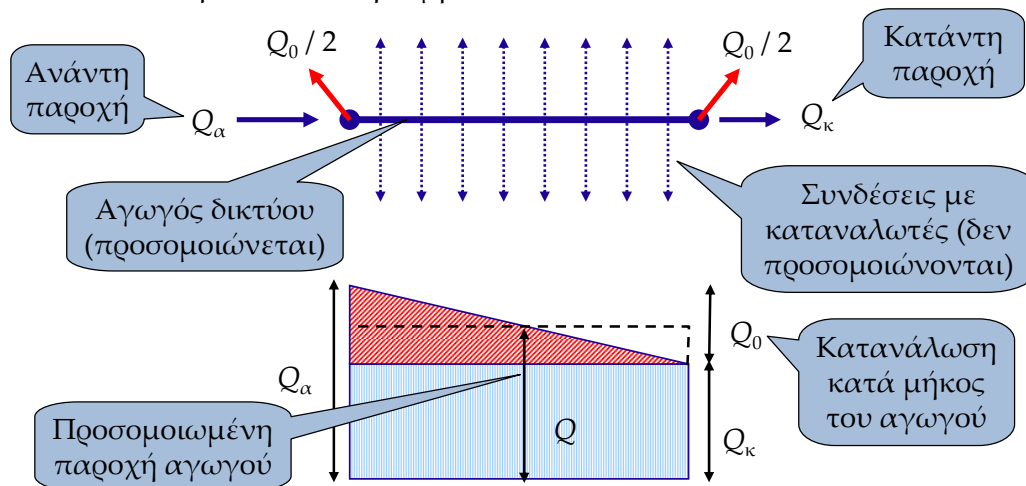
$$c_{jk} = w_{jk} q_k$$

- 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 των παροχών c_{jk} από τις σημειακές και μη σημειακές χρήσεις νερού.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 6

Η έννοια της ανηγμένης κατανάλωσης

- Για τις κατανεμημένες χρήσεις νερού, θεωρείται ότι κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει συγκεκριμένο μήκος αγωγού, από τον οποίο εξέρχεται όλη η παροχή των καταναλωτών που αντιστοιχούν στο εν λόγω μήκος.
- Με την υπόθεση ότι η κατανομή της κατανάλωσης κατά μήκος του αγωγού είναι ομοιόμορφη, η συνολική κατανάλωση Q_0 θεωρείται ότι ισομοιάζεται στον ανάντη και κατάντη κόμβο.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 7

Εκτίμηση συντελεστών κατανομής

- Υπολογίζονται τα πραγματικά μήκη των κλάδων του δικτύου, L_{ij} .
- Για την συγκεκριμένη χρήση νερού, υπολογίζεται ο συντελεστής μήκους θ_{ij} , που εκφράζει σε τι κλάσμα ή πολλαπλάσιο του μήκους του υπολογιστικού μέλους (i, j) εκδηλώνεται η συγκεκριμένη χρήση. Γενικά, ισχύει:
 - $\theta_{ij} = 0$ αν δεν εκδηλώνεται η χρήση κατά μήκος του κλάδου.
 - $\theta_{ij} = 1$ αν η χρήση εκδηλώνεται ομοιόμορφα κατά μήκος του κλάδου.
 - $\theta_{ij} < 1$ αν η χρήση εκδηλώνεται ανομοιόμορφα ή σε τμήμα του κλάδου.
- Εκτιμάται το ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j προς το μέλος (i, j) ως:

$$L_{ij}^* = 0.5 \theta_{ij} L_{ij}$$
- Το ολικό ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους μηκών όλων των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο, δηλαδή:

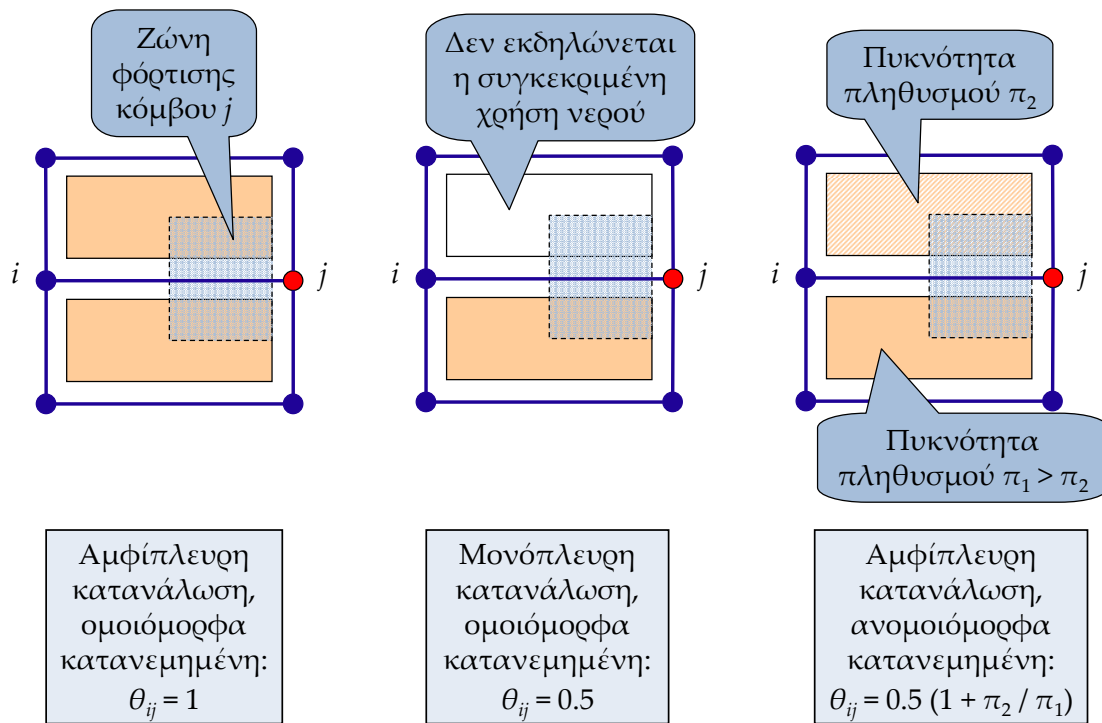
$$L_j^* = \sum L_{ij}^*$$
- Το ολικό ισοδύναμο μήκος της συγκεκριμένης χρήσης προκύπτει ως:

$$L^* = \sum L_j^*$$
- Ο συντελεστής κατανομής της ολικής παροχής της συγκεκριμένης χρήσης στον κόμβο j υπολογίζεται ως το κλάσμα:

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

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 8

Εκτίμηση συντελεστών ανομοιομορφίας



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 9

Διαμόρφωση σεναρίων φόρτισης

- ❑ Η ολική παροχή εξόδου κάθε κόμβου υπολογίζεται αθροίζοντας τις επιμέρους φορτίσεις, σημειακές και κατανεμημένες, που αναφέρονται στην κανονική λειτουργία του δικτύου, σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης.
- ❑ Ο έλεγχος υδραυλικής επάρκειας του δικτύου (= έλεγχος ελάχιστων πιέσεων) γίνεται για έκτακτες καταστάσεις φόρτισης, κατά τις οποίες ζητείται η οριακή ικανοποίηση των περιορισμών ελάχιστων πιέσεων.
- ❑ 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.
- ❑ Τα σενάρια πυρκαγιάς διαμορφώνονται κατά την κρίση του μηχανικού, για την κάλυψη δυσμενών περιπτώσεων. Τα σενάρια πρέπει να είναι ρεαλιστικά, ώστε να μην οδηγούν σε υπερβολικά δαπανηρό σχεδιασμό.
- ❑ Συστήνεται η κατά προτεραιότητα εξέταση σεναρίων πυρκαγιάς με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - σενάρια με κρουνούς σε ακτινωτές απολήξεις·
 - σενάρια με κρουνούς στα υψηλά σημεία του δικτύου·
 - σενάρια που επιβαρύνουν διαφορετικές ομάδες κλάδων·
 - σενάρια με ενεργοποίηση γειτονικών κρουνών.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 10

Σχόλια σχετικά με τους ελέγχους πιέσεων

- ❑ Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων αφορά τόσο στη γενική διάταξη όσο και στη διαστασιολόγηση του δικτύου.
- ❑ 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 δεν θεωρείται γενική αστοχία του δικτύου, αν οι πιέσεις των υπόλοιπων κόμβων κυμαίνονται στα επιτρεπόμενα όρια.
- ❑ Στην πράξη, ζητούμενο του σχεδιασμού είναι η λειτουργία του δικτύου σε ένα μικρό, σχετικά, εύρος πιέσεων, της τάξης των 20-30 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).

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 11

Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου

- ❑ Πρόκειται για την συνήθη περίπτωση, που επιβάλλεται για τη διαχείριση ενός υφιστάμενου δικτύου καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του.
- ❑ Απαιτεί απογραφή του υφιστάμενου δικτύου και συλλογή των αρχείων των υδρομετρητών όλων των καταναλωτών, διαδικασία που είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, εφόσον δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή.
- ❑ Ακολουθείται η τυπική διαδικασία σχηματοποίησης του μοντέλου, με τη διαφορά ότι οι παροχές εξόδου προκύπτουν όχι βάσει υποθέσεων αλλά 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 στην εκτίμηση των παροχών εξόδου)·
 - δυσκολία εκτίμησης συντελεστών τραχύτητας.

Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων 12

Επίλυση δικτύων διανομής

Δημήτρης Κουτσογιάννης & Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

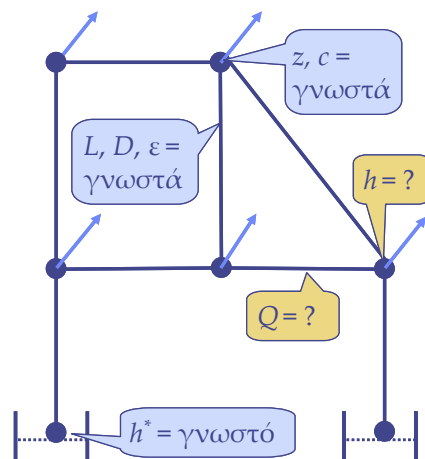
Διατύπωση του προβλήματος

Δεδομένου ενός δικτύου αγωγών με:

- γνωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά κλάδων (μήκος L , εσωτερική διάμετρος D , τραχύτητα ε).
- γνωστά τοπογραφικά υψόμετρα z και γνωστές παροχές εξόδου c κόμβων.
- γνωστά ενεργειακά υψόμετρα h^* των σημείων τροφοδοσίας (π.χ. δεξαμενών).

ζητείται ο υπολογισμός:

- των ενεργειακών υψομέτρων h σε όλους τους κόμβους ή, ισοδύναμα,
- των διερχόμενων παροχών Q (ή των ταχυτήτων V) σε όλους τους κλάδους.



Θεμελιώδης παραδοχή: Οι σημειακές και μη σημειακές καταναλώσεις του δικτύου ανάγονται σε παροχές εξόδου κόμβων.

Πρακτικό ζητούμενο: Ο έλεγχος των ελάχιστων πιέσεων στους κόμβους.

Περιγραφή της τοπολογίας

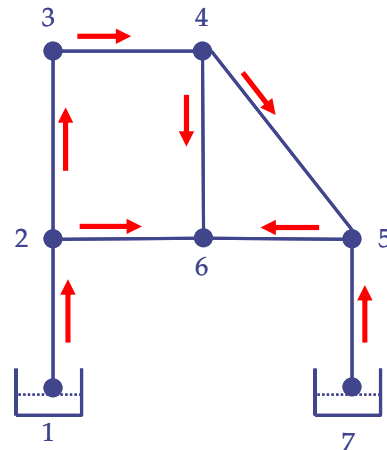
- Σε ένα δίκτυο n κόμβων, m κλάδων και r βρόχων ισχύει η θεμελιώδης σχέση:

$$m = n + r - 1$$

- Η τοπολογία του δικτύου (γράφου) περιγράφεται αλγεβρικά από:
 - το $n \times m$ μητρώο πρόσπτωσης (incidence matrix), με στοιχεία $\{0, 1, -1\}$ ($a_{ik} = -1$ αν ο κλάδος k ξεκινά από τον κόμβο i και $a_{ik} = 1$ αν καταλήγει στον κόμβο i).
 - το $n \times n$ μητρώο γειτνίασης (adjacency matrix), με στοιχεία $\{0, 1\}$ ($a_{ij} = 1$ αν υπάρχει κλάδος κατά τη φορά $i \rightarrow j$).

Μητρώο πρόσπτωσης του δικτύου του σχήματος

	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



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Επίλυση δικτύων διανομής 3

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, που προκύπτει από την αρχή διατήρησης της μάζας:

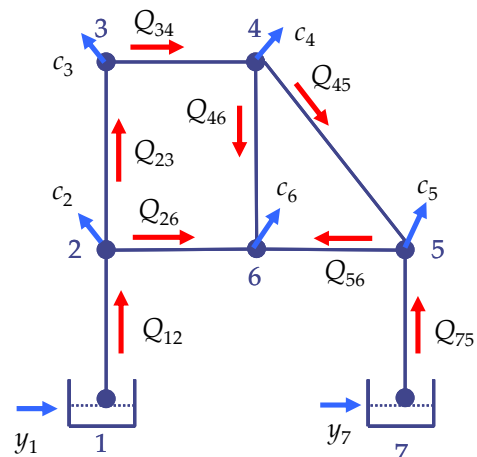
$$\sum a_{ij} Q_{ij} = y_i - c_i$$

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 .

- Δεδομένου ότι στο δίκτυο η συνολική προσφορά ισούται με τη συνολική ζήτηση, το άθροισμα των παροχών εισόδου ισούται με το άθροισμα των παροχών εξόδου στους κόμβους, δηλαδή:

$$\sum y_i = \sum c_i$$

- Σε ένα δίκτυο n κόμβων και n_0 δεξαμενών, διατυπώνονται $n - n_0$ γραμμικά ανεξάρτητες εξισώσεις συνέχειας ως προς τις m παροχές.
- Συνεπώς, απαιτούνται $m - (n - n_0)$ επιπλέον εξισώσεις για τον ορισμό του προβλήματος.



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Επίλυση δικτύων διανομής 4

Εξισώσεις διατήρησης ενέργειας βρόχων

- Αν στο δίκτυο υπάρχουν $n_0 > 1$ σημεία με γνωστό ενεργειακό υψόμετρο (δεξαμενές), τότε θεωρούνται $n_0 - 1$ επιπλέον ιδεατοί βρόχοι, τοποθετώντας ιδεατούς κλάδους μηδενικής παροχής που συνδέουν τις δεξαμενές ανά δύο (δεν υπολογίζονται στην αρίθμηση), οπότε ισχύει:

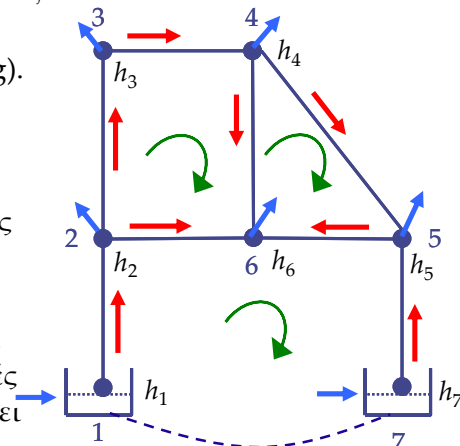
$$m = n + r - n_0$$

- Κατά μήκος κάθε βρόχου ισχύει η αρχή διατήρησης της ενέργειας:

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

όπου $\kappa_{ij} = L_{ij} [4^{3+\beta} N^2 / (\pi^2 D_{ij}^{5+\beta})]^{1/(1+\gamma)}$ και $\lambda = (1-\gamma)/(1+\gamma)$ (γενικευμένη σχέση Manning). Το πρόσημο της Q είναι θετικό αν η φορά της συμπίπτει με τη φορά διαγραφής του βρόχου και αλλιώς αρνητικό.

- Κατά μήκος των ιδεατών βρόχων, οι απώλειες ενέργειας είναι ίσες με τη γνωστή διαφορά στάθμης μεταξύ των δεξαμενών.
- Κατά μήκος όλων των υπόλοιπων βρόχων, οι συνολικές απώλειες ενέργειας είναι μηδενικές (η πιεζομετρική γραμμή αρχίζει και καταλήγει στην ίδια στάθμη).



Δ. Κουτσογιάννης & Α. Ευστρατιάδης, Αστικά Υδραυλικά Έργα – Υδρεύσεις – Επίλυση δικτύων διανομής 5

Τεχνικές επίλυσης του προβλήματος

- Σε ένα δίκτυο n κόμβων, n_0 δεξαμενών 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.
- Οι τεχνικές επίλυσης του συστήματος είναι επαναληπτικές, καθώς ορίζουν αυθαίρετες αρχικές τιμές στις μεταβλητές του προβλήματος και επιδιώκουν την σταδιακή μείωση του σφάλματος μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.
- Υπάρχουν δύο πορείες επίλυσης 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.
- Ανάλογα με την αλγοριθμική προσέγγιση οι μέθοδοι διακρίνονται σε:
 - τεχνικές διόρθωσης του σφάλματος ανά εξίσωση (μέθοδος Cross).
 - τεχνικές επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων (μέθοδος Newton-Raphson).
 - τεχνικές επίλυσης γραμμικοποιημένων συστημάτων, με χαλάρωση του σφάλματος.

Μέθοδος κόμβων με γραμμικοποίηση

- Στην αρχή κάθε κύκλου, είναι γνωστή μια εκτίμηση των ενεργειακών υψομέτρων h_i στους κόμβους (αρχικά, η εκτίμηση είναι αυθαίρετη).
- Για τα δεδομένα 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:

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

- 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.
- Ελέγχεται η σχετική απόκλιση μεταξύ της αρχικής και βελτιωμένης εκτίμησης των ενεργειακών υψομέτρων.
- Η μέθοδος εγγυάται ταχεία σύγκλιση, ακόμη και για μεγάλο αριθμό κόμβων.



ΤΥΠΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Τεχνολογία υδρευτικών έργων
Ηλίας Βασιλόπουλος, Δρ Μηχανικός

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ

- ◆ Ως εξωτερικό υδραγωγείο νοείται το σύστημα των αγωγών μεταφοράς από τα έργα υδροληψίας μέχρι τις δεξαμενές αποθήκευσης.
- ◆ Έργα υδροληψίας : Γεωτρήσεις, πηγές, ταμιευτήρες, έργα εκτροπής.
- ◆ Εσωτερικό δίκτυο: Σύστημα αγωγών διανομής στους χρήστες.
- ◆ Εν γένει το εξωτερικό υδραγωγείο αποτελείται από γεωμετρικά και υδραυλικά κλειστούς αγωγούς. Εξαιρέσεις (χρήση ανοικτών αγωγών, υπό προϋποθέσεις).

Πλεονεκτήματα κλειστών αγωγών

- ♦ Ευελιξία στη χάραξη
- ♦ Ελαχιστοποίηση του κόστους
- ♦ Χάραξη σε οποιαδήποτε τοπογραφική διαμόρφωση
- ♦ Μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

ΥΛΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Υλικό
Πλαστικοί σωλήνες από PVC
Πλαστικοί σωλήνες από HDPE
Χαλυβδοσωλήνες

Χρησιμοποιούνται οι διατιθέμενες διατομές εμπορίου (όχι κατά παραγγελία.)

