

## **ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ-ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ**

**Σήμερα στις αναπτυσσόμενες χώρες 6 στους 10 ανθρώπους ζουν σε μια ζώνη 60 Km από τις ακτές και στις αρχές της νέας χιλιετίας περισσότεροι από τα 2/3 του πληθυσμού θα ζουν στην άμεση γειτονία με τη θάλασσα.**

Τα γλυκά νερά ρέουν σύμφωνα με την κλίση και εκρέουν μέσω διαφόρων μηχανισμών προς τα παράκτια νερά

Η ποσότητα που εκρέει από τους υδροφορείς είναι συνάρτηση

- Του όγκου της τροφοδοσίας και
- Της ποσότητας του υπόγειου νερού που μπορεί να διαφύγει μέσω των διαθέσιμων μηχανισμών

### **Περιοχές με δυναμική διείσδυση αλμυρού νερού**

Πολλοί υδροφόροι βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τον πυθμένα ωκεανών και κόλπων.

*Κάτω από φυσικές συνθήκες, συμβαίνει υποεπιφανειακή εκροή μέσα στον ωκεανό*

Με την εκμετάλλευση, υποχωρούν οι στάθμες των ΥΝ κάτω από το επίπεδο της θάλασσας και πολύ αλμυρά νερά διεισδύουν μέσα στους υδροφόρους

Σε μερικές περιοχές, οι γεωλογικοί σχηματισμοί περιέχουν *εγκλωβισμένες αλμύρες*

**Το σχήμα και η θέση του ορίου αλμυρού/γλυκού υπόγειου νερού είναι συνάρτηση του όγκου του γλυκού νερού που εκρέει από τον υδροφόρο**

**Μικρότερης κλίμακας αλλαγές προκαλούν η δράση της παλίρροιας και οι εποχιακές και ετήσιες αλλαγές**

**Το όριο είναι σε κατάσταση φαινομενικής ισορροπίας**

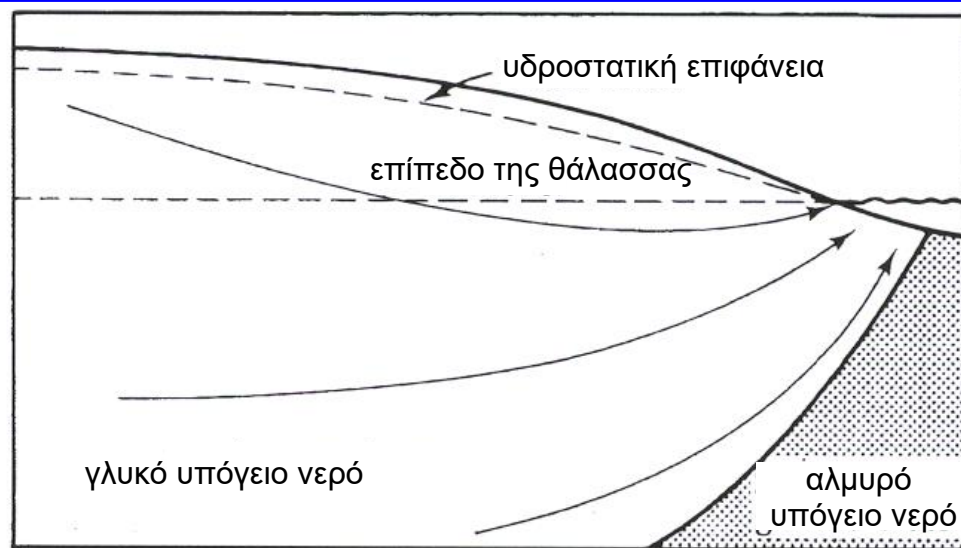
**Φυσικές αλλαγές στη θέση ισορροπίας οφείλονται**

- σε αλλαγές στο κλιματικό πρότυπο ή
- στη θέση του θαλασσίου επιπέδου

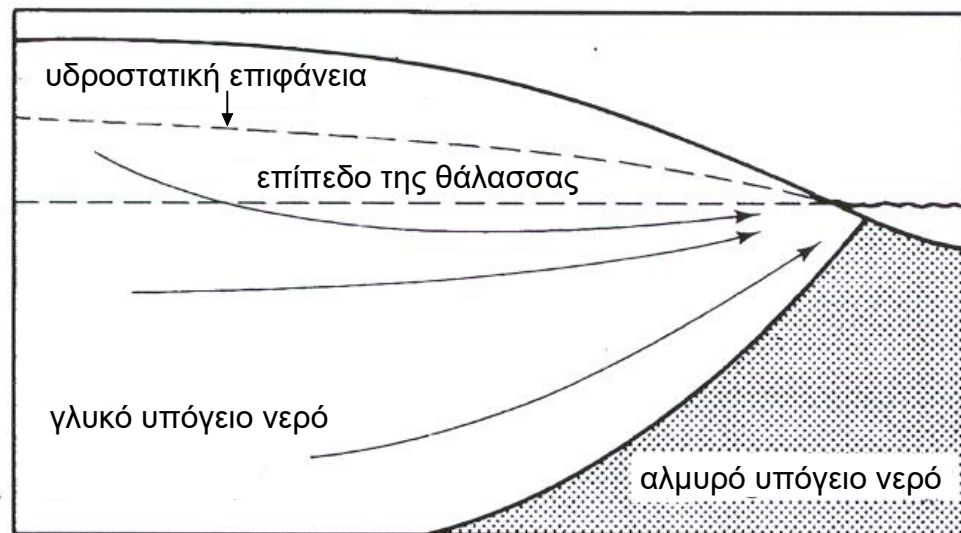
Η διείσδυση είναι παθητική ή ενεργητική  
**Παθητική** είναι η θαλάσσια διείσδυση όταν μια μικρή ποσότητα εκτρέπεται από τον υδροφόρο, η υδραυλική κλίση όμως παραμένει προς την πλευρά του ορίου αλμυρού/γλυκού νερού

