



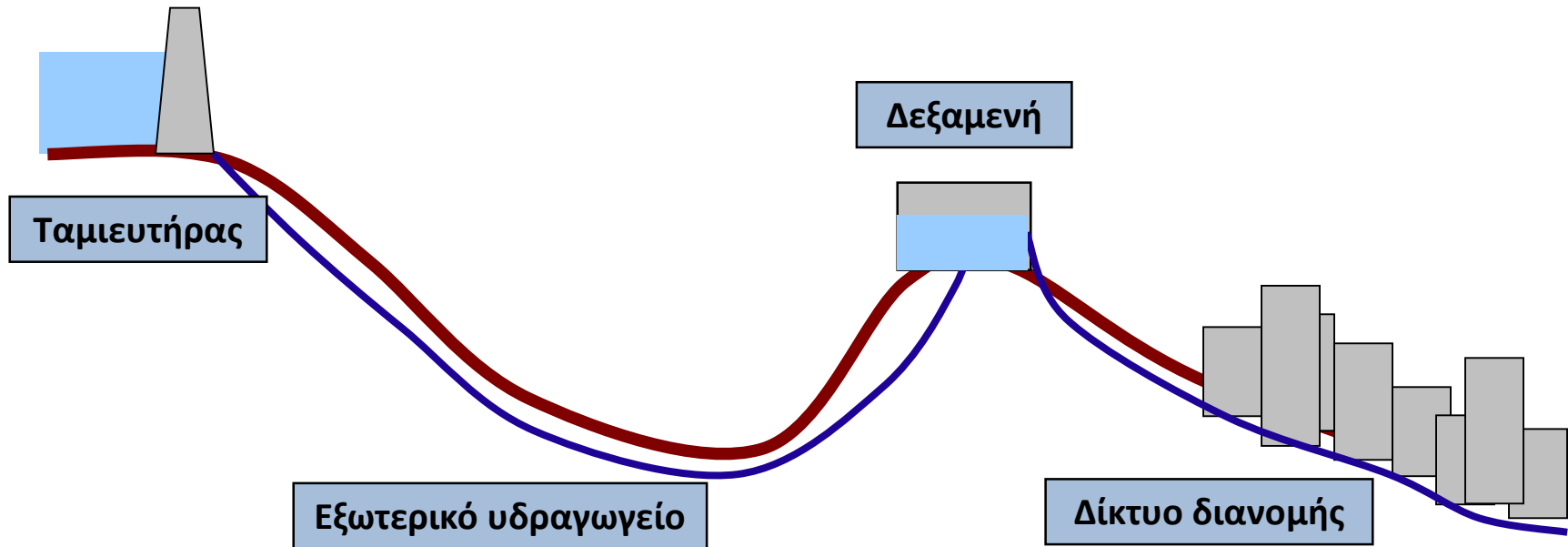
Βασικά στοιχεία έργων ύδρευσης

Παναγιώτης Κοσσιέρης, Αντρέας Ευστρατιάδης & Χρήστος Μακρόπουλος

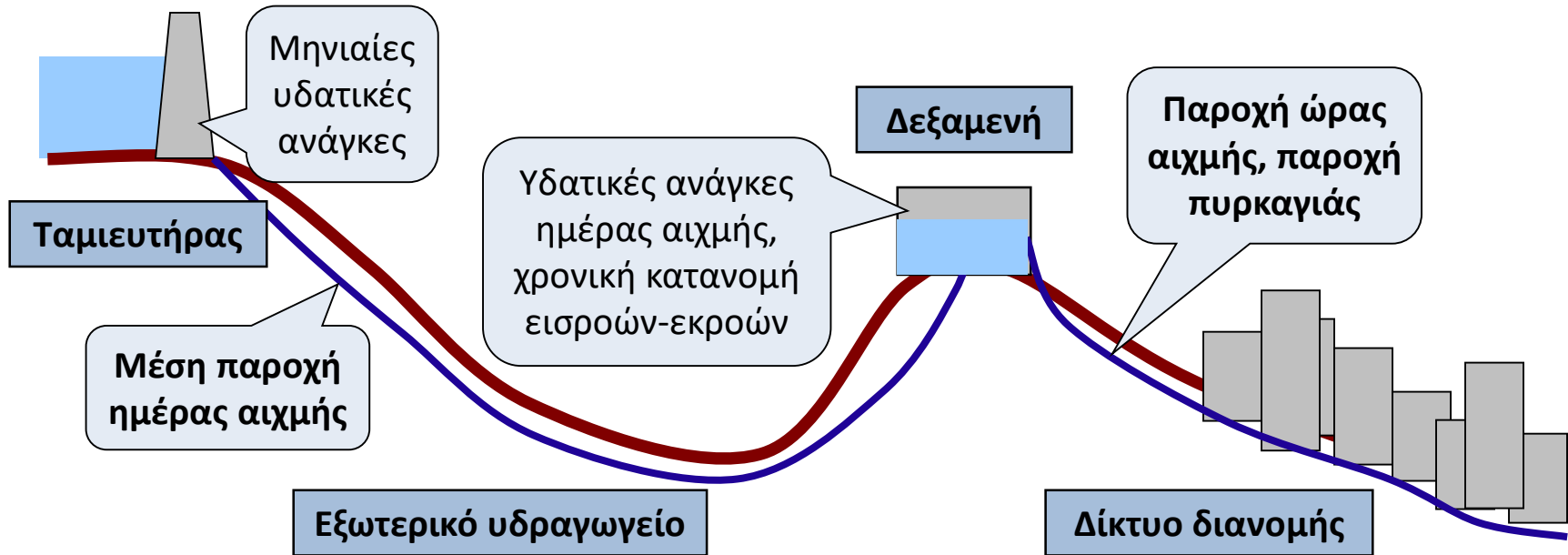
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, 2019

Βασικά έργα ύδρευσης



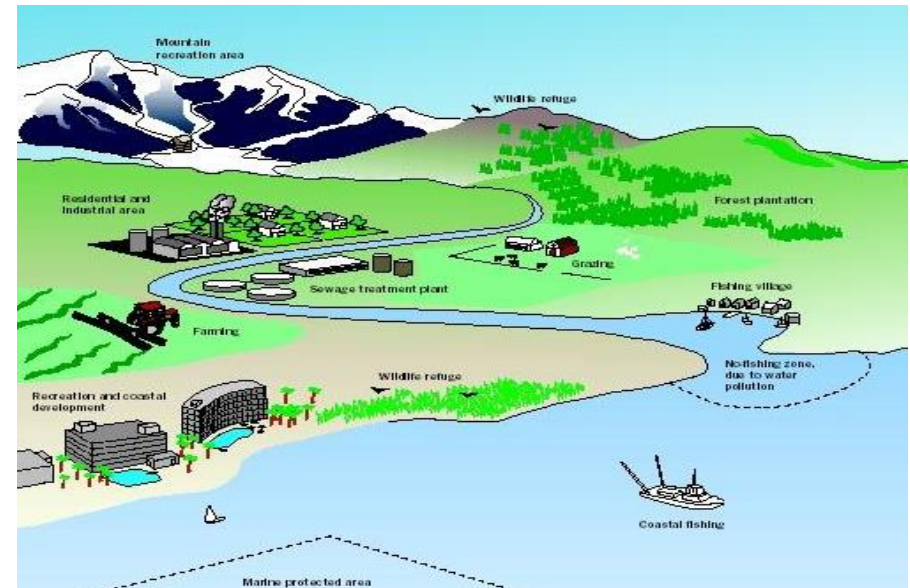
Βασικά μεγέθη σχεδιασμού υδρευτικών έργων



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

Αστικές χρήσεις 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 που διατίθεται για πυρόσβεση
- ❑ Απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού



Η οικιακή κατανάλωση εξαρτάται από:

- ❑ Κλιματικές συνθήκες
- ❑ Διαθεσιμότητα και ποιότητα νερού
- ❑ Βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο
- ❑ Κοινωνικά πρότυπα
- ❑ Τεχνολογία οικιακών συσκευών
- ❑ Τιμολογιακή πολιτική
- ❑ Μέτρα διαχείρισης της ζήτησης

Χαρακτηριστικά μεγέθη ζήτησης

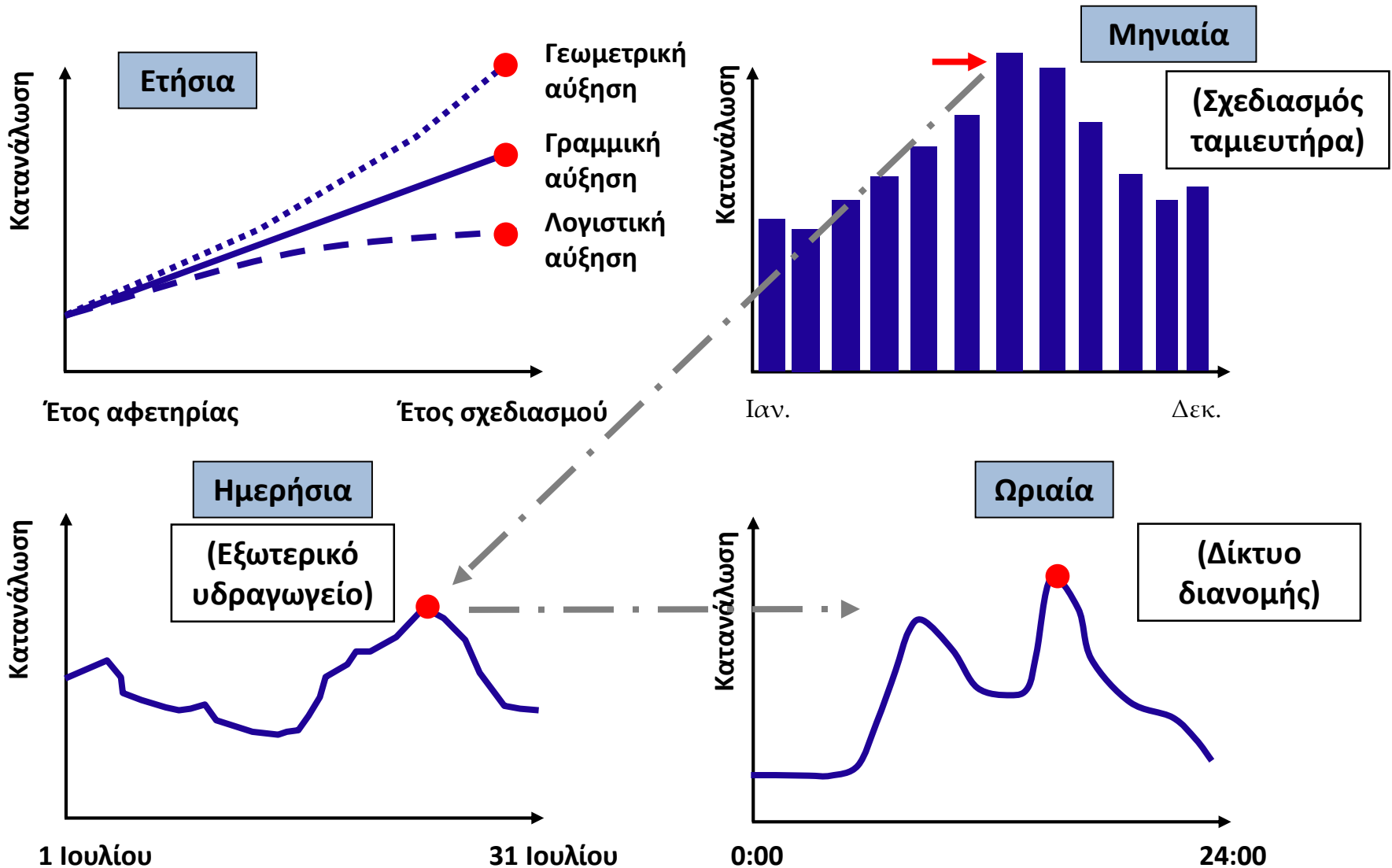
- Η μέση ημερήσια παροχή για κοινή οικιακή ή τουριστική χρήση είναι:

$$Q_E = q \Pi = V_E / T_E$$

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

Χρονικές κλίμακες σχεδιασμού



Εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών σχεδιασμού

- Δεδομένου του μέσου ετήσιου όγκου νερού V_E , η μέση ημερήσια παροχή Q_E υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_E = V_E / T_E$$

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

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

$$Q_H = V_H / T_H$$

όπου T_H η διάρκεια της ημέρας.

