ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ & ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΥΠΑΣΜΕΝΩΝ ΧΩΡΩΝ
ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΔΙΝΟΝΤΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Σχόλια για χαμηλής περατότητας διαφράγματα που χρησιμοποιούνται για περιορισμό της εξάπλωσης ρύπων

- Τεχνολογία ευρείας εφαρμογής σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), απ' όπου υπάρχει μεγάλη εμπειρία.

- Για την περίπτωση των ΧΥΤΑ, ο όγκος του διαφεύγοντος στραγγίσματος μέσω της σύνθετης στρώσης στεγάνωσης του πυθμένα και η επιβράδυνση της εξάπλωσης των ρύπων του στραγγίσματος υπολογίζονται με βάση τις γνωστές αρχές ροής και μεταφοράς.

  - Για την πιο ρεαλιστική εκτίμηση των επιπτώσεων ενός ΧΥΤΑ, συνιστάται ο επιπλέον υπολογισμός ροής/μεταφοράς διαμέσου των ατελειών της γεωμεμβράνης (Κανδρής & Πανταζίδου, 2010).

- Η επιβράδυνση εξάπλωσης των ρύπων με τη βοήθεια ενός χαμηλής περατότητας διαφράγματος μπορεί να εκτιμηθεί με αντίστοιχο τρόπο (ένα διάφραγμα δεν είναι παρά ένας κατακόρυφος πυθμένας ΧΥΤΑ!).

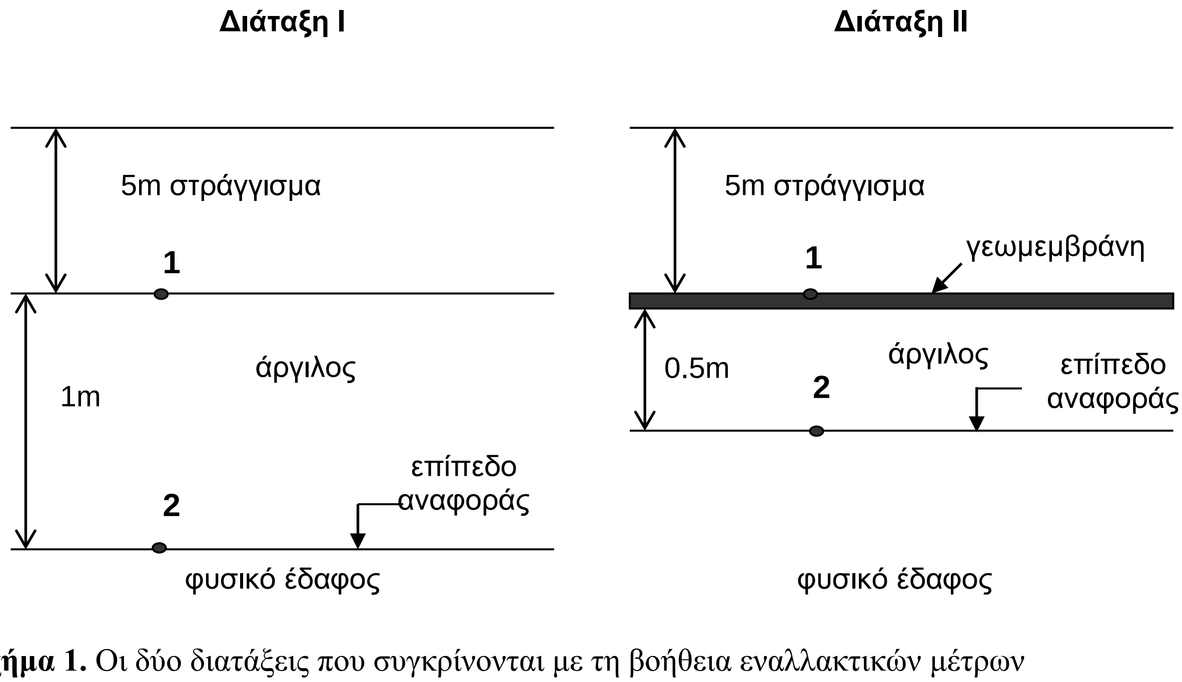
- Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται αποκλειστικά άργιλος, πρέπει να εξασφαλίζεται/ελέγχεται η σταθερότητα της συμπεριφοράς της, δηλ. να αποκλείεται η περίπτωση της αύξησης της υδραυλικής αγωγιμότητας (θυμόμαστε ότι οι ιδιότητες της αργίλου αλλάζουν ανάλογα με τη σύσταση του υγρού των πόρων).

Αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού προστασίας στεγαντικής στρώσης πυθμένα ΧΥΤΑ

Λόγω αστοχίας του συστήματος στράγγισης χώρου υγειονομικής ταφής, έχει μαζευτεί στράγγισμα ύψους 5 μέτρων. Να εκτιμηθεί η προστασία (έναντι εξάπλωσης των ρύπων του στραγγίσματος στο φυσικό έδαφος) που προσφέρουν (Ι) μια στρώση συμπυκνωμένης αργίλου πάχους d_α = 1m και (ΙΙ) μια σύνθετη στρώση που αποτελείται από συμπυκνωμένη άργιλο πάχους d_α = 0.5m και γεωμεμβράνη πάχους d_μ = 1.5 mm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Δεδομένα:
- Άργιλος — Υδραυλική Αγωγιμότητα $K_\alpha = 10^{-9}$ m/s — Πορώδες $n_\alpha = 0.4$
- Γεωμεμβράνη — Υδραυλική Αγωγιμότητα $K_\mu = 10^{-13}$ m/s — Πορώδες $n_\mu = 0.02$
- Συντελεστής διάχυσης/διασποράς D = 32 cm^2 / έτος (1x10^{-10} m^2/s)
- Θεωρείται ότι έχουν αποκατασταθεί συνθήκες μόνιμης ροής

Θα υπολογιστούν:
(α) Υδραυλική αγωγιμότητα στην κατακόρυφη διεύθυνση
(β) Παροχή στραγγίσματος (l/m^2- έτος)
(γ) Χρόνος άφιξης μετώπου ρύπου από το σημείο 1 στο σημείο 2 λόγω μεταγωγής (έτη)
(δ) Χρόνος άφιξης συγκέντρωσης ρύπου $C = 0.01Co$ λόγω μεταγωγής & διάχυσης/διασποράς (έτη)



Σχήμα 1. Οι δύο διατάξεις που συγκρίνονται με τη βοήθεια εναλλακτικών μέτρων [δηλ. με τον υπολογισμό των μεγεθών (β), (γ), (δ)] ως προς την προστασία που προσφέρουν στην περίπτωση διαρροής στραγγίσματος ύψους 5 m (εκτός κλίμακας).

(α) ***Υπολογισμός υδραυλικής αγωγιμότητας***

$$K_I = K_\alpha = 10^{-9}\ m/s$$

Για τη διάταξη ΙΙ εφαρμόζεται η εξίσωση που δίνει την ισοδύναμη υδραυλική αγωγιμότητα για επάλληλα στρώματα πάχους d_i και υδραυλικής αγωγιμότητας K_i:

$$K_{II}=\frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{K_i}}=\frac{d_\alpha+d_\mu}{\frac{d_\alpha}{K_\alpha}+\frac{d_\mu}{K_\mu}}=\frac{0.5m+0.0015m}{\frac{0.5m}{10^{-9}\frac{m}{s}}+\frac{0.0015m}{10^{-13}\frac{m}{s}}}=3.2\times10^{-11}m/s$$

Σχόλιο: Ο υπολογισμός μιας ενιαίας τιμής υδραυλικής αγωγιμότητας στη διεύθυνση την κάθετη προς τη στρωματογραφία, όπως π.χ. για τη σύνθετη διάταξη ΙΙ, επιτρέπει τη σύγκριση εναλλακτικών διατάξεων σύνθετων στρώσεων στεγάνωσης.

(β) ***Υπολογισμός παροχής***

Χρειάζεται να επιλυθεί το πρόβλημα κατακόρυφης μονοδιάστατης ροής, που ουσιαστικά συνίσταται στον υπολογισμό της κλίσης του υδραυλικού φορτίου. Η κατάντη επιφάνεια της στρώσης στεγάνωσης θεωρείται ως επίπεδο αναφοράς για τη μέτρηση του υψομετρικού φορτίου z. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι η πίεση του νερού στο ίδιο επίπεδο είναι ατμοσφαιρική (P_{w2}= 0).

Στην ανάντη επιφάνεια της στρώσης στεγάνωσης
(σημείο 1 στο Σχήμα 1 – Διάταξη Ι):

$h_1 = P_{w1}/\gamma_w + z_1$= 5m+1m = 6m

Στην κατάντη επιφάνεια της στρώσης στεγάνωσης
(σημείο 2 στο Σχήμα 1 – Διάταξη Ι):

$h_2 = P_{w2}/\gamma_w + z_2$= 0m + 0m = 0m

Για αυτές τις τιμές του υδραυλικού φορτίου, η υδραυλική κλίση είναι:

$$i_I=\frac{\Delta h_I}{\Delta L_I}=\frac{h_1-h_2}{d_\alpha}=\frac{6m}{1m}=6$$

$$v_I=K_I i_I=10^{-9}\frac{m}{s}\times6=6\times10^{-9}\frac{m}{s}$$

Με ανάλογους υπολογισμούς για τη διάταξη ΙΙ:

$$i_{II}=\frac{\Delta h_{II}}{\Delta L_{II}}=\frac{h_1-h_2}{d_\alpha+d_\mu}=\frac{5.5m}{0.5m}=11$$

$$v_{II}=K_{II}i_{II}=3.2\times10^{-11}\frac{m}{s}\times11=3.5\times10^{-10}\frac{m}{s}$$

Υπολογισμός παροχών (βλέπε Ενότητα 4 – Υπόγεια Ροή):

$$Q_I=K_I i_I A=10^{-9}\frac{m}{s}\times6\times1m^2=6\times10^{-9}\frac{m^3}{s}=189\frac{l}{\varepsilon\tau o\varsigma}$$

$$Q_{II}=K_{II}i_{II}A=3.2\times10^{-11}\frac{m}{s}\times11\times1m^2=3.5\times10^{-10}\frac{m^3}{s}=11\frac{l}{\varepsilon\tau o\varsigma}$$

(γ) ***Υπολογισμός χρόνου άφιξης μετώπου ρύπου***

Για τον χρόνο άφιξης του μετώπου ρύπου λόγω μεταγωγής, χρειάζεται να υπολογιστεί η μέση γραμμική ταχύτητα ροής, δηλαδή η ταχύτητα μεταγωγής, σε πορώδες μέσο $\bar{v}$ (βλέπε Ενότητα 4).

<u>Διάταξη Ι</u>

$$\bar{v}_\alpha=\frac{v_I}{n_\alpha}=\frac{6\times10^{-9}\frac{m}{s}}{0.4}=1.5\times10^{-8}\frac{m}{s}$$

Ο χρόνος άφιξης ρύπου λόγω μεταγωγής δίνεται ως ο λόγος της απόστασης από την πηγή του ρύπου (την ανάντη επιφάνεια της στεγανωτικής στρώσης – σημείο 1) έως το σημείο που μας ενδιαφέρει (την κατάντη επιφάνεια της στεγανωτικής στρώσης – σημείο 2) με την ταχύτητα μεταγωγής:

$$T_I = \frac{d_\alpha}{v_a} = \frac{1m}{1.5\times10^{-8}\frac{m}{s}} = 772\eta\mu. \rightarrow \underline{\boldsymbol{T_I = 2.1} \textbf{ έτη}}$$

<u>Διάταξη ΙΙ</u>

$$T_{II} = \frac{d_\mu}{\bar{v}_\mu} + \frac{d_\alpha}{\bar{v}_\alpha} = \frac{d_\mu}{v_{II}/n_\mu} + \frac{d_\alpha}{v_{II}/n_\alpha} = \frac{0.0015m}{3.5\times10^{-10}\frac{m}{s}/0.02} + \frac{0.5m}{3.5\times10^{-10}\frac{m}{s}/0.4}$$

$\rightarrow T_{II}$= (1 + 6614) ημέρες $\rightarrow$ **<u>T_{II} = 18.1 έτη</u>**

(δ) ***Υπολογισμός χρόνου άφιξης συγκέντρωσης ρύπου ίσης με 0.01 της συγκέντρωσης του ρύπου στο διαφυγόν στράγγισμα***

Χρησιμοποιούμε τη λύση της εξίσωσης της μονοδιάστατης μεταφοράς ρύπου. Χρειαζόμαστε δύο βασικές παραμέτρους: την ταχύτητα μεταγωγής $\bar{v}$ (από το πρόβλημα ροής) και τον συντελεστή διάχυσης/διασποράς D (από τα δεδομένα).

<u>Διάταξη Ι</u>

$\bar{v}_a = 1.5\text{x}10^{-6}$ cm/s = 47.3 cm/ έτος

$\frac{\bar{v}_a x}{D} = \frac{47.3\times100}{32} = 148 \rightarrow$ μπορούμε να αγνοήσουμε τον δεύτερο όρο της λύσης

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{x-\bar{v}t}{2\sqrt{Dt}}\right) = 0.01$$

έστω $\alpha = \frac{x-\bar{v}t}{2\sqrt{Dt}} \quad \rightarrow erfc\ \alpha = 0.02 \ \rightarrow \alpha = 1.645$

$$1.645 = \frac{100-47.3t}{2\sqrt{32t}}$$

για $\sqrt{t} = T \rightarrow 1.645 = \frac{100-47.3T^2}{11.31T} \rightarrow T = 1.27 \rightarrow$ **<u>t_I = 1.61 έτη</u>**

<u>Διάταξη ΙΙ</u>

Θα υπολογίσουμε μεταφορά του ρύπου μόνο μέσω της αργίλου:

$\bar{v}_a = \frac{3.5\times10^{-8}\frac{cm}{s}}{0.4}$ = 2.76 cm/ έτος

$\frac{\bar{v}_a x}{D} = \frac{2.76\times50}{32} = 4.31 << 100 \rightarrow$ ο πρώτος όρος της λύσης δεν θα δώσει ικανοποιητική προσέγγιση

$$1.645 = \frac{50-2.76t}{2\sqrt{32t}}$$

για $\sqrt{t} = T \rightarrow 1.645 = \frac{50-2.76T^2}{11.31T} \rightarrow T$=2.06 $\rightarrow$ **<u>t_{II} = 4.24 έτη</u>**

Σχόλια:

• Υπενθυμίζεται ότι δεν είναι υπέρ της ασφάλειας να αγνοείται η συμβολή της διάχυσης και της διασποράς, ιδιαίτερα για υλικά χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας.

• Τονίζεται ότι πρέπει να εξασφαλιστεί όχι μόνο μικρή υδραυλική αγωγιμότητα και μικρή παροχή, αλλά και μεγάλος χρόνος άφιξης συγκέντρωσης ρύπου. Αυτός ο συνδυασμός είναι αδύνατο να επιτευχθεί μόνο με γεωμεμβράνη, γιατί ενώ πληροί τους δύο πρώτους περιορισμούς, αποτυγχάνει στον τρίτο.