



# Υδραυλικά Έργα I [ΠΟΜ 443]

## Δίκτυα Μεταφοράς Νερού Εξωτερικό Υδραγωγείο

**Ανδρέας Χριστοφή** / ειδικός επιστήμονας

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

Email: [andreas.christofe@cut.ac.cy](mailto:andreas.christofe@cut.ac.cy)



# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

## ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΔΟΓΗΣΗ

Η διαστασιολόγηση του αγωγού μεταφοράς του εξωτερικού υδραγωγείου αποτελεί την πιο σημαντική επιλογή αφού έχει ήδη καθορισθεί η παροχή σχεδιασμού, και έχει επιλεγεί το υλικό των σωληνώσεων που θα χρησιμοποιηθούν. Η διαστασιολόγηση οφείλει να στηρίζεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος διαμέτρων που είναι διαθέσιμες στο εμπόριο. Με άλλα λόγια η εσωτερική διάμετρος δεν είναι συνεχής μεταβλητή αλλά παίρνει τιμές που αντιστοιχούν στην τυποποίηση των σωλήνων του *εμπορίου του* αντίστοιχου υλικού και της κλάσης πίεσης που επιλέγεται.

Η επιλογή της διαμέτρου μπορεί εύκολα να προσεγγισθεί με τον εμπειρικό κανόνα της επιθυμητής ταχύτητας ροής 1 μέχρι 1.50 m/s. Μια τέτοια εμπειρική σχέση που δίνει μια εκτίμηση της τάξης μεγέθους της διαμέτρου είναι ο γνωστός εμπειρικός τύπος του Bresse (Παρθενιάδης, 1980) που αντιστοιχεί σε ταχύτητα 0.60 m/s:

$$D = 1.50 \sqrt{Q} \quad (7)$$

όπου:  $D$  = η εσωτερική διάμετρος σε m και

$Q$  = η παροχή σε  $m^3/s$ .

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Συνεπώς το αποτέλεσμα που δίνει ο τύπος του Bresse πρέπει να θεωρείται άνω όριο της διαμέτρου και να επιλέγεται (σε αρχικό πάντα επίπεδο) η διάμετρος του εμπορίου αμέσως κάτω από αυτό το όριο.

Βέβαια για να γίνει η διαστασιολόγηση πρέπει να είναι γνωστές οι συνθήκες λειτουργίας του αγωγού. Όπως έχει αναφερθεί διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες εξωτερικού υδραγωγείου α) αγωγός μεταφοράς με βαρύτητα β) αγωγός καταθλιπτικός.

Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο που πρέπει να καταναλωθεί και επομένως να προκύψει η επιλογή διαμέτρου. Στην πράξη συναντώνται πολλές δυσκολίες και επομένως δεν επιλέγεται μονοδιάστατα ο αγωγός αλλά συνδυάζεται με συσκευές που μειώνουν ή μηδενίζουν την πίεση σε ορισμένα σημεία ή ακόμα και ενισχύουν την πίεση σε άλλα (π.χ. αντλίες booster). Υπάρχει επίσης η επιλογή σε ορισμένες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθούν 2 αντί 1 αγωγού. Η χρησιμοποίηση 2 αντί 1 αγωγού μεταφοράς αυξάνει σημαντικά εκτός των άλλων και τον συντελεστή αξιοπιστίας του εξωτερικού υδραγωγείου αφού είναι σχεδόν απίθανο και οι δύο αγωγοί να βγουν εκτός λειτουργίας ταυτόχρονα.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Επίσης για την ακριβή «κατανάλωση» του διαθέσιμου φορτίου είναι δυνατόν ο αγωγός μεταφοράς εξωτερικού υδραγωγείου να αποτελείται από δύο τμήματα με διαφορετική διάμετρο το καθένα. Σ' αυτή την περίπτωση μεταβαίνουμε από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη διάμετρο κατά την κατεύθυνση της ροής. Χωρίς να αποτελεί κανόνα η μετάβαση από τη μια διάμετρο στην άλλη πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομαλή δηλ. να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ διαμέτρων των εν σειρά τμημάτων.

