



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Στραγγίσεις (Θεωρία)

Ενότητα 8 : Η σταθερή στράγγιση των
εδαφών II

Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



5.3.2.2 Η Μέθοδος του Kirkham

Ο Don Kirkham το έτος 1958 χρησιμοποιώντας τη δυναμική θεωρία πέτυχε μια αναλυτική λύση για ένα πρόβλημα όμοιο με αυτό του Hooghoudt, δηλαδή για δισδιάστατη ροή μεταξύ παραλλήλων στραγγιστικών σωλήνων, που βρίσκονται πάνω από το αδιαπέρατο υπόστρωμα με σταθερή ομοιόμορφη επαναπλήρωση από βροχόπτωση.

Για ομογενές και ισότροπο έδαφος με σταθερό το συντελεστή της υδραυλικής αγωγιμότητας, η ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών σωλήνων δίδεται από την εξίσωση του Kirkham:

$$L = \left(\frac{K}{q_0} - 1 \right) \cdot \frac{H_0}{F_k} \quad (5.28)$$

όπου : K = ο συντελεστής της υδραυλικής αγωγιμότητας (m/day)

H_0 = το βάθος της υπόγειας στάθμης από το επίπεδο των στραγγιστικών σωλήνων στο μεσοδιάστημά τους (m)

q_0 = η σταθερή παροχή επαναπλήρωσης από βροχόπτωση (m/day) και

F_k = η συνάρτηση του Kirkham η οποία ορίζεται από την εξίσωση:

$$F_k = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\ln \frac{L}{\pi \cdot r_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(\cos \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{L} - \cos(n \cdot \pi) \right) \cdot \left(\coth \frac{2 \cdot n \cdot \pi \cdot D}{L} - 1 \right) \right] \quad (5.29)$$

Οι αριθμητικές τιμές της συνάρτησης F_k του Kirkham δίνονται στον πίνακα 5.1 σε συνάρτηση με τις τιμές $\frac{L}{D}$ και $\frac{D}{2 \cdot r_0}$.

Για την περίπτωση που οι στραγγιστικοί σωλήνες βρίσκονται στη διαχωριστική επιφάνεια δυο στρώσεων εδάφους με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας, δηλαδή η πάνω στρώση έχει συντελεστή K_1 και η κάτω στρώση έχει συντελεστή K_2 , η ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών σωλήνων δίδεται από την εξίσωση των Kirkham - Wesseling (1964):

$$L = \left(\frac{K_2}{q_0} - \frac{K_2}{K_1} \right) \cdot \frac{H_0}{F_k} \quad (5.30)$$

όπου οι αριθμητικές τιμές της συνάρτησης F_k δίδονται από τον πίνακα 5.1.

Οι εξισώσεις του Kirkham (5.28), (5.29) και (5.30) και το σχήμα 5.7 εφαρμόζονται επίσης για την περίπτωση τάφρων μόνο που θα πρέπει να αντικαταστήσουμε την ακτίνα r_0 με το μισό πλάτος B του πυθμένας της τάφρου ($B = 2 \cdot r_0$).

Η μέθοδος Kirkham είναι η πιο ακριβής γιατί βασίζεται στη δυναμική θεωρία, δηλαδή στην επίλυση της διαφορικής εξίσωσης Laplace χωρίς τις παραδοχές των D-F και μπορεί να υπολογίσει επακριβώς την υπόγεια στάθμη σε όλα τα σημεία μεταξύ των στραγγιστικών αγωγών. Τα πλεονεκτήματα αυτά, εκτός από το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον της ακριβούς αναλυτικής λύσης, έχουν και πρακτική χρησιμότητα, π.χ. στη γεωργία γιατί σε καλλιέργειες ευαίσθητων φυτών τα βαθύρριζα μπορούν να φυτεύονται μέχρι κάποια απόσταση από τους στραγγιστικούς αγωγούς και τα μη βαθύρριζα στην ενδιάμεση περιοχή.

Πίνακας 5.1 Τιμές του F_k για διάφορες τιμές των $\frac{L}{D}$ και $\frac{D}{2 \cdot r_0}$.

$\frac{L}{D}$ \ $\frac{D}{2 \cdot r_0}$	100	50	25	12,5	6,25	3,125	1,5625	0,78125
8192	-	-	-	-	-	-	-	2,654
4096	-	-	-	-	-	-	2,65	2,43
2048	-	-	-	-	-	2,66	2,43	2,21
1024	-	-	-	-	2,84	2,45	2,21	1,99
512	-	-	-	3,40	2,63	2,23	1,99	1,76
256	-	-	4,76	3,19	2,40	2,01	1,76	1,54
128	-	7,64	4,53	2,96	2,19	1,78	1,54	1,32
64	13,67	7,43	4,31	2,74	1,96	1,57	1,32	1,10
32	13,47	7,21	4,09	2,52	1,74	1,35	1,10	0,88
16	13,27	6,99	3,86	2,30	1,52	1,13	0,88	0,66
8	13,02	6,76	3,64	2,08	1,30	0,90	0,66	0,44
4	12,79	6,54	3,42	1,86	1,08	0,68	0,44	-
2	12,57	6,32	3,20	1,63	0,85	0,46	-	-
1	12,33	6,08	2,95	1,40	0,62	-	-	-

