

---

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

Μάθημα: Υδραυλική και Υδραυλικά Έργα - Μέρος 3: Υδρεύσεις

Άσκηση Δ2: Υπολογισμός όγκου δεξαμενής με τροφοδοτικό αγωγό (α) βαρύτητας και (β) καταθλιπτικό

Σύνταξη άσκησης: Α. Ευστρατιάδης & Π. Κοσιέρης

---

Ζητείται ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής ύδρευσης οικισμού, με μέγιστη ημερήσια παροχή σχεδιασμού 40 L/s.

Δίνεται η τυπική κατανομή της ημερήσιας κατανάλωσης, ανά τετράωρο: 0:00-4:00: 5%, 4:00-8:00: 13%, 8:00-12:00: 21%, 12:00-16:00: 17.0%, 16:00-20:00: 28%, 20:00-24:00: 16%.

Να διερευνηθούν οι περιπτώσεις τροφοδοσίας της δεξαμενής από:

- 1) αγωγό βαρύτητας συνεχούς λειτουργίας
- 2) και καταθλιπτικό αγωγό που λειτουργεί σε 20ωρη βάση, ελέγχοντας τα διαφορετικά σενάρια ωρών λειτουργίας του αγωγού.

Για την εκτίμηση του όγκου ασφαλείας της δεξαμενής, θεωρήστε τα σενάρια πυρκαγιάς διάρκειας τριών ωρών, με ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουνών ονομαστικής παροχής 5 L/s, ή τετράωρης βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου.

Ποιος είναι ο συντελεστής ωριαίας αιχμής για την κατανομή ημερήσιας κατανάλωσης που δίνεται, στην περίπτωση που η τροφοδοσία γίνεται από τον αγωγό βαρύτητας;

## Επίλυση

### 1) Αγωγός βαρύτητας

Η λειτουργία του αγωγού βαρύτητας είναι συνεχής μέσα στη μέρα και κατά συνέπεια η παροχή σχεδιασμού του θα είναι ίση με τη μέγιστη ημερήσια παροχή:

- $Q_{σχ.} = Q_H = 40 \text{ L/s}$

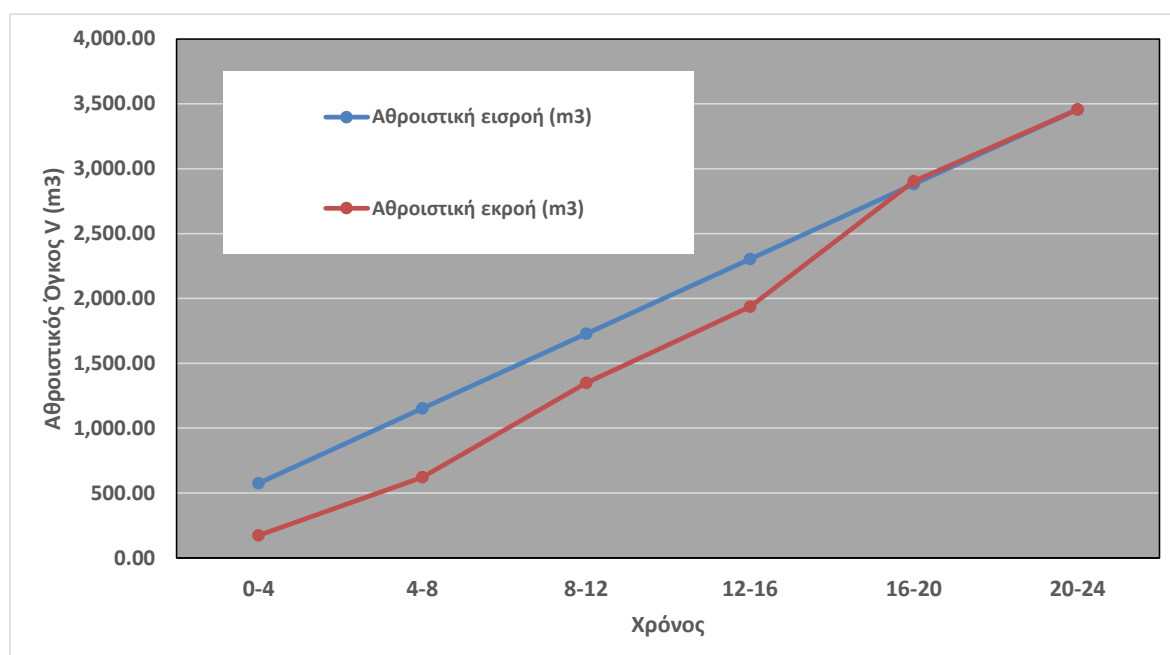
Ο μέγιστος ημερήσιος όγκος εισροής θα είναι:

- $V_H = Q_H * 86400 = 40 * 86400 / 1000 = 3\,456 \text{ m}^3$

Για τον υπολογισμό του ρυθμιστικού όγκου της δεξαμενής κατασκευάζεται το ισοζύγιο εισροών-εκροών.

- Ο όγκος εισροής ανά 4ωρο είναι σταθερός και ίσος με  $3456/6 = 576 \text{ m}^3$
- Ο όγκος εκροής ανά 4ωρο υπολογίζεται με βάση τα ποσοστά που δίνονται παραπάνω και με την υπόθεση ότι ο συνολικός όγκος εκροής ισούται με το συνολικό όγκο εισροής.
- Εν συνεχεία, υπολογίζεται η αθροιστική εισροή και εκροή και υπολογίζονται οι διαφορές τους ανά 4ωρο.

| Ωρα           | Εισροή (m <sup>3</sup> ) | Εκροή (%)  | Εκροή (m <sup>3</sup> ) | Αθροιστική εισροή (m <sup>3</sup> ) | Αθροιστική εκροή (m <sup>3</sup> ) | Διαφορά (m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--------------------------|------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 0-4           | 576                      | 5.00       | 172.80                  | 576.00                              | 172.80                             | 403.20                    |
| 4-8           | 576                      | 13.00      | 449.28                  | 1,152.00                            | 622.08                             | <b>529.92</b>             |
| 8-12          | 576                      | 21.00      | 725.76                  | 1,728.00                            | 1,347.84                           | 380.16                    |
| 12-16         | 576                      | 17.00      | 587.52                  | 2,304.00                            | 1,935.36                           | 368.64                    |
| 16-20         | 576                      | 28.00      | 967.68                  | 2,880.00                            | 2,903.04                           | <b>-23.04</b>             |
| 20-24         | 576                      | 16.00      | 552.96                  | 3,456.00                            | 3,456.00                           | 0.00                      |
| <b>Σύνολο</b> | <b>3456</b>              | <b>100</b> | <b>3456</b>             | <b>12096</b>                        | <b>10437.12</b>                    |                           |



Ο ρυθμιστικός όγκος θα προκύπτει από το άθροισμα μέγιστου ελλείματος και μέγιστης περίσσειας:

- $V_{\text{ρυθμ}} = \max\{V_s\} + |\min\{V_d\}| = 529.92 + |-23.04| = 553.00 \text{ m}^3$

Ο όγκος ασφαλείας της δεξαμενής προκύπτει από το δυσμενέστερο από τα παραπάνω σενάρια (εκδήλωση πυρκαγιάς ή βλάβη εξωτερικού υδραγωγείου).

Ο όγκος πυρκαγιάς διάρκειας 3 ωρών με ενεργοποίηση 2 κρουστών παροχής 5 L/s θα είναι:

- $V_{\text{πυρ}} = n * Q_{\text{πυρ}} * T_{\text{πυρ}} = (2 * 5 * 3 * 3600) / 1000 = 108 \text{ m}^3$

Ο απαιτούμενος εφεδρικός όγκος για 4ωρη διακοπή λειτουργίας του εξωτερικού υδραγωγείου θα είναι:

- $V_{\text{βλ}} = Q_{\text{σχ}} * T_{\text{βλ}} = (40 * 4 * 3600) / 1000 = 576.00 \text{ m}^3$

Ο όγκος ασφαλείας θα είναι:

- $V_{\text{ασφ}} = \max\{V_{\text{πυρ}}, V_{\text{βλ}}\} = 576.00 \text{ m}^3$

Τελικά, ο συνολικός ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής θα είναι:

- $V_{\omega\phi} = V_{\text{ρυθμ}} + V_{\text{ασφ}} = 553.00 + 576.00 = 1129.00 \text{ m}^3$

Ο συντελεστής ωριαίας αιχμής  $\lambda_{\Omega}$  εκφράζει την ανομοιομορφία στην ωριαία ζήτηση νερού (εκροή από δεξαμενή) και εκτιμάται από το πηλίκο της μέγιστης ωριαίας παροχής προς τη μέγιστη ημερήσια παροχή, ή ισοδύναμα από τον μέγιστο ωριαίο όγκο δια το μέσο ωριαίο όγκο:

- $\lambda_{\Omega} = Q_{\Omega} / Q_H = V_{\text{max}} / V_{\text{mean}} = 967.68 / (3456 / 6) = 1.68$

## 2) Καταθλιπτικός αγωγός

Ο καταθλιπτικός αγωγός λειτουργεί 20 ώρες την ημέρα και κατά συνέπεια θα πρέπει να ελεγχθούν εναλλακτικά σενάρια για να βρεθεί το δυσμενέστερο (μεγαλύτερη διαφορά όγκου εισροών-εκροών).

Ο μέγιστος ημερήσιος όγκος εισροής για τη δεδομένη μέγιστη ημερήσια παροχή θα είναι:

- $V_H = Q_H * 86400 = 40 * 86400 / 1000 = 3456 \text{ m}^3$

Η παροχή σχεδιασμού του καταθλιπτικού αγωγού για 20ωρη λειτουργία θα είναι:

- $Q_{σχ.} = V_H / T_{\lambda\epsilon\iota\tau.} = Q_H * (24 / T_{\lambda\epsilon\iota\tau.}) = (3456 * 1000) / (20 * 3600) = 48 \text{ L/s}$

Για τον υπολογισμό του ρυθμιστικού όγκου της δεξαμενής κατασκευάζεται το ισοζύγιο εισροών-εκροών με μηδενισμό της εισροής διαδοχικά 4ωρα:

- Ο όγκος εισροής για τα διαστήματα που λειτουργεί ο καταθλιπτικός αγωγός είναι σταθερός και ίσος με  $3456/5 = 691.2 \text{ m}^3$
- Ο όγκος εκροής ανά 4ωρο υπολογίζεται με βάση τα ποσοστά που δίνονται παραπάνω και με την υπόθεση ότι ο συνολικός όγκος εκροής ισούται με το συνολικό όγκο εισροής.
- Εν συνεχεία, υπολογίζεται η αθροιστική εισροή και εκροή και υπολογίζονται οι διαφορές τους ανά 4ωρο.

Για κάθε σενάριο υπολογίζεται ο ρυθμιστικός όγκος από το άθροισμα μέγιστου ελλείματος και μέγιστης περίσσειας:

- $V_{\rho\upsilon\theta\mu.} = \max\{V_s\} + |\min\{V_d\}|$

### Σενάριο 1

| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)   |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 0-4                      | 0           | 5.00       | 172.80      | 0.00                   | 172.80                | <b>-172.80</b> |
| 4-8                      | 691.2       | 13.00      | 449.28      | 691.20                 | 622.08                | 69.12          |
| 8-12                     | 691.2       | 21.00      | 725.76      | 1,382.40               | 1,347.84              | 34.56          |
| 12-16                    | 691.2       | 17.00      | 587.52      | 2,073.60               | 1,935.36              | <b>138.24</b>  |
| 16-20                    | 691.2       | 28.00      | 967.68      | 2,764.80               | 2,903.04              | -138.24        |
| 20-24                    | 691.2       | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | 0.00           |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>10368</b>           | <b>10437.12</b>       |                |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>311.04</b>  |

### Σενάριο 2

| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)   |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 0-4                      | 691.2       | 5.00       | 172.80      | 691.20                 | 172.80                | <b>518.40</b>  |
| 4-8                      | 0           | 13.00      | 449.28      | 691.20                 | 622.08                | 69.12          |
| 8-12                     | 691.2       | 21.00      | 725.76      | 1,382.40               | 1,347.84              | 34.56          |
| 12-16                    | 691.2       | 17.00      | 587.52      | 2,073.60               | 1,935.36              | 138.24         |
| 16-20                    | 691.2       | 28.00      | 967.68      | 2,764.80               | 2,903.04              | <b>-138.24</b> |
| 20-24                    | 691.2       | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | 0.00           |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>11059.2</b>         | <b>10437.12</b>       |                |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>656.64</b>  |

