Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Αρδεύσεις (Εργαστήριο)

Ενότητα 9 : Ανοικτοί Αγωγοί Ι

Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Μόνιμη ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς

6.1. Γενικά

Ανοικτός αγωγός ή *αγωγός ελεύθερης ροής* είναι ένας αγωγός μέσα στον οποίο το νερό ρέει με ελεύθερη επιφάνεια.

Η πίεση στην επιφάνεια του νερού είναι σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Οι δυνάμεις που προκαλούν τη ροή στους ανοικτούς αγωγούς οφείλονται στη βαρύτητα, ενώ οι δυνάμεις που επιβραδύνουν τη ροή οφείλονται στην ιξώδη διάτμηση και στις τριβές κατά μήκος των τοιχωμάτων του αγωγού. (Οι δυνάμεις επιφανειακής τάσεως και η αντίσταση του αέρα πάνω στη ελεύθερη επιφάνεια θεωρούνται αμελητέες και δεν παίρνονται υπόψη) [1].

Γενικά διακρίνονται δύο είδη ανοικτών αγωγών, οι *τεχνητοί αγωγοί* και οι *φυσικοί αγωγοί,* ανάλογα με την αρχική τους διαμόρφωση.

Οι φυσικοί ανοικτοί αγωγοί έχουν συνήθως διάφορες διατομές, με ακανόνιστα σχήματα και με μεγάλη ποικιλία τραχύτητας στα τοιχώματά τους.

Οι τεχνητοί αγωγοί επίσης έχουν διάφορες διατομές, αλλά εξαιτίας της κατασκευής τους από τον άνθρωπο, αυτοί είναι γνωστής γεωμετρίας και υλικών κατασκευής και η ποικιλία της τραχύτητας είναι μικρότερη.

Οι τεχνητοί αγωγοί ονομάζονται *πρισματικοί* όταν η διατομή και η κλίση του πυθμένα τους είναι σταθερές. Οι πρισματικοί αγωγοί ονομάζονται *ορθογωνικοί, τραπεζοειδείς, τριγωνικοί, ημικυκλικοί, παραβολικοί* κ.λπ., ανάλογα με το γεωμετρικό σχήμα της διατομής τους [1].

Για την ανάλυση των προβλημάτων των ανοικτών αγωγών απαιτείται η γνώση διάφορων γεωμετρικών ιδιοτήτων της κατακόρυφης διατομής τους οι συνηθέστερες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες.

Βρεχόμενη επιφάνεια, Ε, το εμβαδόν της βρεχόμενης διατομής που μετριέται κατακόρυφα.

Βρεχόμενη περίμετρος, Π , είναι το μήκος της περιμέτρου της βρεχόμενης επιφάνειας.

Υδραυλική ακτίνα R, είναι ο λόγος της βρεχόμενης επιφάνειας προς την βρεχόμενη περίμετρο ήτοι $R = \frac{E}{\Pi}$.

Πλάτος διατομής , b, είναι το εύρος της διατομής στην ελεύθερη επιφάνεια.

Βάθος ροής , y , είναι η κατακόρυφη απόσταση από το χαμηλότερο σημείο της διατομής του αγωγού μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια.

Βάθος z , είναι το βάθος του νερού σε μία τυχαία θέση της συγκεκριμένης διατομής.

Μέσο (ή υδραυλικό) βάθος, D_m , είναι ο λόγος της βρεχόμενης επιφάνειας προς το πλάτος της διατομής στην ελεύθερη επιφάνεια (είναι δηλαδή το ισοδύναμο βάθος ορθογωνικής διατομής).

Το βάθος ροής, η παροχή και οι κλίσεις του πυθμένα και της ελεύθερης επιφάνειας αλληλεξαρτώνται και επομένως η μελέτη τέτοιων προβλημάτων είναι πιο δύσκολη από τη μελέτη προβλημάτων ροής υπό πίεση [2].

Το βάθος ροής , η παροχή και οι κλίσεις του πυθμένα και της ελεύθερης επιφάνειας αλληλεξαρτώνται και επομένως η μελέτη τέτοιων προβλημάτων είναι πιο δύσκολη από τη μελέτη προβλημάτων ροής υπό πίεση [2].

