

# Μοντέλα προσομοίωσης δικτύων

Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος:

**Τυπικά υδραυλικά έργα**

Ακαδημαϊκό έτος 2005-06

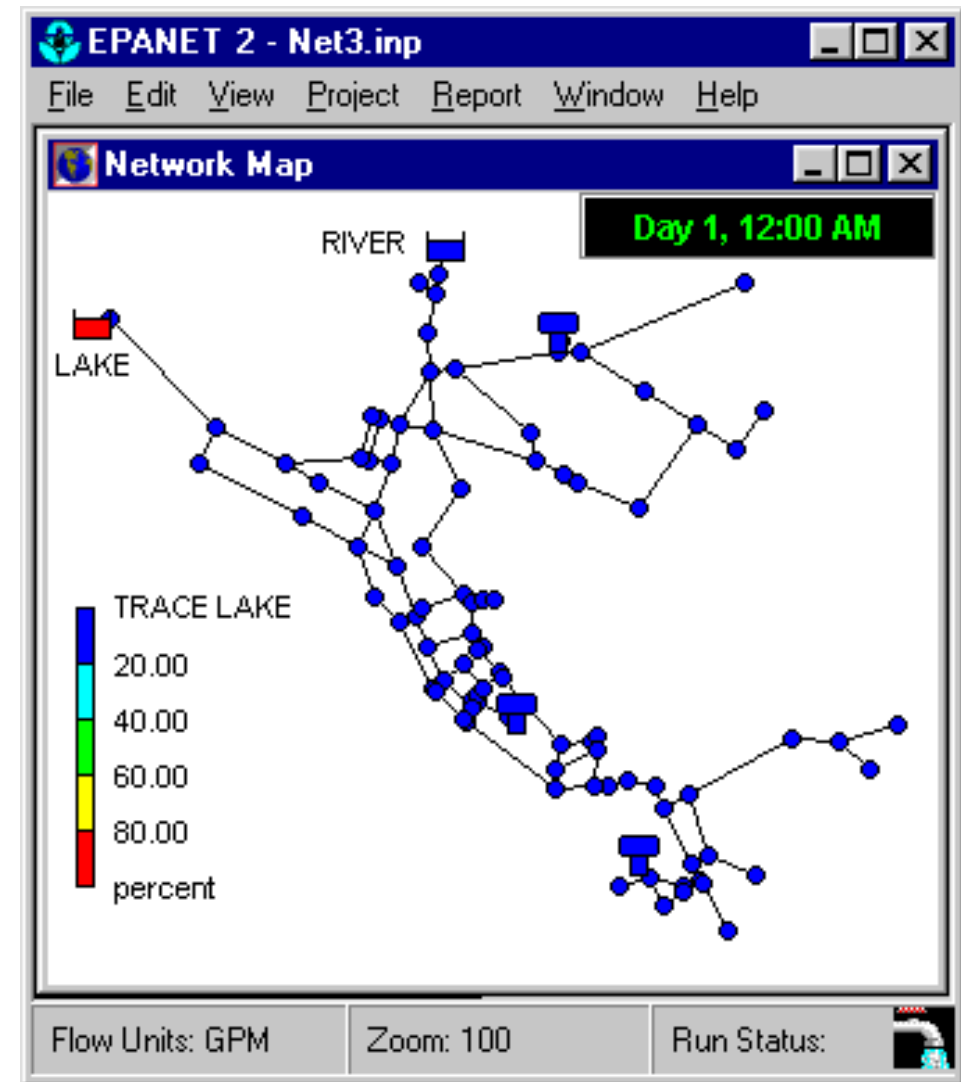
Ανδρέας Ευστρατιάδης & Δημήτρης Κουτσογιάννης

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τομέας Υδατικών Πόρων

# Υπολογιστικά συστήματα δικτύων διανομής

- ◆ Προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία ενός δικτύου ύδρευσης είναι η εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας και ποιότητας νερού για την κάλυψη της κατανάλωσης, μέσα σε αποδεκτά όρια πίεσης.
- ◆ Τα υπολογιστικά πακέτα ανάλυσης και προσομοίωσης δικτύων, και τα σχετικά μαθηματικά μοντέλα που αυτά υποστηρίζουν, υποβοηθούν τον μελετητή που σχεδιάζει ή την υπηρεσία που διαχειρίζεται ένα δίκτυο ύδρευσης για την λήψη ορθολογικών αποφάσεων, από τεχνική και οικονομική άποψη.
- ◆ Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των μοντέλων, όπως και η θέσπιση των κριτηρίων επιλογής, υπόκεινται στην ανθρώπινη κρίση και εμπειρία.

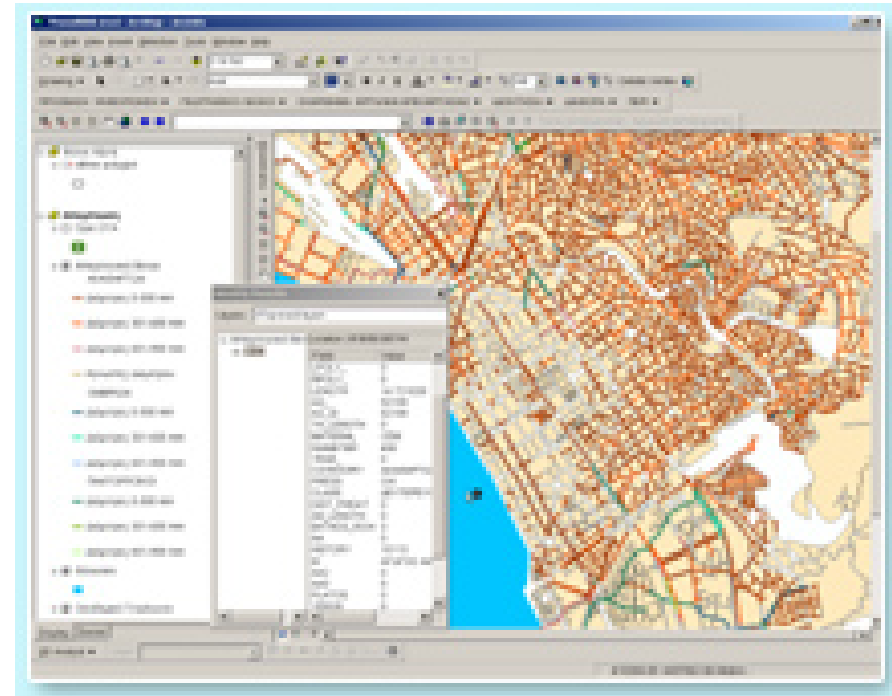


## Οι έννοιες του συστήματος και του μοντέλου

- ◆ **Σύστημα:** Ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταξύ τους στοιχείων που αλληλεπιδρούν, το οποίο χαρακτηρίζεται από (α) ένα σύνορο που καθορίζει αν ένα στοιχείο ανήκει στο σύστημα ή στο περιβάλλον, (β) αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον (είσοδοι-έξοδοι), και (γ) σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του και των εισόδων-εξόδων.
- ◆ **Είσοδος ή φόρτιση συστήματος:** Ένα σύνολο δράσεων που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον και επιφέρουν μεταβολές στην κατάσταση του συστήματος.
- ◆ **Έξοδος ή απόκριση συστήματος:** Κάθε αντίδραση που παράγεται από το σύστημα και γίνεται αντιληπτή από το περιβάλλον.
- ◆ **Μεταβλητές κατάστασης:** Εσωτερικές ιδιότητες που περιγράφουν το τρέχον καθεστώς του συστήματος και μεταβάλλονται ως συνέπεια εξωτερικών φορτίσεων.
- ◆ **Μαθηματικό μοντέλο:** Ένα σύνολο υποθέσεων σχετικών με τη λειτουργία ενός συστήματος, εκφρασμένων υπό μορφή μαθηματικών ή λογικών σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος και κωδικοποιημένων σε γλώσσα υπολογιστή.
- ◆ **Επίλυση μοντέλου:** Η εύρεση της απόκρισης,  $y$ , ενός συστήματος ως συνέπεια συγκεκριμένης φόρτισης,  $x$ , με εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου  $y = F(x)$ .
- ◆ **Προσομοίωση:** Τεχνική μίμησης ενός συστήματος, όπως εξελίσσεται στον χρόνο. Συνήθως συνίσταται στην βήμα προς βήμα επίλυση του μαθηματικού μοντέλου, συναρτήσει μιας δυναμικής φόρτισης,  $x(t)$ , ήτοι  $y(t) = F(x(t))$ ,  $\forall t = 1, 2, \dots, n$ .

# Το δίκτυο ύδρευσης ως φυσικό σύστημα

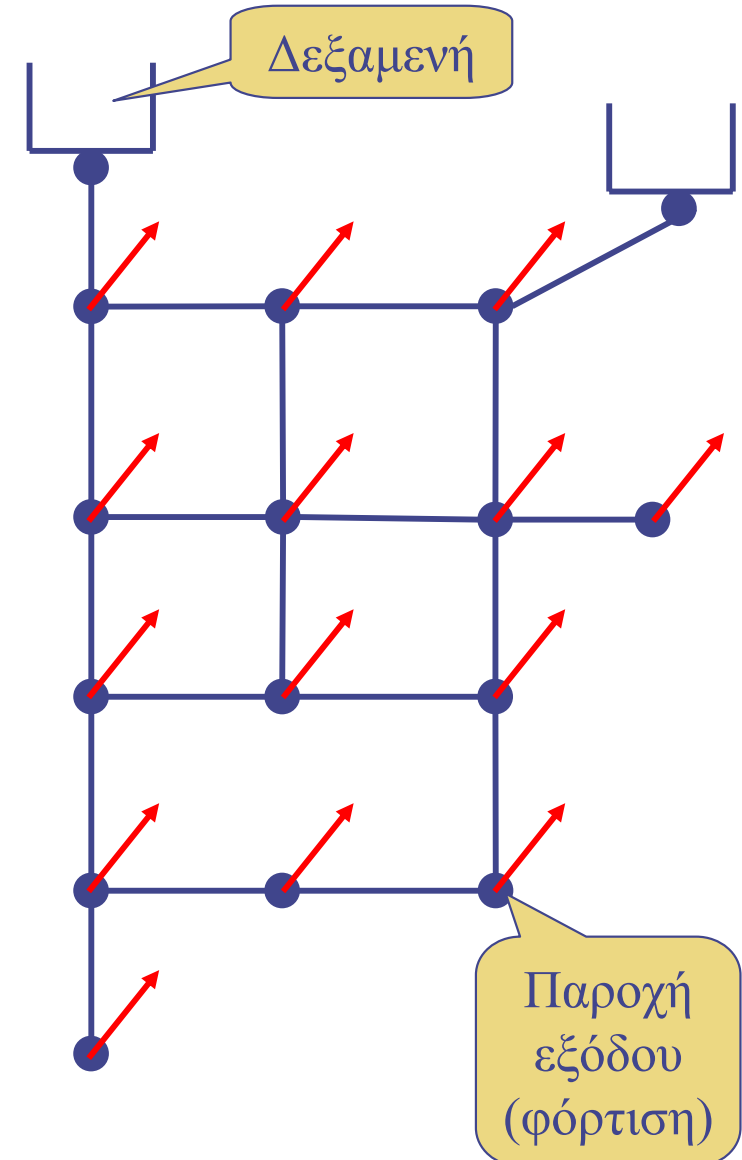
- ◆ **Όριο συστήματος:** από τις δεξαμενές ρύθμισης έως την κατανάλωση (εσωτερικό υδραγωγείο)
- ◆ **Συνιστώσες συστήματος:** έργα αποθήκευσης (δεξαμενές, υδατόπυργοι) έργα μεταφοράς νερού (αγωγοί υπό πίεση), συσκευές ρύθμισης της ροής (δικλείδες, βαλβίδες), έργα ρύθμισης της πίεσης (μειωτές πίεσης, αντλιοστάσια), πάσης φύσεως συσκευές διανομής
- ◆ **Είσοδοι (φορτίσεις) συστήματος:** προσφορά νερού από τις δεξαμενές
- ◆ **Έξοδοι (αποκρίσεις) συστήματος:** κατανάλωση νερού σε κάθε σημείο διανομής του δικτύου
- ◆ **Μεταβλητές κατάστασης:** παροχές και πιέσεις, ως συνέπεια των ενεργειακών απωλειών κατά μήκος των αγωγών



Η μαθηματική περιγραφή ενός δικτύου διανομής γίνεται με μετασχηματισμό του φυσικού συστήματος σε ένα εννοιολογικό **μοντέλο γράφου**, βάσει του οποίου το σύνολο των συνιστωσών του δικτύου αναπαρίσταται με την μορφή ιδεατών **κόμβων** και **κλάδων**.

# Το δίκτυο ύδρευσης ως μαθηματικό μοντέλο

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



# Τυπικοί έλεγχοι δικτύων διανομής

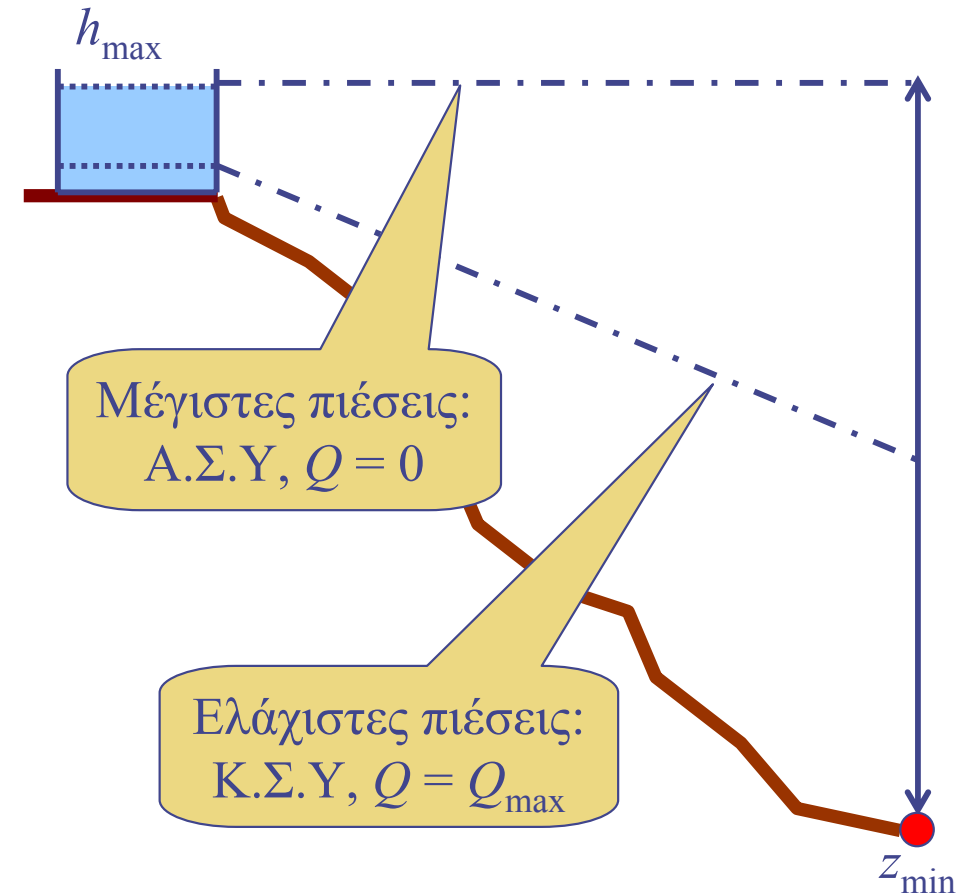
- ◆ **Έλεγχος μέγιστων πιέσεων:** Για την προστασία των υδραυλικών εγκαταστάσεων των σπιτιών και των οικιακών συσκευών, η πίεση σε κάθε σημείο του δικτύου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 60 έως 70 m
  - ◆ **Έλεγχος ελάχιστων πιέσεων:** Η πιεζομετρική γραμμή της οικιακής παροχής στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων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

# Έλεγχος μέγιστων πιέσεων

- ◆ Ο έλεγχος γίνεται για την οριακή (και ιδεατή) κατάσταση **μηδενικής φόρτισης** (= οριζόντια πιεζομετρική γραμμή) και **ανώτατης στάθμης ύδατος (Α.Σ.Υ.)** στη δεξαμενή,  $h_{\max}$ .
- ◆ Εντοπίζεται το **χαμηλότερο υψόμετρο**  $z_{\min}$  του δικτύου και ελέγχεται αν:

$$p_{\max} = h_{\max} - z_{\min} < 60-70 \text{ m}$$

- ◆ Εφόσον το δίκτυο τροφοδοτείται από περισσότερες δεξαμενές (με ελεύθερη επικοινωνία), λαμβάνεται ως **στάθμη αναφοράς** η υψηλότερη Α.Σ.Υ.
- ◆ Ο έλεγχος αφορά στην **γενική διάταξη** του συστήματος, αφού με βάση αυτόν καθορίζεται η μέγιστη ανώτατη στάθμη ύδατος της δεξαμενής.
- ◆ Ο έλεγχος είναι κρίσιμος στην περίπτωση **αμφιθεατρικών οικισμών**, με μεγάλες υψομετρικές διαφορές, που κατά κανόνα απαιτεί χωρισμό του δικτύου σε υδραυλικά ανεξάρτητες **πιεζομετρικές ζώνες** (οπότε ως στάθμη αναφοράς λαμβάνεται το υψόμετρο της ανάντη δεξαμενής ή φρεατίου κάθε ζώνης).



# Έλεγχος ελάχιστων πιέσεων: Ορισμός του προβλήματος

- ◆ Σε κάθε σημείο του δικτύου με γνωστό απόλυτο υψόμετρο  $z$ , το ύψος πίεσης είναι:

$$p = h - z$$

όπου το ενεργειακό υψόμετρο  $h$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος (τοπολογία, διάμετροι, κλπ.), τις στάθμες των δεξαμενών και την κατανάλωση. Για τον υπολογισμό των ενεργειακών υψομέτρων απαιτείται **επίλυση** του δικτύου.