### Σενάριο 3

| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)   |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 0-4                      | 691.2       | 5.00       | 172.80      | 691.20                 | 172.80                | 518.40         |
| 4-8                      | 691.2       | 13.00      | 449.28      | 1,382.40               | 622.08                | <b>760.32</b>  |
| 8-12                     | 0           | 21.00      | 725.76      | 1,382.40               | 1,347.84              | 34.56          |
| 12-16                    | 691.2       | 17.00      | 587.52      | 2,073.60               | 1,935.36              | 138.24         |
| 16-20                    | 691.2       | 28.00      | 967.68      | 2,764.80               | 2,903.04              | <b>-138.24</b> |
| 20-24                    | 691.2       | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | 0.00           |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>11750.4</b>         | <b>10437.12</b>       |                |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>898.56</b>  |

### Σενάριο 4

| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)   |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 0-4                      | 691.2       | 5.00       | 172.80      | 691.20                 | 172.80                | 518.40         |
| 4-8                      | 691.2       | 13.00      | 449.28      | 1,382.40               | 622.08                | <b>760.32</b>  |
| 8-12                     | 691.2       | 21.00      | 725.76      | 2,073.60               | 1,347.84              | 725.76         |
| 12-16                    | 0           | 17.00      | 587.52      | 2,073.60               | 1,935.36              | 138.24         |
| 16-20                    | 691.2       | 28.00      | 967.68      | 2,764.80               | 2,903.04              | <b>-138.24</b> |
| 20-24                    | 691.2       | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | 0.00           |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>12441.6</b>         | <b>10437.12</b>       |                |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>898.56</b>  |

### Σενάριο 5

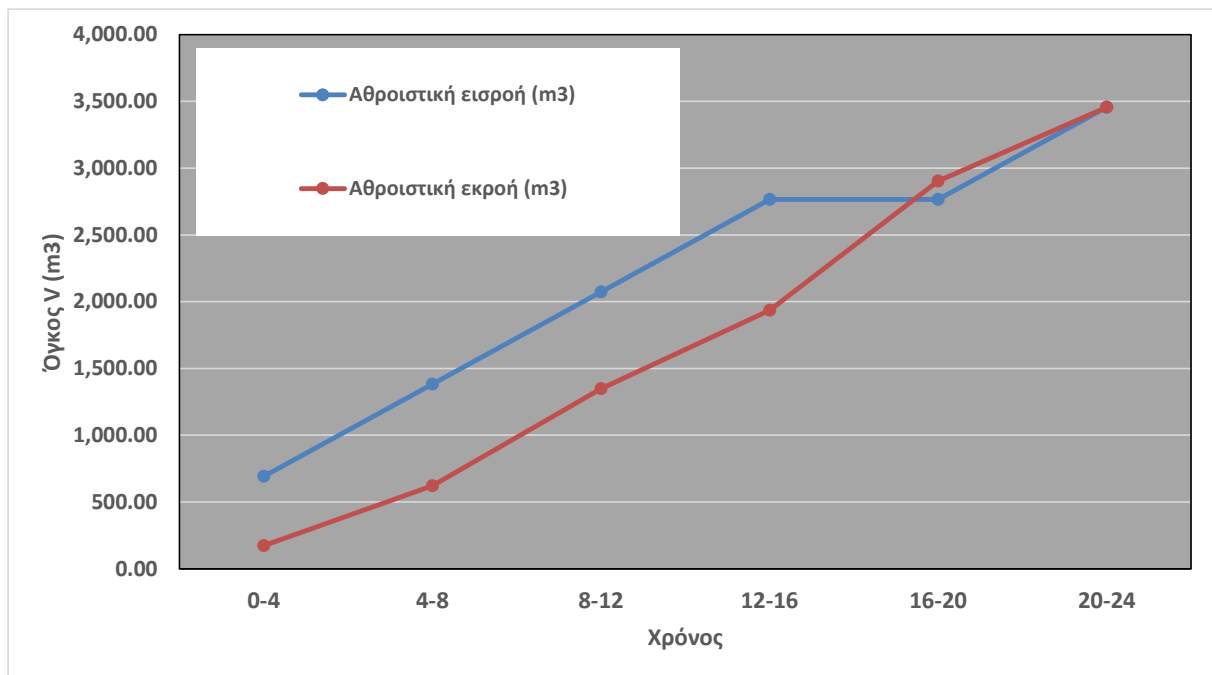
| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)   |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 0-4                      | 691.2       | 5.00       | 172.80      | 691.20                 | 172.80                | 518.40         |
| 4-8                      | 691.2       | 13.00      | 449.28      | 1,382.40               | 622.08                | 760.32         |
| 8-12                     | 691.2       | 21.00      | 725.76      | 2,073.60               | 1,347.84              | 725.76         |
| 12-16                    | 691.2       | 17.00      | 587.52      | 2,764.80               | 1,935.36              | <b>829.44</b>  |
| 16-20                    | 0           | 28.00      | 967.68      | 2,764.80               | 2,903.04              | <b>-138.24</b> |
| 20-24                    | 691.2       | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | 0.00           |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>13132.8</b>         | <b>10437.12</b>       |                |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>967.68</b>  |

### Σενάριο 6

| Ώρα                      | Εισροή (m3) | Εκροή (%)  | Εκροή (m3)  | Αθροιστική εισροή (m3) | Αθροιστική εκροή (m3) | Διαφορά (m3)  |
|--------------------------|-------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| 0-4                      | 691.2       | 5.00       | 172.80      | 691.20                 | 172.80                | 518.40        |
| 4-8                      | 691.2       | 13.00      | 449.28      | 1,382.40               | 622.08                | 760.32        |
| 8-12                     | 691.2       | 21.00      | 725.76      | 2,073.60               | 1,347.84              | 725.76        |
| 12-16                    | 691.2       | 17.00      | 587.52      | 2,764.80               | 1,935.36              | <b>829.44</b> |
| 16-20                    | 691.2       | 28.00      | 967.68      | 3,456.00               | 2,903.04              | 552.96        |
| 20-24                    | 0           | 16.00      | 552.96      | 3,456.00               | 3,456.00              | <b>0.00</b>   |
| <b>Σύνολο</b>            | <b>3456</b> | <b>100</b> | <b>3456</b> | <b>13824</b>           | <b>10437.12</b>       |               |
| <b>Ρυθμιστικός όγκος</b> |             |            |             |                        |                       | <b>829.44</b> |

Από τα παραπάνω σενάρια, το δυσμενέστερο είναι το σενάριο 5, από το οποίο προκύπτει ρυθμιστικός όγκος ίσος με:

- $V_{\text{ρυθμ.}} = \max\{V_s\} + |\min\{V_d\}| = 829.44 + |-138.24| = 967.68 \text{ m}^3$



Ο όγκος ασφαλείας της δεξαμενής προκύπτει από το δυσμενέστερο από τα παραπάνω σενάρια (εκδήλωση πυρκαγιάς ή βλάβη εξωτερικού υδραγωγείου).

Ο όγκος πυρκαγιάς διάρκειας 3 ωρών με ενεργοποίηση 2 κρουστών παροχής 5 L/s θα είναι:

- $V_{\text{πυρ.}} = n \cdot Q_{\text{πυρ.}} \cdot T_{\text{πυρ.}} = 2 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 3600 = 108 \text{ m}^3$

Ο απαιτούμενος εφεδρικός όγκος για 4ωρη διακοπή λειτουργίας του εξωτερικού υδραγωγείου θα είναι:

- $V_{\text{βλ.}} = Q_{\text{σχ}} \cdot T_{\text{βλ.}} = 48 \cdot 4 \cdot 3600 = 691 \text{ m}^3$

Ο όγκος ασφαλείας θα είναι:

- $V_{\text{ασφ.}} = \max\{V_{\text{πυρ.}}, V_{\text{βλ.}}\} = 691 \text{ m}^3$

Τελικά, ο συνολικός ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής θα είναι:

- $V_{\text{ωφ.}} = V_{\text{ρυθμ.}} + V_{\text{ασφ.}} = 968 + 691 = 1\,659 \text{ m}^3$