0,5	12,03	5,77	2,66	1,11	-	-	-	-
0,25	11,25	5,29	2,20	-	-	-	-	-

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου Kirkham είναι ότι η ακριβής λύση της σειράς με άπειρους όρους είναι πολύπλοκη και απαιτεί H/Y ή νομογραφήματα. Η χρησιμοποίηση όμως των νομογραφημάτων, όπως είναι γνωστό, εισάγει σφάλματα στην ανάγνωση των τιμών, που μπορεί να είναι μεγαλύτερα και από 5 %, όση περίπου είναι και η διαφορά τους από την μέθοδο Hooghoudt για τα συνηθισμένα πρακτικά προβλήματα στραγγίσεων.

Έτσι δικαιολογείται η επιμονή των Ολλανδών και γενικότερα των Ευρωπαίων στη χρησιμοποίηση της μεθόδου Hooghoudt και φυσικά με το επιπλέον επιχείρημα ότι τα σφάλματα που εισάγονται από τις μετρήσεις των δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερα (H. P. Ritzema, 1994). Η τελευταία αυτή επιχειρηματολογία δεν είναι σωστή βέβαια, γιατί τα σφάλματα μετρήσεων εισάγονται και στη μέθοδο Hooghoudt.

5.3.2.3 Η Μέθοδος του Τερζίδη

Ο Τερζίδης (1975, 1986), έλυσε το πρόβλημα χωρίζοντας τη ροή σε δύο περιοχές:

α) στην περιοχή κοντά στους στραγγιστικούς σωλήνες και σε απόσταση $2\sqrt{2} \cdot D$ από το κέντρο τους όπου συνδύασε ζεύγη θετικής και αρνητικής πηγής και χρησιμοποίησε τη μέθοδο υπερτοποθέτησης λόγω της γραμμικοποίησης, και

(β) στην υπόλοιπη περιοχή μέχρι το μεσοδιάστημα $\left(\frac{L}{2} - 2\sqrt{2} \cdot D\right)$ όπου θεώρησε ότι ισχύουν οι παραδοχές των D-F, και χρησιμοποίησε την εξίσωση έλλειψης. Στη συνέχεια συνδύασε τις δυο λύσεις αφού απάλειψε τους όρους με $\left(\frac{q_0}{K}\right)^2$ ως πολύ μικρούς, το αποτέλεσμα ήταν μια αλγεβρική δευτεροβάθμια εξίσωση με άγνωστη την ισαποχή L.

Η τελική εξίσωση της ισαποχής των στραγγιστικών αγωγών, που παίρνεται με τη λύση Τερζίδη, είναι:

$$\frac{L}{D} = \frac{\beta + \sqrt{\beta^2 + 4 \cdot \left(1 + \frac{R}{K} \cdot (8 - 2\sqrt{2} \cdot \beta)\right) \cdot \left(\frac{K}{R}\right) \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{H_0}{D}\right) + \left(\frac{H_0}{D}\right)^2\right]}}{1 + \frac{R}{K} (8 - 2\sqrt{2} \cdot \beta)} \quad (5.31)$$

όπου β είναι το διπλάσιο της αρχικής παραμέτρου Dagan και δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{2}{\pi} \cdot \ln \left[2 \cdot \left(\cosh \left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \right) - 1 \right) \right] \cong \frac{4}{\pi} \cdot \ln \left[\left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \right) \cdot \sqrt{1 + 0,09 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \right)^2} \right] \quad (5.32)$$

Για μικρές τιμές των $\frac{R}{K}$ και $|\beta|$ η εξίσωση (5.31) μπορεί να πάρει την απλούστερη μορφή:

$$\frac{L}{D} = \beta + \sqrt{\beta^2 + 4 \cdot \left(\frac{K}{R} \right) \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{H_0}{D} \right) + \left(\frac{H_0}{D} \right)^2 \right]} \quad (5.33)$$

Για τις περιπτώσεις που οι στραγγιστικοί αγωγοί βρίσκονται στη διαχωριστική επιφάνεια δύο στρώσεων εδάφους με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας, δηλαδή η πάνω στρώση έχει συντελεστή K_1 και η κάτω στρώση συντελεστή K_2 οι παραπάνω εξισώσεις ισαποχής παίρνουν τις μορφές :

$$\frac{L}{D} = \frac{\beta + \sqrt{\beta^2 + 4 \cdot \left(1 + \frac{R}{K_2} \cdot (8 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \beta) \right) \cdot \left(\frac{K_2}{R} - \frac{K_2}{K_1} \right) \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{H_0}{D} \right) + \left(\frac{H_0}{D} \right)^2 \right]}}{1 + \frac{R}{K_2} (8 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \beta)} \quad (5.34)$$

και

$$\frac{L}{D} = \beta + \sqrt{\beta^2 + 4 \cdot \left(\frac{K_2}{R} - \frac{K_2}{K_1} \right) \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{H_0}{D} \right) + \left(\frac{H_0}{D} \right)^2 \right]} \quad (5.35)$$

όπου το β δίνεται πάλι από την εξίσωση (5.32).

Για τις περιπτώσεις στραγγιστικών τάφρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι παραπάνω εξισώσεις με αντικατάσταση του $\pi \cdot r_0$ με τη βρεχόμενη περίμετρο, u , της τάφρου ή της ακτίνας r_0 με την τιμή $r_0 = 2 \cdot R_v$ όπου R_v είναι η υδραυλική ακτίνα της τάφρου. Για όλες τις περιπτώσεις το βάθος D είναι η κατακόρυφη απόσταση από το αδιαπέρατο υπόστρωμα μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέσα στο στραγγιστικό αγωγό (για τους σωλήνες θεωρείται ότι είναι γεμάτοι μέχρι το κέντρο τους).

5.3.3 Στράγγιση διαστρωμένων εδαφών με τους στραγγιστικούς αγωγούς σε οποιαδήποτε θέση πάνω από το αδιαπέρατο υπόστρωμα

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι λύσεις των προβλημάτων της στράγγισης ομογενών και ισότροπων εδαφών ή και διαστρωμένων εδαφών με δύο στρώσεις αλλά με τους στραγγιστικούς αγωγούς τοποθετημένους στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι λύσεις των προβλημάτων στράγγισης διαστρωμένων εδαφών με δύο (ή και τρεις) στρώσεις με τους στραγγιστικούς αγωγούς σε οποιαδήποτε θέση πάνω από το αδιαπέρατο υπόστρωμα. Η σημασία των λύσεων αυτών των προβλημάτων είναι πολύ μεγάλη γιατί συνήθως δεν είναι εφικτό, για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, να τοποθετούνται οι στραγγιστικοί αγωγοί πάνω ακριβώς στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων, ιδιαίτερα όταν αυτή βρίσκεται σε αρκετό βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

5.3.3.1 Η μέθοδος του Ernst

Ο L. Ernst τα έτη 1956 και 1962 δημοσίευσε μια προσεγγιστική μέθοδο για τον υπολογισμό της ισαποχής των στραγγιστικών αγωγών (τάφρων ή σωλήνων), οι οποίοι βρίσκονται σε εδάφη δύο στρώσεων με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας.

Στη μέθοδο αυτή του Ernst, οι στραγγιστικοί αγωγοί δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων όπως είναι στις προηγούμενες μεθόδους των Hooghoudt, Kirkham και Τερζίδη.

Η μέθοδος του Ernst είναι ειδικά χρήσιμη όταν η πάνω στρώση έχει πολύ μικρότερο συντελεστή αγωγιμότητας από ότι η κάτω στρώση.

Ο Ernst παραδέχτηκε ότι η υπόγεια ροή προς τους στραγγιστικούς αγωγούς μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις συνιστώσες ροές:

- α) στην κατακόρυφη ροή
- β) στην οριζόντια ροή
- γ) στην ακτινική ροή.

Επίσης παραδέχτηκε ότι το άθροισμα των υδραυλικών υψών των τριών συνιστωσών ροών ισούται με το συνολικό υδραυλικό ύψος.

Με τις παραδοχές αυτές και με ισχύουσες τις παραδοχές των D-F και το νόμο του Darcy, βρήκε την εξίσωση:

$$H = h_v + h_h + h_r = q \left(\frac{D_v}{K_v} + \frac{L^2}{8 \cdot \Sigma (KD)_h} + \frac{L}{\pi \cdot K_r} \cdot \ln \frac{a \cdot D_r}{u} \right) \quad (5.36)$$

Στην παραπάνω σχέση:

Οι δείκτες v , h και r υποδηλούν κατακόρυφη, οριζόντια και ακτινική διεύθυνση αντίστοιχα

H είναι το συνολικό υδραυλικό ύψος ή το ύψος της υπόγειας στάθμης πάνω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών στο μεσοδιάστημά τους (σε m)

h_0 είναι το βάθος του νερού της τάφρου. Για τους στραγγιστικούς σωλήνες έχουμε $h_0 = 0$ γιατί η ακτίνα είναι σχετικά πολύ μικρή.

q είναι η ειδική παροχή επαναπλήρωσης ανά μονάδα επιφάνειας (σε m/day)

L είναι η ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών αγωγών (σε m)

D_v είναι το πάχος της περιοχής στην οποία θεωρείται ότι υπάρχει κατακόρυφη ροή (σε m)

K_v είναι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας για την κατακόρυφη ροή (σε m/day)