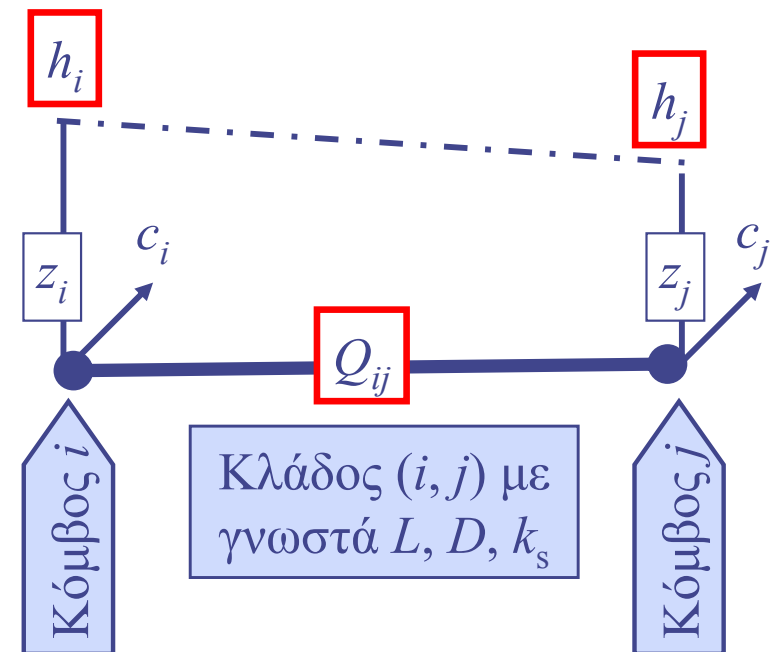
- ◆ Η επίλυση του δικτύου επιβάλλει την **σχηματοποίηση** του φυσικού συστήματος σε μοντέλο γράφου και τον επιμερισμό της συνολικής κατανάλωσης σε παροχές εξόδου κόμβων (διαμόρφωση **σεναρίου φόρτισης**).
- ◆ Στον έλεγχο ελάχιστων πιέσεων, ως στάθμη αναφοράς των δεξαμενών (= γνωστό ενεργειακό υψόμετρο) λαμβάνεται πάντοτε η **κατώτατη στάθμη ύδατος**.
- ◆ Επειδή, γενικά, δεν μπορεί **εκ των προτέρων** να καθοριστεί ο πλέον δυσμενής κόμβος για κάθε σενάριο, ούτε, αντίστροφα, το πλέον δυσμενές σενάριο για κάθε κόμβο, ο έλεγχος πιέσεων επιβάλλει την διερεύνηση **πολλαπλών σεναρίων**.
- ◆ Το πρακτικό ζητούμενο είναι η κατασκευή της **περιβάλλουσας της πιεζομετρικής γραμμής**, για διάφορα δυσμενή αλλά ρεαλιστικά σενάρια φόρτισης του δικτύου, που αναφέρονται στον χρονικό ορίζοντα της οικονομικής ζωής του (40 έτη).
- ◆ Για κάθε κόμβο  $i$ , όπου αναπτύσσονται κτήρια έως  $n_i$  ορόφων, θα πρέπει να ισχύει:

$$p_i > 4(n_i + 1), \text{ για κάθε σενάριο φόρτισης}$$



# Σχηματοποίηση δικτύου: Συνιστώσες μοντέλου

- ◆ **Κόμβος:** Σημεία εισροής ή εκροής νερού ή αλλαγής της γεωμετρίας του δικτύου ή μεταβολής των χαρακτηριστικών των αγωγών, με γνωστό απόλυτο υψόμετρο  $z$  και γνωστή παροχή εξόδου  $c$ , και άγνωστο ενεργειακό υψόμετρο  $h$ .
- ◆ **Κλάδος (αγωγός):** Στοιχείο μεταφοράς νερού μήκους  $L$ , που αποτελείται από σύστημα σωλήνων σε σειρά, ομοιόμορφης διαμέτρου  $D$ , κλάσης και τραχύτητας  $k_s$ , κατά μήκος του οποίου θεωρείται ενιαία (άγνωστη) παροχή  $Q$ .
- ◆ **Δεξαμενή:** Διάταξη αποθήκευσης νερού, με γνωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, γνωστή αρχική στάθμη  $z_0$ , και άγνωστη εκροή νερού  $y$ .
- ◆ **Πιεζοθραυστικό φρεάτιο:** Διάταξη μηδενισμού της πίεσης, με αμελητέα αποθηκευτική ικανότητα, που διατηρεί σταθερή στάθμη  $z_0$ .
- ◆ **Βαλβίδα:** Διάταξη ρύθμισης της παροχής ή της πίεσης (π.χ. δικλείδα, βαλβίδα αντεπιστροφής, μειωτής πίεσης, κλπ.), η υδραυλική λειτουργία της οποίας περιγράφεται από γνωστή σχέση παροχής-ενεργειακών απωλειών.
- ◆ **Αντλία:** Διάταξη ανύψωσης της πιεζομετρικής γραμμής, με γνωστή χαρακτηριστική καμπύλη.



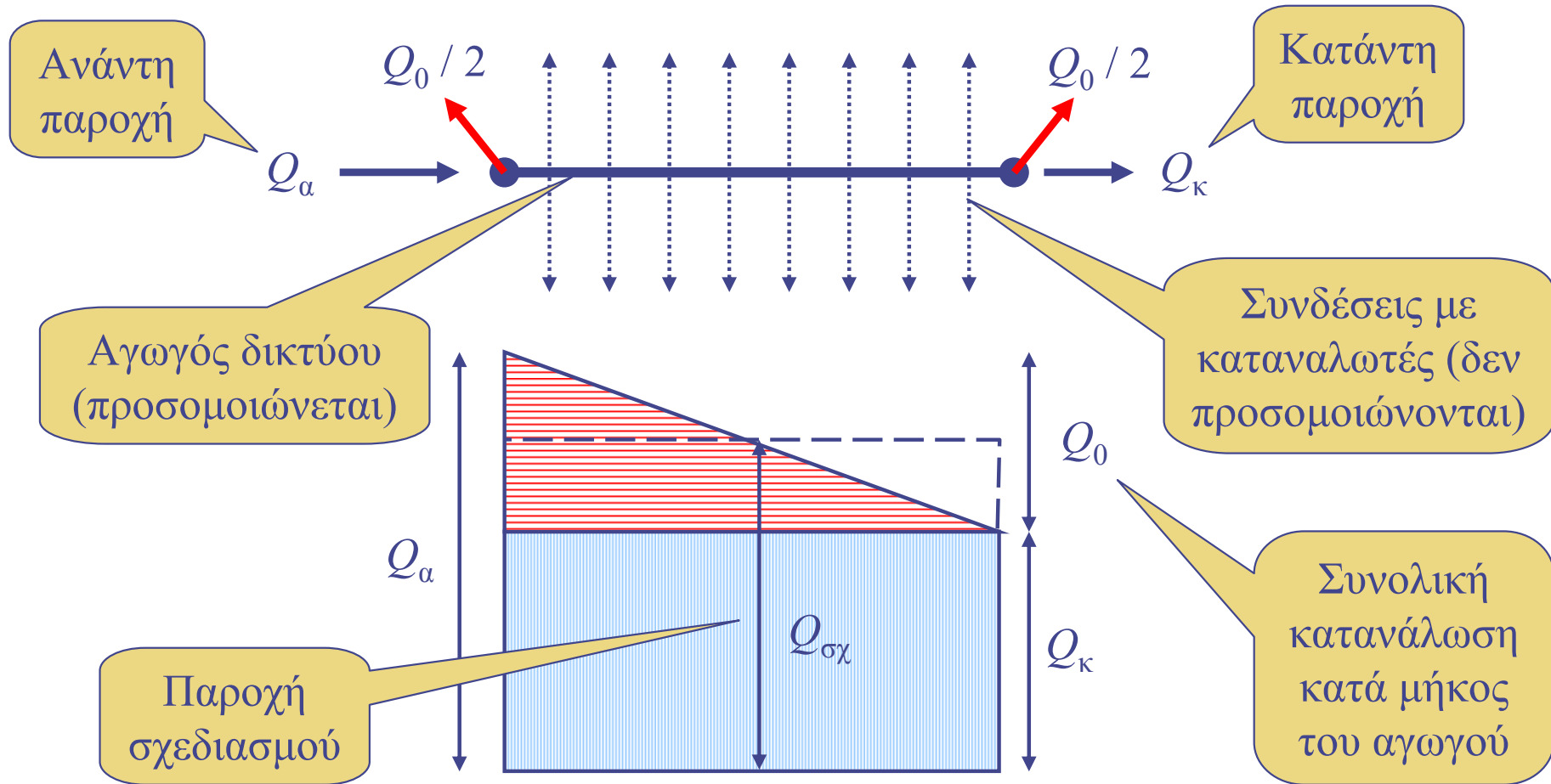
# Σχηματοποίηση δικτύου: Τοποθέτηση κόμβων

- ◆ 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 **αυτόματος έλεγχος πιέσεων** κατά την επίλυση του μοντέλου (σε πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά σημεία του δικτύου).
- ◆ Ειδικοί καταναλωτές και κρουνοί που βρίσκονται **σχετικά κοντά** σε κόμβους άλλης αιτιολογίας είναι δυνατόν να αναχθούν σε αυτούς (για μείωση υπολογιστικού φόρτου).
- ◆ Η τοποθέτηση κόμβων είναι δυνατόν να υπαγορεύεται για λόγους **ευστάθειας του αριθμητικού σχήματος επίλυσης**. Συστήνεται ο σχετικός λόγος των μηκών των κλάδων του ίδιου βρόχου να μην ξεπερνά το 10.

# Φόρτιση δικτύου: Σημειακές και μη σημειακές χρήσεις

- ◆ Ως **φόρτιση** νοείται η κατανάλωση νερού, που μεταβάλλει την κατάσταση του συστήματος, δηλαδή τις συνθήκες ροής και πίεσης στο δίκτυο.
- ◆ Η φόρτιση ζήτηση θεωρείται **στιγμιαία**, που σημαίνει ότι το μοντέλο αποτυπώνει την εικόνα του δικτύου κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες κατανάλωσης.
- ◆ Οι εκτίμηση της κατανάλωσης του δικτύου γίνεται ξεχωριστά **για κάθε χρήση**, σημειακή ή κατανεμημένη.
- ◆ Ως **σημειακοί** χρήστες νοούνται βιομηχανίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πάρκα, πυροσβεστικοί κρουνοί κλπ., και γενικά κάθε μεγάλος καταναλωτής που υδρεύεται από συγκεκριμένη έξοδο του δικτύου.
- ◆ Ως **μη σημειακοί** χρήστες νοούνται οι οικιακοί καταναλωτές (αστική κατανάλωση) και οι παραθεριστές/τουρίστες ευρύτερων τουριστικών περιοχών (όχι μεμονωμένων μεγάλων ξενοδοχειακών μονάδων).
- ◆ Η συνολική κατανάλωση ανά χρήση επιμερίζεται σε **παροχές εξόδου κόμβων**.
- ◆ Οι σημειακές καταναλώσεις μεταφέρονται ως **σημειακές φορτίσεις** στον εγγύτερο κόμβο. Για τις μη σημειακές (κατανεμημένες) χρήσεις, θεωρείται ότι κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει συγκεκριμένο μήκος αγωγού, από τον οποίο εξέρχεται όλη η παροχή των καταναλωτών που αντιστοιχούν στο εν λόγω μήκος. Συνεπώς, το θεμελιώδες μέγεθος αναφοράς είναι η **ανηγμένη, ανά μέτρο μήκους αγωγού, κατανάλωση**.

# Ερμηνεία της ανηγμένης κατανάλωσης



Εφόσον η κατανομή της κατανάλωσης κατά μήκος του αγωγού είναι ομοιόμορφη, η συνολική κατανάλωση  $Q_0$  θεωρείται ότι **ισομοιράζεται** στον ανάντη και κατάντη κόμβο.

# Γενική μεθοδολογία εκτίμησης παροχών εξόδου

- ◆ Η επίλυση του δικτύου προϋποθέτει τον καθορισμό **σεναρίων φόρτισης**, βάσει των οποίων ελέγχεται η υδραυλική επάρκεια του δικτύου.
- ◆ Ως φόρτιση νοείται η κατανάλωση νερού σε κάθε κόμβο του δικτύου (**παροχή εξόδου**).
- ◆ Ως παροχή σχεδιασμού νοείται η **παροχή αιχμής** (= μέγιστη ωριαία) της πλέον δυσμενούς ημέρας του έτους (συνήθως θερινής). Απαιτείται προσοχή για την ορθή αναγωγή χρήσεων που παρουσιάζουν αιχμή σε διαφορετική εποχή (π.χ. ελαιοτριβεία).
- ◆ Για τους ειδικούς καταναλωτές, η παροχή σχεδιασμού μεταφέρεται στον κοντινότερο κόμβο ως **σημειακή φόρτιση**.
- ◆ Για τους λοιπούς καταναλωτές, η ολική παροχή σχεδιασμού  $q_k$  ανά χρήση νερού  $k$  επιμερίζεται στους κόμβους με χρήση κατάλληλων **συντελεστών κατανομής**:

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

- ◆ Οι συντελεστές κατανομής  $w_{jk}$  εκφράζουν το ποσοστό της συνολικής ζήτησης μιας χρήσης που εξυπηρετείται από κάθε κόμβο του δικτύου.
- ◆ Κάθε αγωγός εξυπηρετεί το σύνολο της κατανάλωσης νερού που εκδηλώνεται κατά μήκος αυτού, η οποία μοιράζεται εξίσου στους δύο κόμβους του. Συνεπώς, η παροχή εξόδου κάθε κόμβου ισούται με το ήμισυ της κατανάλωσης κατά μήκος όλων των αγωγών που συμβάλλουν σε αυτόν.

## Υπολογισμός συντελεστών κατανομής

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

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

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

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

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

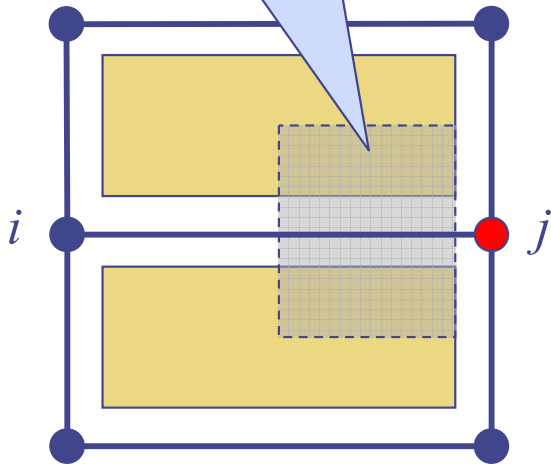
$$L^* = \sum L_j^*$$

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

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

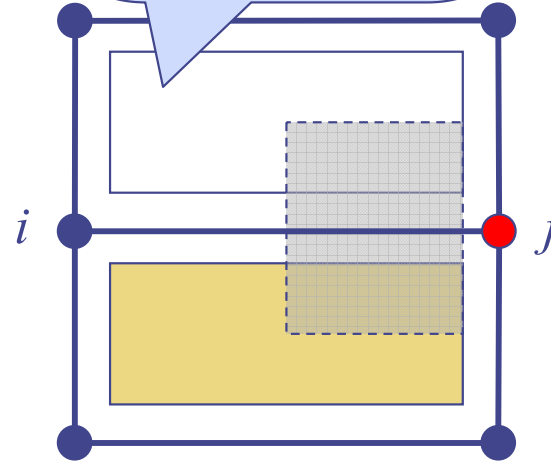
# Χαρακτηριστικά παραδείγματα

Ζώνη φόρτισης  
κόμβου  $j$



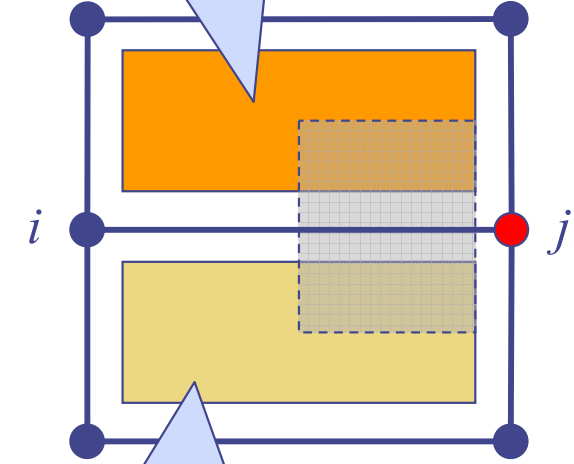
Αμφίπλευρη  
κατανάλωση,  
ομοιόμορφα  
κατανεμημένη:  
 $\theta_{ij} = 1$

Δεν εκδηλώνεται  
η συγκεκριμένη  
χρήση νερού



Μονόπλευρη  
κατανάλωση,  
ομοιόμορφα  
κατανεμημένη:  
 $\theta_{ij} = 0.5$

Πληθυσμός  $\Pi_1$



Πληθυσμός  $\Pi_2 < \Pi_1$

Αμφίπλευρη κατανάλωση,  
ανομοιόμορφα κατανεμημένη:  
 $\theta_{ij} = 0.5 (1 + \Pi_2 / \Pi_1)$

## Διαμόρφωση σεναρίων φόρτισης

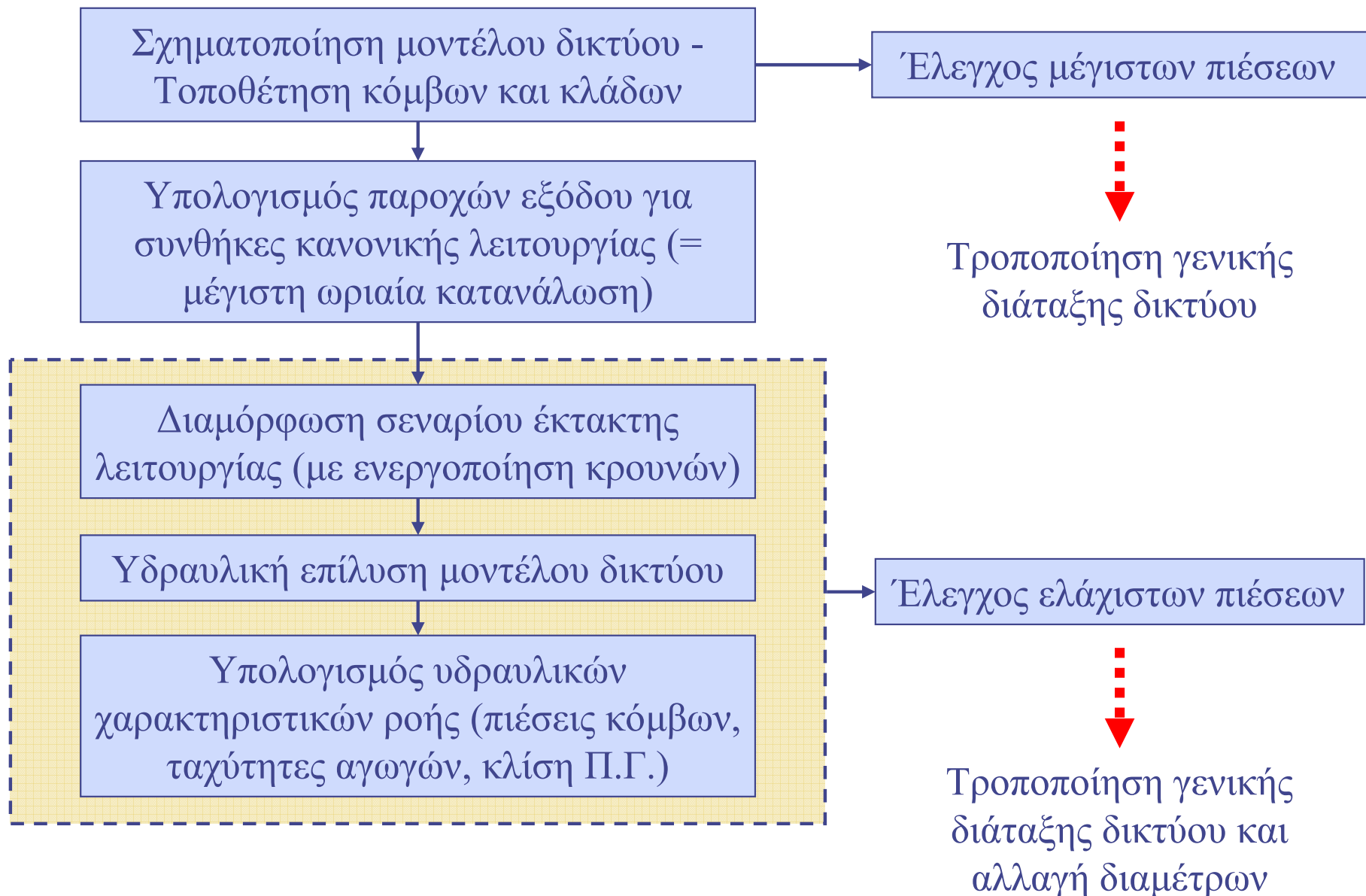
- ◆ Η ολική παροχή εξόδου κάθε κόμβου υπολογίζεται αθροίζοντας τις επιμέρους φορτίσεις, σημειακές και κατανεμημένες, που αναφέρονται στην **κανονική λειτουργία** του δικτύου.
- ◆ Ο έλεγχος υδραυλικής επάρκειας του δικτύου δεν γίνεται για την κατάσταση κανονικής λειτουργίας, αλλά για έκτακτες καταστάσεις, κατά τις οποίες ζητείται η **οριακή** ικανοποίηση των περιορισμών ελάχιστων πιέσεων.
- ◆ Με εξαίρεση ορισμένες πολύ μεγάλες πόλεις, η τυπική δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας είναι η περίπτωση **πυρκαγιάς**, οπότε προκύπτουν εξαιρετικά υψηλές σημειακές φορτίσεις εξαιτίας της ενεργοποίησης κρουνών.
- ◆ Τα **σενάρια πυρκαγιάς** διαμορφώνονται κατά την κρίση του μηχανικού, για την κάλυψη δυσμενών περιπτώσεων. Τα σενάρια πρέπει να είναι **ρεαλιστικά**, ώστε να μην οδηγούν σε υπερβολικά δαπανηρό σχεδιασμό.
- ◆ Συστήνεται η κατά προτεραιότητα εξέταση σεναρίων πυρκαγιάς με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - σενάρια με κρουνούς σε ακτινωτές απολήξεις·
  - σενάρια με κρουνούς στα υψηλά σημεία του δικτύου·
  - σενάρια που επιβαρύνουν διαφορετικές ομάδες κλάδων·
  - σενάρια με ενεργοποίηση γειτονικών κρουνών.



# Έλεγχος ελάχιστων πιέσεων: Τελικές επισημάνσεις

- ◆ Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων αφορά τόσο στην γενική διάταξη όσο και στην διαστασιολόγηση του δικτύου.
- ◆ Η ανεπαρκής πίεση σε μια περιοχή του δικτύου αντιμετωπίζεται με:
  - αύξηση του υψομέτρου τοποθέτησης της δεξαμενής (όχι πάντα εφικτό).
  - αντικατάσταση των κρίσιμων κλάδων ανάντη από αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου (εναλλακτικά, τοποθέτηση παράλληλων ανακουφιστικών αγωγών).
  - τοποθέτηση αντλιών (μόνο αν έχουν εξαντληθεί άλλες εναλλακτικές λύσεις).
- ◆ Εξαιτίας της τοπογραφίας, στα **πολύ υψηλά σημεία** του δικτύου που βρίσκονται κοντά στις δεξαμενές, είναι ορισμένες φορές αναπόφευκτο η τιμή της πίεσης να είναι μικρότερη της επιθυμητής. Στην περίπτωση αυτή δεν θεωρείται γενική αστοχία του δικτύου, αν οι πιέσεις των υπόλοιπων κόμβων κυμαίνονται στα επιτρεπόμενα όρια.
- ◆ Στην πράξη, ζητούμενο του σχεδιασμού είναι η λειτουργία του δικτύου σε ένα μικρό, σχετικά, **εύρος πιέσεων**, της τάξης των 20-30 m.
- ◆ Ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων ακολουθείται από έλεγχο των **μέγιστων ταχυτήτων** στους αγωγούς. Γενικά, η ταχύτητα ροής δεν πρέπει να ξεπερνά το 1.5-2.0 m/s.
- ◆ Πρακτικά, μέσω των ταχυτήτων, ελέγχεται η **κλίση της πιεζομετρικής γραμμής**. Μεγάλη κλίση συνεπάγεται μεγάλες απώλειες ενέργειας και, συνεπώς, **αντιοικονομικό σχεδιασμό**.