Αντοχή σε πίεση (PVC, HDPE)
Κλάση 6 atm
Κλάση 10 atm
Κλάση 16 atm

Οι αγωγοί HDPE και σε 20,25, 32 atm. Οι χαλύβδινοι αγωγοί και σε ακόμη μεγαλύτερες. Ελάχιστη κλάση αγωγών τοποθετούμενων σε αμαξητές οδούς : 10 atm.

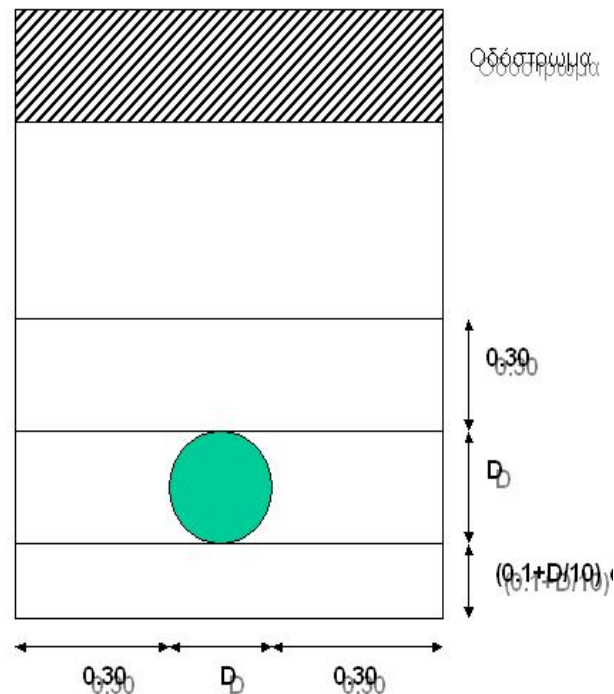
- ◆ Αγωγοί από PVC: Φθηνότεροι μέχρι $D < 400$ mm.
- ◆ Αγωγοί από HDPE: Συγκριτικό πλεονέκτημα τοποθέτησης σε σχέση με τους αγωγούς από PVC
- ◆ Χαλυβδοσωλήνες: Φθηνότεροι για αγωγούς ≥ 400 mm. Αντέχουν (ανάλογα με το πάχος τους) οποιαδήποτε πίεση
- ◆ Αγωγοί από αμιαντοτσιμέντο

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΓΩΓΟΥΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

- ♦ Μικρότερη επιτρεπτή κλάση: 10 atm
- ♦ Μικρότερη επιτρεπτή διάμετρος: Φ90-100 mm
- ♦ Το υλικό εφαρμογής μεταβάλλεται χρονικά και γεωγραφικά. Τεχνικοοικονομική ανάλυση
- ♦ Ονομαστική διάμετρος συμπίπτει με την εσωτερική στους X/Σ και τους Α/Σ

Τοποθέτηση αγωγών

♦ Ι. Εγκάρσια τοποθέτηση



Διαστάσεις σε m



♦ **II. Τοποθέτηση σε μηκοτομή**

Τοποθέτηση παράλληλα προς το έδαφος

Ελάχιστη κλίση : $2^{\circ}/_{00}$ για ανερχόμενους
 $4^{\circ}/_{00}$ για κατερχόμενους

♦ **III. Σώματα αγκυρώσεως**

- ♦ Τοποθετούνται όπου δημιουργούνται μεταβολές της ορμής, λόγω στροφής (οριζόντιας ή κατακόρυφης) ή μεταβολής της διαμέτρου, ή πρόβλεψης διακλάδωσης τύπου Ταυ. Τοποθετούνται επίσης σε έντονες ($>20\%$) κατά μήκος κλίσεις για αποφυγή ολισθήσεων.



Ειδικές Συσκευές



Όλες τοποθετούνται σε φρεάτια

1. Βάννες

Επιτυγχάνουν τον έλεγχο αγωγών και δικτύων με σκοπό την απομόνωσή τους για λόγους συντήρησης ή ρύθμισης της παροχής.

Εν γένει χυτοσιδηρές.

Διαφόρων τύπων, ανάλογα και με τη διάμετρο του αγωγού (πεταλούδας, συρταρωτές, κυλινδρικές)



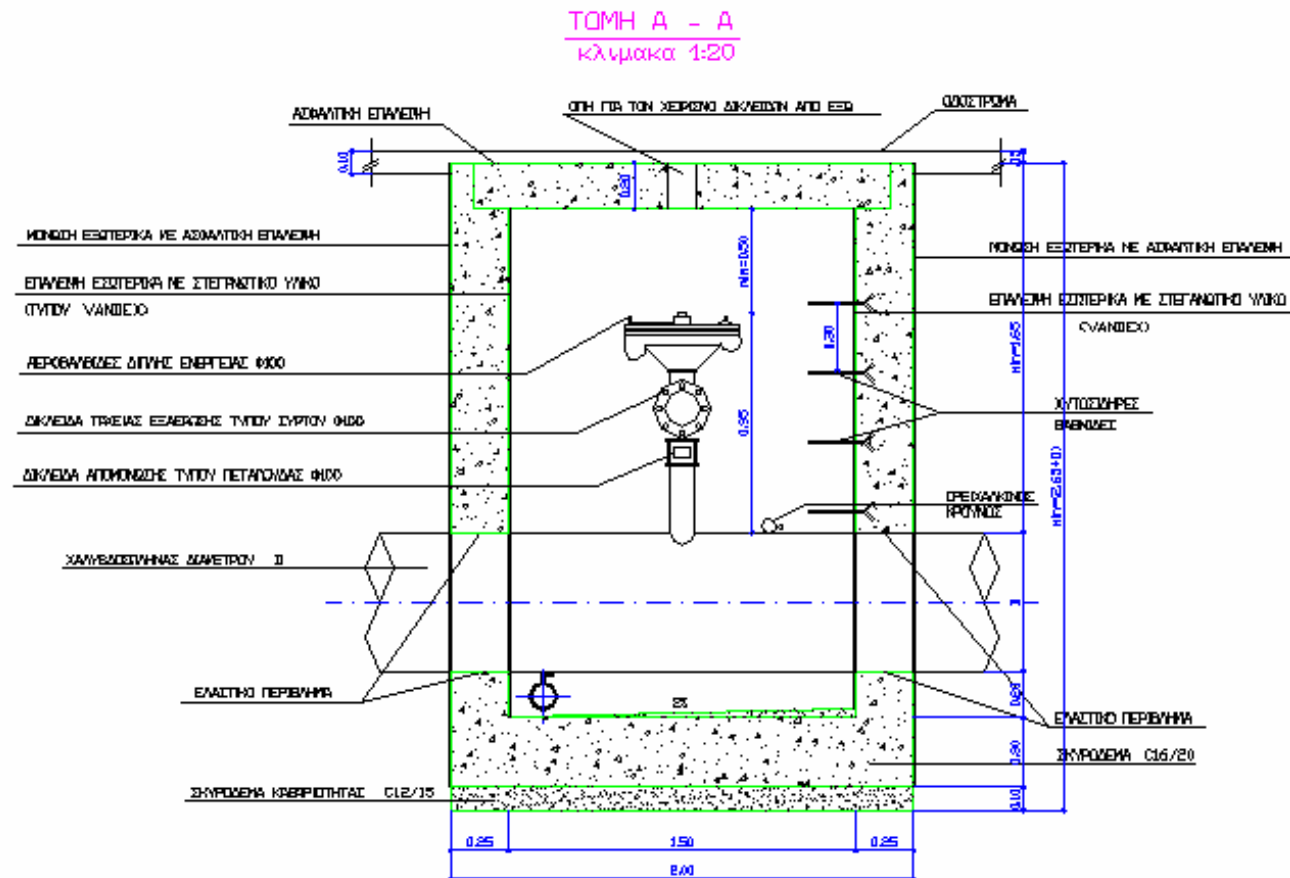
Αερεξαγωγοί



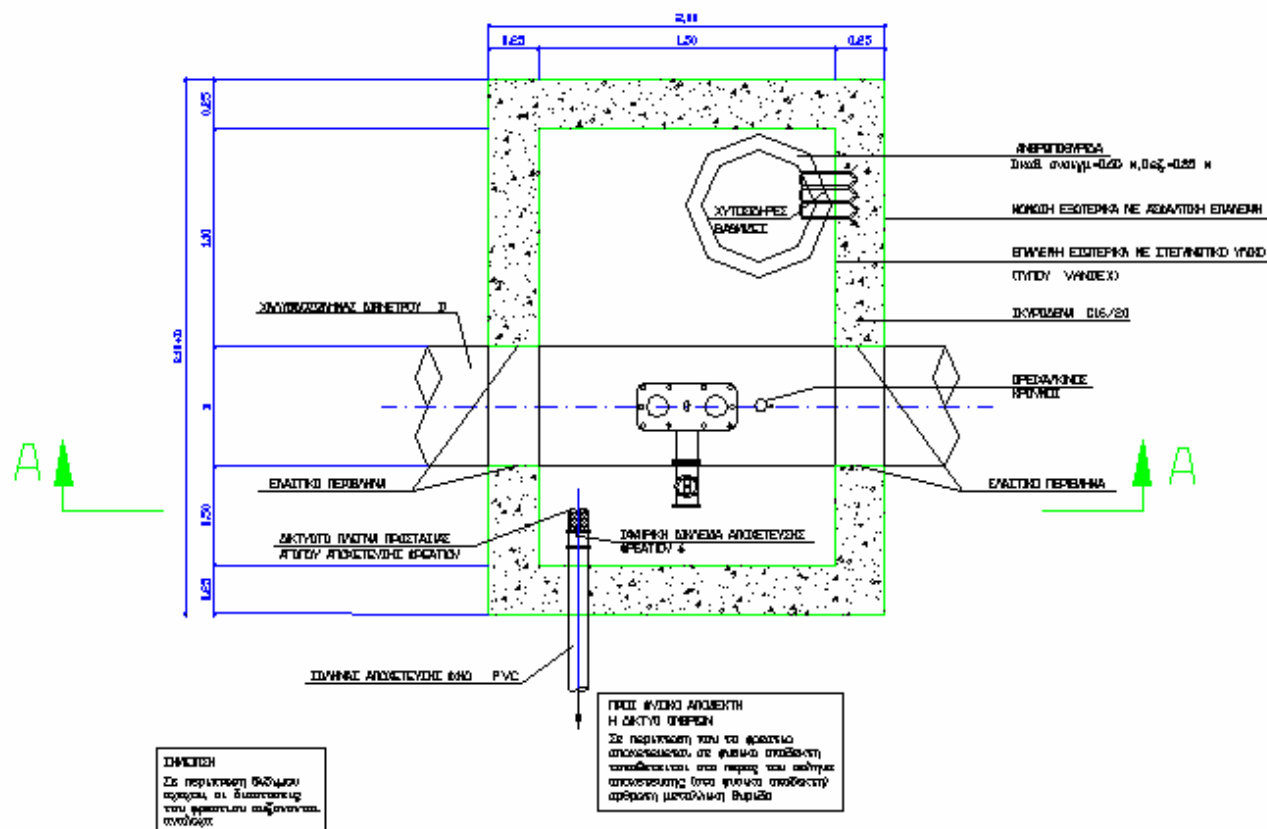
Απάγουν (και εισάγουν στους αερεξαγωγούς διπλής ενέργειας)
αέρα από τους αγωγούς

