



Υδραυλική των Υπόγειων Ροών

Ενότητα 2: Το νερό στους υπόγειους υδροφορείς

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Νικόλαος Θεοδοσίου
Καθηγητής Περικλής Λατινόπουλος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



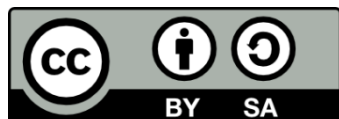
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Το νερό στους υπόγειους υδροφορείς



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Τα υπόγεια νερά (1/10)

Συνολικοί «εκμεταλλεύσιμοι» υδατικοί πόροι σε υγρή κατάσταση: $8.5 \times 10^{15} \text{ m}^3$.

Το 98% είναι υπόγειοι υδατικοί πόροι.

Περίπου το 50% των υπόγειων νερών είναι αποθηκευμένο σε μεγάλο βάθος (μεγαλύτερο των 800 m). Άρα υπάρχει πρόβλημα άντλησης (κόστος κατασκευής και λειτουργίας) και πρόβλημα ποιότητας.



Τα υπόγεια νερά (2/10)



Σχήμα 1: Ο υδρολογικός κύκλος.

Πηγή:

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D#mediaviewer/File:Water_cycle_el.jpg. Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης 21/10/2014.



Τα υπόγεια νερά (3/10)

Από ενεργειακή άποψη: Ο υδρολογικός κύκλος τροφοδοτείται από τον ήλιο, πρόκειται για μεγάλης κλίμακας ηλιακή απόσταση.

Τις σταγόνες που υγράνθηκαν από τη θέρμη του ήλιου και έγιναν υγρασία.

Την υγροσκοπική μορφή του νερού που σχημάτισε τα σύννεφα.

Τα νέφαλα πούγιναν βροχή.

Μανώλη Γλέζου «Η συνείδηση της πετραίας γής»



Τα υπόγεια νερά (4/10)

Υδροφορέας είναι ένας γεωλογικός σχηματισμός που:

α) περιέχει νερό και

β) επιτρέπει την διέλευση σημαντικών ποσοτήτων νερού.

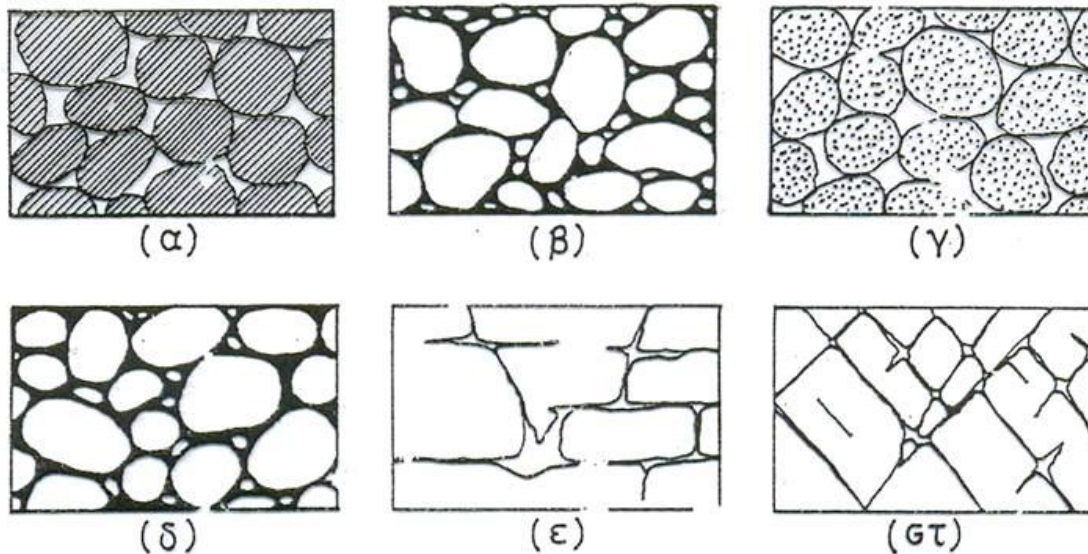
Αποτελείται λοιπόν από στερεό εδαφικό υλικό και κενό χώρο, στον οποίο περιέχεται το νερό.

Οι αργιλικοί σχηματισμοί θεωρούνται αδιαπέρατοι αν και περιέχουν νερό, διότι δεν επιτρέπουν την κίνησή του.

Φυσικά αδιαπέρατοι είναι και οι εδαφικοί σχηματισμοί, που δεν έχουν κενούς χώρους (π.χ. «υγιείς» γρανίτες).



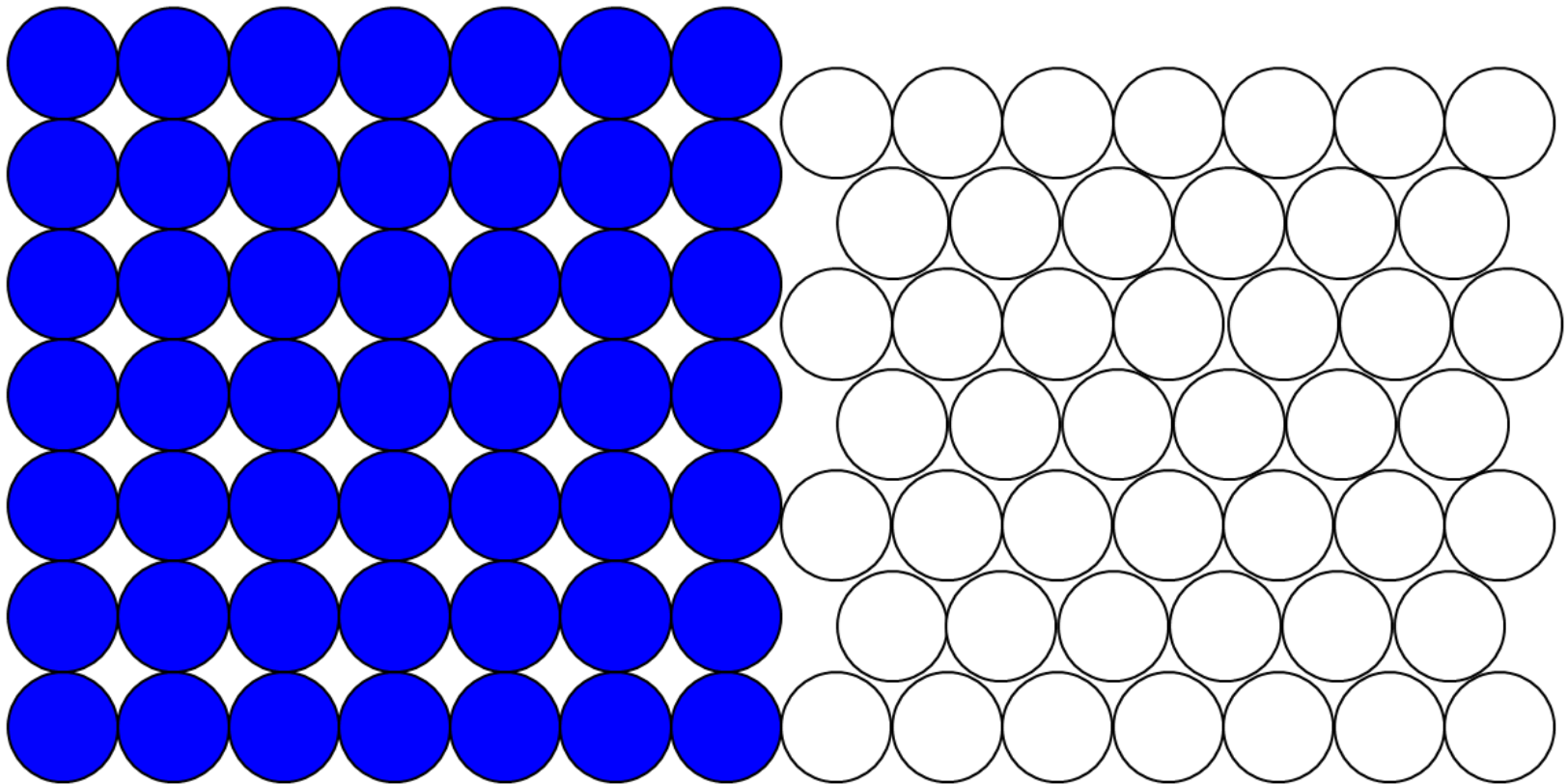
Τα υπόγεια νερά (5/10)



Σχήμα 2: Διάφοροι τύποι διάταξης κόκκων και διάκενων

Πηγή: Π. Λατινόπουλος, Υδραυλική των Υπόγειων Ροών, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, 1986, σελ.14.

Τα υπόγεια νερά (6/10)



Τα υπόγεια νερά (7/10)

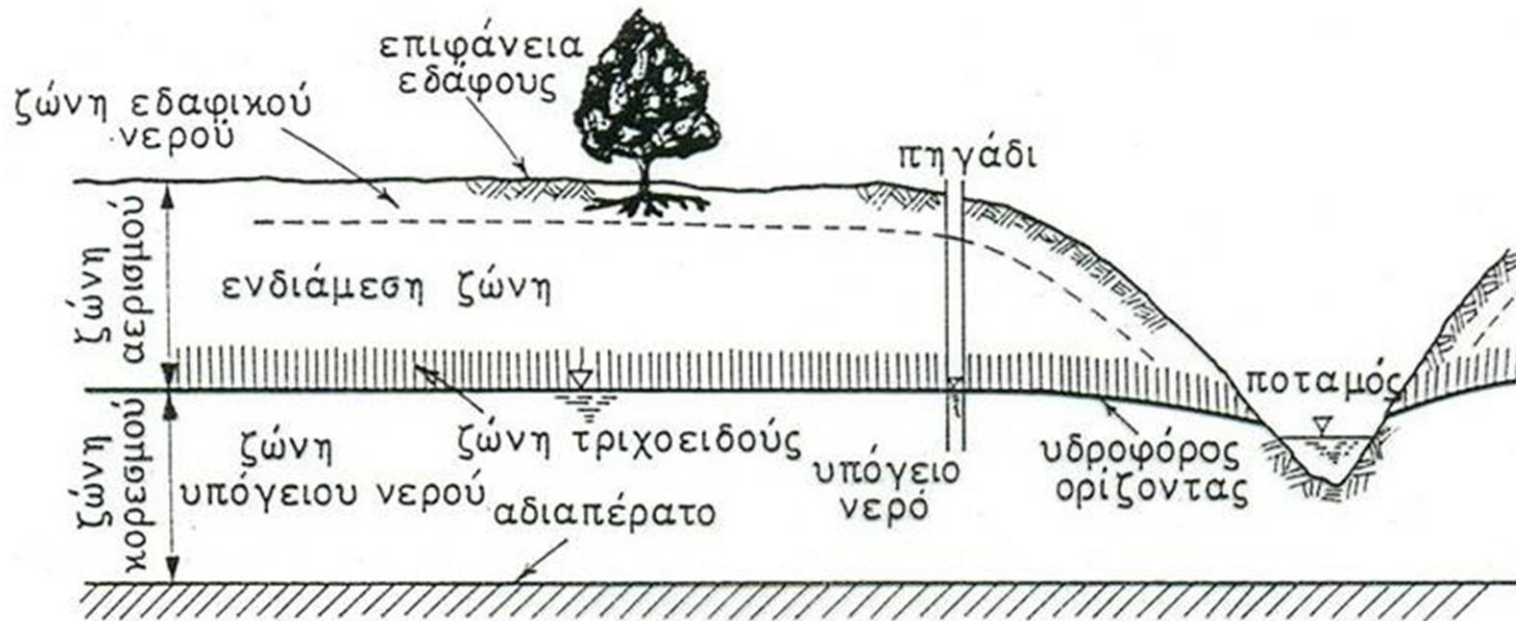
Για την κίνηση του νερού σημαντικό ρόλο παίζει η διασύνδεση των κενών χώρων (δαιδαλώδες).

Η χρόνος άφιξης ρύπων από την πηγή τους σε μία θέση που μας ενδιαφέρει (π.χ. γεώτρηση) εξαρτάται από τις οδούς ταχείας κίνησης των ρύπων.

Η πλήρης (ή έστω η επαρκής) απορρύπανση εξαρτάται και από τις ποσότητες ρύπου που κινούνται σε μικρούς ή σχετικά απομονωμένους κενούς χώρους.



Τα υπόγεια νερά (8/10)



Σχήμα 3: Η κατανομή του υπόγειου νερού

Πηγή: Π. Λατινόπουλος 1986,σελ.15.



Τα υπόγεια νερά (9/10)

Η ελεύθερη επιφάνεια διαχωρίζει την κορεσμένη από την ακόρεστη ζώνη.

Η ακόρεστη ζώνη (ζώνη αερισμού) υποδιαιρείται στις ζώνες:

εδαφικού νερού,

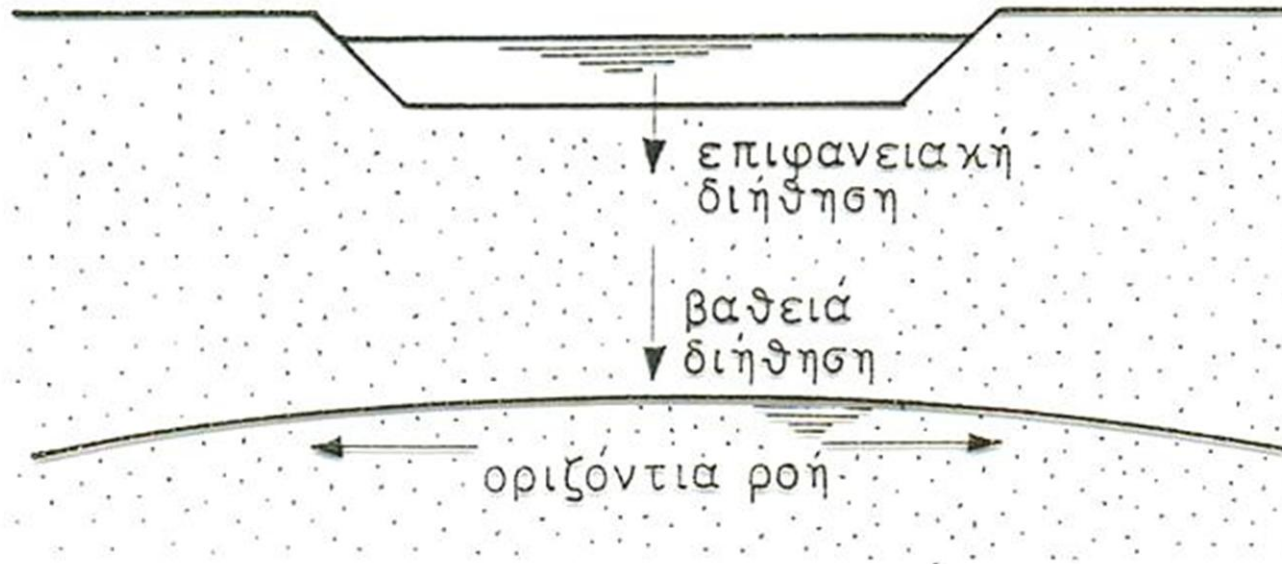
ενδιάμεση,

τριχοειδούς.

Έχει μεγάλη σημασία σε προβλήματα αρδεύσεων και στραγγίσεων.



Τα υπόγεια νερά (10/10)



Σχήμα 4: Φόρτιση των υπόγειων υδροφορέων

Πηγή: Π. Λατινόπουλος 1986, σελ.16.

Τεχνητός εμπλουτισμός (1/3)

Ο τεχνητός εμπλουτισμός γίνεται:

α) Με λεκάνες κατάκλυσης.

β) Με τάφρους.

γ) Με γεωτρήσεις.



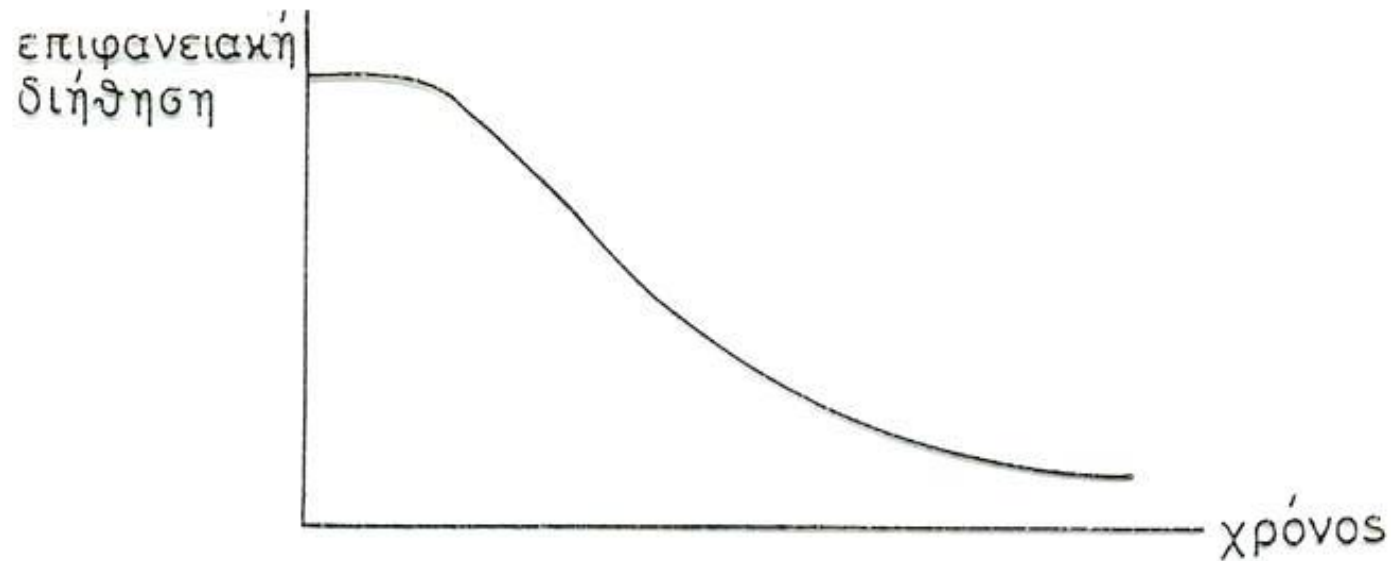
Τεχνητός εμπλουτισμός (2/3)

Η κατείδυση εξαρτάται από:

- α) Την ικανότητα απορρόφησης νερού από το έδαφος.
- β) Την ικανότητα κατακόρυφης διήθησης νερού.
- γ) την ικανότητα οριζόντιας κίνησης του νερού στη ζώνη κορεσμού.

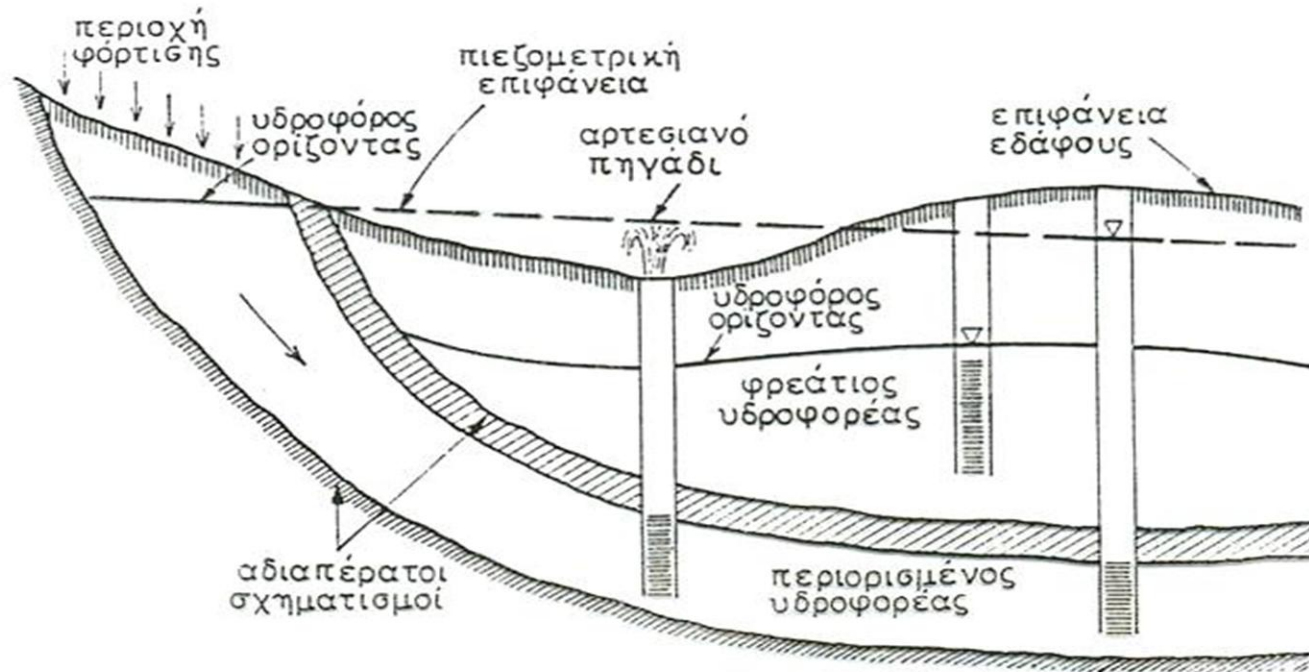


Τεχνητός εμπλουτισμός (3/3)



Σχήμα 5: Μεταβολή της διηθητικότητας με το χρόνο.

Ταξινόμηση υπόγειων υδροφορέων (1/2)



Σχήμα 6: Τύποι υπόγειων υδροφορέων.

Πηγή: Π. Λατινόπουλος 1986, σελ.18.



Ταξινόμηση υπόγειων υδροφορέων (2/2)

Τύποι υδροφορέων:

- Υδροφορείς υπό πίεση.
- Φρεάτιοι υδροφορείς=υδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια.
- Υδροφορείς υπό πίεση με διαρροή.
- Φρεάτιοι υδροφορείς με διαρροή.

Θέμα συζήτησης:

Πότε ένα εδαφικό στρώμα θεωρείται ημιπερατό;



Παράμετροι εδαφών και υπόγειων υδροφορέων (1/2)

Πορώδες: $n = U_n / U$

Δείκτης πόρων: $e = U_n / U_s$

Ειδική απόδοση ή ενεργό πορώδες: $S_y = U_y / U$

Ειδική κατακράτηση: $S_r = U_r / U$

$$U_n = U_y + U_r$$

$$n = S_y + S_r$$

Αποθηκευτικότητα:

$$S = \Delta U / (A \Delta \phi)$$

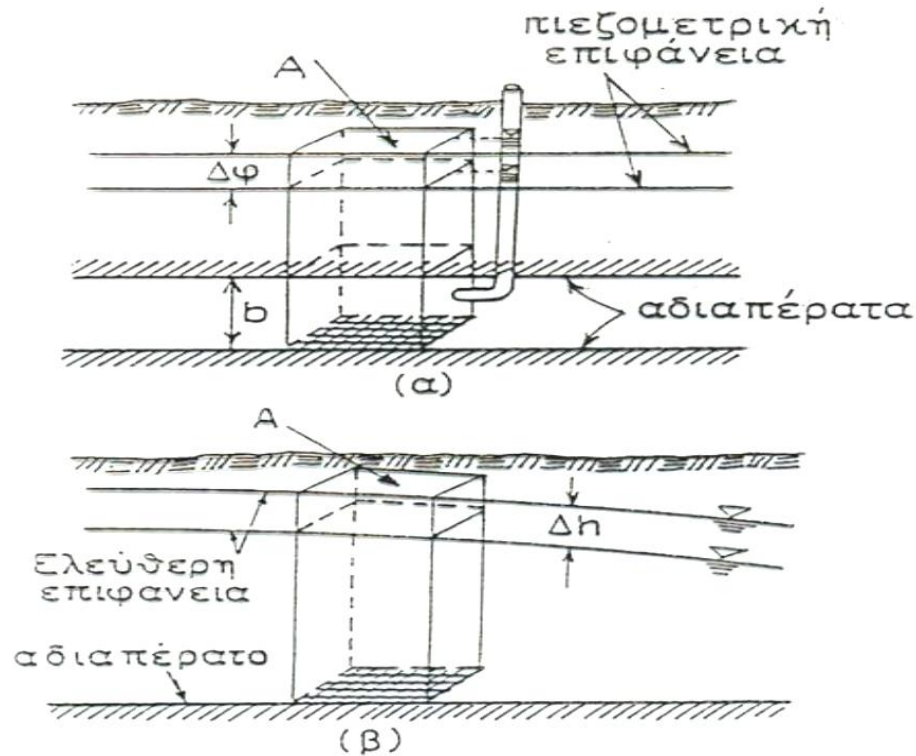
για περιορισμένο υδροφορέα

$$S = \Delta U / (A \Delta h)$$

για φρεάτιο υδροφορέα



Παράμετροι εδαφών και υπόγειων υδροφορέων (2/2)



Σχήμα 7: Ορισμός αποθηκευτικότητας: (α) σε περιορισμένο και (β) σε φρεάτιο υδροφορέα. Πηγή: Λατινόπουλος 1986 ,σελ. 26.



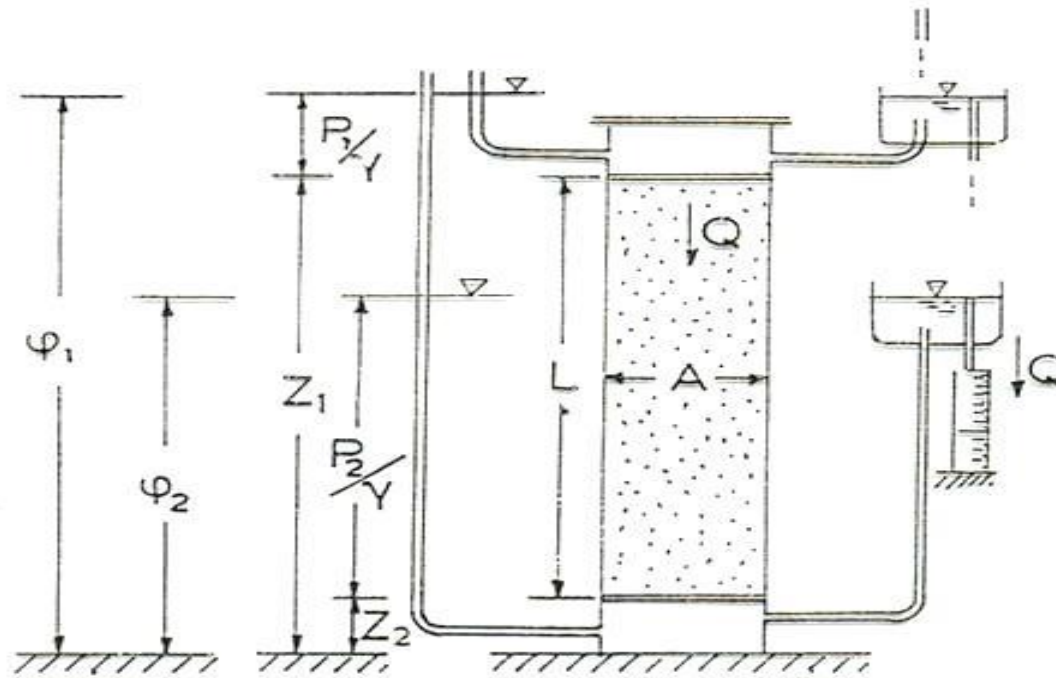
Ο νόμος του Darcy (1/8)

Είναι απλός εμπειρικός νόμος, που υποκαθιστά τις εξισώσεις Navier-Stokes.

Κύρια πλεονεκτήματά του είναι η απλότητα και το ότι ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις πρακτικού ενδιαφέροντος.



Ο νόμος του Darcy (2/8)



Σχήμα 7: Η πειραματική συσκευή του Darcy

Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 28.



Ο νόμος του Darcy (3/8)

$$Q = KA(\varphi_1 - \varphi_2)/L$$

K : υδραυλική αγωγιμότητα

φ : πιεζομετρικό φορτίο $\varphi = p/\gamma + z$

$$q = Q/A = KJ$$

J : υδραυλική κλίση $J = (\varphi_1 - \varphi_2)/L$

q : ειδική παροχή $q = Q/A = KJ$ **(Ταχύτητα διηθήσεως)**



Ο νόμος του Darcy (4/8)

$$V = Q/nA$$

V : μέση ταχύτητα ή ταχύτητα ροής

$$q_x = KJ_x = -K \partial\phi / \partial x = nV_x$$

$$q_y = KJ_y = -K \partial\phi / \partial y = nV_y$$

$$q_z = KJ_z = -K \partial\phi / \partial z = nV_z$$



Ο νόμος του Darcy (5/8)

$$q = KJ = -K \text{grad} \varphi$$

$$V = q/n$$

$$q = -\text{grad}(K\varphi) = -\text{grad} \varphi$$

$$\Phi = K\varphi$$

Φ : συνάρτηση δυναμικού της ειδικής παροχής, q



Ο νόμος του Darcy (6/8)

Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας

$$K = kg/v$$

k : διαπερατότητα (ή γεωμετρική
διαπερατότητα)

v : κινηματικό ιξώδες



Ο νόμος του Darcy (7/8)

Ο νόμος του Darcy, που ορίζει μια γραμμική σχέση για την ταχύτητα ροής, ισχύει για στρωτές ροές. Ως κριτήριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αριθμός του Reynolds.

$$Re = \rho d / \nu$$

Ως χαρακτηριστικό μήκος χρησιμοποιείται η d_{10}

Ο νόμος ισχύει για $Re < 1$ και δεν έχει σημαντικές αποκλίσεις για $Re < 10$.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στους καρστικούς και τους ρηγματωμένους υδροφορείς, όπου μπορεί να αναπτυχθούν σχετικά μεγάλες ταχύτητες.



Ο νόμος του Darcy (8/8)

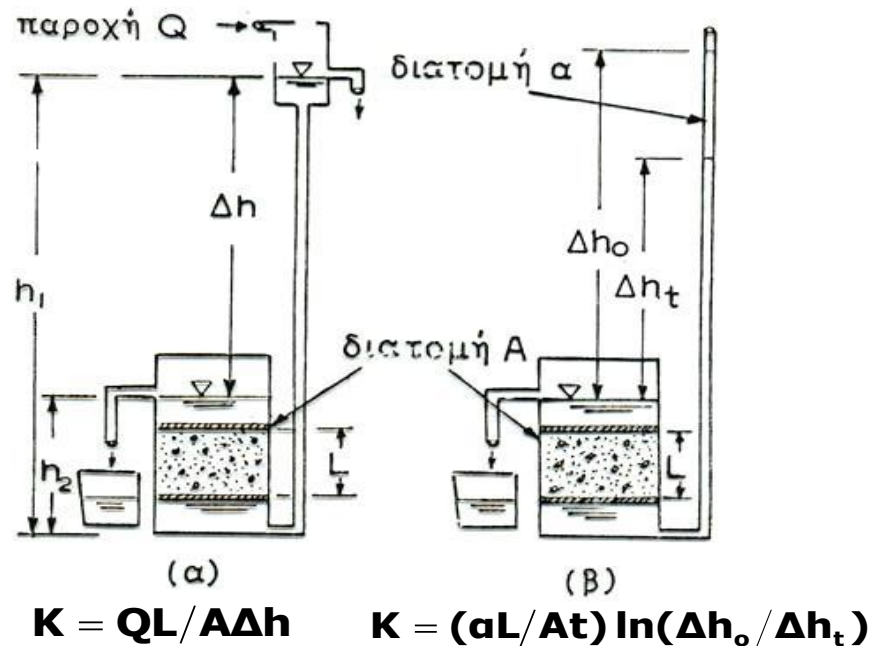
Μια εναλλακτική λύση για σχετικά μεγάλες τιμές του αριθμού Reynolds, είναι η χρήση της σχέσης του Forchheimer

$$\text{grad}\phi = cV + dV^2$$

Η σχέση αυτή δεν είναι βολική από μαθηματική άποψη, γι' αυτό χρησιμοποιείται σπάνια.



Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας (1/3)



Σχήμα 8: Διαπερατόμετρα (α) σταθερού φορτίου και (β) μεταβλητού φορτίου

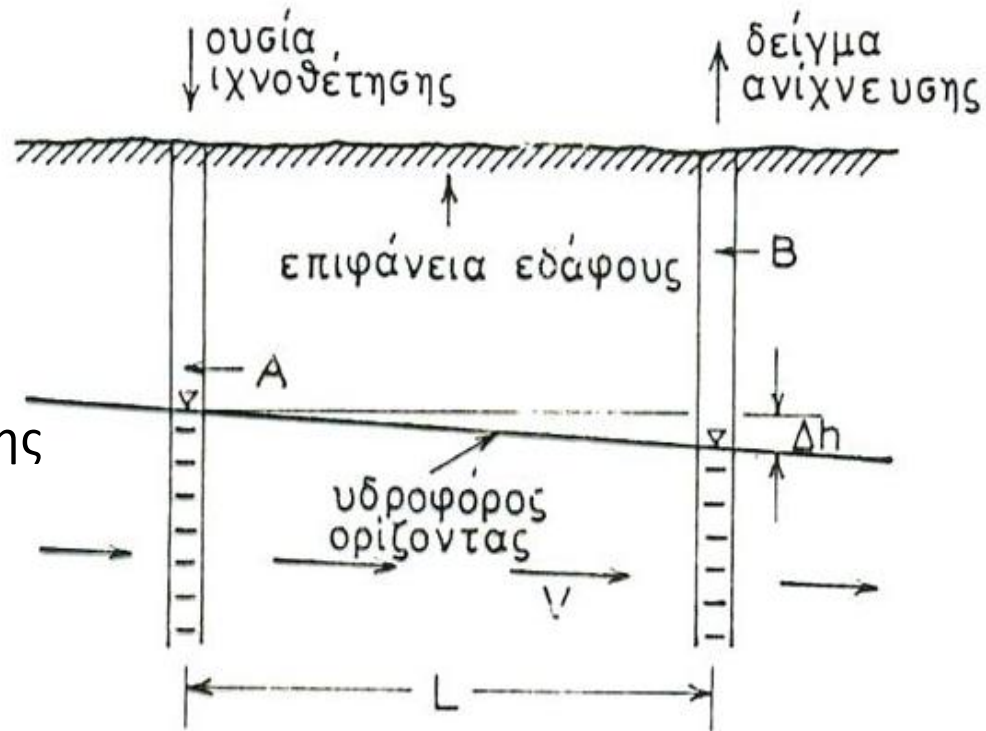
Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 34.



Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας (2/3)

$$K = nL^2 / t\Delta h$$

t : χρόνος διάνυσης της απόστασης L



Σχήμα 9: Δοκιμή ιχνοθέτησης

Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 35.



Υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας (3/3)

Επιθυμητές ιδιότητες ιχνοθέτη:

α) Να είναι εύκολα ανιχνεύσιμος.

β) Να είναι αβλαβής.

γ) Να μη προσροφάται.

δ) Να είναι φθηνός.

Πλεονεκτήματα των επί τόπου μεθόδων:

Αδιατάρακτο δείγμα.

Το αποτέλεσμα αντιπροσωπεύει ευρύτερη περιοχή

(εξομάλυνση τοπικών διαφορών).



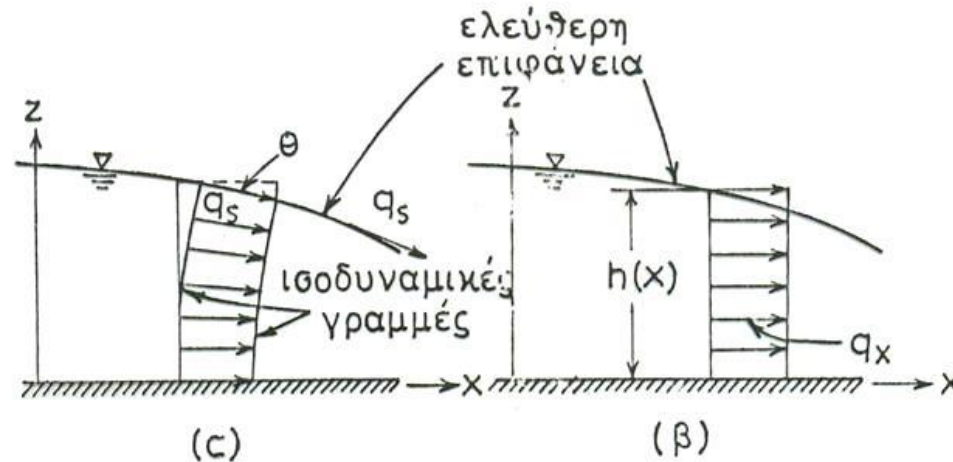
Η υπόθεση του Dupuit (1/3)

Το πάχος των υδροφορέων είναι πολύ μικρότερο από τις οριζόντιες διαστάσεις τους. Έτσι συνήθως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ροή είναι διδιάστατη, αγνοώντας την κατακόρυφη συνιστώσα της (υδραυλική θεώρηση).

Μαθηματικά αυτό εκφράζεται με ολοκλήρωση των εξισώσεων της ροής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.



Η υπόθεση του Dupuit (2/3)



Σχήμα 10: Υπόθεση Dupuit.

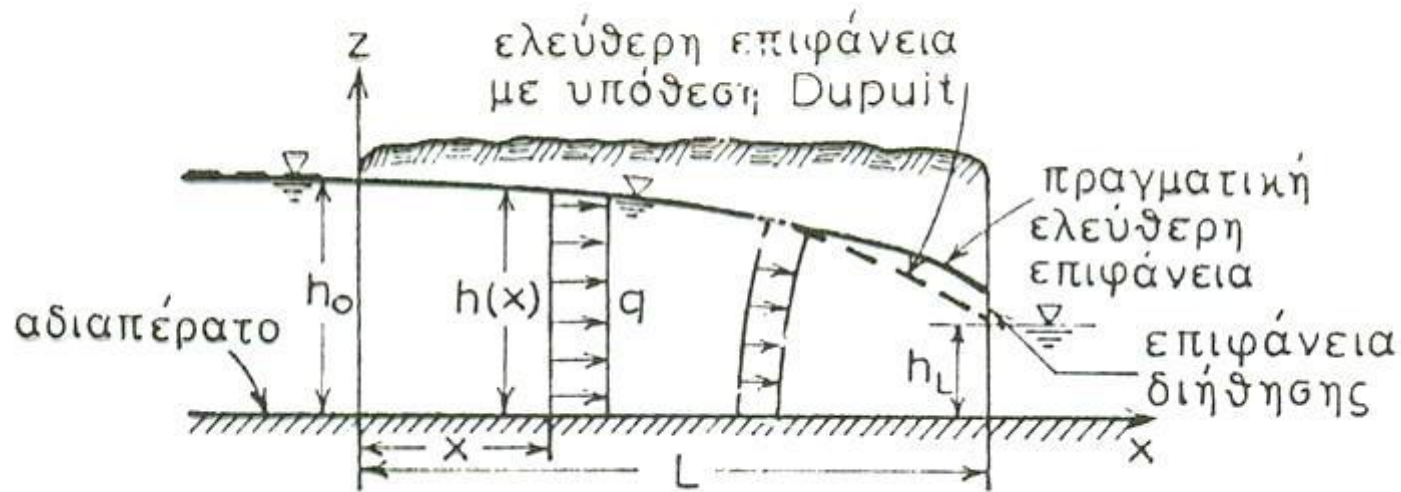
Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 38.

$$q_s = -K \frac{dh}{ds} = -K \frac{dz}{ds} = -K \sin \theta$$

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}, \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}, \quad h = h(x, y)$$



Η υπόθεση του Dupuit (3/3)



Σχήμα 11: Μόνιμη ροή σε φρεάτιο υδροφορέα.

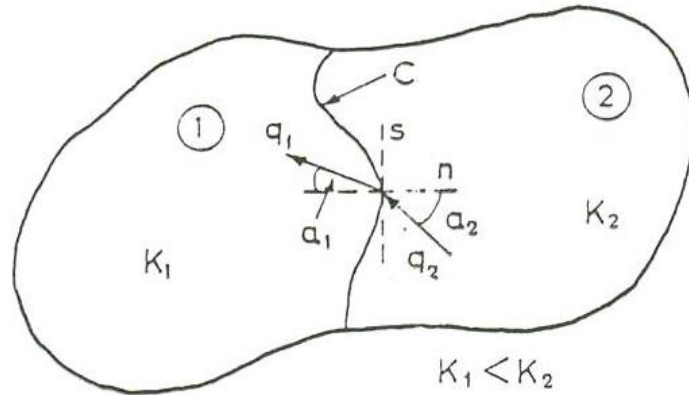
Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 40.

$$Q' = qh(x) = -Kh(x)dh/dx = \text{σταθ.}$$

$$Q' = K(h_o^2 - h_L^2)/2L \quad (\text{σχέση Dupuit - Forchheimer})$$



Ανομογένεια και ανισοτροπία (1/4)



Σχήμα 12: Διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων με διαφορετική διαπερατότητα

Πηγή: Λατινόπουλος 1986 σελ. 44.

Συνθήκες στη διεπιφάνεια

$$\varphi_1 = \varphi_2 \text{ στη } C$$

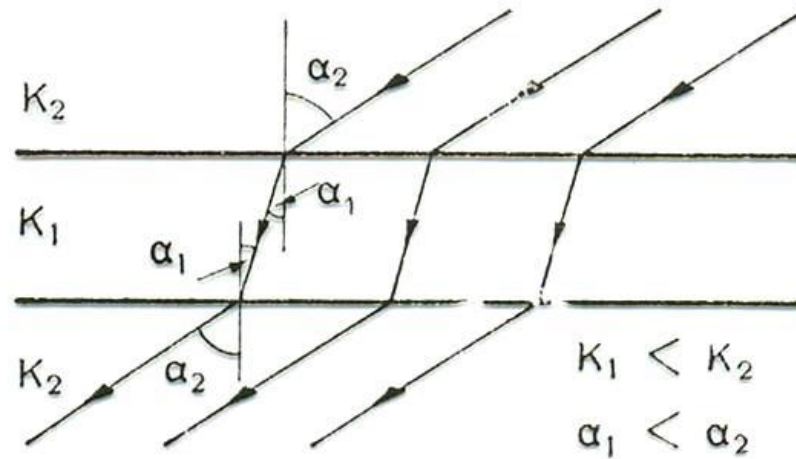
$$q_{1n} = q_{2n} \text{ στη } C$$

$$K_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = K_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n}, \quad \frac{\partial \varphi_1}{\partial s} = \frac{\partial \varphi_2}{\partial s}, \quad \frac{q_{1s}}{K_1} = \frac{q_{2s}}{K_2}$$

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}$$

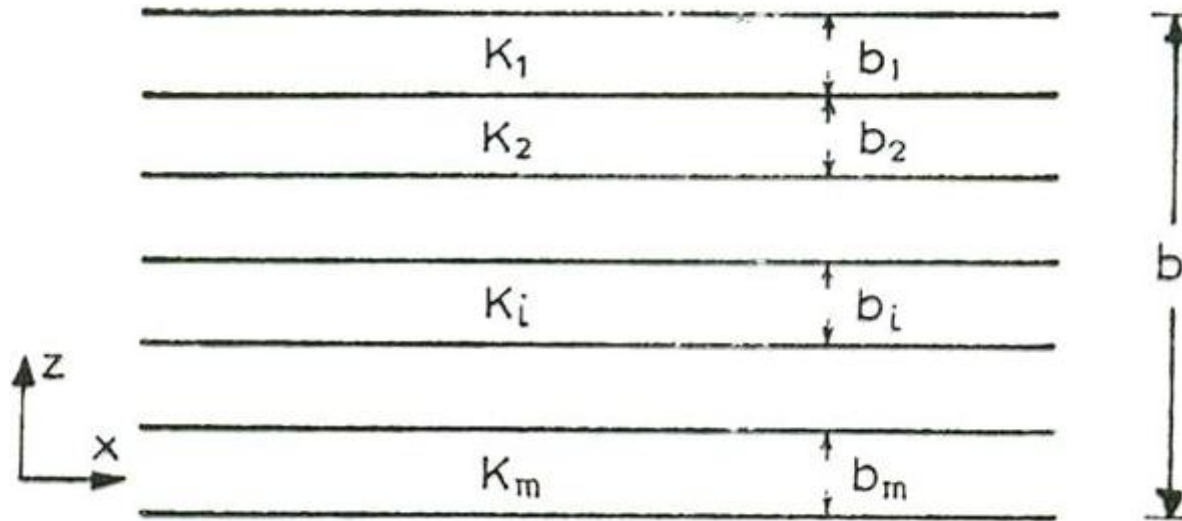


Ανομογένεια και ανισοτροπία (2/4)



Σχήμα 13: Διάθλαση γραμμών ροής σε διαχωριστική επιφάνεια ομογενών και ισότροπων μέσων. Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 46.

Ανομογένεια και ανισοτροπία (3/4)



Σχήμα 14: Στρωματοποιημένος υδροφορέας. Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 47.

Ροή κατά x

$$K_x = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^m K_i b_i$$

$$Q'_x = -\frac{d\varphi}{dx} \sum_{i=1}^m K_i b_i = -K_x b \frac{d\varphi}{dx}$$

Ροή κατά z

$$Jb = \sum_{i=1}^m J_i b_i$$

$$q_z = K_z J = K_i J_i \quad \text{για κάθε } i$$

$$K_z = b / \left(\sum_{i=1}^m b_i / K_i \right)$$



Ανομογένεια και ανισοτροπία (4/4)

Γενικευμένος νόμος του Darcy:

$$q = KJ$$

K : ταυστής της υδραυλικής αγωγιμότητας

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} q_x &= K_{xx}J_x + K_{xy}J_y \\ q_y &= K_{yx}J_x + K_{yy}J_y \end{aligned}$$

(αναλογία με ορθές-διατμητικές τάσεις)



Σύνοψη συνήθων παραδοχών

Παραδοχή διδιάστατης ροής.

Μακροσκοπική θεώρηση.

Χρήση του νόμου του Darcy.

Υπόθεση ομογενούς και ισοτρόπου μέσου.

Παραδοχές σχετικές με τα όρια του πεδίου ροής.

Παραδοχή μόνιμου φαινομένου.



Η έννοια του ισοζυγίου

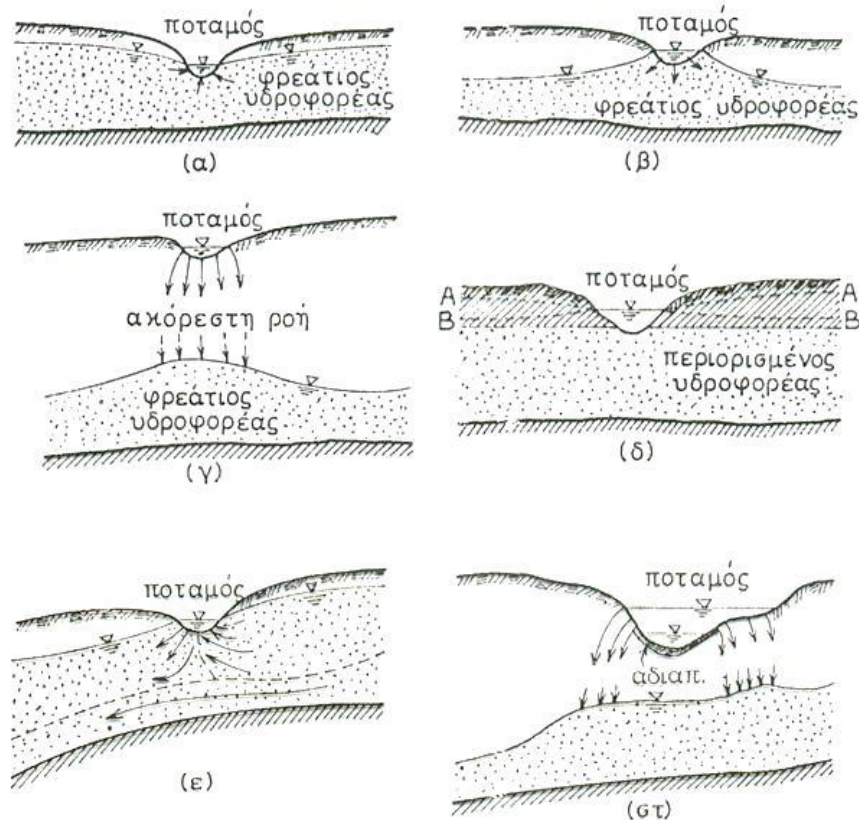
χωρικό πλαίσιο (π.χ. Κρήτη).

χρονικό πλαίσιο (π.χ. έτος).

εξεταζόμενη οντότητα (π.χ. υπόγειοι υδατικοί πόροι).



Ο κύκλος των υπόγειων νερών (1/6)

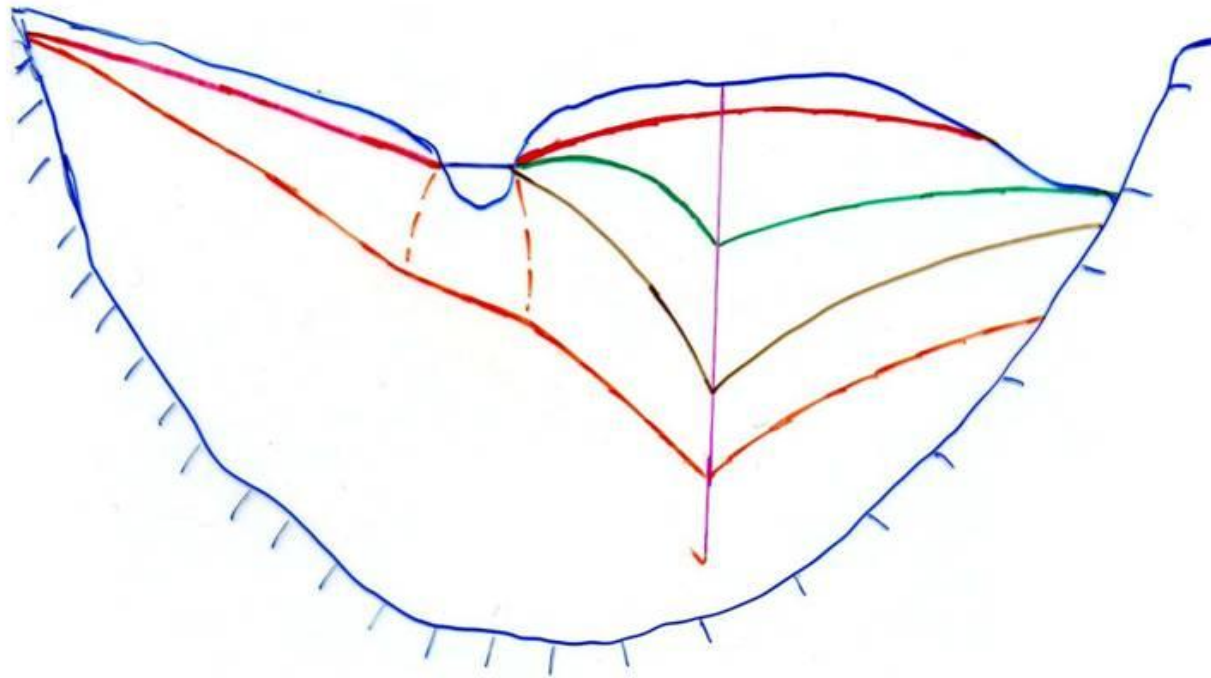


Σχήμα 15: Υδραυλική επικοινωνία υδροφορέα-ποταμού.

Πηγή: Λατινόπουλος 1986, σελ. 51.



Ο κύκλος των υπόγειων νερών (2/6)



Σχήμα 16: Μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού.

Ο κύκλος των υπόγειων νερών (3/6)

Απόδοση ασφαλείας: ποσοστό του υπολοίπου βροχόπτωσης.

Στον καθορισμό υπεισέρχονται ποιοτικά, νομικά, οικονομικά και αισθητικά κριτήρια .

Παραδείγματα

Αποφυγή εισροής νερού κατώτερης ποιότητας.

Περιορισμός επιπτώσεων σε προστατευόμενη περιοχή (π.χ. Κορώνεια).

Περιορισμός κόστους άντλησης.

Αποφυγή στερέματος πηγών.



Ο κύκλος των υπόγειων νερών (4/6)

Τεχνητός εμπλουτισμός: έμμεσος και άμεσος

Με κατάκλυση.

Με τάφρους.

Με γεωτρήσεις.

Όρια υδροφορέων: συχνά είναι ασαφή, ενώ μπορεί να μεταβάλλονται με το χρόνο, λόγω μεταβολής της στάθμης του νερού.



Ο κύκλος των υπόγειων νερών (5/6)

Ο εμπλουτισμός των υδροφορέων από τις βροχοπτώσεις εξαρτάται από:

- τον τύπο της βροχόπτωσης,
- τις κλιματικές συνθήκες,
- την ώρα της ημέρας,
- την υγρασία του εδάφους,
- την τοπογραφία του εδάφους,
- τη διαπερατότητα του εδάφους,
- τη φυτοκάλυψη.



Ο κύκλος των υπόγειων νερών (6/6)

Το νερό των αρδεύσεων που κατεισδύει, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται επίσης στο ισοζύγιο.

Είναι θετικό από άποψη ποσότητας, αλλά δημιουργεί προβλήματα ποιότητας.

Η εισροή από βόθρους υποβαθμίζει επίσης την ποιότητα.

Απώλεια αποτελεί οπωσδήποτε η εξατμισοδιαπνοή.

Επίσης πρέπει να αφαιρούνται οι παροχές των πηγών και οι αντλήσεις για διάφορες χρήσεις.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Κωνσταντίνος Κατσιφαράκης, Νικόλαος Θεοδοσίου, Περικλής Λατινόπουλος. «Υδραυλική των Υπόγειων Ροών. Ενότητα 2. Το νερό στους υπόγειους υδροφορείς». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS179/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. 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».



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

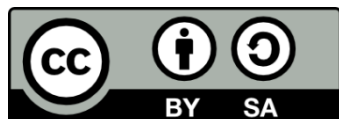
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ιωάννης Αυγολούπης
Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2012-2013>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

