

A photograph of a desert landscape. In the foreground, there is a circular, stone-lined well or cistern, partially filled with water. The well is constructed from rough, stacked stones. The surrounding ground is sandy and dry. In the background, there are several tall palm trees and a small signpost with Arabic text. The sky is clear and bright.

Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Εβδ.10: Εκμετάλλευση Υπόγειων Υδάτων

Περιεχόμενα

1. Επανάληψη (περιορισμένος υδροφορέας διαφυγές σε θάλασσα)
2. Σταθερή ροή – Άντληση από φρεάτιο υδροφορέα
3. Σταθερή ροή – Άντληση από περιορισμένο υδροφορέα
4. Τυπικά στοιχεία ενός πηγαδιού (μιας γεώτρησης)
5. Τύποι Γεωτρύπανων
6. Διαστασιολόγηση Αντλίας

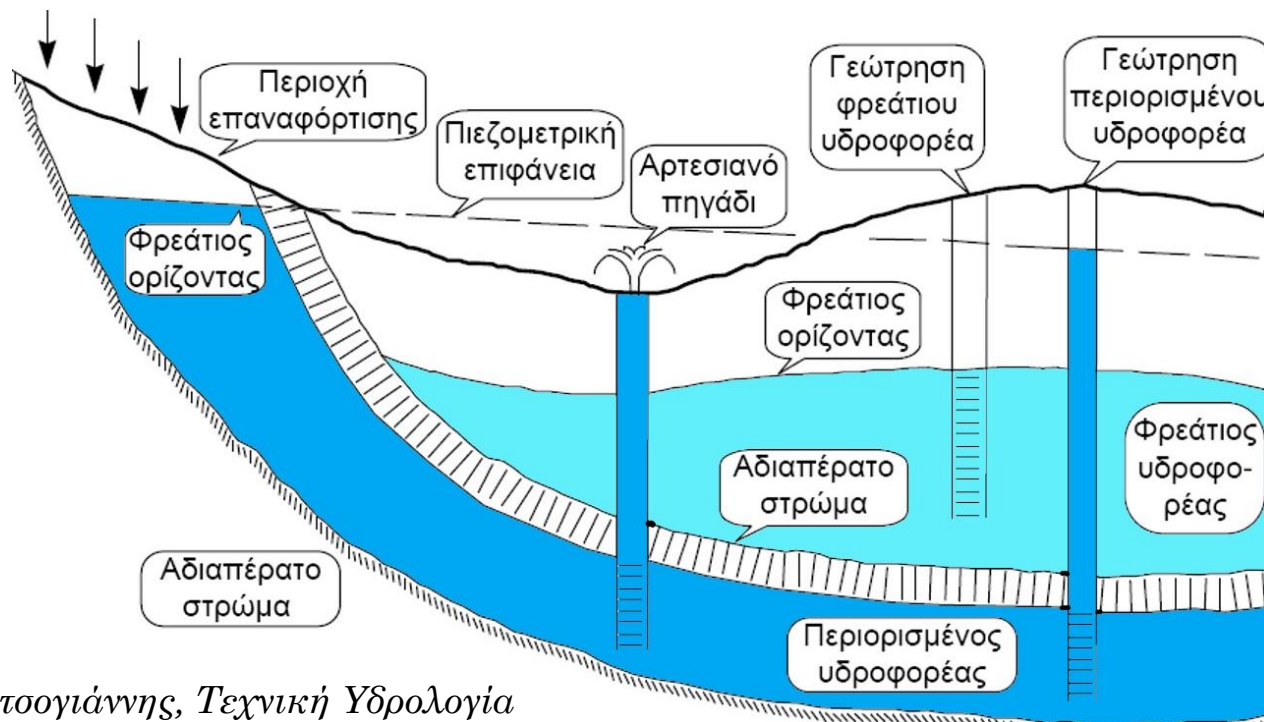
Σημείωση:

Για όσους θέλουν να συνεχίσουν με την ιδέα που παρουσίασαν για την Άσκηση 2 μπορούν να δουν τα πιο κάτω:

- [Ανακοινώσεις | Βιβλιοθήκη, Πανεπιστήμιο Κύπρου \(ucy.ac.cy\)](#)
- <https://chrysalisleap.com/>

Τύποι Υδροφορέων

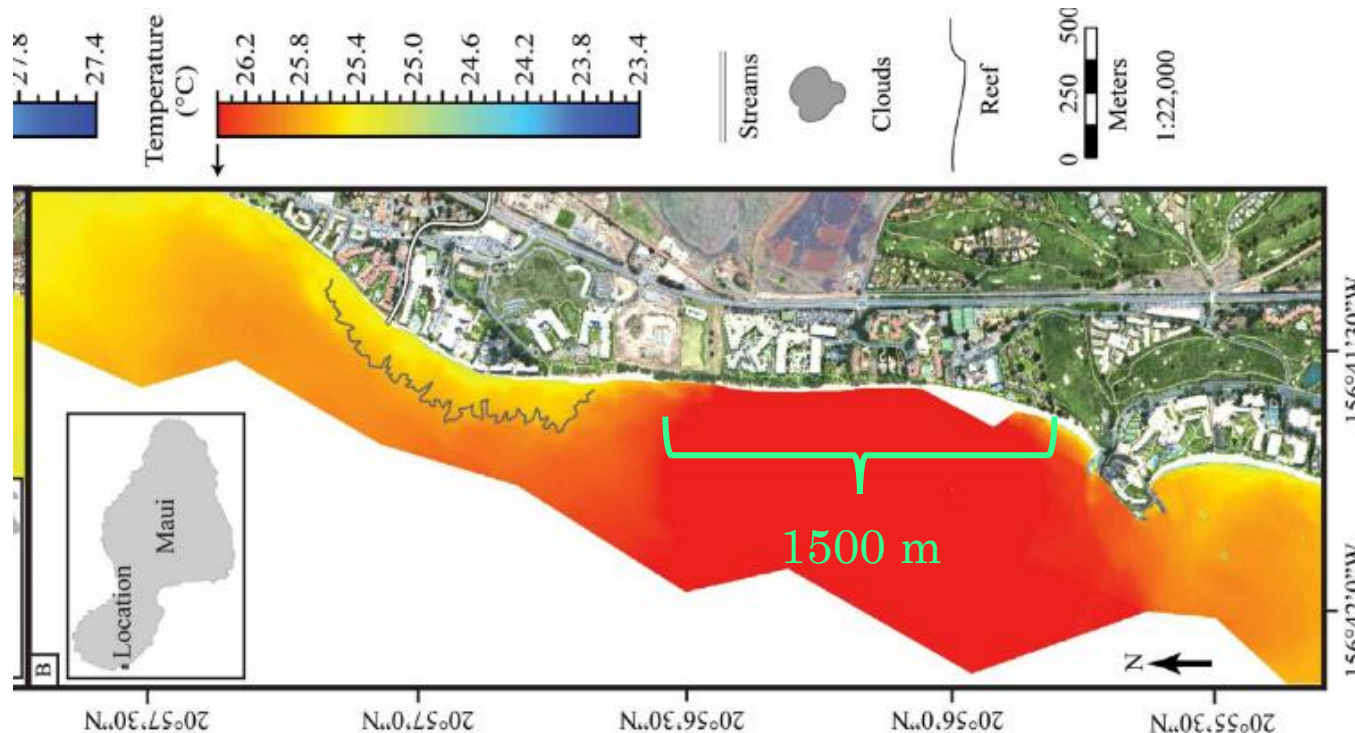
1. **Φρεάτιοι Υδροφορείς:** Είναι υδροφορείς που έχουν ως δάπεδο αδιαπέρατο στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Το νερό σχηματίζει ελεύθερη επιφάνεια (φρεάτιος ορίζοντας).
2. **Περιορισμένοι Υδροφορείς:** Υπάρχει αδιαπέραστο γεωλογικό στρώμα πάνω και κάτω από τον υδροφορέα. Το νερό βρίσκεται υπό πίεση.



Πηγή: Κουτσογιάννης, Τεχνική Υδρολογία

Νόμος Darcy – Περιορισμένος Υδροφορέας

Συχνά, οι υδροφορείς που βρίσκονται σε παραθαλάσσιες περιοχές έχουν διαφυγές προς την θάλασσα. Στην πιο κάτω εικόνα, φαίνεται το θερμογράφημα μιας παραθαλάσσιας περιοχής. Με κόκκινο χρώμα, ξεχωρίζει η περιοχή όπου ρέει νερό από υδροφορέα που έχει υπόγειες διαφυγές προς τη θάλασσα. Γενικά, αναλόγως την εποχής, το νερό του υδροφορέα είναι είτε πιο ζεστό είτε πιο κρύο από το νερό της θάλασσας.



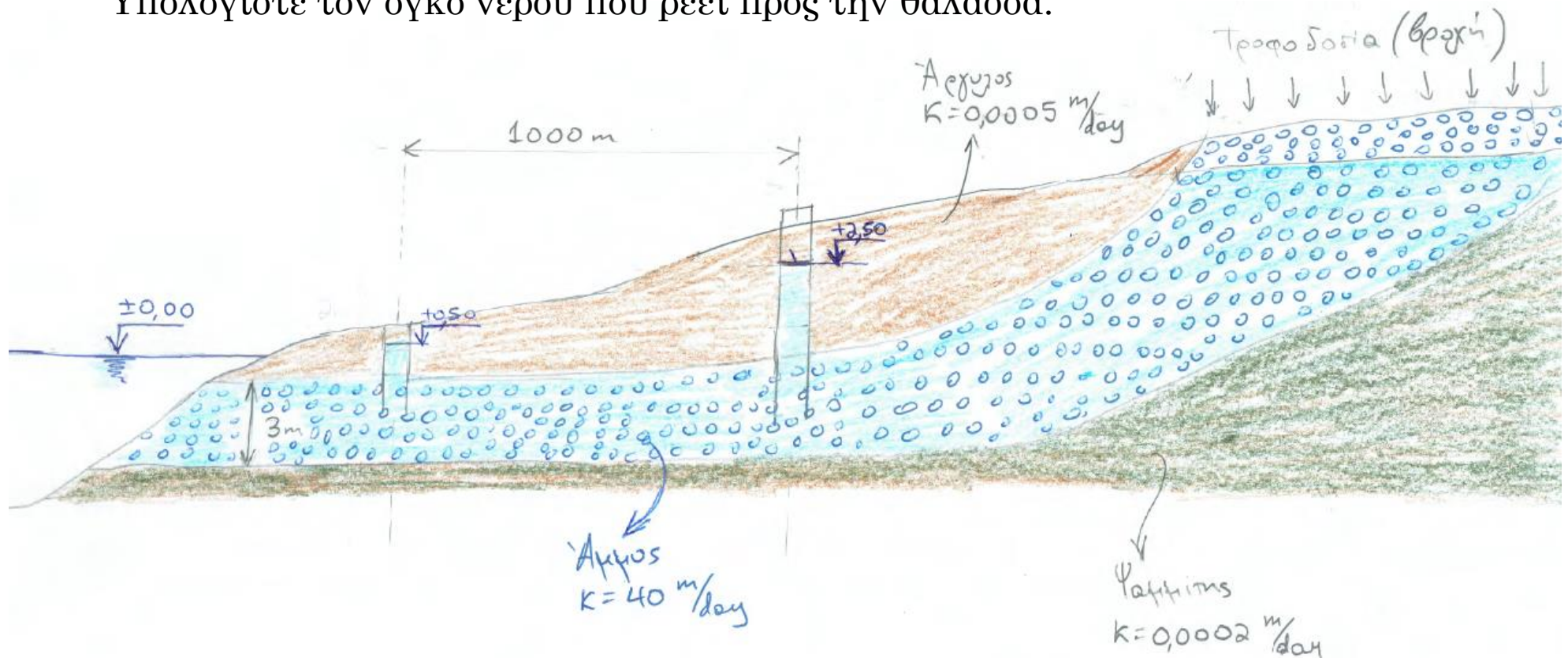
Πηγή: Jacque et al, “High-resolution aerial infrared mapping of groundwater discharge to the coastal ocean”

Νόμος Darcy – Περιορισμένος Υδροφορέας

Στο σχήμα δίδονται τα χαρακτηριστικά ενός υδροφορέα.

- Μέσο πάχος στην έξοδο 3 m
- Μέσο πλάτος υδροφορέα: 1,5 km

Υπολογίστε τον όγκο νερού που ρέει προς την θάλασσα.



Νόμος Darcy – Περιορισμένος Υδροφορέας

Υδραυλική κλίση $\frac{dh}{dx} = \frac{2}{1000} = 0.002$

Ειδική Παροχή $q_x = 40 \times 0.002 = 0.08 \text{ m/day}$

Διαρροή $Q_\delta = 1500 \times 3 \times 0.08 = 360 \text{ m}^3/\text{day}$

Ποια είναι η ταχύτητα ροής του νερού στους πόρους; Έστω $n=30\%$

$$u_x = \frac{q_x}{n} = \frac{0.08}{0.30} = 0.27 \text{ m/day}$$

Ροή Υπόγειου Νερού - Πειραματικά

Πηγή (Playback Link): https://youtu.be/koeQ_DN6lp8



Σταθερή ροή σε πηγάδι (Steady state flow to wells)

Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η καμπύλη πτώσης του υδραυλικού ύψους λόγο άντλησης από σε ένα υδροφορέα. Επίσης δίνονται σχηματικά οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ροής λόγο άντλησης.

r_w : η ακτίνα του πηγαδιού.

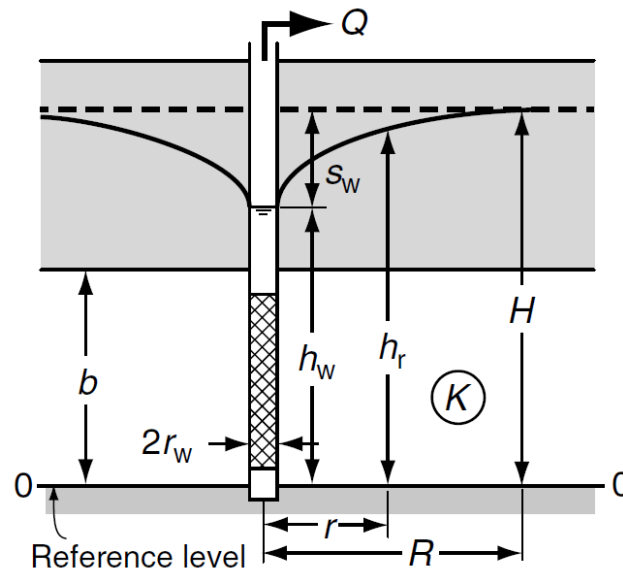
s_w : η πτώση της στάθμης στο πηγάδι.

h_r : το υδραυλικό ύψος σε απόσταση r από το κέντρο του πηγαδιού.

H : το αρχικό υδραυλικό ύψος (αν δεν υπήρχε άντληση).

R : η ακτίνα επιρροής.

Πηγή: Neven Kresic
“Hydrogeology and
groundwater modelling”



Q	Well pumping rate
r_w	Well radius
h_w	Hydraulic head in the well
h_r	Hydraulic head at distance r
H	Initial hydraulic head
b	Thickness of the aquifer
R	Radius of well influence
s_w	Drawdown in the well
K	Hydraulic conductivity

Ακτίνας επιρροής (R)

Ακτίνας επιρροής (radius of influence) είναι η απόσταση R από το κέντρο του πηγαδιού πέραν της οποίας η πτώση του υδραυλικού ύψους λόγω άντλησης είναι αμελητέα (πρακτικά μηδενική). Σημ. Σε απόσταση ίση με την ακτίνα επιρροής η υδραυλική κλίση dh/dl είναι σχεδόν μηδενική. Παρόλα αυτά, η εισρέουσα παροχή στον κύλινδρο ακτίνας R γύρω από τον το πηγάδι είναι ίση με την αντλούμενη παροχή αφού αν και η ειδική παροχή είναι σχεδόν μηδέν στην περιφέρεια του κυλίνδρου, η περιφερειακή επιφάνεια που συνεισφέρει είναι πολύ μεγάλη.

Εμπειρική εκτίμηση της ακτίνας επιρροής

$$R = 3000 s_w \sqrt{K} \quad (s_w \rightarrow m, K \rightarrow m/s)$$

Άσκηση: Έστω επιφανειακός φρεάτιος υδροφορέας πάχους 15m με υποκείμενο αδιαπέραστο ασβεστολιθικό στρώμα πάχους 5 m. Ο υδροφορέας αποτελείτε από στρώματα ιλώδους άμμου με $K=20$ m/day ($2,315 \cdot 10^{-4}$ m/s). Από πηγάδι που χρησιμοποιείται σπάνια αντλήθηκε νερό επί 5 h και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο πηγάδι έπεσε κατά $s_w=1$ m. Δώστε μια εκτίμηση της ακτίνας επιρροής και σχεδιάστε τη καμπύλη πτώσης της στάθμης. $R = 3000 \times 1 \times \sqrt{2,315 \cdot 10^{-4}} = 45 \text{ m}$

Άντληση από Φρεάτιο Υδροφορέα

$$Q = \frac{\pi K (h_1^2 - h_2^2)}{\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}$$

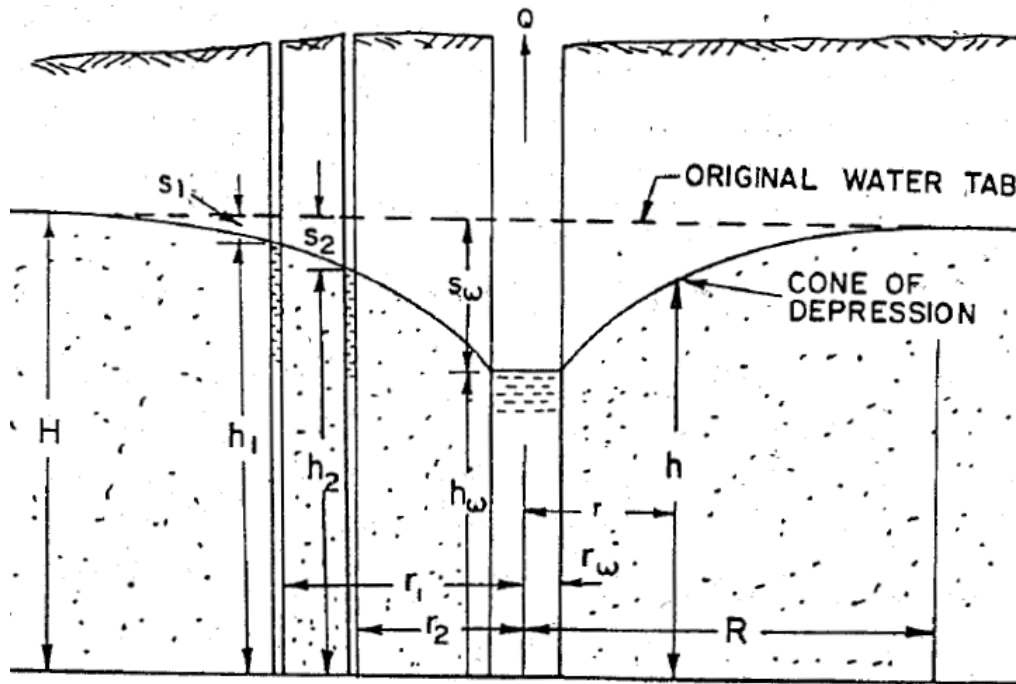


Fig. 9.7. Steady flow to a well in an unconfined aquifer.

Η σχέση χρησιμοποιείτε για:

- (1) Εύρεση της παροχής Q για δεδομένη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα (h_1, h_2).
- (2) Εύρεση της ταπείνωσης του υδροφόρου ορίζοντα για συγκεκριμένη παροχή άντλησης.
- (3) Εύρεση της ακτίνας επιρροής (R) για συγκεκριμένη παροχή άντλησης.
- (3) Εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας (K) του υδροφορέα.

Υπάρχουν 6 μεταβλητές (Q, K, h_1, h_2, r_1, r_2). Αν γνωρίζουμε τις πέντε μπορούμε να υπολογίσουμε την 6^η

Άντληση από Φρεάτιο Υδροφορέα

Παρατηρήσεις:

- (1) Αντί των ζευγών (h_1, r_1) και (h_2, r_2) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα (h_w, r_w) και (H, R) . Το (h_w, r_w) είναι σχεδόν πάντα διαθέσιμο σε μια δοκιμή άντλησης.
- (2) Για να έχουμε τιμές για τα (h_1, r_1) και (h_2, r_2) πρέπει να υπάρχουν πηγάδια πλησίον του σημείο άντλησης τα οποία χρησιμοποιούμε για παρακολούθηση της στάθμης (monitoring wells).

$$Q = \frac{\pi K(h_1^2 - h_2^2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

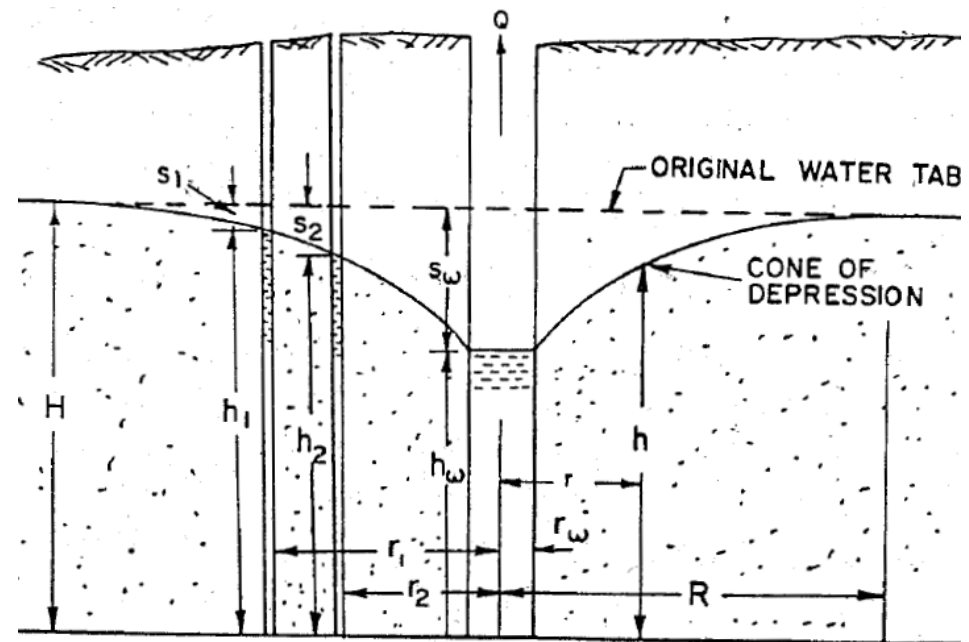


Fig. 9.7. Steady flow to a well in an unconfined aquifer.

Άντληση από Φρεάτιο Υδροφορέα – Άσκηση 1

Άσκηση: Ένας φρεάτιος υδροφορέας έχει πάχος 30 m. Από πηγάδι διαμέτρου 20 cm αντλείται σταθερή ποσότητα 35 L/s. Η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα μετρείται από πηγάδια παρακολούθησης που βρίσκονται σε απόσταση 10 m και 100 m και είναι 7,5 m και 0,5 m αντίστοιχα. Υπολογίστε την υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα και την ακτίνα επιρροής.

$$Q = \frac{\pi K(h_1^2 - h_2^2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

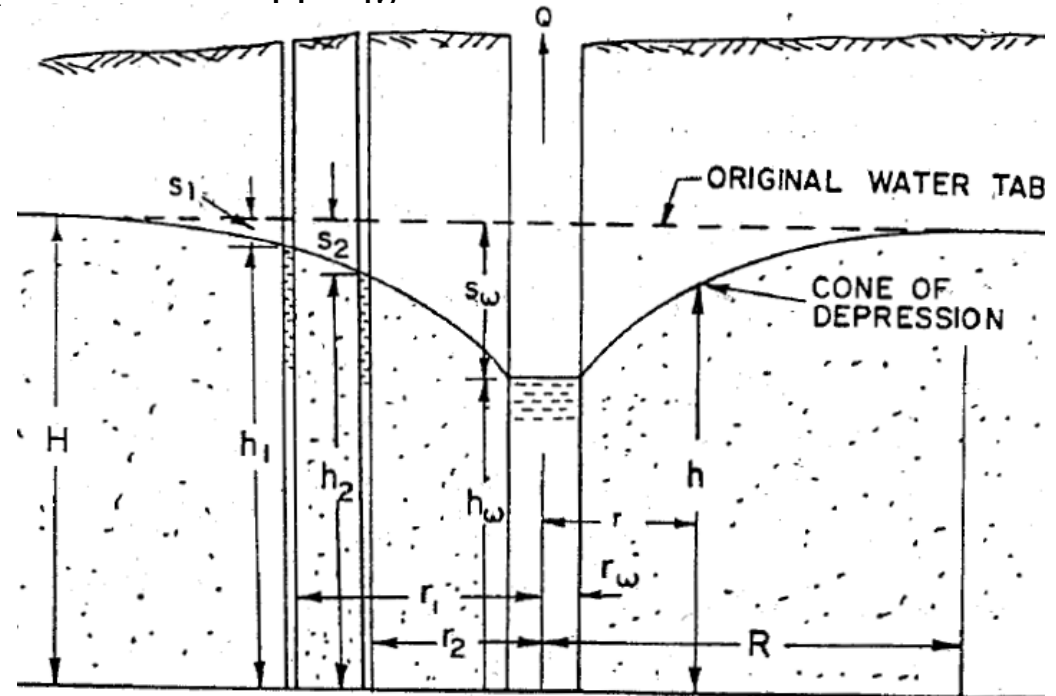


Fig. 9.7. Steady flow to a well in an unconfined aquifer.

Άντληση από Φρεάτιο Υδροφορέα - Λύση

$$Q = 35 \text{ lit/s} = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r_1 = 100 \text{ m} ; r_2 = 10 \text{ m} ; \ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right) = 2.302585$$

$$H = 30 \text{ m} ; s_1 = 0.5 \text{ m and } s_2 = 7.5 \text{ m}$$

$$h_1 = H - s_1 = 30 - 0.5 = 29.5 \text{ m}$$

$$h_2 = H - s_2 = 30 - 7.5 = 22.5 \text{ m}$$

$$Q = \frac{\pi K (h_1^2 - h_2^2)}{\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{0.035 \times 2.302585}{\pi (29.5 + 22.5) (29.5 - 22.5)} \\ &= 7.04745 \times 10^{-5} \text{ m/s} \\ &= 6.089 \text{ m/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\pi K (H^2 - h_1^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_1} \right)} & \ln \left(\frac{R}{r_1} \right) &= \frac{\pi K (H^2 - h_1^2)}{Q} \\ & & &= \frac{\pi \times 7.04745 \times 10^{-5} (30^2 - 29.5^2)}{0.035} \\ & & &= 0.1882 \\ \frac{R}{r_1} &= 1.207 \\ R &= 1.207 \times 100 = 120.7 \text{ m.} \end{aligned}$$

Πηγή: Jaya Rami Reddy, “A textbook of hydrology”

Άντληση από Φρεάτιο Υδροφορέα – Άσκηση 2

Άσκηση: Ένας φρεάτιος υδροφορέας έχει πάχος 50 m. Από πηγάδι ακτίνας 50 cm που εκτείνεται μέχρι το κάτω όριο του υδροφορέα αντλείται νερό με σταθερή παροχή Q . Η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα στο πηγάδι είναι 10 m ενώ σε απόσταση 500 m η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα μηδενίζεται. Υπολογίστε την παροχή άντληση Q .

$$\text{Solution. } Q = \frac{\pi K(H^2 - h_w^2)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

Here $H = 50$ m ; $h_w = 40$ m ; $R = 500$ m ; $r_w = 0.50$ m ;
 $K = 30$ m/day.

$$\begin{aligned}\therefore Q &= \frac{\pi \times 30 \times (50^2 - 40^2)}{\ln\left(\frac{500}{0.5}\right)} = 12279.387 \text{ m}^3/\text{day} \\ &= 0.1421225 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 142.12 \text{ lit/s.}\end{aligned}$$

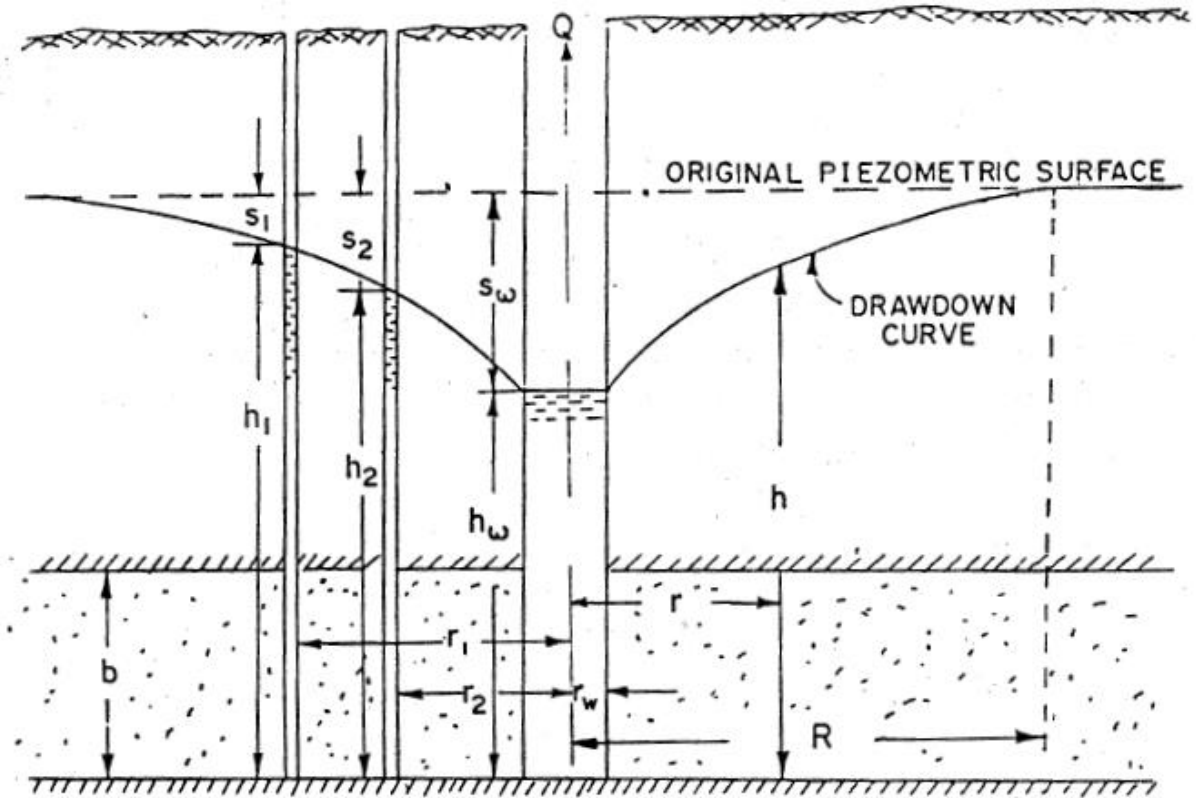
Πηγή: Jaya Rami Reddy, “A textbook of hydrology”

Άντληση από Περιορισμένο Υδροφορέα

Για σταθερή άντληση από περιορισμένο υδροφορέα η σχέση μεταξύ παροχής και μεταβολής τους υδραυλικού ύψους είναι η πιο κάτω:

$$Q = \frac{2\pi T (h_1 - h_2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Οπού $T = Kb$



Άντληση από Περιορισμένο Υδροφορέα - Άσκηση

Ερώτηση: Πηγάδι διαμέτρου 0,5m διαπερνά πλήρως περιορισμένο υδροφορέα πάχους 20 m και υδραυλικής αγωγιμότητας 8.2×10^{-4} m/s. Ποια η μέγιστη παροχή που είναι δυνατό να αντληθεί αν η πτώση της στάθμης στο πηγάδι δεν μπορεί να είναι περισσότερο από 3m. Ο περιορισμός των 3m μπορεί να υπάρχει λόγω χάριν για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

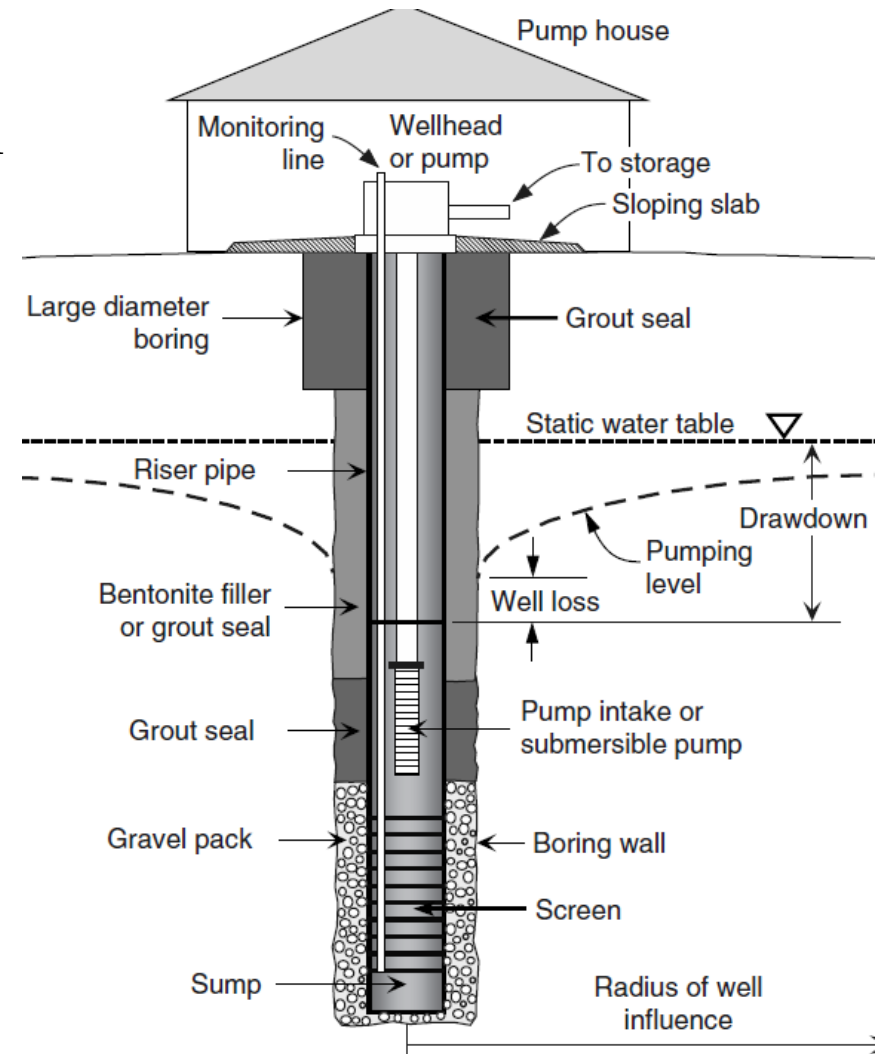
Λύση: $s_w=3\text{m}$, $K=8.2 \times 10^{-4}$ m/s, $b=20\text{m}$

Απάντηση: $Q = 49$ L/s

Τυπικό πηγάδι άντλησης νερού

Το σχήμα δείχνει τα τυπικά στοιχεία ενός πηγαδιού. Ένα πηγάδι μπορεί να έχει όλα ή μόνο μερικά από τα στοιχεία αυτά.

1. Θωράκιση (riser pipe)
2. Τοιμέντεμα σφράγισης (grouting).
3. Διάτρητο Φίλτρο (screen)
4. Χαλίκια (gravel pack)
5. Sump
6. Όργανο καταγραφής της στάθμης (Monitoring Line)
7. Pump (αντλία) typically submersible

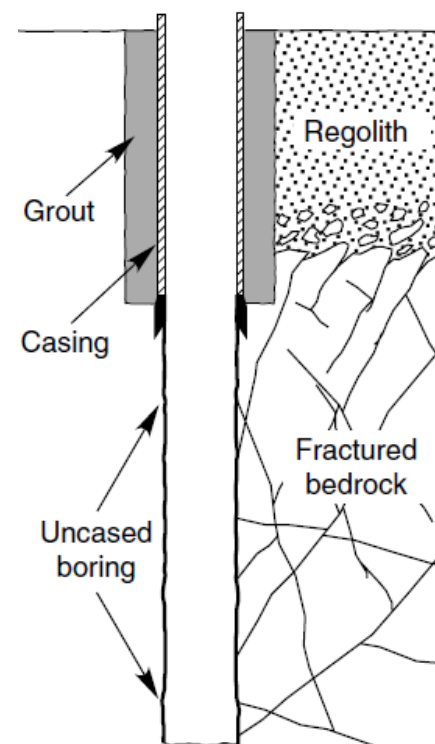
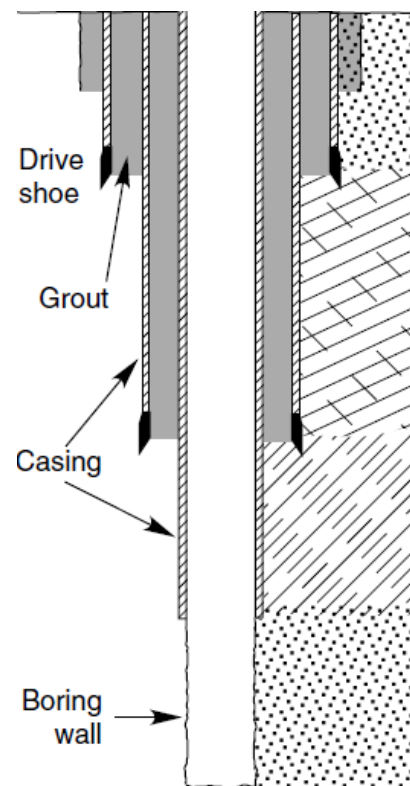


Θωράκιση (Casing)

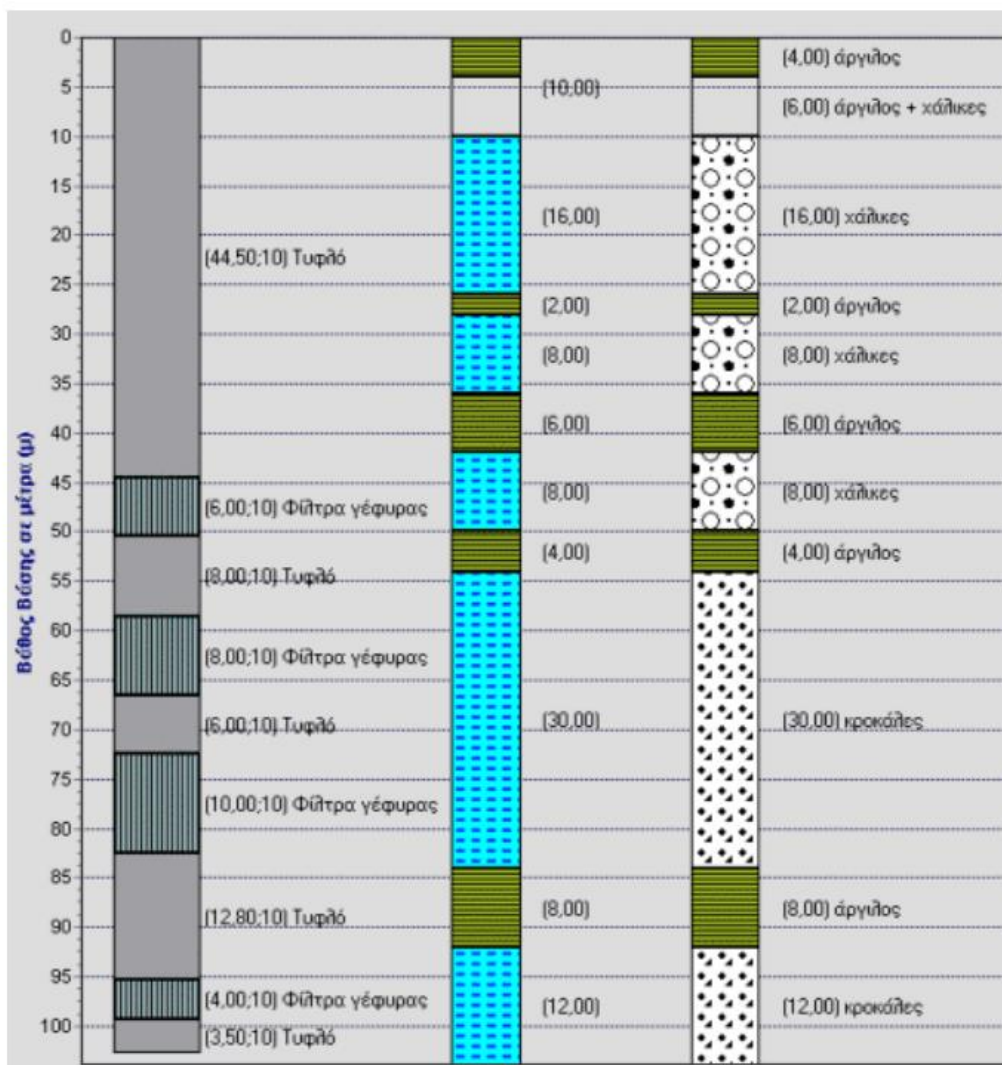
Θωράκιση (casing ή riser pipe): Είναι η εσωτερική επένδυση του πηγαδιού. Σταθεροποιηθεί τα τοιχώματα του πηγαδιού και το προστατεύει από το να μην κλίσει λόγω αστάθειας του εδάφους. Αναλόγως του εδάφους και της διαμέτρου της γεώτρησης, μπορεί να είναι μεταλλική ή πλαστική σωλήνα. Για μικρού βάθους και μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις ($D > 50$ cm) μπορεί να αποτελείτε από κομμάτια τσιμεντοσωλήνα. Η διάμετρος της θωράκισης είναι πάντοτε λίγο μικρότερη από τη διάμετρο της γεώτρησης.

Ερώτηση: Πότε δεν χρειάζεται θωράκιση;

Ερώτηση: Πότε χρειάζεται θωράκιση πολλαπλών διαμέτρων;



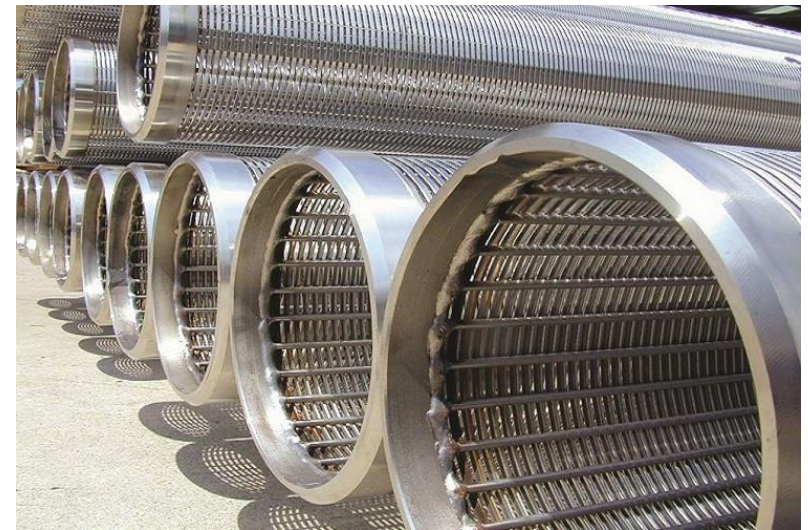
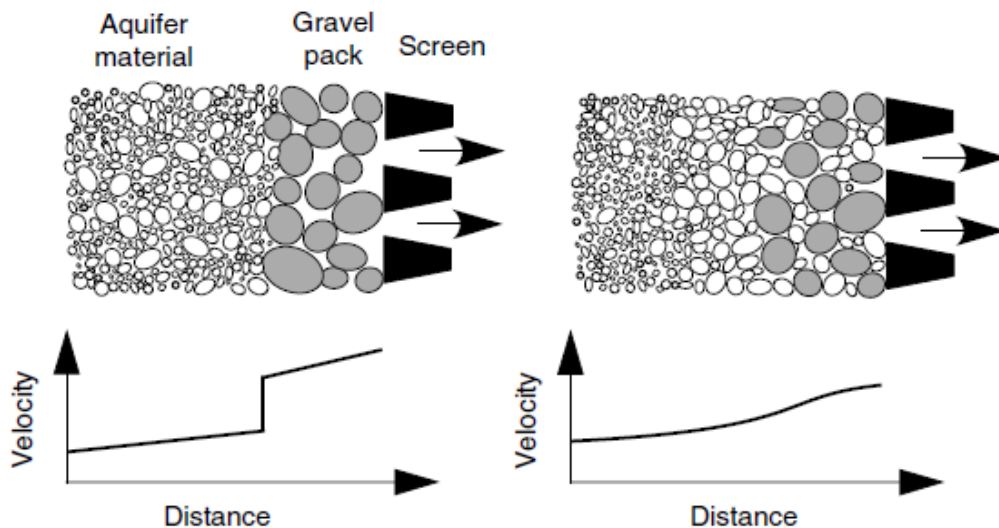
Γεώτρηση βάθους 100m



Πηγή: Μαμασής, “Υπόγεια Νερά”

Φίλτρο

Διάτρητο Φίλτρο (screen): Σε συνδυασμό με το στρώμα χαλικιών συγκρατούν το εδαφικό υλικό, αποτρέπεται η σποιλαιώση και δεν γεμίζει το πηγάδι με υλικά από τον εδαφικό ιστό του υδροφορέα.



Sump: Χώρος όπου καθιζάνουν τυχόν εισροές εδαφικού υλικού ώστε να μην μπλοκάρουν το διάτρητο φίλτρο

Τσιμέντεμα σφράγισης (grouting): Σε συνδυασμό με τη θωράκιση συγκρατεί τα τοιχώματα της γεώτρησης και προστατεύει από πιθανή ρύπανση.

Γεώτρηση – Στο χέρι

Περιορισμένο Βάθος (10-20 m), Μεγάλη διάμετρος (πάνω από 50cm)

Ερώτηση: Πώς γεμίζει το πηγάδι; Πού τοποθετήθηκε το χαλίκι και γιατί;



Πηγή (Link):

<https://youtu.be/luo1zsabKKI>

Γεώτρηση με γεωτρύπανο αρίδας



Γεώτρηση με περιστροφικό-κρουστικό γεωτρήπανο



Απαιτήσεις σχεδιασμού γεώτρησης

Τι ελέγχουμε/σχεδιάζουμε σχετικά με την ανόρυξη μιας γεώτρησης

- 1) Ότι θα έχουμε επαρκή παροχή Q
- 2) Επιπτώσεις στην ποιότητα και την ποσότητα του νερού στον υδροφορέα
- 3) Το κόστος ανόρυξης και θωράκισης (βάθος, τύποι εδαφών, κτλ)
- 4) Το κόστος λειτουργείας και συντήρησης (βάθος άντλησης, γεωλογία εδάφους, απόσταση από τον τελικό χρήστη)
- 5) Στατική ευστάθεια και λειτουργική αξιοπιστία.

Περισσότερες Πληροφορίες

- 1) <https://www.youtube.com/watch?v=cKweHAwj9-A>
- 2) <https://www.youtube.com/watch?v=qdTISNq8BDs>
- 3) <https://youtu.be/RCu4UWDiiQw>
- 4) <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/549/>