- 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:

$$Q_H = \lambda_H Q_E$$

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

- Η μέγιστη ημερήσια παροχή/όγκος χρησιμοποιείται για την διαστασιολόγηση του εξωτερικού υδραγωγείου:

- $Q_{\Sigma\chi} = Q_H$ για 24ωρη λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου
- $Q_{\Sigma\chi} = Q_H * (24/T_Y)$ για λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου T_Y ώρες

Εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών σχεδιασμού

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

$$Q_{\Omega} = V_{\Omega} / T_{\Omega}$$

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:

$$Q_{\Omega} = \lambda_{\Omega} Q_H$$

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

- **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).

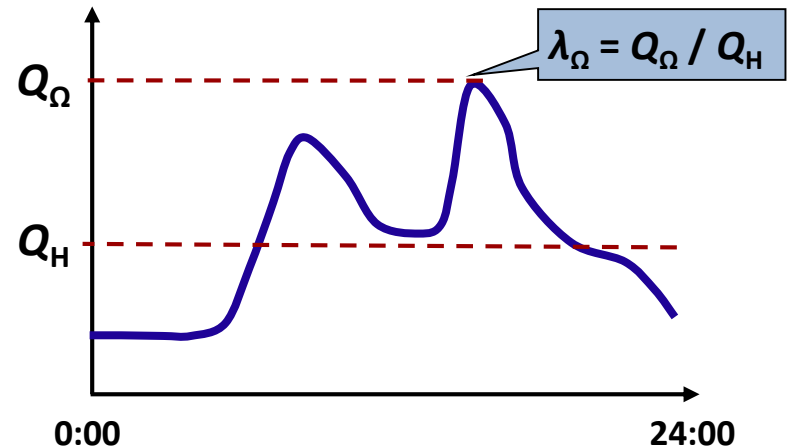
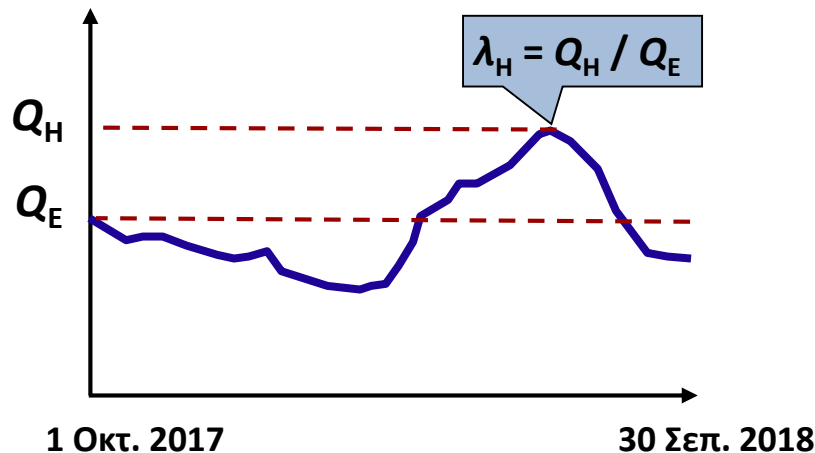
Ερμηνεία και εκτίμηση συντελεστών αιχμής

□ 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

System Input Volume	Authorised Consumption (Εξουσιοδοτημένη Κατανάλωση)	Billed Authorised Consumption (Τιμολογούμενη)	Billed Metered Consumption	Revenue Water (Ανταποδοτικό νερό)	
			Billed Unmetered Consumption		
		Unbilled Authorised Consumption (Μη τιμολογούμενη)	Unbilled Metered Consumption	Non Revenue Water (Μη ανταποδοτικό νερό)	
		Unbilled Unmetered Consumption			
	Water Losses (Απώλειες)	Apparent Water Losses (Φαινόμενικές)	Unauthorised Consumption <i>κλοπή</i>		Customer Meter Inaccuracies <i>Μετρητές</i>
		Real Losses (Πραγματικές) = διαρροές + υπερχειλίσεις	Leakage on Transmission and Distribution Mains		
Leakage and Overflows at Reservoirs					
		Leakage on Service Connections up to Metering Point			

(IWA, 2000)

- ❑ 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 **απώλειες νερού** (Water Losses) διακρίνονται σε **«φαινομενικές»** (Apparent) και **«πραγματικές»** (Real), και μαζί με τη **«μη τιμολογούμενη κατανάλωση»** (Unbilled Authorised) συνιστούν το **«μη ανταποδοτικό νερό»** (Non-revenue water).

Απώλειες νερού στα δίκτυα διανομής

- 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 με βάση το αναμενόμενο ποσοστό απωλειών κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού.

Σύνοψη μεθοδολογικού πλαισίου

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)

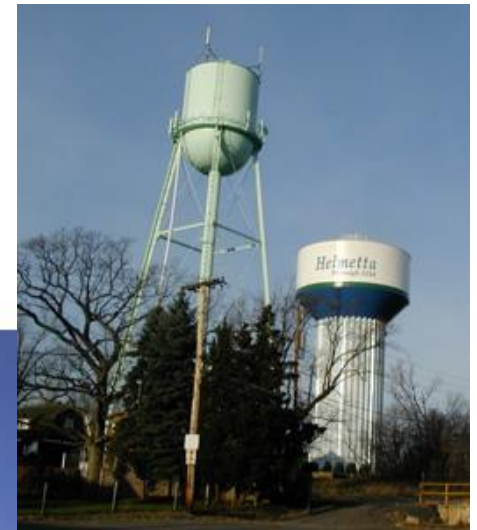
2β. Μέγιστος ημερήσιος όγκος (V_H) -> Μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_H)

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)

ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ



Βασικές λειτουργίες δεξαμενών

- Οι **βασικές λειτουργίες** των δεξαμενών ρύθμισης είναι:
 - **Εξισορροπείται η διακύμανση** ανάμεσα στην σταθερή εισροή νερού από τον αγωγό τροφοδοσίας (ακριβέστερα, τη μονάδα επεξεργασίας), και την χρονικά κυμαινόμενη, ανάλογα με τις απαιτήσεις της ζήτησης μέσα στο 24ωρο, εκροή.
 - Διατηρείται **εφεδρικό απόθεμα** για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου και πυρκαγιάς εντός του οικισμού.
 - **Εξασφαλίζεται αυτοτέλεια** των κατάντη από τα ανάντη έργα, που επιδιώκεται για λόγους ασφάλειας (στην περίπτωση βλάβης διάρκειας ορισμένων ωρών) και οικονομικότητας.
 - Εξασφαλίζεται (σε συνδυασμό με τα κατάντη έργα) **το επιθυμητό εύρος διακύμανσης των πιέσεων** στο δίκτυο διανομής.

Βασικά στοιχεία δεξαμενών ρύθμισης

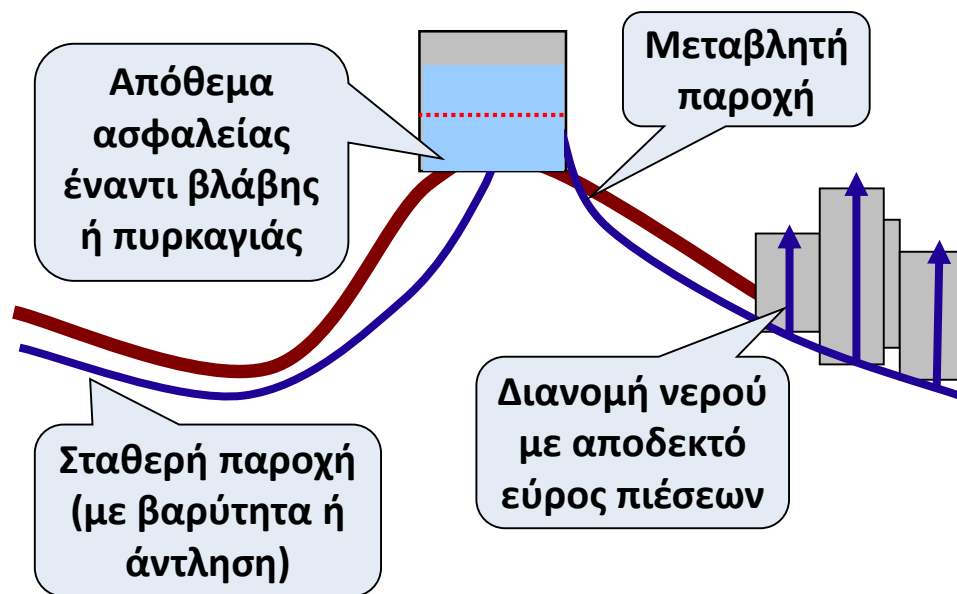
- Η **ωφέλιμη χωρητικότητα (όγκος)** περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:

- **όγκος ρύθμισης**

εξισορρόπηση της χρονικής ανισοκατανομής μεταξύ των εισροών από το εξωτερικό υδραγωγείο και των εκροών προς το δίκτυο

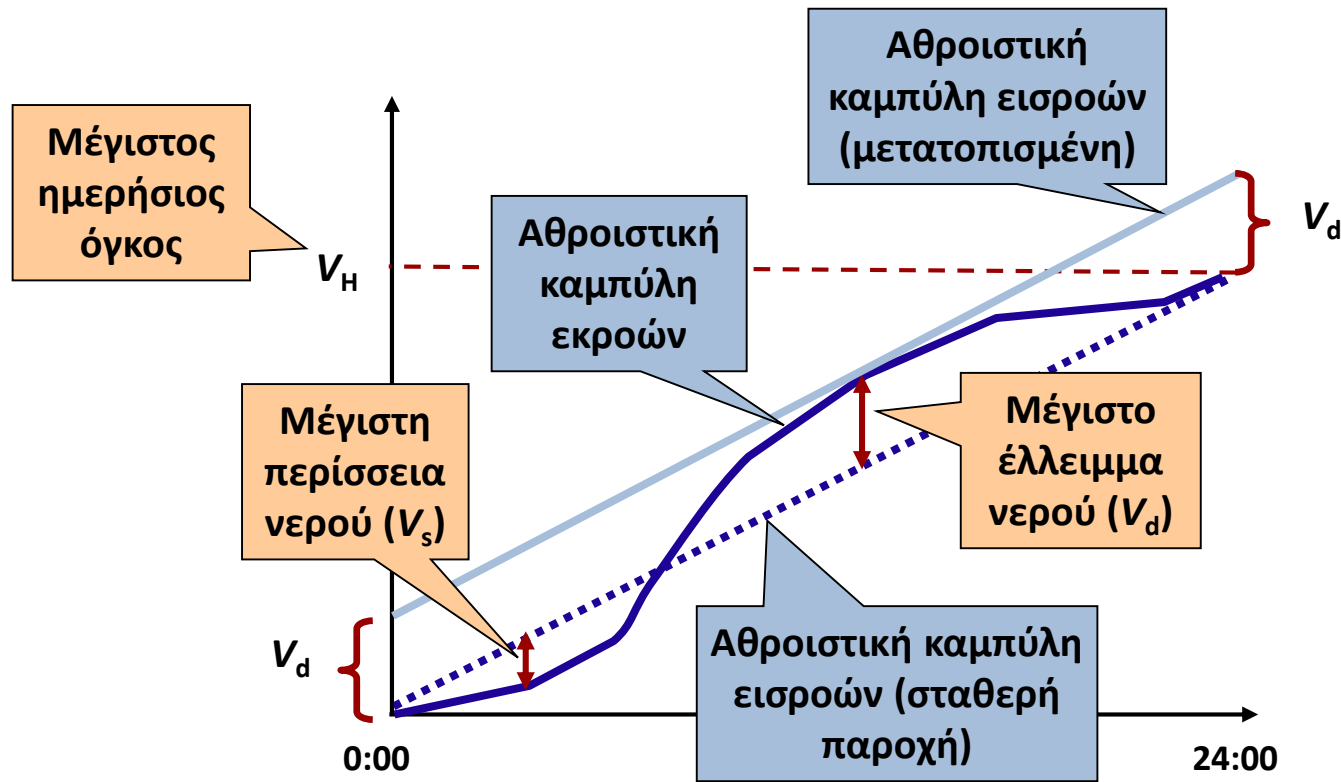
- **όγκος ασφαλείας**

απόθεμα που διατηρείται σε μόνιμη βάση, για την περίπτωση βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου ή για πυρκαγιά.



- Η **κατώτατη και ανώτατη στάθμη λειτουργίας** - προκύπτουν με βάση την τοπογραφία της περιοχής και τους περιορισμούς ελάχιστης και μέγιστης πίεσης στο δίκτυο.
- Το **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).

Εκτίμηση ρυθμιστικού όγκου δεξαμενής



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

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_A , για χρόνο T_B , ο **απαιτούμενος εφεδρικός όγκος** είναι ίσος με:

$$V_B = Q_A T_B$$

- **Πυρκαγιά:** Δεχόμενοι ενεργοποίηση n **πυροσβεστικών κρουνών**, ονομαστικής παροχής Q_{Π} , για διάρκεια πυρκαγιάς T_{Π} , ο απαιτούμενος εφεδρικός όγκος είναι ίσος με:

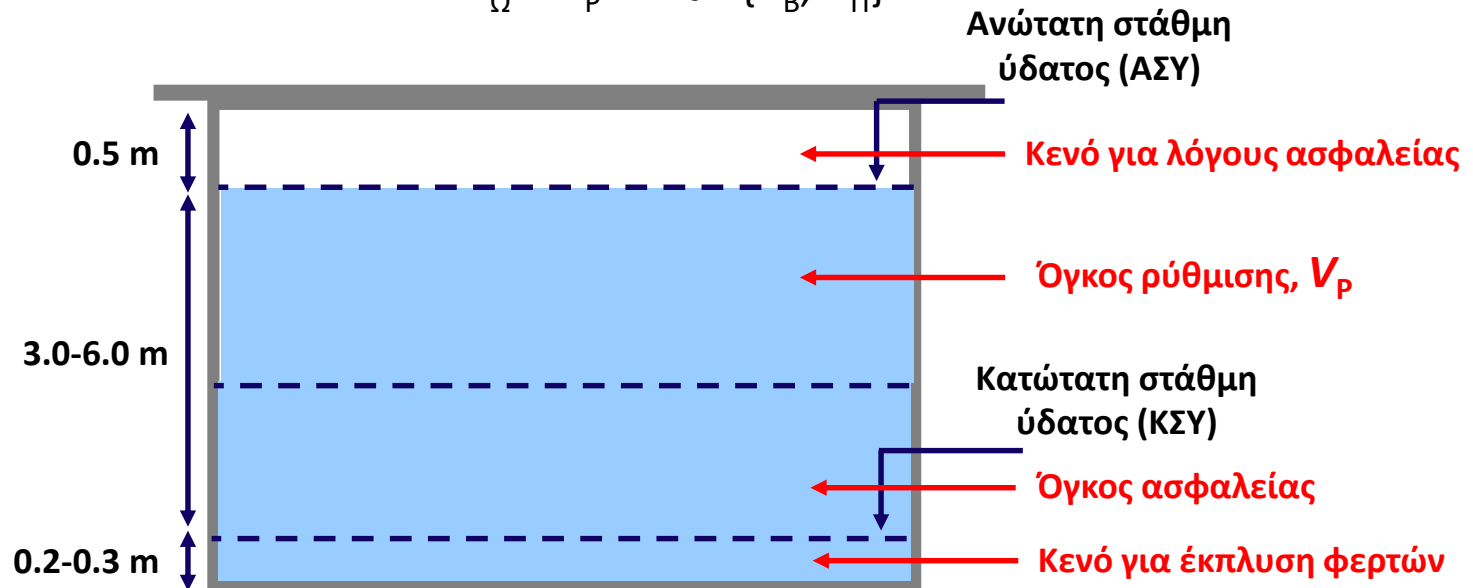
$$V_{\Pi} = n Q_{\Pi} T_{\Pi}$$

- 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_p 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:

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



Δίκτυα διανομής

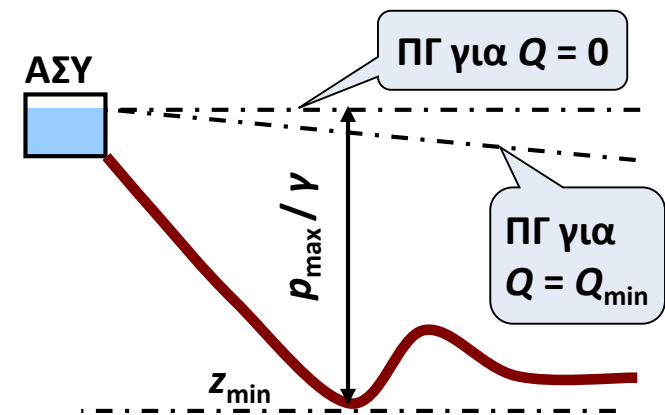
Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων διανομής

Στόχος: η διάθεση νερού κατάλληλης πίεσης και ποιότητας στους χρήστες

- Έλεγχος πιέσεων
 - Μέγιστες πιέσεις
 - Ελάχιστες πιέσεις
- Έλεγχος ποιότητας νερού
- Έλεγχος αντιπληγματικής προστασίας

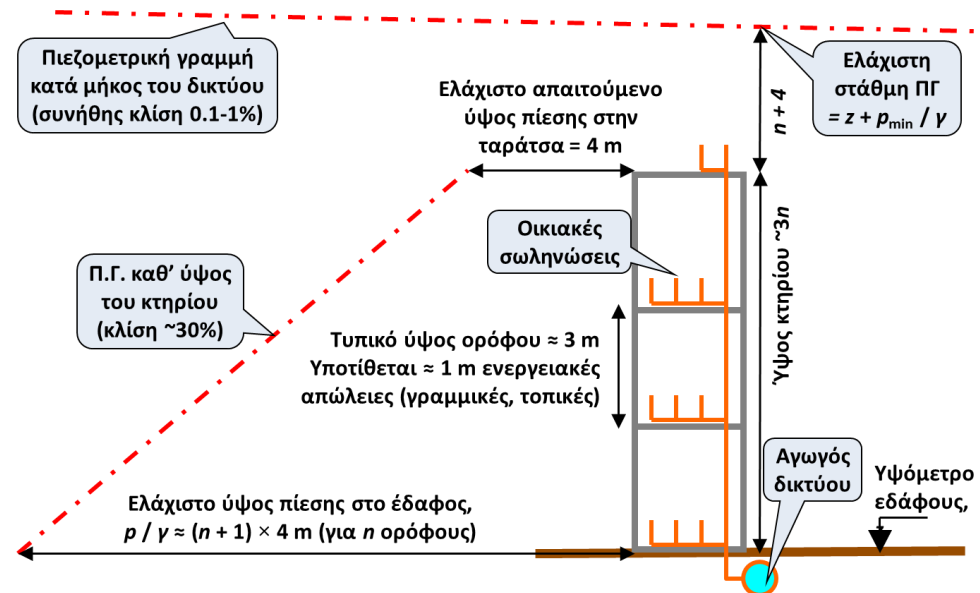
Μέγιστες πιέσεις

- ❑ Η πίεση σε όλο το μήκος του δικτύου δεν πρέπει να ξεπερνά ένα μέγιστο όριο.
- ❑ Στόχος η προστασία των ευάλωτων σημείων του δικτύου (π.χ. συνδέσεις αγωγών), των εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων και των οικιακών συσκευών.
- ❑ Γενικά, το ανώτερο επιθυμητό όριο είναι 6-7 atm (60-70 m).
- ❑ Ο έλεγχος μέγιστων πιέσεων αναφέρεται στην υψομετρικά δυσμενέστερη θέση του δικτύου, δηλαδή στο χαμηλότερο σημείο, z_{\min} , θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτερη στάθμη ύδατος (ΑΣΥ).
- ❑ Ο έλεγχος γίνεται πριν τη διαστασιολόγηση του δικτύου διανομής
- ❑ Αφορά στην υψομετρική τοποθέτηση της δεξαμενής και τον καθορισμό των απαιτούμενων πιεζομετρικών ζωνών.
- ❑ Αν δεν ικανοποιείται ο έλεγχος, απαιτείται η εφαρμογή αγωγών κατάλληλης αντοχής και η χρήση μειωτών πίεσης στην είσοδο της υδραυλικής εγκατάστασης κάθε κτηρίου.

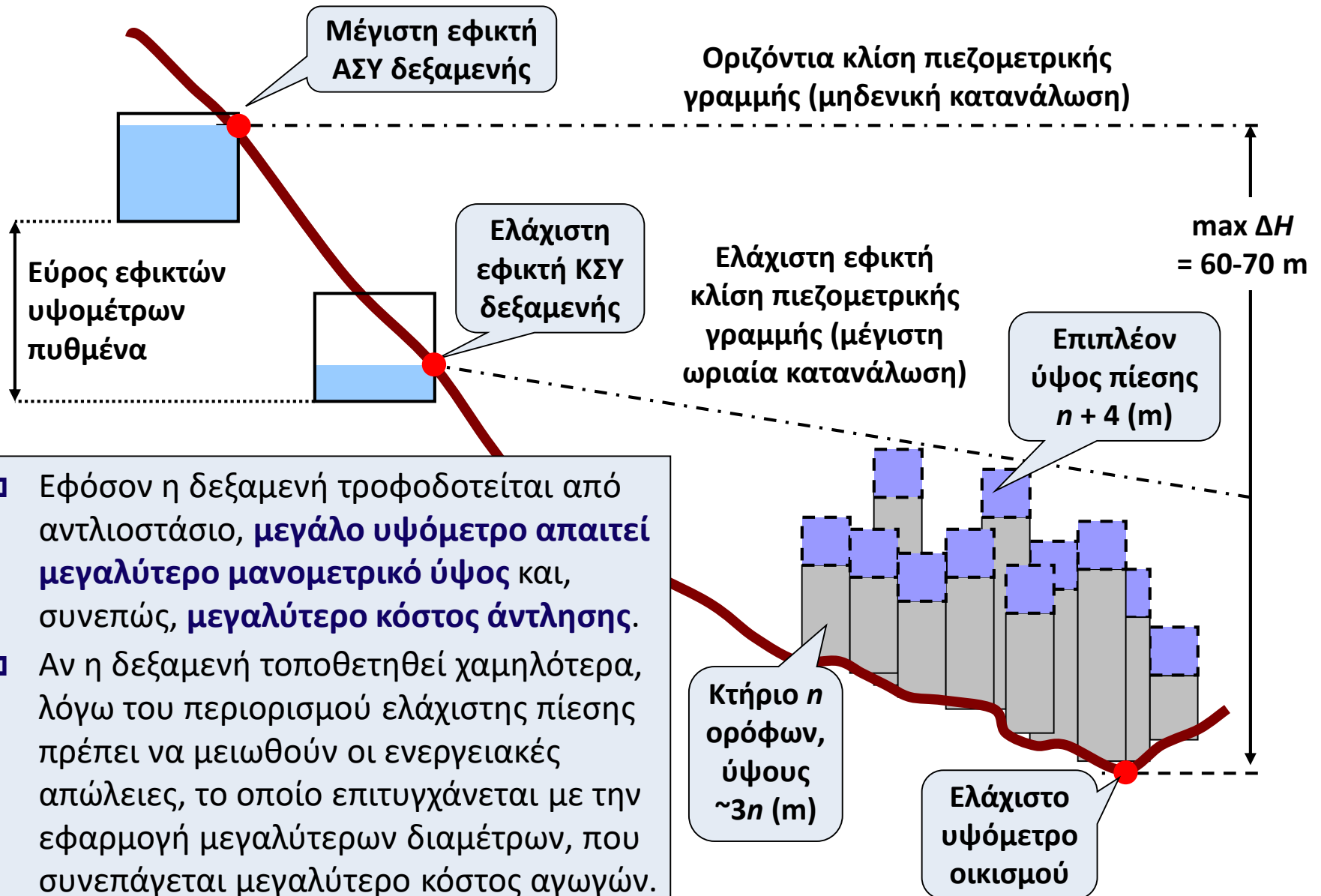


Ελάχιστες πιέσεις

- Η ελάχιστη πίεση εκροής των λήψεων κυμαίνεται από 0.4 έως 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 $4(n + 1)$.
- Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων αναφέρεται σε συνθήκες κατώτατης στάθμης δεξαμενής (ΚΣΥ) και μέγιστης κατανάλωσης, και προϋποθέτει μαθηματική προσομοίωση του δικτύου
- 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



Λοιπές προδιαγραφές και σχετικοί έλεγχοι

□ Έλεγχος ποιότητας νερού:

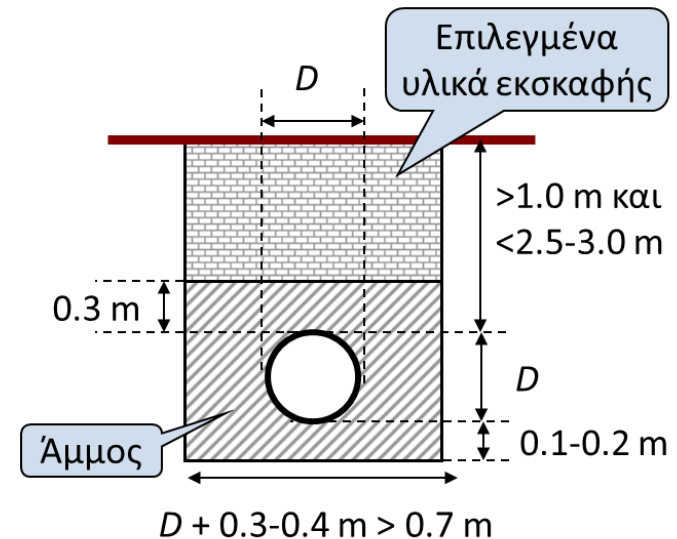
- Κατά τη λειτουργία του δικτύου, παρακολουθείται συστηματικά η δίαιτα κρίσιμων **ποιοτικών παραμέτρων του νερού** (κυρίως το **υπολειμματικό χλώριο**), κατά τη διαδρομή του από τη μονάδα επεξεργασίας (όπου πραγματοποιείται η χλωρίωση) έως την κατανάλωση. Οι σχετικοί έλεγχοι γίνονται μέσω τακτικών δειγματοληψιών, 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.

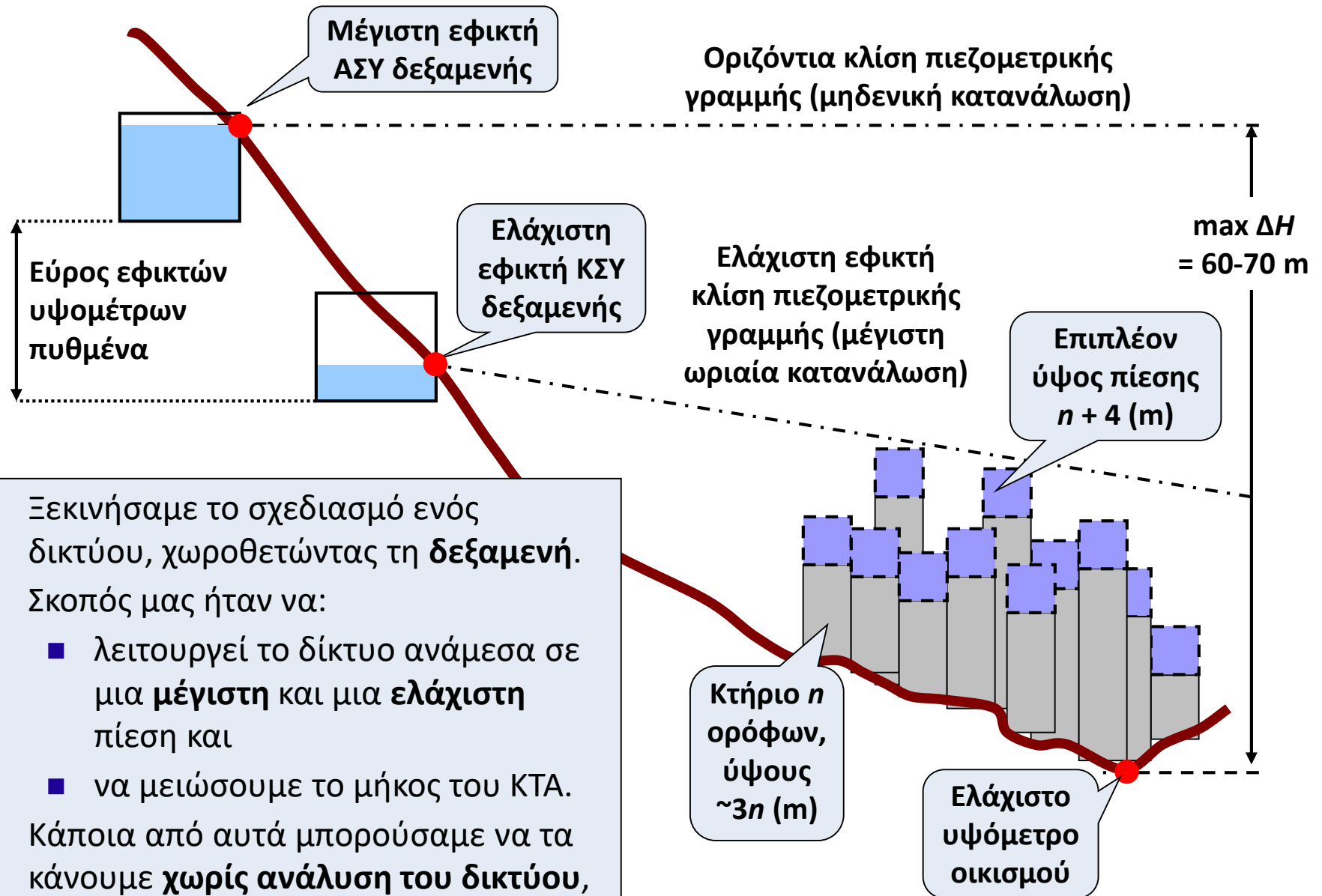
Γενικές αρχές χάραξης αγωγών δικτύου

- Στη χάραξη του δικτύου χρησιμοποιούνται τοπογραφικοί χάρτες, καθώς και χάρτες γενικής πολεοδομικής διάταξης (συνήθεις κλίμακες 1:2000 ή 1:1000).
- Το δίκτυο διανομής ακολουθεί το οδικό δίκτυο και επιδιώκεται η τροφοδοσία κάθε καταναλωτή από εναλλακτικές διαδρομές (**βροχωτή διάταξη αγωγών**).
- **Από τη δεξαμενή ξεκινά ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που φτάνει στην περίμετρο της πόλης, απ' όπου διακλαδίζεται προς όλους τους πρωτεύοντες αγωγούς διανομής.**
- Οι **κύριοι και δευτερεύοντες αγωγοί** που εξυπηρετούν στόμια πυρκαγιάς έχουν διαμέτρους **> 125-150 mm**, ενώ στις **πυκνοκατοικημένες περιοχές**, οι διάμετροι ξεπερνούν τα **200 mm**. Οι **ελάχιστες διάμετροι** που εφαρμόζονται είναι **90 mm**.
- Γενικά χρησιμοποιούνται αγωγοί από **PVC, HDPE, Χαλυβδοσωλήνες, Αμιαντοσιμεντοσωλήνες**
- Οι αγωγοί ύδρευσης τοποθετούνται σε σκάμμα, κάτω από το ρείθρο του πεζοδρομίου, και διαγώνια σε σχέση με τις υποδομές αποχέτευσης ακαθάρτων και ομβρίων.
- Οι αγωγοί φέρουν επικάλυψη τουλάχιστον 1.0 m, ώστε να προστατεύονται από τον παγετό, την ηλιακή ακτινοβολία και την καταπόνηση από την διέλευση τροχοφόρων.



Ανάλυση δικτύων διανομής

Ανάλυση δικτύων διανομής



- Ξεκινήσαμε το σχεδιασμό ενός δικτύου, χωροθετώντας τη δεξαμενή.
- Σκοπός μας ήταν να:
 - λειτουργεί το δίκτυο ανάμεσα σε μια **μέγιστη** και μια **ελάχιστη** πίεση και
 - να μειώσουμε το μήκος του ΚΤΑ.
- Κάποια από αυτά μπορούσαμε να τα κάνουμε **χωρίς ανάλυση του δικτύου**, και κάποια όχι..

Ανάλυση δικτύων διανομής

□ Διαστασιολόγηση αγωγών δικτύου διανομής

- Εύρεση (των μικρότερων) **διαμέτρων** αγωγών δικτύου που ικανοποιούν τους περιορισμούς **πιέσεων** (στόχοι: επίπεδο λειτουργίας + κόστος)
- **Επαναληπτική διαδικασία**, όπου ελέγχεται η υδραυλική λειτουργία του δικτύου **εφαρμόζοντας διάφορες τιμές διαμέτρων**, ώσπου να εντοπιστεί η οικονομικότερη διάταξη

□ Έλεγχος λειτουργίας

- Βασικό ζητούμενο της υδραυλικής ανάλυσης είναι ο έλεγχος της καλής υδραυλικής λειτουργίας του δικτύου διανομής, που αφορά στην τήρηση των περιορισμών που σχετίζονται με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του δικτύου (Βελτιστοποίηση πιέσεων, μείωση διαρροών, μείωση ενέργειας).

□ Προσαρμογή μοντέλου σε πραγματικές συνθήκες

- Το μοντέλο που διαμορφώνεται πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου (διάμετροι αγωγών, πραγματικές καταναλώσεις, διαρροές).
- Αφορά στον έλεγχο λειτουργίας υφιστάμενου δικτύου καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του.



Υδραυλική επίλυση δικτύων διανομής

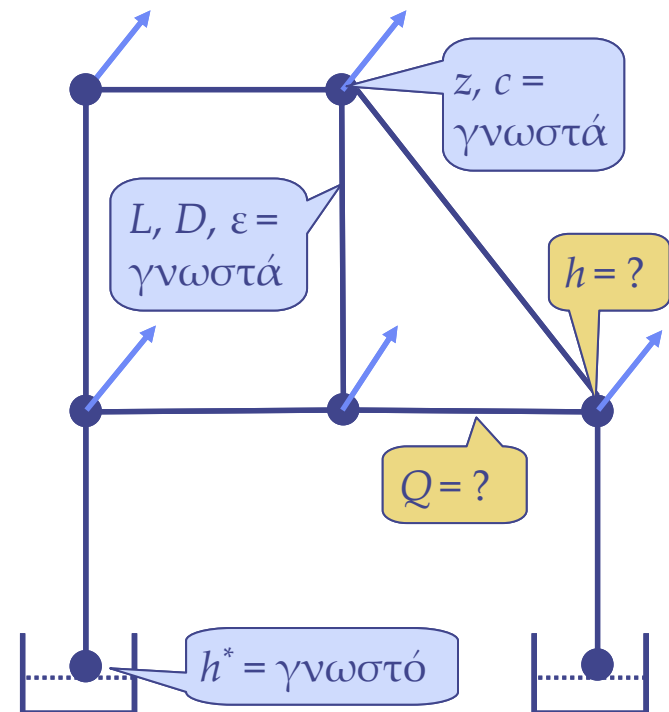
Το πρόβλημα της υδραυλικής ανάλυσης

Δεδομένου ενός δικτύου αγωγών υπό πίεση με:

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

ζητείται ο υπολογισμός:

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

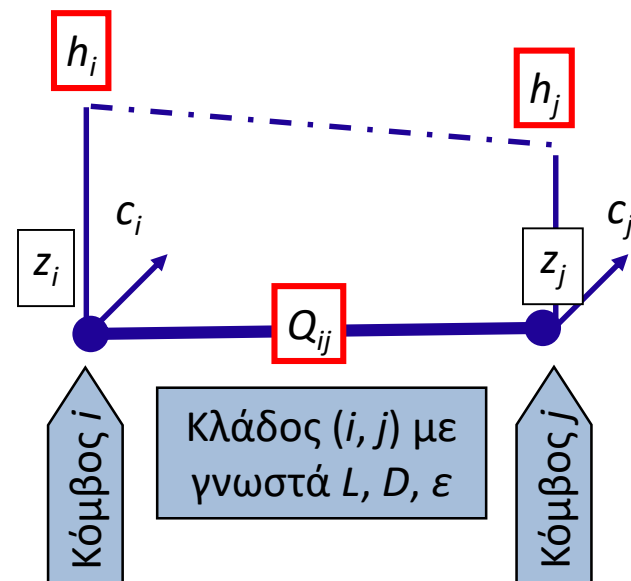


Επίλυση

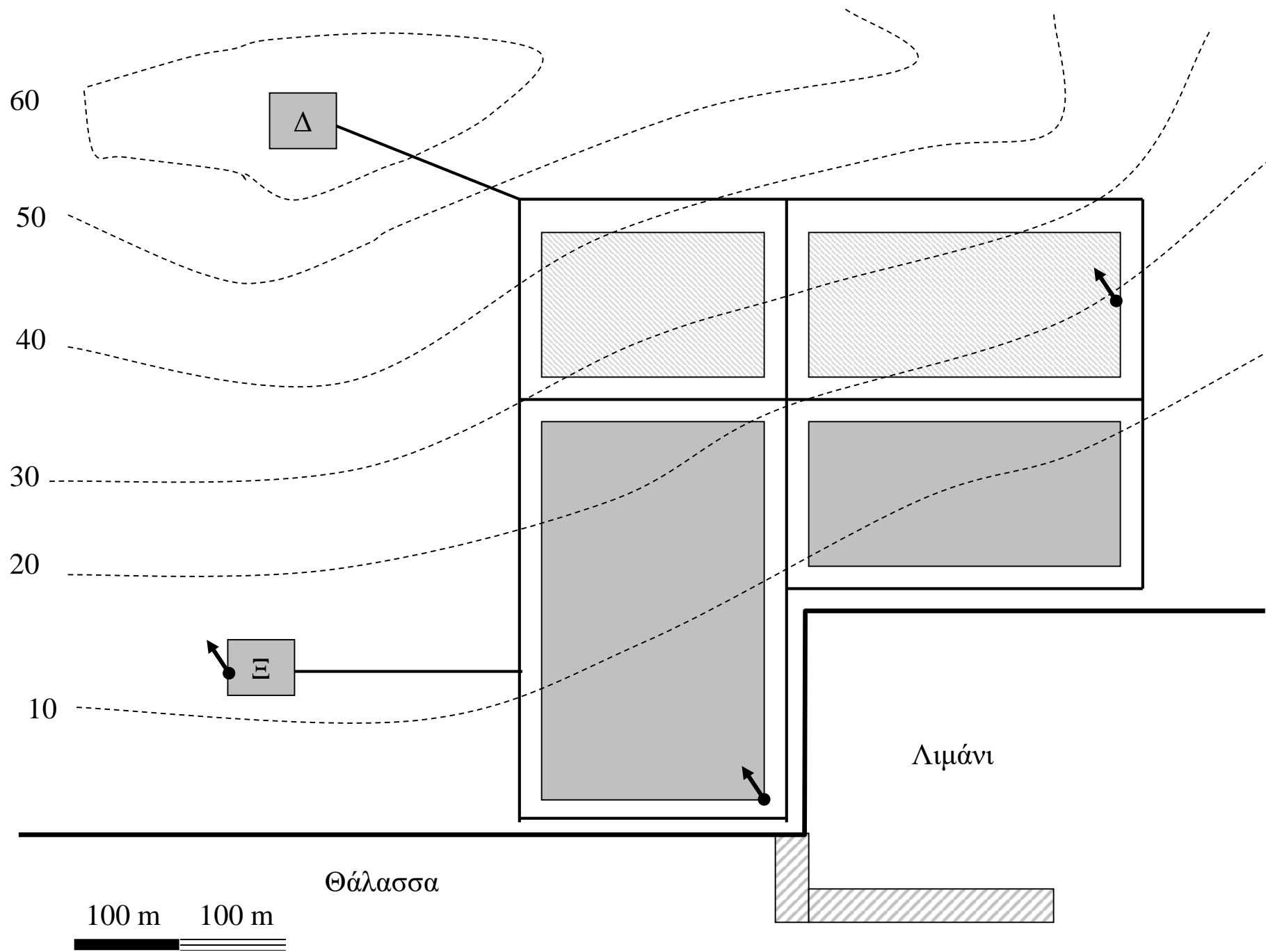
- Λόγω του μεγάλου πλήθους μεταβλητών (εκατοντάδες ή χιλιάδες, σε πραγματικά προβλήματα δικτύων υπό πίεση) για την επίλυση του συστήματος χρησιμοποιούνται αριθμητικές επαναληπτικές μέθοδοι που ξεκινούν από κάποιες αυθαίρετες αρχικές τιμές των μεταβλητών και επιδιώκουν την σταδιακή μείωση του σφάλματος

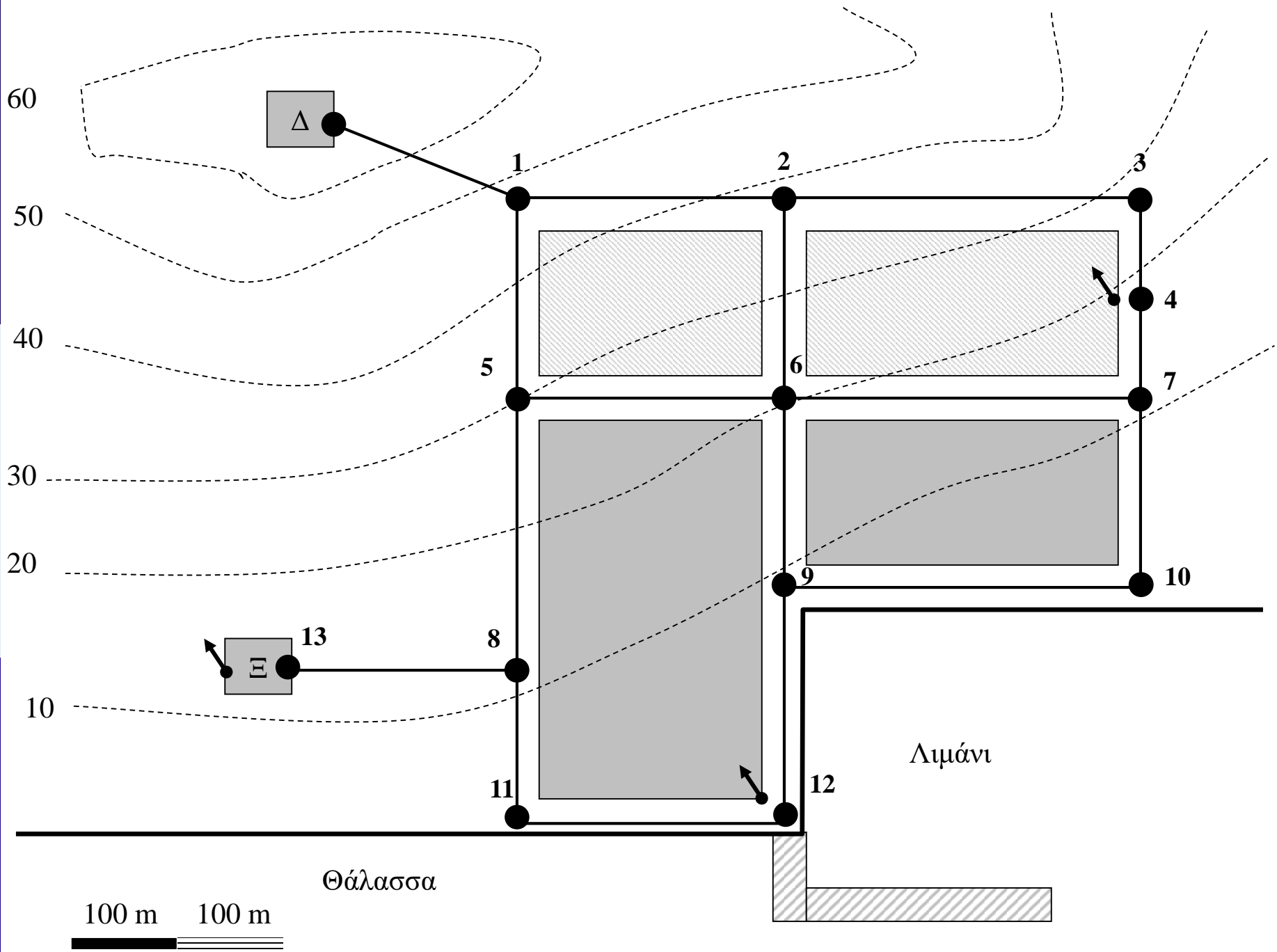
Συνιστώσες μοντέλου υδραυλικής ανάλυσης

- ❑ **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 ϵ , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή Q .
- ❑ **Δεξαμενή**: Διάταξη αποθήκευσης νερού, ωφέλιμου όγκου V , με γνωστή αρχική στάθμη z_0 , και άγνωστη εκροή νερού y .
- ❑ **Φρεάτιο**: Διάταξη μηδενισμού της πίεσης, αμελητέας αποθηκευτικής ικανότητας, στην οποία διατηρείται σταθερή στάθμη z_0 .
- ❑ **Βαλβίδα**: Διάταξη ρύθμισης της πίεσης ή της παροχής (π.χ. δικλείδα, μειωτής πίεσης), η λειτουργία της οποίας περιγράφεται από μια γνωστή σχέση παροχής-ενεργειακών απωλειών.
- ❑ **Αντλία**: Διάταξη ανύψωσης της πιεζομετρικής γραμμής, με γνωστή χαρακτηριστική καμπύλη.



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





60

50

40

30

20

10

Θάλασσα

Λιμάνι

100 m 100 m

Δ

Ε

1

2

3

4

5

6

7

8

9

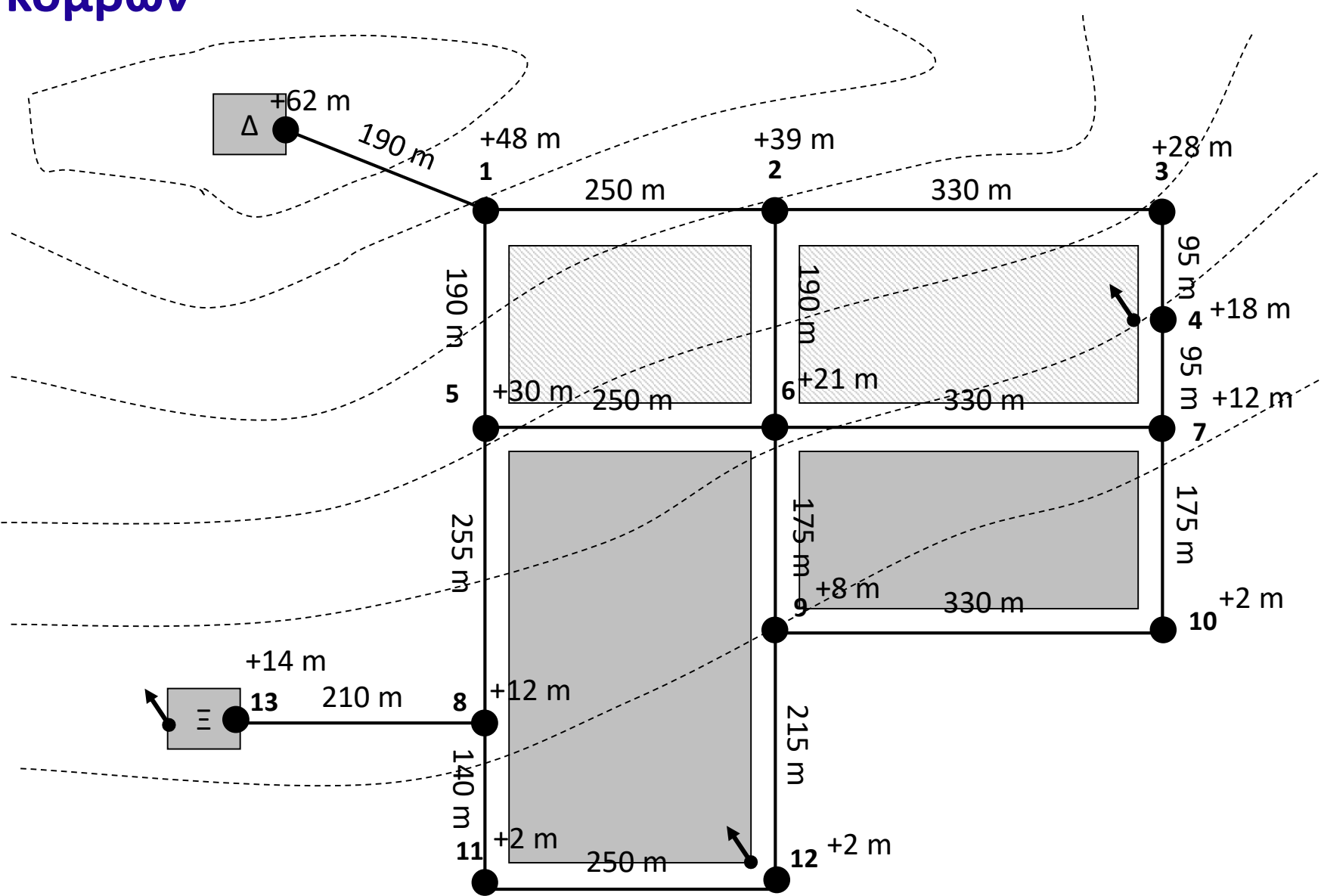
10

11

12

13

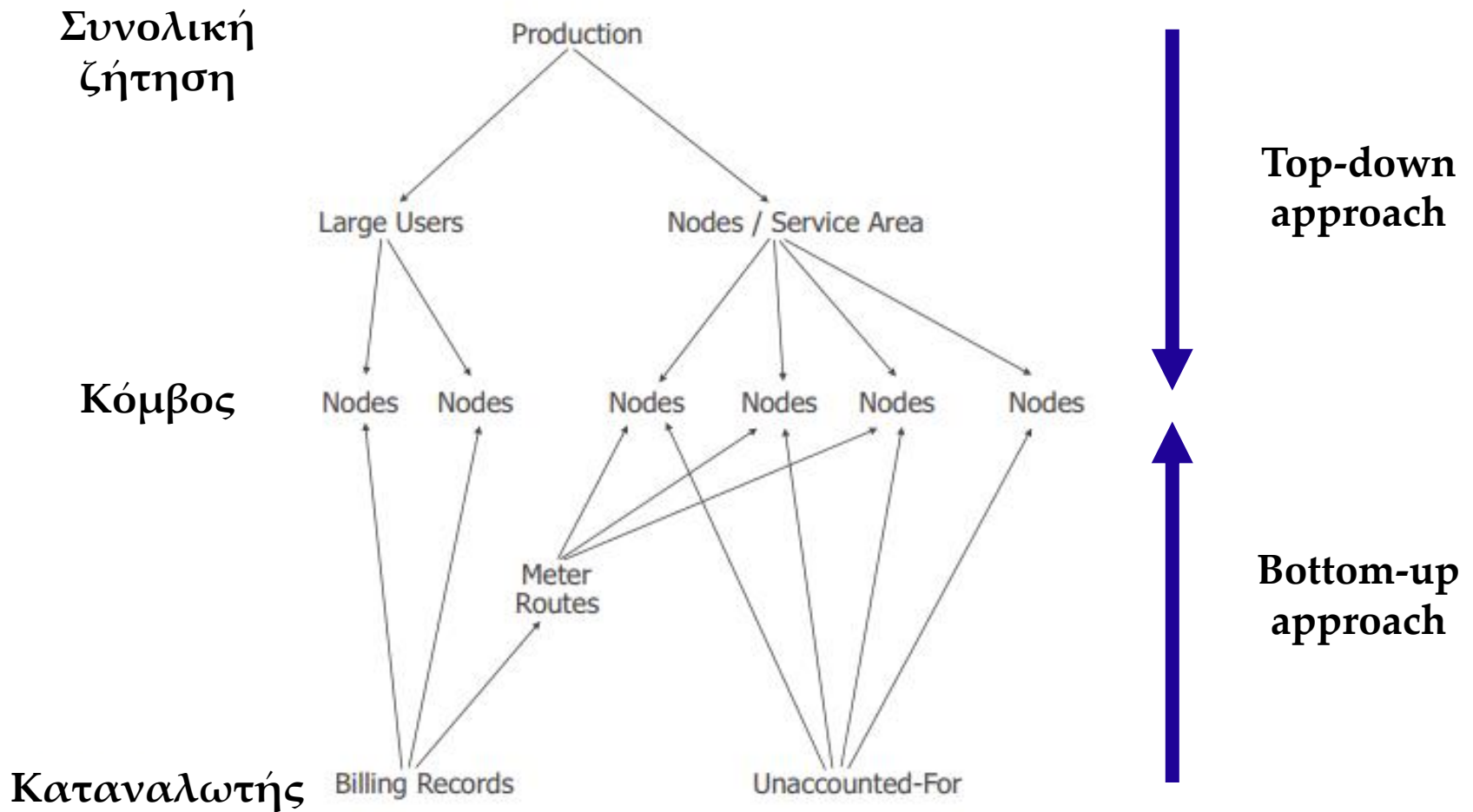
Αρίθμηση κόμβων, εύρεση μηκών κλάδων και υψομέτρων κόμβων



Εκτίμηση φορτίσεων (καταναλώσεων)

- Η εκτίμηση της κατανάλωσης του δικτύου γίνεται **ξεχωριστά για κάθε χρήση νερού**, για την οποία εκτιμάται η αντίστοιχη **μέγιστη ωριαία παροχή**.
- Ως **σημειακοί χρήστες** (ή ειδικοί καταναλωτές) νοούνται βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πάρκα, πυροσβεστικοί κρουνοί κτλ., και γενικά κάθε μεγάλος καταναλωτής που υδροδοτείται από συγκεκριμένη θέση του δικτύου.
 - Η κατανάλωση μεταφέρεται απευθείας στον εγγύτερο κόμβο ως σημειακή φόρτιση
- Ως **κατανεμημένοι (μη σημειακοί) χρήστες** νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές, οι κάτοικοι παραθεριστικών περιοχών, και οι τουρίστες
 - Επιμερισμός κατανάλωσης στους κόμβους του δικτύου
- Η παροχή εξόδου κάθε κόμβου προκύπτει **ως άθροισμα όλων των καταναλώσεων c_{jk} από τις σημειακές και μη σημειακές χρήσεις νερού**.

Αναγωγή ζήτησης στους κόμβους



“Top-down” αναγωγή στους κόμβους

- ❑ Χρήση απλοποιητικών παραδοχών (π.χ. πρότυπο διακύμανσης της κατανάλωσης εντός της ημέρας) και προσεγγιστικών στοιχείων (πυκνότητα δόμησης, πληθυσμού) για τον επιμερισμό της ζήτησης λόγω έλλειψης πραγματικών μετρήσεων.
- ❑ Η **μέγιστη ωριαία παροχή q_k** ανά χρήση νερού k επιμερίζεται στους κόμβους του δικτύου, με χρήση κατάλληλων συντελεστών κατανομής:

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

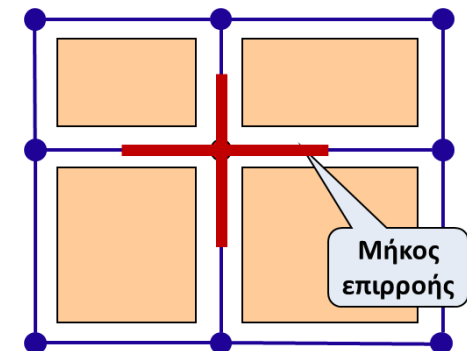
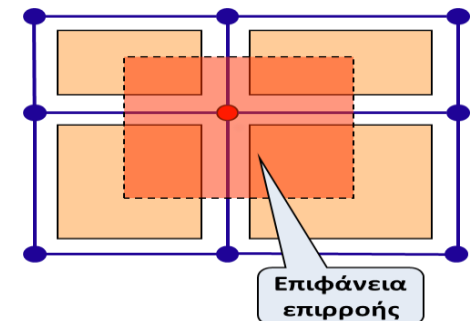
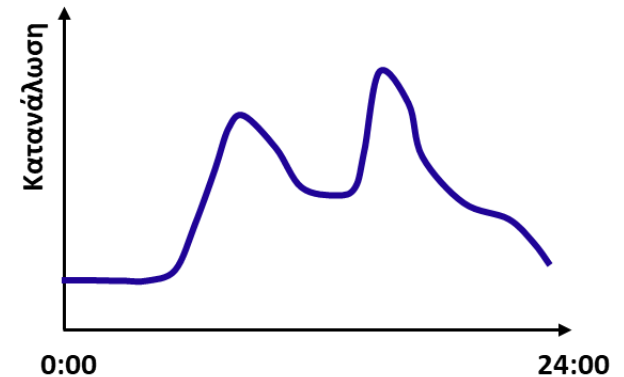
- ❑ **Μέθοδος επιφανειών επιρροής:**

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

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

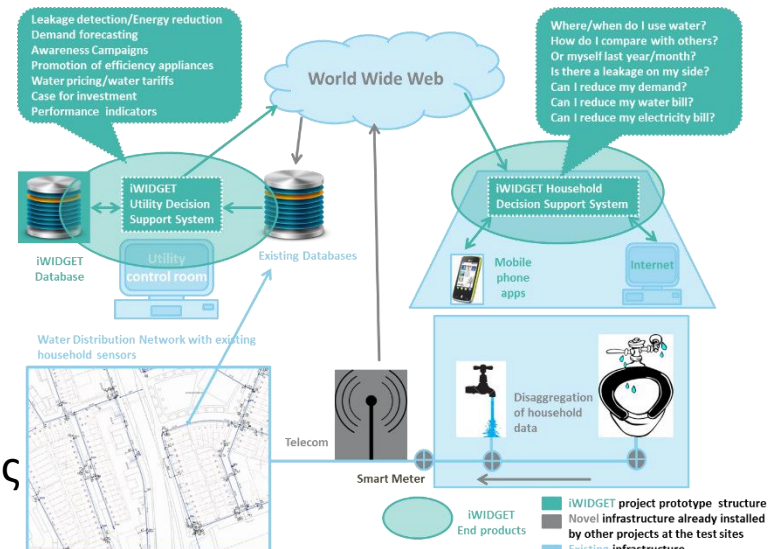
- ❑ **Μέθοδος ισοδύναμων μηκών επιρροής:**

- Θεωρείται ότι η διανεμόμενη ζήτηση κατά μήκος κάθε κλάδου **ισομοιράζεται** στον ανάντη και τον κατάντη κόμβο, οπότε **κάθε κλάδος που συμβάλλει σε έναν κόμβο συμμετέχει στην κατανομή της κατανάλωσης με το ήμισυ του μήκους του.**



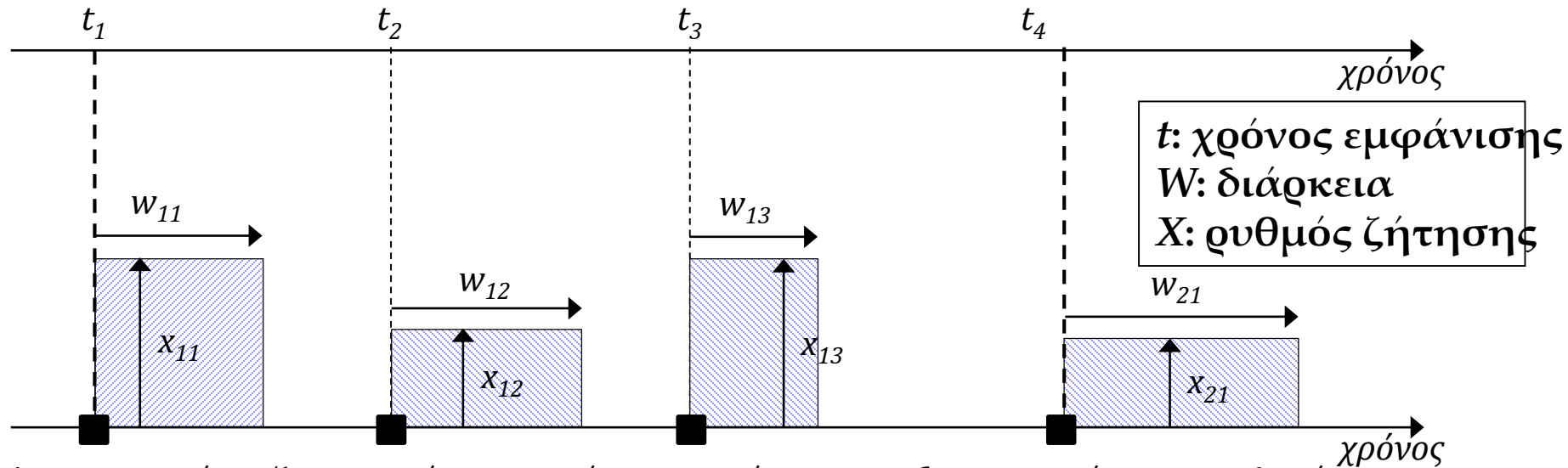
“Bottom-up” αναγωγή στους κόμβους

- ❑ Η ζήτηση στους κόμβους του δικτύου προκύπτει ως το άθροισμα των καταναλώσεων των επί μέρους χρηστών που συμβάλλουν στον κάθε κόμβο.
- ❑ Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η πιστότερη αναπαραγωγή των βασικών χαρακτηριστικών της κατανάλωσης, που ενδιαφέρουν τον σχεδιασμό και τη προσομοίωση δικτύων (αιχμές, πιθανότητες μηδενικής κατανάλωσης, έτερο και αυτό-συσχετίσεις), σε επίπεδο κόμβου.
- ❑ Ωστόσο, η υλοποίηση αυτής της προσέγγισης προϋποθέτει την **διαθεσιμότητα δεδομένων κατανάλωσης** σε επίπεδο σπιτιού ή ομάδας σπιτιών.
- ❑ Εγκατάσταση έξυπνων μετρητών νερού σε επίπεδο οικίας καθώς και την υλοποίηση σχήματος μετάδοσης, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων.
- ❑ Η συγκεκριμένη προσέγγιση συνήθως υλοποιείται σε ένα πιθανοτικό πλαίσιο ανάλυσης των δικτύων.

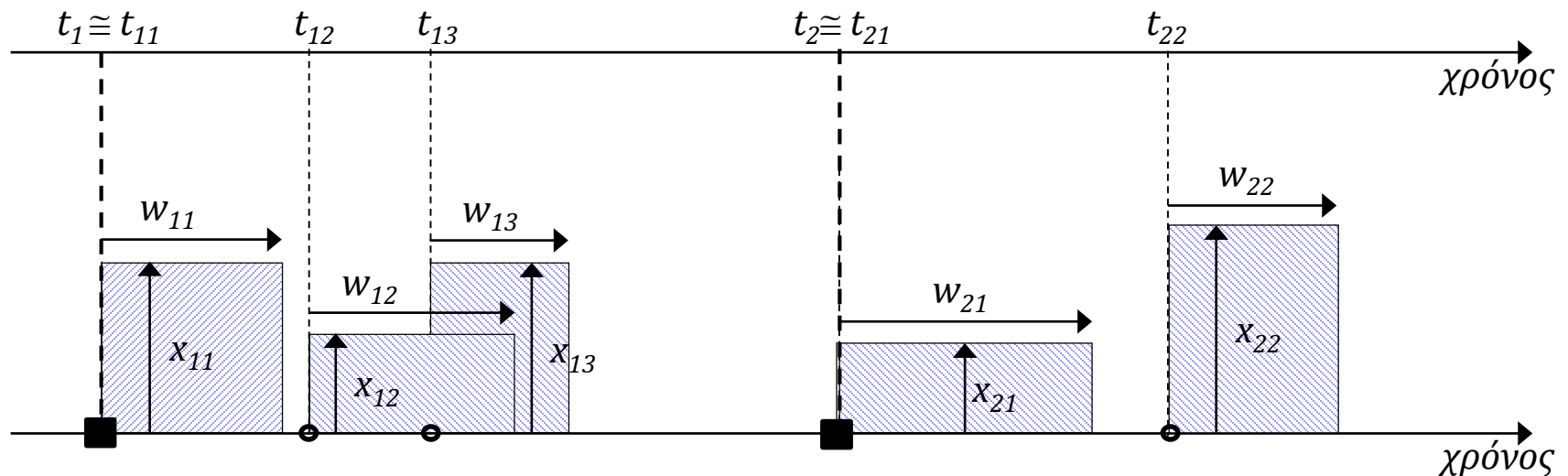


Στοχαστικές καταναλώσεις: Μοντέλα παλμών

Μεμονωμένα/ανεξάρτητα γεγονότα καταναλώσεων



Δημιουργία εξαρτημένων χρήσεων μέσω ομαδοποιημένων παλμών



Η ιδανική περίπτωση

- Households with high-resolution metering system (≤ 1 -min)

High-resolution data from the metering system



Calibration of simulation model



Generation of synthetic demand at fine time scales



Aggregation to obtain data at higher time scales



Water meter



Environmental parameters sensor



Energy meter



Data logger & transmitter

- But how many households can have such a system?
- What is the willingness of water utilities to pay to install such a system (and maintain!) in many households?
- Is there a **cost-effective** way to benefit from high-resolution data without paying too much for getting them?

Το αντίστροφο μονοπάτι

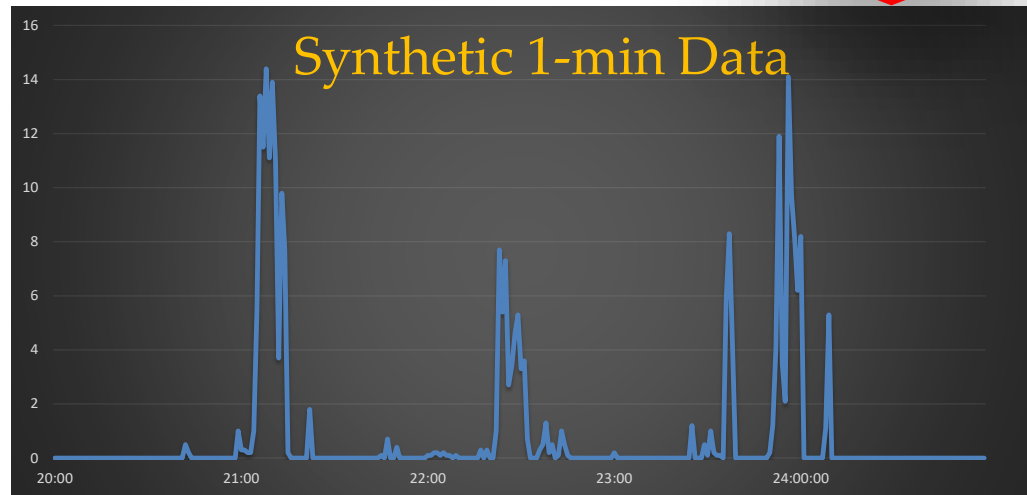
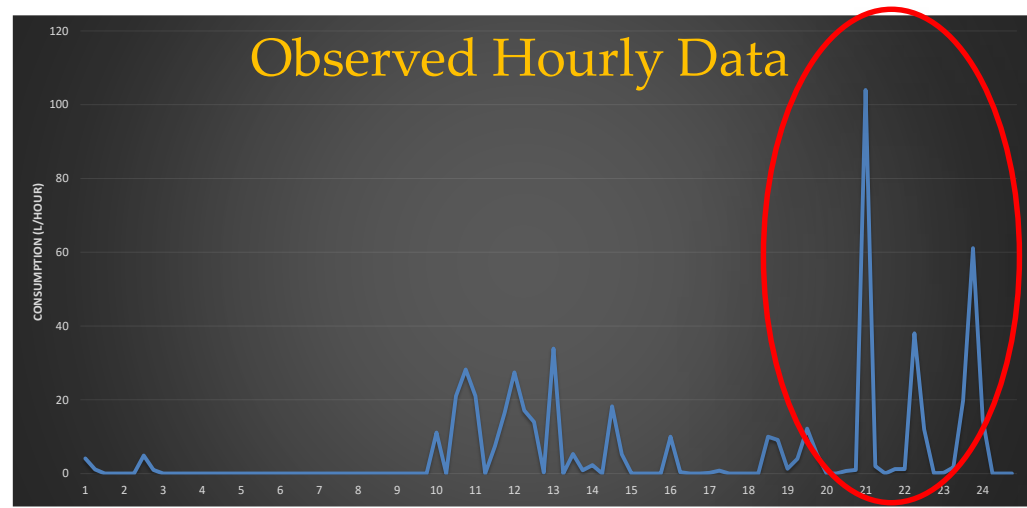
□ Deploy medium-resolution meters in most households

- Demand time series at coarser scales are more available.
- Such metering devices are cheaper with much longer lifetime and lower energy requirements.

Then disaggregate to finer timescales using the NTUA Smart Meter Disaggregation Tool (SMD):

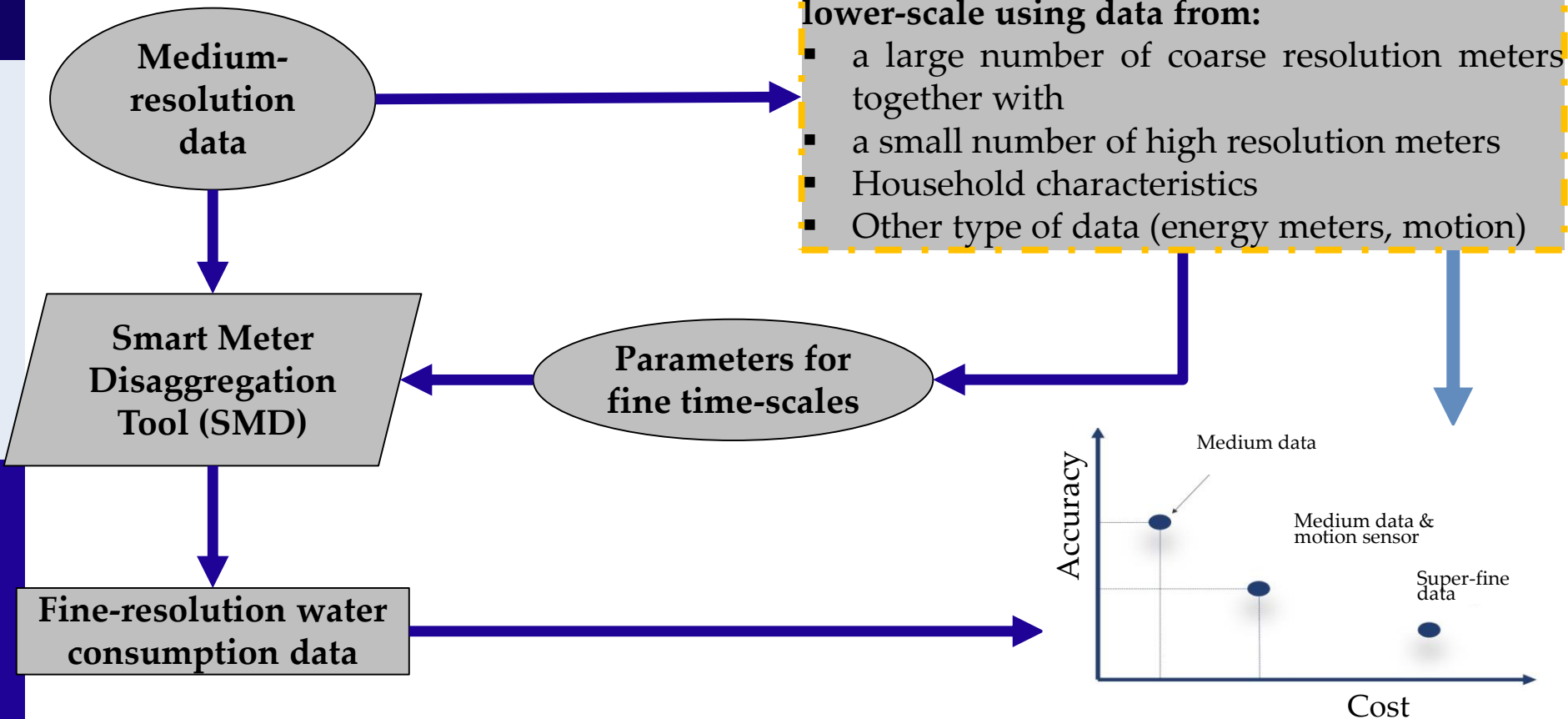
- Adapt the tool upon the **special characteristics** of the households
- Generate possible **realizations of demand events at fine time scales** exploiting the coarser water meter readings
- Reproduce **realistic demand profiles** at different time scales!

But how the tool knows household's consumption pattern at fine time scales?



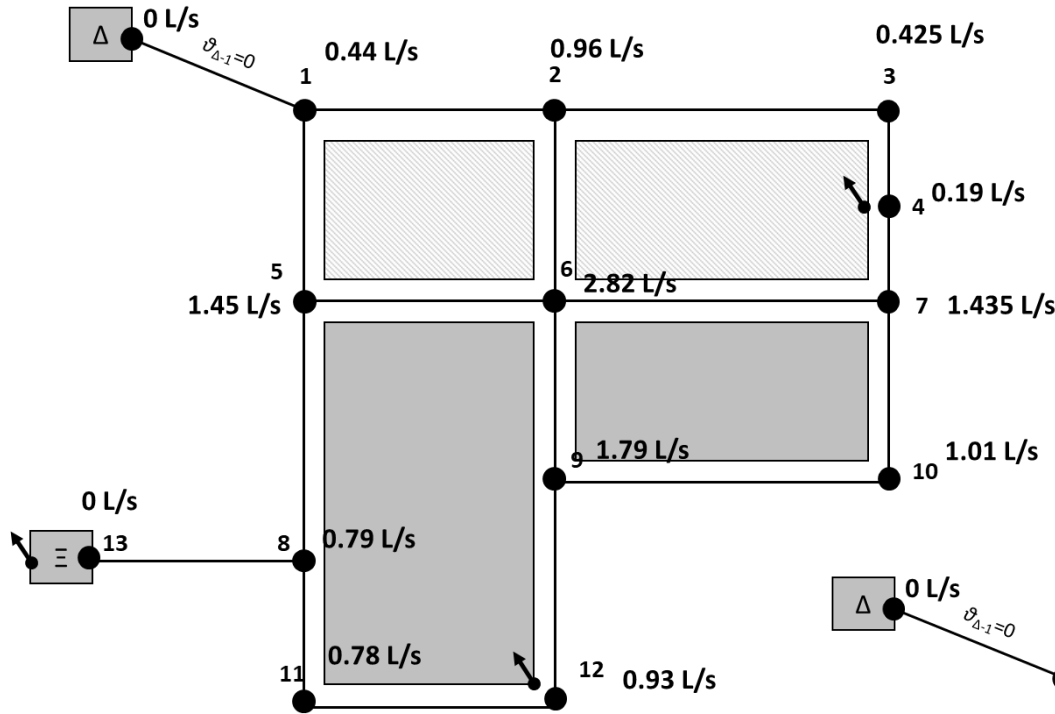
SMD tool learning process

□ The tool is adapted to the consumption profile of the household analyzing coarser data along with fine-resolution data from other households

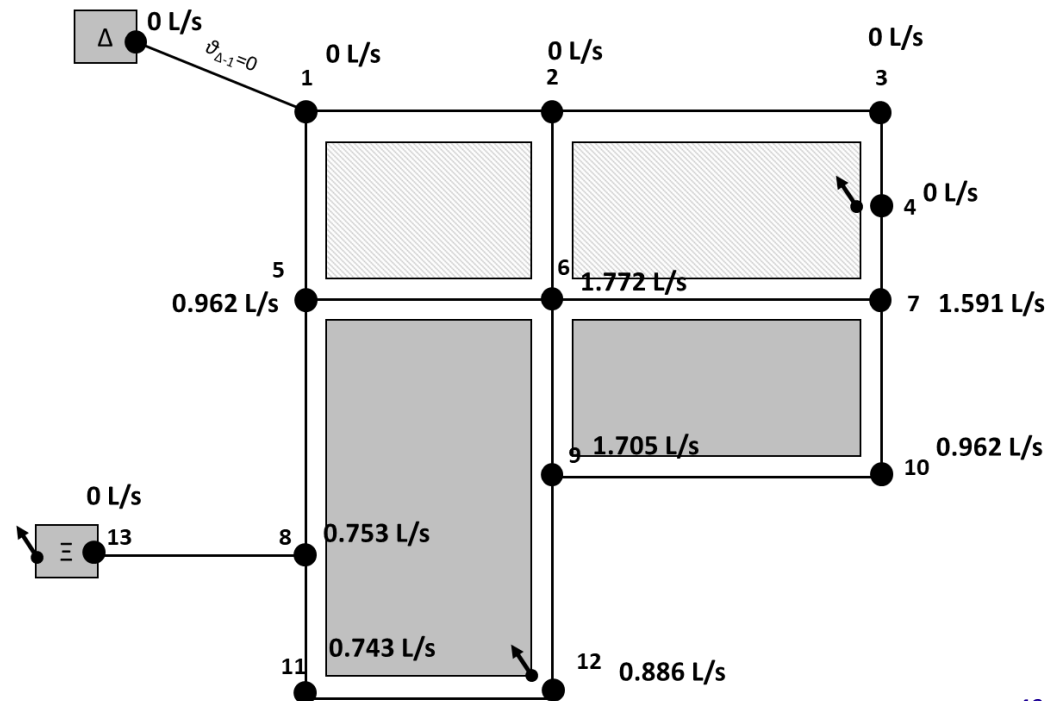


Use of different type of data to discover the trade-off between cost & accuracy

Εκτίμηση παροχών εξόδων στους κόμβους



Μόνιμοι κάτοικοι

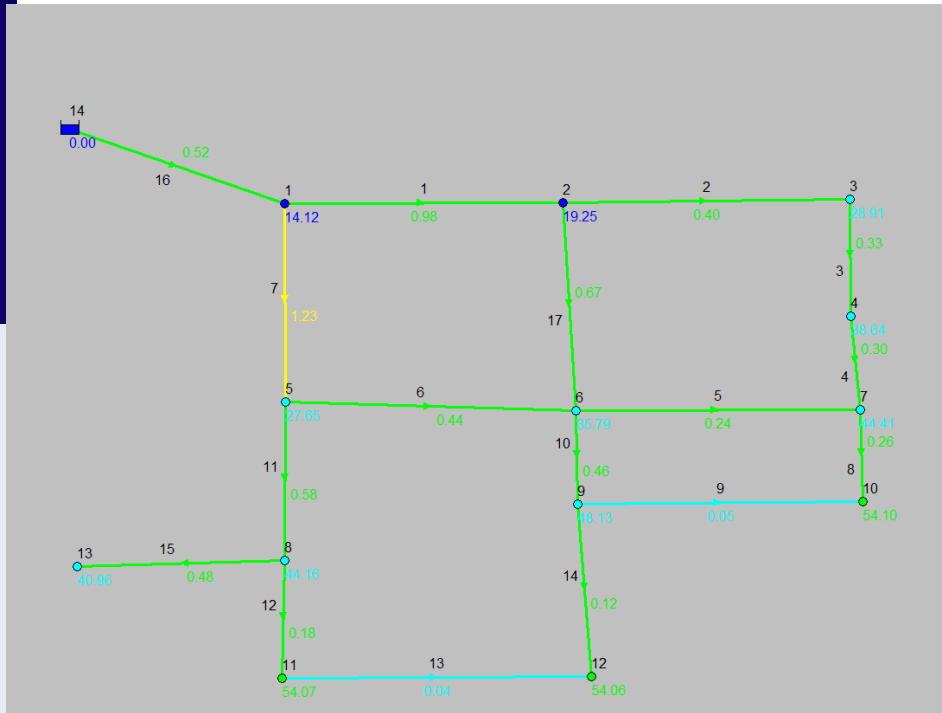


Τουρίστες

Εύρεση συνολικών παροχών στους κόμβους και διαμόρφωση σεναρίων

Κόμβος	Μόνιμοι κάτοικοι	Τουρίστες	Ξενοδοχειακή μονάδα	Σύνολο	Κρουνοί	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
1	0.44	0.00	0.00	0.44	0	0.44	0.44	0.44	0.44
2	0.96	0.00	0.00	0.96	0	0.96	0.96	0.96	0.96
3	0.43	0.00	0.00	0.43	0	0.43	0.43	0.43	0.43
4	0.19	0.00	0.00	0.19	5	5.19	5.19	0.19	5.19
5	1.45	0.96	0.00	2.41	0	2.41	2.41	2.41	2.41
6	2.82	1.77	0.00	4.59	0	4.59	4.59	4.59	4.59
7	1.44	1.59	0.00	3.03	0	3.03	3.03	3.03	3.03
8	0.79	0.75	0.00	1.54	0	1.54	1.54	1.54	1.54
9	1.79	1.71	0.00	3.50	0	3.50	3.50	3.50	3.50
10	1.01	0.96	0.00	1.97	0	1.97	1.97	1.97	1.97
11	0.78	0.74	0.00	1.52	0	1.52	1.52	1.52	1.52
12	0.93	0.89	0.00	1.82	5	6.82	1.82	6.82	6.82
13	0.00	0.00	3.05	3.05	5	3.05	8.05	8.05	8.05
Σύνολο	13.02	9.38	3.05	25.44	15.00	35.44	35.44	35.44	40.44

Σχηματοποίηση μοντέλου ΕΡΑΝΕΤ και επίλυση



Κλάδοι

Κλάδος	Κόμβος αρχής	Κόμβος τέλους	Μήκος (m)	Διάμετρος	Παροχή (L/s)	Ταχύτητα (m/s)
1	1	2	250	120	11.1	0.98
2	3	2	330	90	-2.53	0.4
3	3	4	95	90	2.1	0.33
4	4	7	95	90	1.91	0.3
5	7	6	330	120	-2.75	0.24
6	6	5	250	120	-4.93	0.44
7	5	1	190	120	-13.91	1.23
8	7	10	175	90	1.63	0.26
9	10	9	330	90	-0.34	0.05
10	9	6	175	120	-5.2	0.46
11	5	8	255	120	6.57	0.58
12	8	11	140	120	1.98	0.18
13	11	12	250	120	0.46	0.04
14	12	9	215	120	-1.36	0.12
15	13	8	210	90	-3.05	0.48
16	14	1	190	250	25.45	0.52
17	2	6	190	120	7.61	0.67

Κόμβοι

Κόμβος	Ζήτηση (L/s)	Πίεση (m)
1	0.44	14.12
2	0.96	19.25
3	0.43	28.91
4	0.19	38.64
5	2.41	27.65
6	4.59	35.79
7	3.03	44.41
8	1.54	44.16
9	3.5	48.13
10	1.97	54.1
11	1.52	54.07
12	1.82	54.06
13	3.05	40.96
14	-25.45	0

Απεικόνιση:

- Πιέσεων στους κόμβους
- Ταχυτήτων στους κλάδους