*Στην περίπτωση του καταθλιπτικού αγωγού πέραν των εμπειρικών κανόνων μπορεί να εφαρμοσθεί μια διαδικασία επιλογής της βέλτιστης οικονομικά διαμέτρου. Όσο η διάμετρος  $D$  μεγαλώνει τόσο το αρχικό κόστος εγκατάστασης μεγαλώνει ενώ ταυτόχρονα το μανομετρικό ύψος μειώνεται (αφού οι απώλειες φορτίου είναι μικρότερες για μεγαλύτερη διάμετρο) και επομένως το κόστος του αντλητικού συγκροτήματος αλλά κυρίως το ενεργειακό κόστος λειτουργίας μειώνεται. Επομένως το ολικό κόστος (αρχικό και ετήσιο) του αντλιοστασίου και του καταθλιπτικού αγωγού μεταβάλλεται και παίρνει τη μικρότερη τιμή για μια από τις εναλλακτικές λύσεις (διαμέτρους). Η διάμετρος αυτή είναι η οικονομικά βέλτιστη (Heastad, 1997).*

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Σημειώνεται ότι για την ομογενοποίηση των δαπανών, αρχικών δαπανών και ετήσιων δαπανών, πρέπει ή όλες οι ετήσιες δαπάνες να αναχθούν σε παρούσες αξίες ή οι αρχικές δαπάνες να αναχθούν σε ετήσια μεγέθη γνωστά ως τοκοχρεολύσια. Οι διαδικασίες αναγωγής γίνονται με βάση ένα επιτόκιο προεξόφλησης  $i$  για διάρκεια ζωής του έργου που είναι  $n$  έτη. Για την αναγωγή των αρχικών δαπανών ( $P$ ) σε ετήσιες τιμές ( $A$ ) χρησιμοποιείται ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου

$$\frac{A}{P} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8)$$

ενώ για την αναγωγή των ετήσιων τιμών σε αρχικές δαπάνες χρησιμοποιείται ο συντελεστής παρούσας αξίας της τοκοχρεωλυτικής δόσης

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (9)$$

Τέλος η παρούσα αξία ( $P$ ) μιας μελλοντικής δαπάνης ( $F$ ) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον συντελεστή παρούσας αξίας.

$$\frac{P}{F} = \left( \frac{1}{1+i} \right)^n \quad (10)$$

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Σημειώνεται ότι ως ετήσιες δαπάνες θεωρούνται οι ενεργειακές δαπάνες, το εργασιακό κόστος, το κόστος διοικήσεως και το κόστος συντήρησης και επισκευών.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

## Εφαρμογή

Καταθλιπτικός αγωγός (εξωτερικό υδραγωγείο) σχεδιάζεται για τη μεταφορά νερού από γεώτρηση σε δεξαμενή ενός οικισμού με τη βοήθεια αντλητικού συγκροτήματος. Ζητείται να διαστασιολογηθεί ο καταθλιπτικός αγωγός με τη βοήθεια της οικονομικής βελτιστοποίησης με αναγωγή των οικονομικών μεγεθών σε ετήσια βάση.

Δίνονται:

Μήκος αγωγού  $L$  (m): 3000

Παροχή  $Q$  (L/s): 300

Ισοδύναμη τραχύτητα  $k_s$  (mm): 1

Υψόμετρο ανώτατης κανονικής στάθμης λειτουργίας στη δεξαμενή  $\Delta$  (m): +120

Υψόμετρο στάθμης άντλησης (m): + 25

Τοπικές απώλειες στην ποδοβαλβίδα (m): 1

Πτώση στάθμης τοπικά στη γεώτρηση (κώνος) (m): 5

Βαθμός απόδοσης αντλητικού συγκροτήματος: 0.70

Αρχικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος ανά KW (€ /KW): 600

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Ετήσιος χρόνος λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος (h): 5000

Διάρκεια ζωής των αντλιών (έτη): 20

Διάρκεια ζωής των σωληνώσεων (έτη): 40

Κόστος KWh (€/KWh): 0.10

Επιτόκιο προεξόφλησης (αναγωγής) (%): 4%

Κινηματική συνεκτικότητα του νερού  $\nu$  ( $m^2/s$ ):  $1 \times 10^{-6}$ .

