
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Πολιτικών Μηχανικών – Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Μάθημα: Υδραυλική και Υδραυλικά Έργα - Μέρος 3: Υδρεύσεις

Άσκηση Δ1: Εκτίμηση παροχών σχεδιασμού έργων υδροδότησης οικισμού

Σύνταξη άσκησης: Α. Ευστρατιάδης & Π. Κοσιέρης

Οικοδομικός συνεταιρισμός ανέθεσε τη μελέτη υποδομών ενός νέου παραθεριστικού οικισμού, που πρόκειται να κατασκευαστεί σε επαφή με παραθαλάσσια επαρχιακή πόλη. Για την υδροδότηση του οικισμού εξετάζεται η επέκταση του υφιστάμενου δικτύου, με παράλληλη αναβάθμιση των κρίσιμων συνιστωσών του εξωτερικού και εσωτερικού υδραγωγείου. Για το υπό μελέτη σύστημα δίνονται τα εξής στοιχεία:

Πληθυσμιακά δεδομένα: Σύμφωνα με την πλέον πρόσφατη απογραφή, οι μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής ανέρχονται σε 2500. Σε σχετική μελέτη προβλέπεται γραμμική αύξηση του πληθυσμού, με ρυθμό 30 άτομα/έτος.

Δεδομένα τουριστικής ανάπτυξης: Την τουριστική περίοδο (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), στην πόλη αναπτύσσονται μικρής κλίμακας τουριστικές χρήσεις (ενοικιαζόμενα δωμάτια, μικρές ξενοδοχειακές μονάδες), τρέχουσας δυναμικότητας 800 κλινών και εκτιμώμενης πληρότητας 70%. Οι εν λόγω υποδομές έχουν μικρά περιθώρια ανάπτυξης. Μελλοντικά, έχει δρομολογηθεί η κατασκευή πολυτελούς ξενοδοχειακού συγκροτήματος 5 αστέρων, δυναμικότητας 450 κλινών.

Παραθεριστικός οικισμός: Η συνολική έκταση που διαθέτει ο οικοδομικός συνεταιρισμός ανέρχεται σε 200 στρέμματα, από τα οποία 40 θα δεσμευτούν για δημόσιες χρήσεις (δρόμοι, πλατείες). Με βάση την εγκεκριμένη πολεοδομική μελέτη, το μέσο μέγεθος των οικοπέδων είναι 400 m^2 , με συντελεστή δόμησης 0.3. Εκτιμάται ότι ο οικισμός θα φιλοξενεί 1200 άτομα κατά τους μήνες της τουριστικής περιόδου.

Βιομηχανικές-βιοτεχνικές χρήσεις: Στην περιοχή λειτουργεί βιοτεχνία επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων, καθώς και ελαιотριβείο, με λειτουργία μόνο τους χειμερινούς μήνες. Η βιοτεχνία λειτουργεί με κανονικό ωράριο, ενώ το ελαιотριβείο λειτουργεί συνεχώς. Οι ημερήσιες υδατικές ανάγκες των δύο μονάδων ανέρχονται σε 60 και $110 \text{ m}^3/\text{d}$, αντίστοιχα.

Δίκτυο πυρόσβεσης: Το δίκτυο διανομής είναι εξοπλισμένο με πυροσβεστικούς κρουνοί ονομαστικής παροχής 5 L/s. Στην περιοχή αναπτύσσεται χαμηλή, γενικά, βλάστηση.

Ζητούνται:

- (1) τα χαρακτηριστικά μεγέθη κατανάλωσης (ετήσιος όγκος, μέγιστη ημερήσια παροχή, μέγιστος ημερήσιος όγκος, μέγιστη ωριαία παροχή, παροχή έκτακτης λειτουργίας).
- (2) η παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου, αν πρόκειται για αγωγό βαρύτητας ή καταθλιπτικό αγωγό με διάρκεια λειτουργίας 20 ώρες.

Επίλυση

Η εκτίμηση των βασικών μεγεθών σχεδιασμού του υδρευτικού συστήματος (ετήσιος όγκος νερού, μέγιστη ημερήσια παροχή, μέγιστος ημερήσιος όγκος και μέγιστη ωριαία παροχή) γίνεται για κάθε χρήση νερού ξεχωριστά, ενώ μετά το πέρας των υπολογισμών υπολογίζονται τα αθροιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό του εξωτερικού υδραγωγείου και του δικτύου διανομής.

α) Εκτίμηση υδατικών αναγκών για οικιακή χρήση μόνιμων κατοίκων

Η ωφέλιμη ζωή των έργων ύδρευσης (υδραγωγεία και δίκτυα διανομής) λαμβάνεται ίση με 40 έτη. Με αφετηρία το έτος εκπόνησης της μελέτης (2017), θα πρέπει να εκτιμηθεί ο πληθυσμός της πόλης και οι αντίστοιχες υδατικές ανάγκες για το έτος 2057.

Από τα δεδομένα γνωρίζουμε ότι η πληθυσμιακή μεταβολή προσεγγίζεται πιστότερα από το γραμμικό μοντέλο, με ρυθμό αύξησης 30 άτομα/έτος. Ο πληθυσμός σχεδιασμού μετά από 40 χρόνια θα είναι:

$$Π_{40} = Π_0 + a t = 2500 + 30 \cdot 40 = 3700 \text{ άτομα}$$

Με βάση τις τυπικές τιμές για την κατανάλωση των μόνιμων κατοίκων, θεωρούμε:

1. Κατά κεφαλή (ειδική) κατανάλωση $q = 150 \text{ L/d}$
2. Συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.5$
3. Συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 2.0$
4. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 365 \text{ d}$

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q \Pi T_E = 150 \cdot 3700 \cdot 365 / 1000 = 202\,575 \text{ m}^3$
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = q \Pi = V_E / T_E = (202575 \cdot 1000) / (365 \cdot 86400) = 6.42 \text{ L/s}$
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H Q_E = 1.5 \cdot 6.42 = 9.63 \text{ L/s}$
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H T_H = 9.63 \cdot 86400 = 832\,500 \text{ L}$
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H = 2.0 \cdot 9.63 = 19.27 \text{ L/s}$

β) Εκτίμηση υδατικών αναγκών για τις τουριστικές χρήσεις

Μικρές κλίμακας μονάδες

Από τα δεδομένα γνωρίζουμε ότι οι τουριστικές υποδομές της πόλης περιλαμβάνουν ενοικιαζόμενα δωμάτια και μικρές ξενοδοχειακές μονάδες, συνολικής δυναμικότητας 800 κλινών, με περιορισμένα περιθώρια αύξησης. Δεδομένου ότι η μέση πληρότητα για τους 4 μήνες είναι 70%, ο μέσος αριθμός τουριστών ανά ημέρα είναι 560 άτομα/κλίνες. Επίσης, από τα περιορισμένα περιθώρια ανάπτυξης συμπεραίνεται ότι δεν θα υπάρξει αύξηση του παραθεριστικού πληθυσμού στο μέλλον.

Με βάση τις τυπικές τιμές για τις μικρής κλίμακας τουριστικές χρήσεις, θεωρούμε:

1. Κατά κεφαλή (ειδική) κατανάλωση $q = 250$ L/d/κλίνη
2. Συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.3$
3. Συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 1.5$
4. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 120$ d

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q \Pi T_E = 250 * 560 * 120 / 1000 = 16\ 800$ m³
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = q \Pi = V_E / T_E = (16800 * 1000) / (120 * 86400) = 1.6$ L/s
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H Q_E = 1.3 * 1.6 = 2.1$ L/s
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H T_H = 2.1 * 86400 = 182\ 000$ L
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H = 1.5 * 2.1 = 3.16$ L/s

Νέα ξενοδοχειακή μονάδα

Η νέα πολυτελής ξενοδοχειακή μονάδα που θα κατασκευαστεί θα έχει δυναμικότητα 450 κλινών με πληρότητα 70%. Κατά συνέπεια ο μέσος αριθμός των τουριστών θα είναι 315 άτομα ανά ημέρα.

Με βάση τις τυπικές τιμές για τις νέες ξενοδοχειακές μονάδες 5 αστέρων, θεωρούμε:

1. Κατά κεφαλή (ειδική) κατανάλωση $q = 450$ L/d/κλίνη
2. Συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.3$
3. Συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 1.5$
4. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 120$ d

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q \Pi T_E = 450 \times 315 \times 120 / 1000 = 17\ 010$ m³
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = q \Pi = V_E / T_E = (17\ 010 * 1000) / (120 * 86400) = 1.64$ L/s
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H Q_E = 1.3 * 1.64 = 2.13$ L/s
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H T_H = 2.13 * 86400 = 184\ 275$ L
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H = 1.5 * 2.13 = 3.20$ L/s

γ) Εκτίμηση υδατικών αναγκών παραθεριστικού οικισμού

Για τον παραθεριστικό οικισμό δίνονται λεπτομερή χωροταξικά και πολεοδομικά στοιχεία, βάσει των οποίων μπορούμε να εκτιμήσουμε τον πληθυσμό κορεσμού με σχετική ακρίβεια. Ειδικότερα, δίνεται ότι η συνολική έκταση που διαθέτει ο οικοδομικός συνεταιρισμός ανέρχεται σε 200 στρέμματα, από τα οποία 40 θα

δεσμευτούν για δημόσιες χρήσεις (δρόμοι, πλατείες), οπότε τα εναπομείναντα 160 στρέμματα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανέγερση κατοικιών. Με βάση την εγκεκριμένη πολεοδομική μελέτη, το μέσο μέγεθος των οικοπέδων είναι 400 m^2 (0.40 στρέμματα), οπότε ο συνολικός αριθμός των οικοδομήσιμων οικοπέδων ανέρχεται σε $160 / 0.40 = 400$. Επιπλέον, δίνεται συντελεστής δόμησης 0.3, οπότε η οικοδομήσιμο εμβαδόν ανά οικοπέδο δεν μπορεί να ξεπεράσει τα $0.3 \times 400 = 120 \text{ m}^2$, το οποίο αντιστοιχεί σε μια τυπική εξοχική κατοικία. Θεωρώντας ότι μια μέση οικογένεια απαρτίζεται από 3.5 μέλη, εκτιμάται ότι ο πληθυσμός κορεσμού θα φτάσει τα $3.5 \times 400 = 1400$ άτομα.

Με την εύλογη υπόθεση ότι μια παραθεριστική περιοχή δεν γίνεται να οικοδομηθεί εξ ολοκλήρου, εφαρμόζουμε μια μείωση της τάξης του 15% στον πληθυσμό κορεσμού, και συνεπώς η εκτίμηση του πληθυσμού μελέτης για τον παραθεριστικό οικισμό ανέρχεται σε 1200 άτομα. Η παραθεριστική χρήση θεωρούμε ότι διαρκεί 4 μήνες (Ιούνιο-Σεπτέμβριο).

Με βάση τις τυπικές τιμές για τους παραθεριστικούς οικισμούς, θεωρούμε:

1. Κατά κεφαλή (ειδική) κατανάλωση $q = 250 \text{ L/d/κλίνη}$
2. Συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.2$
3. Συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 1.5$
4. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 120 \text{ d}$

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q \cdot \Pi \cdot T_E = 250 \cdot 1200 \cdot 120 / 1000 = 36\,000 \text{ m}^3$
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = q \cdot \Pi = V_E / T_E = (36000 \cdot 1000) / (120 \cdot 86400) = 3.5 \text{ L/s}$
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H \cdot Q_E = 1.2 \cdot 3.5 = 4.2 \text{ L/s}$
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H \cdot T_H = 4.2 \cdot 86400 = 360\,000 \text{ L}$
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega \cdot Q_H = 1.5 \cdot 4.2 = 6.3 \text{ L/s}$

δ) Εκτίμηση υδατικών αναγκών βιομηχανικών-βιοτεχνικών χρήσεων

Αγροτική μονάδα

Η αγροτική μονάδα λειτουργεί όλο το χρόνο με κανονικό ωράριο δηλαδή 8 ώρες τις εργάσιμες ημέρες του έτους (250 μέρες). Η ημερήσιες ανάγκες της μονάδας είναι σταθερές κατά τη διάρκεια του έτους και ανέρχονται σε $60 \text{ m}^3/\text{d}$. Σταθερή δε θεωρούμε ότι είναι η ζήτηση και κατά τη διάρκεια της ημέρας

Από τα παραπάνω προκύπτει:

1. Μέση ημερήσια ζήτηση $q = 60 \text{ m}^3/\text{d}$
2. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 250 \text{ d}$
3. Διάρκεια χρήσης εντός της ημέρας: $T_B = 8 \text{ h}$

4. Συντελεστής ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.0$ (μη μεταβαλλόμενες ανάγκες κατά τη διάρκεια του έτους)
5. Συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 24 / T_B = 24 / 8 = 3.0$

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q T_E = 60 \cdot 250 = 15\,000 \text{ m}^3$
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = V_E / T_E = (15000 \cdot 1000) / (250 \cdot 86400) = 0.70 \text{ L/s}$
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H Q_E = 1.0 \cdot 0.70 = 0.70 \text{ L/s}$
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H T_H = 0.70 \cdot 86400 = 60\,480 \text{ L}$
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H = 3.0 \cdot 0.70 = 2.10 \text{ L/s}$

Ελαιοτριβείο

Το ελαιοτριβείο λειτουργεί συνεχώς (24 ώρες και 7 μέρες την εβδομάδα) για τους τρεις μήνες (120 μέρες), καταναλώνοντας $110 \text{ m}^3/\text{d}$.

Από τα παραπάνω προκύπτει:

1. Μέση ημερήσια ζήτηση $q = 110 \text{ m}^3/\text{d}$
2. Διάρκεια χρήσης στο έτος: $T_E = 120 \text{ d}$
3. Διάρκεια χρήσης εντός της ημέρας: $T_B = 24 \text{ h}$
4. συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.0$ (μη μεταβαλλόμενες ανάγκες κατά τη διάρκεια του έτους)
5. συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 24/T_B = 24/24 = 1.0$

Τα μεγέθη σχεδιασμού υπολογίζονται ως εξής:

- Μέσος ετήσιος όγκος νερού: $V_E = q T_E = 110 \cdot 120 = 13200 \text{ m}^3$
- Μέση ημερήσια παροχή: $Q_E = V_E / T_E = (13200 \cdot 1000) / (120 \cdot 86400) = 1.3 \text{ L/s}$
- Μέγιστη ημερήσια παροχή: $Q_H = \lambda_H Q_E = 1.00 \cdot 1.3 = 1.30 \text{ L/s}$
- Μέγιστος ημερήσιος όγκος: $V_H = Q_H T_H = 1.30 \cdot 86400 = 112\,320 \text{ L}$
- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_\Omega = \lambda_\Omega Q_H = 1.00 \cdot 1.3 = 1.30 \text{ L/s}$

Δεδομένου ότι το ελαιοτριβείο δεν συμπίπτει με τις περιόδους αιχμής των άλλων χρήσεων, η λειτουργία του λαμβάνεται υπόψη μόνο στον υπολογισμό των ετήσιων υδρευτικών αναγκών του συστήματος και όχι κατά τον υπολογισμό των μέγιστων ημερήσιων και ωριαίων παροχών αιχμής.

ε) Εκτίμηση παροχών πυρόσβεσης

Η παροχή πυρκαγιάς αποτελεί μια κατάσταση έκτακτη φόρτισης του συστήματος, η οποία διαρκεί λίγες ώρες και λαμβάνεται υπόψη μόνο στο σχεδιασμό του δικτύου διανομής (ο αντίστοιχος όγκος νερού είναι αποθηκευμένος στη δεξαμενή – δεν μεταφέρεται από το εξωτερικό υδραγωγείο).

Στην τυπική περίπτωση, θεωρείται ταυτόχρονη λειτουργία δύο πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής 5.0 L/s, η οποία πραγματοποιείται την ώρα αιχμής της υδρευτικής κατανάλωσης. Συνεπώς:

- Μέγιστη ωριαία παροχή: $Q_{\Omega} = 2 q_k = 2 * 5.00 = 10.00 \text{ L/s}$

στ) Τελικά μεγέθη σχεδιασμού

Για λόγους ασφαλείας, τα αθροιστικά μεγέθη σχεδιασμού προσαυξάνονται κατά 15%, ώστε να ληφθούν υπόψη οι απώλειες λόγω διαρροών κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού. Τα τελικά μεγέθη συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Χρήση νερού	Ετήσιος όγκος (m ³)	Μέγιστη ημερήσια παροχή, Q_H (L/s)	Μέγιστος ημερήσιος όγκος, V_H (L)	Μέγιστη ωριαία παροχή, Q_{Ω} (L/s)
Οικιακή	202 575	9.63	832 500	19.27
Παραθεριστική	36 000	4.2	360 000	6.3
Τουριστική, μικρής κλίμακας	16 800	2.1	182 000	3.16
Νέα ξενοδοχειακή μονάδα	17 010	2.13	184 275	3.20
Αγροτική μονάδα	15 000	0.70	60 480	2.10
Ελαιοτριβείο	13 200	1.3*	112 320*	1.3*
Πυρόσβεση	-	-	-	10.0
Σύνολο (χωρίς απώλειες)	300 585	18.76	1 619 255	44.03
Σύνολο (με απώλειες 15%)	345 672	21.57	1 862 143	50.63

(*) Δεν λαμβάνονται υπόψη στις τελικές εκτιμήσεις.

ζ) Παροχές σχεδιασμού εξωτερικού υδραγωγείου

Για την εύρεση των μεγεθών σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου (μέγιστος ημερήσιος όγκος, μέγιστη ημερήσια παροχή) και του δικτύου διανομής (μέγιστη ωριαία παροχή) συναθροίζονται τα μεγέθη σχεδιασμού των επιμέρους χρήσεων που εμφανίζονται κατά την περίοδο αιχμής. Συνεπώς, οι υδρευτικές ανάγκες του ελαιοτριβείου, που λειτουργεί μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες, λαμβάνονται υπόψη μόνο στην εκτίμηση του συνολικού ετήσιου όγκου νερού και όχι στον υπολογισμό των μεγίστων παροχών και όγκων.

Στην περίπτωση που ο οικισμός υδροδοτείται με αγωγό βαρύτητας 24ωρης λειτουργίας, η παροχή σχεδιασμού του αγωγού ταυτίζεται με το άθροισμα των μεγίστων ημερήσιων παροχών αιχμής:

- Παροχή σχεδιασμού: $Q_{\Sigma\chi} = \Sigma Q_H = \Sigma V_H / 86400 = 1862143/86400 = 21.55 \text{ L/s}$

Στην περίπτωση καταθλιπτικού αγωγού, ο μέγιστος ημερήσιος όγκος νερού θα πρέπει να δοθεί στο σύστημα σε 20 ώρες. Σε αυτή τη περίπτωση, η παροχή σχεδιασμού θα είναι:

- Παροχή σχεδιασμού: $Q_{\Sigma\chi} = \Sigma V_H / (T_{\lambda} * 60 * 60) = 1862143 / 72000 = 25.86 \text{ L/s}$

Εναλλακτικά,

- Παροχή σχεδιασμού: $Q_{\Sigma\chi} = \Sigma Q_H * (24 / T_{\lambda}) = 21.55 * (24 / 20) = 25.86 \text{ L/s}$