Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Στραγγίσεις (Θεωρία)

Ενότητα 9 : Η ασταθής στράγγιση των εδαφών I

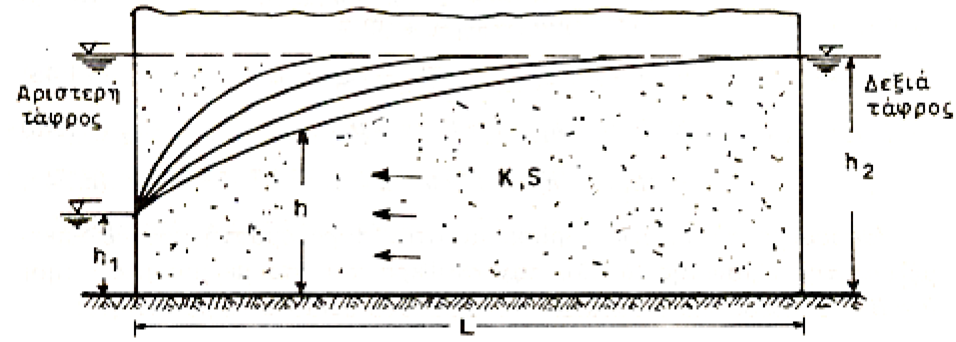
Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης

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

6.1 Γενικά

Η ροή του υπόγειου νερού ονομάζεται ασταθής, ή μη μόνιμη, όταν μεταβάλλεται με το χρόνο. Η κατάσταση της ασταθούς ροής παρατηρείται συχνότατα στη φύση και δεν αποτελεί υπερβολή να λεχθεί ότι όλα τα φαινόμενα της κίνησης του υπόγειου νερού, κατά τη στράγγιση ενός ανοικτού υδροφόρου στρώματος με παράλληλους κλειστούς αγωγούς (σωλήνες) ή ανοικτές τάφρους, ανήκουν στην ασταθή ροή.

Η περίπτωση ασταθούς, ή μη μόνιμης, ροής του υπόγειου νερού μέσα από ένα οριζόντιο ελεύθερο υδροφόρο στρώμα που επικάθεται πάνω σε μια αδιαπέρατη βάση ή αδιαπέρατο υπόστρωμα και περιορίζεται από δύο τάφρους, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1. Οι τάφροι απέχουν μεταξύ τους απόσταση L και ο πυθμένας τους συμπίπτει με την οριζόντια αδιαπέρατη βάση. Υποθέτουμε ότι η ελεύθερη επιφάνεια του νερού στις τάφρους και η υπόγεια στάθμη του ελεύθερου υδροφόρου στρώματος ήταν στο ίδιο επίπεδο, δηλαδή στο σταθερό βάθος h_2 , για αρκετό χρονικό διάστημα. Υποθέτουμε επίσης ότι στο χρόνο t = 0 αρχίζει η πτώση της ελεύθερης στάθμης του νερού της αριστερής τάφρου από το βάθος h_2 στο βάθος h_1 ενώ το βάθος του νερού της δεξιάς τάφρου παραμένει σταθερό. Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής είναι η μη μόνιμη μεταβατική ροή του υπόγειου νερού του υδροφόρου στρώματος προς την αριστερή τάφρο μέχρις ότου η υπόγεια στάθμη του καταλάβει τη νέα μόνιμή της θέση.



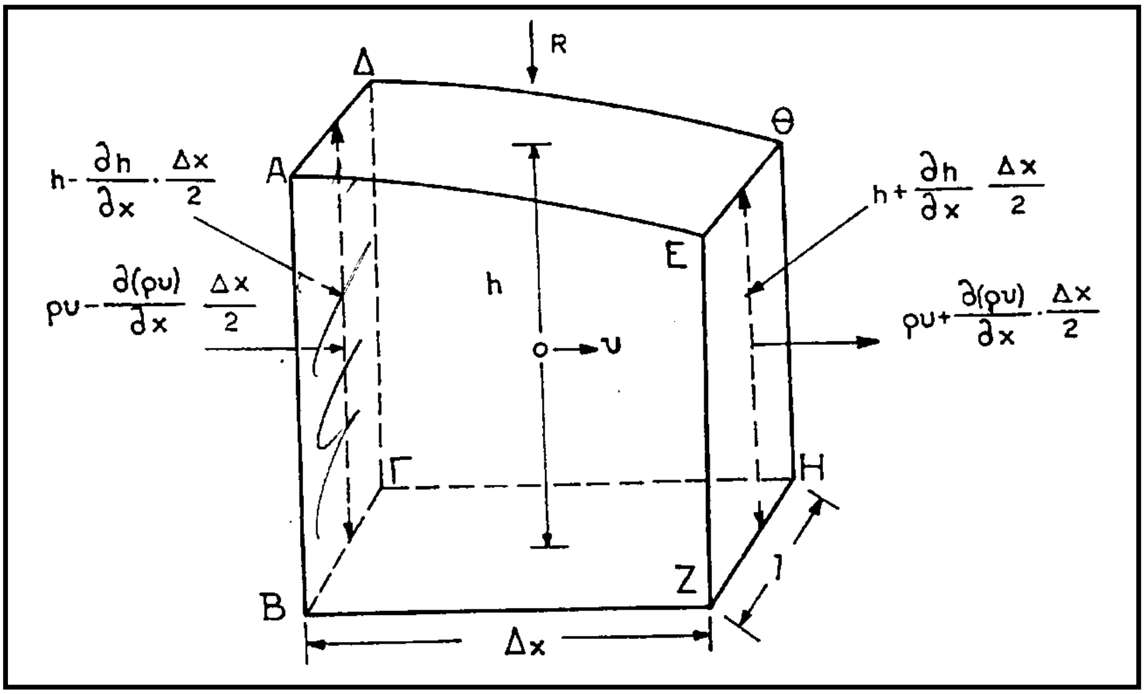
Σχήμα 6.1 Ροή μεταξύ δύο τάφρων σε ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, χωρίς επαναπλήρωση.