Παραδοχές:

Το ετήσιο τοκοχρεολύσιο των αγωγών αυξάνεται κατά 1% της αρχικής δαπάνης λόγω δαπανών συντήρησης.

Το ετήσιο τοκοχρεολύσιο του αντλητικού συγκροτήματος αυξάνεται κατά 2% της αρχικής δαπάνης λόγω δαπανών συντήρησης.

Το κόστος εφεδρικών αντλιών που μπορεί να προβλεφθεί κατά το σχεδιάσμά να μη ληφθεί υπόψη.

Η απορροφούμενη ισχύς του αντλητικού συγκροτήματος είναι 15% μεγαλύτερη της υπολογιζόμενης (ηλεκτροκινητήρας).

Οι τοπικές απώλειες θεωρούνται ίσες με το 10% των γραμμικών απωλειών.



# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Συνολική δαπάνη ανά μέτρο τοποθετημένου αγωγού εσωτερικής διαμέτρου  $D$ , €/m:

$D$ (mm)	Δαπάνη (€ / m)
800	351.06
700	291.68
600	239.63
500	205.55
400	173.34
300	145.50

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

## Βήματα επίλυσης

1) Προσδιορισμός πιθανών διαμέτρων του καταθλιπτικού αγωγού με βάση τον περιορισμό της ταχύτητας.

2) Προσδιορισμός των γραμμικών απωλειών και των συνολικών απωλειών για τον καταθλιπτικό αγωγό.

3) Προσδιορισμός του απαραίτητου μανομετρικού με βάση την ανώτατη κανονική στάθμη της δεξαμενής την υψομετρική διαφορά και το σύνολο των απωλειών στον αγωγό αναρρόφησης και κατάθλιψης:

4) Προσδιορισμός της απαιτούμενης ισχύος

$$N' = 1.15 \frac{9.81 \cdot Q \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\eta} \text{ [KW]}$$

5) Προσδιορισμός της καταναλισκόμενης ενέργειας =  $N' \cdot \chi \cdot t \cdot *$  (ισχύς  $\chi$  ώρες λειτουργίας του αντλιοστασίου στο έτος), [KWh]. Με βάση τα δεδομένα της εφαρμογής πολλαπλασιάζεται η καταναλισκόμενη ενέργεια με το κόστος της ενέργειας ανά ώρα (ετήσια δαπάνη).

6) Προσδιορισμός του κόστους αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησης για τις αντλίες και τους αγωγούς - παρούσα αξία (αρχική δαπάνη).

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

7) Πρόβλεψη κόστους αντικατάστασης αντλίας μετά από 20 χρόνια (ως ποσό ίσο με το σημερινό) και μετατροπή του σε παρούσα αξία - μελλοντική δαπάνη μετατρέπεται σε παρούσα αξία - (αρχική δαπάνη).

8) Προσδιορισμός του κόστους λειτουργίας και συντήρησης των αντλιοστασίων και των αγωγών (1% και 2% για τις παρούσες αξίες των αγωγών και του αντλιοστασίου, αντίστοιχα) - (ετήσιες δαπάνες).

9) Αναγωγή όλων των ποσών σε ετήσιες δαπάνες:

α) Ετήσιες δαπάνες: Ενέργεια, κόστος λειτουργίας και συντήρησης αντλιοστασίου, κόστος λειτουργίας και συντήρησης αγωγών.

β) Μετατροπή για τις παρούσες αξίες σε ετήσια δαπάνη. Αυτές είναι: αρχική αξία για το κόστος αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησης των αντλιών στην οποία έχει ήδη ενσωματωθεί το κόστος αντικατάστασης της αντλίας και αρχική αξία για το κόστος αγοράς, μεταφοράς και τοποθέτησης των αγωγών.