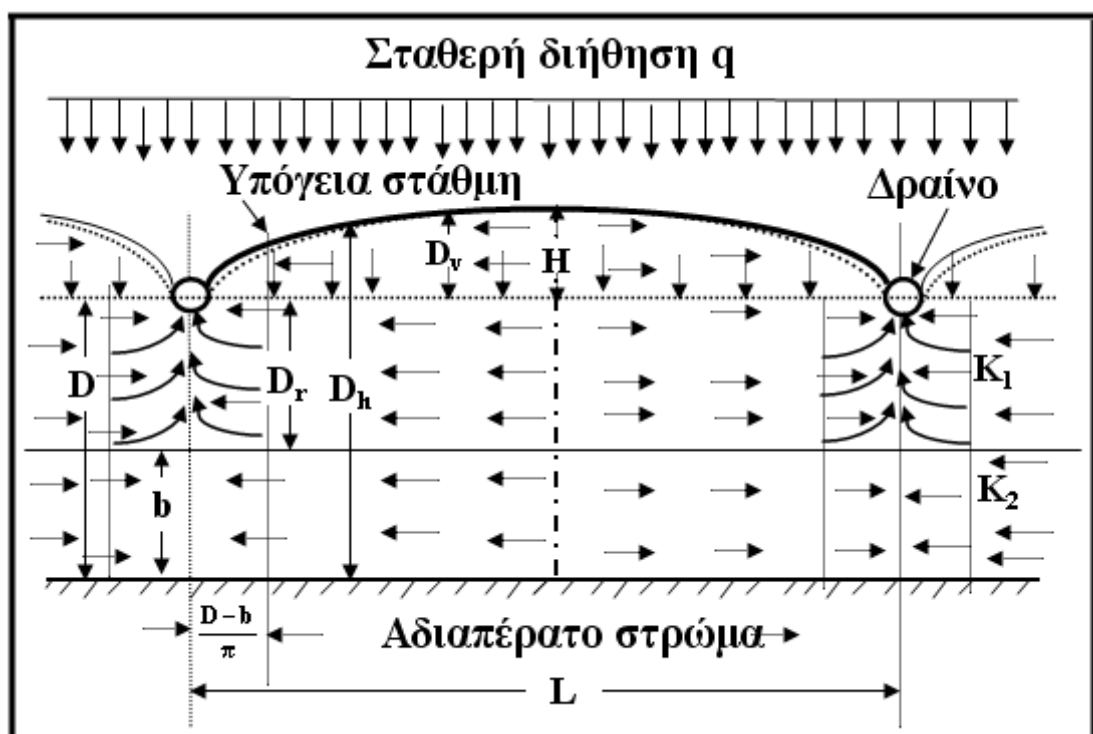
D_r είναι το πάχος της περιοχής στην οποία θεωρείται ότι υπάρχει ακτινική ροή (σε m)

K_r είναι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας στην περιοχή της ακτινικής ροής (σε m/day)

$\Sigma(KD)_h$ είναι ο συντελεστής διοχετευτικότητας των στρώσεων στις οποίες θεωρείται ότι υπάρχει οριζόντια ροή (σε m^2/day)

u είναι η βρεχόμενη περίμετρος του στραγγιστικού αγωγού (σε m)

a είναι γεωμετρικός παράγοντας για την ακτινική ροή, ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες ροής.



Σχήμα 5.12 Ροή σε διαστρωμένο έδαφος σύμφωνα με τη μέθοδο του Ernst

Οι τιμές των D_v , $\Sigma(KD)_h$, D_r , a και u προσδιορίζονται σύμφωνα με το προφίλ του εδάφους και τη σχετική θέση και το μέγεθος των στραγγιστικών αγωγών. Οι κατάλληλες τιμές εξάγονται από τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία χαρακτηρίζουν τις ειδικές συνθήκες στράγγισης.

Η κατακόρυφη ροή θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα στην περιοχή που περικλείεται από την υπόγεια στάθμη και το οριζόντιο επίπεδο που περνά από κέντρα των στραγγιστικών σωλήνων, ή τους πυθμένες των στραγγιστικών τάφρων κατά περίπτωση.

Η οριζόντια ροή θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα στην περιοχή που περικλείεται από την υπόγεια στάθμη και το οριζόντιο επίπεδο που ορίζεται από τη διαχωριστική επιφάνεια της κάτω στρώσεως με το αδιαπέρατο στρώμα.

Αν το βάθος του αδιαπέρατου υποστρώματος αυξάνει, η τιμή του K_2b επίσης αυξάνει, κάνοντας το $\Sigma(KD)_h$ να τείνει στο άπειρο και την υδραυλική αντίσταση στο μηδέν.

Για να αποφευχθεί αυτό, το συνολικό πάχος της στρώσης κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών D ή $D+b$ περιορίζεται στο $L/4$ όταν το αδιαπέρατο υπόστρωμα βαθύτερα του $L/4$ κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών.

Η ακτινική ροή θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα στην περιοχή που περικλείεται: α) το οριζόντιο επίπεδο που περνά από κέντρα των στραγγιστικών σωλήνων, ή την ελεύθερη των στραγγιστικών τάφρων κατά περίπτωση, β) από τη διαχωριστική επιφάνεια της στρώσεως στην οποία βρίσκονται τα κέντρα των στραγγιστικών σωλήνων, ή οι πυθμένες των στραγγιστικών τάφρων κατά περίπτωση και γ) από τα κατακόρυφα επίπεδα που απέχουν $\frac{D_r}{\pi}$ από τα κέντρα των σωλήνων, τους άξονες των τάφρων, όπου D_r είναι το πάχος του εδάφους όπου λαμβάνει χώρα ακτινική ροή ($=$ η απόσταση των επίπεδων α) και β).)

Και εδώ, όπως και στην περίπτωση της οριζόντιας ροής, ισχύει ο περιορισμός $D_r \leq L/4$.

Υστερα από τα παραπάνω η εξίσωση του Ernst εξειδικεύεται ως εξής για τις διάφορες κατηγορίες εδαφών:

A. Ομογενή εδάφη

Για την περίπτωση των ομογενών εδαφών είναι :

$K_v = K$, $D_v = H/2$, $\Sigma(KD)_h = DK + D_v K = K(D+H/2)$, $K_r = K$ και $D_r = D$. Επίσης ο γεωμετρικός παράγοντας $a = 1$.

Η εξίσωση του Ernst παίρνει τη μορφή:

$$\frac{H}{q} = \frac{H}{2K} + \frac{L^2}{8.K(D + \frac{H}{2})} + \frac{L}{\pi.K} \cdot \ln \frac{D}{u} = \frac{H}{2K} + \frac{L^2}{8.K(D + \frac{H}{2})} + \frac{L}{\pi.K} \cdot \ln \frac{D}{\pi r_0} \quad (5.37)$$

Η εξίσωση (5.37) είναι εξίσωση 2ου βαθμού ως προς L και έχει τη μορφή:

$$AL^2 + BL + \Gamma = 0$$

όπου:

$$A = \frac{1}{8.K(D + \frac{H}{2})} , \quad B = \frac{\ln \frac{D}{\pi r_0}}{\pi.K} , \quad \text{και} \quad \Gamma = \frac{H}{2K} + \frac{H}{q}$$

Από τη επίλυση της ποκύπτει:

$$L_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A\Gamma}}{2A}$$

Από τις δύο ρίζες απορρίπτεται η αρνητική.

Στα ομογενή εδάφη η κατακόρυφη αντίσταση είναι συνήθως αμελητέα. Επιπλέον αν το βάθος από τον πυθμένα των στραγγιστικών αγωγών μέχρι το αδιαπέρατο στρώμα, D , είναι μεγαλύτερο του $L/4$, τότε θεωρείται ότι η ροή δεν ξεπερνά το βάθος $L/4$. Επειδή όμως η ισαποχή, L , των στραγγιστικών αγωγών δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, αυτή η συνθήκη πρέπει να ελέγχεται εκ των υστέρων, δηλαδή μετά τη λύση. Στην πράξη, οι υπολογισμοί θα οδηγήσουν στα ίδια αποτελέσματα όταν το D είναι μεταξύ του $L/4$ και $L/2$. Έξω από αυτά τα όρια, όμως, η ισαποχή που θα υπολογισθεί θα είναι πολύ μικρότερη.

B. Εδάφη με διαστρώσεις

Για τα διαστρωμένα εδάφη υπάρχουν δύο περιπτώσεις α) Οι στραγγιστικοί αγωγοί να είναι τοποθετημένοι στην κάτω στρώση και β) Οι στραγγιστικοί αγωγοί να είναι τοποθετημένοι στην κάτω στρώση

α) Οι στραγγιστικοί αγωγοί στην κάτω στρώση

Για την περίπτωση των διαστρωμένων εδαφών με του στραγγιστικούς αγωγούς στην κάτω διάστωση είναι :

$K_v = K_2$, $D_v = H/2$, $\Sigma(KD)_h = D_v K_2 + DK_2 = K_2(H/2+D)$, $K_r = K_2$ και $D_r = D$. Επίσης ο γεωμετρικός παράγοντας $a = 1$.

Η εξίσωση του Ernst παίρνει τη μορφή:

$$\frac{H}{q} = \frac{H}{2K_2} + \frac{L^2}{8.K_2.(D + \frac{H}{2})} + \frac{L}{\pi.K_2} . \ln \frac{D}{\pi r_0} \quad (5.38)$$

Η εξίσωση (5.38) είναι εξίσωση 2ου βαθμού ως προς L και έχει τη μορφή:

$$AL^2 + BL + \Gamma = 0$$

$$\text{όπου: } A = \frac{1}{8.K_2.(D + \frac{H}{2})} , B = \frac{\ln \frac{D}{\pi r_0}}{\pi.K_2} , \text{ και } \Gamma = \frac{H}{2K_2} + \frac{H}{q}$$

$$\text{Από τη επίλυσή της προκύπτει: } L_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A\Gamma}}{2A}$$

Υπενθυμίζεται ότι για την οριζόντια και για την ακτινική ροή ισχύει ο περιορισμός ότι το βάθος D δεν πρέπει να ξεπερνά το $L/4$.

β) Οι στραγγιστικοί αγωγοί στην πάνω στρώση

Για την περίπτωση των διαστρωμένων εδαφών με του στραγγιστικούς αγωγούς στην πάνω διάστωση είναι :

$$K_v = K_1 , D_v = H/2,$$

$$\Sigma(KD)_h = D_v K_1 + D_r K_1 + (D-b)K_2 = (h/2+D -b)K_1 + bK_2,$$

$$K_r = K_1 \text{ και } D_r = D-b .$$

Όσον αφορά τις τιμές του γεωμετρικού παράγοντα, a , στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει διάκριση των παρακάτω τριών περιπτώσεων:

$$\alpha) \text{ Αν } \frac{K_2}{K_1} < 0,10 \Rightarrow a = 1$$

$$\beta) \text{ Αν } \frac{K_2}{K_1} > 50 \Rightarrow a = 4$$

γ) Αν $0,10 < \frac{K_2}{K_1} < 50 \Rightarrow$ το a υπολογίζεται από τον επόμενο πίνακα σαν συνάρτηση

$$\text{των } \frac{K_2}{K_1} \text{ και } \frac{b}{D_t} = \frac{b}{D_r + D_v} = \frac{b}{D - b + \frac{H}{2}}$$

Πίνακας 5.2 Τιμές του γεωμετρικού παράγοντα, a . (Van Beers 1979)

$\frac{K_2}{K_1} \rightarrow$ $\frac{b}{D_t}$ ↓	1	2	4	8	16	32
1	2,0	3,0	5,0	9,0	15,0	30,00
2	2,4	3,2	4,6	6,2	8,0	10,00
3	2,6	3,3	4,5	5,5	6,8	8,00
5	2,8	3,5	4,4	4,8	5,6	6,20
10	3,2	3,6	4,2	4,5	4,8	5,00
20	3,6	3,7	4,0	4,2	4,4	4,60
50	3,8	4,0	4,0	4,0	4,2	4,60

Η εξίσωση του Ernst παίρνει τη μορφή:

$$\frac{H}{q} = \frac{H}{2K_1} + \frac{L^2}{8 \left[\left(\frac{H}{2} + D - b \right) K_1 + bK_2 \right]} + \frac{L}{\pi \cdot K_1} \cdot \ln \frac{a(D - b)}{\pi r_0} \quad (5.39)$$

Η εξίσωση (5.39) είναι εξίσωση 2ου βαθμού ως προς L και έχει τη μορφή:

$$AL^2 + BL + \Gamma = 0$$

$$\text{όπου: } A = \frac{1}{8 \cdot \left[\left(\frac{H}{2} + D - b \right) K_1 + b K_2 \right]}, \quad B = \frac{\ln \frac{a(D-b)}{\pi r_0}}{\pi K_1}, \quad \text{και} \quad \Gamma = \frac{H}{2K_1} + \frac{H}{q}$$

$$\text{Από τη επίλυσή της ποκύπτει: } L_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4A\Gamma}}{2A}$$

Υπενθυμίζεται ότι για την οριζόντια και για την ακτινική ροή ισχύει ο περιορισμός ότι το βάθος D δεν πρέπει να ξεπερνά το $L/4$.

Η βρεχόμενη περίμετρος, u , του στραγγιστικού αγωγού είναι:

- Για τις τάφρους

$$u = b + 2 \cdot h_0 \cdot \sqrt{m^2 + 1} \quad (5.40)$$

όπου b είναι το πλάτος του πυθμένα της τάφρου, h_0 είναι το βάθος του ελευθέρου νερού της τάφρου και m είναι η κλίση πρανών της τάφρου (οριζόντιο/κατακόρυφο)

- Για στραγγιστικούς σωλήνες: $u = \pi r_0$ (5.41)

• Για στραγγιστικούς σωλήνες, που περιβάλλονται από διαπερατά υλικά, είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί επακριβώς το u . Σε κανονικές συνθήκες η βρεχόμενη περίμετρος λαμβάνεται ίση με

$$u = b + 2(2r_0) \quad (5.41)$$

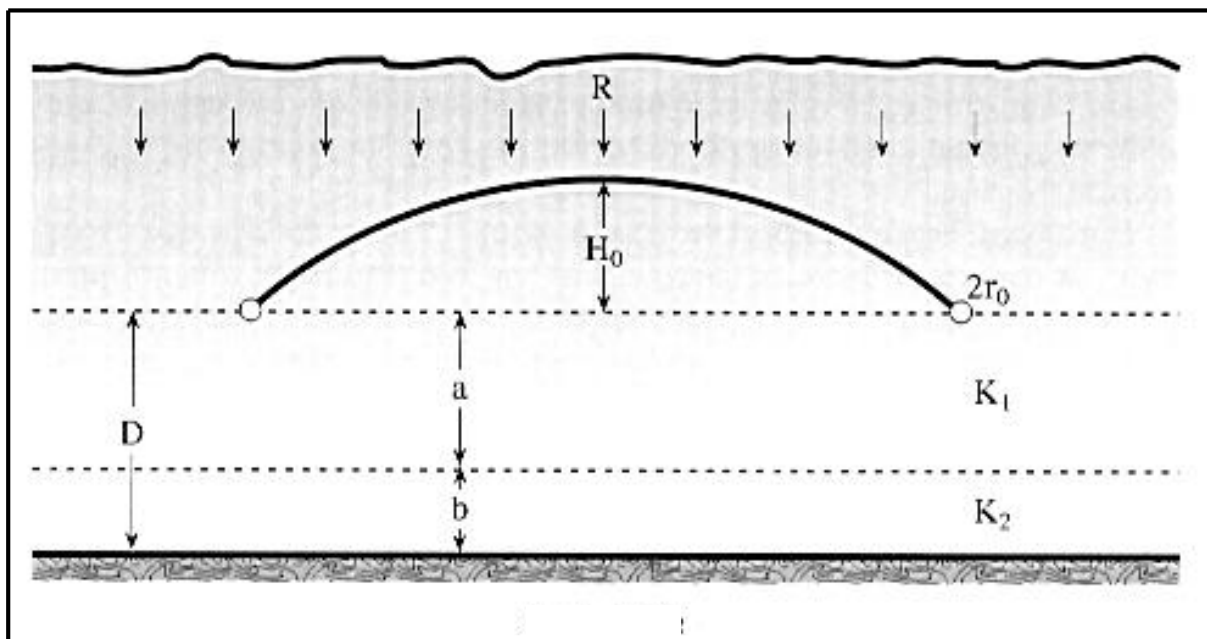
όπου b είναι το πλάτος της τάφρου και $2r_0$ είναι η διάμετρος του στραγγιστικού σωλήνα .