Επειδή οι επιλύσεις των προβλημάτων της ασταθούς στράγγισης παρουσιάζουν μαθηματικές δυσκολίες και σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθούν να είναι άγνωστες, καταφεύγουμε συνήθως στις απλοποιημένες μεθόδους της σταθερής ροής , που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια θα αναπτύξουμε τις βασικές εξισώσεις της ασταθούς στράγγισης καθώς και τα αποτελέσματα των κυριοτέρων μεθόδων επίλυσής τους, χωρίς να αναφερθούμε στην αυστηρή μαθηματική τους ανάλυση.

6.2 Η εξίσωση του Boussinesq

6.2.1 Εξαγωγή της εξίσωσης του Boussinesq

Ας θεωρήσουμε το στοιχείο όγκου ΑΒΓΔΕΖΗΘ (βλέπε σχήμα 6.2) μήκους Δx , μέσου ύψους h και πλάτους ίσου με τη μονάδα, εδάφους ομογενούς, ισότροπου και κορεσμένου με νερό, του οποίου η βάση ΒΓΗΖ βρίσκεται στο αδιαπέρατο οριζόντιο υπόστρωμα και η καμπυλόγραμμη επιφάνεια ΑΔΘΕ είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού (υπόγεια στάθμη) κατά τη χρονική στιγμή t .



Σχήμα 6.2 Στοιχειώδης όγκος ελέγχου για την εξαγωγή της εξίσωσης του Boussinesq

Έστω υ η μέση ταχύτητα στο κέντρο του όγκου ΑΒΓΔΕΖΗΘ , ρ , η σταθερή πυκνότητα του νερού και S η σταθερή ειδική απόδοση σε νερό του εδάφους.

Παραδεχόμαστε ότι η ροή του υπόγειου νερού είναι ασταθής, βραδεία, μονοδιάστατη και ακολουθεί τις παραδοχές των Dupuit και Forchheimer .

Εφαρμόζοντας την αρχή της διατήρησης της μάζας στο στοιχείο όγκου ΑΒΓΔΕΖΗΘ, δηλαδή η εισερχόμενη μάζα νερού, $\Delta m_{εισ.}$, μείον την εξερχόμενη μάζα αυτού, $\Delta m_{εξ.}$, ισούται με τη μεταβολή της μάζας του νερού, Δ m, του παραπάνω όγκου, παίρνουμε:

$$\Delta m_{εισ.} - \Delta m_{εξ.} = \Delta m \qquad (6.1)$$

η οποία αναλυτικότερα , αφού λάβουμε υπόψη ότι :

, και

για τη μονάδα πλάτους, dy = 1 και για τη μονάδα χρόνου dt = 1, γράφεται :

Εκτελώντας τις αλγεβρικές πράξεις στην παραπάνω εξίσωση παίρνουμε :

$$\rho.\upsilon.h - \rho.\upsilon.\frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2} - \frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2}.h + \frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2}.\frac{\partial h}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2} - \rho.\upsilon.h -$$

$$-\rho.\upsilon.\frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2} - \frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2}.h - \frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2}.\frac{\partial h}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2} = \rho.S.\frac{\partial h}{\partial t}.\Delta x \Rightarrow$$

$$-2.\rho.\upsilon.\frac{\partial h}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2} - 2.\frac{\partial(\rho.\upsilon)}{\partial x}.\frac{\Delta x}{2}.h = \rho.S.\frac{\partial h}{\partial t}.\Delta x \Rightarrow$$

$$-h.\frac{\partial(\rho\, u)}{\partial x} - \rho.u.\frac{\partial h}{\partial x} = \rho.S.\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (6.2)$$

Επειδή η πυκνότητα ρ είναι σταθερή, η εξίσωση (6.2) γίνεται :

(6.3)

Από την πρώτη παραδοχή των D-F και το νόμο του Darcy έχουμε :

(6.4)

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (6.4) στην εξίσωση (6.3) παίρνουμε :

(6.5)

Επειδή για την περίπτωση ομογενούς ισότροπου εδάφους και για κορεσμένη ροή ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας K είναι σταθερός, η εξίσωση (6.5) γίνεται :

Η εξίσωση (6.6) είναι μία μη γραμμική μερική διαφορική εξίσωση δεύτερης τάξης του παραβολικού τύπου και είναι γνωστή στη βιβλιογραφία των στραγγίσεων σαν εξίσωση του Boussinesq γιατί έχει βγει για πρώτη φορά από το Γάλλο Μηχανικό J. Boussinesq το έτος 1904.