10) Άθροισμα όλων των ετήσιων δαπανών και για κάθε αποδεκτή διάμετρο. Επιλογή της διαμέτρου με το μικρότερο άθροισμα δαπανών.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

**Λύση**, Υπολογίζεται η ταχύτητα ροής για μία σειρά πιθανών διαμέτρων. Επίσης, υπολογίζονται κατά τα γνωστά οι γραμμικές απώλειες χρησιμοποιώντας την εξίσωση Darcy - Weisbach με το συντελεστή τριβής  $f$  κατά Swamee and Jain (1976). Οι γραμμικές απώλειες αυξάνονται κατά 10% για να συμπεριλάβουν και τις τοπικές απώλειες. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι υπολογισμοί για την αντίσταση του κάθε αγωγού  $R$  και των συνολικών απωλειών

$$Q = V \cdot A = V \cdot \pi (D/2)^2, \Rightarrow V = Q / \pi (D/2)^2$$

$Re = V \cdot D / \nu$ ,  $\nu = 1 \times 10^{-6}$  ( $\nu$  = Κινηματική συνεκτικότητα του νερού  $\nu$  ( $m^2/s$ ): δίνεται ) και για τιμές  $Re > 4000$ ,  $k/D \rightarrow 0$  (για τυρβώδη ροή σε λείο αγωγό)  $k/D = (0,001/D)$

$$R = \frac{8 \cdot f \cdot L}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log\left( \frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{k/D}{3.7} \right) \right]^2} \quad (\text{Swamee and Jain})$$

$h_f = R \cdot Q^2$  ( γραμμικές απώλειες ) (  $h_f = \text{γραμμικές} + \text{τοπικές απώλειες} = hf \cdot 1.10$  )

$Q$ ( $m^3/s$ )	$D$ (m)	$V$ (m/s)	$L$ (m)	$Re$	$k/D$	$R$ ( $m/(m^3/s)^2$ )	$h_f$ (m)	$h_f'$ (m)

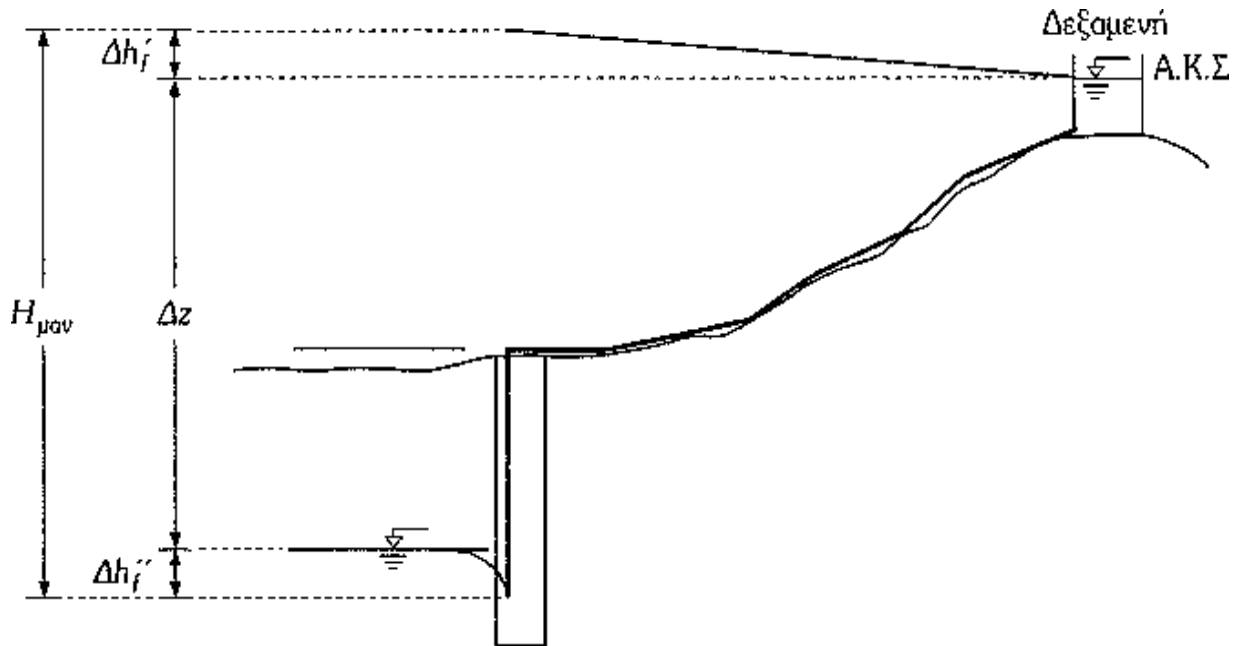
# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Υπολογισμός των συνολικών απωλειών του καταθλιπτικού αγωγού για τις διάφορες εσωτ. διαμέτρους για τους αγωγούς  $D$

