

Υδραυλική & Υδραυλικά Έργα
5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

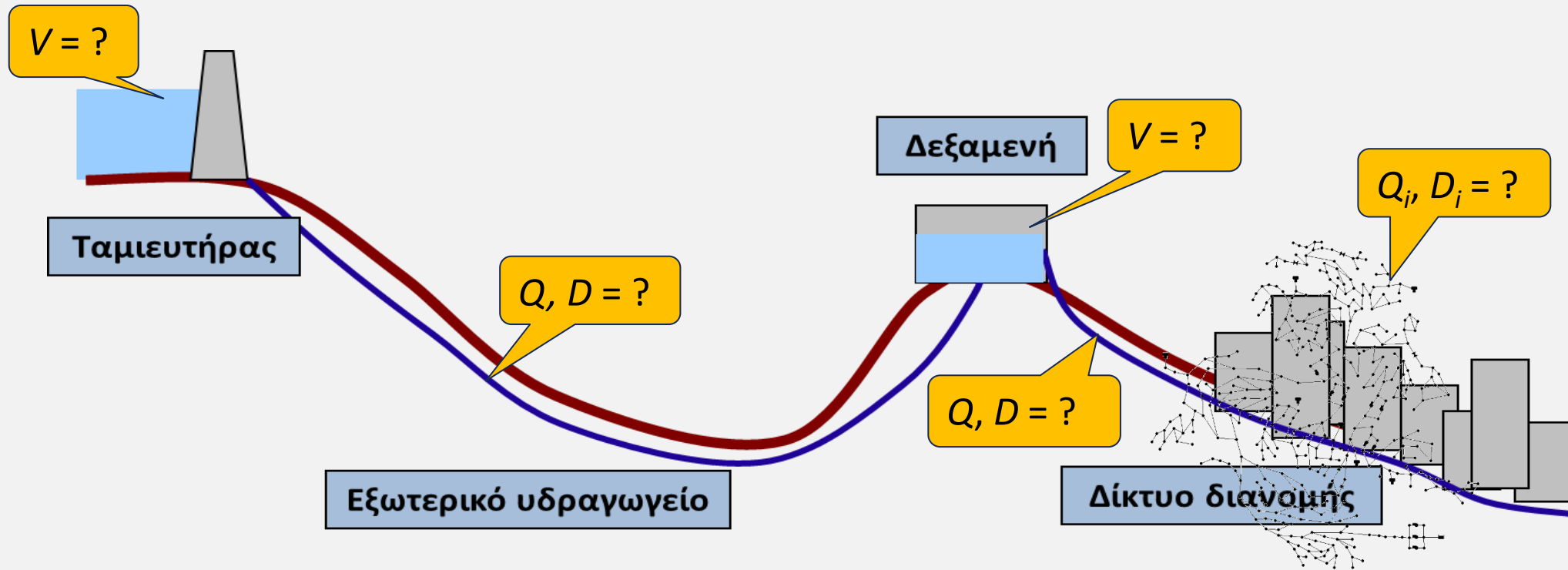
Υδρεύσεις – Δίκτυα διανομής

Ανδρέας Ευστρατιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ
Παναγιώτης Κοσσιέρης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

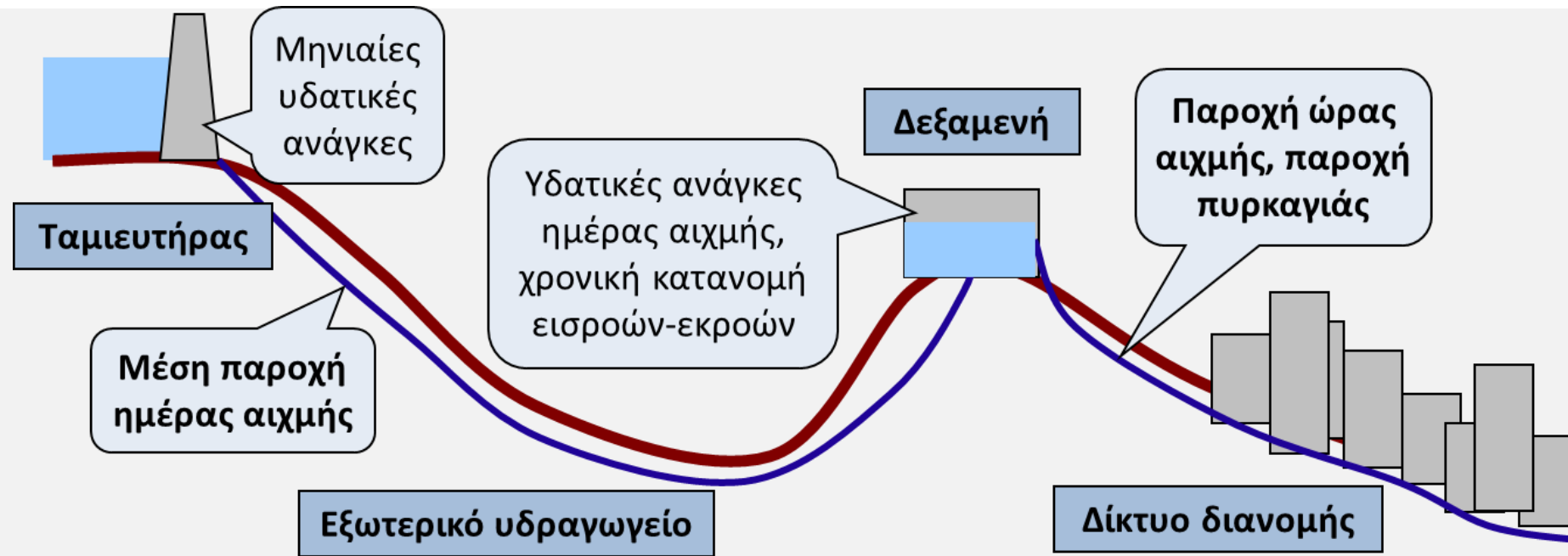
Οκτώβριος 2023

Συστήματα ύδρευσης: Τυπική γενική διάταξη & μεγέθη σχεδιασμού



V : Όγκος
 Q : Παροχή σχεδιασμού
 D : Διατομή έργου μεταφοράς

Σύνοψη μεγεθών σχεδιασμού υδρευτικών έργων



- ❑ Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (ταμιευτήρας) → διαστασιολόγηση με βάση τη μηνιαία κατανομή των υδρευτικών αναγκών του έτους σχεδιασμού
- ❑ Εξωτερικό υδραγωγείο → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες ζήτησης της δυσμενέστερης ημέρας του έτους
- ❑ Δίκτυο διανομής → διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες ζήτησης 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

Συνιστώσες αστικής ζήτησης νερού

- Οικιακή χρήση μόνιμου πληθυσμού
- Εποχιακή οικιακή χρήση (παραθεριστικές περιοχές)
- Τουριστική χρήση (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια)
- Βιομηχανική/βιοτεχνική χρήση
- Δημόσια και δημοτική χρήση (πάρκα και λοιποί χώροι πρασίνου, νοσοκομεία, σχολεία, εκκλησίες, δημόσιες υπηρεσίες, κλπ.)
- Μη οικιακή γεωργική χρήση (μικρής κλίμακας καλλιέργειες)
- Νερό για πυρόσβεση
- Απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού

Η κάθε χρήση παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς την τάξη μεγέθους της ζήτησης και τη χρονική διακύμανση, εντός του έτους και του 24ώρου -> εκτίμηση των βασικών μεγεθών σχεδιασμού για κάθε χρήση ξεχωριστά.

Χαρακτηριστικά ζήτησης για κάθε χρήση

- **Οικιακή χρήση μόνιμου πληθυσμού**
 - Η ζήτηση **εκδηλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους** και παρουσιάζει **έντονη (εποχιακή) μεταβολή από ημέρα σε ημέρα και από ώρα σε ώρα.**
- **Τουριστική/παραθεριστική χρήση**
 - 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 χρήση**
 - 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.
- **Δημόσιες-δημοτικές χρήση**
 - Συνήθως αποτελούν **μικρό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης** και **συνυπολογίζονται με τις οικιακές.**
- **Πυροσβεστική χρήση**
 - Αποτελεί **έκτακτη χρήση**, που διαρκεί ορισμένες ώρες και λαμβάνεται υπόψη μόνο στο **σχεδιασμό του δικτύου διανομής και της δεξαμενής.**
 - Η παροχή **εκτιμάται με βάση το πλήθος των κρουνών** που λειτουργούν ταυτόχρονα (σε συνήθεις οικισμούς θεωρείται ενεργοποίηση δύο κρουνών).

Εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών οικιακής και τουριστικής ζήτησης

- Ο **ετήσιος όγκος νερού** V_E για οικιακή και τουριστική ζήτηση εκτιμάται από τη σχέση:

$$V_E = q \Pi T_E \text{ [m}^3\text{/yr]}$$

όπου q η ειδική (μέση ημερήσια κατά κεφαλή) κατανάλωση, Π ο πληθυσμός σχεδιασμού και T_E η διάρκεια μέσα στο έτος στην οποία αφορά η υπόψη χρήση:

- q (L/d/κάτοικο): η **ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση** λαμβάνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με το τύπο της ζήτησης (μόνιμοι κάτοικοι, παραθεριστές, τουρίστες κτλ.)
 - Π (κάτοικοι): ο **πληθυσμός** σχεδιασμού αναφέρεται στο πέρας της ωφέλιμης ζωής των έργων ύδρευσης (συνήθως 40 έτη) και προκύπτει ύστερα από πρόβλεψη
 - T_E (ημέρες): η **διάρκεια** λαμβάνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με το τύπο της ζήτησης (οικιακή χρήση: 365 ημέρες, θερινή τουριστική χρήση: ~180 ημέρες)
- Η **μέση ημερήσια ζήτηση** Q_E για κάθε οικιακή ή τουριστική χρήση υπολογίζεται ως:

$$Q_E = q \Pi = V_E / T_E \text{ [L/s]}$$

Μέση κατά κεφαλή (ειδική) ζήτηση για οικιακή χρήση νερού

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

$$Q_E = q \Pi = V_E / T_E \text{ [L/s]}$$

όπου q η ειδική (μέση ημερήσια κατά κεφαλή) κατανάλωση, Π πληθυσμός σχεδιασμού, V_E ο ετήσιος όγκος νερού και T_E η διάρκεια μέσα στο έτος στην οποία αφορά η υπόψη χρήση.

- Τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης (στην Ελλάδα):
 - Οικιακή χρήση **μόνιμων κατοίκων**: 120 - 150 L/d/κάτοικο
- Διάρκεια χρήσης: 365 ημέρες

Μέση κατά κεφαλή (ειδική) ζήτηση για τουριστική χρήση νερού

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

$$Q_E = q \Pi = V_E / T_E \text{ [L/s]}$$

όπου q η ειδική (μέση ημερήσια κατά κεφαλή) κατανάλωση, Π πληθυσμός σχεδιασμού, V_E ο ετήσιος όγκος νερού και T_E η διάρκεια μέσα στο έτος στην οποία αφορά η υπόψη χρήση.

- Τυπικές τιμές ειδικής κατανάλωσης (στην Ελλάδα):
 - Οικιακή χρήση **παραθεριστών**: 180 - 200 L/d/κάτοικο
 - **Τουριστική χρήση**: 200 - 250 L/d/κλίνη
- **Διάρκεια χρήσης**: 180 ημέρες (θερινή περίοδος) ~ εξαρτάται από την τουριστική δραστηριότητα της περιοχής
- Υδρευτικές ανάγκες **ξενοδοχείων** (ΦΕΚ 43Α/2002, εδάφιο 1.3β):
 - Ξενοδοχεία 5* και σύνθετα τουριστικά καταλύματα: 450 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 4*: 350 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 3*: 300 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 2*: 250 L/d/κλίνη
 - Ξενοδοχεία 1*: 150 L/d/κλίνη
 - Αν το ξενοδοχείο διαθέτει κήπο, προστίθενται αρδευτικές ανάγκες (π.χ. 4.0 L/m² για χλοοτάπητα)

Τυπικές ζητήσεις για άλλες χρήσεις νερού

- **Βιομηχανική/Βιοτεχνική χρήση:** ανάλογα την παραγωγή και τον κλάδο
- **Πότισμα πάρκων:** Στοιχεία από τον εκάστοτε δήμο (π.χ. αρδευτικές ανάγκες 4.0 L/m^2 για χλοοτάπητα)
- **Νοσοκομεία:** 200 – 250 λίτρα/κλίνη/ημέρα
- **Σχολεία:** 10 – 50 L/d/άτομο
- **Πυρόσβεση:** έκτακτη χρήση, θεωρούμε παροχή κρουνών 5 – 10 l/s
- **Απώλειες δικτύου:** 10 – 40% της ζήτησης (κατά το σχεδιασμό συνήθως λαμβάνεται ως 10 – 20% της συνολικής ζήτησης)

Εκτίμηση χρονικής εξέλιξης πληθυσμού

□ Περίοδος σχεδιασμού έργων (Π.Δ. 696/1974): 40 έως 50 έτη για τους αγωγούς μεταφοράς/διανομής νερού

Τυπικά μοντέλα εξέλιξης πληθυσμού:

■ **Γεωμετρική αύξηση:** $\Pi_t = \Pi_{t_0} (1 + b)^{(t - t_0)}$

➤ $b = (\Pi_{t_2} / \Pi_{t_1})^{1/(t_2 - t_1)} - 1,$

➤ Νέοι οικισμοί (< 5000), με γρήγορη ανάπτυξη

■ **Γραμμική αύξηση:** $\Pi_t = \Pi_{t_0} + a (t - t_0)$

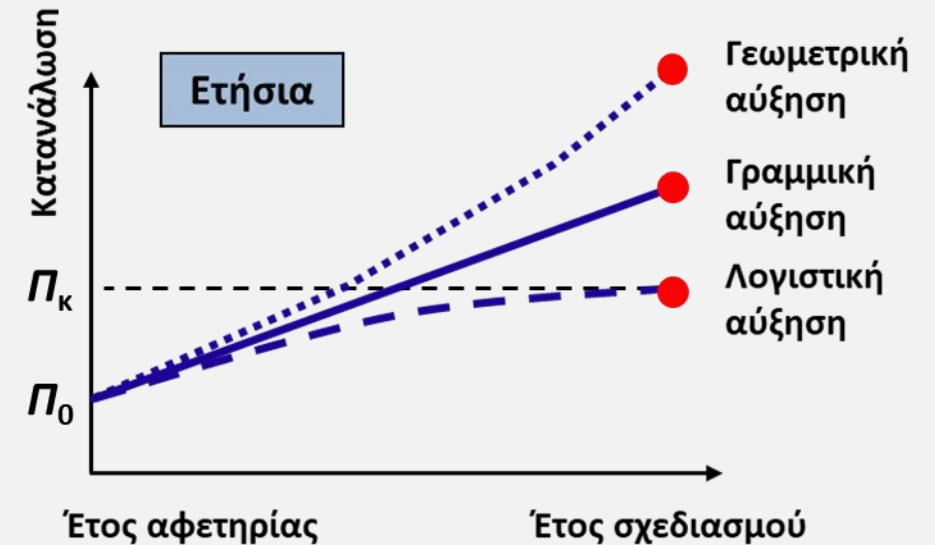
➤ $a = (\Pi(t_2) - \Pi(t_1)) / (t_2 - t_1)$

➤ Υφιστάμενοι οικισμοί, με σχετικά μικρό ρυθμό ανάπτυξης

■ **Φθίνουσα αύξηση:** $\Pi_t = \Pi_k + (\Pi(t_2) - \Pi(t_k)) \times e^{-\lambda(t - t_2)}, t \geq t_2$

➤ Υφιστάμενοι (παλαιοί) οικισμοί, πλησίον κορεσμού

όπου Π_{t_0} ο πληθυσμός αφετηρίας, Π_t ο πληθυσμός μετά από t έτη, Π_k ο πληθυσμός κορεσμού, και a, b, λ παράμετροι που εκτιμώνται με βάση ιστορικά δεδομένα δύο ή τριών πρόσφατων απογραφών πληθυσμού.

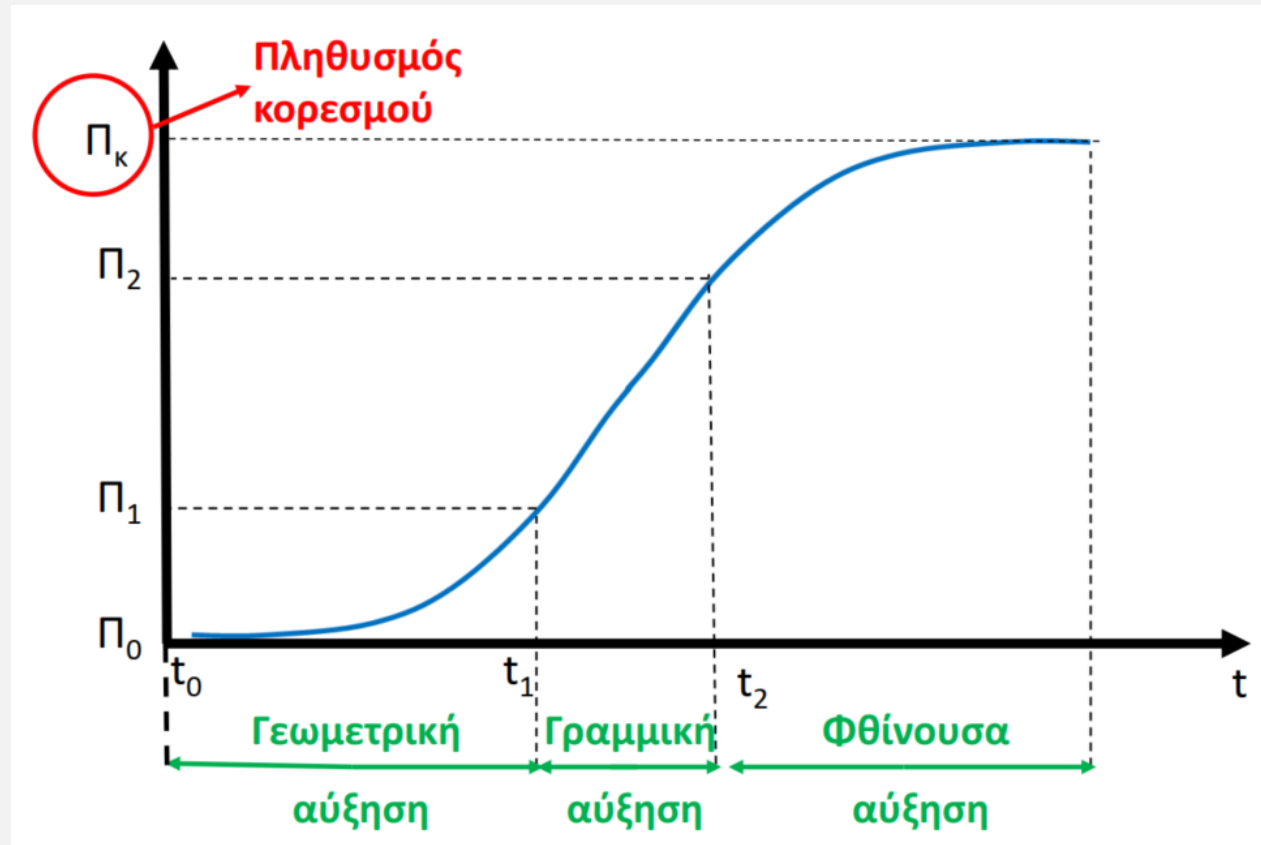


Λογιστική Καμπύλη

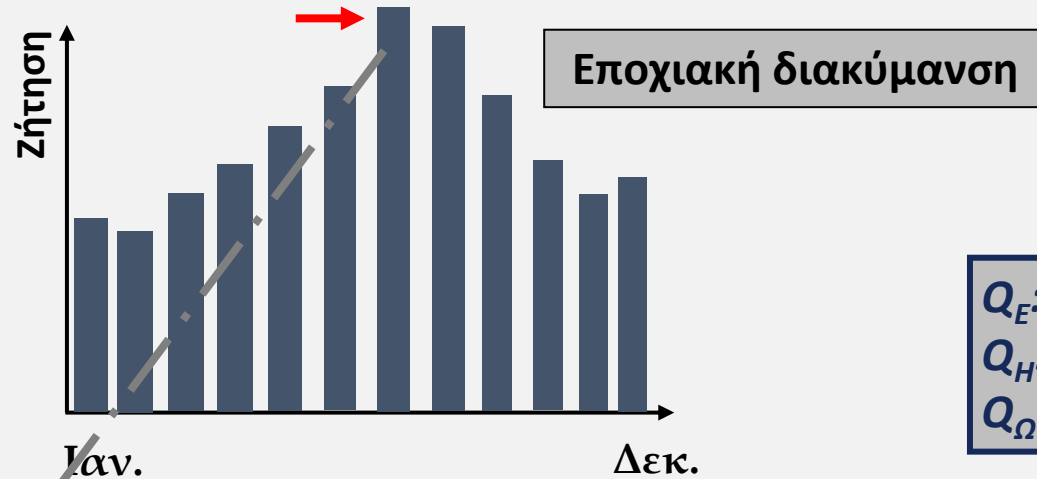
- Τα τρία παραπάνω μοντέλα μπορούν να περιγράψουν από τη λογιστική καμπύλη:

$$\Pi_t = \Pi_k / (1 + m e^{-\eta t})$$

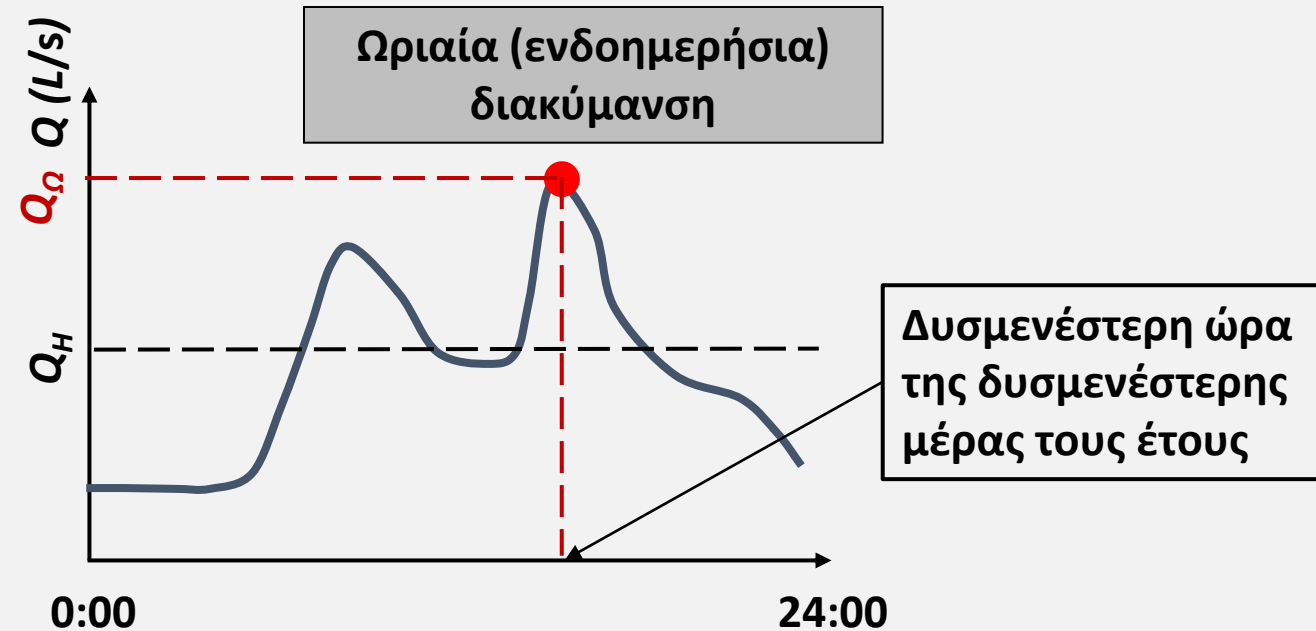
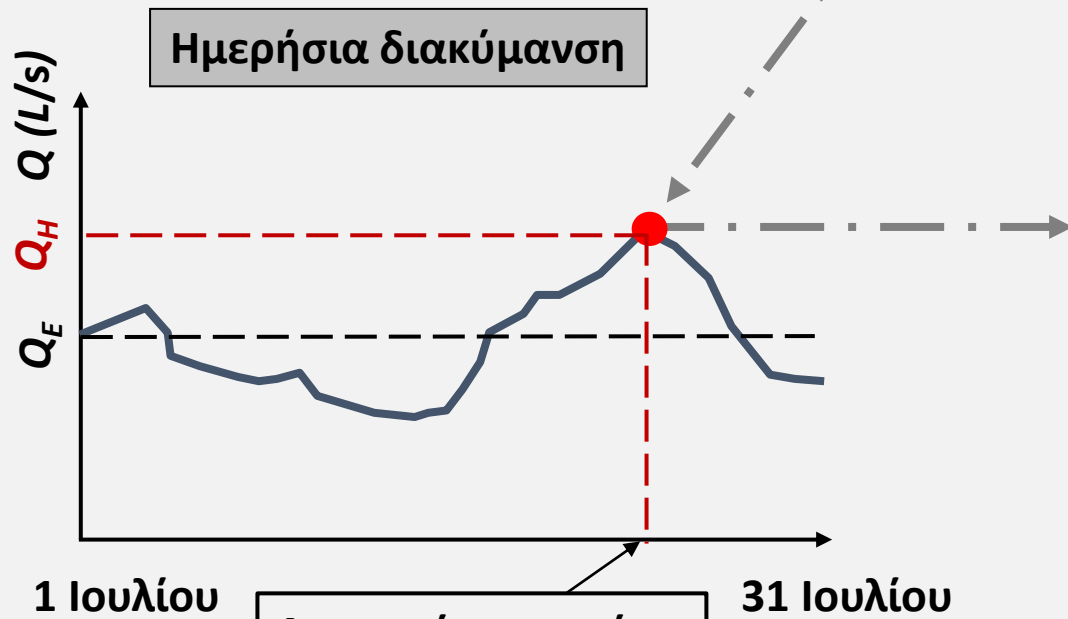
όπου Π_t ο πληθυσμός μετά από t έτη, Π_k ο πληθυσμός κορεσμού, και m, η παράμετροι που εκτιμώνται με βάση ιστορικά δεδομένα τριών πρόσφατων απογραφών πληθυσμού.



Χρονική διακύμανση της ζήτησης νερού



Q_E : Μέση ημερήσια παροχή
 Q_H : Μέγιστη ημερήσια παροχή
 Q_Ω : Μέγιστη ωριαία παροχή



Μέγιστη ημερήσια παροχή ζήτησης νερού

- Αν έχουμε (από μετρήσεις) τον **μέγιστο ημερήσιο όγκο νερού** V_H , τότε η **μέγιστη ημερήσια παροχή** Q_H δίνεται από τη σχέση:

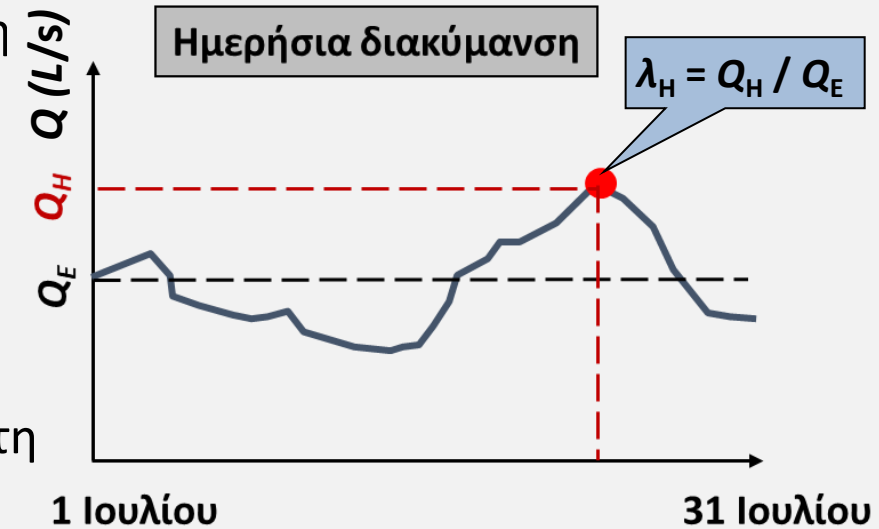
$$Q_H = V_H / T_H \text{ [L/s]}$$

όπου T_H η **διάρκεια της ημέρας** (86400 s).

- Αν δεν υπάρχουν μετρήσεις, κατά το σχεδιασμό η **μέγιστη ημερήσια παροχή** Q_H προκύπτει από την μέση ημερήσια παροχή Q_E σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_H = \lambda_H Q_E \text{ [L/s]}$$

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



- Η **μέγιστη ημερήσια παροχή/όγκος** χρησιμοποιείται για την **διαστασιολόγηση του εξωτερικού υδραγωγείου**:
 - $Q_{\Sigma\chi} = Q_H$ για 24ωρη λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου
 - $Q_{\Sigma\chi} = Q_H * (24/T_\gamma)$ για λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου T_γ ώρες

Η παροχή πυρόσβεσης καλύπτεται από τη δεξαμενή ρύθμισης, και δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της παροχής σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου.

Μέγιστη ωριαία παροχή ζήτησης νερού

- Ομοίως, αν έχουμε (από μετρήσεις) τον **μέγιστο ωριαίο όγκο νερού** V_{Ω} , τότε η **μέγιστη ωριαία παροχή** Q_{Ω} δίνεται από τη σχέση:

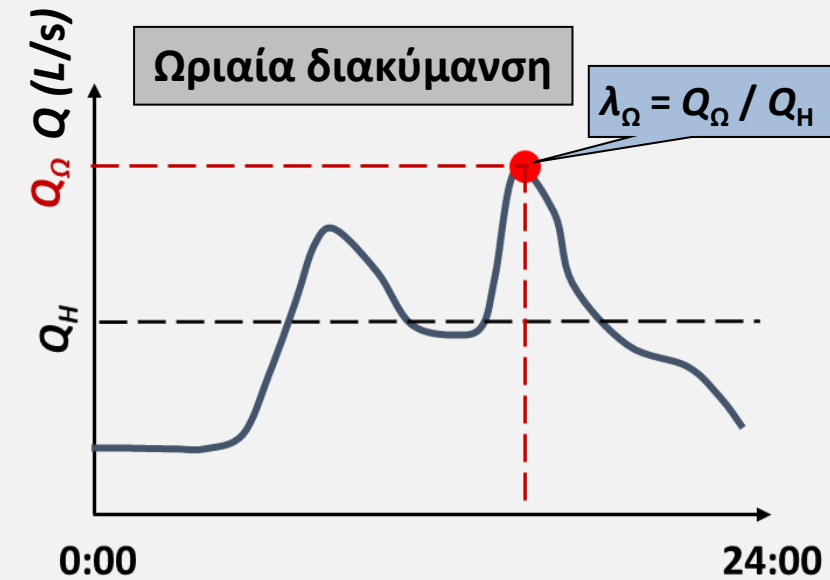
$$Q_{\Omega} = V_{\Omega} / T_{\Omega} \text{ [L/s]}$$

όπου T_{Ω} η **διάρκεια της ώρας**.

- Αν δεν υπάρχουν αναλυτικές μετρήσεις, η **μέγιστη ωριαία παροχή** Q_{Ω} προκύπτει από την **μέγιστη ημερήσια παροχή** Q_H σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_{\Omega} = \lambda_{\Omega} Q_H \text{ [L/s]}$$

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



- Η μέγιστη ωριαία παροχή/όγκος χρησιμοποιείται για την διαστασιολόγηση του δικτύου διανομής.

Οι τελικοί όγκοι και παροχές σχεδιασμού για τα υπό μελέτη υδραυλικά έργα προκύπτουν από συνάθροιση των παραπάνω μεγεθών ($V_E, V_H, V_{\Omega}, Q_E, Q_H, Q_{\Omega}$), όπως αυτά έχουν υπολογιστεί ανά χρήση (γίνεται η υπόθεση ότι οι χρήσεις εκδηλώνονται την ίδια χρονική περίοδο).

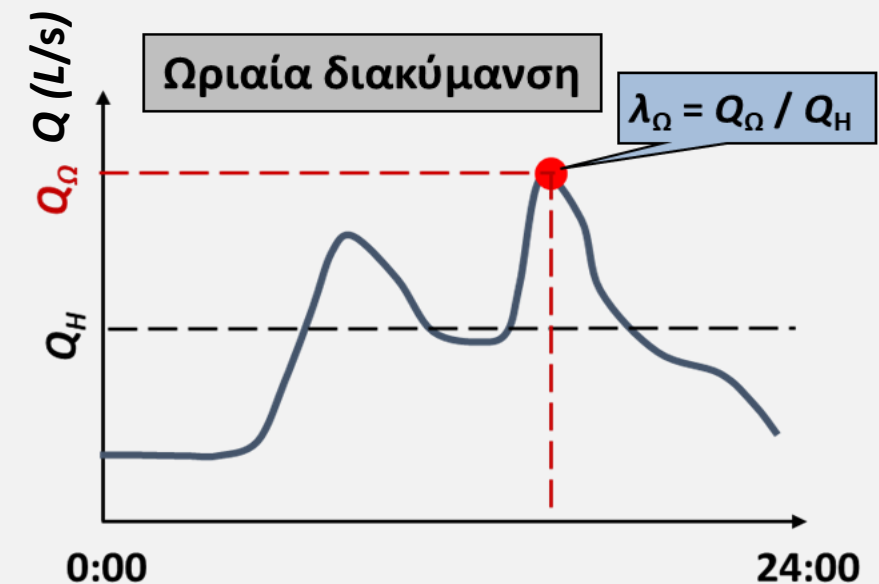
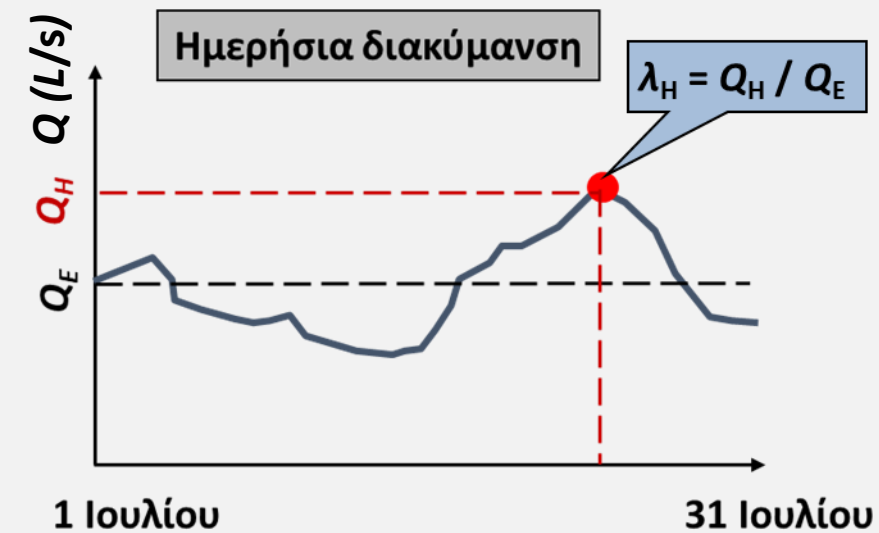
Ερμηνεία και εκτίμηση συντελεστών αιχμής

□ Συντελεστής ημερήσιας αιχμής:

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

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

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



Συνιστώσες νερού που εισέρχονται στο δίκτυο

Εισερχόμενο Νερό στο Σύστημα (SIV)	Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (AC)	Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (BAC)	Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Ανταποδοτικό Νερό (Revenue Water, RW)	
			Τιμολογούμενη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση		
	Απώλειες Νερού (WL)	Μη Τιμολογούμενη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση (UAC)		Μη Τιμολογούμενη Μετρούμενη Κατανάλωση	Μη Ανταποδοτικό Νερό (Non-Revenue Water, NRW)
				Μη Τιμολογούμενη Μη Μετρούμενη Κατανάλωση	
		Φαινομενικές Απώλειες (AL)		Μη Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση	
				Σφάλματα Μετρητών / Μετρήσεων	
		Πραγματικές Απώλειες (RL)		Απώλειες/Διαρροές στους Αγωγούς Μεταφοράς και Διανομής	
				Απώλειες/Διαρροές/Υπερχείλισεις στις Δεξαμενές	
	Απώλειες/Διαρροές στις Τοπικές Συνδέσεις, έως το σημείο τοποθέτησης του Μετρητή				

IWA, 2000

Απώλειες νερού στα δίκτυα ύδρευσης

- Στα δίκτυα διανομής **σημαντικό ποσοστό νερού**, της τάξης του 10-40%, 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).
- Πέραν της **τιμολογούμενης κατανάλωσης**, η εξουσιοδοτημένη κατανάλωση περιλαμβάνει ακόμα τη δωρεάν παροχή νερού σε δήμους και κοινωφελείς οργανισμούς, καθώς και τις ποσότητες που καταναλώνονται για καθαρισμό των δεξαμενών και του δικτύου, και για κατάσβεση πυρκαγιών (**μη τιμολογούμενη**).
- Οι **πραγματικές/φυσικές απώλειες** οφείλονται σε **διαρροές** στις δεξαμενές, τις συνδέσεις των αγωγών (ιδιαίτερα στις οικιακές συνδέσεις) και στις θέσεις των ειδικών συσκευών. Σημαντικός παράγοντας είναι οι **θραύσεις αγωγών** λόγω καταπόνησης από φορτία οχημάτων, έντονες διακυμάνσεις της πίεσης, υδραυλικά πλήγματα, παγετό, κτλ.
 - Φυσικές απώλειες της τάξης του 15% θεωρούνται αποδεκτές, ενώ μείωσή τους κάτω από 10% καθίσταται δυσανάλογα δαπανηρή σε έρευνα και επισκευές.
 - Στα εξωτερικά υδραγωγεία, οι φυσικές απώλειες κυμαίνονται στα επίπεδα του 10%.
- Οι **φαινομενικές/πλασματικές απώλειες** αναφέρονται στο νερό που καταναλώνεται χωρίς να τιμολογηθεί λόγω **πλημμελούς καταμέτρησης, σφαλμάτων μετρητών και παράνομων συνδέσεων κτλ.**

Στον σχεδιασμό, τα αθροιστικά μεγέθη των παροχών Q_H και Q_Ω προσαυξάνονται (κατά 10 – 20%), με βάση το αναμενόμενο ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού.

Σύνοψη μεθοδολογικού πλαισίου εκτίμησης παροχών σχεδιασμού

1. Καθορισμός χρήσεων νερού και εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών:

- 1α. Ειδικές καταναλώσεις ανά τύπο χρήσης (οικιακή, τουριστική, παραθεριστική, βιομηχανική κτλ.)
- 1β. Εκτίμηση πληθυσμού σχεδιασμού και ανάπτυξης της περιοχής (πολεοδομικά στοιχεία, αναπτυξιακά δεδομένα και πρόσφατες απογραφές πληθυσμού περιοχής μελέτης).
- 1γ. Εκτίμηση συντελεστών ανομοιομορφίας λ_H και λ_Ω ανά χρήση

2. Εκτίμηση χαρακτηριστικών παροχών/όγκων ανά χρήση:

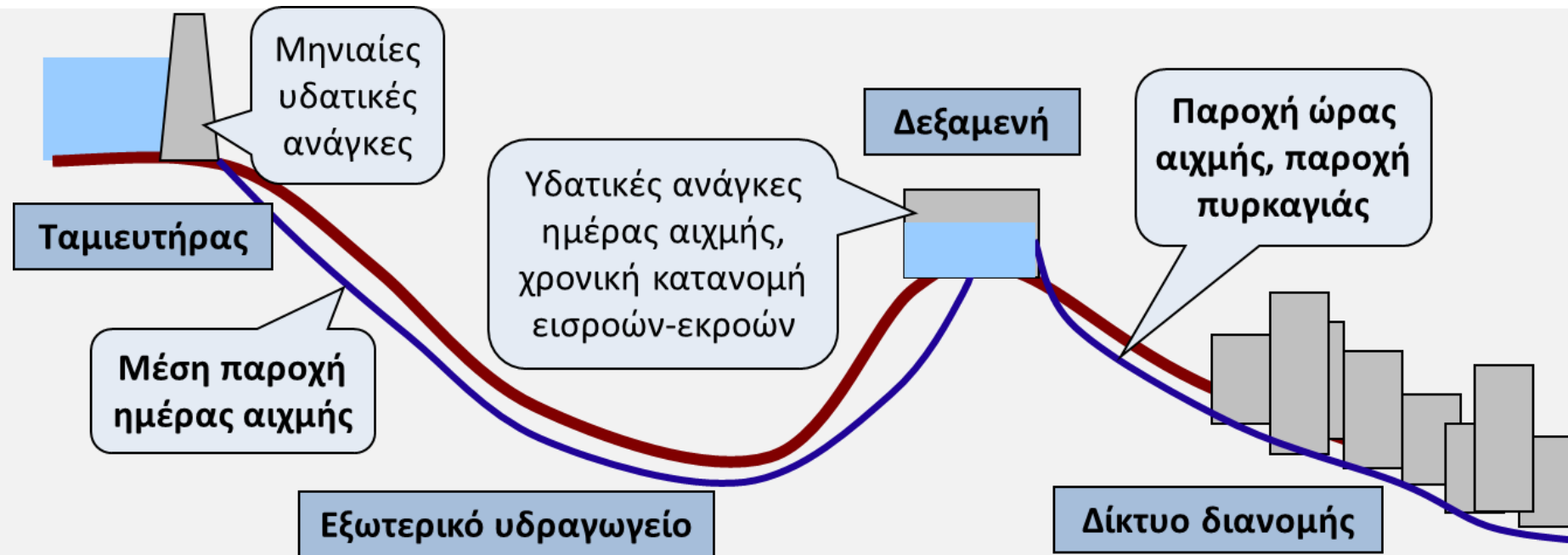
- 2α. Μέσος ημερήσιος όγκος (V_E) -> Μέση ημερήσια παροχή (V_E, Q_E)
- 2β. Μέγιστος ημερήσιος όγκος (V_H) -> Μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_H)
- 2γ. Μέγιστος ωριαίος όγκος (V_Ω) -> Μέγιστη ωριαία παροχή (Q_Ω)

3. Συνάθροιση μεγεθών για την εκτίμηση:

- της **ετήσιας** και **μηνιαίας ζήτησης** νερού της περιοχής μελέτης (σχεδιασμός έργων σύλληψης και αξιοποίησης υδατικών πόρων – κατάρτιση προγραμμάτων διαχείρισης υδατικών πόρων)
- της **μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης** (διαστασιολόγηση υδροληπτικών έργων, έργων εξωτερικού υδραγωγείου και δεξαμενής)
- της **μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης**, σε συνθήκες κανονικής και έκτακτης λειτουργίας του δικτύου διανομής (διαστασιολόγηση δικτύου διανομής και λοιπών συνιστωσών εσωτερικού υδραγωγείου)

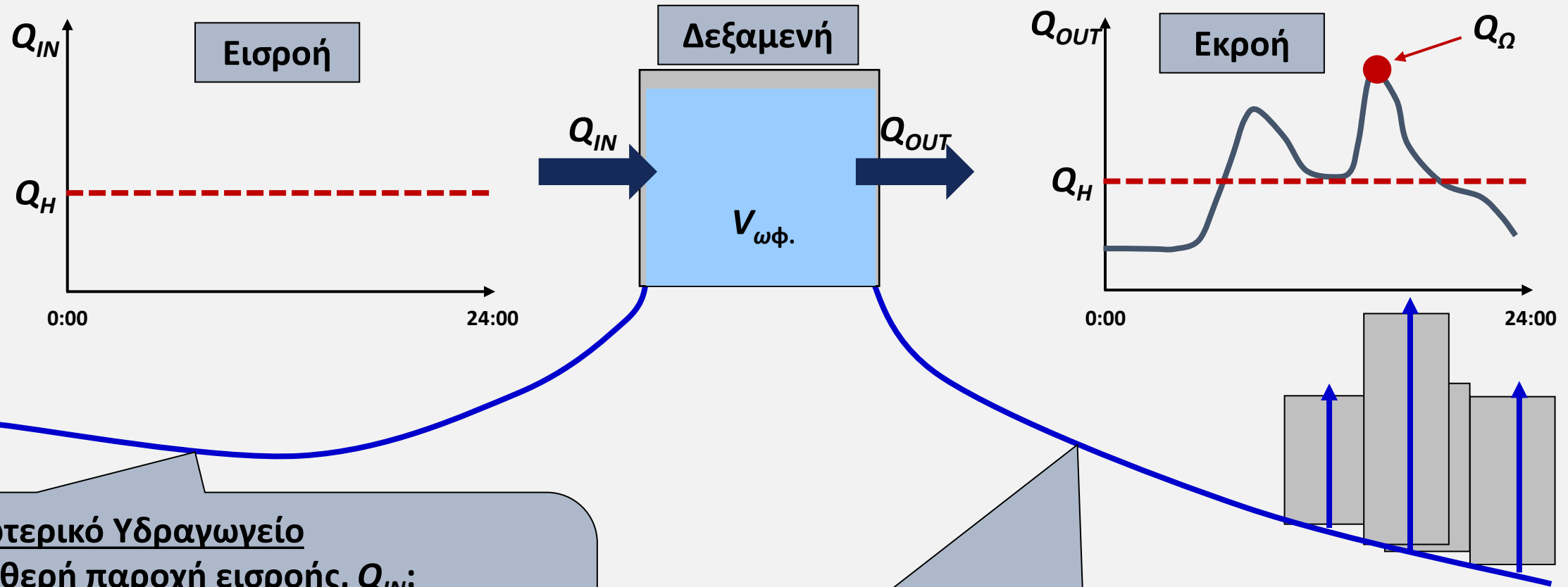
Δεξαμενές

Μεγέθη σχεδιασμού υδρευτικών έργων



- **Εξωτερικό υδραγωγείο** → κάλυψη μέγιστης ημερήσιας ζήτησης νερού - διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες ζήτησης της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού
- **Δίκτυο διανομής** → κάλυψη μέγιστης ωριαίας ζήτησης νερού - διαστασιολόγηση με βάση τις συνθήκες ζήτησης 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

Αναρρύθμιση εισροών - εκροών



Εξωτερικό Υδραγωγείο

Σταθερή παροχή εισροής, Q_{IN} :

- Βαρύτητα, $Q_{IN} = Q_{\Sigma X} = Q_H$, για 24-ωρη λειτουργία του υδραγωγείου
- Άντληση, $Q_{IN} = Q_{\Sigma X} = Q_H \cdot (24/T_Y)$, για λειτουργία υδραγωγείου T_Y ώρες

Δίκτυο διανομής

- χρονικά κυμαινόμενη παροχή εκροής Q_{OUT} , που ακολουθεί τις απαιτήσεις της ζήτησης μέσα στο 24ωρο.

Βασικές λειτουργίες δεξαμενών

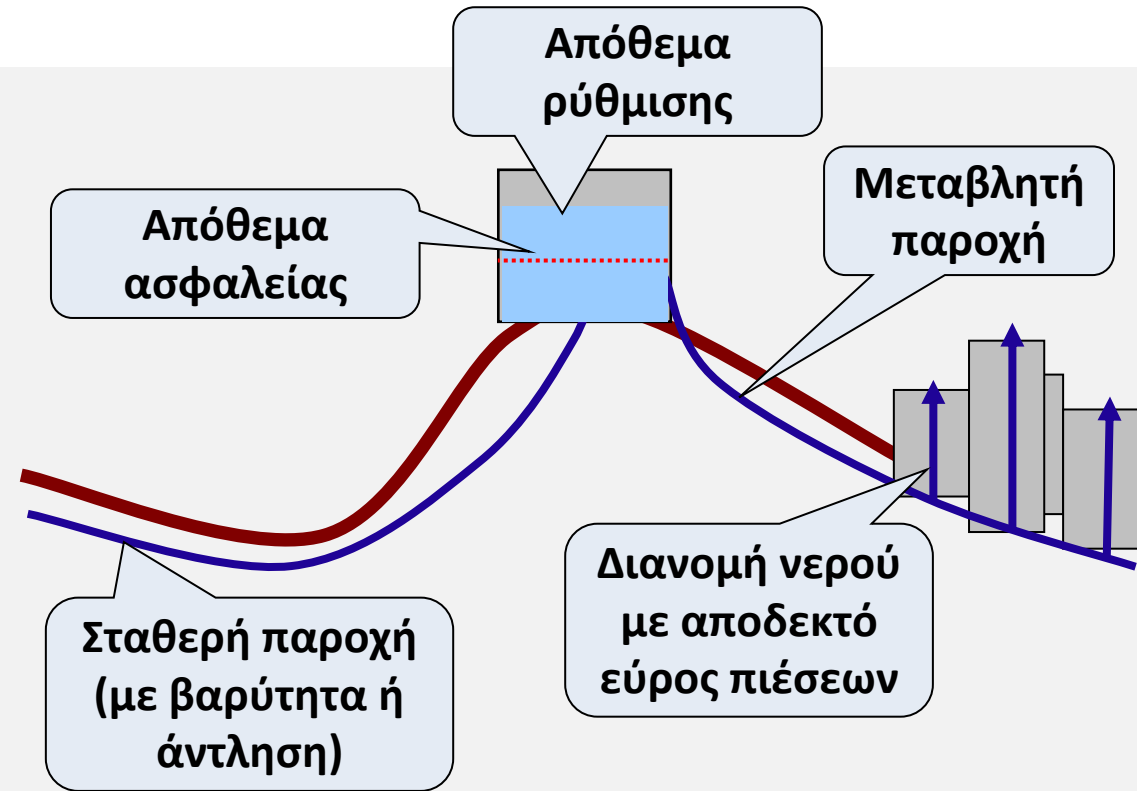
Βασικές λειτουργίες των δεξαμενών ρύθμισης:

- Εξισορροπείται η διακύμανση ανάμεσα στην **σταθερή εισροή νερού από το εξωτερικό υδραγωγείο** (συγκεκριμένα, από τη μονάδα επεξεργασίας), και τη **χρονικά κυμαινόμενη εκροή**, ανάλογα με τις απαιτήσεις της ζήτησης, **μέσα στην ημέρα**.
- Διατηρείται **εφεδρικό απόθεμα** για την περίπτωση έκτακτων γεγονότων, όπως η βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου ή η πυρκαγιά εντός του οικισμού.
- **Εξασφαλίζεται αυτοτέλεια** των κατόντη από τα ανάντη έργα, που επιδιώκεται για λόγους ασφάλειας (στην περίπτωση βλάβης διάρκειας ορισμένων ωρών) και οικονομικότητας.
 - **χρήση διαφορετικών παροχών σχεδιασμού** για το εξωτερικό και εσωτερικό υδραγωγείο
-> **ελαχιστοποίηση κόστους του έργου**
- **Έργο κεφαλής του εσωτερικού υδραγωγείου:** Εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα κατόντη έργα) **το επιθυμητό εύρος διακύμανσης των πιέσεων** στο δίκτυο διανομής.

Βασικά μεγέθη σχεδιασμού δεξαμενών

Η **ωφέλιμη χωρητικότητα (όγκος)** περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:

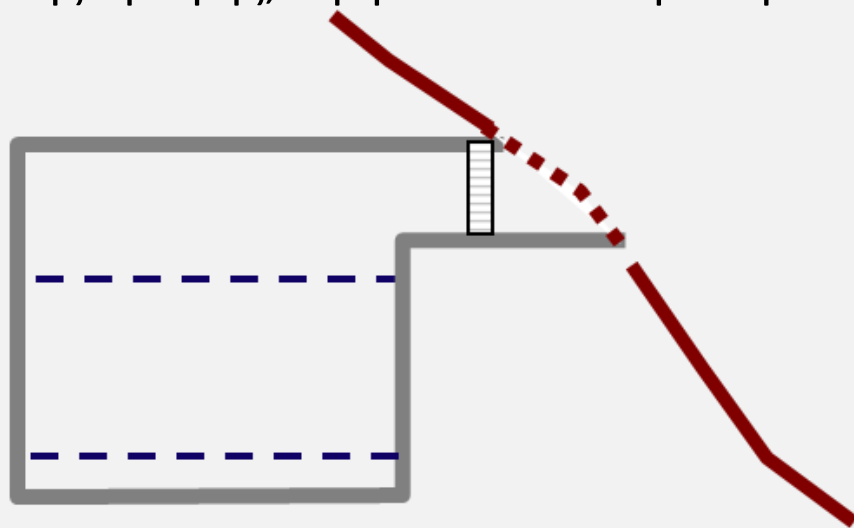
- **όγκος ρύθμισης:** εξισορρόπηση της χρονικής ανισοκατανομής, εντός της ημέρας, μεταξύ των εισροών από το εξωτερικό υδραγωγείο και των εκροών προς το δίκτυο
- **όγκος ασφαλείας:** απόθεμα που διατηρείται σε μόνιμη βάση, για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή για πυρκαγιά.



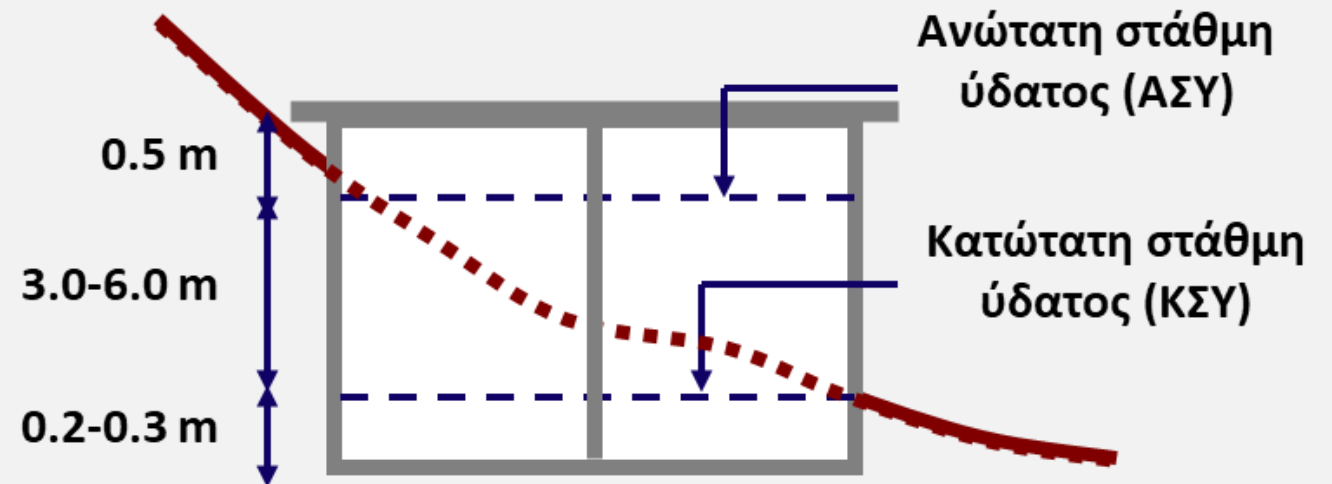
- Η **κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας/ύδατος** - προκύπτουν με βάση την τοπογραφία της περιοχής και τους περιορισμούς ελάχιστης και μέγιστης πίεσης στο δίκτυο.
- Η διαφορά τους (**ωφέλιμο ύψος**), συνήθως κυμαίνεται από 3.0 έως 6.0 m, και η επιλογή του γίνεται με κριτήρια χωροταξικά (μέγεθος οικοπέδου, όροι δόμησης) και στατικά (όσο αυξάνει το ύψος των τοιχίων, τόσο μεγαλύτερα τα πάχη και ο σπλισμός).

Επίγειες 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.
- Στον πυθμένα δίνεται **ρύση με κλίση 2 - 8%**, για **συλλογή και απομάκρυνση των φερτών**.
- Από τον πυθμένα αφήνεται ένα ελεύθερο περιθώριο 0.20 - 0.30 m, ενώ μεταξύ της ανώτατης στάθμης ύδατος και της οροφής, αφήνεται ένα περιθώριο π.χ. (0.50 m) για αερισμό και αποφυγή υπερχείλισης.



Υπόγεια δεξαμενή



Μερικώς υπόγεια δεξαμενή

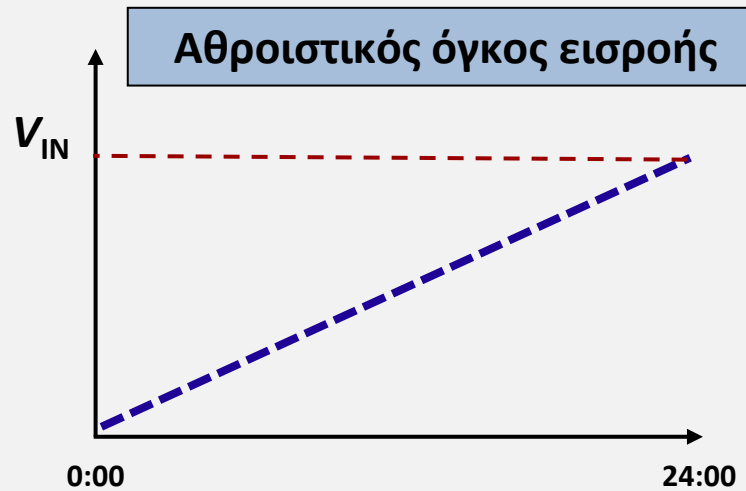
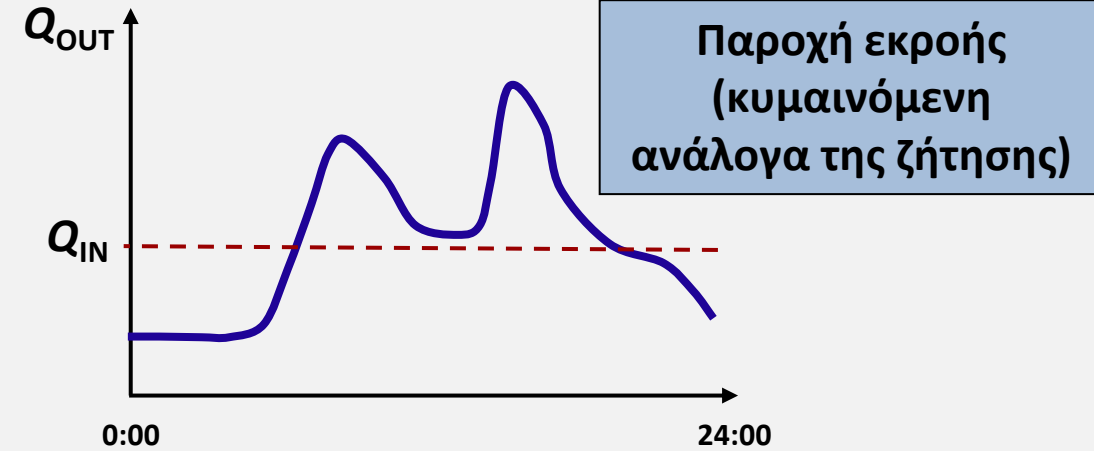
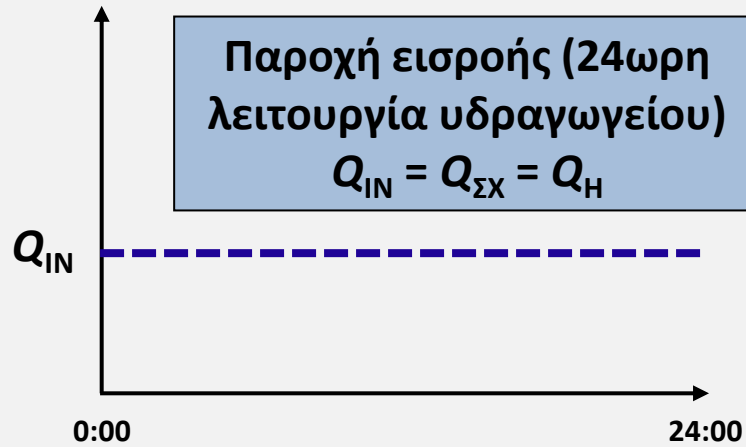
Υδατόπυργοι

- ❑ Επιλέγονται για την τροφοδοσία οικισμών που αναπτύσσονται σε **περιοχές με πολύ χαμηλές κλίσεις** και συνδυάζονται με τη λειτουργία αντλιοστασίων.
- ❑ Πρόκειται για **δαπανηρές** (σε σχέση με τις επίγειες δεξαμενές) κατασκευές, αποτελούμενες από μια υπέργεια υδαταποθήκη **μικρής, σχετικά, χωρητικότητας (~1500 m³)**, η οποία στηρίζεται σε υποστυλώματα.
- ❑ Επειδή το ύψος των υποστυλωμάτων είναι αναγκαστικά μικρό, η πίεση που εξασφαλίζουν είναι σχετικά χαμηλή.
- ❑ Οι σφαιρικοί υδατόπυργοι είναι πάντοτε μεταλλικοί, ενώ οι κυλινδρικής κάτοψης κατασκευάζονται και από σκυρόδεμα.
- ❑ Οι σύγχρονες κατασκευές μορφώνονται με κυλινδρικές βάσεις αντί για υποστυλώματα.