6.2. Είδη ροής

Η ροή σε ανοικτούς αγωγούς μπορεί να χωριστεί σε διάφορες κατηγορίες και να περιγραφεί με διαφόρους τρόπους. Έτσι με βάση τη μεταβολή των διαφόρων παραμέτρων της ροής σε σχέση με το χρόνο και το χώρο η ροή διακρίνεται σε α. Σταθερή και ασταθή ροή, β. Στρωτή και τυρβώδη ροή, γ. Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή, δ. Υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη και κρίσιμη ροή και ε. Αστρόβιλη και στροβιλώδη ροή.

6.2.1. Σταθερή και ασταθής ροή

Η ροή σε έναν ανοικτό αγωγό ονομάζεται σταθερή ή μόνιμη όταν οι μεταβλητές της σε ένα σημείο (ταχύτητα, βάθος κ.λπ.) είναι ανεξάρτητες από το χρόνο. Αυτό εξασφαλίζεται από τη συνθήκη $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = 0$. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν $\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \neq 0$, η ροή ονομάζεται ασταθής ή μη μόνιμη.

6.2.2. Στρωτή και Τυρβώδης ροή

Με βάση τον αριθμό Reynolds η ροή διακρίνεται σε στρωτή ροή ($R_e < 500$) και σε τυρβώδη ροή ($R_e > 2000$) [1]. Η ενδιάμεση κατάσταση ροής ονομάζεται μεταβατική. Ο αριθμός Reynolds για ανοικτούς αγωγούς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_e = \frac{4RV}{\nu} \tag{1}$$

όπου R είναι η υδραυλική ακτίνα της υγρής διατομής σε m , V είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/s και ν είναι το κινηματικό ιξώδες του ρέοντος νερού σε m^2/s. Η τυρβώδης ροή είναι συχνότερη και αναφέρεται σε περισσότερα από 99 % των προβλημάτων της ροής των ανοικτών αγωγών που απαντώνται στην πράξη.

6.2.3. Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη ροή

Η ροή ονομάζεται ομοιόμορφη όταν οι μεταβλητές της σε μία χρονική στιγμή είναι ανεξάρτητες από το χώρο, δηλαδή είναι οι ίδιες σε όλα τα σημεία κατά μήκος του αγωγού. Αυτό εξασφαλίζεται από τη συνθήκη $\frac{\partial \overline{u}}{\partial L} = 0$. Στην αντίθετη περίπτωση δηλαδή όταν $\frac{\partial \overline{u}}{\partial L} \neq 0$, η ροή ονομάζεται ανομοιόμορφη. Η ροή στους ανοικτούς αγωγούς είναι κατά κανόνα ασταθής και ανομοιόμορφη. Λόγω όμως της πολυπλοκότητάς της, τα προβλήματα των τεχνητών ανοικτών αγωγών αντιμετωπίζονται στην πράξη με την παραδοχή μόνιμης ομοιόμορφης ροής στα ευθύγραμμα τμήματα των αγωγών μεγάλου μήκους και μόνιμης ανομοιόμορφης ροής στις γωνίες, ρυθμιστικές θυρίδες, στους καταβαθμούς, εκχειλιστές κ.λπ.

6.2.4. Υποκρίσιμη, κρίσιμη και υπερκρίσιμη, ροή

Υποκρίσιμη είναι η ροή όταν η ταχύτητά της είναι μικρότερη από την κρίσιμη ταχύτητα. Υπερκρίσιμη είναι η ροή όταν η ταχύτητά της είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη ταχύτητα, ενώ όταν η ταχύτητα ροής είναι ίση με την κρίσιμη ταχύτητα η ροή ονομάζεται κρίσιμη [1] και οι δυνάμεις μάζας και αδρανείας είναι ίσες [4]. Ο έλεγχος της κατάστασης της ροής γίνεται με αριθμό Froude, F_r, ο οποίος είναι ένας αδιάστατος αριθμός που ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης ταχύτητας της ροής ,V, προς την ταχύτητα μεταδόσεως των μικρών κυμάτων ,c, όπου $c = \sqrt{gE/B}$, E= υγρή διατομή και B = πλάτος διατομής στην επιφάνεια του νερού. Η ταχύτητα μεταδόσεως των μικρών κυμάτων ,c, ισούται με την κρίσιμη ταχύτητα. Για ορθογωνικούς αγωγούς, όπου $y = \frac{E}{B}$ είναι το υδραυλικό βάθος ροής η κρίσιμη ταχύτητα είναι $c = \sqrt{gy}$. Σύμφωνα με τα παραπάνω [1], η τιμή του αριθμού Froude είναι:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gE/B}} \qquad (2)$$

Όταν είναι $F_r < 1$ η ροή είναι υποκρίσιμη. Όταν είναι $F_r > 1$ η ροή είναι υπερκρίσιμη. Όταν είναι $F_r = 1$ η ροή είναι κρίσιμη.

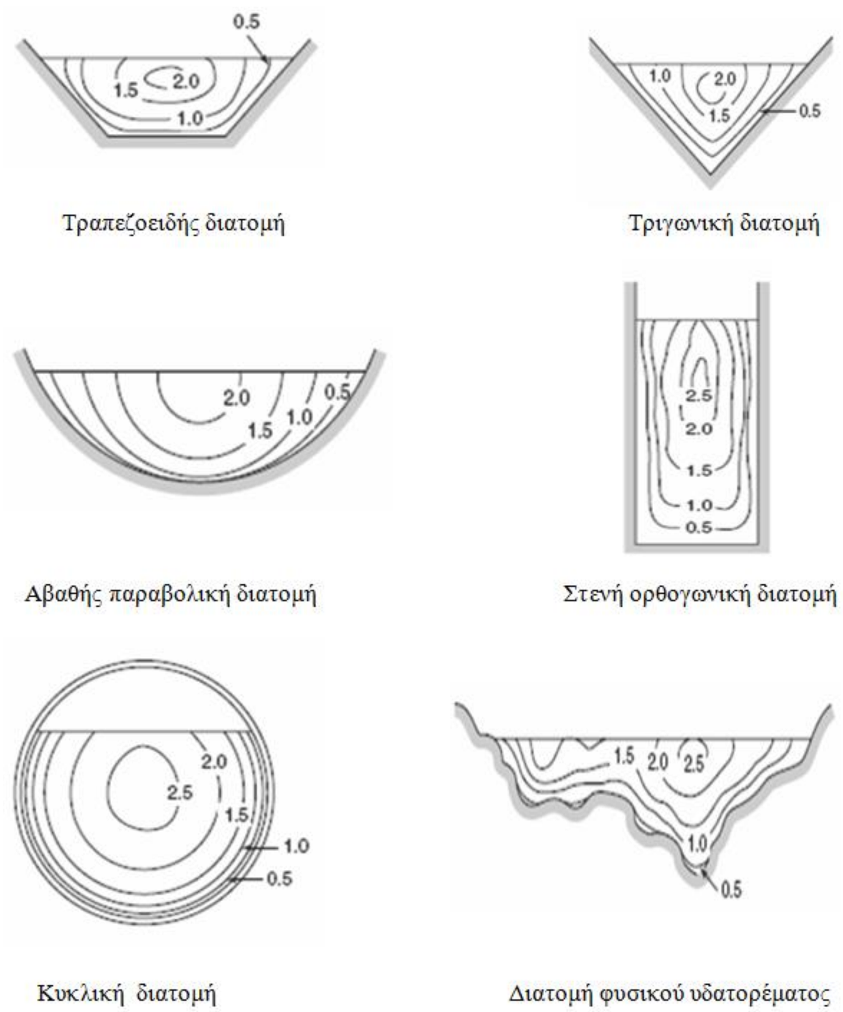
6.2.5. Αστρόβιλη και στροβιλώδης ροή

Αστρόβιλη λέγεται η ροή όταν τα σωματίδια δε διαθέτουν γωνιακή ταχύτητα περί το κέντρο τους, ($\nabla x \overline{u} = 0 \rightarrow \omega = 0$). Σε αντίθετη περίπτωση λέγεται στροβιλώδης. Στα πραγματικά ρευστά η ροή είναι πάντα, λιγότερο ή περισσότερο, στροβιλώδης. Λόγω όμως του ότι το νερό διαθέτει μικρό ιξώδες, η επίδραση του εξασθενεί γρήγορα πέρα από τα τοιχωμάτα και περιορίζεται σε ένα λεπτό στρώμα σε αυτά. Η ροή διαμορφώνεται κυρίως από δυνάμεις βαρύτητας δηλαδή θεωρείται αστρόβιλη, και η επίδραση του ιξώδους, (και της τραχύτητας), λαμβάνεται υπόψη μέσω εμπειρικών τύπων απωλειών [3].