$Q$ [ m <sup>3</sup> /s ]	$D$ (m)	$V$ (m/ s)	$L$ ( m)	$Re$	$k/D$	$R$ ( m/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> )	$M$ (m)	$h_i$ (m)
0.30	0.80	0.60	3000	477707.01	0.00125	16.21	<b>1.46</b>	1.60
0.30	0.70	0.78	3000	545950.86	0.00143	32.48	<b>2.92</b>	3.22
0.30	0.60	1.06	3000	636942.68	0.00167	72.62	<b>6.54</b>	7.19
0.30	0.50	1.53	3000	764331.21	0.0020	188.58	<b>16.97</b>	18.67

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Προφανώς, με την αύξηση της διαμέτρου αυξάνεται το κόστος αγωγού αλλά μειώνονται οι απώλειες στον καταθλιπτικό αγωγό (και μάλιστα με μη γραμμικό τρόπο).



$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + (\sum h_f' \text{ (καταθλιπτικός)} + \sum h_f'' \text{ (γεώτρησης)})$$

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Η υψομετρική διαφορά μεταξύ στάθμης άντλησης και ανώτατης στάθμης λειτουργίας προσδιορίζει το στατικό ύψος:

$$H_{\sigma.u.} = \Delta z \Rightarrow H_{\sigma.u.} = 120 - 25 \Rightarrow H_{\sigma.u.} = 95 \text{ m}$$

Οι συνολικές απώλειες στην γεώτρηση είναι:

$$hf'' = 1 + 5 = 6 \text{ m}$$

Το συνολικό μανομετρικό προκύπτει από το άθροισμα του στατικού ύψους (υψομετρική διαφορά μεταξύ στάθμης άντλησης και ανώτατης κανονικής στάθμης της δεξαμενής) και το άθροισμα των απωλειών στη γεώτρηση και στον καταθλιπτικό αγωγό:

Οι συνολικές απώλειες του αγωγού μεταφοράς  $hf'$  εξαρτώνται από την εσωτερική διάμετρο του αγωγού όπως παρουσιάζεται στον πρώτο πίνακα.

Το μανομετρικό ύψος  $H_{\mu\alpha\nu}$  δίνεται τελικά από τη σχέση:

$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + (h_f' + h_f'') = 95 + hf' + (5 + 1)$$

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Το συνολικό μανομετρικό ύψος σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα:

$$N = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\eta_{\alpha}}$$

Όπου:  $N$  = η ισχύς της αντλίας (KW),

$Q$  = η παροχή της γεώτρησης ( $m^3/s$ ),

$H_{\mu\alpha\nu}$  = το μανομετρικό ύψος (m), και

$\eta_{\alpha}$  = ο βαθμός απόδοσης του αντλητικού συγκροτήματος.

Η απορροφούμενη ισχύς  $N_g$  είναι 15% μεγαλύτερη της υπολογιζόμενης, δηλαδή

$$N_g = 1.15 \cdot N$$

*Απορροφούμενη ισχύς σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς  $D$*



# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Απορροφούμενη ισχύς σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς  $D$

$D(\text{mm})$	$V(\text{m/s})$	$hf' \text{ (m)}$	$hf'' \text{ (m)}$	$\Sigma hf \text{ (m)}$	$\Delta Z \text{ ( m)}$	Ισχύς $N \text{ (KW)}$	Απορροφούμενη Ισχύς $N_g \text{ (KW)}$
800	0.60	1.60	6.00	7.60	95.00	431.38	496.09
700	0.78	3.22	6.00	9.22	95.00	438.15	503.87
600	1.06	7.19	6.00	13.19	95.00	454.86	523.09
500	1.53	18.67	6.00	24.67	95.00	503.13	578.60

