

## Προστασία Υδροφόρων Οριζόντων – Τρωτότητα

### Άσκηση 1

Σε μια περιοχή αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας, του οποίου η πιεζομετρία παρουσιάζεται στο χάρτη. Στην ίδια περιοχή υπάρχει γεώτρηση ύδρευσης για παρακείμενο οικισμό, η οποία αντλείται σταθερά με παροχή  $Q_w=19250\text{m}^3/\text{day}$ . Ο υδροφόρος ορίζοντας έχει υδραυλική αγωγιμότητα  $k=80\text{m}/\text{day}$  και πάχος  $b=50\text{m}$ .

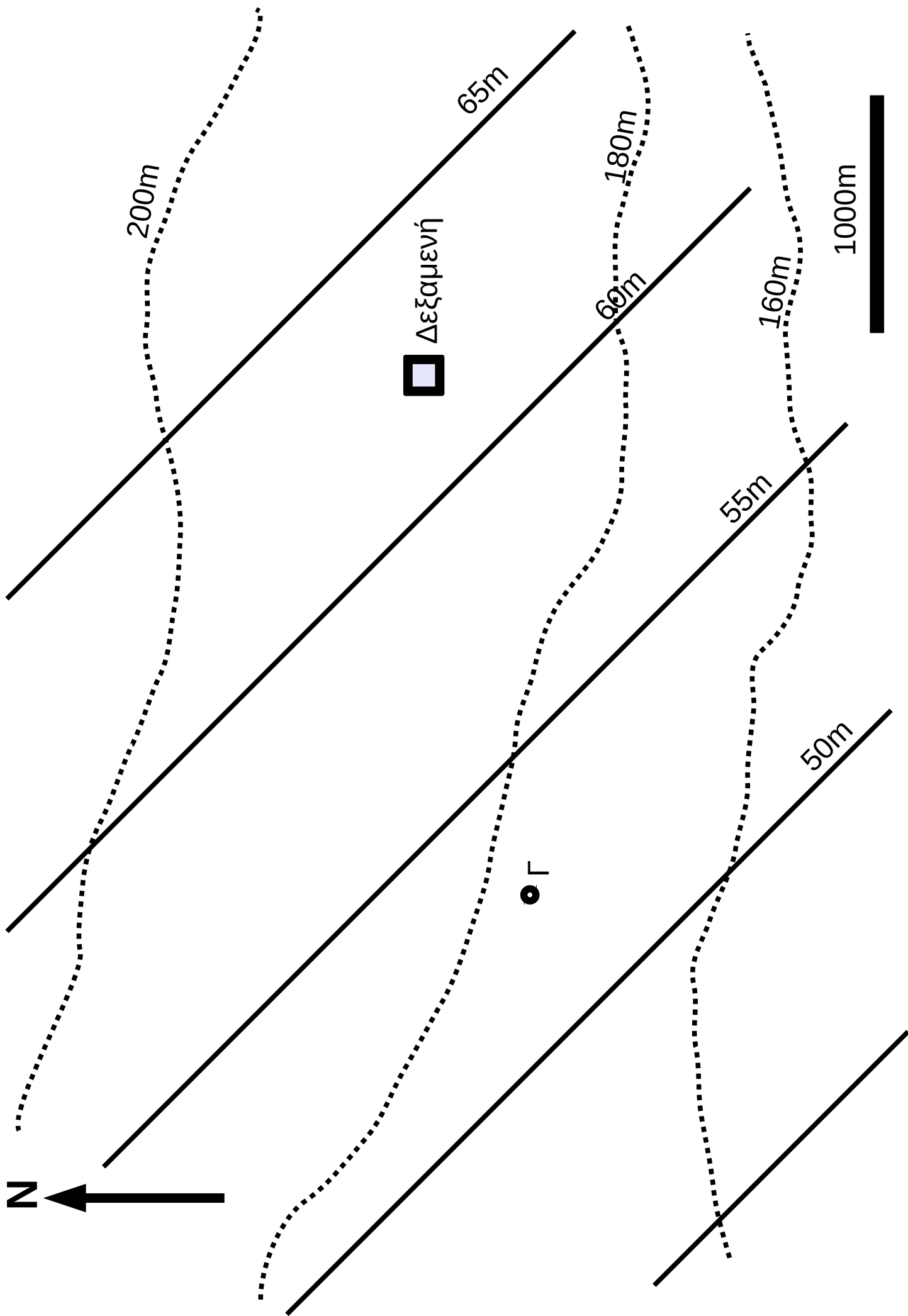
Σε κάποια θέση υπάρχει δεξαμενή υγρών καυσίμων, για την οποία παρατηρήθηκαν διαρροές προς το υπέδαφος, με άγνωστο προς το παρόν ρυθμό.

1. Αποφανθείτε εάν η ρύπανση από τη διαρροή θα επηρεάσει το νερό της γεώτρησης:

α) εάν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ελεύθερος,

β) εάν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι υπό πίεση.

2. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ελεύθερος, ποια είναι η ελάχιστη παροχή σε  $\text{m}^3/\text{h}$  με την οποία θα έπρεπε να αντλείται η υδρογεώτρηση για την παγίδευση του ρύπου;



## Ζώνη υδρομάστευσης ή ανάκτησης

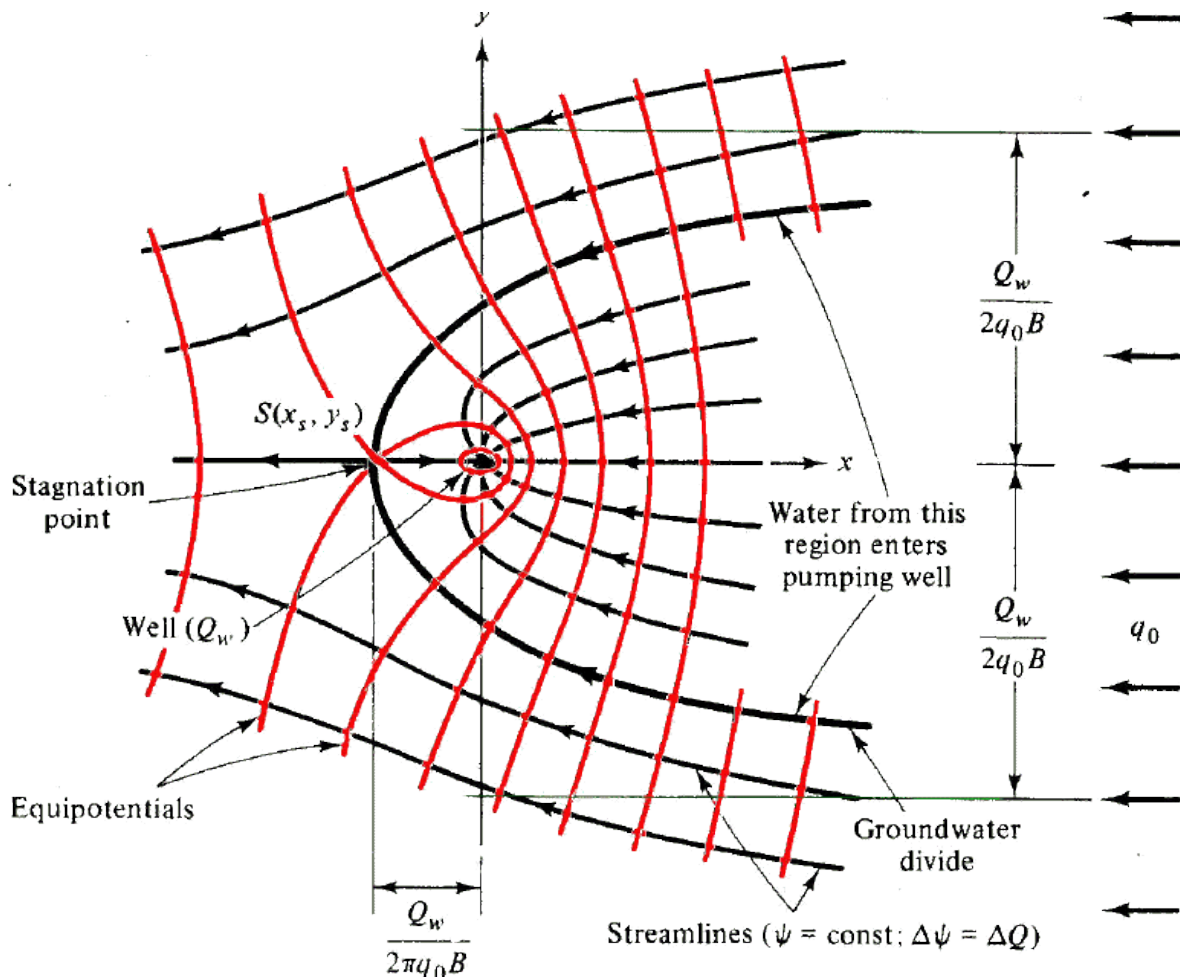
Η ζώνη υδρομάστευσης ή ανάκτησης ή παγίδευσης ή σύλληψης (**capture zone**) είναι η περιοχή, η οποία τροφοδοτεί με (ρυπασμένο) νερό μια γεώτρηση. Περιλαμβάνει την περιοχή που αποστραγγίζεται κατά την άντληση, τόσο στα ανάντη όσο και στα κατόντη.

