



Κεφάλαιο 14: Διαστασιολόγηση αγωγών και έλεγχος πιέσεων δικτύων διανομής

Έλεγχος λειτουργίας δικτύων διανομής με χρήση μοντέλων υδραυλικής ανάλυσης

- ❑ 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.
- ❑ Στα αστικά υδρευτικά δίκτυα διανομής, ο κύριος περιορισμός αφορά στις ελάχιστες πιέσεις που εξασφαλίζονται στους κόμβους, σε συνθήκες αιχμής της κατανάλωσης.
- ❑ Σε κάθε κόμβο, στην περιοχή του οποίου αναπτύσσονται κτήρια έως n ορόφων, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστο ύψος πίεσης $(p/\gamma)_{\min} = 4(n + 1)$ ή, ισοδύναμα, ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο $h_{\min} = z + 4(n + 1)$, όπου z το υψόμετρο εδάφους.
- ❑ Ο έλεγχος πιέσεων αφορά τόσο στη διαχείριση ενός υφιστάμενου δικτύου όσο και στον σχεδιασμό ενός νέου δικτύου (πρόβλημα διαστασιολόγησης).
- ❑ Για την υδραυλική ανάλυση και τον έλεγχο πιέσεων απαιτούνται:
 - η σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου του δικτύου (ορισμός κόμβων, κλάδων και σημείων γνωστού ενεργειακού υψομέτρου).
 - ο ορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μοντέλου δικτύου (υψόμετρα κόμβων, στάθμες δεξαμενών, μήκη διάμετροι και ισοδύναμη τραχύτητα αγωγών).
 - η διαμόρφωση του σεναρίου φόρτισης του δικτύου.
 - ο επιμερισμός της συνολικής ζήτησης στους κόμβους (παροχές εξόδου).
 - η επίλυση του προβλήματος με χρήση κάποιου μαθηματικού μοντέλου.

Προσαρμογή μοντέλου υφιστάμενου δικτύου

- ❑ Αφορά στον έλεγχο λειτουργίας υφιστάμενου δικτύου καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών επεκτάσεών του.
- ❑ Απαιτεί απογραφή των στοιχείων του δικτύου και συλλογή των αρχείων των υδρομετρητών όλων των καταναλωτών, διαδικασία που είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, εφόσον δεν υπάρχει κατάλληλη υποδομή.
- ❑ Ειδικότερα, για την αποτύπωση των αγωγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές συσκευές ανίχνευσης (π.χ. ραντάρ).
- ❑ Ακολουθείται η τυπική διαδικασία σχηματοποίησης του μοντέλου, με τη διαφορά ότι η ζήτηση νερού και ο επιμερισμός της στους κόμβους προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές καταναλώσεις.
- ❑ Το μοντέλο που διαμορφώνεται πρέπει να προσαρμοστεί στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου (ρύθμιση ή βαθμονόμηση μοντέλου).
- ❑ Η ρύθμιση γίνεται με δοκιμές, ώσπου η απόκλιση των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές (μετρούμενες) τιμές να είναι αποδεκτή. Αποκλίσεις αναμένονται, μεταξύ άλλων, για τους εξής λόγους:
 - ασυνέπεια μεταξύ των αρχικών σχεδίων και της υλοποίησής τους (αβεβαιότητα στον καθορισμό των μηκών και διαμέτρων)·
 - θραύσεις αγωγών και παράνομες συνδέσεις (σφάλματα εκτίμησης της ζήτησης)·
 - αβεβαιότητα στον προσδιορισμό των συντελεστών τραχύτητας.

Διαστασιολόγηση αγωγών νέου δικτύου διανομής

- Στο πρόβλημα υδραυλικής ανάλυσης δικτύου διανομής υπό σχεδιασμό:
 - οι διάμετροι των αγωγών είναι άγνωστες ·
 - τα σενάρια ζήτησης διαμορφώνονται με βάση υποθέσεις των μελλοντικών καταναλώσεων, στο χρονικό ορίζοντα της οικονομικής ζωής του δικτύου.
- 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.
- Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει τον προσδιορισμό ενός εύλογου αρχικού συνόλου διαμέτρων, με βάση την εμπειρία του μελετητή (προφανώς, θα πρέπει να έχει ήδη γίνει επιλογή του υλικού και της κλάσης των αγωγών).
- Γενικές αρχές επιλογής αρχικού συνόλου διαμέτρων:
 - 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)·
 - Διαμορφώνεται ένα πρωτεύον δίκτυο από αγωγούς μεγάλης διαμέτρου (αλλά μικρότερης του ΚΤΑ), που διατρέχει τους μεγάλους οδικούς άξονες και συνδέει μεταξύ τους τους πυροσβεστικούς κρουούς και τους μεγάλους καταναλωτές·
 - Για το δευτερεύον δίκτυο αγωγών μπορεί καταρχήν να εφαρμοστεί η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος (90 mm).

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 δυσμενής 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 **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 κρουνούς σε ακτινωτές απολήξεις·
 - σενάρια με κρουνούς 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 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.
- Στην πράξη, ζητούμενο του σχεδιασμού είναι η λειτουργία του δικτύου σε ένα μικρό, σχετικά, εύρος πιέσεων, της τάξης των 20-40 m.
- Εκτός των πιέσεων, πρέπει να ελέγχονται και οι ταχύτητες ροής των αγωγών, που, εμπειρικά, δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 1.5-2.0 m/s. Διαφορετικά, προκύπτουν ιδιαίτερα μεγάλες κλίσεις της πιεζομετρικής γραμμής, που έχουν ως συνέπεια μεγάλες απώλειες ενέργειας (μη οικονομικός σχεδιασμός).
- 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.
- Κατ' αντιστοιχία, αγωγοί με πολύ μικρές ταχύτητες πρέπει να αντικατασταθούν από αγωγούς μικρότερης διαμέτρου, μέχρι την επιτρεπόμενη ελάχιστη τιμή των 90 mm.

Διαστασιολόγηση αγωγών μέσω βελτιστοποίησης

- Έστω δίκτυο γνωστής τοπολογίας, αποτελούμενο από m αγωγούς άγνωστης διαμέτρου, με τιμές από ένα διακριτό σύνολο τιμών εμπορίου $[\emptyset_1, \emptyset_2, \dots, \emptyset_N]$, και αντίστοιχα μοναδιαία κόστη $[c_1, c_2, \dots, c_N]$. Το πρόβλημα διαστασιολόγησης μπορεί να αυτοματοποιηθεί, με διατύπωσή του σε όρους βελτιστοποίησης του συνολικού κόστους των αγωγών, ως εξής:

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

$$\text{s.t. } d_j \in (\emptyset_1, \emptyset_2, \dots, \emptyset_N) \text{ για κάθε κλάδο } j$$

$$h_i - z_i \geq \rho_{i, \min} \text{ για κάθε κόμβο } i$$

- 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 και περιορισμών.
 - τον υπολογιστικό φόρτο που απαιτεί η αποτίμηση της συνάρτησης κόστους (προϋποθέτει υδραυλική επίλυση του δικτύου, για πολλαπλά σενάρια φόρτισης).
- Εφαρμόζονται εξειδικευμένες τεχνικές, κατάλληλες για μη κυρτούς χώρους, με πολλούς περιορισμούς και πολλά τοπικά ακρότατα (ευρετικοί γενετικοί αλγόριθμοι).
- Μαθηματικά βέλτιστες λύσεις μπορεί να παρουσιάζουν κατασκευαστικές δυσκολίες (π.χ. ακανόνιστες εναλλαγές διαμέτρων).