Αναλυτικές λύσεις των εξισώσεων (6.6) έχουν βρεθεί από διάφορους ερευνητές (J. Boussinesq 1904, van Schilfgaarde 1956, 1963, Glover 1964, Τερζίδης 1968, 1969) για διάφορα ειδικά προβλήματα στραγγίσεων και με ειδικές παραδοχές για τις αρχικές και οριακές συνθήκες τους.

Μια γενική αναλυτική λύση της εξισώσεως (6.6) που να υπόκειται σε περισσότερο γενικές και οριακές συνθήκες, δεν έχει βρεθεί ακόμη, εξαιτίας της μη γραμμικότητάς της. Γι αυτό, οι μέθοδοι της Αριθμητικής Ανάλυσης, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια κατά προσέγγιση λύση των προβλημάτων μικτών οριακών συνθηκών της εξισώσεως (6.6). Αριθμητικά υπολογιστικά σχήματα έχουν βρεθεί από τον W. Moody (1966), Γ. Τερζίδη (1968, 1969) και πολλούς άλλους ερευνητές .

Στην περίπτωση που στο στοιχειώδη όγκο ελέγχου του σχήματος 6.2, έχουμε και μία σταθερή καθαρή επαναπλήρωση R από άρδευση ή βροχόπτωση, η οποία εκφράζει μία παροχή στη μονάδα επιφάνειας και έτσι έχει διαστάσεις χρόνου $[L\ T^{-1}]$, τότε η αρχή της διατήρησης της μάζας της σχέσης (6.1) θα είναι :

$$m_{εισ.} + \Delta m_{επαν.} - \Delta m_{εξ.} - = \Delta m \qquad (6.7)$$

όπου $\Delta m_{επαν.}$ είναι η σταθερή καθαρή μάζα που οφείλεται στην επαναπλήρωση R και για μία μονάδα πλάτους του στοιχειώδους όγκου ελέγχου του σχήματος 6.1 θα είναι :

$$\Delta m_{επαν} = \rho . R\ \Delta x . 1 \qquad (6.8)$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία της εξαγωγής της εξίσωσης (6.6), από τις σχέσεις (6.7) και (6.8) και όταν ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας K του εδάφους είναι σταθερός, παίρνουμε:

(6.9)

Η εξίσωση (6.9), η οποία περιέχει και την επαναπλήρωση R, αντιστοιχεί στην εξίσωση (6.6) του Boussinesq, είναι μη ομογενής και για τη λύση της παρουσιάζονται και οι δυσκολίες που ήδη αναφέρθηκαν και οι οποίες οφείλονται στη μη γραμμικότητά της.

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. Μενέλαος Θεοχάρης, “ Στραγγίσεις”, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 2012.
2. Μενέλαος Θεοχάρης, “Ασκήσεις Στραγγίσεων”, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 2012.
3. Θεοχάρης Μ.: " Στραγγίσεις " , Άρτα 204
4. Θεοχάρης Μ.: " Ασκήσεις Στραγγίσεων " , Άρτα 2005
5. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις " , Άρτα 1998
6. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις, Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 1998
7. Daugerty - Franzini : "Υδραυλική" Τόμοι Ι , ΙΙ, Εκδόσεις Πλαίσιο , Αθήνα.
8. Davis- Sorensen : " Handbook of applied Hydraulics" Third edition McGraw-Hill Book Company, 1969.
9. Hansen V. - Israelsen : "Αρδεύσεις. Βασικοί Αρχαί και Μέθοδοι . Μετάφραση από τους Α. Νικολαΐδη και Α. Κοκκινίδη ", Αθήνα 1961.
10. Καρακατσούλης Π. : " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις και Προστασία των Εδαφών ", Αθήνα 1993.
11. Τερζίδης Γ. - Καραμούζης Δ. :"Υδραυλική Υπόγειων Νερών ", Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1985.
12. Τερζίδης Γ. - Καραμούζης Δ. :"Στραγγίσεις Γεωργικών Εδαφών " Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1986.
13. Τερζίδης Γ. : "Μαθήματα Υδραυλικής" , Τόμοι Ι ,ΙΙ , ΙΙΙ, Θεσσαλονίκη 1986.
14. Τερζίδης Γ. - Παπαζαφειρίου Ζ. : "Γεωργική Υδραυλική ", Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1997.
15. Τζιμόπουλος Χ. : " Στραγγίσεις - Υδραυλική Φρεάτων ", Θεσς/νίκη 1983.
16. Χαλκιάς Ν. :"Στραγγίσεις γαιών ", Αθήνα 1972.

Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Στραγγίσεις (Θεωρία). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από:
http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG107/

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης