



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Στραγγίσεις (Θεωρία)

Ενότητα 3 : Φυσικές ιδιότητες του εδάφους 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



2.3.6 Το νερό μέσα στο έδαφος

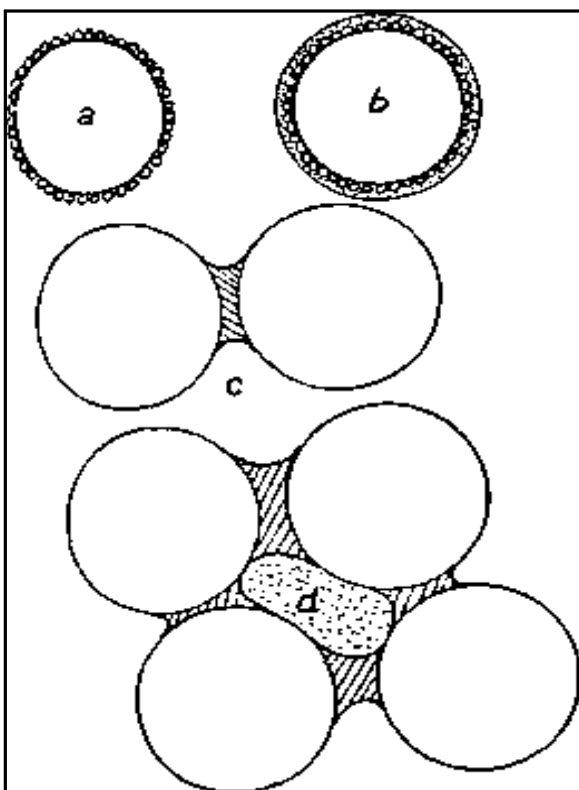
2.3.6.1 Κατηγορίες του εδαφικού νερού

Ένα υδροφόρο υλικό περιέχει νερό που μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερες κατηγορίες ανάλογα με τις φυσικές και φυσικοχημικές δυνάμεις που το συγκρατούν ή μπορούν να το μετακινήσουν. Έτσι μέσα στο έδαφος έχουμε τις εξής κατηγορίες νερού, εκτός από τις μικροποσότητες που είναι εγκλωβισμένες υπό μορφή υδρατμού:

ι. Υγροσκοπικό νερό. Τα διάφορα τεμάχια του εδάφους επικαλύπτονται προτιμησιακά κατά τμήματα με νερό που εμποτίζει τους μικροπόρους ή εισέρχεται μέσα σε μικροαυλακώσεις ή μικροσωληνίσκους, σχήμα 2.5a. Σχηματίζονται έτσι απομονωμένα τμήματα νερού που συγκρατούνται από το έδαφος με δυνάμεις απορρόφησης και γιατί συχνά το νερό αυτό λέγεται και νερό απορρόφησης. Το νερό αυτό δεν κινείται από τη βαρύτητα δεν μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση και δεν αφαιρείται από το έδαφος παρά σαν υδρατμός ύστερα από θέρμανση γιατί όπως έχει αποδειχθεί η μοριακή έλξη ασκεί πάνω στο υγροσκοπικό νερό μία δύναμη 10.000-25.000 ατμόσφαιρες.

Το υγροσκοπικό νερό καταλαμβάνει τμήμα του ολικού πορώδους, n , και εξαρτάται κυρίως από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους.

Προκειμένου για χοντρόκοκκο προσχωσιγενές υλικό αυτό το ποσοστό διακυμαίνεται από δέκατα της μονάδας μέχρι μερικές μονάδες. Για λεπτόκοκκο όμως υλικό ιδιαίτερα για αργίλους, πηλούς, ιλύες κλπ. το ποσοστό συμμετοχής του n_0 στο n είναι πολύ μεγάλο και μερικές φορές είναι ίσο με αυτό δηλαδή να $n \cong n_0$.



Σχήμα 2.5. Κατηγορίες νερού στο έδαφος

ii. Η. Το υμενώδες νερό. Αυτό επικαλύπτει με ένα λεπτό υδάτινο υμένιο τα διάφορα τεμάχια του εδάφους μαζί με το υγροσκοπικό νερό, σχήμα 2.5b. Το πάχος αυτού του υμένιου είναι μερικά εκατοστά του μικρού μ ($1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{ mm}$) και πάντως δεν υπερβαίνει το 0,1 μm . Το υμενώδες νερό γεμίζει επίσης μικροπόρους των οποίων η διατομή έχει μέγεθος της τάξης της σφαίρας μοριακής έλξης. Το υμενώδες νερό συγκρατείται από δυνάμεις συνάφειας γι αυτό και λέγεται νερό συνάφειας από τους Γερμανούς συγγραφείς.

Το υμενώδες νερό δεν κινείται από τη βαρύτητα, δεν μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση και δεν αφαιρείται από το πέτρωμα παρά με φυγοκέντρωση (και φυσικά με την εξάτμιση). Μπορεί όμως να μετατοπισθεί από τεμάχιο σε τεμάχιο του εδάφους εξ αιτίας των μοριακών έλξεων. Αυτή η κίνηση του νερού, όπως και η κίνηση που γίνεται εξ αιτίας των τριχοειδών ανυψώσεων ανεβάζουν νερό από τους υδροφόρους ορίζοντες προς τα υψηλότερα στρώματα του εδάφους από όπου μπορεί, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να εξατμίζεται.

Το υμενώδες πορώδες, n_u , που είναι κλάσμα του ολικού πορώδους, n , για χονδρόκοκκο έδαφος αποτελεί μερικές μόνο μονάδες τοις εκατό του n ή και κλάσμα μονάδας.

Αντίθετα σε λεπτόκοκκο υλικό (όπως αργίλους, πηλούς) το n_u αποτελεί το μεγάλο τμήμα του n και μερικές φορές το n_v και το n_u αθροιστικά είναι ίσια με το n δηλαδή $n \cong n_v + n_u$.

iii. Το τριχοειδές νερό. Είναι αυτό που συγκρατείται με τριχοειδείς δυνάμεις και γεμίζει πόρους και κενά με τριχοειδή διάμετρο ($< 0,5\text{ mm}$), σχήμα 2.5c. Το νερό αυτό ανεβαίνει πάνω από την ελεύθερη στάθμη του νερού με το συνδυασμό δράσης της επιφανειακής τάσης και των δυνάμεων συνάφειας και διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- *Το απομονωμένο, ή αιωρούμενο ή ασυνεχές τριχοειδές νερό.*

Αυτό βρίσκεται αμέσως πιο πάνω από την επιφάνεια εκείνη κάτω της οποίας υπάρχει συνεχές τριχοειδές νερό. Καταλαμβάνει ορισμένα τμήματα τριχοειδών διακένων, χωρίς να υποβαστάζεται υδραυλικά, ενώ στα άλλα υπάρχει αέρας.

Το νερό αυτό δεν κινείται από τη βαρύτητα όπως και το υγροσκοπικό και το υμενώδες. Όμως σε αντίθεση με τα δύο αυτά τελευταία μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση. Μπορεί να αφαιρεθεί από τα εδάφη με φυγοκέντρωση. Η ποσότητα του εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους και αυξάνεται όταν μειώνεται η διάμετρος των κόκκων μέχρι ενός ορισμένου σημείου πέραν του οποίου όμως αρχίζει πλέον να μειώνεται βαθμιαία.

- *Το συνεχές ή υποβασταζόμενο τριχοειδές νερό.*

Αυτό συνιστά ουσιαστικά το κορυφαίο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα και γεμίζει το σύνολο των πόρων και κενών που έχουν τριχοειδή διάμετρο και φυσικά υποβαστάζεται υδραυλικά από το κορεσμένο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα.

Το νερό αυτό σε αντίθεση με το προηγούμενο κινείται από τη βαρύτητα, μεταβιβάζει υδροστατική πίεση και μπορεί να αφαιρεθεί από το έδαφος με φυσική αποστράγγιση. Η ποσότητα του εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση. Υπάρχει και εδώ μία άριστη κοκκομετρική σύσταση για ένα μέγιστο πορώδες συνεχούς τριχοειδούς n_{t1} .

iv. Το βαρυτητικό νερό. Αυτό γεμίζει το υπόλοιπο τμήμα των κενών που δεν

κατάλαμβάνεται από τις προηγούμενες κατηγορίες νερού, σχήμα 2.5d., δηλαδή γεμίζει τα υπερτριχοειδή κενά. Κινείται από τη βαρύτητα, μεταβιβάζει υδροστατική πίεση και αφαιρείται από το έδαφος με τεχνικές μεθόδους (άντληση) ή με φυσική ροή.

Το βαρυτητικό νερό και το υποβασταζόμενο τριχοειδές νερό είναι το «ενεργό» τμήμα του υπόγειου νερού που μπορεί να κινείται στο υπέδαφος ανάλογα με τις γεωλογικές δομές και τις υδραυλικές συνθήκες. Βρίσκεται μέσα στα υδροφόρα στρώματα ή πάνω από αυτά κατά τη φάση της κατείσδυσης πριν φθάσει στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα.

2.3.6.2 Μέτρηση του εδαφικού νερού

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, ή εδαφική υγρασία, εκφράζεται είτε σε σχέση με τη στερεά μάζα του εδάφους (υγρασία κατά βάρος, w) είτε σε σχέση με τον ολικό όγκο του εδάφους (υγρασία κατ' όγκο, θ)

2.3.6.2.1 Η υγρασία κατά βάρος w

Είναι η μάζα του νερού προς τη μάζα των σωματιδίων του ξηρού εδάφους.

$$w = \frac{M_w}{M_s} \quad (2.9)$$

Ως ξηρό έδαφος θεωρείται το αποξηραμένο μέσα σε ένα φούρνο με θερμοκρασία 105 °C. Εκφράζεται σε ποσοστά % και για κορεσμένα αλατούχα εδάφη το w κυμαίνεται από 25 % μέχρι 60 %

2.3.6.2.2 Η υγρασία κατ' όγκο, θ

Είναι ο όγκος του νερού προς τον ολικό όγκο του εδαφικού δείγματος και εκφράζεται σε ποσοστά %.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_f} \quad (2.10)$$

Για αμμώδη εδάφη και σε κατάσταση κορεσμού είναι $\theta_s = 30\%$ έως 35% ενώ για αργιλώδη εδάφη και σε κατάσταση κορεσμού ξεπερνά πολλές φορές το 60% .

Από τις σχέσεις (2.9) και (2.10) προκύπτει ότι η υγρασία κατά βάρος και η υγρασία κατ' όγκο συνδέονται με τη σχέση :

$$\frac{\theta}{w} = \frac{V_w/V_t}{M_w/M_s} = \frac{M_s \cdot V_w}{M_w \cdot V_t} = \frac{\rho_b}{\rho_w} \Rightarrow \theta = \frac{\rho_b}{\rho_w} \cdot w = \rho_{\text{bοσχετ}} \cdot w \quad (2.11)$$

2.3.6.2.3 Ο βαθμός κορεσμού του εδάφους, S

Ένα έδαφος είναι κορεσμένο (saturated) με νερό, αν όλοι οι πόροι και τα κενά του είναι γεμάτα με νερό. Αν όλοι οι πόροι και τα κενά του δεν είναι γεμάτα με νερό, αλλά υπάρχει συγχρόνως και αέρας ή άλλα αέρια, τότε το έδαφος λέγεται ακόρεστο ή μη κορεσμένο (unsaturated). Ο βαθμός κορεσμού του εδάφους εκφράζει τον όγκο του νερού μέσα στους εδαφικούς πόρους σε ποσοστά % του όγκου των πόρων και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S = \frac{V_w}{V_f} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \quad (2.12)$$

Για ένα ξηρό έδαφος είναι $S = 0 \%$ ενώ για ένα έδαφος κορεσμένο είναι $S = 100 \%$.

Η υγρασία, το πορώδες και ο βαθμός κορεσμού του εδάφους συνδέονται με τη σχέση :

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \cdot \frac{V_a + V_w}{V_t} = S \cdot n = \rho_{\text{βοηθ.}} \cdot w \quad (2.13)$$

2.3.6.2.4 Το ενεργό ή αποτελεσματικό πορώδες του εδάφους

Οι διάφορες κατηγορίες του εδαφικού νερού μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες **στο νερό κατακράτησης και στο ελεύθερο νερό** ανάλογα με το αν το νερό κινείται ή όχι λόγω της βαρύτητας όπως φαίνεται στον πίνακα 2.3.

Στην κατηγορία **του νερού κατακράτησης** υπάγονται το υγροσκοπικό νερό, το υμενώδες νερό και το αιωρούμενο τριχοειδές νερό. Το νερό κατακράτησης, εκφραζόμενο σε ποσοστό σε σχέση με τον ολικό όγκο της στερεάς και υγρής φάσης του εδάφους, λέγεται πορώδες κατακράτησης, n_s . Είναι δηλαδή: $n_s = n_v + n_u + n_{II}$

Στην κατηγορία του ελεύθερου νερού υπάγονται το βαρυτητικό νερό και το υποβασταζόμενο τριχοειδές νερό. Το ελεύθερο νερό αναφέρεται συνολικά και ως βαρυτητικό νερό (και με την έννοια αυτή νοείται όλο το νερό που μπορεί να κινείται από την βαρύτητα). Το ελεύθερο νερό εκφρασμένο σε ποσοστά σε σχέση με τον ολικό όγκο της στερεάς και υγρής φάσης του εδάφους λέγεται **ενεργό ή αποτελεσματικό πορώδες** n_e . Είναι δηλαδή: $n_e = n_b + n_{I2}$.

Το άθροισμα του πορώδους κατακράτησης και του ενεργού πορώδους είναι ίσο προς το ολικό πορώδες: $n_s + n_e = n$.

Το ενεργό πορώδες εξαρτάται από το ολικό πορώδες n του εδάφους και από το πορώδες κατακράτησης n_s αυτού.

Γενικά στα χοντρόκοκκα εδάφη το μέγιστο ποσοστό του ολικού πορώδους n ανήκει στο ενεργό πορώδες n_e . Όταν μειώνεται η διάμετρος των κόκκων μειώνεται και η συμμετοχή του ενεργού πορώδους στο ολικό και αυξάνεται το πορώδες κατακράτησης. Από μία τιμή της διαμέτρου των κόκκων και κάτω το ενεργό πορώδες σχεδόν μηδενίζεται και τότε το πορώδες κατακράτησης ταυτίζεται με το ολικό πορώδες.

Επομένως τα αργιλώδη, τα πηλώδη και γενικά τα πολύ λεπτόκοκκα εδάφη, αν και έχουν υψηλό ολικό πορώδες $n = 50 - 60 \%$, εντούτοις έχουν **πολύ μικρό ενεργό πορώδες**, δηλαδή αποδίδουν ελάχιστο νερό από αυτό που μπορούν να αποθηκεύουν.

Αντίθετα τα αμμώδη εδάφη αν και έχουν χαμηλό ολικό πορώδες $n = 25-35 \%$, εντούτοις έχουν **πολύ μεγάλο ενεργό πορώδες** δηλαδή μπορούν να αποδώσουν τη μεγαλύτερη ποσότητα του νερού που περικλείουν.

Πίνακας 2.3. Κατηγορίες υπόγειου νερού με τις σπουδαιότερες ιδιότητες τους

Κατηγορία νερού	Τύποι νερού	Τρόποι αφαίρεσης	Μεταβιβάζει την υδροστατική πίεση;	Κινείται από τη βαρύτητα;
Νερό κατακράτησης	υγροσκοπικό	εξάτμιση	Όχι	Όχι
	υμενώδεις	φυγοκέντρωση	Όχι	Όχι
	αιωρούμενο τριχοειδές	φυγοκέντρωση	Ναι	Όχι
Νερό ελεύθερο	συνεχές τριχοειδές	φυσική αποστράγγιση	Ναι	Ναι
	βαρυτητικό	φυσική αποστράγγιση	Ναι	Ναι

Η μέτρηση του ενεργού πορώδους γίνεται με συσκευές που μπορούν να μετρούν όγκο και βάρος ενός δείγματος κορεσμένου σε νερό κατ' αρχή και το βάρος του ίδιου δείγματος αφού έχει αφαιρεθεί από αυτό το ελεύθερο νερό με φυσική ροή δια μέσου διάτρητης βάσης.

Στον πίνακα 2.4. παρουσιάζονται, για διάφορα είδη πορωδών μέσων, τα πεδία τιμών και ο αριθμητικός μέσος όρος του ενεργού πορώδους, όπως μετρήθηκαν από τον Morris Johnson (1967), με αναλύσεις σε ένα σημαντικό ικανοποιητικό αριθμό δειγμάτων εδαφών.

Πίνακας 2.4. Ενεργό πορώδες διαφόρων τύπων πορωδών μέσων (από τους Morris Johnson, 1967)

Υλικό υδροφορέα	Ενεργό πορώδες, n_e		Υλικό υδροφορέα	Ενεργό πορώδες, n_e	
	Πεδίο τιμών	Μέσος όρος		Πεδίο τιμών	Μέσος όρος
Ιζηματογενές			Ίλύς	0,01 - 0,39	0,20
Αμμόλιθοι λεπτοί	0,02 - 0,40	0,21	Άργιλος	0,01 - 0,18	0,06
Αμμόλιθοι μέσοι	0,12 - 0,41	0,27	Ασβεστόλιθοι	0,00 - 0,36	0,14
Ίλυδης αμμόλιθος	0,01 - 0,33	0,12	Ανεμογενές		
Άμμος λεπτή	0,01 - 0,46	0,33	Loess	0,14 - 0,22	0,18
Άμμος μέση	0,16 - 0,46	0,32	Αιολοκή άμμος	0,32 - 0,47	0,38
Άμμος αδρή	0,18 - 0,43	0,30	Τόφφοι	0,02 - 0,47	0,21
Χαλίκια λεπτά	0,13 - 0,40	0,28	Μεταμορφωσιγενές		
Χαλίκια μέσα	0,17 - 0,44	0,24	Σχιστόλιθοι	0,22 - 0,33	0,26
Χαλίκια αδρά	0,13 - 0,25	0,21			

2.3.6.2.5 Η ειδική απόδοση του εδάφους σε νερό

Αν ένα έδαφος κορεσμένο με νερό αφηθεί να στραγγίσει με την επίδραση της βαρύτητας, τότε θα απομακρυνθεί μόνο το ελεύθερο νερό και το υπόλοιπο θα κατακρατηθεί λόγω των δυνάμεων συνοχής, συνάφειας και τριχοειδών.

Αν V_{wr} είναι ο όγκος του νερού που κατακρατήθηκε και V_{wy} ο όγκος του νερού που απομακρύνθηκε με στράγγιση λόγω της βαρύτητας, τότε ορίζονται η ειδική κατακράτηση (specific retention) S_r και η ειδική απόδοση (specific yield) S_y σε νερό του εδάφους με τις παρακάτω σχέσεις, αντίστοιχα :

$$S_r = \frac{V_{wr}}{V_f} \quad (2.14)$$

$$\text{και} \quad S_y = \frac{V_{wy}}{V_f} \quad (2.15)$$

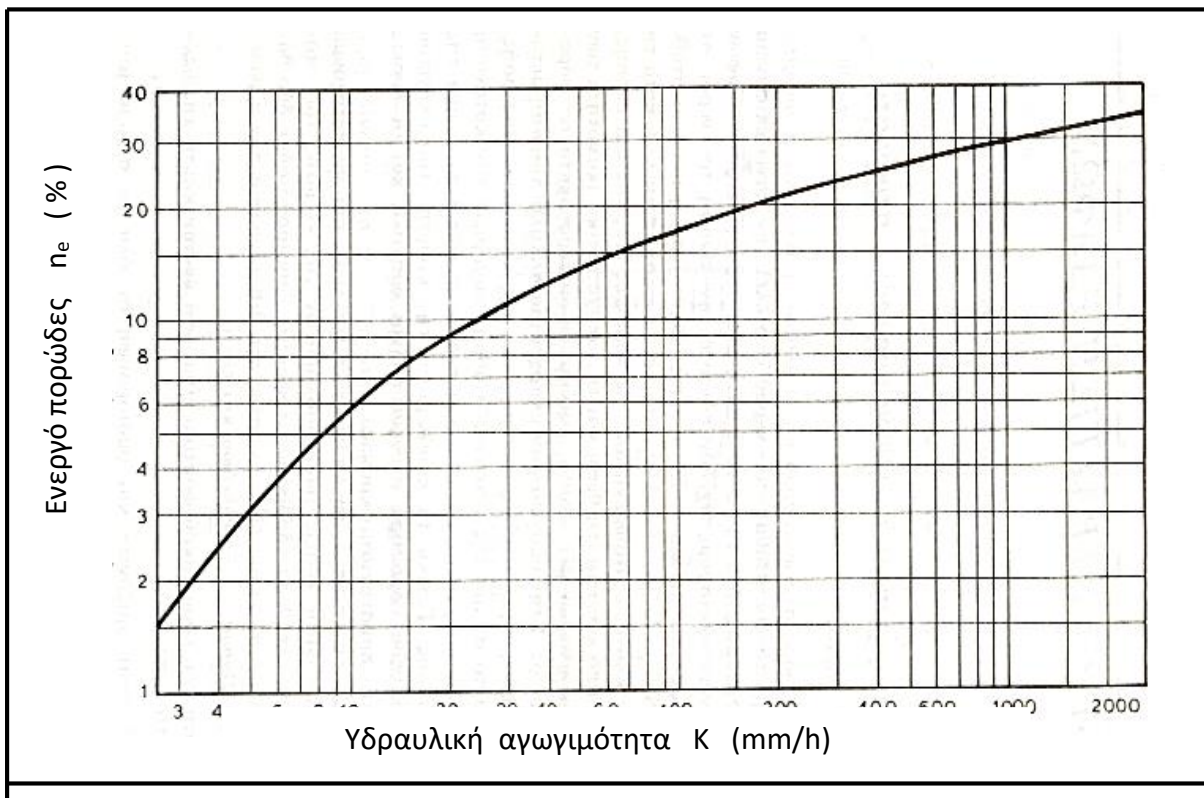
όπου V_f είναι ο συνολικός όγκος του δείγματος ενός εδάφους ή ενός πορώδους μέσου.

Προφανώς η τιμή της ειδικής απόδοσης του εδάφους σε νερό ταυτίζεται αριθμητικά με το **ενεργό (ή αποτελεσματικό) πορώδες** (effective porosity) του εδάφους.

Η Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων των Η.Π.Α (U.S.Bureau of Reclamation) έχει κατασκευάσει το διάγραμμα του σχήματος 2.6, από το οποίο εκτιμώνται οι τιμές του ενεργού πορώδους, n_e , σε σχέση με τις διάφορες τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας, K , του εδάφους. Από το διάγραμμα αυτό με τη συμμετάβολή - συσχέτιση δημιουργήσαμε τη σχέση:

$$n_e = 0,051577 \ln K - 0,05846 \quad (2.16)$$

στην οποία οι τιμές του K εκφράζονται σε mm/h και οι τιμές του n_e είναι % .



Σχήμα 2.6. Καμπύλη υδραυλικής αγωγιμότητας και ενεργού πορώδους

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