

Υπόγεια ροή

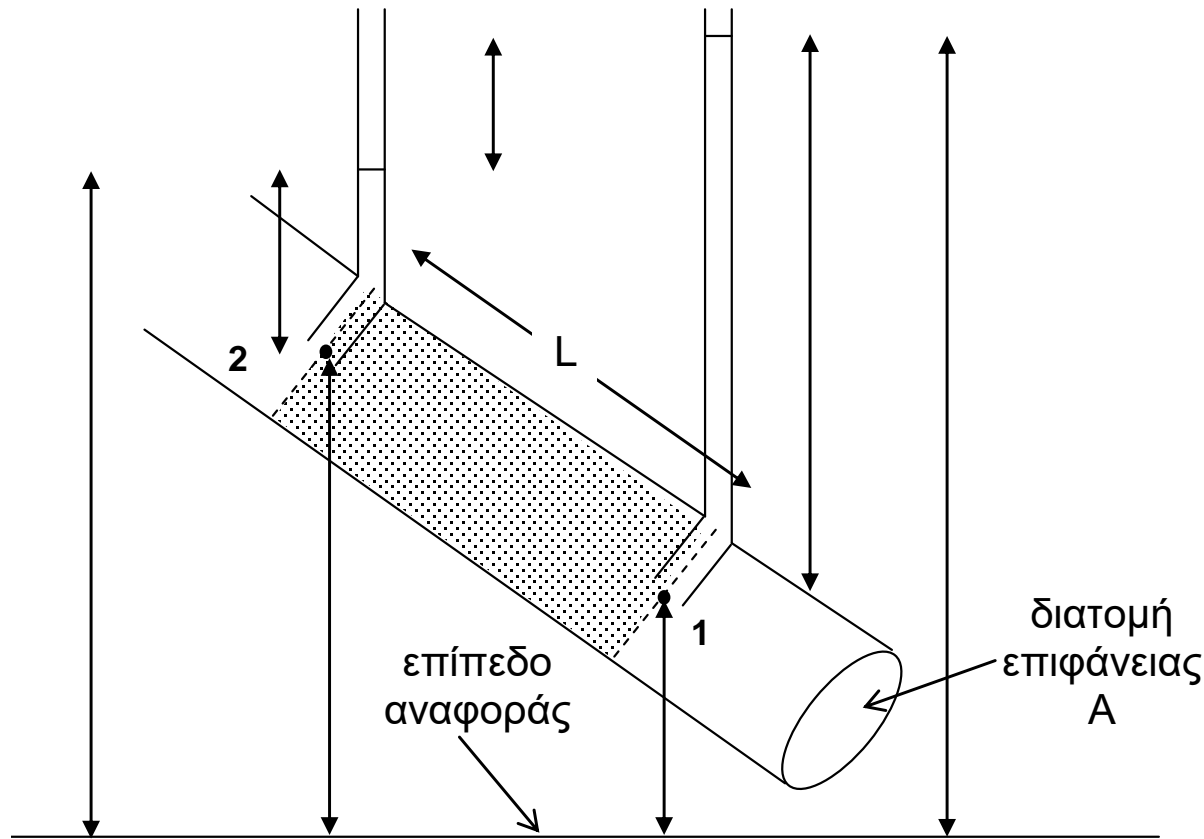
Παρουσίαση 2 από 4:

Νόμος Darcy
("ταχύτητα" Darcy)

Κύρια ερωτήματα ροής & νόμος Darcy

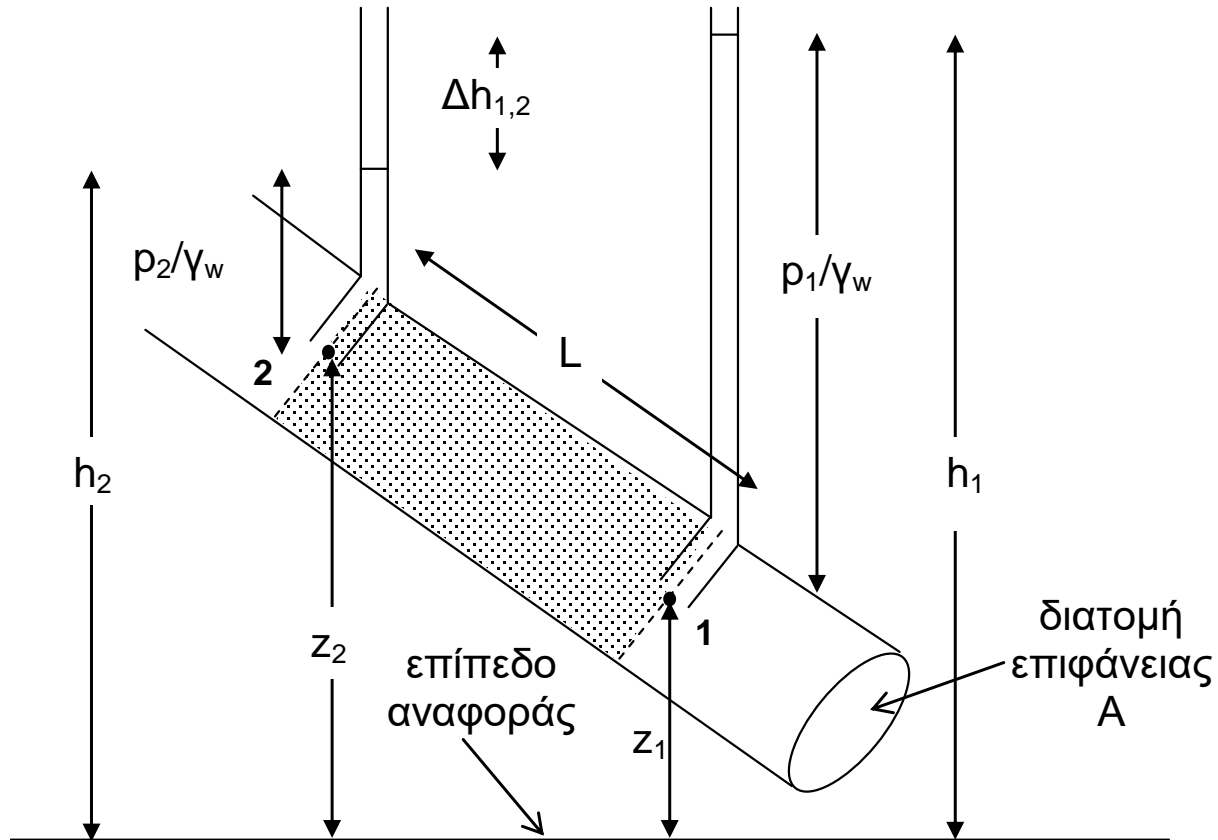
- Πόσον όγκο νερού μπορούμε να αντλήσουμε;
- Σχετικά μεγέθη: ταχύτητα, παροχή → σε απλά μονοδιάστατα προβλήματα, τα βρίσκουμε από τον νόμο Darcy που προέκυψε εμπειρικά με πειράματα σε εδαφικές στήλες
- Θυμόμαστε τι ενδιαφέρει κυρίως στην ΠΓ
 - Πόσο γρήγορα θα μεταφερθεί ο ρύπος με την κίνηση του υπόγειου νερού; (A: στην επόμενη παρουσίαση)
 - Πόση μάζα ρύπου μεταφέρει το νερό που κινείται ή το νερό που αντλούμε; (A: σε επόμενη ενότητα)

Πείραμα σε εδαφική στήλη



Σκαρίφημα πειραματικής διάταξης ροής διαμέσου εδαφικής στήλης: το εδαφικό δείγμα συγκρατείται με πλέγματα στα άκρα της εδαφικής στήλης 1 και 2. Τι μας δίνει το κάθε διάστημα που σημειώνεται με βέλος για τα σημεία 1 και 2;

Πείραμα σε εδαφική στήλη



Ποια είναι η κατεύθυνση της κίνησης του νερού;
Από το σημείο 2 στο σημείο 1 ή από το 1 στο 2;
Γιατί;

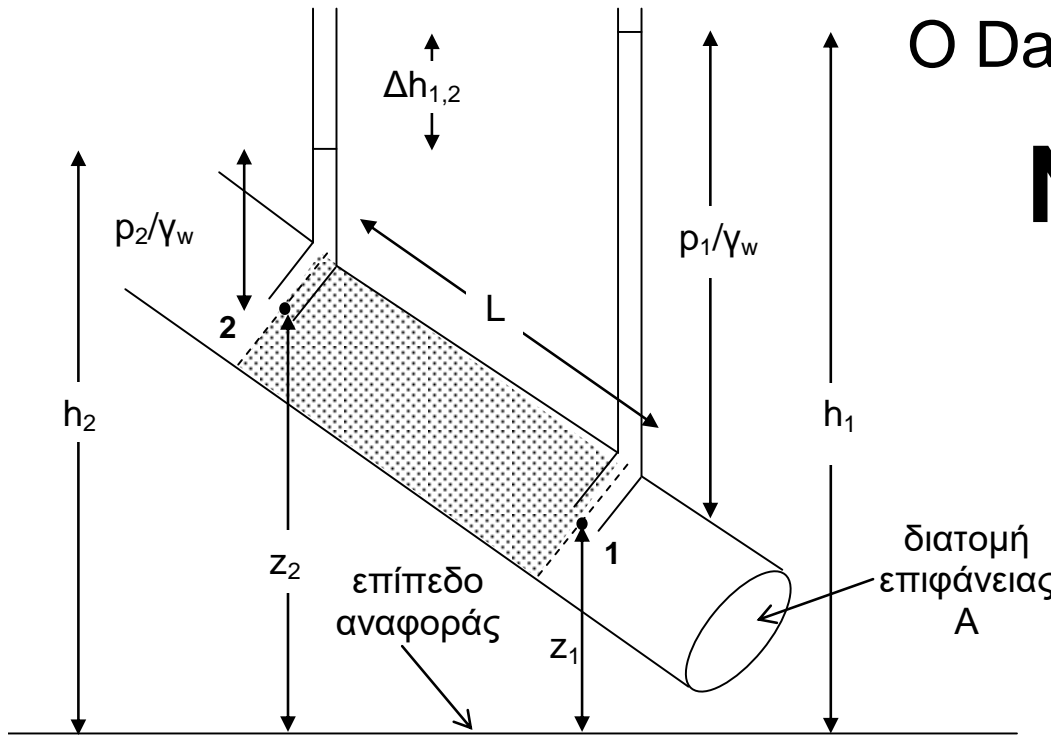
Ο Darcy παρατήρησε ότι: $v \propto i$

Νόμος Darcy

$$Q = K i A$$

$$v = K i$$

K = υδραυλική
αγωγιμότητα εδάφους



Συνολική διατομή κάθετη στην κατεύθυνση ροής, A [L^2]

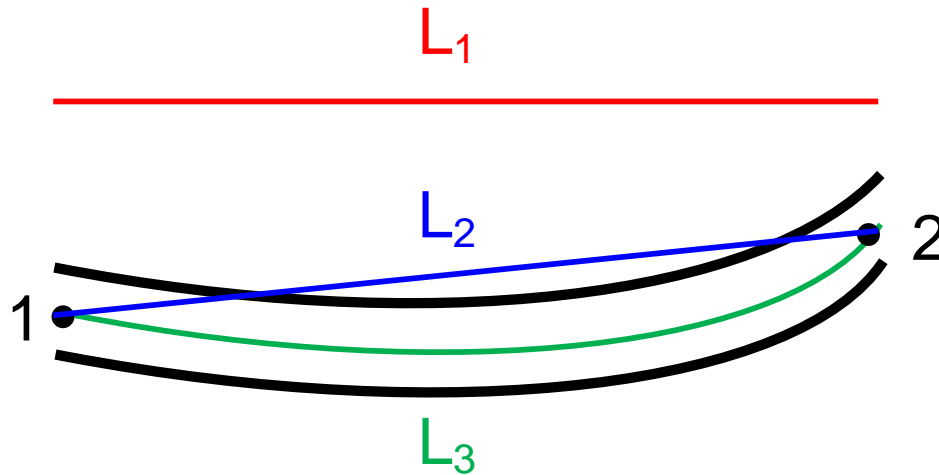
Παροχή, Q = όγκος διερχόμενος από διατομή A / χρόνος [L^3/T]

“Ταχύτητα” Darcy, ειδική παροχή (specific discharge), $v = Q / A$

Υδραυλική κλίση, $i = \Delta h_{1,2} / L$ = διαφορά υδραυλικού φορτίου / μήκος ροής

Ερώτηση κατανόησης

- Για την ροή μεταξύ των σημείων 1 και 2 του καμπύλου σωλήνα στο σχήμα, στον υπολογισμό της υδραυλικής κλίσης $i = \Delta h_{1,2}/L$, (α) $L=L_1$, (β) $L=L_2$, ή (γ) $L=L_3$;

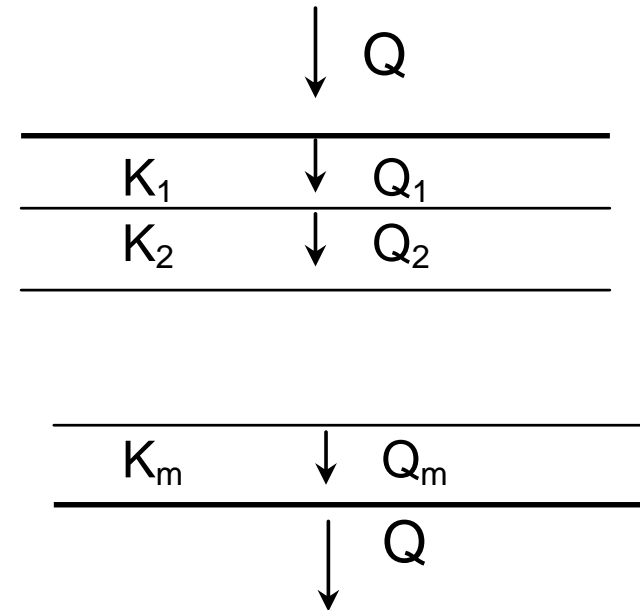


Χρήσιμη σχέση: ισοδύναμη K για ροή κάθετη στη στρωματογραφία

- Για εδαφική τομή με m στρώματα που το καθένα έχει υδραυλική αγωγιμότητα K_i και πάχος d_i , μπορεί να ορισθεί η ισοδύναμη υδραυλική αγωγιμότητα για ροή κάθετη στα επί μέρους στρώματα (K_p), σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

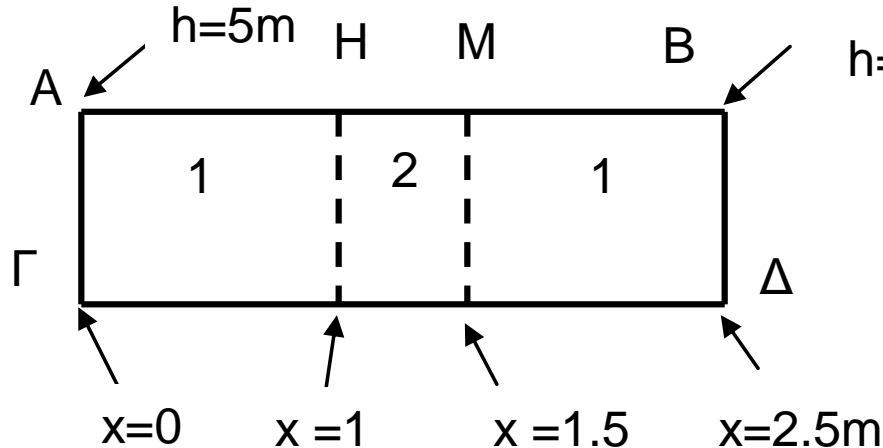
$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{\sum_{i=1}^m d_i / K_i}$$

Αποδεικνύεται
(Freeze & Cherry,
1979) θεωρώντας ότι:
 $Q = Q_1 = Q_2 = \dots$
 $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots$



Άσκηση εξάσκησης

- Για το πεδίο ροής που εικονίζεται στο πιο κάτω σχήμα, να υπολογιστεί η παροχή (για επιφάνεια κάθετη στην –οριζόντια– διεύθυνση ροής ίση με 1 m^2) όταν η υδραυλική αγωγιμότητα είναι 8640 m/ημ και 432 m/ημ για τα στρώματα 1 και 2, αντίστοιχα. Επίσης, να υπολογιστεί το υδραυλικό φορτίο στα σημεία H και M και να σχεδιαστεί ο χάρτης με τις ισοδυναμικές καμπύλες.

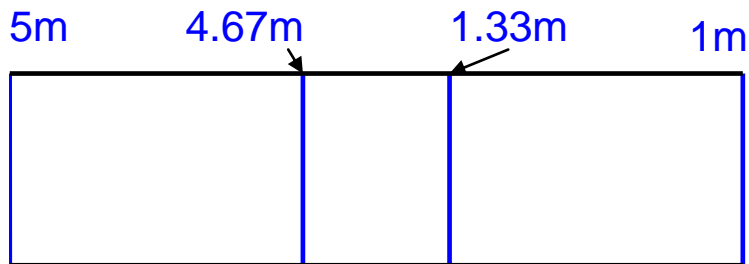


Οι επιφάνειες AB και ΓΔ είναι αδιαπέρατες (συνοριακή συνθήκη: γνωστή, σταθερή παροχή κάθετη στις AB, ΓΔ, $Q = 0$).

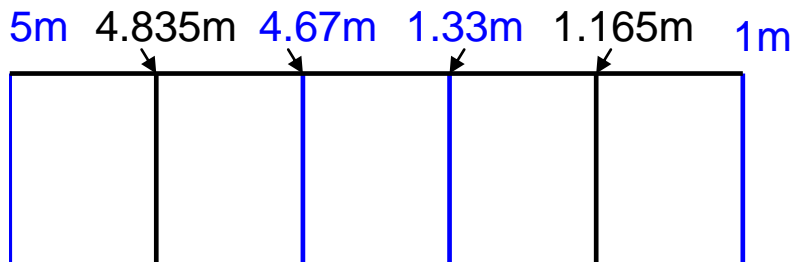
Οι επιφάνειες ΑΓ και ΒΔ είναι ισοδυναμικές επιφάνειες (συνοριακή συνθήκη: γνωστό –όπως δίνεται στο σχήμα– σταθερό υδραυλικό φορτίο, h).

Ερώτηση κατανόησης

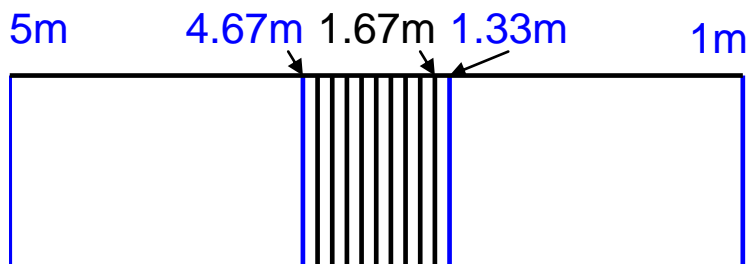
- Με δεδομένες τις απαντήσεις $h_H=4.67\text{m}$, $h_M=1.33\text{m}$ στην άσκηση εξάσκησης, ποιον από τους πιο κάτω τρεις χάρτες που δείχνουν ισοδυναμικές καμπύλες (χάρτες στάθμης δυναμικού) προτιμάτε;



(α)

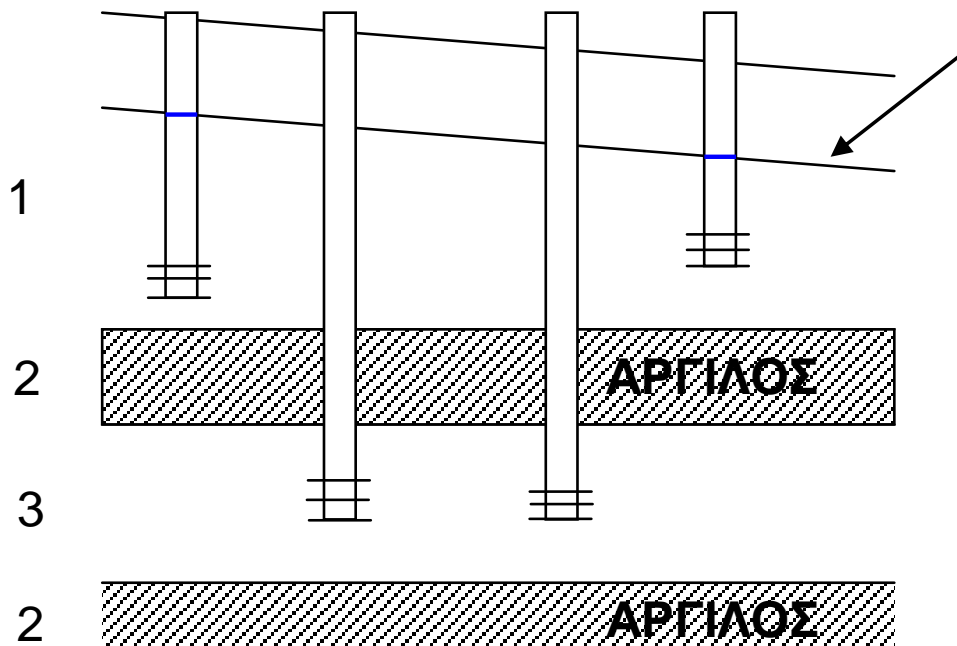


(β)



(γ)

Οι υδρογεωλογικοί σχηματισμοί ως πεδία ροής



Υδροφόρος Ορίζοντας,
Πιεζομετρική Επιφάνεια*

(1) Υδροφορέας ελεύθερης ροής

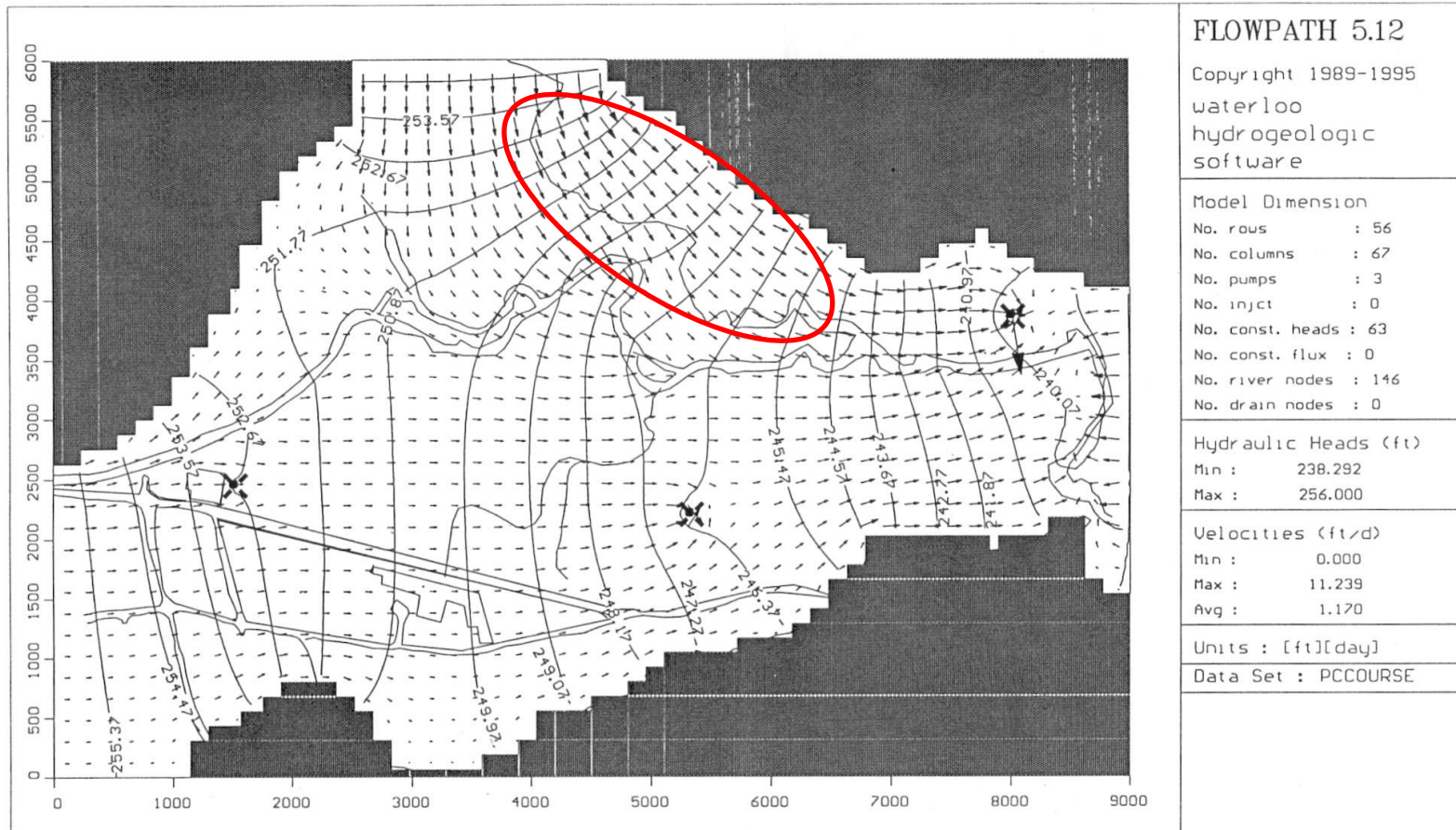
(2) Σχηματισμός περιορισμένης
υδροφορίας

(3) Υδροφορέας εγκιβωτισμένης
ροής (σε επικοινωνία ή όχι με
τον ελεύθερο υδροφορέα)

•Προσοχή! Η πιεζομετρική επιφάνεια, που μας λέει πού βρίσκεται η στάθμη του νερού στα πιεζόμετρα/πηγάδια, δίνει υδραυλικό φορτίο, όχι φορτίο πίεσης.

Σημείωση: ξεχωριστός χάρτης ισοδυναμικών καμπυλών για τους υδροφορείς 1, 3

Ισοδυναμικές καμπύλες → υδραυλική κλίση, ταχύτητα Darcy



Υπολογισμός εξάσκησης: εκτιμήστε την υδραυλική κλίση στην περιοχή της κόκκινης έλλειψης

Εξοικείωση με καινούρια μεγέθη: K

- Μέτρηση K: στο εργαστήριο, σε γεωτρήσεις, με δοκιμαστικές αντλήσεις
- Η υδραυλική αγωγιμότητα εκφράζει συνδυασμένα τις ιδιότητες του πορώδους μέσου και του ρευστού

$$K = k \rho g / \mu \quad [L / T]$$

$$k = \text{απόλυτη διαπερατότητα} \quad [L^2]$$

$$\rho = \text{πυκνότητα ρευστού}$$

$$\mu = \text{ιξώδες ρευστού} \quad [M / L \cdot T] \quad (\text{N s/m}^2), \text{ συνήθης μονάδα poise (P) (dyne s/cm}^2), \mu_w = 1 \text{ cP (centipoise)}$$

Διακύμανση υδραυλικών – μηχανικών μεγεθών

	Αμμοχάλικο		Καθαρή Άμμος		Άργιλος	Βιβλ. Αναφορά	Σκυρόδεμα	Βιβλ. Αναφορά
Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/s)	$10^{-1} - 10^{-3}$		$10^{-2} - 10^{-5}$		$10^{-8} - 10^{-11}$	Freeze & Cherry (1979) (σελ. 29)	10^{-9} (χωρίς ρωγμές)	Wong et al. (2009) (σελ. 578)
							10^{-8} (με μικρορωγμές)	
Μέτρο Ελαστικότητας (MPa = 10^3 KN/m ²)	πυκνό	χαλαρό	πυκνή	χαλαρή	μαλακή	McCarthy (2002) (σελ. 438)	17,000 – 31,000 (θλίψη)	Gere & Timoshenko (1996) (σελ. 889)
	από 90		από 45					
	έως 180	από 45	έως 80	από 9	5-0.5			
		έως 145		έως 25				

- Gere, J.M. and S.P. Timoshenko (1996). Mechanics of Materials, 4th Ed., Nelson Engineering.
- McCarthy, D.F. (2002). Essentials of Soil Mechanics and Foundations, 6th Ed., Prentice Hall.
- Wong, H.S., M. Zobel, N.R. Buenfeld and R.W. Zimmerman (2009). Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying, Mag. Concr. Res., 61:8:571-589.

Συνέπειες μεγάλης διακύμανσης υδραυλικής αγωγιμότητας εδαφών

- Η έννοια της ομοιογένειας προσαρμόζεται στην συνολική διακύμανση (ενδεικτικά: δύο τάξεις μεγέθους)
- Η μέτρηση της K πρέπει να αντιπροσωπεύει όγκο αντίστοιχο της κλίμακας του προβλήματος ροής-μεταφοράς
- Σε ανομοιογενή εδάφη, όταν η ροή έχει εναλλακτικό μονοπάτι θα παρακάμψει τους φακούς χαμηλής K

Βασικά σημεία

- Για το υπόγειο νερό, η ταχύτητα Darcy είναι συνάρτηση:
 - (1) των χαρακτηριστικών του πεδίου ροής: υδραυλική κλίση
 - (2) του εδάφους: υδραυλική αγωγιμότητα
- Η υδραυλική κλίση της φυσικής ροής του υπόγειου νερού είναι μικρή, πχ συνήθεις τιμές 0.001-0.01
 - η υδραυλική κλίση υπόγειου νερού γράφεται ως δεκαδικός αριθμός (όχι %)
- Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους έχει διακύμανση 10+ τάξεων μεγέθους