Η ζώνη ανάκτησης συμπίπτει με τον κώνο πτώσης στάθμης στην περίπτωση επίπεδων, ισότροπων και ομοιογενών υδροφορέων, καθώς και με την περίμετρο προστασίας των γεωτρήσεων ύδρευσης, οπότε ταυτίζεται με την περιοχή που περικλείει η ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης.

Όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι κεκλιμένος, η ζώνη ανάκτησης δεν συμπίπτει με τον κώνο κατάπτωσης. Είναι μια επιμηκυσμένη περιοχή, η οποία εκτείνεται ελαφρώς προς τα κατόντη και σημαντικά προς τα ανάντη.

Η ζώνη ανάκτησης ελέγχεται από το χρόνο που χρειάζεται το υπόγειο νερό για να κινηθεί από την ανάντη περιοχή στην αντλούμενη γεώτρηση.

Σχηματίζεται ένας υπόγειος υδροκρίτης, εσωτερικά του οποίου το νερό κατευθύνεται προς τη γεώτρηση, ενώ εξωτερικά κατευθύνεται προς τα κατόντη.



**Figure 8-29** A single pumping well in uniform flow.

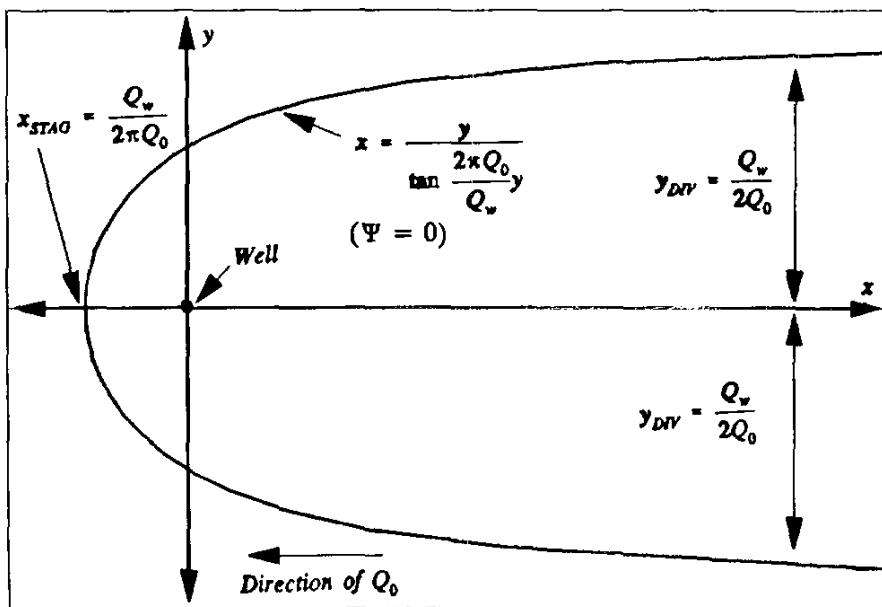
Η μελέτη της ζώνης ανάκτησης γίνεται σε ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων, όπου:

- η κλίμακα των αποστάσεων ταυτίζεται με την κλίμακα του χάρτη,

- ο άξονας x είναι παράλληλος με τις γραμμές ροής του υδροφόρου ορίζοντα πριν την άντληση,
- η αρχή των αξόνων με συντεταγμένες (0,0) είναι το σημείο του υδροληπτικού έργου.

Υπάρχουν δύο οριακές συνθήκες στις εξισώσεις που περιγράφουν τη ζώνη ανάκτησης:

1. Η απόσταση από την αντλούμενη γεώτρηση μέχρι του ορίου του υπόγειου υδροκρίτη κατάντη, που αναφέρεται ως **σημείο ηρεμίας ή στασιμότητας (stagnation point)**. Η απόσταση μετράται κατά τη φορά της γραμμής ροής του υδροφόρου ορίζοντα που περνάει από το υδροληπτικό έργο και συμβολίζεται  $x_0$  ή  $x_{STAG}$ .
2. Το μέγιστο πλάτος της ζώνης ανάκτησης εκατέρωθεν του άξονα x (λόγω συμμετρίας), η οποία όταν το x τείνει στο άπειρο (δηλαδή σε άπειρη απόσταση ανάντη), τείνει σε μια ακραία τιμή που είναι συνάρτηση του πάχους του υδροφόρου (b ή D) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (k), δηλαδή της μεταβιβαστικότητας ( $T=k*b$ ), της υδραυλικής κλίσης και της παροχής άντλησης.



**Fig. 1. Stagnation point, upgradient divide, and dividing stream-line at infinite time (steady state).**

( $Q_0$  η εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα και  $Q_w$  η παροχή άντλησης του υδροληπτικού έργου)

Για έναν υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα, ισχύει (Grubb, 1993):

$$x_{STAG} = \frac{Q_w}{2\pi T i} \quad (1) - \text{σημείο στασιμότητας (αρνητική τιμή)}$$

$$y_{DIV} = \pm \frac{Q_w}{2T i} \quad (2) - \text{μέγιστο πλάτος ζώνης ανάκτησης}$$

$$x = \frac{y}{\tan\left(\frac{2\pi Ti}{Q_w} y\right)} \quad (3) - \text{υδροκρίτης}$$

Για έναν ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα, ισχύει (Grubb, 1993):

$$x_{\text{STAG}} = \frac{Q_w L}{\pi K (\phi_1^2 - \phi_2^2)} \quad (4) - \text{σημείο στασιμότητας (αρνητική τιμή)}$$

$$y_{\text{DIV}} = \pm \frac{Q_w L}{K (\phi_1^2 - \phi_2^2)} \quad (5) - \text{μέγιστο πλάτος ζώνης ανάκτησης}$$

$$x = \frac{y}{\tan\left[\frac{\pi K (\phi_1^2 - \phi_2^2)}{Q_w L} y\right]} \quad (6) - \text{υδροκρίτης}$$

L: η απόσταση μεταξύ δυο σημείων στον άξονα x, ανάντη και κατόντη της γεώτρησης, με υδραυλικό φορτίο  $\phi_1$  και  $\phi_2$ , αντίστοιχα.

K: η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου ορίζοντα.

T: η υδαταγωγιμότητα (μεταβιβαστικότητα) του υδροφόρου ορίζοντα.

i: η υδραυλική κλίση στη θέση της γεώτρησης (πριν την άντληση).

### Επίλυση:

- Προσαρμόζουμε ένα ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων με τον άξονα x πάνω στην κατεύθυνση ροής, και το σημείο (0,0) πάνω στη θέση της γεώτρησης.
- Βρίσκουμε το σημείο στασιμότητας ( $x_{\text{STAG}}, 0$ ) με την εξίσωση που ισχύει ανάλογα με τον τύπο του υδροφόρου ορίζοντα.
- Βρίσκουμε το μέγιστο πλάτος της ζώνης ανάκτησης  $y_{\text{DIV}}$ .
- Βρίσκουμε σημεία του υδροκρίτη με συντεταγμένες (x, y), θέτοντας διάφορες τιμές στο πλάτος της ζώνης ανάκτησης από 0 έως την τιμή  $y_{\text{DIV}}$ , και υπολογίζοντας το αντίστοιχο x, με την εξίσωση που ισχύει ανάλογα με τον τύπο του υδροφόρου ορίζοντα.
- Προβάλλουμε στο χάρτη με τη βοήθεια του συστήματος συντεταγμένων, το σημείο στασιμότητας και τα διάφορα σημεία του υδροκρίτη που υπολογίσαμε.
- Σχεδιάζουμε τη ζώνη ανάκτησης.