- ♦ Απάγουν αέρα σε φάση πλήρωσης
- ♦ Απάγουν αέρα σε φάση λειτουργίας σε ψηλά σημεία
- ♦ Εισάγουν αέρα στη φάση εκκένωσης ή υποπίεσης του υδραυλικού πλήγματος

Τομή αερεξαγωγού



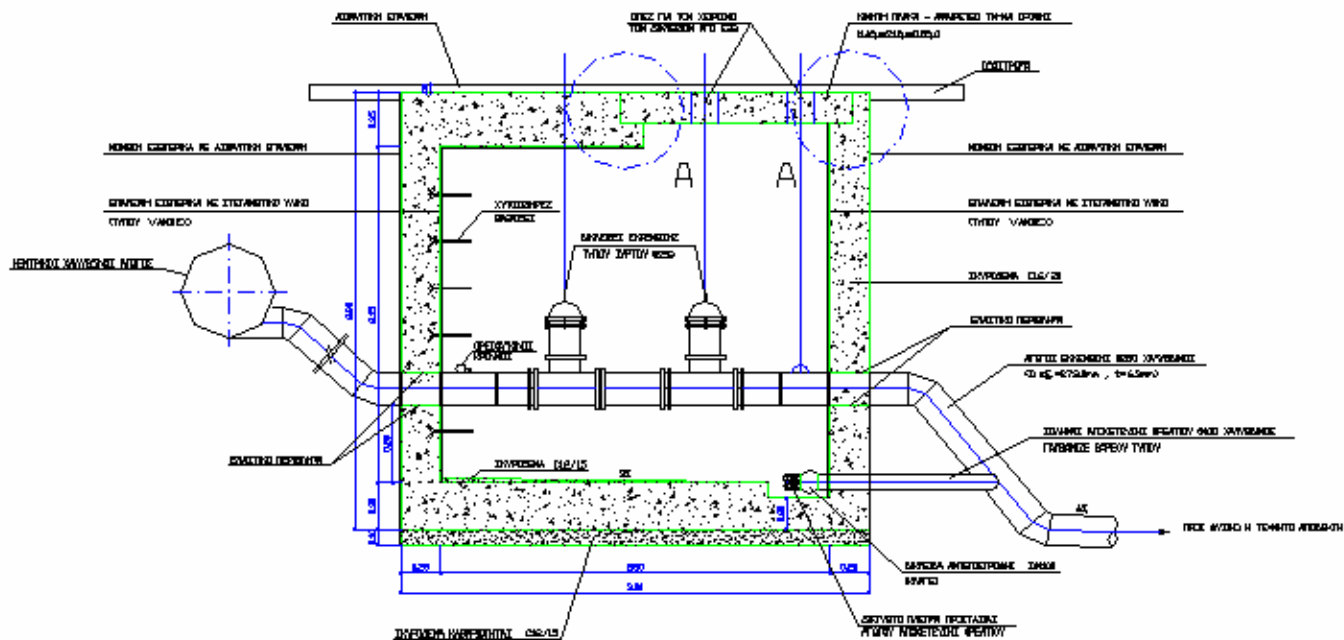
ΚΑΤΟΨΗ
Κυμνάκια 1-20



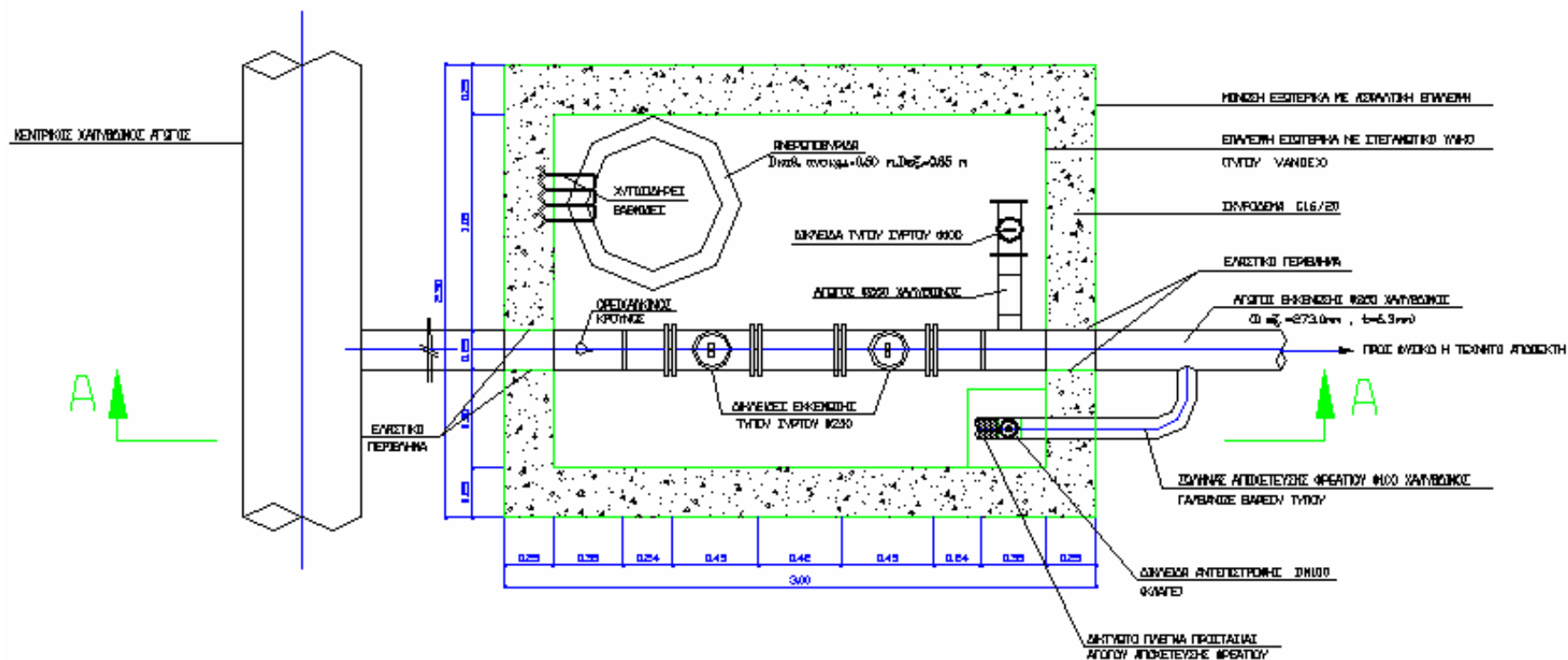
Εκκενωτές

Σύστημα τριών βαννών που χρησιμοποιούνται, στα χαμηλότερα σημεία της
μηκοτομής, για την εκκένωση του δικτύου

ΤΟΜΗ Α - Α
κλίμακα 1:50



ΚΑΤΟΨΗ
κύμακα: 120



Βαλβίδες ελέγχου

- ♦ Ανάλογα με το είδος τους επιτυγχάνουν:

- ♦ Μείωση πίεσης

Μειώνουν την πίεση σε ένα επιθυμητό επίπεδο κατάντη.

- ♦ Διατήρηση της πίεσης

Διατηρούν την πίεση κατάντη σταθερή, ανεξάρτητα από την πίεση ανάντη

- ♦ Αντιπληγματικές βαλβίδες

Αποσβένουν τα δημιουργούμενα κύματα υπερπίεσης και υποπίεσης

- ♦ Αντεπιστροφής

Διατηρούν τη ροή σε μία κατεύθυνση

Φρεάτια πιεζοθραύσεως

- ♦ Χρησιμοποιούν ως κατασκευές καθορισμού ενεργειακού υψομέτρου σε κρίσιμα σημεία του εξωτερικού και του εσωτερικού υδραγωγείου, με το να καθιστούν την πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.
- ♦ Ειδικός τύπος πιεζοθραυστικών φρεατίων είναι τα φρεάτια αποδόσεως, όπου καταλήγουν οι καταθλιπτικοί αγωγοί.

Εκτίμηση παροχών ακαθάρτων

Δημήτρης Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εισαγωγικές έννοιες

- ◆ Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την παροχή των αγωγών ακαθάρτων;
 - Πληθυσμός
 - Κατανάλωση νερού
 - Βιομηχανικές και άλλες ειδικές χρήσεις νερού
 - Παρασιτικές εισροές
- ◆ Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την περίοδο σχεδιασμού του δικτύου;
 - Ωφέλιμη διάρκεια ζωής έργων
 - Ευκολία ή δυσκολία επέκτασης
 - Μεγάλη ή μικρή αβεβαιότητα εξέλιξης του πληθυσμού και ανάπτυξης
 - Οικονομικοί παράγοντες (συνολικό κόστος, διαθέσιμα κεφάλαια, επιτόκια)
- ◆ Ποιες είναι οι πιο συνηθισμένες περίοδοι σχεδιασμού;
 - Γενικά: 40-50 χρόνια
 - Τριτεύοντες αγωγοί: έσχατη προβλεπόμενη ανάπτυξη
 - Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων: 20-25 χρόνια

Πληθυσμός και εξέλιξή του

- ◆ Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την εξέλιξη του πληθυσμού;
 - Γεννήσεις - θάνατοι - μεταναστεύσεις
 - Αναπτυξιακά έργα
 - Τουριστική ανάπτυξη
- ◆ Ποιες είναι οι πηγές πληθυσμιακών δεδομένων
 - Βασική πηγή: απογραφές πληθυσμού
 - Για ενδιάμεσες εκτιμήσεις: απογραφές μαθητών, καταναλωτών ρεύματος ή νερού, εγγραφές και διαγραφές στα δημοτολόγια κτλ.
- ◆ Ποιες είναι οι συνηθέστερες μέθοδοι εκτίμησης του μελλοντικού πληθυσμού;
 - Γραμμική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 + a t$
 - Αύξηση με τον τύπο του ανατοκισμού: $\Pi_t = \Pi_0(1 + \beta)^t$
 - Αύξηση σύμφωνα με τη λογιστική καμπύλη: $\Pi_t = \Pi_K / (1 + m e^{-n t})$
(Σημ.: αποτελεί λύση της διαφορικής εξίσωσης $d\Pi_t / dt = n \Pi_t (1 - \Pi_t / \Pi_K)$)
 - Γραφική επέκταση - Σύγκριση με άλλες πόλεις
- ◆ Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την κατανομή του πληθυσμού
 - Όροι δόμησης, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες κτλ.

Δ. Κουτσογιάννης, Εκτίμηση παροχών ακαθάρτων 2

Διακύμανση παροχών ακαθάρτων

- ◆ Πως συνδέεται η παροχή ακαθάρτων με την υδατική κατανάλωση;
 - Παροχή ακαθάρτων = $\rho \times \text{Υδατική κατανάλωση}$
 - Συντελεστής $\rho = 0.60-0.85$
 - Ελληνικές προδιαγραφές: Συντελεστής $\rho = 0.8$
- ◆ Ποια είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη της παροχής ακαθάρτων και πως υπολογίζονται;
 - Μέση ημερήσια παροχή ακαθάρτων (μέση παροχή στη διάρκεια ενός έτους)
$$Q_E = \rho Q'_E$$
 - Μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων (μέση παροχή στη διάρκεια της μέρας με τη μέγιστη κατανάλωση)
$$Q_H = \lambda_H Q_E \quad (\text{τυπική τιμή } \lambda_H = 1.5)$$
 - Μέγιστη στιγμιαία παροχή ακαθάρτων (αιχμή της παροχής στη διάρκεια της μέρας με τη μέγιστη κατανάλωση, αλλά και σε όλη τη διάρκεια ενός έτους)
$$Q_P = P Q_H$$

Δ. Κουτσογιάννης, Εκτίμηση παροχών ακαθάρτων 3

Διακύμανση παροχών ακαθάρτων 2

♦ Από τι εξαρτάται και πως υπολογίζεται ο συντελεστής αιχμής;

- Εξαρτάται από τον πληθυσμό που εξυπηρετείται (έμμεσα από την ημερήσια παροχή ακαθάρτων), την επιθυμητή ποιότητα λειτουργίας και λειτουργικές παραμέτρους
- Τυπική σχέση υπολογισμού με βάση τον πληθυσμό

$$P = 1.5 \left(1 + \frac{1.1}{\sqrt{P / 1000}} \right)$$

- Σχέση ελληνικών προδιαγραφών με βάση την μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων

$$P = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_H}} \leq 3$$

♦ Πως συνδέονται οι παροχές αιχμής εισόδου και εξόδου σε ένα κόμβο;

- $\Sigma Q_{P \text{ εισόδου}} > Q_{P \text{ εξόδου}}$

Παρασιτικές εισροές

♦ Ποιες θεωρούνται ως παρασιτικές εισροές σε δίκτυο ακαθάρτων;

- Εισροές υπόγειων νερών
- Εισροές ομβρίων μέσω παράνομων συνδέσεων

♦ Από ποιους παράγοντες επηρεάζονται οι παρασιτικές εισροές;

- Στάθμη υπόγειου ορίζοντα
- Υλικό αγωγών και ποιότητα κατασκευής
- Παλαιότητα δικτύου
- Διαπερατότητα εδάφους
- Αποτελεσματικότητα επιτήρησης - συντήρησης του δικτύου

♦ Πως εκτιμώνται οι παρασιτικές εισροές υπόγειων νερών; (Μέθοδος Metcalf & Eddy)

- Νέα δίκτυα με στεγανά φρεάτια και ελαστικούς δακτυλίους στεγανοποίησης αρμών

$$q_i = 0.5 / A^{0.3} \leq 0.161 \text{ L/s/ha}$$

- Παλιά δίκτυα με υψηλό υπόγειο ορίζοντα

$$q_i = 1 / A^{0.25} \text{ (L/s/ha)}$$

Υδραυλική των υπονόμων

Δημήτρης Κουτσογιάννης
Τομέας Υδατικών Πόρων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εισαγωγή

- ◆ Ποιο είναι το ποσοστό στερεών ουσιών στα λύματα;
 - Περίπου 1‰.
 - ◆ Έχουν επίπτωση οι στερεές ουσίες στην υδραυλική των υπονόμων;
 - Πρακτικά όχι ως προς τις ιδιότητες του ρευστού (νερού)
 - Ναι ως προς τα φαινόμενα που δημιουργούν (βιοχημικές αντιδράσεις, διάβρωση, αποθέσεις)
 - ◆ Ποιες είναι οι συνθήκες ροής στους υπονόμους
 - Κατά κανόνα: Ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μη μόνιμη, ανομοιόμορφη.
 - Απλούστευση: Ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μόνιμη, ομοιόμορφη.
 - ◆ Ποιος τύπος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου στους υπονόμους;
 - Ο τύπος του Manning: $V = (1/n) R^{2/3} i^{1/2}$
 - όπου V = ταχύτητα ροής
 - n = συντελεστής τραχύτητας
 - R = υδραυλική ακτίνα
 - i = κλίση τριβών
- (= κλίση ενέργειας για μόνιμη ροή,
= κλίση πυθμένα για ομοιόμορφη ροή)

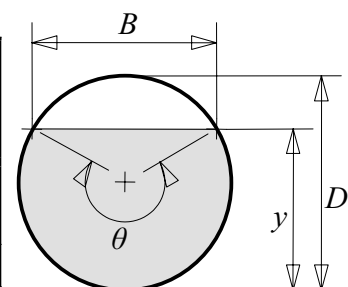
Εισαγωγή 2

- ◆ Από τι εξαρτάται ο συντελεστής τραχύτητας στους υπονόμους;
 - Όχι μόνο από το υλικό αλλά και – κυρίως – από κατασκευαστικούς παράγοντες (αρμοί, πλευρικές συνδέσεις, κακές ευθυγραμμίσεις), τις μεταφερόμενες στερεές ουσίες (ποσότητα και διαστάσεις, αποθέσεις) και τις τυχόν ρίζες δέντρων.
- ◆ Ποιες είναι οι τυπικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας;
 - Πειραματικά αποτελέσματα στις ΗΠΑ: $n = 0.011-0.016$ για αγωγούς σε καλή κατάσταση μέχρι 0.020 για αγωγούς σε κακή κατάσταση.
 - Σύσταση WPCF & ASCE: $0.011-0.015$ (για συνήθη υλικά σωληνώσεων).
 - Σύσταση για το μάθημα $n = 0.015$ όταν δεν γίνεται διάκριση γραμμικών και τοπικών απωλειών και 0.013 όταν οι τοπικές απώλειες υπολογίζονται ξεχωριστά.

Υδραυλικοί υπολογισμοί σε κυκλικούς αγωγούς

◆ Γεωμετρία

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	Μερική πλήρωση ($y < D$)	Ολική πλήρωση ($y = y_0 = D$)
Λόγος πλήρωσης, y/D	$\frac{y}{D} = \frac{1 - \cos(\theta/2)}{2}$	$\frac{y}{D} = 1$
Γωνία, θ	$\theta = 2 \arccos(1 - 2y/D)$	$\theta_0 = 2\pi$
Εμβαδό υγρής διατομής, A	$A = (\theta - \sin\theta) D^2/8$	$A_0 = \pi D^2/4$
Βρεχόμενη περίμετρος, P	$P = \theta D/2$	$P_0 = \pi D$
Υδραυλική ακτίνα, R	$R = (1 - \sin\theta/\theta) D/4$	$R_0 = D/4$
Πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια, B	$B = D \sin(\theta/2) = 2\sqrt{y(D-y)}$	0
Λόγος A/A_0	$A/A_0 = (\theta - \sin\theta) / 2\pi$	1
Λόγος R/R_0	$R/R_0 = 1 - \sin\theta/\theta$	1



Υδραυλικοί υπολογισμοί σε κυκλικούς αγωγούς 2

◆ Γενική μεθοδολογία

$$V = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} J^{1/2}$$

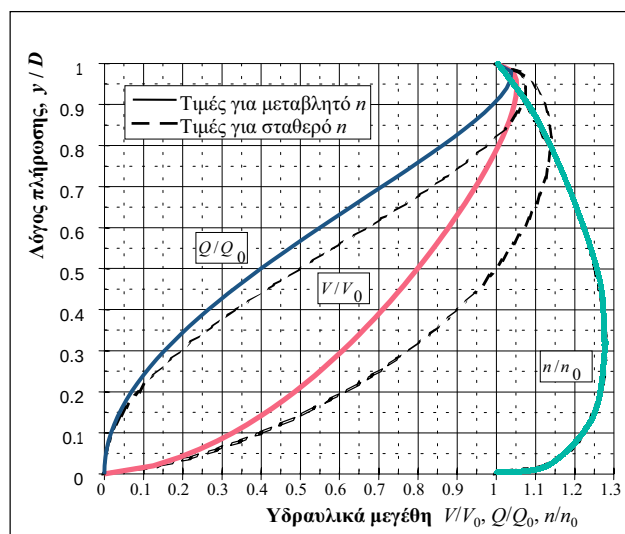
$$V_0 = \frac{1}{n_0} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} J^{1/2}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{n_0}{n} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{2/3}$$

$$Q = \frac{1}{2 \cdot 4^{5/3}} \frac{1}{n} \theta \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{5/3} D^{8/3} J^{1/2}$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{n_0} D^{8/3} J^{1/2}$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{n_0}{n} \frac{\theta}{2\pi} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)^{5/3}$$



Προδιαγραφές

- ◆ Ποιά είναι η σκοπιμότητα καθορισμού ελάχιστων διαμέτρων;
 - Αποφυγή κινδύνου εμφράξεων.
- ◆ Ποιες είναι οι ελάχιστες διάμετροι σε αγωγούς αποχέτευσης;
 - 20 cm για αγωγούς ακαθάρτων και 40 cm για αγωγούς ομβρίων.
- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα καθορισμού μέγιστων ποσοστών πλήρωσης;
 - Αποφυγή κινδύνου λειτουργίας των αγωγών υπό πίεση.
 - Αποφυγή ασταθειών ροής
 - Εξασφάλιση επαρκούς αερισμού των λυμάτων.

- ◆ Ποια είναι τα μέγιστα ποσοστά πλήρωσης;

Κατηγορία αγωγών	Μέγιστος λόγος πλήρωσης y/D
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 20 cm έως 40 cm	0.50
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 50 cm έως 60 cm	0.60
● Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου > 60 cm	0.70
● Νέοι αγωγοί ομβρίων γενικά	0.70
● Παλιοί αγωγοί αποχέτευσης	0.80

Προδιαγραφές 2

- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα επιβολής μέγιστων ορίων στην ταχύτητα;
 - Αποφυγή διάβρωσης των τοιχωμάτων των αγωγών και φρεατίων.
 - Αποφυγή μεγάλου ύψους κινητικής ενέργειας (Μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας $\Rightarrow$ Πιθανότητα γραμμής ενέργειας πάνω από το οδόστρωμα $\Rightarrow$ Πιθανή έξοδος λυμάτων στο δρόμο ή στα υπόγεια).
 - Αποφυγή υπερκρίσιμων ροών (Σε περίπτωση υπερκρίσιμης ροής $\Rightarrow$ Πιθανή εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων, ασταθειών ροής, στάσιμων κυμάτων – μη προβλέψιμες συνθήκες ροής).
- ◆ Ποια όρια επιβάλλουν οι προδιαγραφές;
 - Ελληνικές προδιαγραφές: $V_{\max} = 6 \text{ m/s}$
 - Διεθνείς προδιαγραφές: $V_{\max} = 3 \text{ m/s}$
 - Σύσταση για το μάθημα: $V_{\max} = 6 \text{ m/s}$ για αγωγούς ομβρίων και 3 m/s για αγωγούς ακαθάρτων
- ◆ Σε ποια παροχή αναφέρονται τα όρια της μέγιστης ταχύτητας;
 - Στην παροχή σχεδιασμού.

Προδιαγραφές 3

- ◆ Ποια είναι η σκοπιμότητα επιβολής ελάχιστων ορίων στην ταχύτητα;
 - Αποφυγή αποθέσεων φερτών στους αγωγούς και τα φρεάτια.
 - Εξασφάλιση καλού αερισμού των λυμάτων (Κακός αερισμός των λυμάτων $\Rightarrow$ Δημιουργία αναερόβιων συνθηκών $\Rightarrow$ Πιθανότητα παραγωγής υδροθείου $\Rightarrow$ Πιθανή διάβρωση των τοιχωμάτων αγωγών και φρεατίων).
- ◆ Ποια όρια επιβάλλουν οι ελληνικές προδιαγραφές;
 - $V_{\min} = 0.6 \text{ m/s}$ για αγωγούς ομβρίων και $V_{\min} = 0.3 \text{ m/s}$ για αγωγούς ακαθάρτων
- ◆ Σε ποια παροχή αναφέρονται τα όρια της ελάχιστης ταχύτητας;
 - Στο 10% της παροχευτικότητας Q_0 (όχι στην παροχή σχεδιασμού).
- ◆ Ποιες είναι οι αντίστοιχες ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής;
 - Για $Q/Q_0 = 0.10 \Rightarrow V/V_0 = 0.54 \Rightarrow V_{0,\min} = 1.11 \text{ m/s}$ για αγωγούς ομβρίων και 0.56 m/s για αγωγούς ακαθάρτων.

Προδιαγραφές 4

- ◆ Σε ποια ελάχιστη κλίση αντιστοιχούν οι ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής;

$$V_{0,\min} = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} J_{\min}^{1/2} \Leftrightarrow J_{\min} = \frac{4^{4/3} n^2 V_{0,\min}^2}{D^{4/3}}$$

- Παράδειγμα: $n = 0.015$, $D = 40 \text{ cm} \Rightarrow J_{\min} = 1.5 \text{ m/km}$ για αγωγούς ακαθάρτων και 6.0 m/km για αγωγούς ομβρίων
- Πλήρης πινακοποίηση ελάχιστων κλίσεων: στον Πίνακα 4.4.

Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης (συναρμογές, προβλήματα μεγάλων και μικρών ταχυτήτων)

Δημήτρης Κουτσογιάννης

Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Προβλήματα συναρμογών

- ◆ Σε ποιες περιπτώσεις χρειάζεται συναρμογή;
 - Αλλαγή διεύθυνσης
 - Αλλαγή κλίσης
 - Αλλαγή διαμέτρου
 - (Απότομη) αλλαγή υψομέτρου
 - Συμβολή
- ◆ Πως κατασκευάζεται μια τυπική συναρμογή;
 - Μέσα σε φρεάτιο επίσκεψης, με χυτό σκυρόδεμα (εξαίρεση: επισκέψιμες διατομές)
 - Πρακτικός κανόνας: Μεταξύ δύο φρεατίων υπάρχει ευθυγραμμία με σταθερά χαρακτηριστικά αγωγού (εξαίρεση: επισκέψιμες διατομές)
- ◆ Ποιοι είναι οι κύριοι τύποι των φρεατίων επίσκεψης
 - Σχήμα κάτοψης: Κυκλικά, ορθογωνικά, πρισματικά
 - Σχήμα κατακόρυφης τομής: Με ή χωρίς λαιμό
 - Σχήμα κατακόρυφης τομής κυκλικών φρεατίων: Με ή χωρίς κολουροκωνικό τμήμα
 - Τοπολογία αγωγών: Απλά φρεάτια επίσκεψης ή φρεάτια συμβολής
 - Υψομετρική τοποθέτηση αγωγών: Απλά φρεάτια επίσκεψης ή φρεάτια πτώσης
 - Ύπαρξη ειδικών μηχανισμών: Απλά φρεάτια επίσκεψης ή φρεάτια πλύσης

Προβλήματα συναρμογών 2

- ◆ Εκτός των θέσεων συναρμογής, σε ποιες άλλες θέσεις τοποθετούνται φρεάτια επίσκεψης;
 - Αρχή αγωγού
 - Σε ευθυγραμμίες αγωγών σε τρόπο ώστε το μήκος ανάμεσα σε δύο φρεάτια επίσκεψης να μην υπερβαίνει τα 60-100 m για αγωγούς ακαθάρτων και τα 100-150 m για αγωγούς ομβρίων

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 3

Προβλήματα συναρμογών 3

- ◆ Πως υπολογίζονται οι τοπικές απώλειες στις συναρμογές;

- Πρακτικός τρόπος: αύξηση του συντελεστή τραχύτητας ($n = 0.015$)
- Λεπτομερής τρόπος: ($n = 0.013$)

- * Αύξηση ταχύτητας προς τα καάντη:

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

- * Μείωση ταχύτητας προς τα καάντη:

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

- * Στροφές αγωγού

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

- * Συμβολές (για συμβολή του δευτερεύοντα αγωγού 3 στον κύριο αγωγό 1-2)

$$h_{\tau} = k_j \frac{V_1^2}{2g}$$

όπου

$$k_j = 0.5(Q_3 / Q_1)^{0.7}$$

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 4

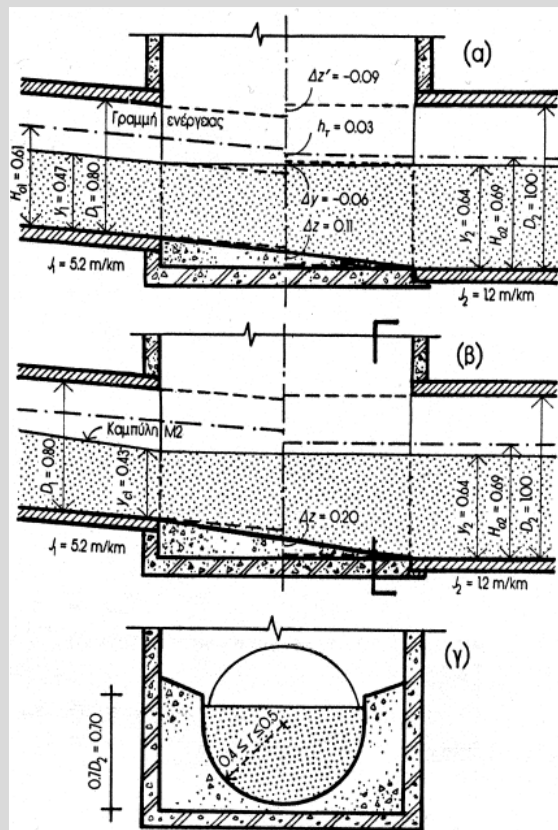
Προβλήματα συναρμογών 4

- ◆ Πώς τοποθετούνται υψομετρικά οι αγωγοί σε θέσεις αλλαγής διαμέτρου;
 - Πρακτικοί κανόνες:
 - * Δεν επιτρέπεται η μείωση διαμέτρων προς τα κατάντη
 - * Ταύτιση αντύγων (ή σημείων $0.8 D$)
 - Αναλυτικός υπολογισμός
 - * Ομοιόμορφη ροή ανάντη και κατάντη
 - *
$$\Delta z = \left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) - \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) + h_\tau$$
 - * $\Delta z \geq 0$

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 5

Προβλήματα συναρμογών 5

- ◆ Εφαρμογή 4.14.α
 - Να σχεδιαστεί συναρμογή αγωγού ακαθάρτων με παροχή σχεδιασμού 500 L/s για μετάβαση από κλίση 5.2 m/km (ανάντη) σε κλίση 1.2 m/km (κατάντη)
- ◆ Εφαρμογή 4.14.β
 - Τι θα συνέβαινε αν δεν διαμορφώνονταν καμιά πτώση στον πυθμένα του αγωγού;
- ◆ Εφαρμογή 4.14.γ
 - Τι θα συνέβαινε αν η διαδοχή κλίσεων ήταν η αντίστροφη (κλίση ανάντη 1.2 m/km και κατάντη 5 m/km).



Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 6

Προβλήματα μεγάλων ταχυτήτων - υπερκρίσιμων ροών

- ◆ Ποια προβλήματα είναι πιθανό να εμφανιστούν στο δίκτυο όταν έχουμε μεγάλη ταχύτητα;
 - Διάβρωση τοιχωμάτων αγωγών και φρεατίων.
 - Μεγάλο ύψος κινητικής ενέργειας $\Rightarrow$ Πιθανότητα γραμμής ενέργειας πάνω από το οδόστρωμα $\Rightarrow$ Πιθανή έξοδος λυμάτων στο δρόμο ή στα υπόγεια.
 - Σε περίπτωση υπερκρίσιμης ροής $\Rightarrow$ Πιθανή εμφάνιση υδραυλικών αλμάτων, ασταθειών ροής, στάσιμων κυμάτων (μη προβλέψιμες συνθήκες ροής).
- ◆ Πώς μπορούμε να μειώσουμε την ταχύτητα ροής κατά τη διαστασιολόγηση ενός αγωγού
 - Με μείωση της κλίσης του αγωγού (+ φρεατία πτώσης).
- ◆ Εφαρμογή 4.10
 - Να διαστασιολογηθεί αγωγός ακαθάρτων για παροχή $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ και κλίση 5%.
 - Αρχική λύση: $D = 80 \text{ cm}$, $y/D = 0.62 < 0.70$, $V = 4.64 \text{ m/s}$
 - Τελική λύση με μείωση της ταχύτητας στα 3 m/s , η οποία επιτυγχάνεται με μείωση της κλίσης και κατασκευή φρεατίων πτώσης: $J = 1.65\%$, $D = 100 \text{ cm}$, $y/D = 0.608 < 0.70$, $V = 3.00 \text{ m/s}$.

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 7

Προβλήματα μεγάλων ταχυτήτων - υπερκρίσιμων ροών 2

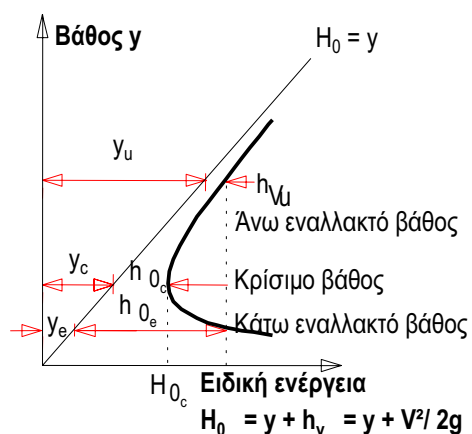
- ◆ Ποια είναι η βασική ποιοτική διαφορά μεταξύ της υποκρίσιμης και της υπερκρίσιμης ροής;

- Στην υποκρίσιμη ροή οι διαταραχές μεταδίδονται και προς τα ανάντη και προς τα κατάντη ($\Rightarrow$ βαθμιαία προσαρμογή της ροής στα ανάντη) ενώ στην υπερκρίσιμη μεταδίδονται μόνο προς τα κατάντη.

- ◆ Πώς ορίζεται το κρίσιμο βάθος;

- Είναι το βάθος ροής που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ειδική ενέργεια της ροής για δεδομένη γεωμετρία διατομής και παροχή. Γενικά υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\frac{Q^2 B_c}{g A_c^3} = 1$$



Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 8

Προβλήματα μεγάλων ταχυτήτων - υπερκρίσιμων ροών 3

- ◆ Πως υπολογίζεται το κρίσιμο βάθος σε κυκλικές διατομές;

Προσεγγιστική σχέση:

$$\frac{y_c}{D} = \begin{cases} (1 - \sqrt{1 - 0.767\xi^{0.247}})/2 & (\xi < 0.001) \\ 0.207\xi^{0.255} & (0.001 \leq \xi \leq 300) \\ (1 + \sqrt{1 - 190/\xi^{1.69}})/2 & (\xi > 300) \end{cases}$$

όπου

$$\xi = (512Q^2)/(gD^5)$$

- ◆ Ποιες είναι οι βασικές διαφορές στα χαρακτηριστικά μεταξύ της υποκρίσιμης και της υπερκρίσιμης ροής;

Τύπος ροής	Υποκρίσιμη	Κρίσιμη	Υπερκρίσιμη
Βάθος ροής, y	$> y_c$	$= y_c$	$< y_c$
Ταχύτητα ροής, V	$< V_c$	$= V_c$	$> V_c$
Αριθμός Froude, $Fr = V / \sqrt{gy_m}$	< 1	$= 1$	> 1
Κλίση	$< J_c$	$= J_c$	$> J_c$

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 9

Προβλήματα μεγάλων ταχυτήτων - υπερκρίσιμων ροών 4

- ◆ Εφαρμογή 4.15

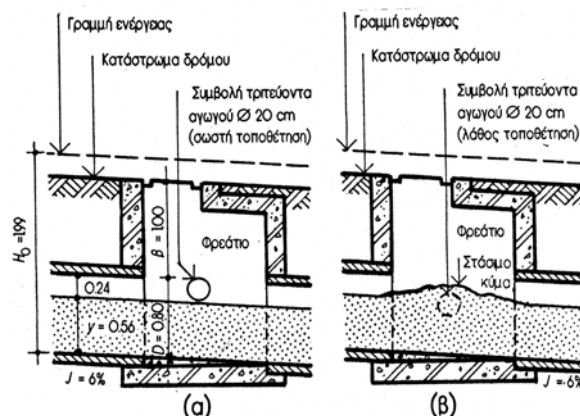
- Αγωγός ακαθάρτων διαμέτρου 80 cm με κλίση 6% μεταφέρει παροχή 2.00 m³/s. Ζητούνται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ομοιόμορφης και της κρίσιμης ροής.

* Ομοιόμορφη ροή: $y = 0.56$ m, $y/D = 0.70$, $V = 5.3$ m/s, $H_0 = 1.99$ m, $y_m = 0.51$ m, $Fr = 2.37 > 1$.

* Κρίσιμη ροή: $y_c = 0.77$ m, $V_c = 4.03$ m, $J_c = 2.83\%$.

- ◆ Εφαρμογή 4.16

- Ποια προβλήματα μπορεί να υπάρξουν στον αγωγό της εφαρμογής 4.15;



Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 10

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων

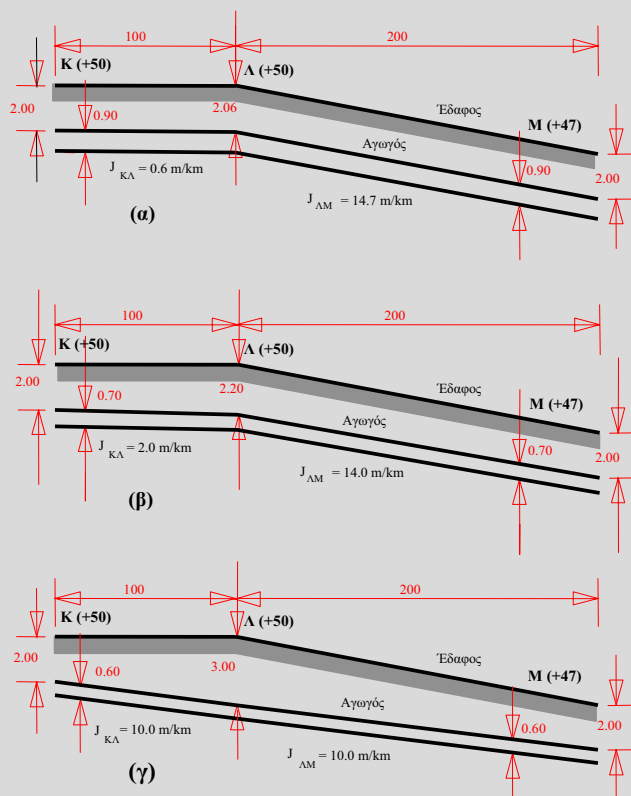
- ◆ Ποια προβλήματα είναι πιθανό να εμφανιστούν στο δίκτυο όταν έχουμε πολύ μικρή ταχύτητα;
 - Αποθέσεις φερτών στους αγωγούς και τα φρεάτια.
 - Κακός αερισμός των λυμάτων $\Rightarrow$ Δημιουργία αναερόβιων συνθηκών $\Rightarrow$ Πιθανότητα παραγωγής υδροθείου $\Rightarrow$ Πιθανή διάβρωση των τοιχωμάτων αγωγών και φρεατίων.
- ◆ Πώς μπορούμε να αυξήσουμε την ταχύτητα ροής κατά τη διαστασιολόγηση ενός αγωγού;
 - Με αύξηση της κλίσης του αγωγού.
- ◆ Πώς αντιμετωπίζονται πολύ μικρές ταχύτητες στα πλέον ανάντη τμήματα τριτευόντων αγωγών;
 - Με κατασκευή φρεατίων πλύσης