# Τυποποίηση διαδικασίας υδραυλικού ελέγχου δικτύων



# Πεδία εφαρμογής μοντέλων ανάλυσης δικτύων

- ◆ **Σχεδιασμός νέου δικτύου:** Παρέχεται στον μελετητή η δυνατότητα να διαστασιολογήσει ένα δίκτυο δεδομένης διάταξης ή ακόμη και να εξετάσει εναλλακτικές διατάξεις δικτύου, προσδιορίζοντας τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δεξαμενών, αγωγών (υλικό, κλάση, διάμετρος) και ειδικών διατάξεων (αντλιοστάσια, μειωτές πίεσης, κλπ.), με τρόπο ώστε να πληρούνται οι υδραυλικές απαιτήσεις (παροχές, ελάχιστες και μέγιστες πιέσεις) και να ελαχιστοποιείται το κόστος.
- ◆ **Διαχείριση υφιστάμενου δικτύου:** Παρέχεται στον φορέα του δικτύου (π.χ. ΔΕΥΑ) η δυνατότητα να παρακολουθεί την λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο, ελέγχοντας τη διακύμανση των παροχών και πιέσεων, ώστε να εντοπίζει προβλήματα βλαβών και διαρροών. Εξετάζοντας σενάρια εναλλακτικών δυνατοτήτων τροφοδοσίας, είναι δυνατό να αντιμετωπίσει απότομες αιχμές της ζήτησης (π.χ. λόγω καύσωνα), με συνδυασμό πολλαπλών δεξαμενών και αντλιοστασίων. Στην περίπτωση που απαιτείται η αντικατάσταση παλαιών αγωγών, είναι δυνατή η εύρεση της βέλτιστης τεχνοοικονομικά επιλογής, καθώς και ο ορθολογικός προγραμματισμός των έργων.
- ◆ **Επέκταση υφιστάμενου δικτύου:** Εκτός των παραπάνω, παρέχεται η δυνατότητα στον φορέα διαχείρισης να κοστολογεί τα απαιτούμενα έργα (τόσο του νέου όσο και του υφιστάμενου δικτύου), επιλέγοντας την κατάλληλη πολιτική για την ανάκτηση του κόστους των έργων στην περιοχή επέκτασης. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο πρέπει να αντιμετωπίζεται ως σύστημα και όχι τμηματικά.

# Προσομοίωση μόνιμης και χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης

- ◆ **Προσομοίωση μόνιμης κατάστασης (steady-state):** Η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου, ήτοι ο υπολογισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής (παροχές, πιέσεις), γίνεται θεωρώντας σταθερή φόρτιση στους κόμβους (ο έλεγχος γίνεται για τη δυσμενέστερη φόρτιση). Η προσέγγιση αυτή είναι κατάλληλη για εφαρμογές διαστασιολόγησης αγωγών και αντλιών, καθώς και αποτίμησης της υδραυλικής επάρκειας υφιστάμενων δικτύων.
- ◆ **Προσομοίωση χρονικά μεταβαλλόμενης κατάστασης (extended-period):** Η επίλυση του μοντέλου γίνεται σε διακριτά χρονικά βήματα, θεωρώντας χρονικά μεταβαλλόμενη φόρτιση. Στόχος είναι ο έλεγχος της δυναμικής λειτουργίας του δικτύου σε κανονικές και έκτακτες συνθήκες. Κατά κανόνα, η διάρκεια της προσομοίωσης είναι μεγαλύτερη των 24 ωρών (τυπική τιμή 72 ώρες), ενώ το χρονικό βήμα εξαρτάται από τη διακύμανση των φορτίσεων στο δίκτυο (τυπική τιμή μία ώρα). Η εν λόγω προσέγγιση θεωρείται κατάλληλη για εφαρμογές χωροθέτησης και ελέγχου της επάρκειας δεξαμενών, υπολογισμού της ενέργειας άντλησης και ανάλυσης της δίαιτας των ποιοτικών παραμέτρων του νερού (η τελευταία λειτουργία γίνεται μέσω συνδυασμένων μοντέλων προσομοίωσης τόσο των υδραυλικών όσο και των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής).

# Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου

- ◆ Πρόκειται για την **συνήθη περίπτωση**, που επιβάλλεται για τη διαχείριση ενός υφιστάμενου δικτύου καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του.
- ◆ Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η **απογραφή** του υφιστάμενου δικτύου και η συλλογή των αρχείων των υδρομετρητών όλων των καταναλωτών, διαδικασία που είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, εφόσον δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή.
- ◆ Ακολουθείται η τυπική διαδικασία σχηματοποίησης του μοντέλου, με τη διαφορά ότι οι παροχές εξόδου προκύπτουν όχι βάσει υποθέσεων αλλά λαμβάνοντας υπόψη τις **πραγματικές καταναλώσεις**.
- ◆ Το μοντέλο που διαμορφώνεται πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου. Η εν λόγω διαδικασία ονομάζεται **ρύθμιση** του μοντέλου.
- ◆ Η ρύθμιση προϋποθέτει πολλαπλές επιλύσεις του μοντέλου, ώσπου η απόκλιση των αποτελεσμάτων του σε σχέση με τις πραγματικές (μετρούμενες) τιμές να είναι αποδεκτή. Αποκλίσεις αναμένονται, μεταξύ άλλων, και για τους εξής λόγους:
  - ασυνέπεια μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της υλοποίησής τους (αβεβαιότητα στον καθορισμό των μηκών και διαμέτρων).
  - θραύσεις αγωγών και παράνομες συνδέσεις (σφάλματα στην εκτίμηση των παροχών εξόδου).
  - δυσκολία εκτίμησης συντελεστών τραχύτητας (γήρανση, τοπικές απώλειες).