Αν χρησιμοποιούνται υλικά φίλτρου, συνιστάται να χρησιμοποιείται το ύψος του φίλτρου αντί της διαμέτρου.

5.3.3.2 Η μέθοδος του Τερζίδη

Στην περίπτωση διαστρωμένου εδάφους που αποτελείται από δύο στρώσεις και οι στραγγιστικοί σωλήνες βρίσκονται στην πάνω στρώση που έχει συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας K_1 και απέχουν απόσταση a από τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων και απόσταση D από το αδιαπέρατο υπόστρωμα, ενώ η κάτω στρώση έχει πάχος b και συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας K_2 , τότε η ισαποχή L μεταξύ των παραλλήλων στραγγιστικών σωλήνων σε πρώτη απλή προσέγγιση δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{L}{D} = B + \sqrt{B^2 + 8\Gamma} \quad (5.42)$$



Σχήμα 5.18 Σκαρίφημα στράγγισης με τους συμβολισμούς της μεθόδου Τερζίδη.

όπου:

$$B = 4 - \left(\frac{\alpha a + b}{\alpha D} \right) (4 - \beta + 4g) \quad (5.43)$$

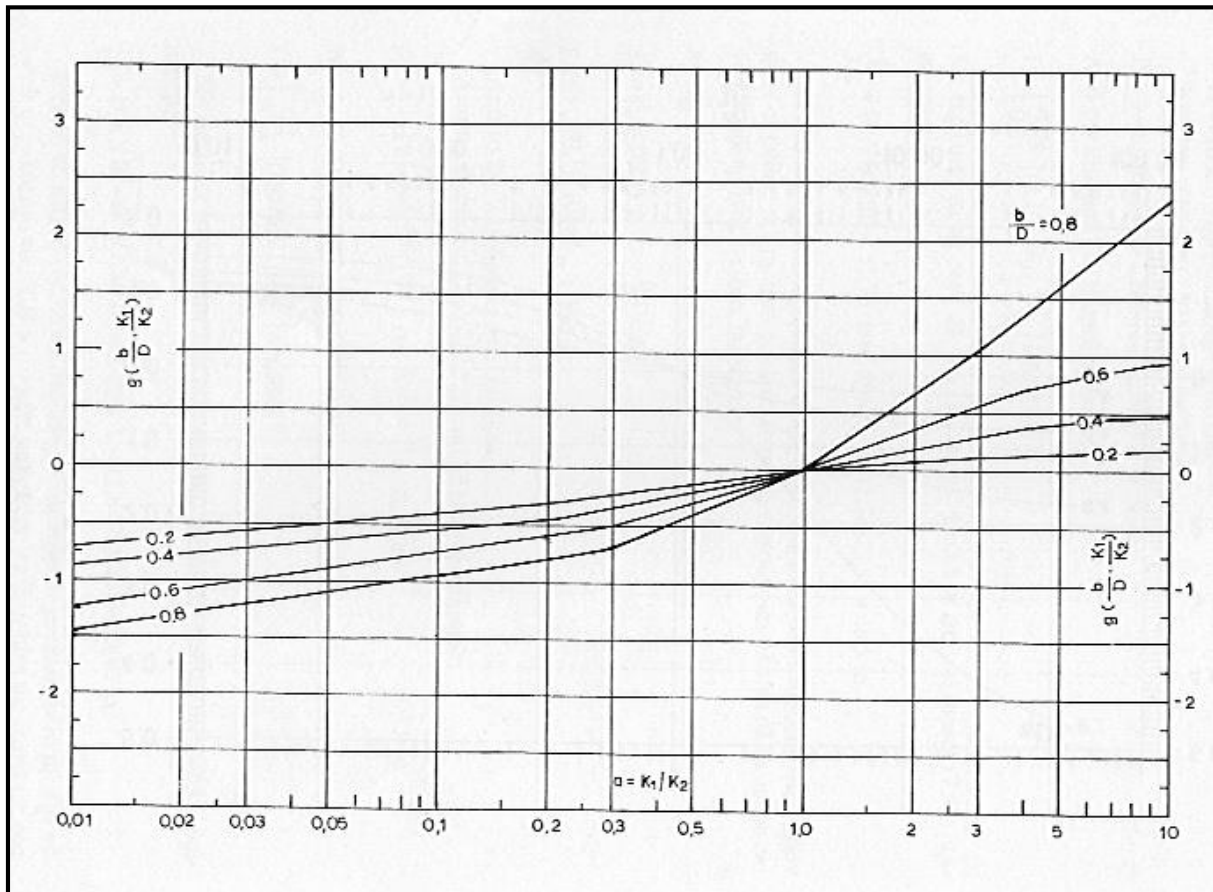
$$\alpha = \frac{K_1}{K_2}$$

$$\Gamma = \frac{K_1}{R} \left(\frac{\alpha a + b}{\alpha D} \right) \left(\frac{H_0}{D} \right) \quad (5.44)$$

$$\beta = \frac{2}{\pi} \cdot \ln \left[2 \cdot \left(\cosh \frac{\pi \cdot r_0}{D} - 1 \right) \right] = \frac{4}{\pi} \cdot \ln \left[\left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \right) \cdot \sqrt{1 + 0,09 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \right)^2} \right] \quad (5.45)$$

$g = g \left(\alpha, \frac{b}{D} \right)$ δίνεται από το νομογράφημα του σχήμα 5.13 ή από το ολοκλήρωμα

$$g = \frac{(\alpha + 1)}{2 \cdot \pi} \int_0^\infty \frac{\sinh \left[2 \cdot \left(1 - \frac{a}{D} \right) \cdot \lambda \right] \cdot (1 - \cos(\pi - 1) \cdot \lambda)}{\lambda \cdot \sinh \lambda \left[\cos \left(\frac{a}{D} \right) \cdot \lambda \sinh \left(1 - \frac{a}{D} \right) \cdot \lambda + \alpha \sinh \left(\frac{a}{D} \right) \cdot \lambda \cosh \left(1 - \frac{a}{D} \right) \cdot \lambda \right]} d\lambda$$



Σχήμα 5.13 Διάγραμμα υπολογισμού της συνάρτησης g στη μέθοδο Τερζίδη

Οι εξισώσεις (5.42), (5.43), (5.44) και (5.45) είναι αδιάστατες και υπολογίζονται πολύ εύκολα με τη χρησιμοποίηση ενός μόνο νομογραφήματος.

Το άλλο μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιεσδήποτε τιμές των α και b/D μέσα στα όρια:

$$0,01 < \alpha = \frac{K_1}{K_2} < 20 \quad \text{και} \quad 0,9 \geq \frac{b}{D} \geq 0,1$$

Για τιμές του $\alpha > 20$ η δεύτερη στρώση είναι σχεδόν αδιαπέρατη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις της μίας στρώσης ομογενούς και ισότροπου εδάφους.

Η μέθοδος Τερζίδη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε προβλήματα στράγγισης με ανοικτούς αγωγούς (τάφρους) με την αντικατάσταση του $\pi \cdot r_0$ με τη βρεχόμενη περίμετρο u , όπως αυτή ορίζεται με τις εξισώσεις (5.40) και (5.41).

Για τάφρους με βάθος h_0 , πλάτος πυθμένα w , και κλίση πρανών (οριζόντιο/κατακόρυφο) m , η συνάρτηση β είναι προτιμότερο να παίρνεται από την εξίσωση :

$$\beta = \frac{4}{\pi} \cdot \ln \left[\left(\frac{w + 2h_0 \sqrt{m^2 + 1}}{D} \right) \cdot \sqrt{1 + 0,09 \cdot \left(\frac{w + 2h_0 \sqrt{m^2 + 1}}{D} \right)^2} \right] \quad (5.46)$$

5.3.3.3 Η μέθοδος του Τερζίδη για ανισότροπα εδάφη

Στην περίπτωση ανισότροπων εδάφους με μέσες τιμές συντελεστών υδραυλικής αγωγιμότητας K_x και K_y στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση αντίστοιχα, η ισαποχή μεταξύ των παράλληλων στραγγιστικών αγωγών δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{L}{D} = \beta_3 \cdot \sqrt{\frac{K_x}{K_y}} + \sqrt{\left(\beta_3 + \sqrt{\frac{K_x}{K_y}} \right)^2 + 4 \cdot \frac{K_x}{R} \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{H_0}{D} \right) + \left(\frac{H_0}{D} \right)^2 \right]} \quad (5.47)$$

όπου η συνάρτηση Τερζίδη β_3 για ανισότροπα εδάφη δίνεται από τη σχέση:

$$\beta_3 = \frac{4}{\pi} \cdot \ln \left[\frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{\frac{K_x}{K_y}} + 1 \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{K_x}{K_y}} \right) \cdot \sqrt{1 + 0,09 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{K_x}{K_y}} \right)^2} \right] \quad (5.48)$$

Προφανώς οι εξισώσεις (5.47) και (5.48) μεταπίπτουν στις εξισώσεις (5.33) και (5.32) για ισότροπα εδάφη $K_x = K_y = K$.

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 I , II, 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 I ,II , III, 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/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης