

# Πρόβλεψη της ζήτησης νερού αστικής χρήσης

Στ. Γιαννόπουλος<sup>1</sup> και Μ. Σπανοθύμιου<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,  
Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,  
Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, 54124 Θεσσαλονίκη

## Περίληψη

Η εκτίμηση, η πρόβλεψη και η εξέλιξη με το χρόνο των μελλοντικών καταναλώσεων είναι απαραίτητη, τόσο για τη μελέτη και το σχεδιασμό νέων συστημάτων ύδρευσης ή την επέκταση αυτών, όσο και για την έγκαιρη επέκταση ή την ανανέωση των εγκαταστάσεων ενός υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης. Η ζήτηση νερού στους κόμβους είναι το σημαντικότερο από τα δεδομένα που επηρεάζει τη συνολική ανταπόκριση ενός συστήματος διανομής νερού και συνεπώς, πρέπει να προσδιορίζεται με ακρίβεια. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την πρόβλεψη της ζήτησης νερού αστικής χρήσης, εξετάζει τις διάφορες κατηγορίες χρήσεων και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν, τα μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης νερού οικιακής κατανάλωσης και το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στη χώρα μας για την εκπόνηση μελετών ύδρευσης.

## 1. Εισαγωγή

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των δικτύων ύδρευσης όσον αφορά στις παροχές, στις πιέσεις και στις διάφορες παραμέτρους ποιότητας του νερού για διαφορετικές συνθήκες και καταστάσεις λειτουργίας. Σ' αυτό συνέβαλε και η ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστών, που έδωσε τη δυνατότητα προσομοίωσης της συμπεριφοράς των δικτύων ύδρευσης για οποιοδήποτε σχεδόν σενάριο (Epp and Fowler 1970, Wood and Rayes 1981, Hamberg and Shamir 1988, Rossman 2000, Prasad et al. 2004, Ostfeld 2005).

Όμως, η ακριβής πρόβλεψη των πιέσεων, των παροχών και των παραμέτρων ποιότητας του νερού στα δίκτυα ύδρευσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου. Δεδομένα που απαιτούνται για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του νερού, όπως είναι οι συντελεστές τριβής των αγωγών, η ζήτηση στους κόμβους και η χρονική μεταβολή της περιέχουν αβεβαιότητες και συνεπώς, επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Συνήθως, οι συντελεστές τριβών των αγωγών, καθορίζονται πειραματικά ή με βαθμονόμηση, που σημαίνει ότι οι τιμές τους δεν είναι ακριβείς, ενώ η ζήτηση στους κόμβους υπολογίζεται, είτε με βάση την κατά κεφαλή χρήση νερού και την περιο-

χή και την πυκνότητα του πληθυσμού γύρω από κάθε κόμβο με διάφορα μοντέλα, είτε με βαθμονόμηση που σημαίνει, επίσης, ότι η εκτιμώμενη ζήτηση περιλαμβάνει αβεβαιότητες λόγω των αβεβαιοτήτων των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή της.

Σύμφωνα με τους Ormsbee (1989) και Ormsbee and Lingireddy (1997), η αβεβαιότητα της ζήτησης στους κόμβους και η διακύμανση αυτής με το χρόνο, καθώς επίσης και η αβεβαιότητα των συντελεστών τριβής στους αγωγούς είναι οι δύο κύριες πηγές σφαλμάτων, που είναι υπεύθυνες για τις αποκλίσεις μεταξύ των μετρημένων και των τιμών των παροχών και των πιέσεων που προκύπτουν από τη χρήση ενός μοντέλου δικτύου ύδρευσης.

Όσον αφορά ποια από τις δύο αυτές πηγές αβεβαιότητας είναι η σημαντικότερη φαίνεται ότι υπάρχει διχογνωμία στη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, η American Water Works Association Research Committee (AWWARC, 1974) θεωρεί τη ζήτηση στους κόμβους και τη διακύμανσή της με τον χρόνο ως την κύρια πηγή σφαλμάτων, ενώ οι Eggener and Polkowski (1975) θεωρούν τους συντελεστές τριβής των αγωγών ως τις σημαντικότερες πηγές σφαλμάτων. Ο Almandoz (2003), σύμφωνα με τους Al-Omari and Abdulla (2009), κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ζήτηση στους κόμβους είναι το σημαντικότερο από τα δεδομένα που επηρεάζει την συνολική ανταπόκριση ενός συστήματος διανομής νερού και συνεπώς, θα πρέπει να προσδιορίζεται με ακρίβεια. Όμως, ο καθορισμός της ζήτησης νερού και η πρόβλεψη της χρονικής της εξέλιξης δεν είναι μια απλή διαδικασία και επειδή η αστοχία των συστημάτων ύδρευσης συνεπάγεται σοβαρές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες, το θέμα χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζονται:

- (α) η πρόβλεψη της ζήτησης νερού αστικής χρήσης,
- (β) οι διάφορες κατηγορίες χρήσεων και οι παράγοντες που τις επηρεάζουν,
- (γ) τα μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης νερού οικιακής κατανάλωσης και
- (δ) το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στη χώρα μας για την εκπόνηση μελετών ύδρευσης και τέλος, γίνονται σχετικές προτάσεις για τη βελτίωση του.

## 2. Κατηγορίες χρήσεων νερού

Η ζήτηση νερού (water demand), γνωστή και ως κατανάλωση νερού (water consumption) ή χρήση νερού (water use), είναι στην πραγματικότητα η κινητήρια δύναμη που προκαλεί την υδραυλική δυναμική σ' ένα σύστημα διανομής νερού. Σ' ένα τέτοιο σύστημα, το νερό μπορεί να το εγκαταλείψει σε οποιοδήποτε σημείο αυτού, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση το σημείο αυτό αποτελεί σημείο ζήτησης ή κατανάλωσης (κόμβος) και μπορεί να είναι ιδιωτική παροχή, διαρροή, πυροσβεστικός κρουνός κ.λπ.

Ένα δίκτυο ύδρευσης πρέπει να μελετηθεί και να σχεδιαστεί κατά τρόπο, που

να καλύπτει όλες τις ανάγκες του οικισμού δηλαδή οικιακές, δημόσιες, εμπορικές, βιομηχανικές, γεωργοκτηνοτροφικές κ.λπ.

Σημειώνεται ότι με τους όρους:

- (α) *Οικιακή χρήση* (domestic use) νοείται το νερό που καλύπτει τις ανάγκες ενός νοικοκυριού, όπως είναι η πόση, το μαγείρεμα, η καθαριότητα, το πότισμα των κήπων, το πλύσιμο των αυτοκινήτων και άλλες οικιακές ανάγκες.
- (β) *Δημόσια χρήση* (public use) νοείται το νερό που καλύπτει τις ανάγκες δημοσίων και δημοτικών πάρκων, νοσοκομείων, σχολείων, δημοσίων υπηρεσιών, στρατώνων κ.λπ.
- (γ) *Εμπορική χρήση* (commercial use) νοείται το νερό που καλύπτει τις ανάγκες εμπορικών κέντρων, γραφείων, ξενοδοχείων, εστιατορίων κ.λπ.
- (δ) *Βιομηχανική χρήση* (industrial use) νοείται το νερό που καλύπτει τις ανάγκες της βιομηχανίας για ενσωμάτωση στο τελικό προϊόν, ψύξη, καθαρισμό κ.λπ.
- (ε) *Γεωργοκτηνοτροφική χρήση* νοείται το νερό που καλύπτει τις ανάγκες μικρών λαχανόκηπων ή κήπων που λειτουργούν δίπλα σε κατοικίες και αρδεύονται από το δίκτυο ύδρευσης και ζώων, μικρών ή μεγάλων, που υδρεύονται από το δίκτυο ύδρευσης σε γεωργικούς οικισμούς.

Σε ένα οικισμό μπορούν να συνυπάρχουν όλες οι ανωτέρω χρήσεις ή ορισμένες από αυτές. Σύμφωνα με τον Bhave (2003), η οικιακή κατανάλωση ανέρχεται σε ποσοστό 30%-50% της συνολικής κατανάλωσης, η δημόσια σε 5%-10%, η εμπορική σε 10%-30% και η βιομηχανική σε 20%-50%. Προφανώς, τα ποσοστά αυτά για καθεμία χρήση είναι ενδεικτικά και εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του οικισμού, αφού καθεμία από τις ανωτέρω χρήσεις εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Στην παρούσα εργασία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται ιδιαίτερα στην περίπτωση της οικιακής κατανάλωσης νερού.

Στη μελέτη ενός δικτύου ύδρευσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι απώλειες νερού, που συνήθως κυμαίνονται από 20-30% της ολικής κατανάλωσης νερού και είναι γνωστές και ως *μη τιμολογημένο νερό* (unaccounted-for water). Σημειώνεται ότι οι απώλειες διακρίνονται σε *φυσικές* ή *πραγματικές* και σε *πλασματικές*. Οι φυσικές απώλειες οφείλονται σε θραύσεις των αγωγών, μη στεγανές συνδέσεις των ειδικών τεμαχίων και των αγωγών, διαρροές δεξαμενών κ.λπ., ενώ οι πλασματικές σε σφάλματα των υδρομετρητών, σε παράνομες παροχές (κλοπές νερού), σε παροχές που δεν μετρούνται, όπως συμβαίνει π.χ. στην υδροδότηση σχολείων, δημοσίων υπηρεσιών, δημοτικών πάρκων, στον καθαρισμό του δικτύου κ.λπ.

Στην Ελλάδα για την περίπτωση των μελετών των δικτύων ύδρευσης, η Κ.Υ.Α. Δ11/Φ16/8500/22-3-1991 (Φ.Ε.Κ. 174/τ. Β/22-3-1991) ορίζει ανώτατα ποσοστά απωλειών για τις τυχόν απώλειες νερού στα εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης ανάλογα με την ηλικία τους ως εξής:

- (α) για δίκτυα ηλικίας μέχρι 35 ετών ποσοστό απωλειών μέχρι 20% και
- (β) για δίκτυα μεγαλύτερης ηλικίας ποσοστό απωλειών μέχρι 40%.

### 3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση νερού οικιακής χρήσης

Η ανάλυση και η κατανόηση των χαρακτηριστικών της οικιακής ζήτησης νερού είναι βασικής σημασίας στοιχείο, τόσο για την πρόβλεψη, όσο και την ανάπτυξη προγραμμάτων διαχείρισης αυτής. Συγκεκριμένα, ενδιαφέρουν οι διάφοροι παράγοντες που την επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα, μερικοί από τους οποίους είναι ιδιαίτερης σημασίας, όπως π.χ. είναι:

#### ⇒ *Ο πληθυσμός και η σύνθεση της οικογένειας*

Σ' ένα δίκτυο ύδρευσης ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι συνήθως ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την κατανάλωση νερού. Η οικιακή χρήση του πόσιμου νερού διακρίνεται σε χρήση στους εσωτερικούς χώρους (indoor use) και στην υπαίθρια (outdoor use). Στην πρώτη περίπτωση, η χρήση νερού εξαρτάται κυρίως από τις συνήθειες των κατοίκων και τον τύπο των χρησιμοποιούμενων συσκευών, το μέγεθος και το είδος της κατοικίας (μονοκατοικία, πολυκατοικία, εξοχική κατοικία), τον αριθμό των συγκατοικούντων ατόμων και τις συνήθειες τους, όσον αφορά στη συχνότητα ατομικής και οικιακής καθαριότητας ή της καθαριότητας αυτοκινήτου κ.λπ. Η υπαίθρια χρήση νερού εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από το μέγεθος της έκτασης που θα αρδευτεί, το είδος της βλάστησης (χλόη, καλλωπιστικά φυτά, δένδρα κ.λπ.) και το κλίμα. Αν και η υπαίθρια χρήση αποτελεί μόνο το ένα τρίτο της συνολικής οικιακής χρήσης, θεωρείται ότι είναι πιο σημαντική από την εσωτερική λόγω της μεταβλητότητας στο χώρο και στο χρόνο. Συγκεκριμένα, για ένα δεδομένο τύπο βλάστησης, οι απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό ανά τετραγωνικό μέτρο μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο και την κλίση του εδάφους, την αρδευτική δόση και τη μέθοδο άρδευσης, τη θερμοκρασία του αέρα κ.λπ. Ένα άλλο στοιχείο που επηρεάζει την κατανάλωση είναι η σύνθεση της οικογένειας. Συγκεκριμένα, σε περιοχές όπου το ποσοστό των ανθρώπων νεαρής ηλικίας είναι μεγαλύτερο, η κατανάλωση νερού είναι υψηλότερη λόγω αυξημένων απαιτήσεων για πλύσιμο, καθαρισμό κ.λπ. και τη συχνότητα χρήσης νερού υπαίθριας κατανάλωσης κατά τις αργίες (Nauges and Thomas, 2000).

#### ⇒ *Οι οικονομικές συνθήκες*

Η ζήτηση νερού είναι συνάρτηση της οικονομικής κατάστασης και του βιοτικού επιπέδου των χρηστών (Renwick and Green, 2000). Οι Saunders and Warford (1976) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ζήτηση νερού αυξάνει με την αύξηση του εισοδήματος των καταναλωτών. Έχει διαπιστωθεί ότι σε συνδυασμό με το εισόδημα του χρήστη, η χρηματική αξία της κατοικίας, αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τη ζήτηση του νερού αστικής χρήσης και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες ως δείκτης του οικογενειακού εισοδήματος (Nieswiadomy and Molina 1989, Hewitt and Hanemann 1995). Μια οικογένεια με υψηλό βιοτικό επίπεδο και αυξημένο εισόδημα, έχει τη δυνατότητα να αγοράσει συσκευές που χρησιμοποιούν περισσότερο νερό, όπως επίσης να διαθέτει και εγκαταστάσεις που καταναλώνουν

νερό, όπως π.χ. πισίνα, κήπους κ.λπ. Ένα άλλο στοιχείο, που έχει σχέση με το εισόδημα και που επηρεάζει την κατανάλωση νερού είναι το είδος της κατοικίας (μονοκατοικία, διαμέρισμα, εξοχική κατοικία) (Linaweaver et al., 1966).

#### ➤ *Κοινωνικές συνθήκες*

Η κοινωνική συμπεριφορά είναι στενά συνδεδεμένη με την οικονομική κατάσταση σε βαθμό που οι πιο πολλές κοινωνικές μεταβολές να θεωρούνται συνέπεια κάποιας οικονομικής μεταβολής. Οι κοινωνικές δραστηριότητες, το επίπεδο μόρφωσης και οι συνήθειες των καταναλωτών διαφοροποιούν τη ζήτηση από περιοχή σε περιοχή. Οι κοινωνικοί παράγοντες επηρεάζουν την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται, αλλά και τις χρήσεις αυτού (Khatri and Vairavamoorthy, 2009). Η ζήτηση καθορίζεται από την προθυμία του καταναλωτή να πληρώσει για επιπλέον ποσότητες νερού, ενώ οι χρήσεις του νερού σχετίζονται με την κουλτούρα και τις συνήθειες των καταναλωτών. Από μελέτες έχει προκύψει ότι το μέγεθος της οικογένειας (αριθμός ατόμων) είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κατ' άτομο κατανάλωση νερού. Συγκεκριμένα, κατά τον Whitford (1972), η κατά κεφαλή κατανάλωση νερού αυξάνεται με το μορφωτικό επίπεδο των ατόμων και μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της κατοικίας.

#### ➤ *Η πρόοδος της τεχνολογίας*

Τα τεχνολογικά επιτεύγματα μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα επίπεδα κατανάλωσης ύδατος. Για παράδειγμα, η ευρέως διαδεδομένη εγκατάσταση πλυντηρίων πιάτων και ρούχων στα νοικοκυριά οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης του νερού οικιακής χρήσης (Billings and Jones, 1996).

#### ➤ *Οι κλιματικές συνθήκες*

Η κατανάλωση νερού εξαρτάται από τις εποχιακές μεταβολές που οφείλονται στο κλίμα της κάθε περιοχής. Οι σημαντικότεροι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση νερού είναι η βροχή και η θερμοκρασία. Υπάρχει μια σημαντική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών κλιματικών παραγόντων με την ποσότητα του νερού που απαιτείται για μια συγκεκριμένη περίοδο. Η ζήτηση του νερού είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία και αντιστρόφως ανάλογη με το ύψος της βροχής. Η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται πάντα το καλοκαίρι. Τα ψηλά επίπεδα ζήτησης το καλοκαίρι οφείλονται στη χρήση νερού για εξωτερικές δραστηριότητες, όπως το πότισμα των κήπων και η κηπουρική καθώς και η χρήση κλιματιστικών, αλλά και στη συχνότερη ατομική καθαριότητα, πλύσιμο ρούχων κ.λπ. Σε μερικές περιοχές με κρύο κλίμα, η μέγιστη κατανάλωση εμφανίζεται το χειμώνα, καθώς για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στους σωλήνες της ύδρευσης τις ψυχρές μέρες, αφήνεται μια μόνιμη ροή, η οποία τελικά χάνεται (Bhave, 2003). Οι εποχιακές μεταβολές της ζήτησης του νερού είναι σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό ενός δικτύου διανομής, καθώς οι βραχυπρόθεσμες μεταβολές της ζήτησης του νερού παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό της χωρητικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και της διάθεσης του, αλλά και της σωστής διαχεί-

ρισης του (Billings and Jones, 1996).

#### ➤ *Η τιμή του νερού*

Τα αποτελέσματα της τιμολόγησης του νερού είναι εξίσου σημαντικά, τόσο για τη μακροπρόθεσμη, όσο και για τη βραχυπρόθεσμη ζήτηση. Η τιμή του νερού είναι ένας σημαντικός παράγοντας καθορισμού της ζήτησης νερού από τους καταναλωτές. Αύξηση της τιμής μπορεί να επιφέρει βραχυπρόθεσμες αλλαγές (μέσα σε λίγους μήνες) στην συμπεριφορά των καταναλωτών. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να περιλαμβάνουν μείωση του νερού που καταναλώνεται για το πλύσιμο των αυτοκινήτων ή το πότισμα των κήπων, αλλά και την συνετή χρήση νερού μέσα στο σπίτι. Μακροπρόθεσμα, αν μια αξιοσημείωτη χρέωση συμβαδίζει με τον πληθωρισμό, οι καταναλωτές θα στραφούν σε συσκευές εξοικονόμησης νερού και θα εξετάσουν καινοτομίες που θα οδηγήσουν σε μείωση της κατανάλωσης. Θα προτιμήσουν για παράδειγμα μεθόδους ποτίσματος των κήπων τους, που δεν θα απαιτούν πολύ νερό, αλλά θα μεριμνούν και για τη συχνή συντήρηση ή και αλλαγή των συσκευών τους για την αποφυγή των διαρροών (Arbués et al., 2003).

#### ➤ *Προγράμματα εξοικονόμησης νερού*

Τα προγράμματα εξοικονόμησης νερού εφαρμόζονται από τις εταιρίες ύδρευσης και έχουν στόχο την πληροφόρηση των καταναλωτών σε θέματα νερού και στο πως θα καταναλώνουν λιγότερο νερό. Η εμπειρία έχει δείξει ότι σε περιόδους ξηρασίας ή προβλημάτων στην παραγωγή νερού η εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων, αν και προσωρινά, έχει μειώσει αισθητά την κατανάλωση.

#### ➤ *Απώλειες νερού*

Ένας από τους πιο συχνούς παράγοντες αύξησης της κατανάλωσης είναι οι απώλειες νερού σε επίπεδο τελικού χρήστη. Με τον όρο απώλειες νερού σε επίπεδο τελικού χρήστη νοούνται οι απώλειες σημαντικών ποσοτήτων νερού μέσω των διαρροών από βρύσες που τρέχουν και από τους σωλήνες που μεταφέρουν το νερό μετά τα υδρόμετρα. Η παλαιότητα και η φυσική υποβάθμιση του συστήματος διανομής νερού και των υδραυλικών εγκαταστάσεων είναι παράγοντες που οδηγούν σε αύξηση των απωλειών από διαρροές και σπασμένους σωλήνες. Το μέγεθος αυτών των απωλειών σε ένα παλιό σύστημα είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Η ποσότητα του νερού που χάνεται, τελικά πληρώνεται από τους καταναλωτές χωρίς όμως να έχει χρησιμοποιηθεί.

## **4. Η διακύμανση της κατανάλωσης οικιακής χρήσης**

Η κατανάλωση νερού δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά εμφανίζει εποχιακές, μηνιαίες, εβδομαδιαίες, ημερήσιες και ωριαίες διακυμάνσεις. Τα αίτια στα οποία οφείλονται οι διακυμάνσεις αυτές είναι (Γιαννόπουλος, 2001):

- Για τις ετήσιες, οι αυξομειώσεις του πληθυσμού και οι κλιματολογικές συνθή-

κες κατά τη διάρκεια του έτους.

- Για τις εποχιακές, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια των διαφόρων εποχών του έτους. Συγκεκριμένα, συνήθως κατά τη διάρκεια του θέρους η ειδική κατανάλωση ανά κάτοικο αυξάνει. Όμως, αύξηση της συνολικής ζήτησης μπορεί να λάβει χώρα και λόγω της προσωρινής αύξησης του αριθμού των καταναλωτών, όπως συμβαίνει π.χ. στις περιοχές εξοχικής κατοικίας ή στα τουριστικά θέρετρα.
- Για τις μηνιαίες, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια των διαφόρων μηνών του έτους. Για παράδειγμα, έχει διαπιστωθεί ότι η κατανάλωση νερού είναι υψηλότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες απ' ό,τι κατά τους χειμερινούς. Οι μεταβολές αυτές εντείνονται ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής στη συνολική κατανάλωση χρηστών με κλιματική εξάρτηση, όπως είναι οι τουρίστες, οι κάτοικοι εξοχικών περιοχών και χώρων αναψυχής, οι αρδευόμενες εκτάσεις κ.λπ.
- Για τις εβδομαδιαίες, οι διακοπές και οι άδειες των εργαζομένων. Συγκεκριμένα, η ζήτηση νερού μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των εργασιμων και μη εργασιμων ημερών της εβδομάδας. Οι μεταβολές αυτές γίνονται εντονότερες ανάλογα με την έκταση της υδροδοτούμενης περιοχής και το βαθμό συμμετοχής της βιομηχανικής και της βιοτεχνικής κατανάλωσης στη συνολική κατανάλωση.
- Για τις ημερήσιες, οι εορτές, οι αργίες κ.λπ. Για παράδειγμα, συνήθως η κατανάλωση νερού είναι μικρότερη το Σάββατο και την Κυριακή, αλλά και τις αργίες σε σχέση με τις άλλες ημέρες της εβδομάδας.
- Για τις ωριαίες, η ημερήσια δραστηριότητα των ανθρώπων (ωράριο εργασίας, ομοιομορφία απασχόλησης, γεύματα, κ.λπ.). Οι μεταβολές αυτές γίνονται πιο έντονες ανάλογα με την έκταση της υδρευόμενης περιοχής (σημαντικότερες μεταβολές στις μικρότερες περιοχές), όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό συμμετοχής της οικιακής κατανάλωσης στη συνολική κατανάλωση και όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για παράδειγμα, η ζήτηση νερού είναι χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας και υψηλότερη κατά τη διάρκεια του πρωινού ή του απογεύματος.

## 5. Μοντέλα πρόβλεψης της οικιακής κατανάλωσης

Η εκτίμηση, η πρόβλεψη και η εξέλιξη με το χρόνο των μελλοντικών καταναλώσεων είναι απαραίτητη, τόσο για τη μελέτη και το σχεδιασμό νέων συστημάτων ύδρευσης ή την επέκταση αυτών, όσο και για την έγκαιρη επέκταση ή την ανανέωση των εγκαταστάσεων ενός υφιστάμενου δικτύου ύδρευσης. Στις περιπτώσεις αυτές, τα τεχνικά έργα που προγραμματίζονται να κατασκευαστούν ή να αντικατασταθούν ή να συμπληρωθούν θα πρέπει να εξασφαλίζουν λειτουργική επάρκεια για όλη την περίοδο σχεδιασμού τους. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται η πρόβλεψη της εξέλιξης των καταναλώσεων μέχρι το τέλος της διάρκειας σχεδιασμού των προ-

γραμματιζόμενων έργων. Στη βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφορα μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης νερού αστικής χρήσης καθένα από τα οποία παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η επιλογή ενός από τα μοντέλα αυτά εξαρτάται μεταξὺ των άλλων και από το σκοπό της πρόβλεψης.

### 5.1. Μοντέλα που βασίζονται σε καταμετρήσεις της κατανάλωσης

Οι εταιρείες ύδρευσης (στη χώρα μας οι Δ.Ε.Υ.Α., Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε, Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε.) τηρούν αρχεία με την κατανάλωση νερού από κάθε χρήστη. Με βάση τις καταμετρήσεις αυτές των χρήσεων νερού έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία οι εξής τεχνικές προσέγγισης της πρόβλεψης του νερού οικιακής κατανάλωσης (Boland, 1997):

#### ⇒ Το διμεταβλητό μοντέλο

Πρόκειται για ένα απλό μαθηματικό μοντέλο με τη γραμμική μορφή:

$$Q = a + b X \quad (1)$$

όπου  $Q$  = η χρήση νερού στη μονάδα του χρόνου,  $X$  = επεξηγηματική μεταβλητή και  $a, b$  = συντελεστές.

Το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί για την άθροιση ή την ανάλυση των χρήσεων νερού. Στην εξίσωση (1) η εξαρτημένη μεταβλητή  $Q$  μπορεί να αντιπροσωπεύει τη συνολική αστική χρήση νερού ή την οικιακή χρήση νερού ή τη χρήση νερού μιας συγκεκριμένης κατηγορίας χρηστών. Επίσης, η  $Q$  μπορεί να είναι ένα μέτρο της μέσης ετήσιας χρήσης νερού, της χρήσης νερού το καλοκαίρι, ή της μέγιστης ημερήσιας χρήσης. Στις περισσότερες εφαρμογές υποτίθεται ότι  $a = 0$ .

#### ⇒ Το μοντέλο της κατά κεφαλήν ζήτησης

Πρόκειται για μια παραλλαγή του διμεταβλητού μοντέλου, που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$Q = b P,$$

όπου  $Q$  = η μέση ημερήσια συνολική χρήση νερού,  $P$  = ο πληθυσμός της εξυπηρετούμενης περιοχής και  $b$  = η κατά κεφαλή χρήση νερού.

Το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι η κατανάλωση νερού είναι συνάρτηση μιας μόνο μεταβλητής δηλαδή μόνο του πληθυσμού και ότι οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι είτε ασήμαντες, είτε απόλυτα συσχετισμένες με τον πληθυσμό. Έτσι, λοιπόν, για την εφαρμογή του τα μόνα στοιχεία που απαιτούνται είναι η κατά κεφαλή κατανάλωση νερού και ο πληθυσμός. Όμως, η κατά κεφαλή κατανάλωση είναι διαφορετική σε καθεμία περιοχή και μπορεί να αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Γι' αυτό το λόγο λοιπόν, το μοντέλο αυτό δεν μπορεί να εξηγήσει ικανοποιητικά τη ζήτηση του νερού και θεωρείται αναξιόπιστο. Σημειώνεται ότι ενώ το μοντέλο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση της οικιακής κατανάλωσης, όπου η κατανάλωση σχετίζεται άμεσα με τον πληθυσμό ή μάλλον πιο σωστά με τον αριθ-



μό των σπιτιών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα όσον αφορά στη βιομηχανική, στην εμπορική και στη δημόσια/δημοτική χρήση, όπου καθένας από τους τομείς αυτούς εξαρτάται από πλήθος μεταβλητών, στις οποίες μπορεί να περιλαμβάνεται ή όχι και ο πληθυσμός.

⇒ *Το μοντέλο του συντελεστή μοναδιαίας χρήσης*

Το μοντέλο αυτό είναι στην πραγματικότητα εφαρμογή του διμεταβλητού μοντέλου, όπου οι τομείς και οι κατηγορίες των χρηστών για τους οποίους πρόκειται να γίνει η πρόβλεψη είναι σημαντικά μικροί. Για παράδειγμα, σ' ένα κτίριο γραφείων ο αριθμός των εργαζομένων μπορεί να θεωρηθεί μια μεταβλητή που μπορεί να περιγράψει κατά ικανοποιητικό τρόπο την πρόβλεψη της κατανάλωσης νερού στις εγκαταστάσεις των γραφείων, έστω και αν υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση του νερού, όπως είναι π.χ. η τιμή, ο καιρός κ.λπ.

⇒ *Τα πολυπαραμετρικά μοντέλα*

Τα μοντέλα αυτά μπορούν να λάβουν τη μορφή:

$$Q = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n, \quad (2)$$

όπου  $Q$  = η χρήση νερού στη μονάδα του χρόνου,  $X_i$  = επεξηγηματική μεταβλητή  $i$  και  $a, b_1, b_2, \dots, b_n$  = συντελεστές.

Στην περίπτωση, που οι μεταβλητές στην εξίσωση (2) αντικατασταθούν με τους φυσικούς τους λογαρίθμους, τότε η εξίσωση (2) παίρνει την μορφή:

$$Q = a X_1^\beta X_2^\gamma X_3^\delta \dots \quad (3)$$

όπου  $a, \beta, \gamma, \delta, \dots$  = συντελεστές.

Σε περιπτώσεις που πολλές μεταβλητές επηρεάζουν την ίδια κατηγορία χρήσης νερού, η χρήση της εξίσωσης (3) είναι καταλληλότερη σε σχέση με την (2). Για παράδειγμα, αν η τιμή και το μέγεθος ενός σπιτιού επηρεάζουν την οικιακή κατανάλωση, τότε η σχέση τους είναι πολλαπλασιαστική και το καταλληλότερο μοντέλο είναι η (3), ενώ αν το μέγεθος του σπιτιού επηρεάζει την εσωτερική και η τιμή την εξωτερική κατανάλωση, τότε η σχέση τους είναι προσθετική και συνεπώς το καταλληλότερο μοντέλο είναι η (2). Σε πιο σύνθετες περιπτώσεις μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο μοντέλων.

⇒ *Τα μοντέλα πολυπαραμετρικών απαιτήσεων*

Στην οικονομική θεωρία, ο όρος «απαιτήσεις» σημαίνει ότι η ζήτηση ενός αγαθού είναι ανεξάρτητη της τιμής του. Στην περίπτωση της ζήτησης του νερού, ο όρος αυτός συνήθως χρησιμοποιείται για να συσχετιστούν οι παράμετροι του μοντέλου με την κατανάλωση. Για παράδειγμα, ένας αναλυτής μπορεί να συγκεντρώσει στοιχεία για διάφορες μεταβλητές, να αναπτύξει ένα μοντέλο που ταιριάζει στα διαθέσιμα του στοιχεία και στη συνέχεια, να διαγράψει κάποιες από τις μεταβλητές, που δεν σχετίζονται με την κατανάλωση του νερού. Η χρήση των μο-

ντέλων πολυπαραμετρικών απαιτήσεων μειώνει το βαθμό της υποκειμενικότητας στην ανάλυση και καθιστά καλύτερη την χρήση των διαθέσιμων στοιχείων. Για τους ανωτέρω λόγους, τα μοντέλα αυτά θεωρούνται, σε γενικές γραμμές, ως βελτίωση των διμεταβλητών μοντέλων. Το μειονέκτημα τους είναι ότι εκφράζουν τη συσχέτιση και όχι την αιτία. Συγκεκριμένα, η αρχική λίστα των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών μπορεί να μην έχει σαν γνώμονα κάποια θεωρία κατανάλωσης νερού και γι' αυτό κάποιοι σημαντικοί παράγοντες να παραλείπονται, ενώ μπορεί να περιέχει ψευδείς συσχετίσεις, που εμφανίστηκαν μεν κατά το παρελθόν, πλην όμως ενδεχομένως να μην επαναληφθούν κατά το μέλλον.

#### ➤ *Τα μοντέλα οικονομετρικής ζήτησης*

Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν αρχές και τεχνικές της οικονομετρίας για τη δημιουργία μοντέλων, που να περιγράφουν την πραγματική κατανάλωση νερού και περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες μεταβλητές, που αφορούν στην τιμή του νερού και όταν είναι εφικτό το εισόδημα του χρήστη και τη δυνατότητα του να πληρώσει. Τα μοντέλα οικονομετρικής ζήτησης έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία για την οικιακή χρήση νερού και ειδικότερα, σε περιοχές μονοκατοικιών.

## **5.2. Σύνθετα μοντέλα**

### 5.2.1. *Το μοντέλο WATFORE*

Το μοντέλο WATFORE (WAtE FOREcasting) είναι ένα πρόγραμμα Η.Υ., το οποίο έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης της ημερήσιας αστικής χρήσης νερού για μια περίοδο ολίγων ημερών ή ολίγων μηνών. Για τη λειτουργία του προγράμματος αυτού απαιτούνται δεδομένα της συνολικά αντλούμενης ποσότητας νερού, των ημερήσιων βροχοπτώσεων, της μέγιστης θερμοκρασίας αέρα και η πρόβλεψη των αναμενόμενων καιρικών συνθηκών. Το πρόγραμμα προβλέπει τις ημερήσιες ανάγκες σε νερό και την πιθανότητα υπέρβασης ορισμένων ορίων χρήσης (Maidment and Shaw 1985, Dziegielewski et al., 1996).

### 5.2.2. *Το μοντέλο IWR-MAIN*

Το μοντέλο IWR-MAIN Water Demand Analysis Software είναι ένα πρόγραμμα Η.Υ., το οποίο έχει τη δυνατότητα μακροχρόνιων προβλέψεων της αστικής χρήσης νερού. Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα διαχωρισμού της ζήτησης σε τομείς κατανάλωσης και συγκεκριμένα, στον οικιακό, στο βιομηχανικό, στον εμπορικό, στο δημόσιο/ δημοτικό τομέα και στη μη τιμολογούμενη χρήση νερού. Οι προβλέψεις της ζήτησης γίνονται για καθένα τομέα ξεχωριστά σύμφωνα με τα επιμέρους μοντέλα που επιλέγονται από το χρήστη. Σημειώνεται ότι τους τομείς αυτούς έχει τη δυνατότητα ο χρήστης να τους μελετήσει ολόκληρους ή και να τους διαχωρίσει σε υποτομείς, τους οποίους έχει τη δυνατότητα να τους καθορίσει μόνος του και σε καθένα υποτομέα να χρησιμοποιήσει διαφορετικό μοντέλο και συγκεκριμένα, αυτό που κατά τη γνώμη του δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Το

μοντέλο έχει τη δυνατότητα εξέτασης διαφόρων πολιτικών διαχείρισης της ζήτησης (σενάρια) και συνεπώς, τη δυνατότητα μελέτης της επιρροής και της αποδοτικότητας καθεμιάς πολιτικής.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τη λειτουργία του προγράμματος είναι:

- (α) Το είδος των κτιρίων, η πυκνότητα και η αξία τους.
- (β) Ο αριθμός των κατοίκων ανά κτίριο.
- (γ) Οι τιμές του νερού και της αποχέτευσης.
- (δ) Τα υπάρχοντα μέτρα περιορισμού της κατανάλωσης, εφόσον υφίστανται.
- (ε) Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.
- (στ) Το εισόδημα των κατοίκων και το είδος της απασχόλησης αυτών κ.λπ..

Τα αποτελέσματα σε μορφή γραφημάτων ή αναφορών (reports) μπορούν να ληφθούν σε διάφορες μορφές, όπως html, .xls και .txt και να αφορούν ετήσιες, εποχιακές, ημερήσιες, ανά μονάδα χρήσης κ.λπ. καταναλώσεις (Davis et al., 1988).

### 5.3 Δημογραφικά μοντέλα πρόβλεψης της ζήτησης

Στην παρούσα εργασία με τον ανωτέρω όρο νοούνται τα μοντέλα που βασίζονται στην πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού της πόλεως στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού του δικτύου ύδρευσης (οικονομική ζωή του έργου) και σ' ένα ανηγμένο μέγεθος μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο, οπότε η προβλεπόμενη μέση ημερήσια απαιτούμενη ποσότητα νερού για οικιακή χρήση δίνεται από την απλή εξίσωση:

$$\begin{aligned} & \text{(απαιτούμενη ποσότητα)} = \\ & = (\text{πληθυσμός στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού}) \times (\text{κατανάλωση ανά κάτοικο}). \end{aligned}$$

Η πρόβλεψη του πληθυσμού γίνεται συνήθως με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου, που περιγράφει τη μεταβολή του πληθυσμού με το χρόνο. Το μοντέλο αυτό δημιουργείται με βάση τις απογραφές του πληθυσμού, που γίνονται ανά δεκαετία από την Εθνική Στατική Υπηρεσία. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης του πληθυσμού, τα οποία σημειώνεται ότι δίνουν αποτελέσματα που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Τέτοια μοντέλα είναι η γραμμική μέθοδος, η γεωμετρική μέθοδος, η μέθοδος με μειούμενο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού, τα οποία ισχύουν για βραχυχρόνιες προβλέψεις (1-10 έτη), η μέθοδος της λογιστικής καμπύλης και η συνθετική μέθοδος που ισχύουν για μακροχρόνιες προβλέψεις (10-50 έτη) (Gupta, 1989).

#### 5.3.1. Η μέθοδος του ανατοκισμού

Πρόκειται για την πιο κλασσική μέθοδο πρόβλεψης πληθυσμού, η οποία εφαρμόζεται συνήθως στις μελέτες δικτύων ύδρευσης στη χώρα μας και περιγράφεται από την εξίσωση

$$E_n = E_o (1 + \varepsilon)^n, \quad (4)$$

όπου  $E_n$  = ο μελλοντικός πληθυσμός μετά από  $n$  έτη,  $E_o$  = ο σημερινός πληθυσμός και  $\varepsilon$  = το μέσο σταθερό ετήσιο ποσοστό αύξησης του πληθυσμού, που υπολογίζεται από τη σχέση

$$\varepsilon = (E_2/E_1)^{1/\Delta t} - 1, \quad (5)$$

όπου  $E_1$  και  $E_2$  οι απογραφές του πληθυσμού κατά τα έτη  $t_1$  και  $t_2$  αντιστοίχως.

Η εκτίμηση του  $\varepsilon$  είναι ένα ιδιαίτερης σημασίας θέμα όσον αφορά στην εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού μιας πόλεως με τη μέθοδο του ανατοκισμού. Συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις οικισμών με μειούμενο πληθυσμό ( $E_2 < E_1$ ), το  $\varepsilon$  προκύπτει από την εξίσωση (5) αρνητικός αριθμός, οπότε από την εξίσωση (4) ο μελλοντικός πληθυσμός  $E_n$  θα είναι μικρότερος από το σημερινό  $E_o$  ( $E_n < E_o$ ) και συνεπώς, το δίκτυο ύδρευσης δεν θα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του οικισμού μέχρι το τέλος της περιόδου σχεδιασμού του δικτύου. Από τα σχετικά νομοθετικά κείμενα που ισχύουν στη χώρα μας για τις μελέτες των δικτύων ύδρευσης, το μόνο που έχουμε υπόψη μας και αναφέρεται στο θέμα αυτό είναι η εγκύκλιος ΕΣ/17405/1970 του άλλοτε Υπουργείου Εσωτερικών, η οποία προτείνει να μην χρησιμοποιούνται τιμές του  $\varepsilon$  στη μέθοδο του ανατοκισμού μικρότερες του 2%, εκτός αν πρόκειται για ορεινούς και άγονους οικισμούς για τους οποίους προτείνει τιμές 1.5% ή και 1%. Επιπλέον, η εγκύκλιος αυτή συνιστά ακόμη και σε περιπτώσεις μειούμενου πληθυσμού να μην χρησιμοποιούνται τιμές του  $\varepsilon$  μικρότερες από τις προαναφερθείσες. Όμως, στην περίπτωση της χώρας μας, η εφαρμογή του τύπου του ανατοκισμού με ετήσιο ποσοστό αύξησης 2% για μακρές περιόδους πρόβλεψης του πληθυσμού π.χ. 40 έτη δεν έχει καμία απολύτως σχέση με τη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα, όπως προκύπτει τεκμηριωμένα από τις απογραφές των ετών 1971, 1981, 1991 και 2001 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας (1971-81:  $\varepsilon = 1.056\%$ , 1981-91:  $\varepsilon = 0.522\%$ , 1991-2001:  $\varepsilon = 0.638\%$ ).

Η μέθοδος του ανατοκισμού είναι απλή, αφού δεν απαιτεί επιπλέον στοιχεία εκτός από τα δεδομένα των απογραφών, όμως δεν είναι κατάλληλη για όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μικρούς οικισμούς με πληθυσμό της τάξεως των 5000-6000 κατοίκων και με ένα μέσο σταθερό ετήσιο ποσοστό αύξησης του πληθυσμού  $\varepsilon$  τουλάχιστον ίσο με 1%, ενώ για μεγαλύτερους οικισμούς μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικές προβλέψεις. Σε κάθε περίπτωση πάντως, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες κατά την πρόβλεψη του μελλοντικού πληθυσμού, όπως π.χ. είναι η σχέση γεννήσεων-θανάτων (φυσική κίνηση του πληθυσμού), η δυνατότητα τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής, οι τάσεις μετακίνησης του πληθυσμού από τα μικρότερα προς τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα ή και αντίστροφα, η ανάπτυξη της πόλης κατά το παρελθόν, οι προσωρινές ή όχι μετακινήσεις του πληθυσμού, το ρυθμιστικό σχέδιο της περιοχής (αν υπάρχει), το πολεοδομικό σχέδιο κ.λπ. (Fair et al., 1971).

### 5.3.2. Ειδικές καταναλώσεις

Η ειδική κατανάλωση δηλαδή η ανηγμένη ανά κάτοικο μέση ημερήσια κατανά-

λωση εξαρτάται από (Fair et al., 1971) τις κλιματικές αλλαγές, το επίπεδο ζωής, την ύπαρξη ή όχι δικτύου αποχέτευσης, την αξία του νερού, την ποιότητα του νερού, την πίεση στο δίκτυο, το είδος της χρήσης (εμπορική, βιομηχανική, βιοτεχνική κ.λπ.) κ.α. Για τις ελληνικές συνθήκες η ανηγμένη ανά κάτοικο μέση ημερήσια κατανάλωση κυμαίνεται από 150-250 L/κάτ/μέρα με μέση τιμή τα 200 L/ημ/κατ. Για τουριστικές εγκαταστάσεις και νοσοκομεία η κατά κεφαλή κατανάλωση θεωρείται αυξημένη στα όρια των 300 – 600 L/ημ/κατ. Στην Αθήνα η μέση ετήσια κατανάλωση σχεδιασμού για το έτος 2026 έχει τυποποιηθεί από την ΕΥΔΑΠ σε 235 L/ημ/κατ για περιοχές μέσης και κατώτερης εισοδηματικής τάξης, σε 310 L/ημ/κατ για περιοχές ανώτερης εισοδηματικής τάξης και σε 380 L/ημ/κατ για ημιαστικοπαραθεριστικές (Ο.Ε.Μ.Κ.-Α-2.1.). Σημειώνεται ότι στη χώρα μας ισχύει η Κ.Υ.Α. Δ11/Φ16/8500/22-3-1991, η οποία καθορίζει τα ανώτατα και κατώτατα όρια των ειδικών καταναλώσεων για την ορθολογική χρήση νερού στην ύδρευση.

## **6. Λοιπές χρήσεις αστικού νερού**

### **➤ Βιομηχανικές και βιοτεχνικές χρήσεις**

Η ζήτηση νερού για βιομηχανική και βιοτεχνική χρήση εκδηλώνεται σε όλη τη διάρκεια του έτους και σε γενικές γραμμές, είναι σταθερή, απαιτείται δε κατά τις εργάσιμες ημέρες και ώρες για τις μικρές μονάδες και σε συνεχή βάση για τις μεγάλες βιομηχανίες. Η εκτίμηση των βιομηχανικών και βιοτεχνικών αναγκών σε ημερήσια βάση γίνεται με τη βοήθεια στοιχείων της βιβλιογραφίας και σύμφωνα με τον κλάδο παραγωγής.

### **➤ Τουριστικές χρήσεις**

Η ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών του τουρισμού εμφανίζεται σε ορισμένες περιόδους του έτους και δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές από ημέρα σε ημέρα. Επίσης, η διακύμανση της κατανάλωσης για τουριστική χρήση κατά τη διάρκεια του 24ώρου είναι αρκετά λιγότερα έντονη σε σχέση με αυτή των μόνιμων κατοίκων. Η πρόβλεψη των μελλοντικών αναγκών για τουριστική χρήση μπορεί να γίνεται με βάση τις τάσεις του ιστορικού δείγματος και θα πρέπει να διαφοροποιείται ανάλογα, αν πρόκειται για παραθεριστές ή τουρίστες.

### **➤ Δημόσιες και δημοτικές χρήσεις**

Αποτελούν, κατά κανόνα, μικρό ποσοστό της συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης.

### **➤ Πυροσβεστικές ανάγκες**

Οι ανάγκες αυτές προκύπτουν μόνο σε έκτακτες καταστάσεις (πυρκαϊά), που διαρκεί για ορισμένες ώρες και για συγκεκριμένο αριθμό πυροσβεστικών κρουσών που μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα.

## 7. Αβεβαιότητες – Εναλλακτικά σενάρια

Η πρόβλεψη της ζήτησης νερού οικιακής χρήσης με τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν εμπεριέχουν κινδύνους και αβεβαιότητες, που μπορούν να οφείλονται σε αστοχία του μοντέλου πρόβλεψης, στην ποιότητα των δεδομένων (ελλείψεις ή σφάλματα) και στις υποθέσεις που έγιναν για τη δημιουργία του μοντέλου αυτού. Γι' αυτό το λόγο οι προβλέψεις για την κατανάλωση νερού αστικής χρήσης και η χρονική εξέλιξη της, όπως επίσης και των διαφόρων συνιστωσών της δεν πρέπει να καταλήγουν σε ακριβείς ή σε μοναδικές τιμές, αλλά πρέπει να κυμαίνονται μέσα σε κάποια λογικά όρια ανάλογα με το είδος των υποθέσεων που γίνονται κάθε φορά για την εξέλιξη της κατανάλωσης και των συνιστωσών της. Κατ' αυτό τον τρόπο, ο συνδυασμός των επιμέρους συμβατών υποθέσεων και η δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμα εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων κατά τη μελέτη ενός δικτύου ύδρευσης.

## 8. Το θεσμικό πλαίσιο εκπόνησης μελετών δικτύων ύδρευσης στην Ελλάδα

Το θεσμικό πλαίσιο στο οποίο στηρίζεται η εκπόνηση των μελετών ύδρευσης στην Ελλάδα είναι:

- Το Π.Δ/γμα 696/1974 «Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, κ.λπ. ..., Υδραυλικών ...» και συγκεκριμένα, τα άρθρα από 204 μέχρι 207 αυτού, με τα οποία καθορίζονται: οι γενικοί τεχνικοί όροι εκπονήσεως των μελετών υδρεύσεως και περιγράφονται οι υποχρεώσεις των Μελετητών και οι σχέσεις αυτών με τους Εργοδότες για την τεχνοοικονομική εκτέλεση των έργων κ.λπ.
- Η Εγκύκλιος αρ. πρωτ. ΕΣ./17405/1970 του άλλοτε Υπουργείου Εσωτερικών με την οποία ρυθμίζονται διάφορα θέματα μελετών δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης, που εκπονούνται από τους Ο.Τ.Α.
- Η Κ.Υ.Α. Δ11/Φ16/8500/22-3-1991 με την οποία καθορίζονται τα κατώτατα και τα ανώτατα όρια των ειδικών καταναλώσεων για την ορθολογική χρήση του νερού στην ύδρευση για το σύνολο της χώρας.

Επιπλέον, υπάρχει και το πρότυπο τεύχος Ο.Ε.Μ.Κ.-Α-2.1. των άλλοτε Υπουργείων Εθνικής Οικονομίας και Οικονομικών και ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., που είναι ο Οδηγός Επίβλεψης Μελετών και Κατασκευών Υδραυλικών Έργων και στο οποίο περιέχονται και θέματα που αφορούν στις μελέτες ύδρευσης.

Το θεσμικό πλαίσιο που ισχύει στη χώρα μας, σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού, περιλαμβάνει:

- (α) την Υ.Δ. ΥΜ/5673/57 «Περί απολυμάνσεως του ύδατος των υδρεύσεων»,
- (β) την Υ.Δ. Γ3α/761/6-3-1968 «Περί ποιότητας του πόσιμου νερού»,
- (γ) την εγκύκλιο ΔΥΓ2/οικ.39511/6-4-05: «Περί παρακολούθησης της ποιότητας

- του πόσιμου ύδατος, κ.λπ.»,
- (δ) την Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001 «Περί ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 98/83/ΕΚ κ.λπ. και
- (ε) την Κ.Υ.Α. ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295/2007 «Περί τροποποίησης της Υγειονομικής Διάταξης Υ2/2600/2001 κ.λπ.».

## 9. Συμπεράσματα - Σχόλια

Η πρόβλεψη της ζήτησης σ' ένα δίκτυο ύδρευσης είναι μια σύνθετη διαδικασία, που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες για τους οποίους τα δεδομένα μπορούν να λείπουν ή να είναι εσφαλμένα. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται μια σειρά από μεθόδους πρόβλεψης καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα ανάλογα με την εφαρμογή της. Από σχετικές μελέτες που έχουν γίνει για τη σύγκριση των μεθόδων αυτών διαπιστώνεται η ύπαρξη συμπερασμάτων, τα οποία συνηγορούν στην παράλληλη χρήση τους, όταν υπάρχει ανάγκη, ενώ αποτρέπουν τη συνδυασμένη εφαρμογή τους (McGranahan et al., 1997). Όμως, μέχρι σήμερα δεν έχει πλήρως κατανοηθεί η αποτελεσματικότητα και η καταλληλότητα των μεθόδων αυτών λόγω μη ύπαρξης μελετών διερεύνησης της συμπεριφοράς των καταναλωτών πριν και μετά την υλοποίηση ενός έργου ύδρευσης, αλλά ούτε έχει γίνει μια συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων αυτών (Γιαννέλης κ.α., 2005).

Το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στη χώρας μας για την εκπόνηση μελετών δικτύων ύδρευσης δεν αναφέρεται σχετικά για το θέμα αυτό. Συγκεκριμένα, οι προδιαγραφές που καθορίζονται με το Π.Δ. 696/1974 έχουν μια διάρκεια ζωής 36 ετών περίπου, χωρίς να έχουν υποστεί μέχρι σήμερα καμία απολύτως ουσιαστική βελτίωση ή διόρθωση και συνεπώς, στο μεγάλο χρονικό διάστημα που ισχύουν δεν παρακολούθησαν την πρόοδο και τις εξελίξεις στην επιστήμη των υδρεύσεων, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της υγιεινής του πόσιμου νερού, των GIS, της θεωρίας λήψεως αποφάσεων, των βάσεων δεδομένων κ.λπ. Επιπλέον, οι προδιαγραφές αυτές, δεν ακολουθούν διεθνή πρότυπα και πρακτικές, αφού δεν αναφέρονται στην υποχρέωση της δημιουργίας ομοιωμάτων (μοντέλων) της λειτουργίας των δικτύων και δεν κάνουν καμία απολύτως αναφορά σχετικά με τη διερεύνηση της αξιοπιστίας του δικτύου, αλλά ούτε στην εξέταση των επιπτώσεων των χαρακτηριστικών του δικτύου (γεωμετρική μορφή, θέσεις υδροληψιών, ώρες λειτουργίας αντλιοστασίων κ.λπ.) στην ποιότητα του πόσιμου νερού κ.λπ. (Yannopoulos et al., 2009). Επίσης, δεν κάνουν καμία απολύτως αναφορά για έλεγχο σεναρίων λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης ανά 10ετία, 20ετία κ.λπ. ούτε για έλεγχο των επιπτώσεων της λειτουργίας αυτού λόγω π.χ. της σταδιακής κατασκευής του έργου για οικονομικούς ή άλλους λόγους. Ένας έλεγχος, όμως, που είναι απαραίτητος για τον ορθολογικό προγραμματισμό του έργου και των διαφόρων συνιστωσών αυτού. Οι αδυναμίες αυτές δυστυχώς δεν καλύπτονται ούτε από το πρότυπο τεύχος Ο.Ε.Μ.Κ.-Α-2.1.

Η Κ.Υ.Α. Δ11/Φ16/8500/22-3-1991 ορίζει τα κατώτατα και τα ανώτατα όρια των ειδικών καταναλώσεων για την ανθρώπινη κατανάλωση, αλλά για τις άλλες κατηγορίες χρηστών (βιομηχανική, βιοτεχνική, εμπορική κ.λπ.) δεν δίνει σχετικές οδηγίες. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται εν μέρει με το πρότυπο τεύχος Ο.Ε.Μ.Κ.-2-2.1. όπου γίνεται αναφορά για τις βιομηχανικές και τις δημόσιες ή δημοτικές καταναλώσεις όχι όμως και τις εμπορικές, τις κτηνοτροφικές, τις αρδευτικές κ.λπ. καταναλώσεις.

Η ισχύουσα νομοθεσία για την ποιότητα του πόσιμου νερού ορίζει τη συνεχή παρακολούθηση με δειγματοληψίες σε κατάλληλες θέσεις, οι οποίες παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων παροχής νερού μη ικανοποιητικής ποιότητας για τη δημόσια υγεία (Yannopoulos et al., 2009). Όμως, οι δειγματοληψίες αυτές παρουσιάζουν μόνο μια περιορισμένη εικόνα της ποιότητας νερού, γιατί ο έλεγχος γίνεται σε συγκεκριμένα σημεία, ενώ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών ή την εκτέλεση «what if» αναλύσεων λόγω της περιορισμένης κάλυψης και του υψηλού κόστους (Wu, 2006).

Τέλος, η εφαρμογή του τύπου του ανατοκισμού με άκριτη επιλογή ετήσιου ποσοστού αύξησης 2% για μακρές περιόδους πρόβλεψης του πληθυσμού π.χ. 40 έτη σύμφωνα με την εγκύκλιο αρ. πρωτ. ΕΣ./17405/1970 του άλλοτε Υπουργείου Εσωτερικών δεν έχει καμία απολύτως σχέση με τη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα και μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση των έργων (π.χ. δεξαμενές, αντλιοστάσια, αγωγοί κατάθλιψης κ.λπ.) και συνεπώς σε υπολειτουργία αυτών, εφόσον οι παροχές σχεδιασμού ποτέ δεν θα πραγματοποιηθούν ή και αν πραγματοποιηθούν μόνο για μικρό χρονικό διάστημα. Σημειώνεται ότι κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους οι καταναλώσεις είναι σημαντικά μικρότερες από τις παροχές σχεδιασμού και σε περίπτωση που πραγματοποιηθούν ο χρόνος της διάρκειας τους θα είναι περιορισμένος.

Οι ανωτέρω διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι ισχύουσες τεχνικές προδιαγραφές εκπόνησης μελετών έργων ύδρευσης στη χώρα μας χρειάζονται πλήρη αναθεώρηση, ώστε να ληφθούν υπόψη η πρόοδος και οι εξελίξεις της επιστήμης στο τομέα των υδρεύσεων, των ηλεκτρονικών υπολογιστών, της υγιεινής του πόσιμου νερού, των GIS, της θεωρίας λήψεως αποφάσεων, των βάσεων δεδομένων κ.λπ.

## Βιβλιογραφία

- Al-Omari A.S. and Abdulla F.A., 2009. *A model for the determination of residential water demand by the use of tracers*. Advances in Engineering Software, 40: 85–94.
- Arbués F., Garcia-Valiñas M.A. and Espiñeira R.B., 2003. *Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review*. J. of Socio-Economics, 32: 81–102.
- AWWARC (American Water Works Association Research Committee on Distribution Systems), 1974. *Water distribution research and applied development needs*. J. Am. Water Works Assoc., 66(6): 385–90.



- Bhave P. R., 2003. *Optimal Design of Water Distribution Networks*. Alpha Science International Ltd, Pangbourne England, 449 pp.
- Billings R. B. and Jones C. V., 1996. *Forecasting Urban Water Demand*. American Water Works Association, Denver, 179 pp.
- Boland J.J., 1997. *Forecasting Urban Water Use: Theory and Principles*. In: D.D. Baumann et al. (Eds.), *Urban Water Demand Management and Planning*, McGraw-Hill Inc.: 77-94.
- Davis W.V., Rodrigo D., Opitz E., Dziegielewski B., Baumann D.D. and Boland J., 1988. *IWR-Main Water Use Forecasting System (version 5.1): User's Manual and System Description*. IWR Report 88-R-6, U.S. Army Corps of Engineering, Institute for Water Resources, Fort Belvoir, VA.
- Dziegielewski B., Opitz E.M. and Maidment D., 1996. *Water Demand Analysis*. In: L. M. Mays (Editor), *Water Resources Handbook*, Chapter 23, McGraw-Hill, New York, pp. 23.1-23.62.
- Eggener C. and Polkowski L., 1975. *Network models and the impact of modelling assumptions*. J. Am. Water Works Assoc., 67(4): 189-96.
- Epp R. and Fowler A., 1970. *Efficient code for steady-state flows in networks*. J. Hydraul. Div., ASCE, 96(1): 43-56.
- Fair G.M., Gayer J.C. and Okun D.A., 1971. *Elements of Water Supply and Wastewater Disposal* (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley & Sons, 752 pp.
- Hamberg D. and Shamir U., 1988. *Schematic models for distribution systems design I: combination concept*. J. Water Resour. Planning Manage., ASCE, 114(2): 129-40.
- Hewitt J. A., and Hanemann W. M., 1995. *A Discrete/Continuous Choice Approach to Residential Water Demand under Block Rate Pricing*. Land Economics, 71(2): 173-92.
- Gupta R.S., 1989. *Hydrology and Hydraulic Systems*. Prentice Hall, Inc., 739 pp.
- Khatri K.B. and K. Vairavamoorthy K., 2009. *Water Demand Forecasting for the City of the Future against the Uncertainties and the Global Change Pressures: Case of Birmingham*. Proceedings of EWRI/ASCE Conference, Kansas, USA May 17-21. Available at: <http://content.asce.org/conferences/ewri2009>
- Linaweaver F. P. Jr., Geyer J. C., and Wolff J. B., 1966. *Residential water use*. Final and Summary report. Johns Hopkins Univ., Baltimore, Md.
- Maidment D.R. and Shaw D.T., 1985. *WATFORE Daily Municipal Water Forecasting User's Manual*. Center of Research in Water Resources, Bureau of Engineering Research, Austin Tex.
- McGranahan G., Leitmann J. and Surjadi C., 1997. *Understanding Environmental Problems in Disadvantaged Neighborhoods: Broad Spectrum Surveys, Participatory Appraisal & Contingent Valuation*. Stockholm Environment Institute in collaboration with SIDA.
- Nauges C. and Thomas A., 2000. *Privately operated water utilities, municipal price negotiation, and estimation of residential water demand: The case of France*. Land Economics, 76: 68-85.
- Nieswiadomy M. L., and Molina D. J., 1989. *Comparing Residential Water Demand Esti-*

- mates under Decreasing and Increasing Block Rates Using Household Data. *Land Economics*, 65(3): 280-289.
- Ostfeld A., 2005. *Optimal design and operation of multi-quality networks under unsteady conditions*. *J. Water Resour. Planning Manage.*, ASCE, 131(2): 116–24.
- Ormsbee L., 1989. *Implicit network calibration*. *J. Water Resour. Planning Manage.*, ASCE, 115(2):243–57.
- Ormsbee L. and Lingireddy S., 1997. *Calibrating network hydraulic models*. *J. Am. Water Works Assoc.*, 89(2): 42–50.
- Prasad T., Walters G. and Savic D., 2004. *Booster disinfection of water supply networks: multi-objective approach*. *J. Water Resour. Planning Manage.*, ASCE, 130(5): 367–76.
- Renwick M. E. and Green R. D., 2000. *Do Residential Water Demand Side Management Policies Measure Up? An Analysis of Eight California Water Agencies*. *J. of Environmental Economics and Management*, 40: 37-55.
- Rossman L.A., 2000. *EPANET 2 user manual*. USEPA, Cincinnati, 200pp.
- Saunders R. J. and Warford, J. J., 1976. *Village Water Supply: Economics and Policy in the Developing World*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Yannopoulos St., Vantas K., Tzimopoulos C. and Evangellides C., 2009. *Modeling Distribution System Water Quality with Hydrosim Model*. Proceedings of the 7th International Conference Water Resources Conservancy and Risk Reduction Under Uncertainty. EWRA, 25-27 June, Limassol, Cyprus: 487-494.
- Whitford P.W., 1972. *Residential Water Demand Forecasting*. *Water Resources Research*, 8(4): 829-839.
- Wood D. and Rayes A., 1981. *Reliability of algorithms for pipe network analysis*. *J. Hydraul. Div.*, ASCE, 107(10): 1145–61.
- Wu Z.Y., 2006. *Optimal Calibration Method for Water Distribution Water Quality Model*. *J. of Environmental Science and Health Part A*, 41:1–16.
- Γιαννέλης Γ., Μανωλοπούλου Γ. και Μπούσουλας Κ., 2005. *Η Οικονομική Διαχείριση του Νερού υπό το Πρίσμα της Κοινοτικής Οδηγίας 2000/60*. Πρακτικά 5ου Συνεδρίου Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ). Ξάνθη 6-9 Απριλίου, σελ. 427-433.
- Γιαννόπουλος Σ., 2001. *Σημειώσεις Δικτύων Ύδρευσης*: Τεύχος Α. Έκδοση της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων του Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ο.Ε.Μ.Κ.-Α-2.1. Πρότυπο τεύχος για Περιφερειακά έργα – Οδηγός Επίβλεψης Μελετών και Κατασκευών: Επίβλεψη Μελετών – Υδραυλικά Έργα. Υπουργείο Εθνικής και Οικονομικών, Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης, Υπουργείο Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διαθέσιμο στο:  
[http://www.hellaskps.gr/min\\_requirements/docs/PE5/AMeletes/OEMK-A-2.1.pdf](http://www.hellaskps.gr/min_requirements/docs/PE5/AMeletes/OEMK-A-2.1.pdf)