Για την αναγωγή του κόστους σε ετήσια βάση θα υπολογίσουμε την ενέργεια που απαιτεί ετησίως το αντλητικό συγκρότημα. Ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του αντλητικού συγκροτήματος είναι 5000 h. Η απαιτούμενη ενέργεια του αντλητικού συγκροτήματος είναι το γινόμενο της απορροφούμενης ισχύος επί τον ετήσιο χρόνο λειτουργίας των αντλιών. Τα αποτελέσματα της απαιτούμενης ενέργειας σε σχέση με την κάθε εσωτερική διάμετρο του αγωγού παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί, όπου επίσης παρουσιάζεται για κάθε περίπτωση και η δαπάνη της ενέργειας με δεδομένο κόστος μονάδας ενέργειας 0.10 € /KWh.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Ενέργεια και συνολική δαπάνη ενέργειας σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς  $D$

$D$ (mm)	<u>Απορροφούμενη</u> Ισχύς $N_g$ (KW)	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (x 10 <sup>3</sup> KWh)	Ετήσια δαπάνη ενέργειας (€)
800	496.09	2480.43	248042.87
700	503.87	2519.37	251936.81
600	523.09	2615.43	261543.08
500	578.60	2892.98	289297.55

Όπως γίνεται φανερό με την αύξηση της διαμέτρου μειώνονται οι απώλειες στον καταθλιπτικό αγωγό (και μάλιστα με μη γραμμικό τρόπο), μειώνεται το μανομετρικό και συνεπώς η απαιτούμενη ισχύς και τέλος συνακόλουθα η κατανάλωση ενέργειας.

Το κόστος του αντλητικού συγκροτήματος που προέρχεται από τις αρχικές δαπάνες υπολογίζεται από το γινόμενο της απορροφούμενης ισχύος επί το ανηγμένο κόστος του αντλητικού συγκροτήματος, εφόσον δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος των προβλεπόμενων εφεδρικών αντλιών.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Το αντίστοιχο κόστος των σωληνώσεων που προέρχεται από την αρχική δαπάνη υπολογίζεται από το γινόμενο του μήκους του αγωγού (που δίνεται 3000 m) επί της συνολικής δαπάνης ανά μέτρο τοποθετημένου αγωγού (όπως δίνεται για κάθε τιμή της εσωτερικής διαμέτρου του αγωγού). Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Κόστος αντλητικού συγκροτήματος και σωληνώσεων σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς  $D$**

$D$ (mm)	<u>Απορροφούμενη</u> Ισχύς $N_g$ (KW)	Κόστος <u>αντλητικού</u> συγκροτήματος (€)	Δαπάνη ανά μέτρο αγωγού (€/m)	Κόστος σωληνώσεων (€)
800	496.09	297651.45	351.06	1053180.00
700	503.87	302324.18	291.68	875040.00
600	523.09	313851.69	239.63	718890.00
500	578.60	347157.06	205.55	616650.00

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Στο διάστημα των 40 ετών ζωής των σωληνώσεων θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση των αντλιών των οποίων η διάρκεια ζωής είναι 20 χρόνια, μία φορά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει πληθωρισμός και επομένως το κόστος των αντλιών μετά από 20 χρόνια είναι το ίδιο με το σημερινό. Για να ανάγουμε την τελική αυτή αξία των αντλιών σε σημερινή θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση διαχρονικής ισοδυναμίας ποσών σύμφωνα με την οποία (Τσακίρης, 2006):

$$P = F \cdot \left( \frac{1}{1+i} \right)^n$$

όπου:  $P$  = η παρούσα αξία με βάση την τελική (€),

$F$  = η τελική αξία (€),

$n$  = η διάρκεια ζωής των αντλιών (έτη), και

$i$  = ο συντελεστής επικαιροποίησης (επιτόκιο).

Με βάση το κόστος του αντλητικού συγκροτήματος ως τελική αξία  $F$  όπως δίνεται από τον αμέσως προηγούμενο πίνακα, υπολογίζουμε την παρούσα αξία για την αντικατάσταση των αντλιών καθώς και το άθροισμα αρχικού κόστους και κόστους αντικατάστασης που αποτελεί τη συνολική δαπάνη για το αντλητικό συγκρότημα.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Το επιτόκιο λαμβάνεται 4% ( $i = 0.04$ ), ενώ η διάρκεια ζωής των αντλιών είναι  $n=20$  έτη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Συνολική δαπάνη αντλητικού συγκροτήματος σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού μεταφοράς  $D$**

$D$ (mm)	<u>Απορροφούμενη</u> Ισχύς $N_g(KW)$	<u>Κόστος</u> <u>αντλητικού</u> (€)	Κόστος αντικατάστασης μετά 20 χρόνια σε παρούσα αξία (€)	Συνολική παρούσα αξία για αγορά αντλιών (€)
800	496.09	297651.45	135844.23	433495.68
700	503.87	302324.18	137976.81	440300.98
600	523.09	313851.69	143237.81	457089.50
500	578.60	347157.06	158437.95	505595.01

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Για τον υπολογισμό των δαπανών σε ετήσια βάση θα πρέπει να γίνει αναγωγή του κόστους τόσο του αντλητικού συγκροτήματος όσο και των σωληνώσεων σε ετήσιες τιμές μέσω του ετήσιου τοκοχρεολυσίου. Το επιτόκιο αναγωγής είναι 4%, ενώ το ετήσιο τοκοχρεολύσιο δίνεται από την εξίσωση:

$$A = P \cdot \left[ \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

όπου:  $A$  = το ετήσιο τοκοχρεολύσιο (€),

$P$  = η αρχική αξία (€),

$i$  = το επιτόκιο (%), και

$n$  = η διάρκεια ζωής (έτη).

Να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής των αντλιών είναι 20 έτη, ενώ αντίστοιχα η διάρκεια ζωής των σωληνώσεων είναι 40 έτη. Το επιτόκιο είναι και στις δύο περιπτώσεις  $i = 0.04$  και το κόστος σε κάθε περίπτωση παρουσιάζεται στους δύο αμέσως προηγούμενους πίνακες.

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Το ετήσιο κόστος συντήρησης των αγωγών είναι το 1% του αντίστοιχου τοκοχρεωλυσίου, ενώ το κόστος συντήρησης του αντλητικού συγκροτήματος είναι το 2% του αντίστοιχου τοκοχρεωλυσίου για τη συνολική παρούσα αξία των αντλιών (κόστος αγοράς και ανηγμένο κόστος αντικατάστασης).

Το συνολικό κόστος σε ετήσια ποσά είναι:

1. Ετήσιο τοκοχρεολύσιο αγοράς αγωγών.
2. Κόστος συντήρησης (1% αρχικής δαπάνης αγοράς αγωγών).
3. Ετήσιο τοκοχρεολύσιο αγοράς και αντικατάστασης αντλιών.
4. Κόστος συντήρησης (2% αρχικής δαπάνης αντλιών).
5. Ετήσιο κόστος ενέργειας.

Ομάδα που οδηγεί σε αγωγό μικρής διαμέτρου

Ομάδα που οδηγεί σε αγωγό μεγάλης διαμέτρου λόγω κόστους αντλίας και ενέργειας

# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

*Ετήσιες δαπάνες σε σχέση με την εσωτερική διάμετρο του αγωγού*

D (mm)	Ετήσιο τοκοχρεολύσιο (€ /y)		Κόστος συντή- ρησης (€ /y)		Ενέργεια (€/y)	Αντλίες (€/y)	Αγωγοί (€ /y)	Ετήσιες δαπάνες (€/y)
	αντλιών	αγωγών	αγωγών	αντλιών				
800	21901.71	53210.33	10531.80	5953.03	248042.87	275897.61	63742.13	339639.74
700	22245.54	44210.07	8750.40	6046.48	251936.81	280228.84	52960.47	<b>333189.31</b>
600	23093.76	36320.83	7188.90	6277.03	261543.08	290913.87	43509.73	334423.60
500	25544.42	31155.31	6166.50	6943.14	289297.55	321785.12	37321.81	359106.93

**Σύμφωνα με την αναγωγή των δαπανών σε ετήσια βάση, θα πρέπει να επιλεγεί αγωγός εσωτερικής διαμέτρου  $D = 700$  mm που αντιστοιχεί στο ελάχιστο άθροισμα δαπανών (σε ετήσια βάση).**



# ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Η διάλεξη αυτή είναι στηριγμένη στις ακόλουθες πηγές:  
Υδραυλικά Έργα, Γ. Τσακίρης (ed.), Σχεδιασμός & Διαχείριση,  
Εκδόσεις Συμμετρία, 2010.