

# Ειδικά θέματα δικτύων διανομής

Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος:

**Τυπικά υδραυλικά έργα**

Ακαδημαϊκό έτος 2005-06

Ανδρέας Ευστρατιάδης & Δημήτρης Κουτσογιάννης

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τομέας Υδατικών Πόρων

# Βελτιστοποίηση σχεδιασμού δικτύων διανομής

- ◆ **Βελτιστοποίηση (γενικός ορισμός):**  
Υπολογιστική μέθοδος συστηματικής αναζήτησης της βέλτιστης τιμής του μέτρου επίδοσης (αντικειμενική συνάρτηση,  $f$ ) ενός συστήματος ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά αυτού (μεταβλητές ελέγχου,  $\mathbf{x}$ ), κάτω από ένα σύνολο φυσικών και λειτουργικών περιορισμών  $g_i$ , ήτοι:

$$\min / \max f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\text{s.t. } g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq, =, \geq 0, i = 1, \dots, m$$

- ◆ **Βελτιστοποίηση σχεδιασμού δικτύων διανομής:** Εύρεση της κατάλληλης διάταξης και διαστασιολόγησης των χαρακτηριστικών μεγεθών των συνιστωσών ενός δικτύου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το ολικό κόστος επένδυσης (= κόστος κατασκευής + κόστος λειτουργίας), εξασφαλίζοντας επαρκή υδραυλική λειτουργία του δικτύου.



# Βέλτιστη διαστασιολόγηση απλού δικτύου

- ◆ Για ένα δίκτυο διανομής δεδομένης τοπολογίας, αποτελούμενο από  $m$  κλάδους και χωρίς αντλιοστάσια, μια διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης είναι:

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

s.t.  $D_j \in (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k)$  για κάθε κλάδο  $j$  (διάμετροι εμπορίου)

$h_i - z_i \geq p_{i, \min}$  για κάθε κόμβο  $i$  (περιορισμοί ελάχιστης πίεσης)

όπου  $c_j$  το ανά μονάδα μήκους κόστος κάθε αγωγού (συνάρτηση της διαμέτρου).

- ◆ Η δυσκολία του προβλήματος οφείλεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά του:
  - το διακριτό πεδίο ορισμού των μεταβλητών ελέγχου (= διάμετροι εμπορίου)·
  - τη μη γραμμικότητα των περιορισμών ελάχιστης πίεσης·
  - το πολύ μεγάλο πλήθος των μεταβλητών ελέγχου («κατάρρα διαστατικότητας»)·
  - τον υπολογιστικό φόρτο που απαιτείται για την αποτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης (προϋποθέτει επίλυση του μοντέλου).
- ◆ Το πρόβλημα δεν επιλύεται με κλασικά μαθηματικά ούτε με τυπικές μεθόδους της επιχειρησιακής έρευνας (π.χ. γραμμικός ή δυναμικός προγραμματισμός). Απαιτεί ειδικές τεχνικές, κατάλληλες για μη κυρτούς χώρους αναζήτησης, με πολλούς περιορισμούς και πολλά τοπικά ακρότατα (ευρετικοί γενετικοί αλγόριθμοι).

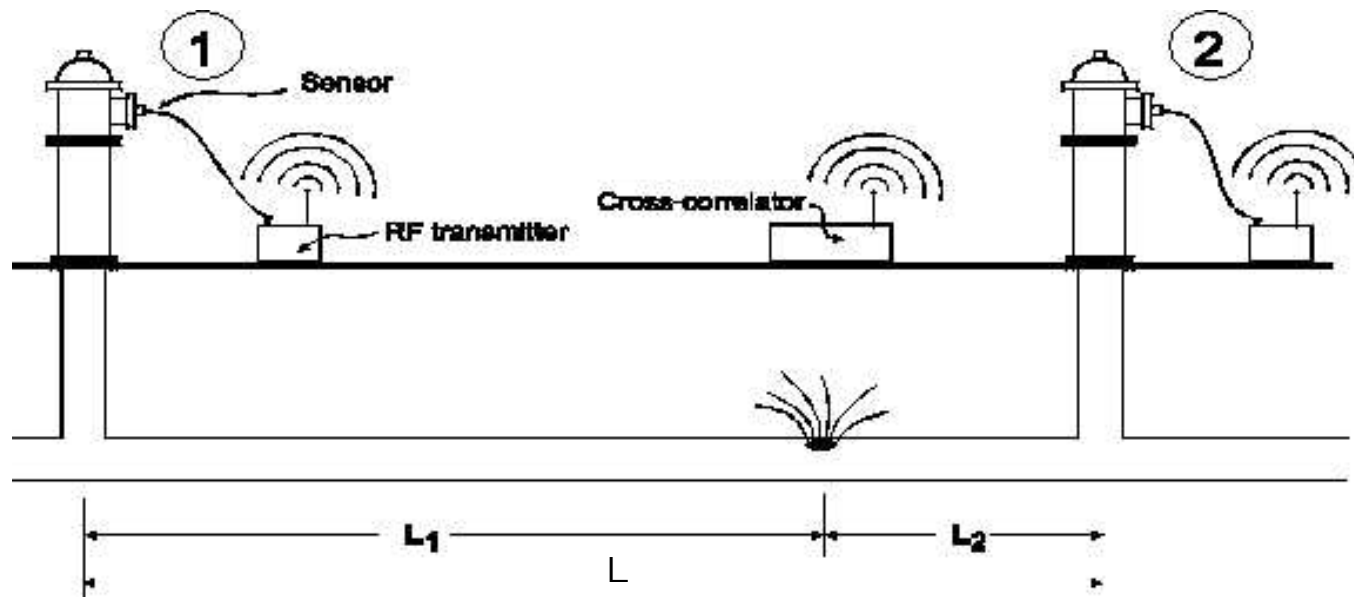
## Απώλειες νερού στα δίκτυα διανομής

- ◆ Στα δίκτυα διανομής σημαντικό ποσοστό νερού, που συνήθως κυμαίνεται σε ποσοστό 20-30%, φαίνεται ότι «χάνεται» κατά τη μεταφορά από τις μονάδες επεξεργασίας ως την κατανάλωση (αυτό φτάνει το 50% για παλιά και κακά συντηρημένα δίκτυα).
- ◆ Οι θεωρούμενες ως απώλειες νερού στα δίκτυα, γνωστές και ως **μη τιμολογημένο νερό** (unaccounted-for water), διακρίνονται σε φυσικές και πλασματικές.
- ◆ Οι **φυσικές απώλειες** οφείλονται σε διαρροές στις δεξαμενές, τις συνδέσεις των αγωγών (ιδιαίτερα στις συνδέσεις με το εσωτερικό υδραυλικό σύστημα των οικιών, που γίνονται από μη εξειδικευμένα συνεργεία) και στις θέσεις των ειδικών συσκευών. Σημαντικός παράγοντας είναι οι θραύσεις αγωγών λόγω καταπόνησης από φορτία οχημάτων, έντονες διακυμάνσεις της πίεσης, υδραυλικά πλήγματα, παγετό, κλπ.
- ◆ Οι **πλασματικές απώλειες** αναφέρονται στο νερό που καταναλώνεται χωρίς να πληρωθεί λόγω πλημμελούς καταμέτρησης, σφαλμάτων μετρητών στο δίκτυο και τα έργα κεφαλής και παράνομων συνδέσεων. Περιλαμβάνουν ακόμη τη δωρεάν παροχή νερού σε δήμους και κοινωφελείς οργανισμούς, καθώς και τις ποσότητες που καταναλώνονται στα διυλιστήρια ή για καθαρισμό και συντήρηση του δικτύου.
- ◆ Απώλειες δικτύου της τάξης του 15% θεωρούνται αποδεκτές, ενώ μείωσή τους κάτω από τα επίπεδα του 10% καθίσταται δυσανάλογα δαπανηρή σε έρευνα και επισκευές .

$$\text{Μη τιμολογημένο νερό (\%)} = (\text{εισερχόμενο} - \text{τιμολογούμενο}) \times 100 / \text{εισερχόμενο}$$

# Έλεγχος διαρροών

- ◆ Η συνολική εκτίμηση των διαρροών ενός δικτύου γίνεται, χονδροειδώς, με βάση τη διακύμανση της στάθμης των δεξαμενών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Αυτό προϋποθέτει μια εκτίμηση της πραγματικής νυκτερινής κατανάλωσης.
- ◆ Ακριβέστερη εκτίμηση των διαρροών και σε μικρότερη χωρική κλίμακα επιτυγχάνεται απομονώνοντας, μέσω δικλείδων, συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου και ελέγχοντας με παροχόμετρα τη διερχόμενη ποσότητα νερού.
- ◆ Ο εντοπισμός της θέσης θραύσης ενός αγωγού γίνεται με χρήση ακουστικών διατάξεων, όπως γεώφωνα, υδρόφωνα, κλπ. Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ακριβής για μεταλλικούς αγωγούς, αλλά υστερεί σημαντικά στην περίπτωση πλαστικών αγωγών.



Ταχύτητα διάδοσης  
σήματος:  $V$

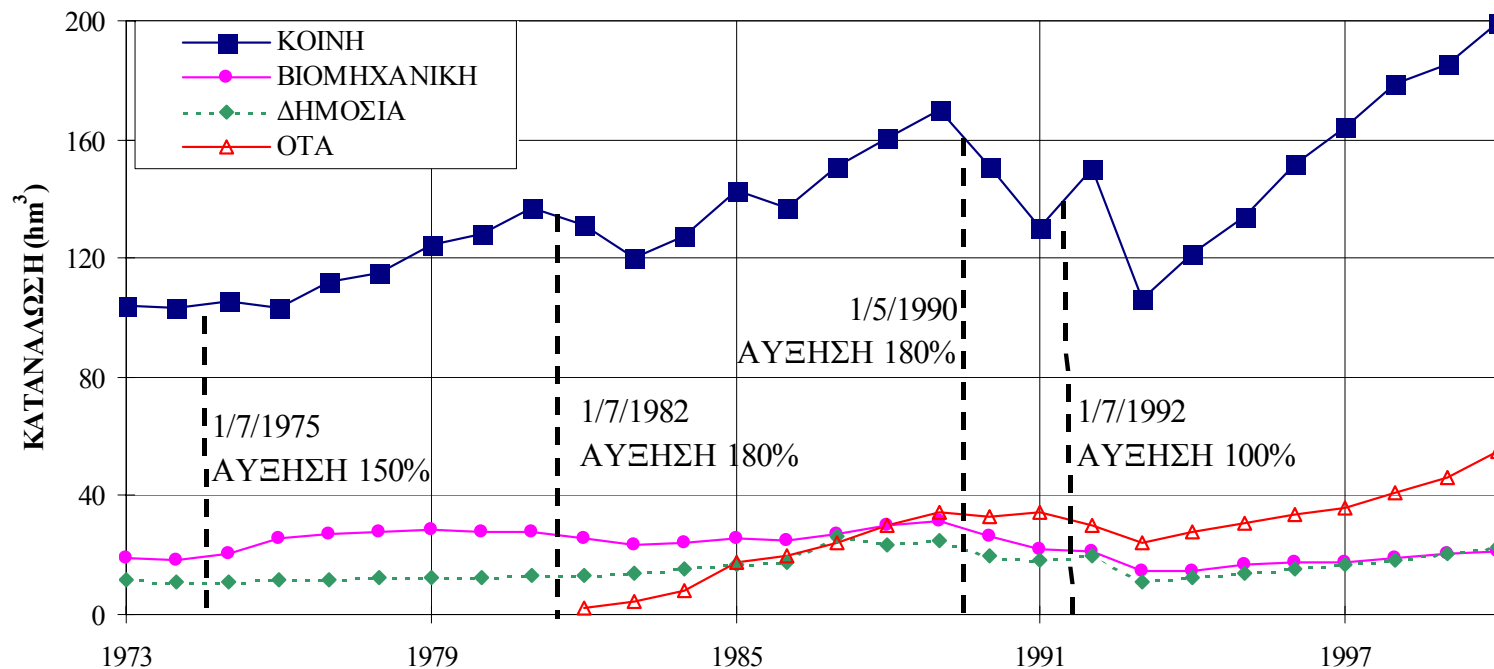
Διαφορά χρόνου  
άφιξης των σημάτων  
1 και 2 στο σημείο  
θραύσης:  $\Delta t$

Απόσταση σημείου  
θραύσης:

$$L_1 = (L - V \Delta t) / 2$$

# Διαχείριση ζήτησης

- ◆ Γενικά, η υδροδότηση των πόλεων έχει αντιμετωπιστεί μονομερώς, με κύριο προσανατολισμό στην **προφορά νερού**, και την ανάπτυξη των αναγκαίων έργων.
- ◆ Η διαχείριση της ζήτησης νερού έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία στα πλαίσια της **αιφορικής διαχείρισης** του αστικού νερού. Για την υλοποίηση αποδοτικής διαχείρισης της ζήτησης νερού επιστρατεύονται **τεχνολογικά, οικονομικά, θεσμικά και επικοινωνιακά** μέσα.



*Τιμολογιακή πολιτική και κατανάλωση νερού: Το παράδειγμα της Αθήνας*

# Έλεγχος υπολειμματικού χλωρίου

- ◆ Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος απολύμανσης του νερού είναι η χρήση ελεύθερου (υπολειμματικού) χλωρίου στα διωλιστήρια. Το πλεονέκτημα είναι η ισχυρή δραστικότητα του χλωρίου έναντι των περισσότερων παθογόνων μικροοργανισμών, σε συνδυασμό με την υπολειμματική του δράση (αφού το χλώριο παραμένει σαν προστατευτικός παράγοντας για αρκετό χρονικό διάστημα μέσα στο νερό).
- ◆ Υπερβολική δόση χλωρίου έχει αρνητικές συνέπειες όσον αφορά στην όψη και την οσμή του νερού. Επιπλέον, αυξάνει τον κίνδυνο δημιουργίας παραπροϊόντων (τριαλομεθάνια), που θεωρούνται υπεύθυνα για σοβαρές παρενέργειες στην υγεία.
- ◆ Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η προσκόλληση των μικροοργανισμών στα τοιχώματα των σωλήνων, γεγονός που καθιστά την απολύμανση εξαιρετικά δύσκολη. Επιπλέον, η αντίδραση του χλωρίου με άλλες χημικές ουσίες (π.χ. αμμωνία), έχει ως συνέπεια τον περιορισμό της απολυμαντικής του δράσης.
- ◆ Ο καθορισμός της απαιτούμενης δόσης του χλωρίου βασίζεται σε μετρήσεις συγκέντρωσης που γίνονται σε επιλεγμένες θέσεις του δικτύου, κάτι που απαιτεί γνώση της διαίτας του χλωρίου μέσα στο δίκτυο. Στα μαθηματικά μοντέλα, η τελευταία περιγράφεται συνήθως από εξισώσεις κινητικής πρώτης τάξης, ήτοι:

$$c(t) = c_0 \exp(-k t)$$

όπου  $c_0$  η αρχική συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας,  $k$  συντελεστής υστέρησης που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του νερού και των αγωγών, και  $t$  ο χρόνος.

# Το πρόγραμμα EPANET

- ◆ Προσομοιώνει τη χρονική διακύμανση των υδραυλικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της ροής (μεταξύ άλλων και του υπολειμματικού χλωρίου) σε δίκτυα διανομής υπό πίεση κάθε μεγέθους και οποιασδήποτε τοπολογίας.
- ◆ Ειδικότερα, ως προς την υδραυλική λειτουργία του δικτύου:
  - λαμβάνει υπόψη γραμμικές αλλά και τοπικές απώλειες·
  - προσομοιώνει δεξαμενές σταθερής ή μεταβλητής γεωμετρίας, διάφορους τύπους ειδικών συσκευών (δικλείδες, μειωτές πίεσης) καθώς και αντλίες σταθερής ή μεταβλητής παροχής·
  - υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος λειτουργίας του δικτύου·
  - επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών προτύπων χρονικής διακύμανσης της κατανάλωσης για πολλαπλές χρήσεις και για κάθε κόμβο·
  - υποστηρίζει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κανόνων λειτουργίας του δικτύου, μέσω κώδικα που γράφει ο χρήστης (συνήθως πρόκειται για χρονικούς περιορισμούς ή περιορισμούς παροχής της μορφής if ... then).

Το πρόγραμμα αναπτύχθηκε από την των Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (U.S. Environmental Protection Agency), και είναι ελεύθερα διαθέσιμο στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>