

Υπόγεια νερά



**Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων
Αθήνα 2009**

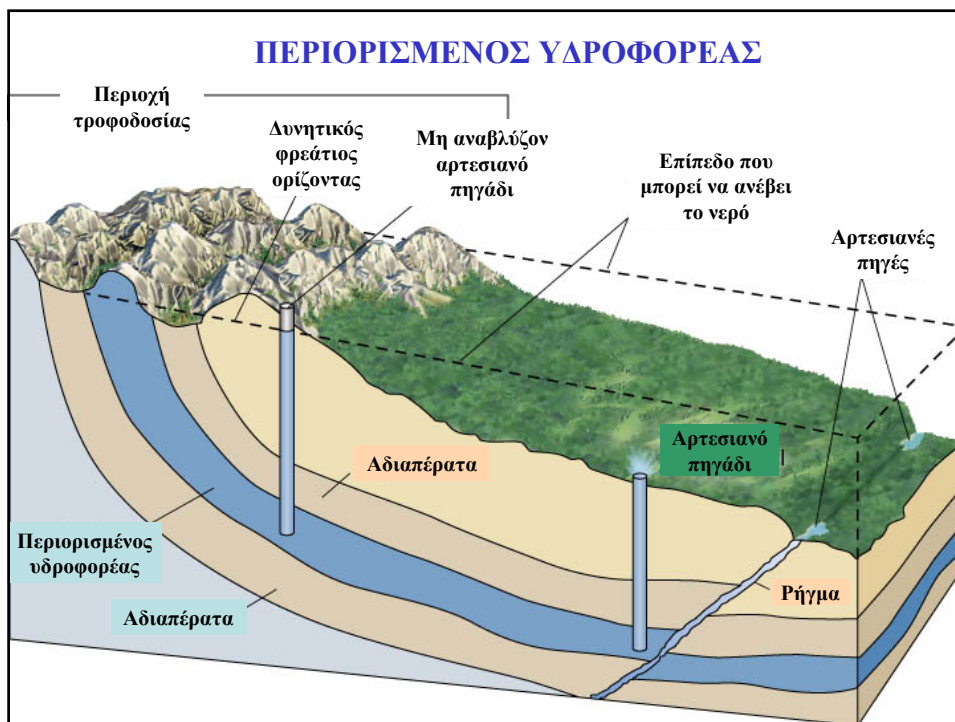
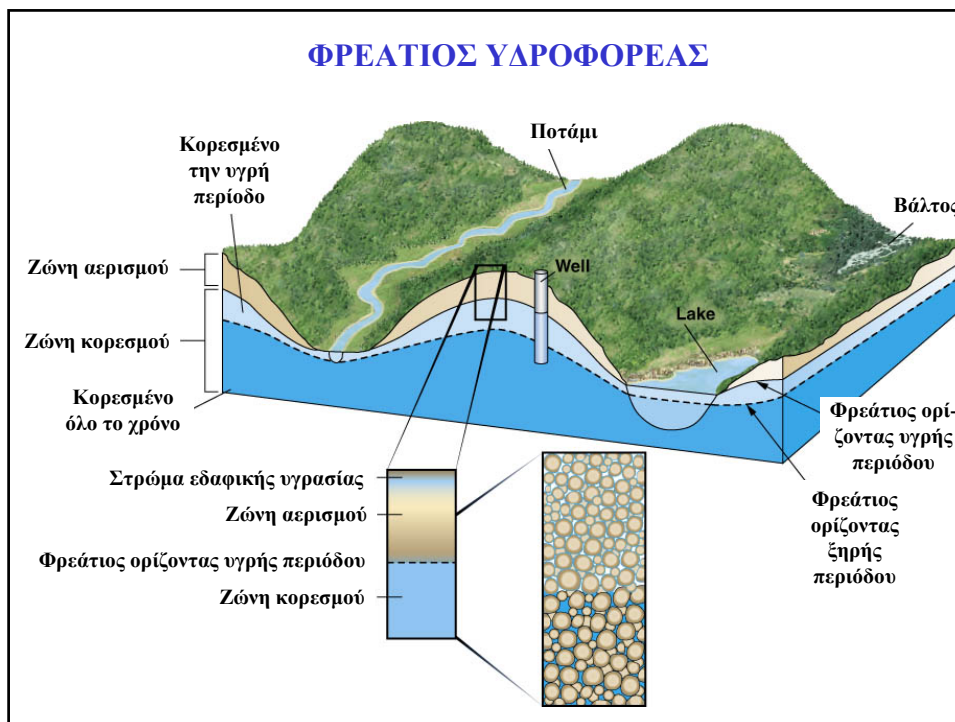
ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ:

ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**
- **ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ**
- **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ**
- **ΓΕΩΤΡΗΣΗ**
- **ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ**

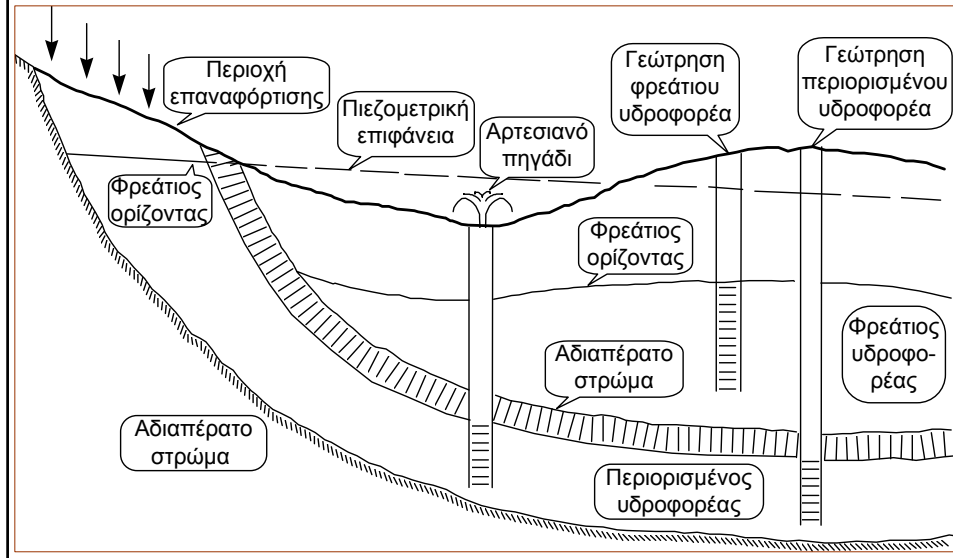


Γεωλογικοί σχηματισμοί και νερό	
ΕΙΔΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ Υδροφόρεας (aquifer) Μπορεί να αποθηκεύσει μια αξιόλογη ποσότητα νερού και να τη μεταφέρει με υδρολογικά σημαντικό ρυθμό Ημιπερατός (aquitard) Επιτρέπει την κίνηση νερού με πολύ χαμηλό ρυθμό (υποδεκαπλάσιο) σε σχέση με τον υδροφόρεα Αδιαπέρατος (aquiclude) Πιθανόν να περιέχει σημαντικές ποσότητες νερού, όμως σε κανονικές συνθήκες δεν επιτρέπει την κίνηση νερού στο εσωτερικό του Αδιαπέρατος στεγανός (aquifuge) Δεν περιέχει νερό και δεν επιτρέπει την κίνηση νερού στο εσωτερικό του	ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ • Κροκαλοπαγή • Αμμώδη (ψαμμίτες) • Ασβεστολιθικά και δολομίτες (ανθρακικά) • Μεταμορφωσιγενή (χαλαζίτης, γνεύσιος) • Εκρηξιγενή (γρανίτης, βασάλτης) • Πηλός • Άργιλος • Σχιστόλιθοι • Εκρηξιγενή

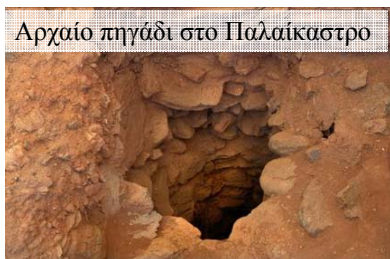


ΦΡΕΑΤΙΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ

Υδροφόρεας: Γεωλογική μονάδα η οποία μπορεί να αποθηκεύσει μια αξιόλογη ποσότητα νερού και να τη μεταφέρει με υδρολογικά σημαντικό ρυθμό



ΠΗΓΑΔΙΑ



αρχαίος αθηναϊκός πολιτισμός εκτός από τεχνικά έργα ανέπτυξε ένα πλαίσιο νόμων

Δεδομένου ότι η περιοχή δεν τροφοδοτείται με αρκετό νερό από τα ποτάμια, λίμνες και πηγές, οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν πηγάδια. Ο Σόλων έκανε ένα νόμο όπου:

- Έτσι με το νόμο αυτό εξυπηρετούνταν οι ανάγκες χωρίς να επιβραβεύεται η τεμπελιά.*

Αργότερα όταν τα δημοσια έργα αυξήθηκαν με υδραγωγεία και κρήνες, τα ιδιωτικά έργα (πηγάδια, δεξαμενές άρχισαν να εγκαταλείπονται. Δεδομένης της αναγκαιότητάς τους σε κατάσταση πολέμου οι ιδιοκτήτες τους υποχρεώθηκαν από κανονισμούς να διατηρούν τα πηγάδια σε καλή κατάσταση και έτοιμα προς χρήση.

Τεχνική αξιοποίησης υπογείων νερών που αναπτύχθηκε σε ημιάνδρα κλίματα. Τα πρώτα qanat έγιναν στην Περσία και η τεχνική αυτή εξαπλώθηκε με τις Μουσουλμανικές κατακτήσεις στη Βόρειο Αφρική και την Ιβηρική χερσόνησο.

Αρδευόμενες εκτάσεις

Εξόδος Qanat

Κανάλι Qanat

Υπόγειος ορίζοντας

Συνήθεις διαστάσεις καναλιών
 Υψος: 1.5 m
 Πλάτος: 0.75 m
 Μήκος: μέχρι 70 km

Συνήθεις διαστάσεις καναλιού
Ύψος: 1.5 m
Πλάτος: 0.75 m
Μήκος: μέχρι 70 km

QANAT (kareez, foggara)

Σημαντικό σημείο στην κατασκευή είναι η σωστή κλίση του καναλιού. Τα κατακόρυφα ορύγματα (ύψους μέχρι και 60 m) χρησιμοποιούνται για παροχή αέρα, καθαρισμό-συντήρηση και την αποφυγή κατασκευής σήραγγας μεγάλου μήκους

Κατακόρυφα ορύγματα πρόσβασης



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

- Δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή ταμιευτήρων, αφού οι υδροφορείς πρακτικά συμπεριφέρονται ως ταμιευτήρες υπερετήσιας εξίσωσης
- Πολλές φορές οι υδροφορείς αναπτύσσονται κάτω από τις εκτάσεις όπου γίνεται η κατανάλωση του νερού, οπότε αποφεύγεται η κατασκευή μεγάλων έργων μεταφοράς
- Οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών μπορούν να κατασκευάζονται και να λειτουργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα, κάτι που ευνοεί τη σταδιακή ανάπτυξη του συστήματος εκμετάλλευσης
- Κατά κανόνα η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι καλύτερη από αυτήν του επιφανειακού

Σημαντικό μειονέκτημα της εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών είναι η απαραίτητη άντληση του νερού, συχνά από μεγάλα βάθη, η οποία συνεπάγεται σημαντική ενεργειακή, άρα και οικονομική, επιβάρυνση. Έτσι, για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη υδατικών πόρων, το συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των έργων εκμετάλλευσης υπόγειου νερού διαμορφώνεται σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα από τα αντίστοιχα των έργων εκμετάλλευσης επιφανειακού νερού.

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

- Η τροφοδοσία των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων από τα υπόγεια νερά γίνεται με ομαλούς, σχεδόν ομοιόμορφους ρυθμούς, σε αντίθεση με τους έντονα μεταβαλλόμενους και διαλείποντες ρυθμούς της πλημμυρικής απορροής
- Από διαχειριστική άποψη, τα υπόγεια υδάτινα σώματα μπορούν να θεωρηθούν ως φυσικοί ταμιευτήρες, πλησιάζοντας ως προς τη συμπεριφορά τους τις φυσικές και τεχνητές επιφανειακές λίμνες
- Η ρύπανση των υπόγειων νερών εξελίσσεται με ιδιαίτερα βραδείς ρυθμούς με αποτέλεσμα, η κακή διαχείρισή τους να οδηγεί πολλές φορές σε πρακτικώς μη αναστρέψιμα αποτελέσματα

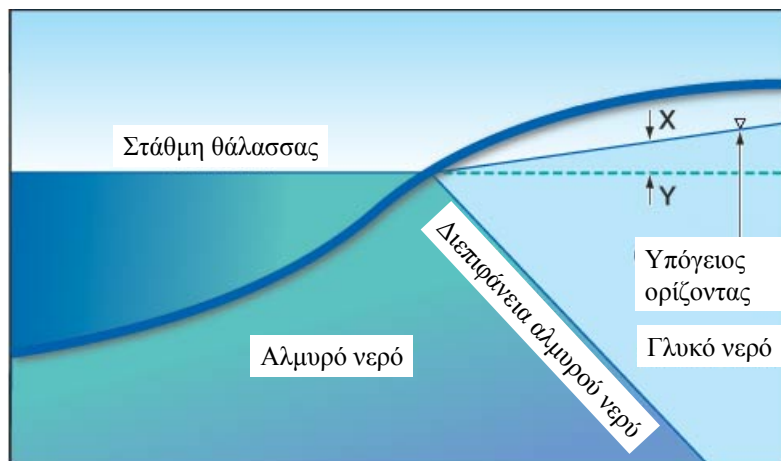
ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΛΟΓΩ:

- έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας (ανομοιομορφία) και ανισοτροπίας των χαρακτηριστικών των υδροφορέων
- δυσχέρειας ακριβούς γνώσης τόσο της γεωμετρίας, όσο και των χαρακτηριστικών των υδροφορέων
- ανάπτυξης των υπόγειων ροών σε δύο ή τρεις χωρικές διαστάσεις, σε αντίθεση με την κατά κανόνα μονοδιάστατη εικόνα των επιφανειακών ροών

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

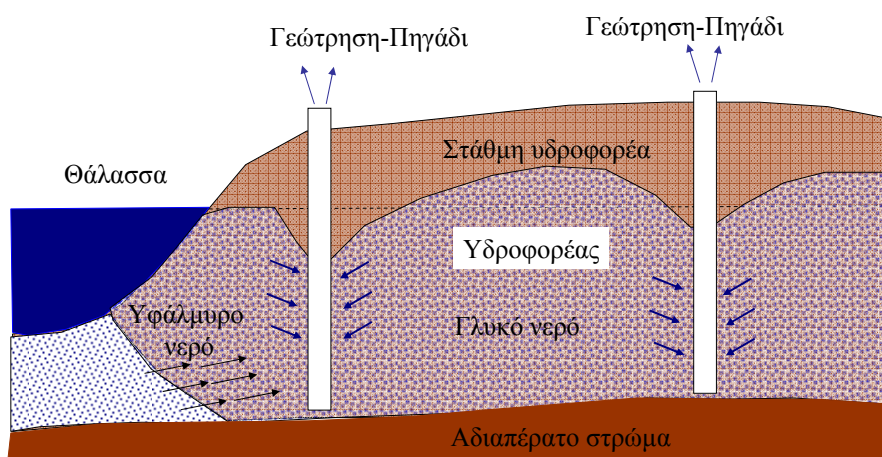
- Η άντληση υπόγειου νερού σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές μετακινεί τη *διεπιφάνεια* που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας. Το τελευταίο προωθείται προς την ξηρά και στη συνέχεια αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο (*υφαλμύριση*) ή ακόμη και θαλασσινό νερό. Η επαναφορά στην προϋπάρχουσα φυσική κατάσταση μπορεί να διαρκέσει πάρα πολλά χρόνια.
- Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται σε υδροφορείς που γειτνιάζουν με άλλους υδροφορείς που περιέχουν νερό χαμηλότερης ποιότητας ή μολυσμένο.
- Η ταπείνωση της στάθμης των φρεάτιων υδροφορέων και η αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων νερού από περιορισμένους υδροφορείς μπορεί να προκαλέσει καθιζήσεις
- Η ταπείνωση της στάθμης των φρεάτιων οριζόντων ή της πίεσης των περιορισμένων υδροφορέων αυξάνει το κόστος άντλησης σε γραμμική αναλογία.
- Η ταπείνωση ενός φρεάτιου υδροφορέα από μία γεώτρηση μπορεί να οδηγήσει γειτονικές αβαθέστερες γεωτρήσεις σε αστοχία, δημιουργώντας ουσιαστικά και νομικά προβλήματα.
- Η μείωση της επιφανειακής απορροής των ποταμών μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα οικοσυστήματά τους και να περιορίσει τις απολήψεις επιφανειακού νερού.
- Η μείωση της επιφανειακής ή υπόγειας τροφοδοσίας των λιμνών και των υγροτόπων μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα οικοσυστήματά τους και να περιορίσει τις απολήψεις νερού από αυτά.
- Η μείωση της εκροής υπόγειου γλυκού νερού προς τη θάλασσα μπορεί να έχει δυσμενείς συνέπειες στα παράκτια οικοσυστήματα.

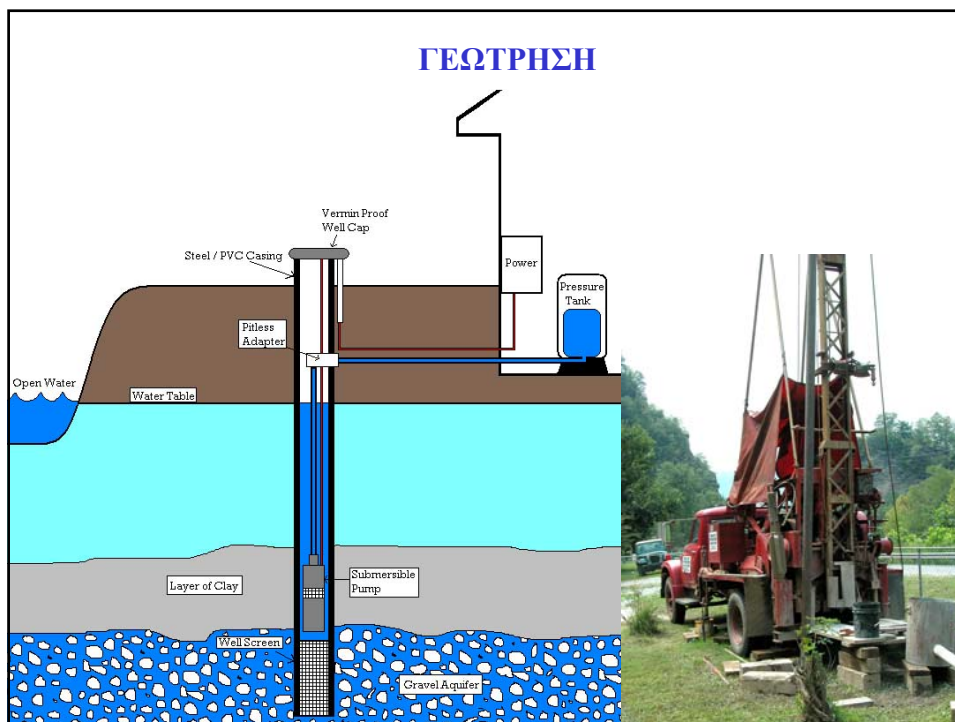
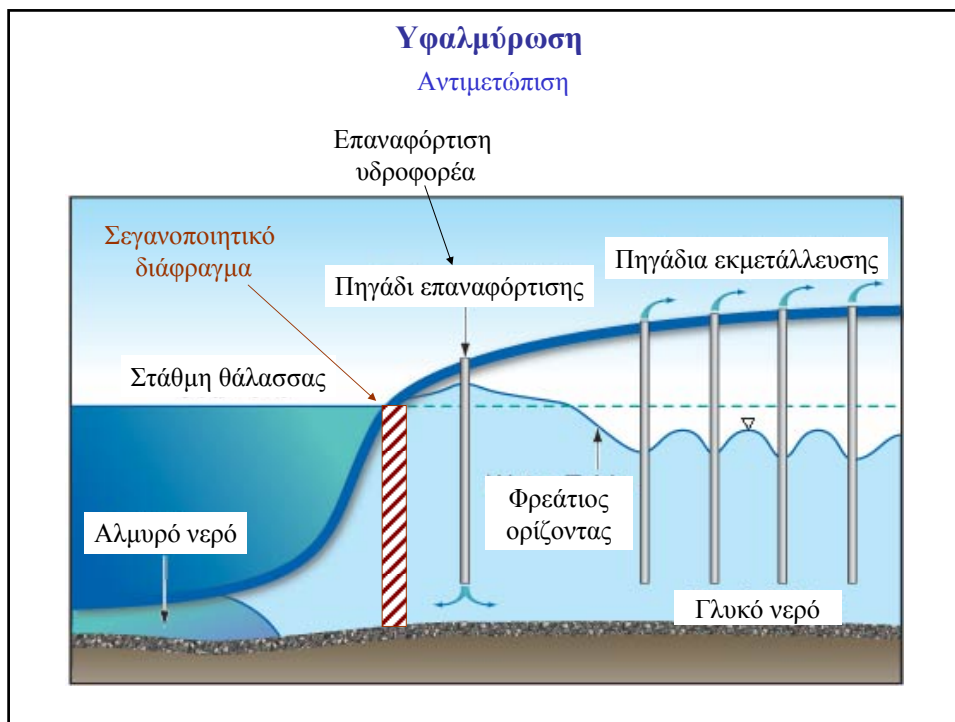
Υφαλμύρωση



Υφαλμύρωση

Εισροή αλμυρού νερού από εντατική χρήση γεώτρησης





Υλοποίηση γεωτρήσεων

Οποιαδήποτε οπή που ανοίγεται στο έδαφος με χειροκίνητο ή μηχανοκίνητο τρόπο ονομάζεται γεώτρηση. Γεωτρύπανο είναι το μηχάνημα που ανοίγει τη γεώτρηση

Οι γεωτρήσεις μπορεί να είναι:

- εκμετάλλευσης
- ερευνητικές
- δειγματοληπτικές (εξαγωγή δειγμάτων πετρωμάτων) και
- ειδικού σκοπού (π.χ. τσιμεντενέσεις)

Μηχανισμοί γεωτρύπανου

- χειρισμού κοπτικού εργαλείου (το κοπτικό εργαλείο εισέρχεται στο έδαφος με περιστροφή)
- εξαγωγής των προϊόντων συντριβής (εισέρχεται αφού έχει βγει το κοπτικό εργαλείο και εισάγεται νερό στα προϊόντα της συντριβής για να γίνουν πολτός)
- τοποθέτησης/αφαίρεσης προσωρινής σωλήνωσης (εισάγεται και αφαιρείται σε τμήματα για στήριξη της γεώτρησης και τελικά αντικαθίσταται από την οριστική σωλήνωση με τα φίλτρα

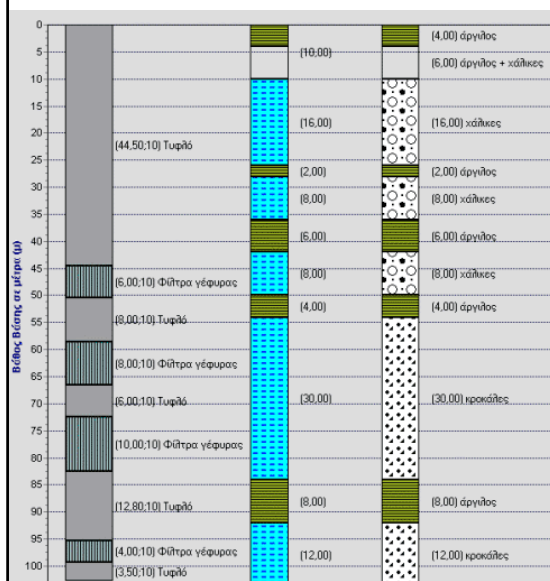
Γεωτρύπανο



Στάδια διάνοιξης γεώτρησης

1. Εγκατάσταση γεωτρύπανου
2. Διάνοιξη της οπής
3. Προσωρινή σωλήνωση
4. Λήψη δειγμάτων πετρωμάτων για την σύνταξη της γεωλογικής τομής-στρωματογραφίας (ώστε να τοποθετηθούν τα φίλτρα της οριστικής σωλήνωσης και να εντοπιστούν τυχόν επικίνδυνα στρώματα)
5. Καθαρισμός γεώτρησης
6. Τοποθέτηση οριστικής σωλήνωσης
7. Χαλίκωση της γεώτρησης
8. Εξαγωγή προσωρινής σωλήνωσης
9. Διενέργεια δοκιμαστικής άντλησης

Γεωλογική τομή και χαρακτηριστικά γεωτρήσεων



ΕΛΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΝΕΡΟ

Μέγεθος κόκκων εδαφών

0-2 μm	2-60 μm	60 μm - 2mm	2 -60 mm	> 60 mm
Αργίλος	Ίλύς	Άμμος	Χαλίκι	Κροκάλα

Αμμώδη εδάφη

- Αποτελούνται από μεγάλα στερεά σωματίδια.
- Είναι περατά από το νερό και αποστραγγίζονται εύκολα
- Δεν διογκώνονται ή συρρικνώνονται κάτω από την επίδραση υγρασίας
- Δεν παρουσιάζουν σημαντικά τριχοειδή φαινόμενα

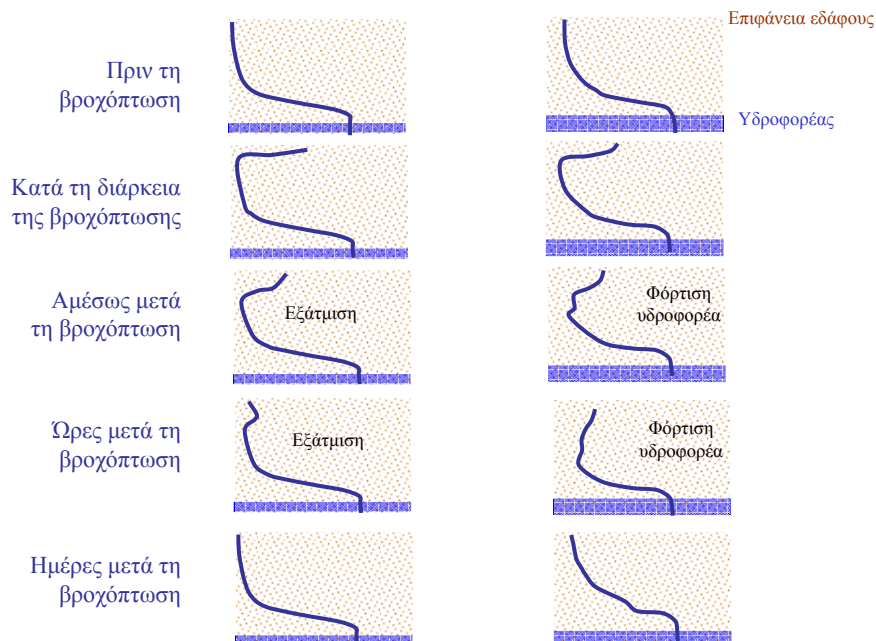
Αργιλώδη εδάφη

- Αποτελούνται από μικροσκοπικά στερεά σωματίδια.
- Η επιφάνεια των σωματιδίων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν των αμμωδών, με αποτέλεσμα την παρουσία σημαντικών μοριακών δυνάμεων μεταξύ των αργιλικών στερεών και του νερού
- Είναι πρακτικώς αδιαπέρατα
- Διογκώνονται και συρρικνώνονται σημαντικά κάτω από μεταβολές υγρασίας
- Παρουσιάζουν σημαντικά τριχοειδή φαινόμενα.

ΜΕΤΩΠΟ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

ΧΕΙΜΩΝΑΣ

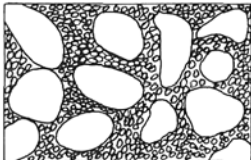
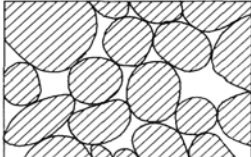


Διάφοροι τύποι πορώδων μέσων

Παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες

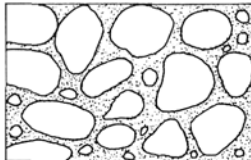
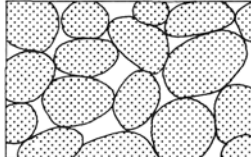
- Μέγεθος και διαβάθμιση κόκκων εδάφους
- Σχήμα διακενών
- Διάταξη κόκκων εδάφους
- Υλικό πλήρωσης των κενών
- Γεωλογική ιστορία του εδάφους

Καλά διαβαθμισμένη
ιζηματογενής απόθεση με
μεγάλο πορώδες



Ελάχιστα διαβαθμισμένη
ιζηματογενής απόθεση με
χαμηλό πορώδες

Καλά διαβαθμισμένη ιζηματογενής
απόθεση που αποτελείται από πορώδεις
κόκκους, με υψηλό συνολικό πορώδες



Καλά διαβαθμισμένη ιζηματογενής
απόθεση με χαμηλό πορώδες λόγω της
πλήρωσης των διακενών από ορυκτά υλικά

Πέτρωμα που απέκτησε
πορώδες μετά από χημική
διάλυση

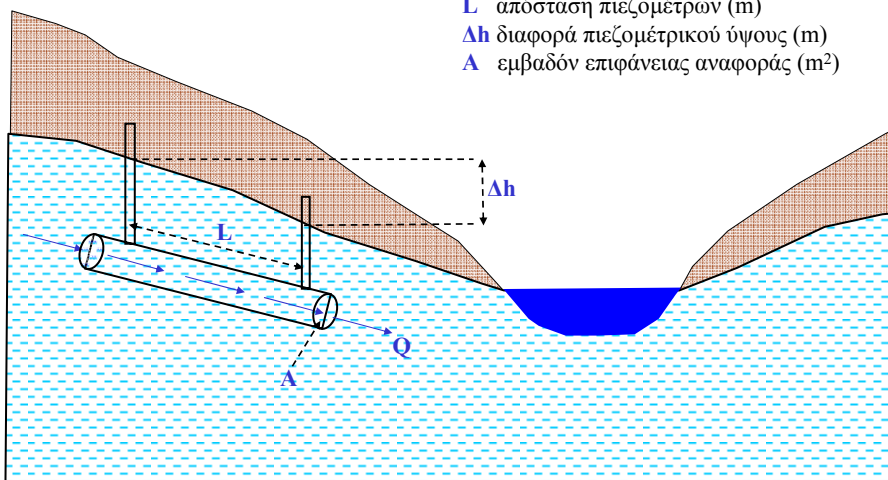


Πέτρωμα που απέκτησε
πορώδες μετά από
ρηγμάτωση

NOMΟΣ DARCY (1856)

$$Q = K \cdot A \cdot (\Delta h / L)$$

- Q παροχή (m^3/s)
 K υδραυλική αγωγιμότητα (m/s)
 L απόσταση πιεζομέτρων (m)
 Δh διαφορά πιεζομετρικού ύψους (m)
 A εμβαδόν επιφάνειας αναφοράς (m^2)



ΝΟΜΟΣ DARCY (1856)

Λίδονται:

Υδραυλική αγωγιμότητα K : 50 m/day

Μέσο ύψος υδροφορέα: 30 m

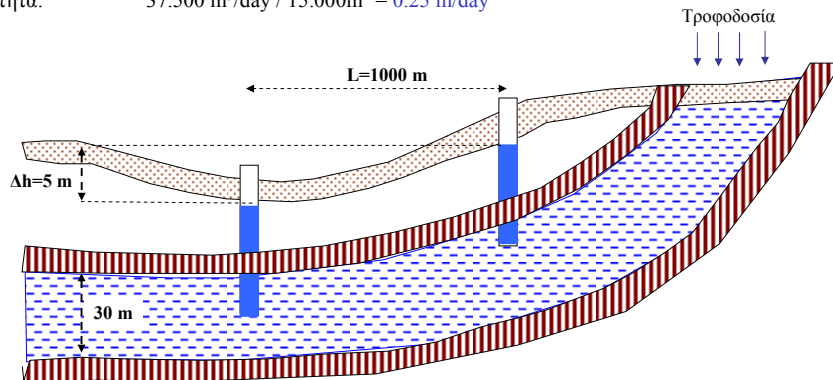
Μέσο πλάτος υδροφορέα: 5 km

Εμβαδόν επιφάνειας: $30 \text{ m} \times 5000 \text{ m} = 150000 \text{ m}^2$

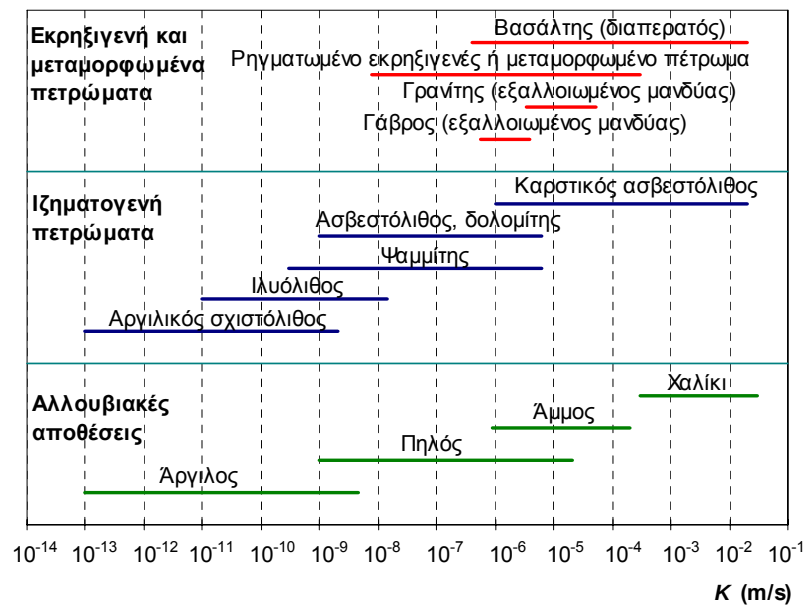
Υδραυλική κλίση: $5/1000 = 5 \times 10^{-3}$

Παροχή: $50 \text{ m/day} \times 150.000 \text{ m}^2 \times 5 \times 10^{-3} = 37.500 \text{ m}^3/\text{day}$

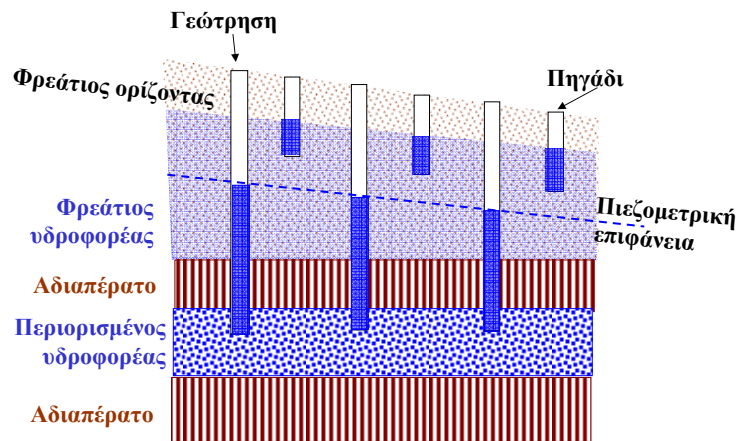
Ταχύτητα: $37.500 \text{ m}^3/\text{day} / 150.000 \text{ m}^2 = 0.25 \text{ m/day}$



ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΜΕΣΑ



ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ



ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ

Δίκτυα Ροής

Δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής του υδραυλικού φορτίου και της ροής του υπόγειου νερού σε κατάσταση ισορροπίας

Ισοπιεζομετρικές είναι οι καμπύλες ίσου υδραυλικού φορτίου

Γραμμές ροής είναι οι οδοί διέλευσης του νερού και είναι κάθετες στις ισοπιεζομετρικές



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΜΕΣΑ

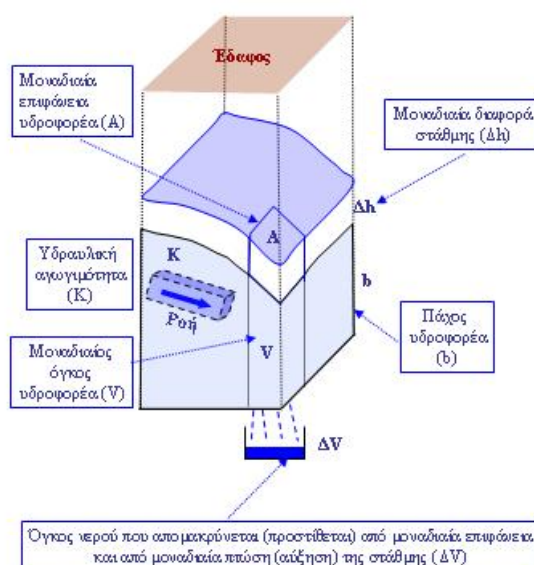
Γεωλογικό μέσο	Πορώδες			Ειδική απόδοση		
	Ελάχ.	Μέσ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μέσ.	Μέγ.
Αλλοιοβιακές αποθέσεις						
Αργίλος	0.34	0.42	0.57	0.01	0.06	0.18
Πηλός	0.34	0.46	0.51	0.01	0.20	0.39
Λεπτόκοκκη άμμος	0.26	0.43	0.53	0.01	0.33	0.46
Μέση άμμος	0.29	0.39	0.49	0.16	0.32	0.46
Χονδρόκοκκη άμμος	0.31	0.39	0.46	0.18	0.30	0.43
Λεπτόκοκκο χαλίκι	0.25	0.34	0.39	0.13	0.28	0.40
Μέσο χαλίκι	0.24	0.32	0.44	0.17	0.24	0.44
Χονδρόκοκκο χαλίκι	0.24	0.28	0.37	0.13	0.21	0.25
Ιζηματογενή πετρώματα						
Ψαμμίτης	0.14	0.35	0.49	0.02	0.24	0.41
Ιλυόλιθος	0.29	0.35	0.48	0.01	0.12	0.33
Αργιλικός σχιστόλιθος	0.01	0.06	0.10			
Ασβεστόλιθος	0.07	0.30	0.56	0.02	0.14	0.36
Δολομίτης	0.19	0.26	0.33			
Εκρηξιγενή πετρώματα						
Γρανίτης (εξαλλιοιωμένος μανδύας)	0.34	0.45	0.57			
Γάβρος (εξαλλιοιωμένος μανδύας)	0.42	0.43	0.45			
Βασάλτης	0.03	0.17	0.35			
Ηφαιστειακή τόφα	0.07	0.31	0.55	0.02	0.21	0.47

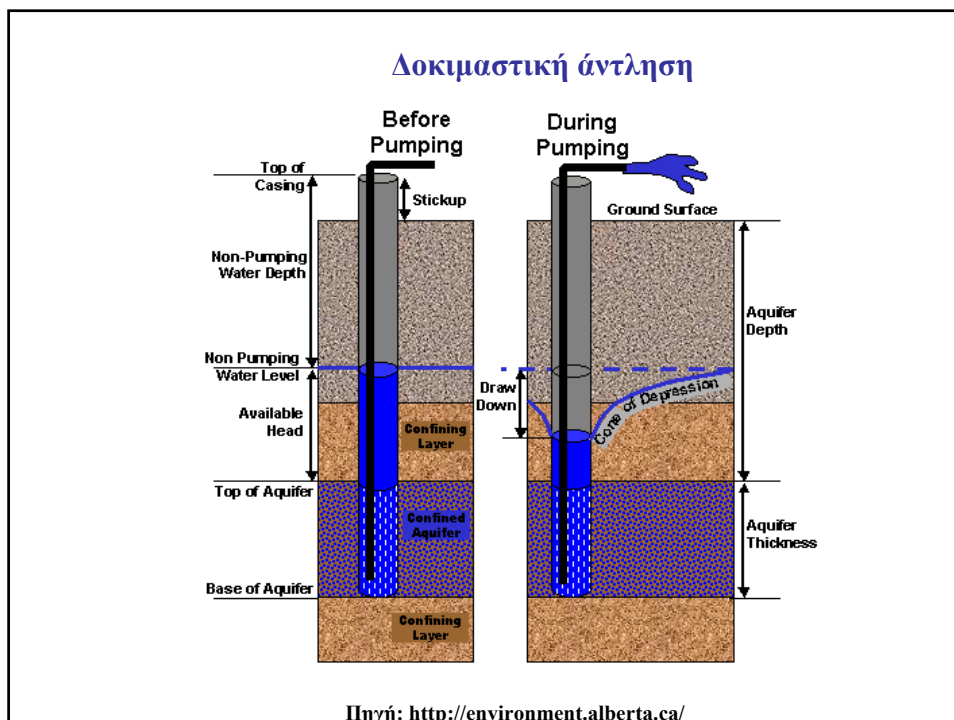
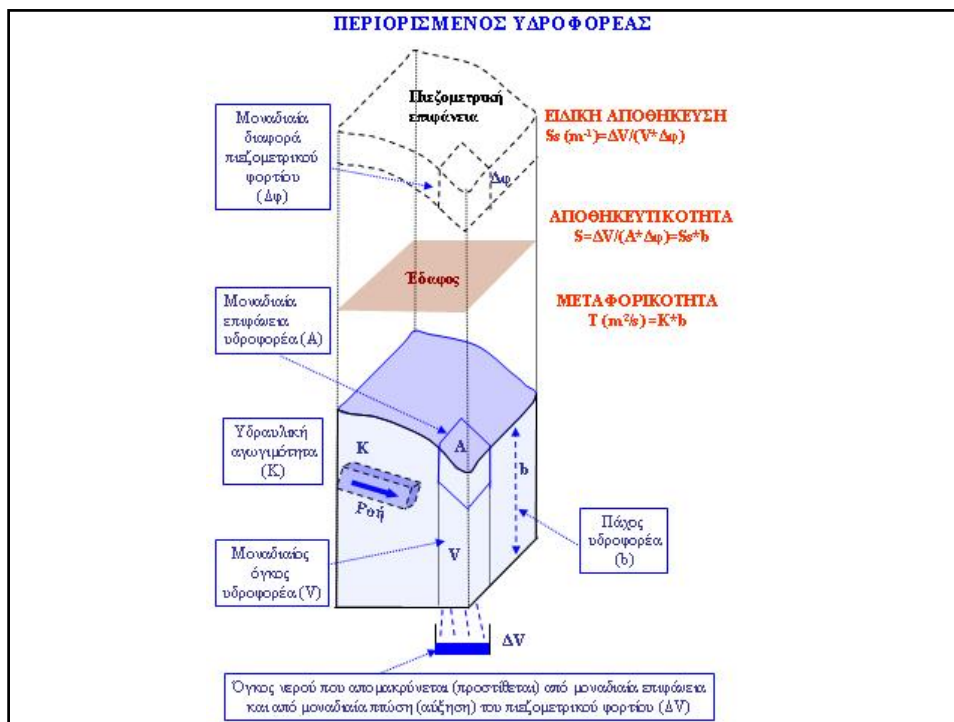
(Dingman, 1994).

ΦΡΕΑΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ

ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ
 $S = \Delta V / (A \cdot \Delta h) = S_y$

ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΤΗΤΑ
 $T (m^2/s) = K \cdot b$





Δοκιμαστική άντληση

1. Εσωτερική διάμετρος της γεώτρησης ή του φρέατος.
2. Βάθος της γεώτρησης
3. Κατώτατη στάθμη του νερού στην γεώτρηση (μέτρηση η οποία γίνεται μετά από 24 ή 48 ώρες συνεχόμενης άντλησης)
4. Παροχή του νερού που θα αντλήσουμε ώστε να σταθεροποιείται το ύψος του νερού (Δυναμική στάθμη)
5. Ανώτερη στάθμη του νερού στην γεώτρηση (Στατική στάθμη)
6. Φίλτρα (Θέση τοποθέτησης στα υδροφόρα στρώματα της γεώτρησης και είδος
7. Με βάση τα προηγούμενα καθορίζονται (α) το βάθος τοποθέτησης (μεταξύ της κατώτατης και της δυναμικής στάθμης) και (β) η παροχή της αντλίας.
8. Ανάλυση νερού από όπου προκύπτει η ποιότητα και το ποσοστό χλωματος
9. Κατάρτιση στρωματογραφίας όπου φαίνονται τα υδροφόρα στρώματα

-

Εξίσωση Theis: $s(r,t)=h_0-h(r,t)=(Q/4\pi T)*W[u(r,t)]$



ΣΧΕΣΗ THEIS

$$s(r, t) = \frac{Q}{4 \pi T} W(u)$$

$$W(u) = \begin{cases} -0.5772 - \ln(u), & u < 0.05 \\ \frac{0.71 e^{-1.03u}}{u^{0.754} + 0.17}, & 0.05 \leq u \leq 9 \\ \frac{e^{-u}(u-1)}{u^2}, & u > 9 \end{cases} \quad u(r, t) = \frac{Sr^2}{4Tt}$$

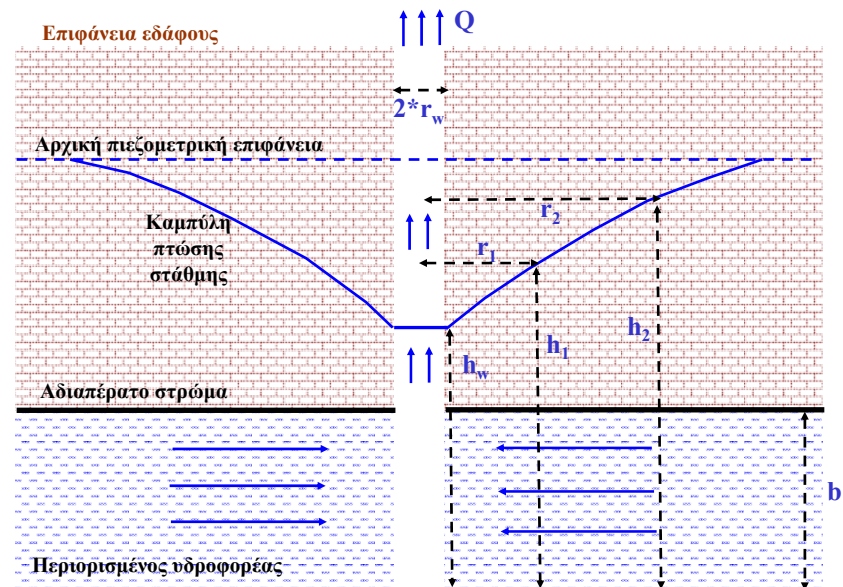
Για μεγάλους χρόνους (t) και μικρές αποστάσεις: $W(u) = -0.5772 - \ln(u)$

$$s(r, t) = \frac{Q}{4 \pi T} [\ln(1/u) + \ln e^{-0.5772}] = \frac{Q}{4 \pi T} \left[\ln \frac{4Tt}{r^2 S} + \ln 0.562 \right]$$

Εξίσωση Jacob:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4 \pi T} \ln \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ-ΜΟΝΙΜΗ ΡΟΗ



$$h_2 - h_1 = s_2(r_2, t) - s_1(r_1, t) = \frac{Q}{4 \pi T} \ln \frac{2.25 T t}{r_2^2 S} - \frac{Q}{4 \pi T} \ln \frac{2.25 T t}{r_1^2 S} = \frac{Q}{4 \pi T} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = \frac{Q}{2 \pi T} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

Εξίσωση Thiem