6.3. Κατανομή της ταχύτητας στους ανοικτούς αγωγούς

Όπως προαναφέρθηκε, η πλειονότητα των ροών στους ανοικτούς αγωγούς είναι τυρβώδεις και στην πράξη αντιμετωπίζονται στα μεν ευθύγραμμα τμήματα μεγάλου μήκους ως μόνιμες ομοιόμορφες ροές στα δε σημεία μεμονωμένων κατασκευών, ως μόνιμες ανομοιόμορφες ροές. Οι συνήθεις διατομές, με τις οποίες κατασκευάζονται οι τεχνητοί αγωγοί, είναι η τραπεζοειδής (της οποίας ειδική περίπτωση αποτελούν η ορθογωνική και η τριγωνική διατομή), η κυκλική, η παραβολική και σπανιότερα η πεταλοειδής και η ωοειδής.

Η κατανομή της ταχύτητας στους ανοικτούς αγωγούς και για τυρβώδη ροή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι το ιξώδες, το σχήμα και η τραχύτητα των τοιχωμάτων και τα δευτερεύοντα ρεύματα που συνήθως παρουσιάζονται σε όλους τους τύπους των ανοικτών αγωγών. Γενικά η ταχύτητα έχει μηδενική τιμή πάνω στα τοιχώματα του αγωγού και αυξάνει κατά μη γραμμικό τρόπο με την απόσταση παίρνοντας τη μέγιστη τιμή λίγο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Το σχήμα 6.1. δείχνει την κατανομή της ταχύτητας για τις περιπτώσεις αγωγών τραπεζοειδούς, τριγωνικής, παραβολικής , στενής ορθογωνικής κυκλικής , παραβολικής διατομής καθώς και διατομής φυσικού υδατορέματος.



Σχήμα 6.1. Κατανομή ταχύτητας σε ανοικτούς αγωγούς για τυρβώδη ροή

6.4. Τύποι υπολογισμού της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς

Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι υπολογισμού της ταχύτητας της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς είναι της γενικής μορφής [1],[2],[3]:

$$V = C\sqrt{RJ} \tag{3}$$

όπου V είναι η μέση ταχύτητα ροής σε m/s, C είναι συντελεστής τραχύτητας σε $m^{1/2}/s$, J είναι η κλίση της γραμμής ενεργείας και R είναι η υδραυλική ακτίνα σε m. Η σχέση αυτή προτάθηκε από το Γάλλο μηχανικό Antoine Chezy ύστερα από μετρήσεις που έκανε σε χωμάτινη διώρυγα και στον ποταμό Seine το 1769 [3]. Ο τύπος του Chezy ισχύει μόνο για ομοιόμορφη ροή σε τραχείς αγωγούς και με μεγάλη σχετική ταχύτητα. Οι συνηθέστερες από τις εκφράσεις υπολογισμού του συντελεστή τραχύτητας, προτάθηκαν από τους Darcy-Weisbach, τους Manning - Strickler, τον Bazin, τους Kutter -Ganguillet, τον Kutter, και τον Powell (πίνακας 6.1.). Από όλους αυτούς τους τρόπους υπολογισμού της τραχύτητας επικρατέστερος είναι ο υπολογισμός με την εξίσωση των Manning - Strickler.

Πίνακας 6.1. Τιμές του συντελεστή τραχύτητας του Chezy για τον υπολογισμό της μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς [1], [5], [6], [7], [8].

Α/Α	Όνομα ερευνητή	C	Παρατηρήσεις
1	Darcy – Weisbach	$\sqrt{\frac{8g}{f}}$	Ο συντελεστής f εξαρτάται από την τραχύτητα του αγωγού και τον αριθμό του Reynolds .
2	Manning – Strickler	$\frac{m}{n}R^{1/6}$	Στο διεθνές σύστημα είναι m =1 και στο Αγγλοσαξονικό m=1,49.
3	Bazin	$\frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$	Εφαρμόζεται μόνο στη Γαλλία και δίνει ικανοποιητικά αποτε-λέσματα για ταχύτητες 1,20 m/s.
4	Kutter – Ganguillet	$\frac{23+\frac{0,00155}{J}+\frac{1}{n}}{1+\left(23+\frac{0,00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$	Η χρήση του είναι περιορισμέ-νη και αντί για αυτόν χρησιμο-ποιείται ο τύπος του Manning.
5	Kutter	$\frac{100\sqrt{R}}{m+R}$	Εφαρμόζεται κυρίως στον υπολο-γισμό δικτύων υπονόμων.
6	Powell	$-m\log\left(\frac{C}{R_e}+\frac{\varepsilon}{R}\right)$	Στο Αγγλοσαξονικό σύστημα είναι m = 42 και στο διεθνές m =23,182.

6.5. Επίλυση προβλημάτων μόνιμης ομοιόμορφης ροής σε ανοικτούς αγωγούς

Η επίλυση των προβλημάτων ομοιόμορφης ροής των ασυμπιέστων ρευστών στους ανοικτούς αγωγούς απαιτεί την ταυτόχρονη λύση των παρακάτω εξισώσεων :

α. της εξίσωσης συνέχειας:

$$Q = E.V \tag{4}$$

β. της εξίσωσης κινήσεως του Manning :

$$V = \frac{Q}{E} = \frac{1}{n} . J^{1/2} . \ R^{2/3} \tag{5}$$

Οι μεταβλητές του προβλήματος είναι η παροχή, Q , το εμβαδόν της διατομής, E , η μέση ταχύτητα ροής, V , η υδραυλική ακτίνα, R , η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας, J , και n είναι συντελεστής του Manning ο οποίος δίδεται από πίνακες. Παρατηρείται ότι υπάρχουν δύο εξισώσεις και έξι άγνωστοι οι **Q, E, V, R, J, και n.**

Επομένως για να επιλυθεί αυτό το σύστημα πρέπει οι τέσσερες από τις μεταβλητές να είναι γνωστές από τα δεδομένα του προβλήματος.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι προβλημάτων στους ανοικτούς αγωγούς, για ροές πραγματικών ρευστών, οι εξής :

6.5.1. Υπολογισμός της κατά μήκος κλίσεως του αγωγού.

Ζητείται να προσδιοριστεί η κατά μήκος κλίση, J, της ελεύθερης επιφάνειας ανοικτού αγωγού, όταν δίνεται η παροχή, Q, το βάθος ροής, y, ο συντελεστής του Manning , n, και το σχήμα της διατομής.

Λύση:

α. Υπολογίζεται το εμβαδόν, E, της διατομής και η βρεχομένη περίμετρος Π από τα δεδομένα του προβλήματος.

β. Υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα R = E/Π και στην συνέχεια το $R^{2/3}$.

γ. Από την εξίσωση συνέχειας υπολογίζεται η ταχύτητα:

$$V = Q : E \tag{6}$$

δ. Τέλος από τύπο του Manning υπολογίζεται η κλίση J :

$$J = \frac{Q^2 . n^2}{E^2 . \ R^{4/3}} \tag{7}$$

6.5.2. Υπολογισμός της παροχής.

Ζητείται να προσδιοριστεί η παροχή, Q, όταν δίνεται η κατά μήκος κλίση, J, της ελεύθερης επιφάνειας ανοικτού αγωγού, το βάθος ροής, y, ο συντελεστής του Manning, n, και το σχήμα της διατομής.

Λύση:

α. Υπολογίζεται το εμβαδόν, Ε, της διατομής και η βρεχομένη περίμετρος Π από τα δεδομένα του προβλήματος.

β. Υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα R = Ε/Π και στην συνέχεια το $R^{2/3}$.

γ. Από τύπο του Manning υπολογίζεται η ταχύτητα ροής V.

δ. Τέλος από την εξίσωση συνέχειας υπολογίζεται την παροχή Q.

6.5.3. Υπολογισμός του βάθους ροής.

Ζητείται να προσδιοριστεί το βάθος ροής, y, όταν δίνεται η κατά μήκος κλίση, J, της ελεύθερης επιφάνειας ανοικτού αγωγού, το πλάτος του αγωγού, b, ο συντελεστής του Manning , n, η παροχή, Q, και το σχήμα της διατομής.

Λύση:

Το πρόβλημα αυτό λύνεται με διαδοχικές δοκιμές ως εξής:

Υποτίθεται μία τιμή για το βάθος ροής και υπολογίζονται οι αντίστοιχες σε αυτή τιμές των Ε, Π, R, και $R^{2/3}$.

Από τύπο του Manning υπολογίζεται η ταχύτητα ροής V.

Από την εξίσωση συνέχειας υπολογίζεται η παροχή Q, η οποία συγκρίνεται με την ζητούμενη τιμή από το πρόβλημα.

Αν η τιμή του Q που βρέθηκε είναι συγκριτικά μεγαλύτερη από την τιμή του προβλήματος, σημαίνει ότι η υποτεθείσα τιμή για το y ήτο μεγαλύτερη από την ζητούμενη και αντιστρόφως.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία των δοκιμαστικών δοκιμών του y μέχρις ότου η υπολογιζόμενη τιμή του Q να συμφωνεί με την τιμή του Q που δόθηκε.

Τελικά ως βάθος ροής παίρνεται το αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο πολλαπλάσιο του πέντε σε εκατοστά.

6.6. Επίλυση των προβλημάτων σε αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής

Για την περίπτωση της τραπεζοειδούς διατομής ισχύουν οι σχέσεις:

$$E = by + my^2 \tag{8}$$

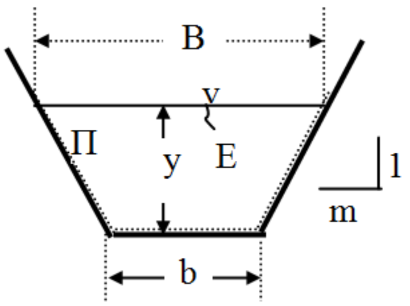
$$\Pi = b + 2y\sqrt{1+m^2} \tag{9}$$

και

$$R = \frac{by + my^2}{b + 2y\sqrt{1+m^2}} \tag{10}$$

Επομένως η εξίσωση του Manning παίρνει τη μορφή:

$$\frac{Q}{E} = \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{by + my^2}{b + 2y\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} \tag{11}$$



Σχήμα 6.2. Χαρακτηριστικά τραπεζοειδούς διατομής.

Οι μεταβλητές του προβλήματος είναι το βάθος ροής, y, το πλάτος του πυθμένα, b, η κλίση των πρανών, m, η παροχή του αγωγού, Q, ο συντελεστής του Manning, n, και η κατά μήκος κλίση του αγωγού, J. Όταν από αυτές είναι γνωστές οι πέντε μπορεί να υπολογιστεί η έκτη.

Η τραπεζοειδής διατομή είναι γενική περίπτωση και μεταπίπτει σε ορθογωνική διατομή όταν m = 0 , καθώς επίσης σε τριγωνική διατομή όταν b=0.

6.1.1. Επίλυση των προβλημάτων σε αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής με τη βοήθεια του Η/Υ

Η δυσκολία στην επίλυση των προβλημάτων οφείλεται στο ότι η εξίσωση του Manning είναι πεπλεγμένη συνάρτηση των γεωμετρικών στοιχείων της διατομής με αποτέλεσμα να απαιτείται η εφαρμογή επαναληπτικής κοπιαστικής και χρονοβόρας διαδικασίας, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για εκτεταμένα δίκτυα αγωγών, όπου ο υπολογισμός πρέπει να συνδυάζεται αυτόματα με τον υπολογισμό άλλων μεγεθών. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα απλό πρόγραμμα υπολογισμού, το οποίο να είναι προσιτό σε ευρύ φάσμα ερευνητών και να μπορεί να ενσωματωθεί ως υπορουτίνα σε υπολογιστικά πακέτα για ανοικτούς αγωγούς. Το πρόγραμμα είναι σε γλώσσα Microsoft Visual Basic και με τη βοήθειά του υπολογίζεται το ένα από τα μεγέθη y, b, m, Q, n, J, όταν είναι γνωστά τα υπόλοιπα πέντε.

6.1.1.1. Εισαγωγή δεδομένων

Στα κελιά D6 έως D11 ενός λογιστικού φύλλου (spreadsheet) εισάγονται τα μεγέθη y, b, m, Q, n και J αντίστοιχα. Στο κελί που αφορά το άγνωστο μέγεθος εισάγεται το σημείο, ; , και στα υπόλοιπα οι τιμές των γνωστών δεδομένων. Στο κελί D12 εισάγεται η εξίσωση του Manning, (εξ. 11), η οποία έχει την έκφραση:

=(if(d9=";";g26;d9))/(if(d6=";";g26*d7+d8*g26^2;if(d7=";";g26*d6+d8*d6^2;if(d8=";";d7*d6+g26* d6^2;d7*d6+d8*d6^2))))-(1/(if(d10=";";g26;d10)))*((if(d11=";";g26;d11))^(1/2))*(((if(d6=";";g26* d7+d8*g26^2;if(d7=";";g26*d6+d8*d6^2;if(d8=";";d7*d6+g26*d6^2;d7*d6+d8*d6^2))))/(if (d6=";";d7+2*g26*((1+d8^2)^(1/2));if(d7=";";g26+2*d6*((1+d8^2)^(1/2));if(d8=";";d7+2*d6*((1+g26^2)^(1/2));d7+2*d6*((1+d8^2)^(1/2)))))))^(2/3)) και ισχύει για όλες τις περιπτώσεις.

6.1.1.2. Επίλυση του προβλήματος

Για την επίλυση του προβλήματος αναπτύσσεται η μακροεντολή :

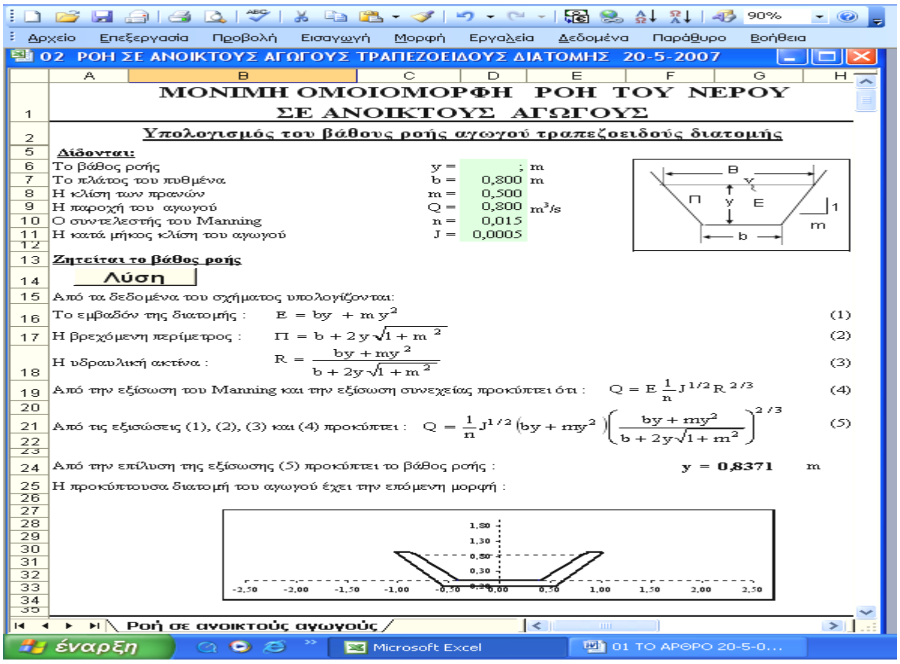
```
Sub Μακροεντολή1()
'Μόνιμη Ομοιόμορφη Ροή σε Ανοικτούς Αγωγούς Τραπεζοειδούς Διατομής
'Καταγραφή μακροεντολής 26/5/2007 από Μενέλαο Θεοχάρη
If Range("d6") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του βάθους ροής αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range ("g24").Select
Range ("a13").Cells = "Ζητείται το βάθος ροής"
Range("a7").Cells = "Το πλάτος του πυθμένα"
Range("a8").Cells = "Η κλίση των πρανών"
Range("a9").Cells = "Η παροχή του  αγωγού"
Range("a10").Cells = "O συντελεστής του Manning"
Range("a11").Cells = "Η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης  (5) προκύπτει το βάθος ροής :"
Range ("f24").Cells = "y ="
Range ("h24").Cells = "m"
ElseIf Range ("d7") = ";" Then
Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του πλάτους πυθμένα αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
Range ("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
Range("g24").Select
Range("a13").Cells = "Ζητείται το πλάτος του πυθμένα"
Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει το πλάτος του πυθμένα : "
Range("f24").Cells = "b ="
Range("h24").Cells = "m"
ElseIf Range("d8") = ";" Then
```

```
  Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της κλίσης των πρανών αγωγού τραπεζοειδούς διατομής "
  Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
  Range("g24").Select
  Range("a13").Cells = "Ζητείται η κλίση των πρανών"
  Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει η κλίση των πρανών : "
  Range("f24").Cells = "m ="
  Range("h24").Cells = ""
  ElseIf Range("d9") = ";" Then
  Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της παροχής αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
  Range("d12").GoalSeek Goal: =0, ChangingCell:=Range("g24")
  Range("g24").Select
  Range("a13").Cells = "Ζητείται η παροχή του αγωγού"
  Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της  εξίσωσης (5) προκύπτει η παροχή του αγωγού : "
  Range("f24").Cells = " Q ="
  Range("h24").Cells = "m3/s"
  ElseIf Range("d10") = ";" Then
  Range("a2").Cells = "Υπολογισμός του συντελεστή του Manning  αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
  Range("d12").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("g24")
  Range("g24").Select
  Range("a13").Cells = "Ζητείται ο συντελεστής του Manning"
  Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει ο συντελεστής του Manning :"
  Range("f24").Cells = " n ="
  Range("h24").Cells = ""
  ElseIf Range("d11") = ";" Then
  Range("a2").Cells = "Υπολογισμός της κατά μήκος κλίσης αγωγού τραπεζοειδούς διατομής"
  Range("d12").GoalSeek Goal: =0, ChangingCell:=Range("g24")
  Range("g24").Select
  Range("a13").Cells = "Ζητείται η κατά μήκος κλίση του αγωγού"
  Range("a24").Cells = "Από την επίλυση της εξίσωσης (5) προκύπτει η κατά μήκος κλίση του αγωγού:"
  Range("f24").Cells = " J  ="
  Range("h24").Cells = ""
  Else
  Range("g24").Cells = "1000"
  End If
```

End Sub

Σημείωση: Η αρίθμηση των εξισώσεων στην ιστοσελίδα είναι αυτοτελής. Η αντιστοίχησή τους με τις εξισώσεις του κειμένου είναι (1)→(8), (2)→(9), (3)→(10), (4)→(5) και (5)→(11).

Στη συνέχεια πατώντας το πλήκτρο **Λύση** προκύπτει η λύση του προβλήματος. Στο σχήμα 6.3 φαίνεται η όλη διαδικασία για την περίπτωση υπολογισμού του βάθους ροής.



Σχήμα 6.3. Υπολογιστικό φύλλο προσδιορισμού του βάθους ροής αγωγών τραπεζοειδούς διατομής.

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. Μενέλαος Θεοχάρης, “ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ”, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 2012.
2. Μενέλαος Θεοχάρης, “Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ”, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 1998.
3. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις ", Άρτα 1998
4. Θεοχάρης Μ.: " Η Άρδευση με Σταγόνες ", Άρτα 1998
5. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις , Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 1998
6. Καρακατσούλης Π. : " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις και Προστασία των Εδαφών ", Αθήνα 1993.
7. Κωνσταντινίδης Κ. : "Η μέθοδος αρδεύσεως δια καταιονήσεως ", Θεσσαλονίκη - Αθήνα 1975.
8. Μιχελάκης Ν. : "Συστήματα Αυτόματης Άρδευσης - Άρδευση με Σταγόνες"
9. Daugerty - Franzini : "Υδραυλική" Τόμοι I , II, Εκδόσεις Πλαίσιο , Αθήνα.
10. Davis- Sorensen :" Handbook of applied Hydraulics" Third edition McGraw-Hill Book Company, 1969.
11. Ουζούνης Δ. "Θεωρητική και Πρακτική Μέθοδος της Άρδευσης με Σταγόνες" Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1997.
12. Τερζίδης Γ. : "Μαθήματα Υδραυλικής " , Τόμοι Ι ,ΙΙ , ΙΙΙ, Θεσσαλονίκη 1986.
13. Τερζίδης Γ. - Παπαζαφειρίου Ζ. : " Γεωργική Υδραυλική " Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1997.
14. Τζιμόπουλος Χ. : " Γεωργική Υδραυλική ", Τόμοι Ι , ΙΙ, Εκδόσεις Ζήτη , Θεσ-σαλονίκη 1982.
15. Τσακίρης Γ. : "Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων ", Αθήνα
16. Hansen V. - Israelsen : "Αρδεύσεις. Βασικοί Αρχαί και Μέθοδοι . Μετάφραση από τους Α. Νικολαΐδη και Α. Κοκκινίδη ", Αθήνα 1968.

Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Αρδεύσεις (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από:
http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG110/

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης