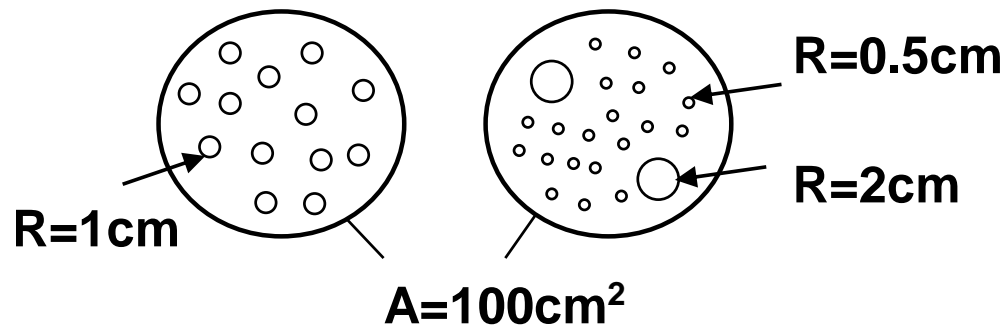


Υπόγεια ροή

Παρουσίαση 3 από 4:

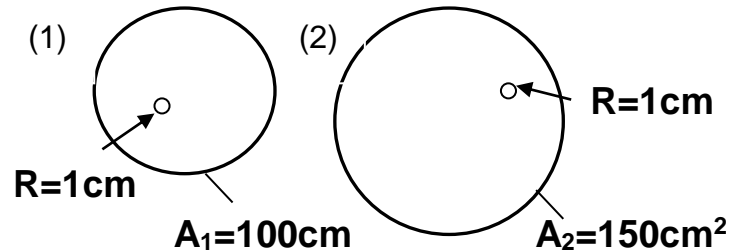
Ταχύτητα κίνησης
υπόγειου νερού & ρύπου
(Ταχύτητα μεταγωγής)

**Απλό μοντέλο εδαφικής στήλης:
συμπαγής κύλινδρος επιφάνειας A με πολλά
κυλινδρικά ανοίγματα**



- Προσομοίωση διόδων ανάμεσα στους εδαφικούς κόκκους με κυλινδρικούς αγωγούς διαφορετικών διαμέτρων (στο σχήμα φαίνονται σε τομή)
- Χρησιμοποιούμε απλά μοντέλα γιατί είναι πιο εύκολο να καταλαβαίνουμε πρώτα σε αυτά πώς κινείται στους εδαφικούς πόρους το νερό και μαζί του ο ρύπος

Ακραίως απλά μοντέλα 1 και 2



πορώδες εδαφικών στηλών

$$n_1 = \pi R^2 / A_1, \quad n_2 = \pi R^2 / A_2$$

- μέση ταχύτητα σε κυλινδρικό αγωγό $v_m(R)$, $v_{m1} = v_{m2} = v_m$
 - παροχή $Q_1 = Q_2 = Q = v_m \cdot \pi R^2$
 - ταχύτητα Darcy v (παροχή ανηγμένη στη συνολική επιφάνεια, A)
 $v_1 = Q/A_1 > v_2 = Q/A_2$
 - σχέση ταχύτητας στον κυλινδρικό αγωγό – ταχύτητας Darcy
 $v_m = v_1 \cdot A_1 / \pi R^2 = v_2 \cdot A_2 / \pi R^2$
- \Rightarrow ταχύτητα στον κυλινδρικό αγωγό = ταχύτητα Darcy / πορώδες

ΠΟΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΙΝΑΙ Η «ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ»?

Πότε ισχύει ο νόμος Darcy – τι αγνοεί;

- Περιγράφει πλήρως τη ροή όταν δεν έχουμε θερμική, χημική, ηλεκτρική κλίση δυναμικού
- Ισχύει για στρωτή ροή:
 - αριθμός Reynolds, $R = \rho v d / \mu < 1$ έως 10 ($d =$ μέση διάμετρος κόκκου, $\mu =$ ιξώδες)
- Αγνοεί την ύπαρξη των εδαφικών κόκκων (ή, δεν «βλέπει» τη δομή των εδαφικών πόρων)
 - Ορίζω τη μέση γραμμική ταχύτητα \bar{v} ή ταχύτητα διήθησης, seepage velocity, v_s
 - $A_v =$ επιφάνεια των πόρων (σε τομή)
 - $n =$ πορώδες $= V_v / V \approx A_v / A$

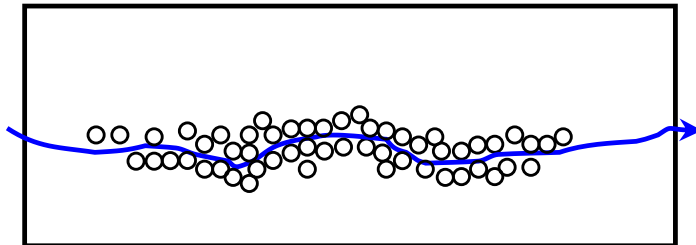
$$v_s = \frac{Q}{A_v} = \frac{Q}{A \cdot n} = \frac{v}{n}$$

Εξοικείωση με καινούρια μεγέθη: όταν λέω «ταχύτητα ροής» τι ακριβώς εννοώ;

- Η ταχύτητα **Darcy** ή φαινόμενη ταχύτητα ή ειδική παροχή, v : αντιστοιχεί στο νερό που βγαίνει από ολόκληρη διατομή

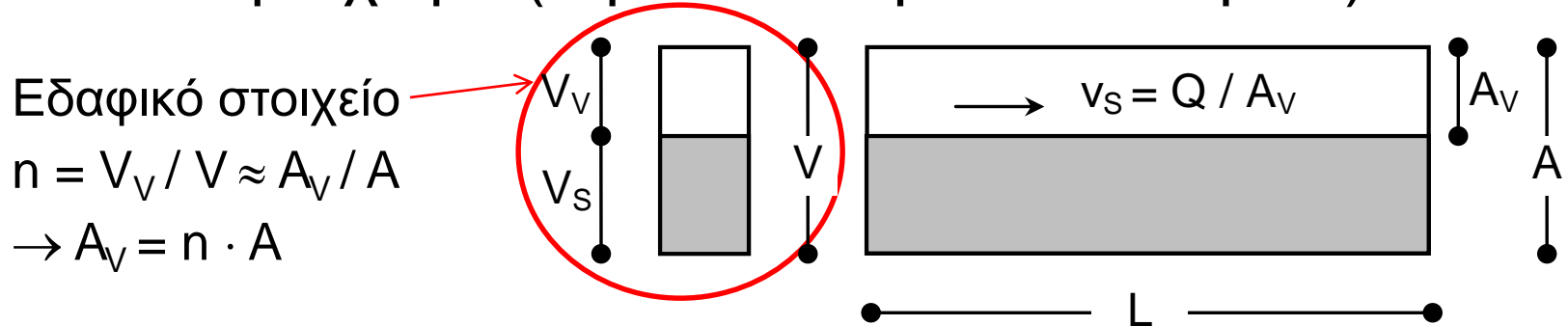


- Η «πραγματική ταχύτητα» αντιστοιχεί σε ροϊκές γραμμές που παρακάμπτουν τους κόκκους = ??



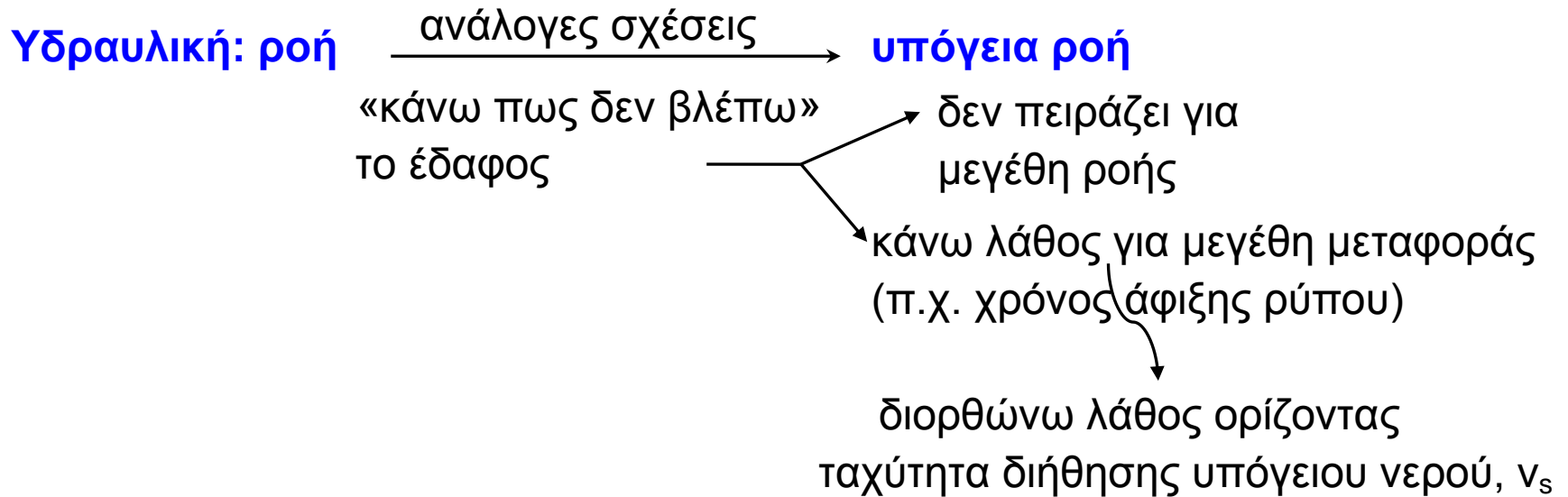
«Ταχύτητα ροής»: τι ακριβώς εννοώ; (συν.)

- Η μέση γραμμική ταχύτητα ή ταχύτητα διήθησης v_s : αντιστοιχεί στο νερό που κυκλοφορεί στον διαθέσιμο χώρο (δηλ. στον όγκο των πόρων)



- Πειραματικά βρίσκεται ότι η v_s δίνει καλή προσέγγιση του χρόνου εμφάνισης ρύπου στα κατάντη εδαφικής στήλης $\rightarrow v_s = v / n =$ **ταχύτητα μεταγωγής**
- $L = v_s \cdot T \rightarrow$ Χρόνος άφιξης ρύπου, $T = L / v_s$

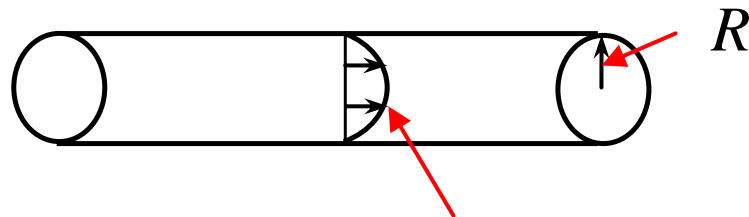
Μάζεμα ιδεών: ταχύτητα διήθησης, seepage velocity, pore (water) velocity



Αναλογία με μηχανική \rightarrow εδαφομηχανική;

Οι δίοδοι μεταξύ των εδαφικών κόκκων ως κυλινδρικοί αγωγοί

- Κυλινδρικός αγωγός ακτίνας R



μέση ταχύτητα, v_m

$$v_m = -\frac{R^2 \rho g}{8\mu} \frac{d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}$$

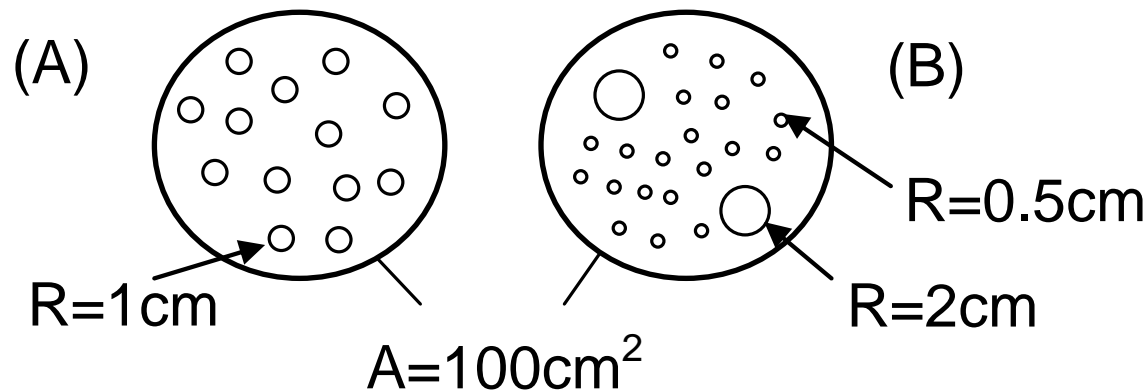
Σημ: το πρόσημο πλην εκφράζει ότι η ταχύτητα έχει φορά στην κατεύθυνση που μειώνεται το υδραυλικό φορτίο

- Συγκρίνοντας την έκφραση για την v_m με την ταχύτητα Darcy θα λέγαμε ότι ο κυλινδρικός αγωγός έχει υδραυλική αγωγιμότητα

$$K_{\alpha\gamma\omega\gamma\omicron\upsilon} = R^2 \rho g / 8 \mu$$

Εφαρμογή εννοιών υπόγειας ροής σε εδαφικό μοντέλο

- Οι διατομές (A) και (B), δείχνουν σε τομή δύο μοντέλα εδαφικών στηλών: πρόκειται για δύο συμπαγείς κυλίνδρους, στους οποίους έχουμε ανοίξει με τρυπάνι πολλά σωληνάκια. Συγκεκριμένα, η διατομή (A) έχει 13 ανοίγματα ακτίνας 1 cm, ενώ η διατομή (B) έχει δύο ανοίγματα ακτίνας 2 cm και 20 ανοίγματα ακτίνας 0.5 cm. Η συνολική διατομή και στις δύο περιπτώσεις έχει επιφάνεια 100 cm².



Ας υπολογίσουμε τα χρήσιμά μας μεγέθη: ταχύτητα, παροχή, κ.λπ.

Εδαφικό μοντέλο: υπολογισμός ταχύτητας-παροχής

- Μέση ταχύτητα σε κάθε σωλήνα ακτίνας R

$$v_{\sigma\omega\lambda} = \frac{R^2 \rho g}{8\mu} i$$

- Παροχή από κάθε σωλήνα ακτίνας R

$$Q_{\sigma\omega\lambda} = v_{\sigma\omega\lambda} A_{\sigma\omega\lambda}, \quad A_{\sigma\omega\lambda} = \pi R^2 \rightarrow Q_{\sigma\omega\lambda} = \frac{R^4 \pi \rho g}{8\mu} i$$

- Η συνολική παροχή για τη στήλη είναι το άθροισμα της παροχής του κάθε σωλήνα

$$\text{Στήλη (A)} \quad Q_A = \sum Q_{\sigma\omega\lambda} = 13 \frac{R_1^4 \pi \rho g}{8\mu} i$$

Εδαφικό μοντέλο: υπολογισμός ταχύτητας-παροχής (συν.)

- Ταχύτητα Darcy $v_A = Q_A / A = \sum Q_{\sigma\omega\lambda} / A = 13 \frac{R_1^4 \pi \rho g}{8\mu} \frac{i}{A}$
- Πορώδες $n = \frac{V_V}{V} = \frac{A_V}{A}$, $A = A_{ολικό} = 100\text{cm}^2$
- Διατομή (A): $A_V = 13\pi R_1^2 = 40.84 \text{ cm}^2$, άρα $n_A = 0.41$
- Ταχύτητα διήθησης

$$v_s = \frac{v_A}{n_A} = Q_A / (A \cdot n_A) = 13 \frac{R_1^4 \pi \rho g}{8\mu} \frac{i}{A} \frac{A}{A_V} = 13 \frac{R_1^4 \pi \rho g}{8\mu} \frac{i}{A} \frac{A}{13\pi R_1^2} = \frac{R_1^2 \rho g}{8\mu} i = v_{\sigma\omega\lambda}!$$
- Παρατήρηση: αφού όλη η διατομή των σωλήνων είναι διαθέσιμη για ροή, $v_s = v_{\sigma\omega\lambda}$

Εδαφικό μοντέλο: υπολογισμός ταχύτητας-παροχής (συν.)

- Διατομή (B): $A_V = 2\pi 2^2 + 20\pi 0.5^2 = 25.13 + 15.71 = 40.84 \text{ cm}^2$, άρα $n_B = 0.41$ – οι δύο διατομές αντιστοιχούν στο ίδιο πορώδες!

- Υπολογισμός λόγου παροχών δύο διατομών

$$\text{Στήλη (B)} \quad Q_B = 2 \frac{2^4 \pi \rho g}{8\mu} i + 20 \frac{0.5^4 \pi \rho g}{8\mu} i$$

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{\frac{\pi \rho g}{8\mu} i (2 \times 2^4 + 20 \times 0.5^4)}{\frac{\pi \rho g}{8\mu} i (13 \times 1^4)} \cong 2.6$$

Μεγάλο πορώδες → μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα; Όχι απαραίτητα!

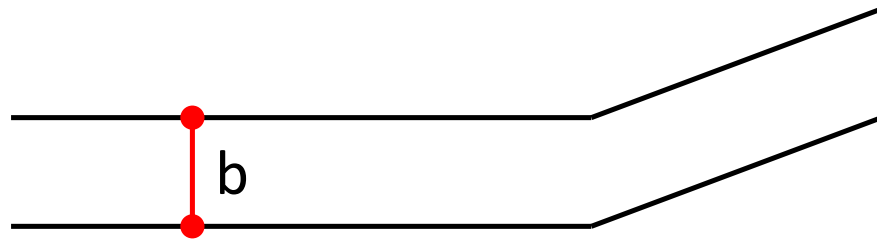
- Η υδραυλική αγωγιμότητα άρα και η παροχή εξαρτώνται άμεσα από την **κατανομή του μεγέθους των πόρων** και όχι απαραίτητα από το συνολικό πορώδες

Εδαφικό μοντέλο: υπολογισμός χρόνου άφιξης ρύπου

- Με ποια ταχύτητα θα υπολογίσω τον χρόνο άφιξης ρύπου από τα ανάντη στα κατόντη της στήλης;
- Στήλη (A): $T = L / v_{σωλ}$ ($R_{σωλ} = 1\text{cm}$)
- Στήλη (B): $T = L / v_{σωλ}$ ($R_{σωλ} = 2\text{cm}$)
 - δηλαδή αντί για έναν σταθμισμένο μέσο όρο που δίνει η v_s , προτιμώ στη στήλη (B) να υπολογίσω τον μικρότερο χρόνο που αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη ταχύτητα
 - στη στήλη (B) μπορώ να «δω» το φαινόμενο της μηχανικής διασποράς: ο ρύπος στα μεγάλα σωληνάκια κινείται πιο γρήγορα σε σύγκριση με τα μικρά

Οι ρωγμές των βράχων ως παράλληλες πλάκες που απέχουν b

- Ροή ανάμεσα σε δύο πλάκες που απέχουν b



$$v_m = -\frac{b^2 \rho g}{12\mu} \frac{d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}$$

- Συγκρίνοντας την έκφραση για την v_m με την ταχύτητα Darcy θα λέγαμε ότι η ρωγμή έχει υδραυλική αγωγιμότητα $K_{\rho\omega\gamma\mu\eta\varsigma} = b^2 \rho g / 12 \mu$
- Κατ' αναλογία με το εδαφικό μοντέλο, μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο άφιξης ρύπου (με την v_m) και, αν ξέρω τη συχνότητα των ρωγμών, την παροχή

Ερώτηση κατανόησης

- Η μέση γραμμική ταχύτητα ή ταχύτητα διήθησης ... (τσεκάρετε όλα τα σωστά)
 - είναι η ταχύτητα Darcy διαιρεμένη με το πορώδες
 - είναι παροχή ανηγμένη στο τμήμα της διατομής που είναι διαθέσιμο για ροή
 - έχει βρεθεί πειραματικά ότι προσεγγίζει καλά την ταχύτητα μεταγωγής
 - προσεγγίζει καλά την πραγματική ταχύτητα του νερού στους εδαφικούς πόρους

Βασικά σημεία – έννοιες

- Προσοχή! ανάλογα με το θεματικό πεδίο, ο όρος «ταχύτητα του υπόγειου νερού» μπορεί να αναφέρεται σε διαφορετική έννοια
- Σε κείμενα Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, ας μην χρησιμοποιούμε χαλαρά τον όρο «ταχύτητα του υπόγειου νερού», ο οποίος αντιστοιχεί στην ταχύτητα διήθησης του υπόγειου νερού, v_s
- Οι όροι “average linear velocity” και “seepage velocity” σε αγγλικά κείμενα σχετικά με ρύπανση υπεδάφους αναφέρονται στην ταχύτητα διήθησης του υπόγειου νερού, v_s
- Όταν διαβάζουμε σε αγγλικά κείμενα τον όρο “ground water velocity”, χωρίς επεξήγηση δεν μπορούμε να είμαστε 100% σίγουροι σε ποιο μέγεθος αναφέρεται

Βασικά σημεία - υπολογισμοί

- Χρησιμοποιούμε την ταχύτητα Darcy, v , για να υπολογίσουμε παροχή
 - ο όρος «ταχύτητα Darcy» είναι αδιαφανής (για όποιον δεν ξέρει τον νόμο Darcy), αλλά η ερμηνεία του είναι μονοσήμαντη
- Χρησιμοποιούμε την ταχύτητα διήθησης του υπόγειου νερού, v_s , για να υπολογίσουμε τον χρόνο άφιξης ρύπου
 - για να μην υπάρχει αμφιβολία, σε προβλήματα μεταφοράς θα χρησιμοποιώ τον όρο ταχύτητα μεταγωγής
 - ο χρόνος άφιξης ρύπου λέει πόσο γρήγορα θα κινηθεί το μέτωπο του ρύπου αν η μεταφορά συμβαίνει μόνο λόγω μεταγωγής και, άρα
 - ο χρόνος άφιξης ρύπου εκφράζει κατά προσέγγιση (χονδρική αν διάχυση και διασπορά έχουν σημαντική συμβολή στην μεταφορά) πόσο γρήγορα θα επηρεαστεί από την ρύπανση ένα σημείο κατάντη της πηγής