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 11

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 2

◆ Εφαρμογή 4.12.β

- Η χάραξη κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων περνάει από τα σημεία K, Λ, και Μ με αποστάσεις (ΚΛ) = 100 m και (ΛΜ) = 200 m και υψόμετρα εδάφους $z_K = z_\Lambda = 50$ m και $z_M = 47$ m. Η παροχή σχεδιασμού του αγωγού είναι 250 L/s, ενιαία για όλο το μήκος ΚΛΜ. Η διάμετρος του αγωγού ανάντη του Κ είναι 60 cm. Το ελάχιστο βάθος είναι 2 m, μετρούμενο από την άντυγα του αγωγού. Ζητείται η διαστασιολόγηση και σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού. Ο συντελεστής τραχύτητας n είναι 0.015.



Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 12

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 3

◆ Πως υπολογίζεται η ταχύτητα αυτοκαθαρισμού;

- **Κρίσιμη συρτική τάση:** $\tau_{mc} = \beta g (\rho_s - \rho) d_s$

όπου d_s η χαρακτηριστική διάσταση του κόκκου, ρ_s η πυκνότητά του, ρ η πυκνότητα του ρευστού, g η επιτάχυνση βαρύτητας και β χαρακτηριστική αδιάστατη παράμετρος του Shields, με τιμή 0.06 για συνθήκες πλήρως τραχείας ροής (δηλαδή για $Re^* > u_* d_s / \nu > 11.6$, όπου $u_* = (\tau_{mc}/\rho)^{1/2}$). Σε προβλήματα ροής σε υπονόμους χρησιμοποιείται η τιμή $\beta = 0.04 - 0.8$.

- Συρτική τάση στον πυθμένα για δεδομένα χαρακτηριστικά ροής R και i

$$\tau_m = \rho g R i$$

- Για την ύπαρξη συνθηκών αυτοκαθαρισμού θα πρέπει: $\tau_m \geq \tau_{mc}$, ή στην οριακή περίπτωση $\tau_m = \tau_{mc}$,

$$Ri = \beta \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d_s$$

- Συνδυασμός με τις εξισώσεις Chezy, Manning, Darcy-Weisbach

$$V_{\min} = C \sqrt{\beta \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d_s} \quad V_{\min} = \frac{R^{1/6}}{n} \sqrt{\beta \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d_s} \quad V_{\min} = \sqrt{\frac{8g}{f} \beta \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d_s}$$

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 13

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 4

- Εφαρμογή 4.11

- Να υπολογιστούν οι ελάχιστες διαστάσεις κόκκων, (α) άμμου με $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ και (β) οργανικού υλικού με $\rho_s = 1200 \text{ kg/m}^3$, που μετακινούνται (δεν καθιζάνουν) όταν η ταχύτητα είναι 0.60 m/s . Να θεωρηθεί $f = 0.025$.

* Για $\beta = 0.04$ (ξεκίνημα απόπλυσης) $d_s = 1.7 \text{ mm}$ για άμμο και 14.3 mm για οργανικό υλικό.

* Για $\beta = 0.8$ (πλήρης απόπλυση) $d_s = 0.09 \text{ mm}$ για άμμο και 0.72 mm για οργανικό υλικό.

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 14

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 5

- ◆ Ποια είναι τα κυριότερα προβλήματα που προκαλούνται από το υδρόθειο στους αγωγούς ακαθάρτων;
 - Πρόκληση απεχθών οσμών.
 - Δημιουργία δηλητηριώδους ατμόσφαιρας, επικίνδυνης για τη ζωή όσων εργάζονται στη συντήρηση των υπονόμων.
 - Διάβρωση των οροφών των αγωγών από σκυρόδεμα, αμιαντοτσιμέντο ή μέταλλο (στην περιοχή που δεν καλύπτεται από τη ροή). Είναι ενδιαφέρον ότι τα τοιχώματα των σωλήνων που βρέχονται δεν προσβάλλονται σοβαρά από το διαλυμένο υδρόθειο.
 - Προβλήματα στην εφαρμογή αερόβιων διεργασιών στην εγκατάσταση καθαρισμού όταν τα λύματα φτάνουν εκεί. Επίσης αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας χλωρίου, όταν εφαρμόζεται χλωρίωση των λυμάτων.
- ◆ Πως προκαλείται η διάβρωση των οροφών των αγωγών;
 - Πρώτο στάδιο, που προκαλείται από λευκοβακτηριοειδή, όπως η θειοθρίξ: οξείδωση του H_2S σε S:
$$2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{S}$$
 - Δεύτερο στάδιο, που προκαλείται από πρωτοβακτηρίδια, όπως ο θειοβάκιλος: οξείδωση θείου σε θειικό οξύ:
$$2 \text{S} + 3 \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$$

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 15

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 6

- ◆ Τι προκαλεί αύξηση της παραγωγής υδροθείου σε αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια;
 - αύξηση του χρόνου παραμονής
 - αύξηση του οργανικού φορτίου
 - αύξηση της θερμοκρασίας
 - αύξηση της βρεχόμενης περιμέτρου του αγωγού
 - μείωση του πλάτους της ελεύθερης επιφάνειας του αγωγού
 - μείωση της τύρβης στη ροή, που έχει συνέπεια τη μείωση του ρυθμού μεταφοράς αέρα (και άρα οξυγόνου) στα λύματα. Η τύρβη συναρτάται με την κλίση του αγωγού και την ταχύτητα.
- ◆ Τι προκαλεί αύξηση του ρυθμού έκλυσης υδροθείου από την ελεύθερη επιφάνεια της ροής;
 - αύξηση της συγκέντρωσης υδροθείου στα λύματα
 - μείωση του pH των λυμάτων
 - έντονη αύξηση της τύρβης στη ροή

Δ. Κουτσογιάννης, Ειδικά κεφάλαια δικτύων αποχέτευσης 16

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 7

- ◆ Ποια μέτρα μπορούν να λαμβάνονται για τη μείωση της παραγωγής υδροθείου σε αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια;
 - Τήρηση ικανοποιητικών περιθωρίων αερισμού και ελάχιστων ταχυτήτων κατά το σχεδιασμό των αγωγών.
 - Σε δυσμενείς συνθήκες, αύξηση της διαμέτρου του αγωγού, πράγμα που έχει συνέπεια τη μείωση του λόγου βρεχόμενης περιμέτρου προς πλάτος ελεύθερης επιφάνειας (P/B).
 - Ελαχιστοποίηση των περιοχών υψηλής τύρβης στο δίκτυο, για τον περιορισμό της απελευθέρωσης υδροθείου στον αέρα.
 - Εφοδιασμός των αγωγών με κατασκευές αερισμού.
- ◆ Πως εκτιμάται η ελάχιστη ταχύτητα αυτοαερισμού;

- Σχέση του Pomeroy
$$V_{\min,a} = \frac{[EBOD]}{590} \text{ (m / s)}$$

όπου [EBOD] η συγκέντρωση του ενεργού οργανικού φορτίου στα λύματα σε mg/l, που συνδέεται με την αντίστοιχη συγκέντρωση του BOD_5 με τη σχέση

$$[EBOD] = [BOD_5] 1.07^{T-20}$$

στην οποία T είναι η θερμοκρασία σε °C.

Προβλήματα μικρών ταχυτήτων 8

- ◆ Ποια παράμετρος χρησιμοποιείται ως εμπειρικό μέτρο της πιθανότητας παραγωγής υδροθείου;

Ο δείκτης Z του Pomeroy, που ορίζεται από την ακόλουθη σχέση, γνωστή ως “τύπος Z ”

$$Z = \frac{0.3[EBOD]}{J^{1/2} Q^{1/3}} \frac{P}{B}$$

όπου [EBOD] το ενεργό οργανικό φορτίο (mg/L), J η κλίση του αγωγού, Q η παροχή (m^3/s), P η βρεχόμενη περίμετρος και B το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας του αγωγού (μονάδες ίδιες με αυτές του P). Για τιμές του Z μικρότερες από 5000 η πιθανότητα παραγωγής υδροθείου είναι μικρή. Για Z στην περιοχή 5000-10000 αναμένεται σχηματισμός μικρών ποσοτήτων υδροθείου (0.2-0.4 mg/L) χωρίς όμως σοβαρούς κινδύνους. Σοβαρά προβλήματα αναμένονται για Z μεγαλύτερο του 10000 και ιδιαίτερα στην περιοχή 15000-20000. Συνήθως θεωρείται ως όριο του Z , προκειμένου να μην υπάρξουν προβλήματα στον αγωγό η τιμή 7500.