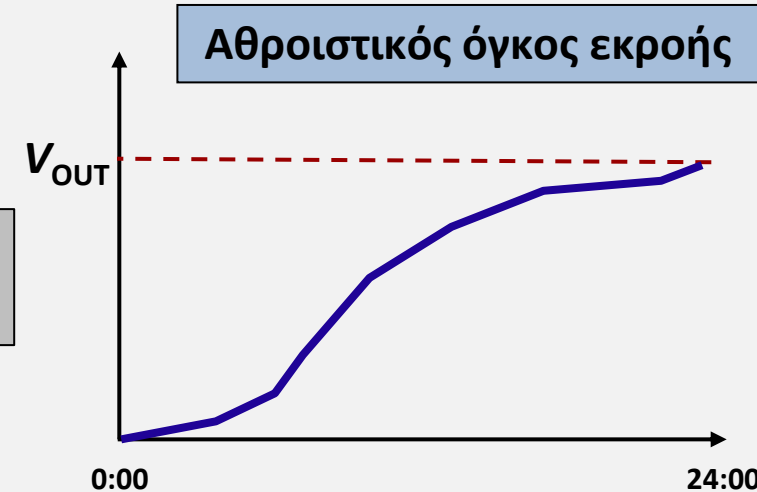


Τυπικά διαγράμματα εισροών - εκροών στη δεξαμενή

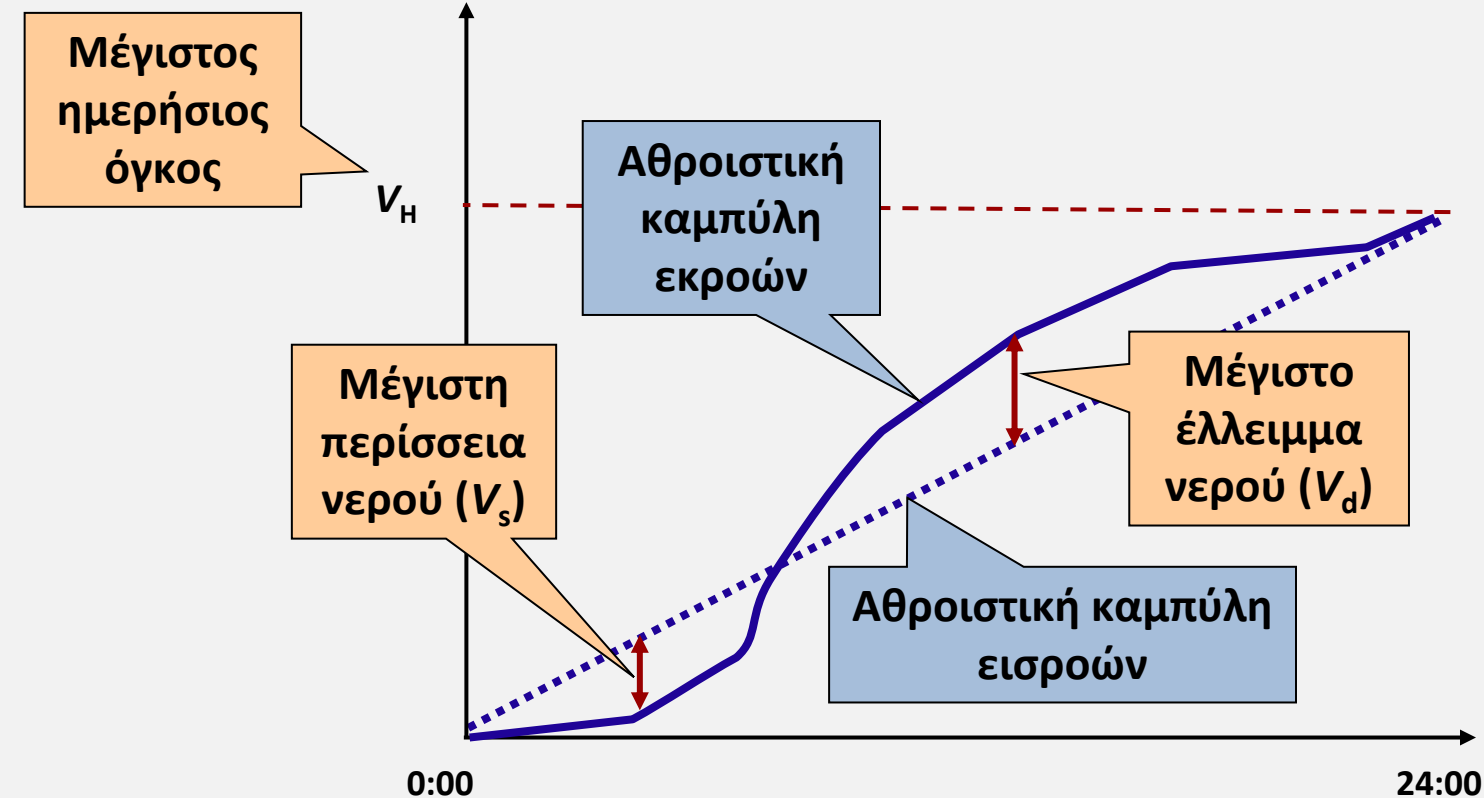
Διαστασιολόγηση δεξαμενής με βάση τις συνθήκες εισροής - εκροής που επικρατούν τη δυσμενέστερη μέρα του έτους σχεδιασμού



$V_{IN} = V_{OUT} = V_H$, V_H : μέγιστος ημερήσιος όγκος νερού



Εκτίμηση ρυθμιστικού όγκου δεξαμενής



- **Έλλειμα νερού:** εξισορροπείται από τον ήδη αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή
- **Περίσσεια νερού:** αποθηκεύεται το πλεονάζον νερό στη δεξαμενή για μελλοντική χρήση

$$\text{Ρυθμιστικός όγκος } (V_{\text{ρυθμ.}}) = |\text{μέγιστη περίσσεια } (V_s)| + |\text{μέγιστο έλλειμμα } (V_d)|$$

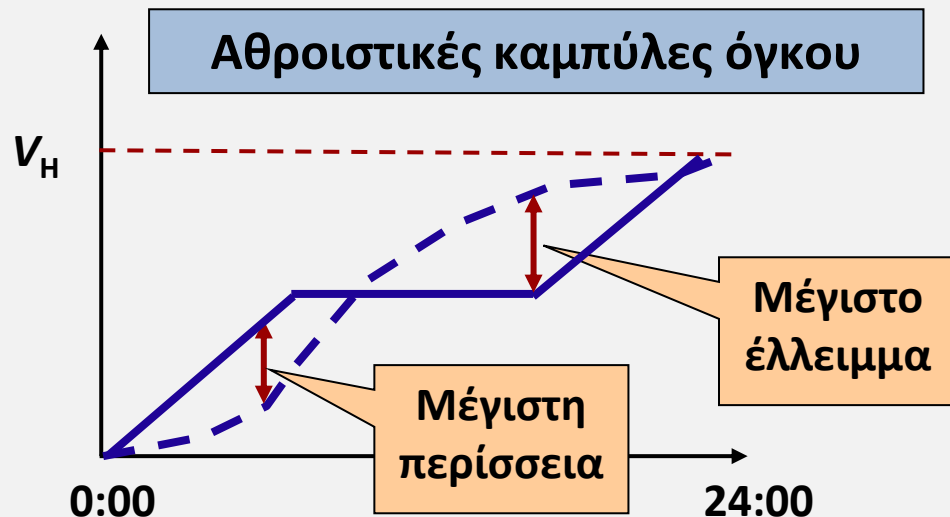
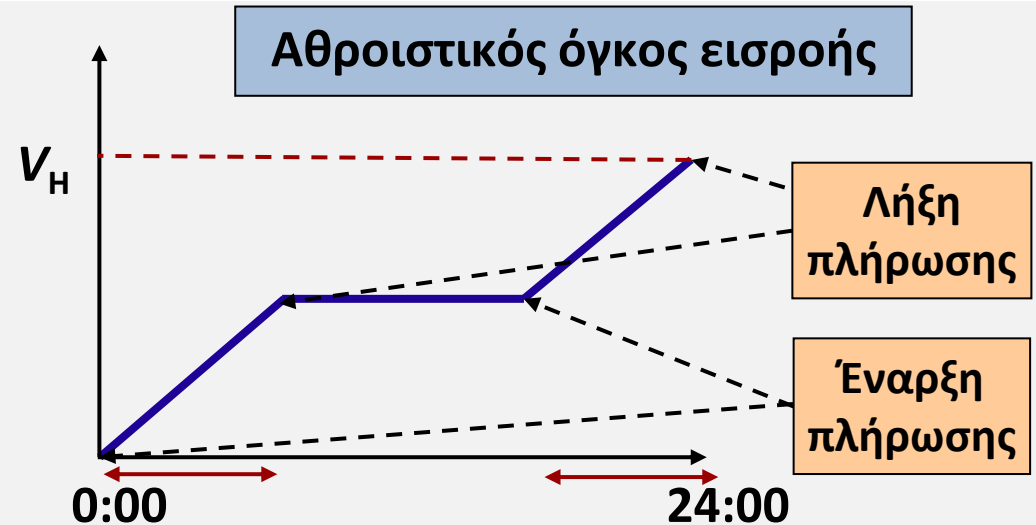
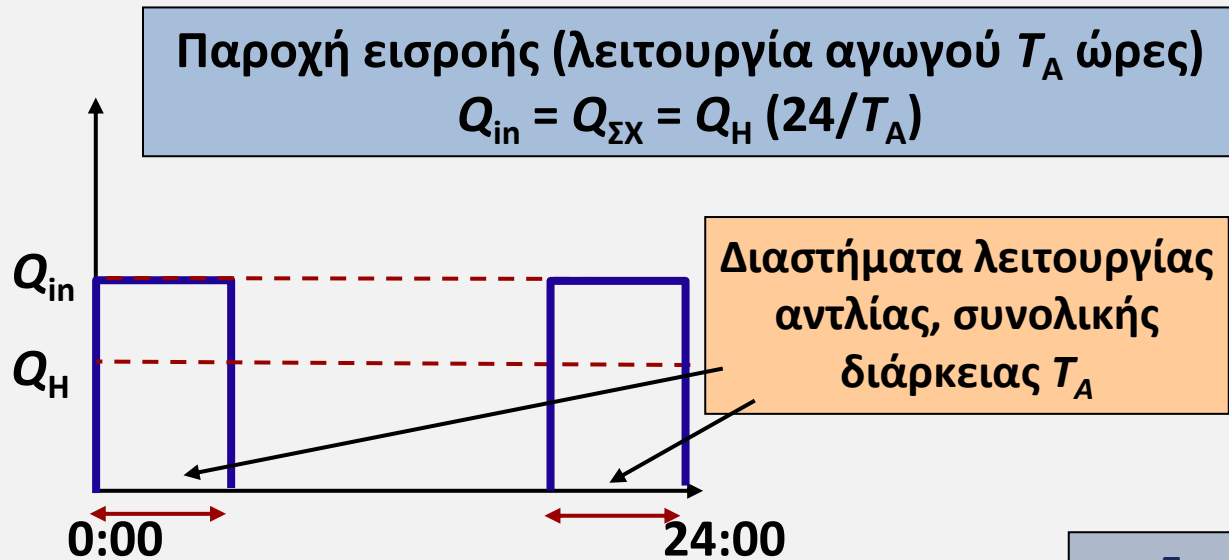
Εκτίμηση ρυθμιστικού όγκου δεξαμενής

- Εξ ορισμού, ο ρυθμιστικός όγκος, $V_{\text{ρυθμ.}}$, αποτελεί ποσοστό του μέγιστου ημερήσιου όγκου, V_H , που προσάγεται στη δεξαμενή εντός 24 ωρών με μέγιστη ημερήσια παροχή Q_H :

$$V_{\text{ρυθμ.}} = \alpha V_H$$

- **Αν δεν υπάρχουν δεδομένα εισροών-εκροών**, λαμβάνεται $\alpha = 30\text{-}50\%$ για μεσαίους και μικρούς οικισμούς και $\alpha = 25\%$ για πόλεις (με την υπόθεση ότι η συνολική κατανάλωση του 12ώρου της ημέρας είναι τριπλάσια του 12ώρου της νυκτερινής).

Δεξαμενή με τροφοδοσία από καταθλιπτικό αγωγό



- Γενικά, οι απαιτήσεις σε ρυθμιστικό όγκο αυξάνουν όσο περιορίζεται ο χρόνος λειτουργίας (ώρες άντλησης) του καταθλιπτικού αγωγού.
- Στην περίπτωση που δεν έχει καθοριστεί πρόγραμμα λειτουργίας των αντλιών, ο ρυθμιστικός όγκος προκύπτει ως ο μεγαλύτερος από την εξέταση διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας.
- Γενικά πρόβλημα βελτιστοποίησης με αντικρουόμενα κριτήρια
 - Ελαχιστοποίηση ρυθμιστικού όγκου (συνεχής λειτουργία αντλίας)
 - Ελαχιστοποίηση κόστους λειτουργίας αντλίας (λειτουργία λίγες ώρες της ημέρας)

Εκτίμηση όγκου ασφαλείας δεξαμενής

- Εκτός από αναρρύθμιση των εισροών, η δεξαμενή καλύπτει και έκτακτες ανάγκες σε απόθεμα νερού, έναντι περιστατικών **βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιάς** (ελέγχεται η δυσμενέστερη περίπτωση, που κατά κανόνα είναι η πρώτη):
 - **Βλάβη:** Δεχόμενοι **ολιγόωρη διακοπή λειτουργίας** (π.χ. λόγω βλάβης) του εξωτερικού υδραγωγείου, παροχής σχεδιασμού $Q_{\Sigma\chi}$, για χρόνο T_B , ο **απαιτούμενος εφεδρικός όγκος** είναι ίσος με:

$$V_B = Q_{\Sigma\chi} T_B$$

- **Πυρκαγιά:** Δεχόμενοι ενεργοποίηση n **πυροσβεστικών κρουνών**, ονομαστικής παροχής Q_{π} , (5 - 10 l/s) για διάρκεια πυρκαγιάς T_{π} (2 - 4 ώρες), ο απαιτούμενος εφεδρικός όγκος είναι ίσος με:

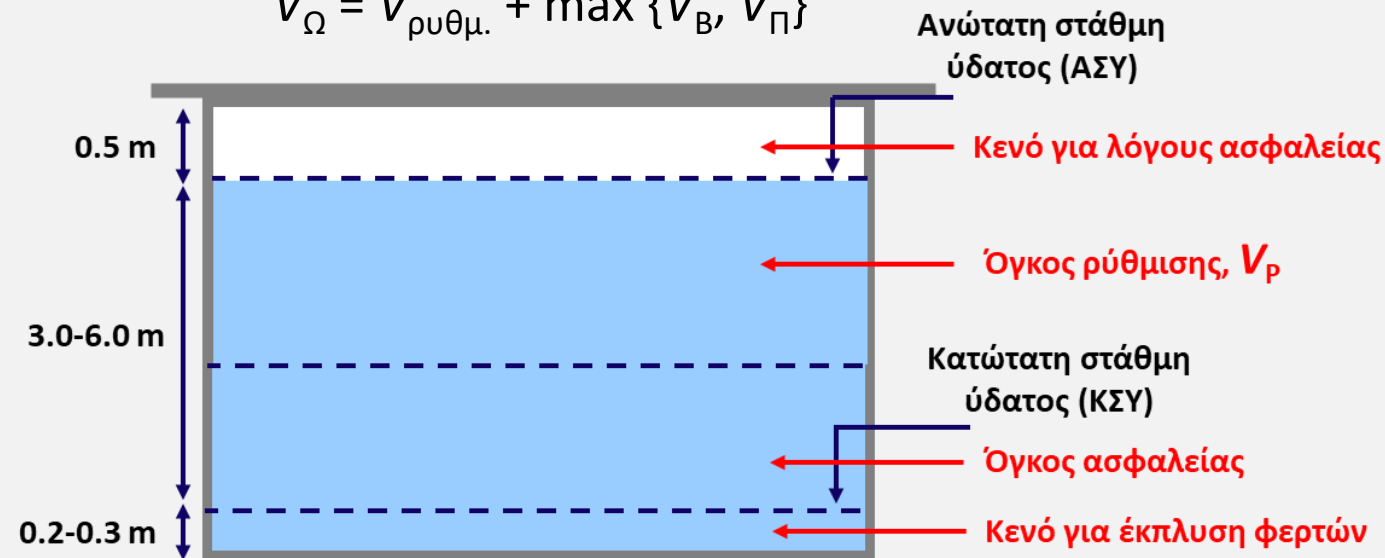
$$V_{\pi} = n Q_{\pi} T_{\pi}$$

- Τελικά, ο **όγκος ασφαλείας προκύπτει ως:** $V_{\alpha\sigma\phi.} = \max \{V_B, V_{\pi}\}$
- Με εξαίρεση μικρούς οικισμούς, δυσμενέστερος είναι ο όγκος βλάβης έναντι του όγκου πυρκαγιάς.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι όγκοι ρύθμισης και ασφαλείας, λόγω βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου, δεν διαφέρουν σημαντικά.

Υπολογισμός ωφέλιμου όγκου δεξαμενής

- Ο ωφέλιμος (όγκος) περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:
 - 1) όγκος ρύθμισης
 - 2) όγκος ασφαλείας
- Ο όγκος ρύθμισης $V_{\rhoυθμ.}$ εκτιμάται είτε **α)** από το ισοζύγιο εισροών-εκροών κατά την ημέρα αιχμής, είτε **β)** ως ποσοστό του μέγιστου ημερήσιου όγκου V_H .
- Ο **όγκος ασφαλείας** προκύπτει ως ο μεγαλύτερος όγκος μεταξύ του όγκου βλάβης V_B και του όγκου πυρκαγιάς V_{π} , κατά την ημέρα μεγιστοποίησης της κατανάλωσης.
- Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο **ωφέλιμος όγκος** της δεξαμενής υπολογίζεται ως:

$$V_{\Omega} = V_{\rhoυθμ.} + \max \{V_B, V_{\pi}\}$$

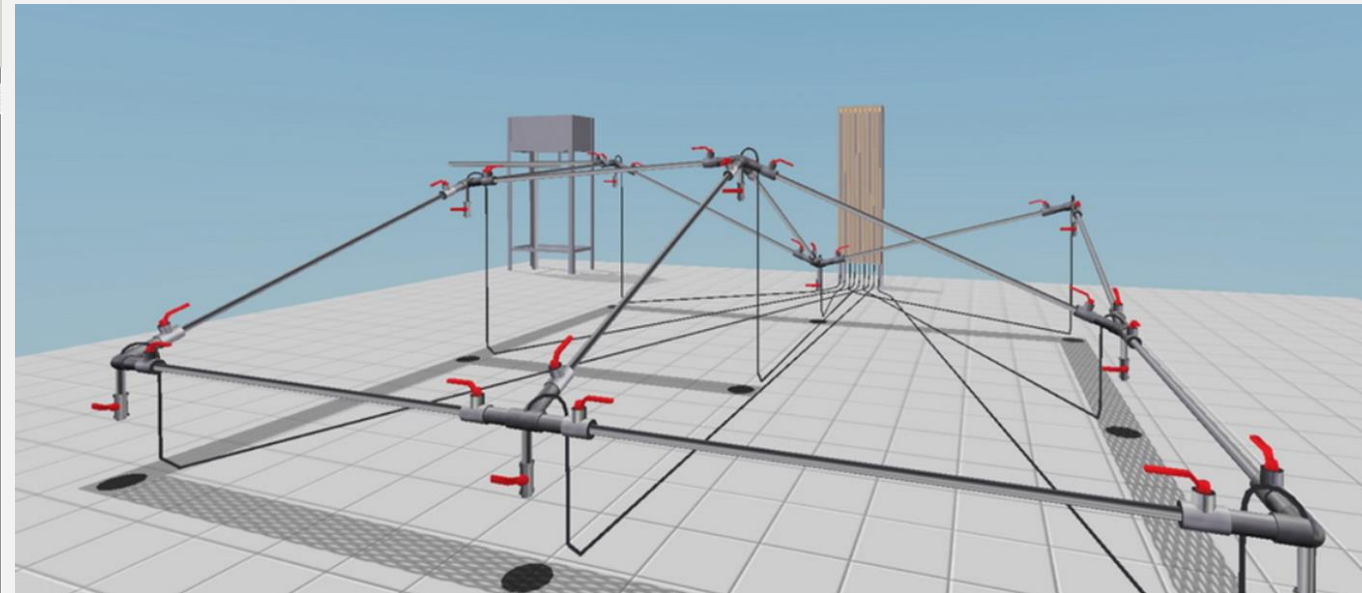
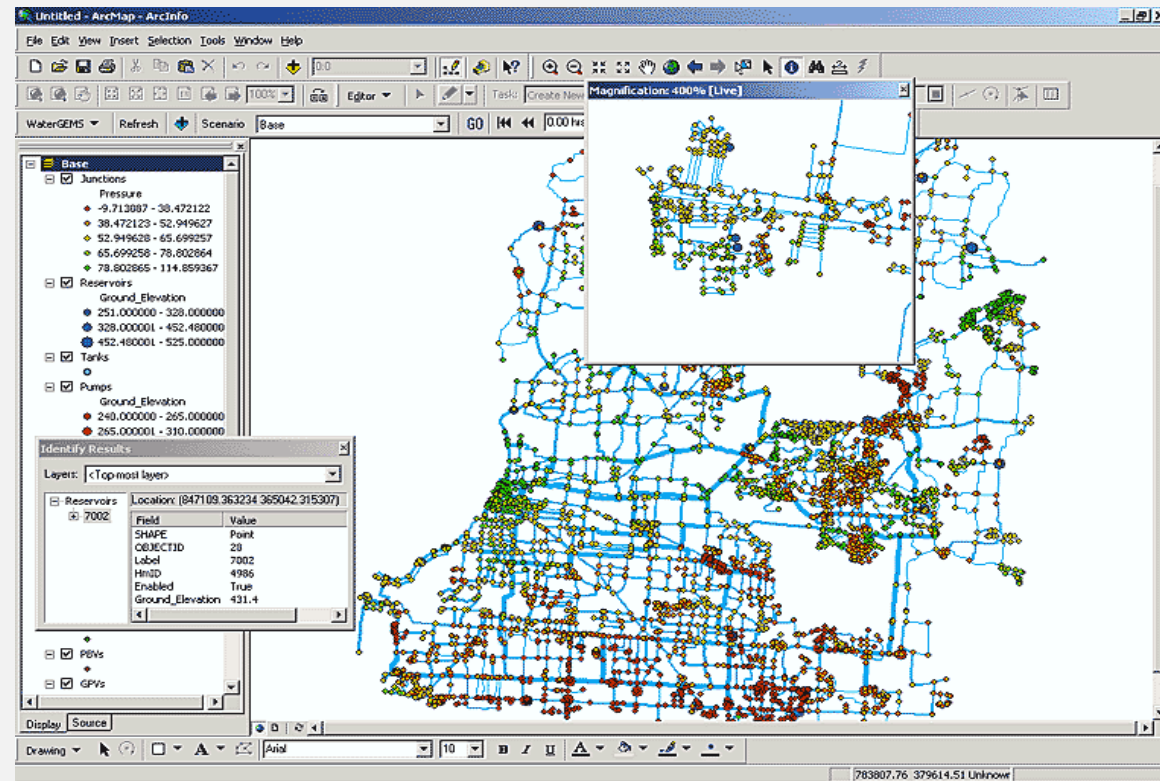


Δίκτυα Διανομής

Απαιτήσεις, Προδιαγραφές και Γενικές Αρχές Σχεδιασμού

Δίκτυα διανομής

- **Δίκτυα διανομής:** συστήματα αγωγών που διανέμουν το νερό από τις δεξαμενές σε πολλαπλά σημεία προορισμού (καταναλωτές).
- Αποτελείται από τον κύριο τροφοδοτικό αγωγό (Κ.Τ.Α.) που διανέμει το νερό σε πλέγματα αγωγών που λειτουργούν υπό πίεση, με μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής.



Απαιτήσεις και γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

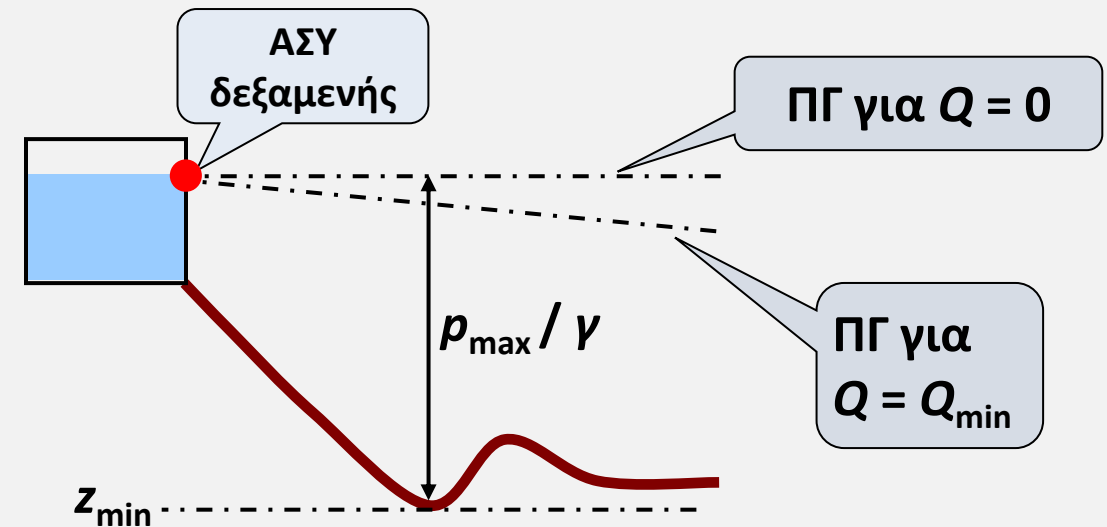
- **Στόχος:** Κάλυψη της συνολικής ζήτησης στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού με νερό κατάλληλης ποιότητας και επαρκούς πίεσης.
 - **Έλεγχος πιέσεων**
 - Μέγιστες πιέσεις
 - Ελάχιστες πιέσεις
 - Χωροθέτηση δεξαμενής και κύριου τροφοδοτικού αγωγού
 - Πιεζομετρικές ζώνες
 - **Έλεγχος ποιότητας νερού**
 - **Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας**
 - **Γενικές αρχές χάραξης δικτύου διανομής**
 - **Προδιαγραφές αγωγών δικτύου διανομής**

Προδιαγραφές δικτύων: μέγιστες επιτρεπτές πιέσεις

- Για την προστασία των ευάλωτων σημείων του δικτύου (π.χ. συνδέσεις αγωγών), των εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων και των οικιακών συσκευών, **η πίεση σε όλο το μήκος του δικτύου δεν πρέπει να ξεπερνά ένα μέγιστο όριο.**
- Γενικά, το ανώτερο επιθυμητό όριο μέγιστου ύψους πίεσης είναι **6 - 7 atm (60 - 70 m).**
- Στην πράξη, γίνονται δεκτά αρκετά μεγαλύτερα όρια σε σχέση με το επιθυμητό (π.χ. **12 atm στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ**), δεδομένου ότι, κυρίως στα αστικά κέντρα, οι νυκτερινές παροχές (και συνακόλουθα οι υδραυλικές απώλειες) είναι σημαντικές, οπότε κρίνεται υπερβολικά συντηρητική η υπόθεση οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής.
- **Εφόσον δεν τηρείται το όριο των 6 - 7 atm,** μπορεί να γίνει εφαρμογή αγωγών κατάλληλης αντοχής, διαχωρισμός του δικτύου σε ζώνες πίεσης με χρήση βοηθητικών δεξαμενών ή πιεζοθραυστικών φρεατίων, χρήση μειωτών πίεσης στην είσοδο της υδραυλικής εγκατάστασης κάθε κτηρίου.

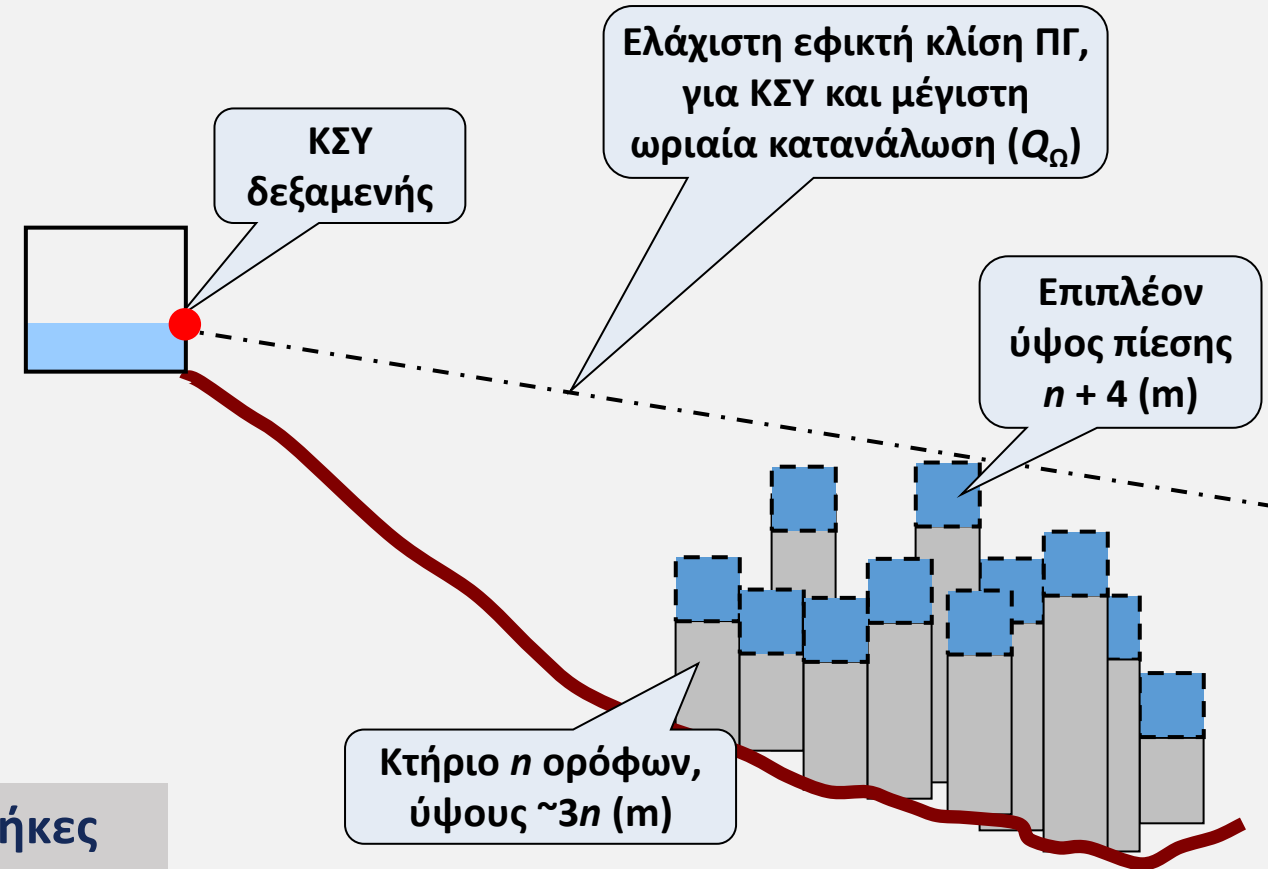
Προδιαγραφές δικτύων: μέγιστες επιτρεπτές πιέσεις

- Ο έλεγχος μεγίστων πιέσεων γίνεται πριν τη διαστασιολόγηση του δικτύου διανομής, και αφορά στην υψομετρική τοποθέτηση της δεξαμενής και τον καθορισμό των απαιτούμενων πιεζομετρικών ζωνών. Δεν απαιτείται υδραυλική προσομοίωση του δικτύου.
- Ο έλεγχος μεγίστων πιέσεων αναφέρεται στην υψομετρικά δυσμενέστερη θέση του δικτύου, δηλαδή στο χαμηλότερο σημείο, z_{\min} , θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτερη στάθμη ύδατος (ΑΣΥ). Τυπικά, λαμβάνεται οριζόντια πιεζομετρική γραμμή, που υποδηλώνει συνθήκες μηδενικής κατανάλωσης νερού στο δίκτυο, οπότε ο σχετικός έλεγχος γίνεται για στατικό ύψος πίεσης ίσο με $p_{\max} / \gamma = \text{ΑΣΥ} - z_{\min} (\leq 60 - 70 \text{ m})$

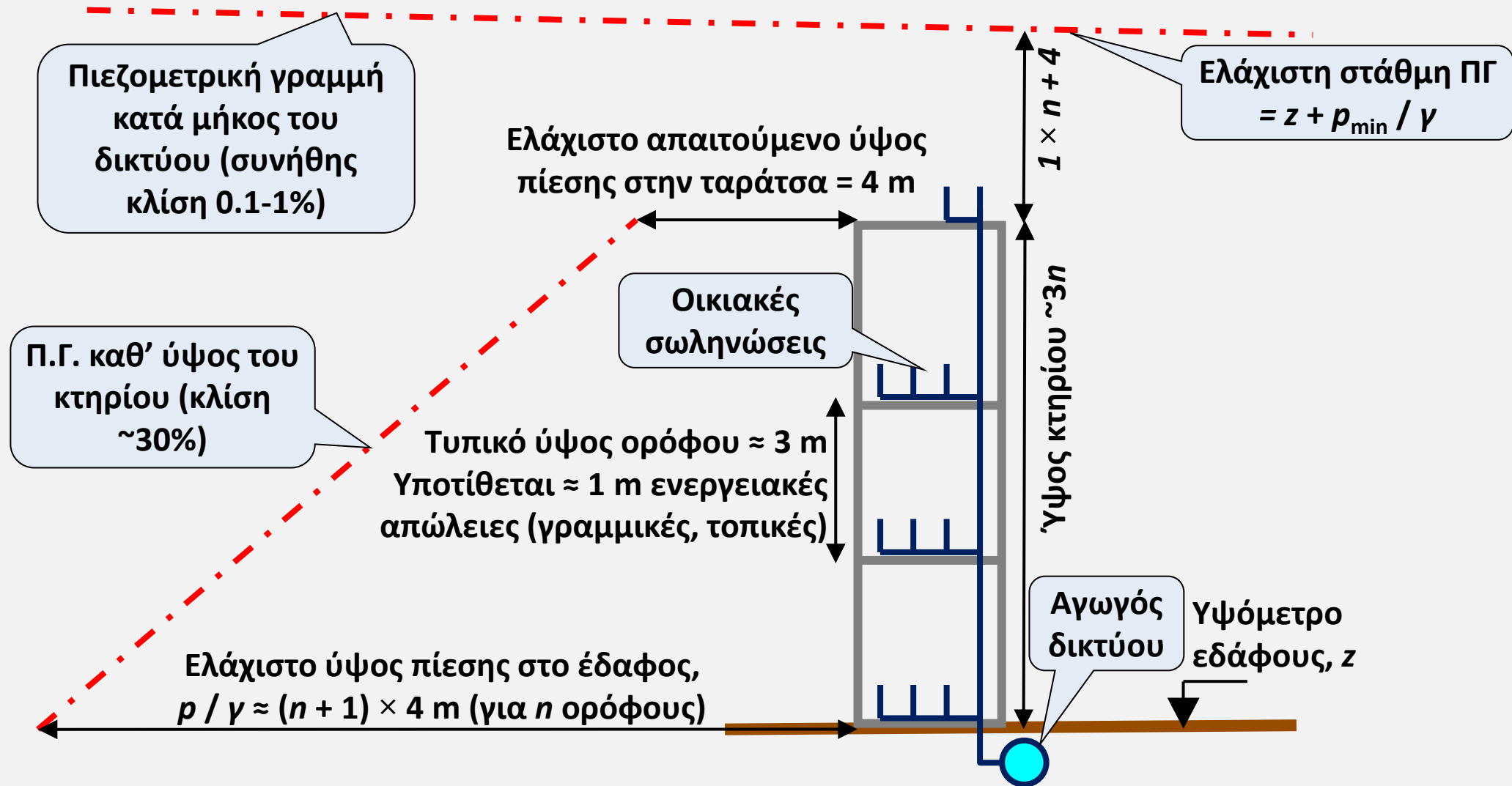


Προδιαγραφές δικτύων: ελάχιστες πιέσεις

- Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση εκροής κυμαίνεται από 0.4 - 1.2 atm. Πρακτικά, στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων πρέπει να εξασφαλίζεται ύψος πίεσης τουλάχιστον 4 m.
- Αν n είναι ο αριθμός των ορόφων ενός κτηρίου (προσμετρώντας και την ταράτσα), και θεωρώντας τυπικό ύψος ορόφου 3 m και υδραυλικές απώλειες 1 m ανά όροφο, προκύπτει ότι το ελάχιστο ύψος πίεσης στο έδαφος πρέπει να είναι ίσο με $4(n + 1)$.
- Συχνά, αντί της παραπάνω εμπειρικής σχέσης, το ελάχιστο όριο πίεσης ορίζεται από τον **κανονισμό λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης** (π.χ. 2 atm στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ).
- Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων αναφέρεται σε συνθήκες κατώτατης στάθμης δεξαμενής (ΚΣΥ) και μέγιστης (ωριαίας) κατανάλωσης (Q_{Ω}), και προϋποθέτει μαθηματική προσομοίωση του δικτύου.



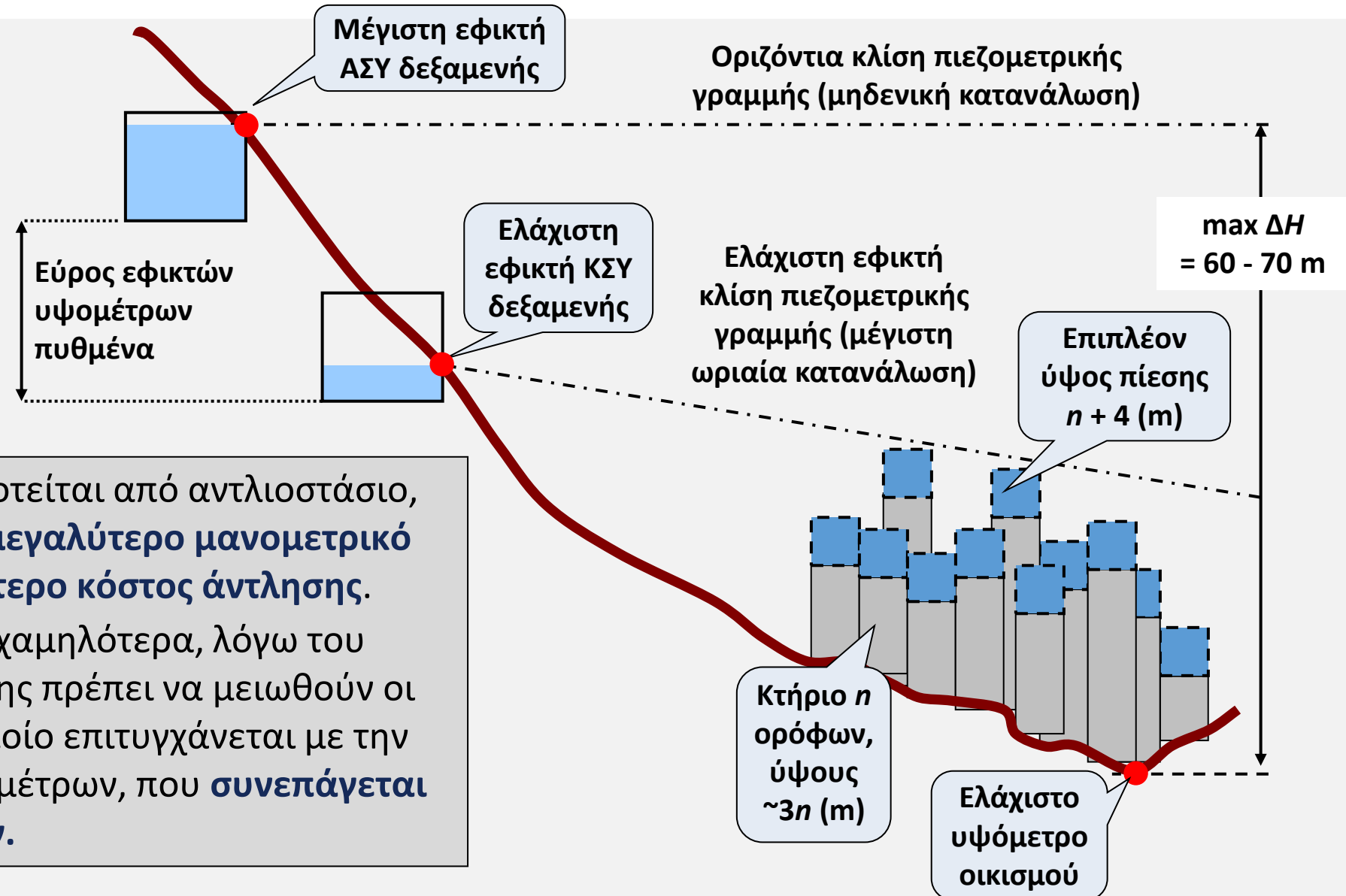
Ερμηνεία του εμπειρικού κριτηρίου ελάχιστης πίεσης



Αντιμετώπιση ανεπαρκούς πίεσης

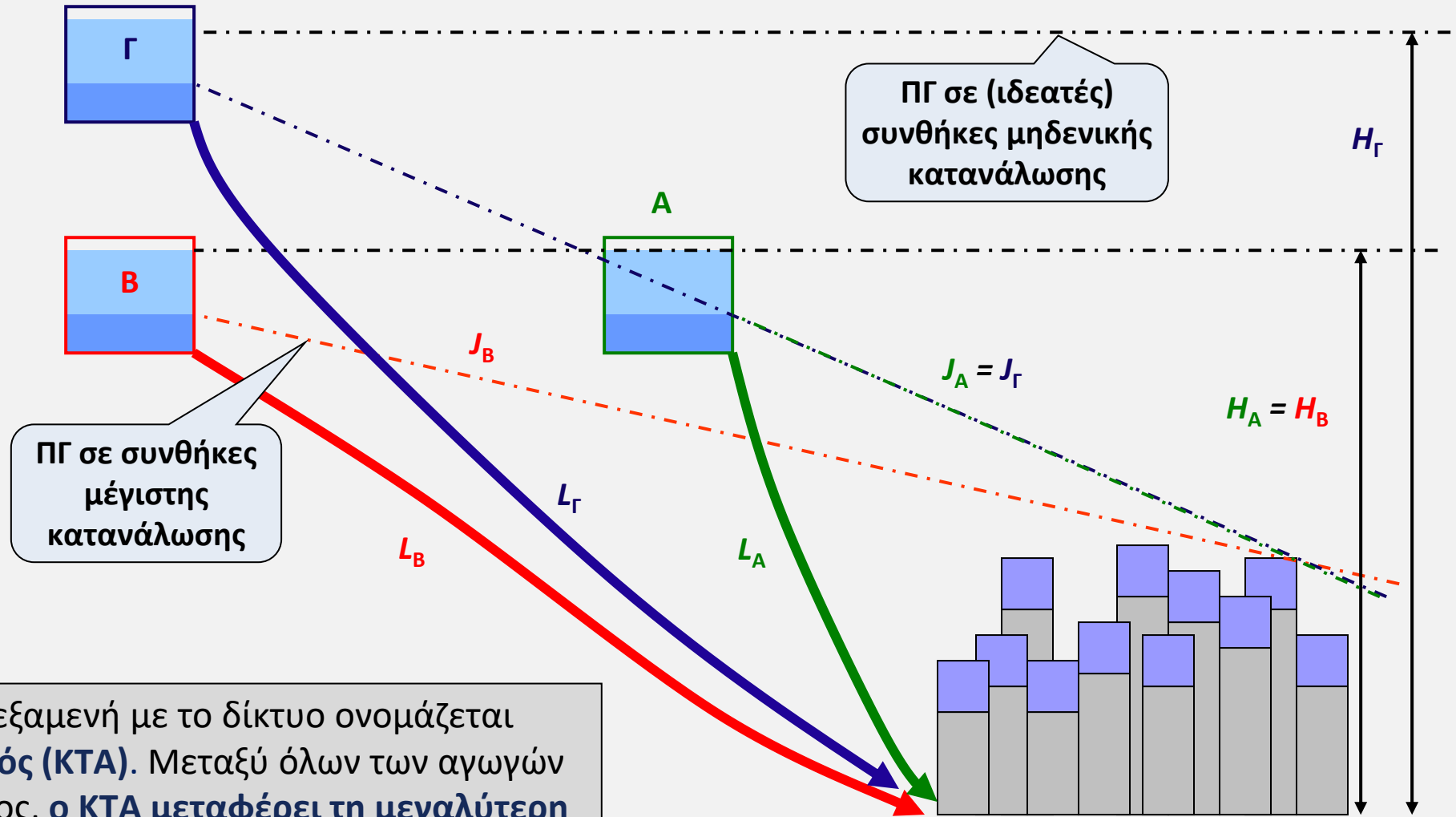
- Η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση εκροής κυμαίνεται από 0.4 - 1.2 atm. Πρακτικά, στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων πρέπει να εξασφαλίζεται ύψος πίεσης τουλάχιστον 4 m.
- Η ανεπαρκής πίεση σε μια περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:
 - αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό)
 - αντικατάσταση κρίσιμων κλάδων από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου
 - τοποθέτηση αντλιών (αν έχουν εξαντληθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις)

Υψομετρική τοποθέτηση δεξαμενής



- Εφόσον η δεξαμενή τροφοδοτείται από αντλιοστάσιο, **μεγάλο υψόμετρο απαιτεί μεγαλύτερο μανομετρικό ύψος** και, συνεπώς, **μεγαλύτερο κόστος άντλησης**.
- Αν η δεξαμενή τοποθετηθεί χαμηλότερα, λόγω του περιορισμού ελάχιστης πίεσης πρέπει να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες, το οποίο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μεγαλύτερων διαμέτρων, που **συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος αγωγών**.

Οριζοντιογραφική τοποθέτηση δεξαμενής ως προς την απόσταση από τον οικισμό



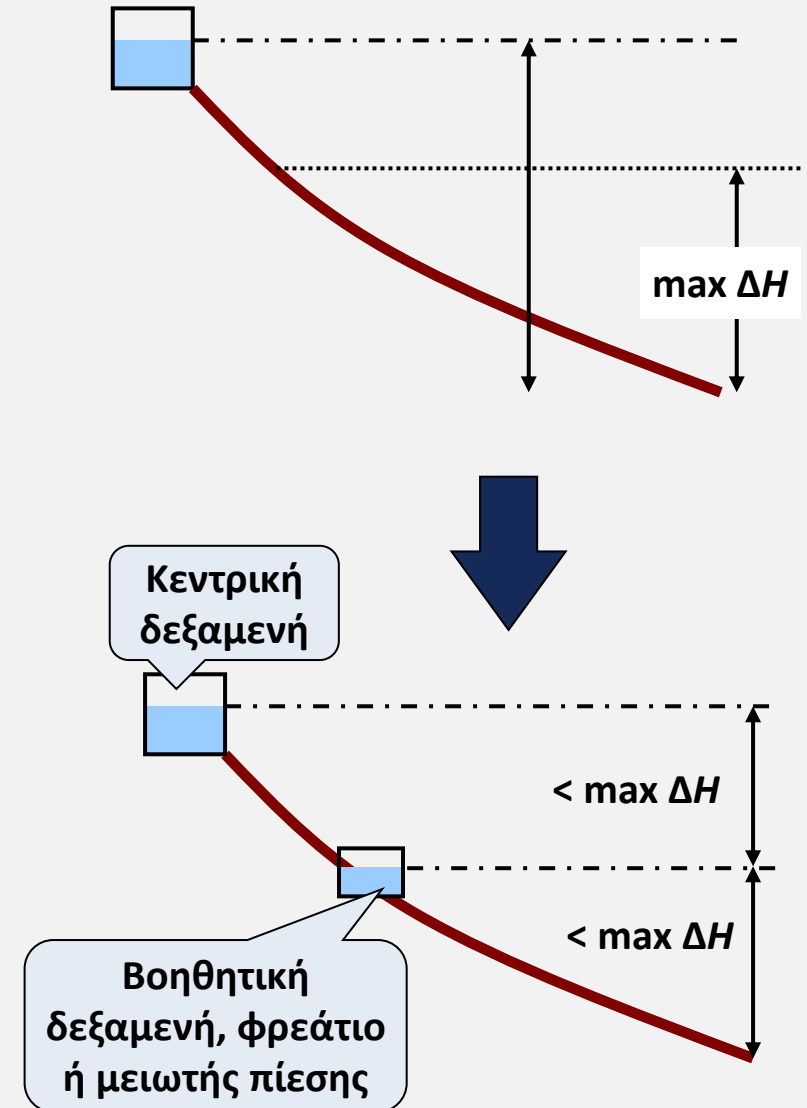
Ποια από τις τρεις πιθανές θέσεις τοποθέτησης της δεξαμενής είναι η βέλτιστη?

Κριτήρια χωροθέτησης δεξαμενής

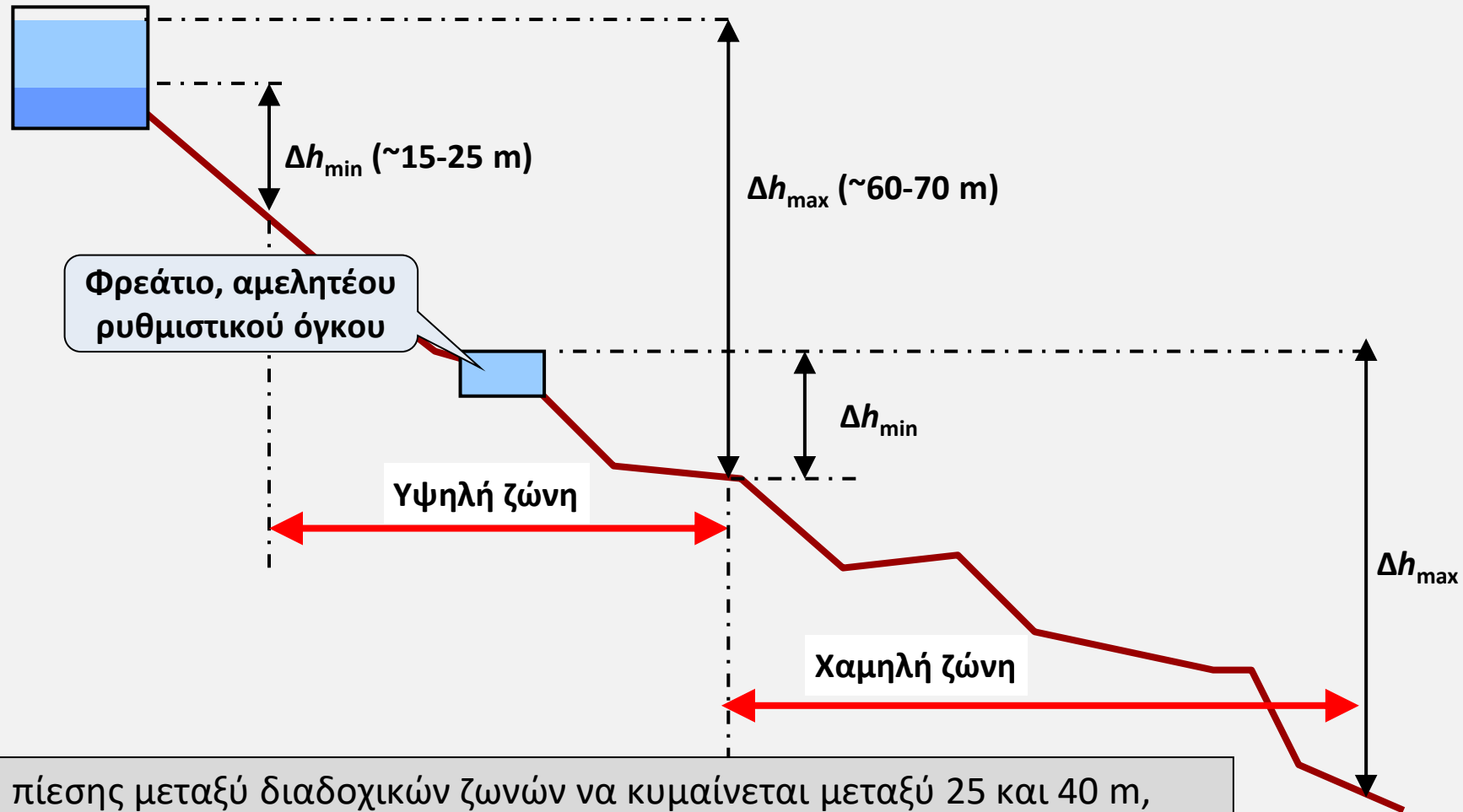
- Σε σχέση με την **απόσταση** συστήνεται η **τοποθέτηση της δεξαμενής** όσο το δυνατόν **πιο κοντά στο κέντρο βάρους του οικισμού**, το οποίο παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:
 - **μειώνεται το μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού σε σχέση με το μήκος του αγωγού μεταφοράς (εξωτερικό υδραγωγείο)**,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

Πιεζομετρικές ζώνες δικτύων

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



Παράδειγμα χωρισμού σε πιεζομετρικές ζώνες με σύστημα δεξαμενής-φρεατίου



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

Λοιπές προδιαγραφές και σχετικοί έλεγχοι

□ Έλεγχος ποιότητας νερού:

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

□ Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας:

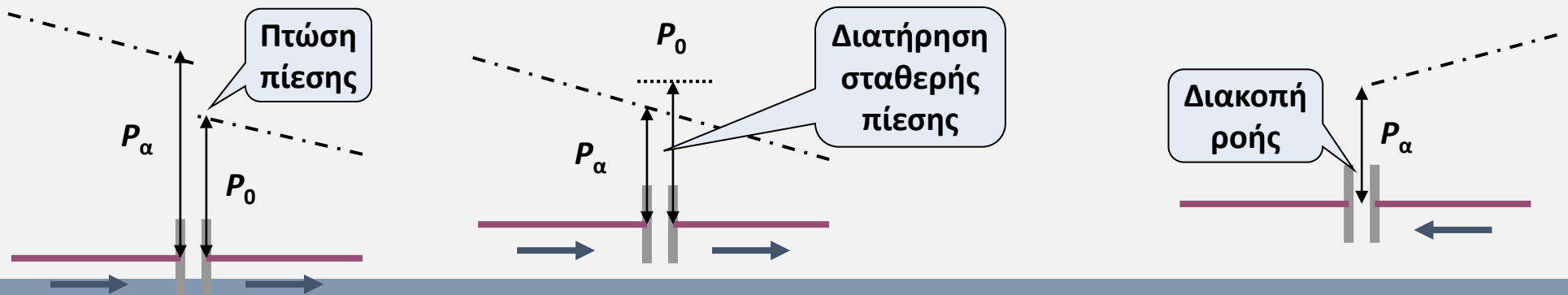
- Το δίκτυο πρέπει να ελέγχεται (και να εξοπλίζεται κατάλληλες υδραυλικές διατάξεις) έναντι της **εμφάνισης μεγάλων υποπιέσεων και υπερπιέσεων, λόγω υδραυλικού πλήγματος**, το οποίο οφείλεται σε απότομες αυξομειώσεις της παροχής (π.χ. λόγω βλάβης). Ο έλεγχος αυτός αναφέρεται σε συνθήκες μη μόνιμης ροής,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

Γενικές αρχές χάραξης αγωγών δικτύου

- Στη χάραξη του δικτύου χρησιμοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες, καθώς και χάρτες γενικής πολεοδομικής διάταξης (συνήθεις κλίμακες 1:2000 ή 1:1000).
- Από τη δεξαμενή ξεκινά ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός (Κ.Τ.Α) που φτάνει στην περίμετρο της πόλης, απ' όπου διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής.
- Το δίκτυο διανομής ακολουθεί το **οδικό δίκτυο**. Στις μεγάλες οδικές αρτηρίες τοποθετούνται δίδυμοι αγωγοί, εκατέρωθεν των πεζοδρομίων.
- 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, ενώ η **ελάχιστη κλάση αγωγών** είναι **10 atm**.
- Οι **πυροσβεστικοί κρουνοί τοποθετούνται σε αποστάσεις έως 200 m**, ενώ σε μεγάλες πόλεις η τοποθέτηση των κρουνών είναι πιο πυκνή (ανά 75-100 m).
- Το δίκτυο διανομής συμπληρώνεται από **ειδικές συσκευές**, για τη ρύθμιση της παροχής (δικλείδες, εκκενωτές) και της πίεσης (μειωτές, φρεάτια, αερεξαγωγοί).

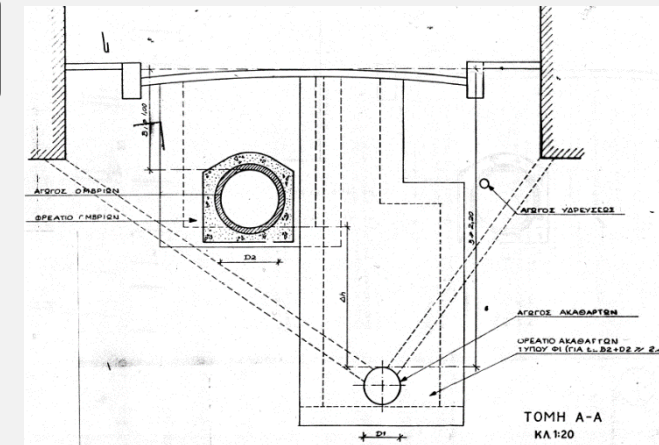
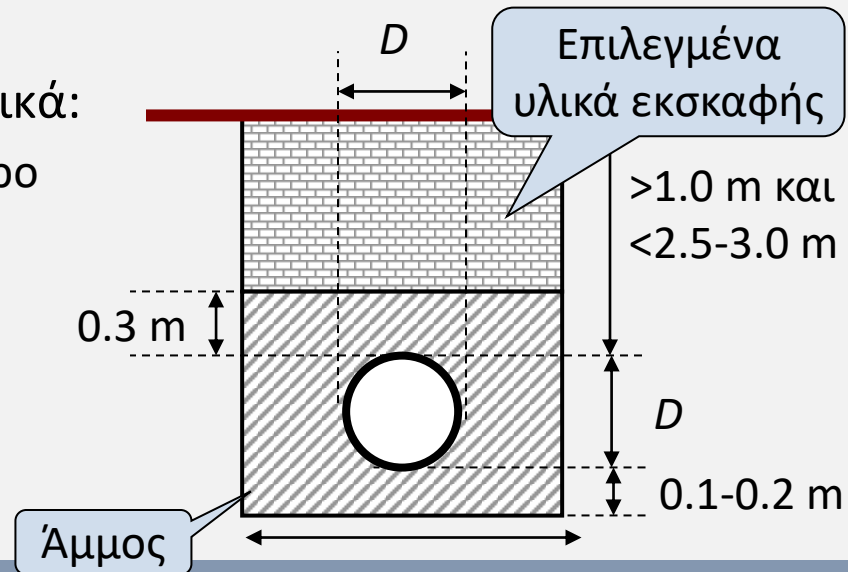
Ειδικές συσκευές δικτύων (τοποθέτηση σε φρεάτιο)

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

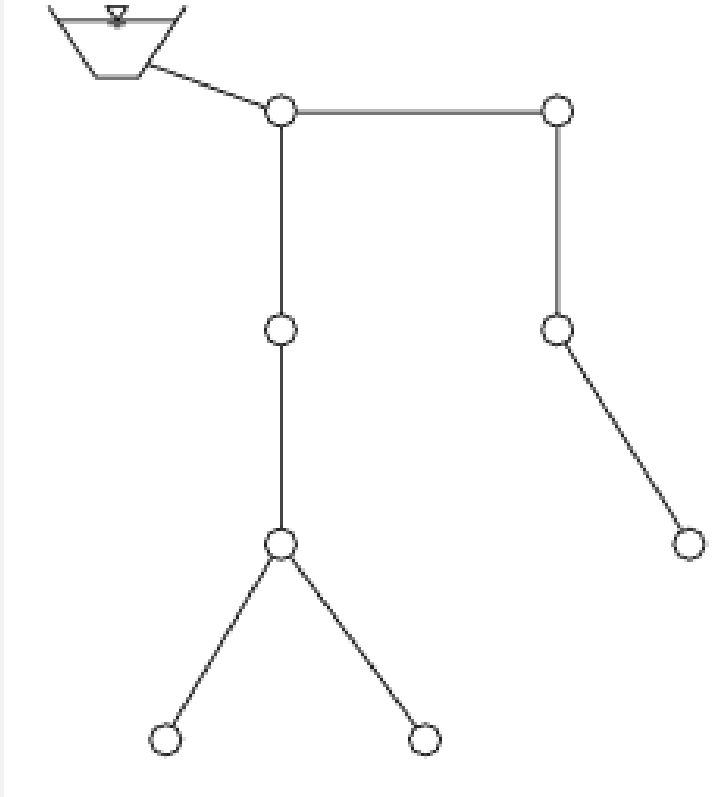


Αγωγοί δικτύων ύδρευσης

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



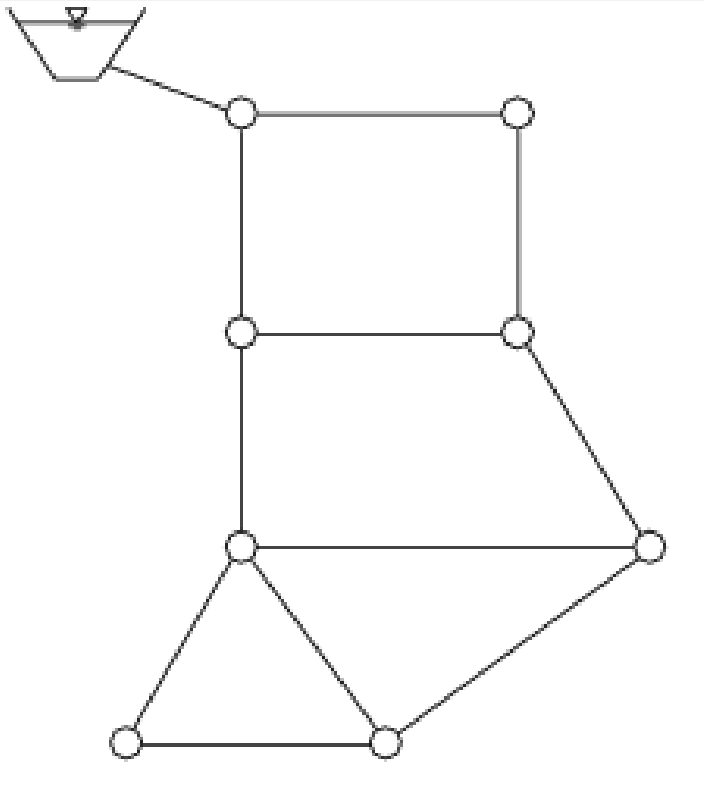
Ακτινωτά Δίκτυα



Ακτινωτά δίκτυα

- 1 βασικός κλάδος και συνένωση με πολλούς μικρότερους
- Μικρή αξιοπιστία, καθώς πιθανή βλάβη προκαλεί πρόβλημα σε όλο το κατάντη τμήμα
- Εμφάνιση προβλημάτων ποιότητας καθώς δεν ανανεώνεται το νερό και συσσωρεύονται φερτά
- Ευάλωτα σε υδραυλικό πλήγμα
- Εφαρμογή σε μικρούς οικισμούς και για αρδευτικά κανάλια

Βροχωτά Δίκτυα



Βροχωτά δίκτυα

- Οι αγωγοί σχηματίζουν βρόχους (κλειστές διαδρομές)
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς το νερό μπορεί να φτάσει σε ένα σημείο ακολουθώντας εναλλακτικές διαδρομές
- Απουσία προβλημάτων ποιότητας καθώς υπάρχει μεγαλύτερη κίνηση του νερού (αυτοκαθαρισμός δικτύων)
- Πρακτικά θωρακισμένα έναντι υδραυλικού πλήγματος
- Αυξημένο κόστος σε σχέση με τα ακτινωτά
- Μεγαλύτερος υπολογιστικός φόρτος κατά την διαστασιολόγηση

Επιδιώκεται η τροφοδοσία κάθε καταναλωτή από εναλλακτικές διαδρομές (**βροχωτή διάταξη αγωγών**), ώστε να εξασφαλίζεται απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου σε περιπτώσεις **βλάβης** και να εκμηδενίζεται ο κίνδυνος **υδραυλικού πλήγματος**.

Ανάλυση δικτύων διανομής

Το πρόβλημα διαστασιολόγησης δικτύου διανομής

Για τη δεδομένη κάτοψη δικτύου (που προκύπτει από την ικανοποίηση του περιορισμού μέγιστης πίεσης και το πολεοδομικό σχέδιο)

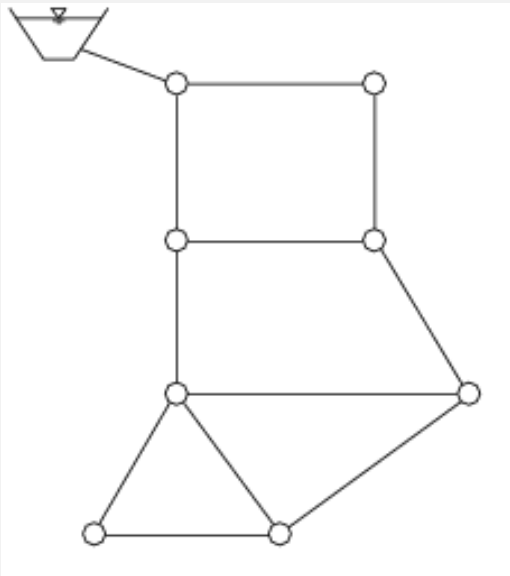
- Βρείτε τις **μικρότερες δυνατές διαμέτρους** των αγωγών του δικτύου, ώστε να ικανοποιείται ο **περιορισμός ελάχιστης πίεσης** ($p/\gamma > (n + 1) \times 4 \text{ m}$) σε όλα τα σημεία του δικτύου.



Απαιτείται υδραυλική επίλυση του δικτύου:

- Παροχές (ταχύτητες) αγωγών
- Πιεζομετρικές γραμμές κατά μήκος αγωγών
- Ενεργειακά υψόμετρα κόμβων

Σχηματική αναπαράσταση δικτύου



Σχηματοποίηση: δικτυακή απεικόνιση των συνιστωσών του φυσικού συστήματος ως συνιστώσες ενός **ενοσιολογικού μοντέλου γράφου:**

- **Κλάδος:** αγωγός μήκους L , με ενιαία διάμετρο D , ισοδύναμη τραχύτητα k_s , και παροχή Q , με τη υπόθεση ότι κατά μήκος του δεν εισέρχεται ή εξέρχεται ποσότητα νερού.

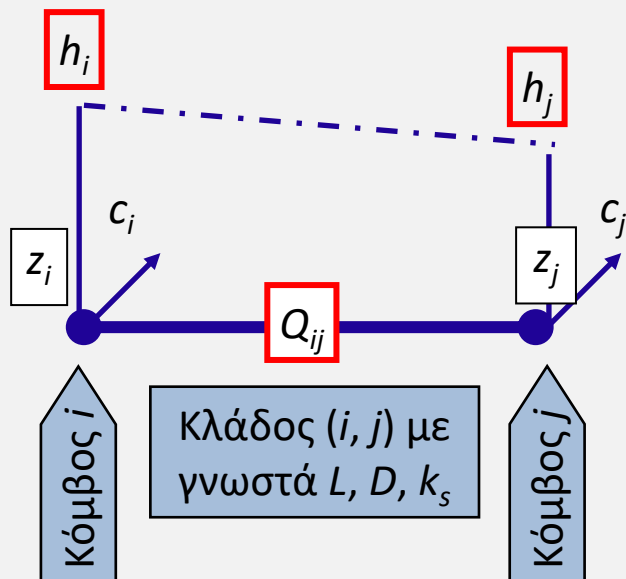
Γνωστά κατά την επίλυση: L, D, k_s

Άγνωστο: Q (ή ισοδύναμα ή ταχύτητα V) [2^ο τυπικό πρόβλημα]

- **Κόμβος:** Σημείο εισροής ή εκροής (ζήτησης) ποσότητας νερού, σημείο διακλαδώσεων αγωγών, σημεία αλλαγής χαρακτηριστικών διαδοχικών αγωγών (π.χ. αλλαγή D ή k_s), γενικά σημεία αλλαγών και σημεία που απαιτείται υπολογισμός κάποιου μεγέθους.

Γνωστά κατά την επίλυση: υψόμετρα z , παροχές εξόδου (φορτίσεις) ή εισόδου νερού c .

Άγνωστο: ενεργειακά υψόμετρα h (ισοδύναμα, πιέσεις p/γ).



Τι λαμβάνουμε ως κόμβο?

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

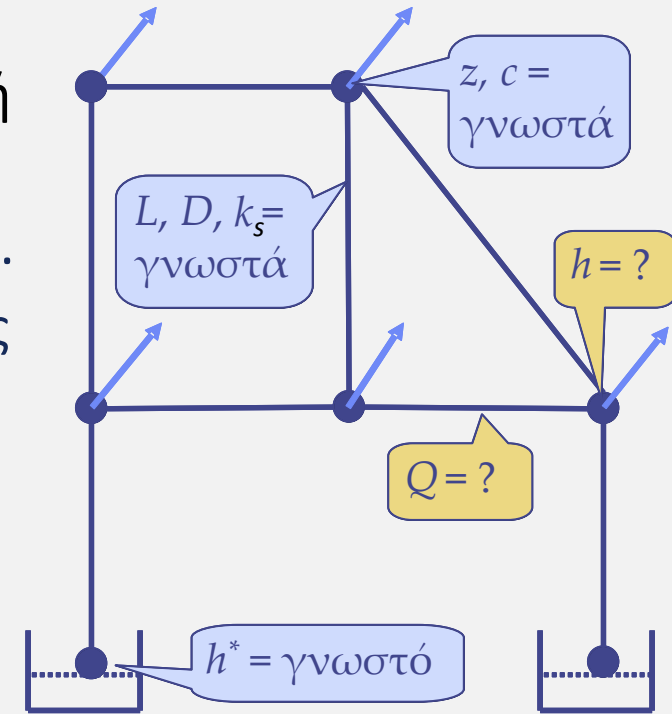
Διατύπωση του προβλήματος υδραυλικής επίλυσης δικτύων

Δεδομένου ενός δικτύου αγωγών υπό πίεση με:

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

ζητείται ο υπολογισμός:

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



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

Ζητούμενο κατά την διαστασιολόγηση: Ο έλεγχος των περιορισμών που αναφέρονται στις συνιστώσες του δικτύου (ύψη πίεσης κόμβων, ταχύτητες ροής αγωγών) $\rightarrow p/\gamma > (n + 1) \times 4 \text{ m}$, σε όλα τα σημεία του δικτύου.

Τυπικά δεδομένα εισόδου υδραυλικής ανάλυσης

□ Τοπολογία δικτύου

- Διασύνδεση των επιμέρους συνιστωσών του δικτύου (κατά κανόνα η τοπολογία διαμορφώνεται με τη βοήθεια γραφικών εργαλείων που διαθέτουν τα μοντέλα)

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη κόμβων:

- **Υψόμετρο εδάφους:** μέτρηση στον χάρτη, καθώς για τις ανάγκες του μοντέλου και τον έλεγχο των πιέσεων δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια στα υψόμετρα
- **Παροχή εξόδου:** αθροιστική από όλες τις χρήσεις νερού, σημειακές και κατανεμημένες

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων (αγωγών):

- **Μήκος:** μέτρηση στον χάρτη, καθώς ούτε εδώ απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια
- **Εσωτερική διάμετρος:** εξαρτάται από το υλικό και την κλάση του αγωγού
- **Ισοδύναμη τραχύτητα:** γενικά λαμβάνεται $k_s = 1.0 \text{ mm}$, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα σχεδιασμού, οπότε λαμβάνονται υπόψη η γήρανση των αγωγών καθώς και οι τοπικές απώλειες

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη δεξαμενών:

- **Στάθμη νερού:** λαμβάνεται η ΚΣΥ δεξαμενής, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα ελέγχου πιέσεων (διαστασιολόγηση δικτύου)

Που βρίσκουμε τις διαμέτρους των αγωγών;

- Ξεκινάμε υποθέτοντας **ένα εύλογο αρχικό σύνολο διαμέτρων**, με βάση την εμπειρία του μελετητή (προφανώς, θα πρέπει να έχει ήδη γίνει επιλογή του υλικού και της κλάσης των αγωγών).
- Η διαστασιολόγηση των αγωγών του δικτύου βασίζεται σε μια **επαναληπτική διαδικασία**, σύμφωνα με την οποία ελέγχεται η υδραυλική λειτουργία του δικτύου **εφαρμόζοντας διάφορες τιμές διαμέτρων**, ώσπου να εντοπιστεί η οικονομικότερη διάταξη που ικανοποιεί τους περιορισμούς ελάχιστων πιέσεων.
- Γενικές αρχές **επιλογής αρχικού συνόλου** διαμέτρων:
 1. Αν η τροφοδοσία του δικτύου γίνεται από μια κεντρική δεξαμενή, η επιλογή της διαμέτρου του **κύριου τροφοδοτικού αγωγού** (ΚΤΑ) γίνεται υποθέτοντας μια εύλογη κλίση ενέργειας (π.χ. 1.0%) ή μια εύλογη ταχύτητα ροής (π.χ. 1.0 m/s).
 2. Διαμορφώνεται ένα **πρωτεύον δίκτυο** από αγωγούς μεγάλης διαμέτρου (αλλά μικρότερης του ΚΤΑ), που διατρέχει τους μεγάλους οδικούς άξονες και συνδέει μεταξύ τους, τους πυροσβεστικούς κρουνοί και τους μεγάλους καταναλωτές (**125-150 mm, έως και 200 mm**).
 3. Για το **δευτερεύον δίκτυο** αγωγών μπορεί καταρχήν να εφαρμοστεί η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος (90 mm).

Πως βρίσκουμε τις παροχές εξόδου στους κόμβους?

- Η εκτίμηση της συνολικής κατανάλωσης του δικτύου γίνεται ξεχωριστά για κάθε χρήση νερού (μόνιμοι κάτοικοι, τουρίστες κτλ.), για την οποία εκτιμάται η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία παροχή, Q_{Ω} .
- Οι χρήστες διακρίνονται σε **σημειακούς (ή ειδικούς καταναλωτές)** και **μη σημειακούς (κατανεμημένους)**.
- Ως **σημειακοί χρήστες** (ή ειδικοί καταναλωτές) νοούνται βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πάρκα, πυροσβεστικοί κρουνοί κτλ., και γενικά κάθε μεγάλος καταναλωτής που υδροδοτείται από συγκεκριμένη θέση του δικτύου.
 - **Οι μέγιστες ωριαίες παροχές των ειδικών καταναλωτών μεταφέρονται απευθείας ως σημειακές φορτίσεις στον εγγύτερο κόμβο.**

Πως βρίσκουμε τις παροχές εξόδου στους κόμβους?

- Ως **μη σημειακοί (κατανεμημένοι) χρήστες** νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές, οι κάτοικοι παραθεριστικών περιοχών, και οι τουρίστες που καταλύουν σε εκτεταμένες περιοχές όπου αναπτύσσονται μικρής κλίμακας τουριστικές μονάδες, π.χ. ενοικιαζόμενα δωμάτια (μεμονωμένα ξενοδοχειακά συγκροτήματα μεγάλης κλίμακας αναπαρίστανται ως σημειακοί καταναλωτές νερού).
- Για τους κατανεμημένους καταναλωτές, η συνολική **μέγιστη ωριαία παροχή Q_Ω** , ανά χρήση νερού k , επιμερίζεται στους κόμβους του δικτύου j , με χρήση κατάλληλων συντελεστών κατανομής:

$$c_{j,k} = w_{j,k} Q_\Omega$$

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

Πως “επιλύω” ένα δίκτυο; θεμελιώδεις σχέσεις τοπολογίας

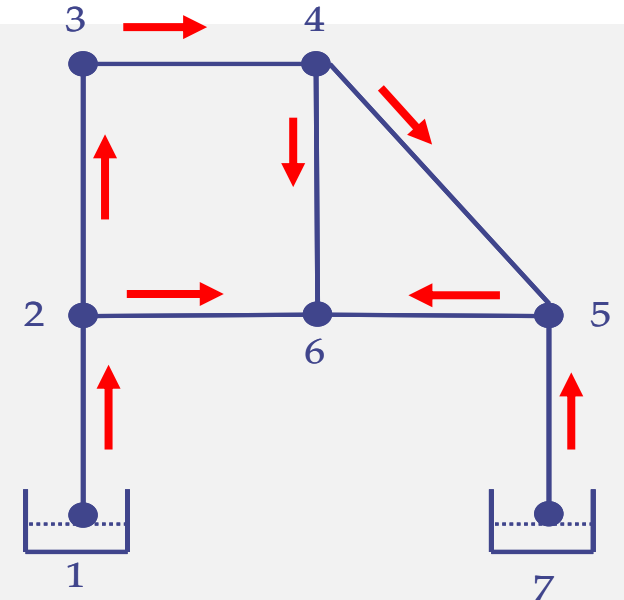
- Σε ένα δίκτυο n κόμβων, m κλάδων και r βρόχων ισχύει η θεμελιώδης σχέση:

$$m = n + r - 1$$

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

$$m = n + r - n_0$$

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



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

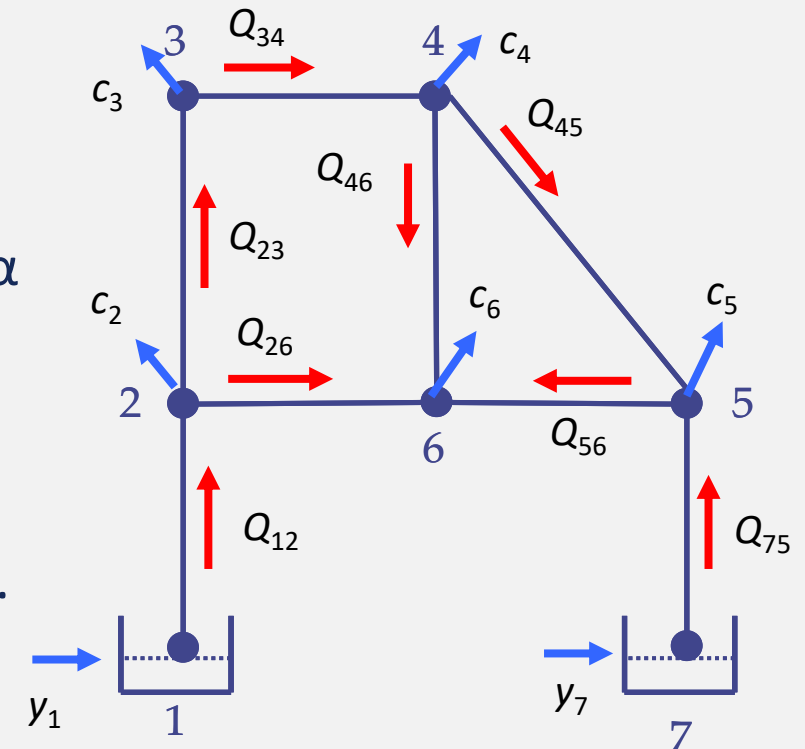
Εξισώσεις συνέχειας κόμβων

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

$$\sum a_{ij} Q_{ij} + y_i - c_i = 0$$

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

- Σε ένα δίκτυο n κόμβων και n_0 σημείων γνωστού ενεργειακού υψομέτρου (δεξαμενές), μπορούν να διατυπωθούν $n - n_0$ ανεξάρτητες γραμμικές εξισώσεις συνέχειας ως προς τις m άγνωστες παροχές (γιατί πρέπει να χρησιμοποιήσω n_0 εξισώσεις για να υπολογίσω τα y).
- Συνεπώς, για τον προσδιορισμό των παροχών απαιτούνται $m - (n - n_0)$ επιπλέον εξισώσεις.
- Αν το δίκτυο είναι ακτινωτό, δεν απαιτούνται επιπλέον εξισώσεις. Το πρόβλημα είναι πλήρως ορισμένο μόνο από τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων (ξεκινάτε από τις άκρες του δικτύου και λύνετε προς τις δεξαμενές!)



Εξισώσεις διατήρησης ενέργειας βρόχων

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

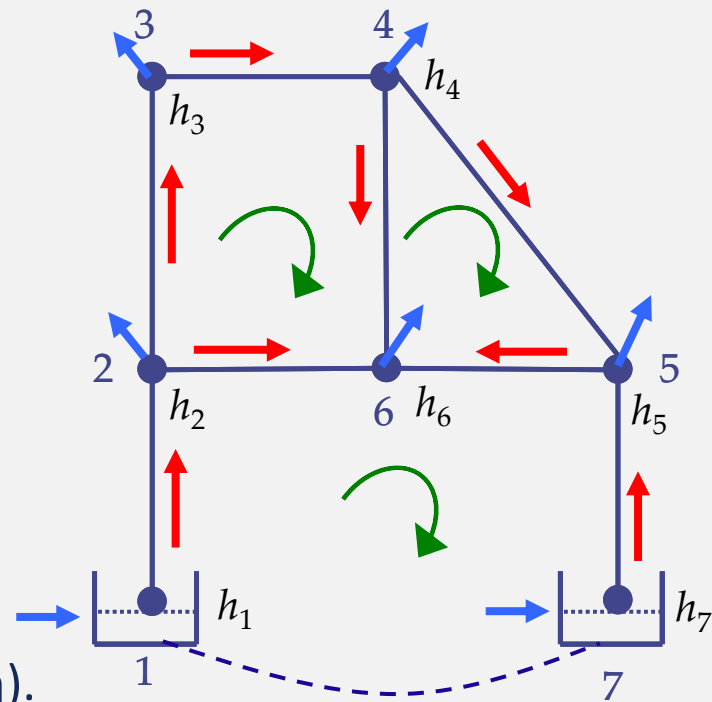
$$\sum \Delta h_{ij} = \sum \kappa_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\lambda-1}$$

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

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

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

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



Πως “επιλύω” ένα δίκτυο; Παράδειγμα

□ Εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους

$$K2: Q_{1-2} + Q_{4-2} - c_2 - Q_{2-3} = 0$$

$$K3: Q_{2-3} - Q_{3-4} - c_3 = 0$$

$$K4: Q_{3-4} - Q_{4-2} - c_4 + Q_{5-4} = 0$$

3 εξισώσεις
(5 άγνωστοι)

□ Εξισώσεις διατήρησης ενέργειας στους βρόχους

$$B1: \Delta H_{2-3} + \Delta H_{3-4} + \Delta H_{4-2} = 0$$

$$B2: \Delta H_{1-2} - \Delta H_{2-4} - \Delta H_{5-4} = H_5 - H_1$$

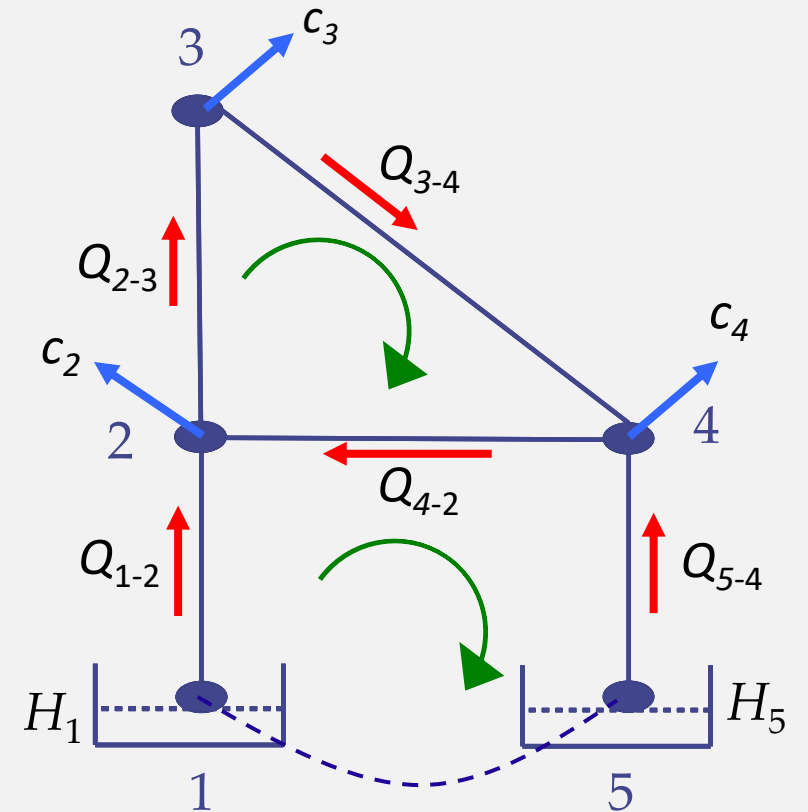
2 εξισώσεις

$$\Delta H_{1-2} = h_f^{(1-2)} = f_{(1-2)} \frac{L_{(1-2)}^8}{\pi^2 g D_{(1-2)}^5} Q_{(1-2)}^2$$

Εξ. Darcy - Weisbach

Άγνωστα μεγέθη:

- 5 παροχές Q_{ij} στους κλάδους
- 3 ενεργειακά υψόμετρα h_i στους κόμβους



Επίλυση συστήματος εξισώσεων

Τεχνικές επίλυσης του προβλήματος

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

**Διαμόρφωση μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης
δικτύου διανομής και έλεγχοι πιέσεων**

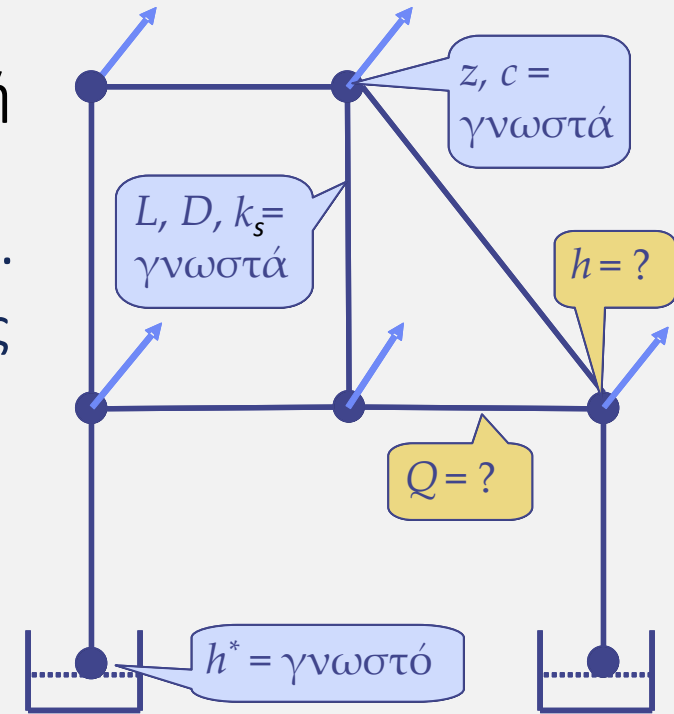
Διατύπωση του προβλήματος υδραυλικής επίλυσης δικτύων

Δεδομένου ενός δικτύου αγωγών υπό πίεση με:

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

ζητείται ο υπολογισμός:

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

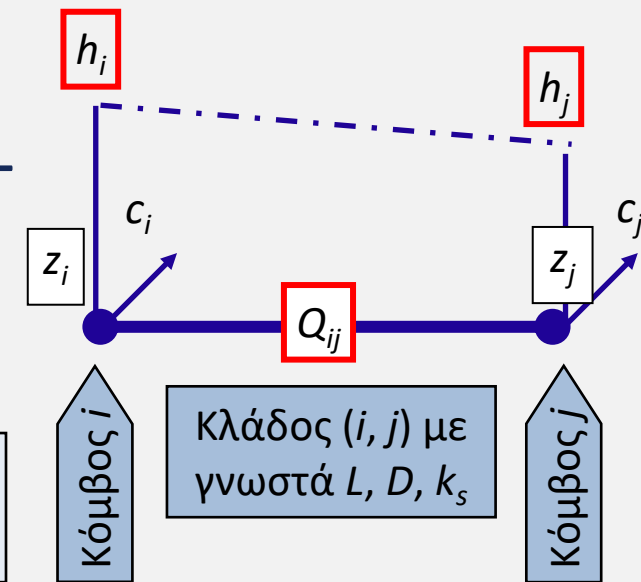


Θεμελιώδης παραδοχή: Οι κατανεμημένες καταναλώσεις του δικτύου (συνολική ζήτηση νερού για κάθε χρήση) ανάγονται σε σημειακές παροχές εξόδου κόμβων.

Ζητούμενο κατά την διαστασιολόγηση: Ο έλεγχος των περιορισμών που αναφέρονται στις συνιστώσες του δικτύου (ύψη πίεσης κόμβων, ταχύτητες ροής αγωγών) $\rightarrow p/\gamma > (n + 1) \times 4 \text{ m}$, σε όλα τα σημεία του δικτύου.

Συνιστώσες μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης

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



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

Τυπικά δεδομένα εισόδου υδραυλικής ανάλυσης

□ Τοπολογία δικτύου

- Διασύνδεση των επιμέρους συνιστωσών του δικτύου (κατά κανόνα η τοπολογία διαμορφώνεται με τη βοήθεια γραφικών εργαλείων που διαθέτουν τα μοντέλα)

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη κόμβων:

- **Υψόμετρο εδάφους:** μέτρηση στον χάρτη, καθώς για τις ανάγκες του μοντέλου και τον έλεγχο των πιέσεων δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια στα υψόμετρα
- **Παροχή εξόδου:** αθροιστική από όλες τις χρήσεις νερού, σημειακές και κατανεμημένες

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων (αγωγών):

- **Μήκος:** μέτρηση στον χάρτη, καθώς ούτε εδώ απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια
- **Εσωτερική διάμετρος:** εξαρτάται από το υλικό και την κλάση του αγωγού
- **Ισοδύναμη τραχύτητα:** γενικά λαμβάνεται $k_s = 1.0 \text{ mm}$, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα σχεδιασμού, οπότε λαμβάνονται υπόψη η γήρανση των αγωγών καθώς και οι τοπικές απώλειες

□ Χαρακτηριστικά μεγέθη δεξαμενών:

- **Στάθμη νερού:** γενικά λαμβάνεται η ΚΣΥ δεξαμενής, εφόσον αναφερόμαστε σε πρόβλημα ελέγχου πιέσεων (διαστασιολόγηση δικτύου)

Τι λαμβάνουμε ως κόμβο?

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

Πως βρίσκουμε τις παροχές εξόδου (ζητήσεις) στους κόμβους?

- Η εκτίμηση της συνολικής κατανάλωσης του δικτύου γίνεται ξεχωριστά για κάθε χρήση νερού (μόνιμοι κάτοικοι, τουρίστες κτλ.), για την οποία εκτιμάται η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία παροχή, Q_{Ω} .
- Οι χρήστες διακρίνονται σε σημειακούς (ή ειδικούς καταναλωτές) και μη σημειακούς (κατανεμημένους).
- Ως σημειακοί χρήστες (ή ειδικοί καταναλωτές) νοούνται βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πάρκα, πυροσβεστικοί κρουνοί κτλ., και γενικά κάθε μεγάλος καταναλωτής που υδροδοτείται από συγκεκριμένη θέση του δικτύου.
 - Οι μέγιστες ωριαίες παροχές των ειδικών καταναλωτών μεταφέρονται απευθείας ως σημειακές φορτίσεις στον εγγύτερο κόμβο.

Πως βρίσκουμε τις παροχές εξόδου (ζητήσεις) στους κόμβους?

- Ως **μη σημειακοί (κατανεμημένοι) χρήστες** νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές, οι κάτοικοι παραθεριστικών περιοχών, και οι τουρίστες που καταλύουν σε εκτεταμένες περιοχές όπου αναπτύσσονται μικρής κλίμακας τουριστικές μονάδες, π.χ. ενοικιαζόμενα δωμάτια (μεμονωμένα ξενοδοχειακά συγκροτήματα μεγάλης κλίμακας αναπαρίστανται ως σημειακοί καταναλωτές νερού).
- Για τους κατανεμημένους καταναλωτές, η συνολική **μέγιστη ωριαία παροχή $Q_{\Omega,k}$** , ανά χρήση νερού k επιμερίζεται στους κόμβους του δικτύου j , με χρήση κατάλληλων συντελεστών κατανομής:

$$c_{j,k} = w_{j,k} Q_{\Omega,k}$$

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

Αναγωγή κατανεμημένης ζήτησης στους κόμβους

□ Μέθοδος επιφανειών επιρροής:

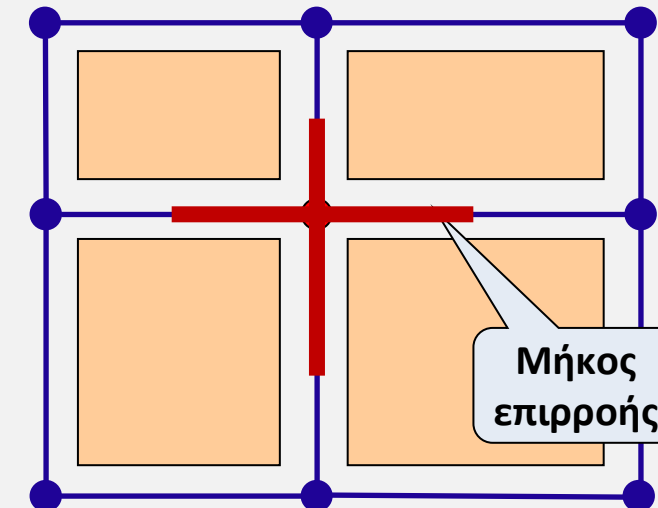
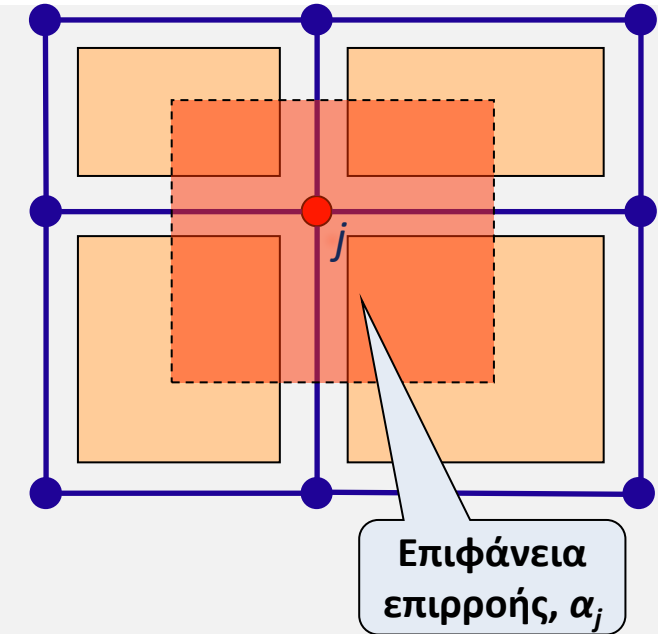
- Κάθε κόμβος j εξυπηρετεί συγκεκριμένη επιφάνεια α_j , οπότε το ποσοστό συμμετοχής του κόμβου στη συνολική κατανάλωση εκτιμάται από τη σχέση:

$$w_j = \alpha_j / \sum \alpha_j$$

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

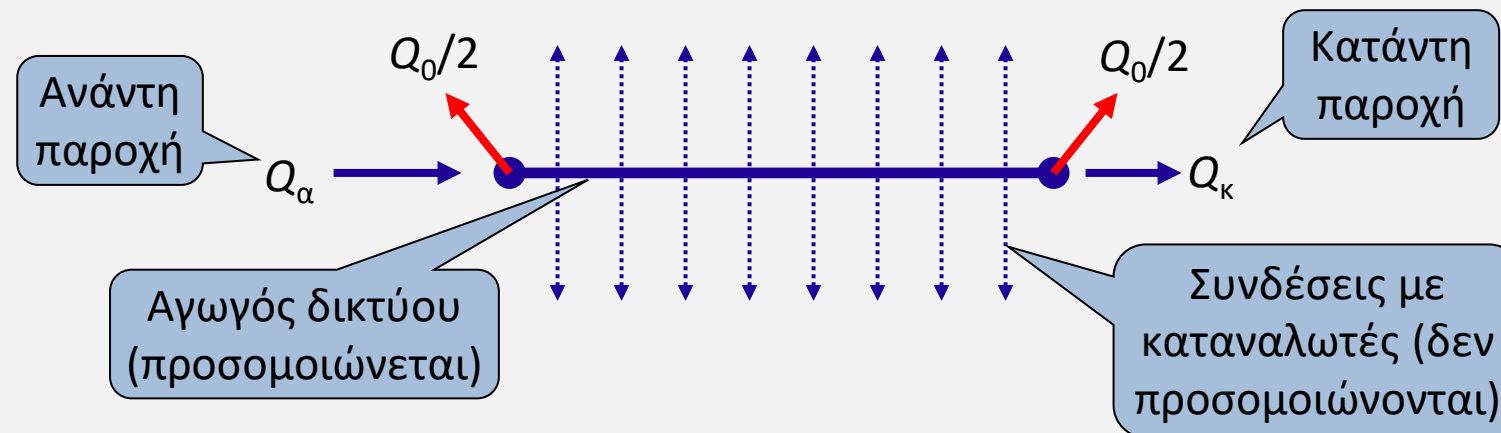
□ Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής:

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



Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Η έννοια της ανηγμένης κατανάλωσης

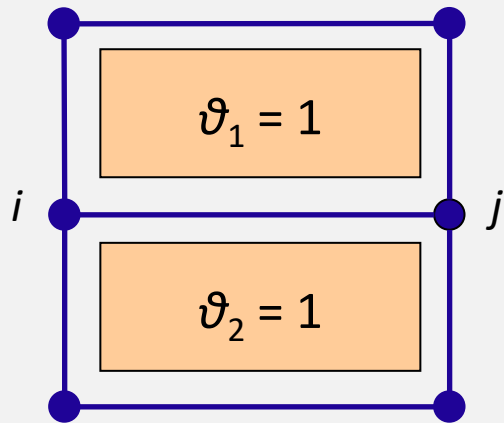
- Στην πιο απλή περίπτωση (του ενός κλάδου – δύο κόμβων)
- Αν η διανεμόμενη κατανάλωση ανά μέτρο μήκους του αγωγού είναι ομοιόμορφη, υπολογίζουμε τη **συνολική κατανάλωση** Q_0 και την πολλαπλασιάζουμε με $(L/2)/L = 0.5$ (δηλαδή την ισομοιράζουμε στον ανάντη και κατάντη κόμβο), ανάγοντάς την σε **σημειακή κατανάλωση/ζήτηση σε κάθε κόμβο**.



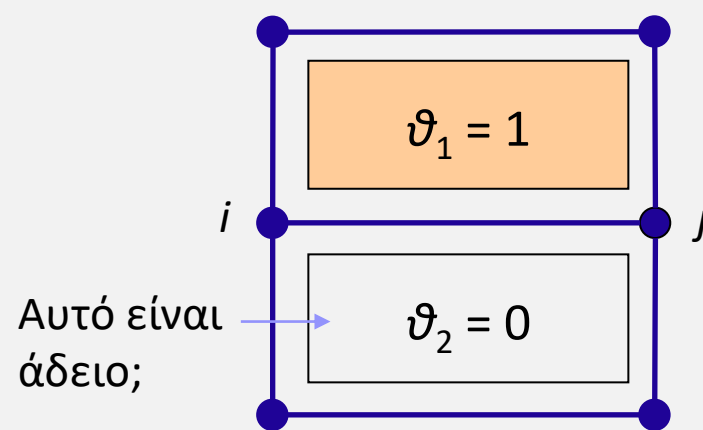
Αν δεν είναι ομοιόμορφη;

Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Εκτίμηση συντελεστών ανομοιομορφίας

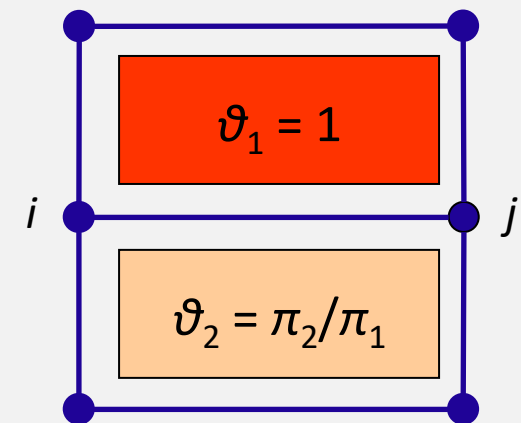
- Αν η κατανομή της κατανάλωσης για κάποια χρήση νερού **δεν είναι ομοιόμορφη**, τότε η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ζώνες διαφορετικής πυκνότητας $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N$.
 - Ως **μέτρο πυκνότητας** μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πραγματική πυκνότητα του πληθυσμού (κάτοικοι/μέτρο επιφάνειας) ή πολεοδομικά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



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



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



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

Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής: Εκτίμηση συντελεστών κατανομής

- Μετρώνται τα πραγματικά μήκη των κλάδων του δικτύου, L_{ij}
- Για κάθε κλάδο (i, j) , υπολογίζεται ο **συντελεστής ανομοιομορφίας** ϑ_{ij} ως ημιάθροισμα των συντελεστών των δύο περιοχών εκατέρωθεν του κλάδου.
- Εκτιμάται το **ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j** ως προς τον κλάδο (i, j) ως: $L_{ij}^* = \vartheta_{ij} (L_{ij} / 2)$
- Το **ολικό ισοδύναμο μήκος επιρροής του κόμβου j** προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους μηκών όλων των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο:

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

- Το **ολικό ισοδύναμο μήκος της συγκεκριμένης χρήσης** προκύπτει ως:

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

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

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

- Η **σημειακή παροχή εξόδου στον κόμβο j** για μέγιστη ωριαία παροχή Q_{Ω} της **συγκεκριμένης χρήσης k** θα είναι:

$$C_{j,k} = w_{j,k} Q_{\Omega,k}$$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις κατανεμημένες χρήσεις νερού k (οικιακή, τουριστική κτλ.)

Διαμόρφωση σεναρίων φόρτισης

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

Σχόλια σχετικά με τους ελέγχους πιέσεων

- Η ανεπαρκής πίεση σε μια περιοχή ($p/\gamma > (n + 1) \times 4 \text{ m}$) του δικτύου αντιμετωπίζεται με:
 - αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό)
 - αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου (εναλλακτικά, τοποθέτηση παράλληλων αγωγών)
 - τοποθέτηση αντλιών (αν έχουν εξαντληθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις).
- Εξαιτίας της τοπογραφίας, στα υψηλά σημεία του δικτύου που βρίσκονται κοντά στις δεξαμενές, είναι ορισμένες φορές **αναπόφευκτο η τιμή της πίεσης να είναι μικρότερη της επιθυμητής**. Στην περίπτωση αυτή, και εφόσον οι πιέσεις των υπόλοιπων κόμβων κυμαίνονται στα επιτρεπόμενα όρια, δεν θεωρείται γενική αστοχία του δικτύου.
- 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 μεγάλες απώλειες ενέργειας, ή ισοδύναμα ιδιαίτερα μεγάλες κλίσεις της πιεζομετρικής γραμμής (**μη οικονομικός σχεδιασμός**).
 - Κατά τη διαδικασία δοκιμών, στο πλαίσιο της μελέτης διαστασιολόγησης, **ο έλεγχος ταχυτήτων** βοηθά στον εντοπισμό των αγωγών του δικτύου που παρουσιάζουν **υψηλές απώλειες ενέργειας** και πρέπει να **αντικατασταθούν κατά προτεραιότητα (από;)**.
- Από την άλλη, **αγωγοί με πολύ μικρές ταχύτητες** πρέπει να αντικατασταθούν από αγωγούς **μικρότερης διαμέτρου, μέχρι την επιτρεπόμενη ελάχιστη τιμή των 90 mm**.

Βιβλιογραφία & Πηγές

- Δ. Κουτσογιάννης, και Α. Ευστρατιάδης, Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Υδραγωγεία, 68 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2017, <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1744/>
- Λαγγούσης, Α., Φουρνιώτης, Ν, Στοιχεία Σχεδιασμού Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης, Εκδόσεις Gotsis. Πάτρα 2020.
- Τσακίρης, Γ., Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 2010.