Οι συνέπειες της **ενεργητικής** διείσδυσης είναι πολύ πιο σοβαρές, παρατηρείται αναστροφή της φυσικής υδραυλικής κλίσης (επικεντρωμένες υπεραντλήσεις)

η διείσδυση μπορεί να προκληθεί από τη διάνοιξη καναλιών αποστράγγισης για να χαμηλώσει η υδροστατική επιφάνεια.



A



B

## Εικόνα 2

A. Ελευθερος παράκτιος υδροφορέας σε φυσικές συνθήκες εκροής υπόγειου νερού.

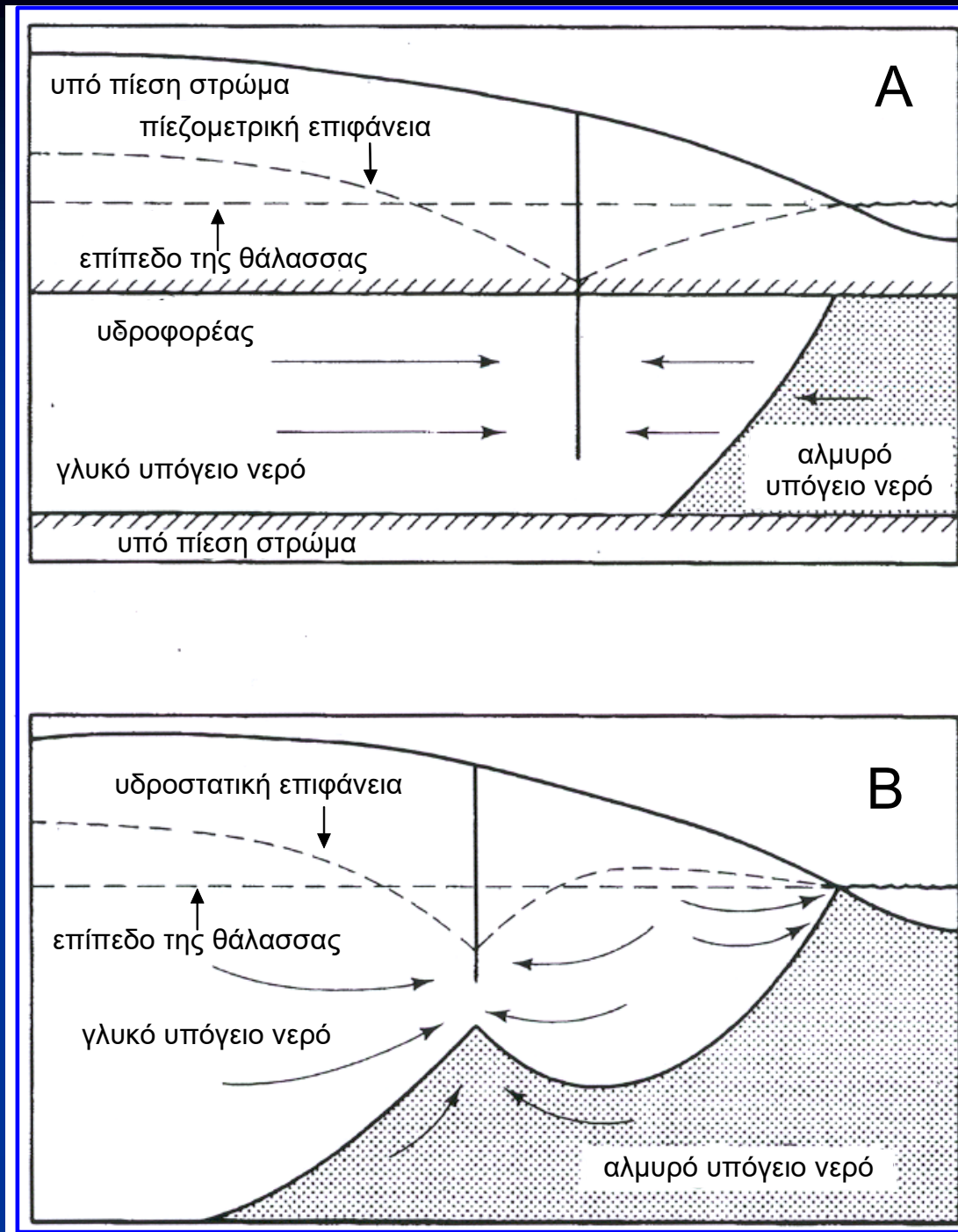
B. Παθητική θαλάσσια διείσδυση που οφείλεται σε γενική υποχώρηση της υδροστατικής στάθμης. Η ροή στη ζώνη του γλυκού νερού έχει ακόμη κατευθυνση προς τη θάλασσα.



### Εικόνα 3

**A.** Ενεργητική θάλασσα διείσδυση σε ένα αρτεσιανό υδροφόρο με την δυναμομετρική επιφάνεια κάτω από το επίπεδο της θάλασσας

**B.** Ενεργητική θάλασσα διείσδυση σε ένα ελεύθερο υδροφόρο με την υδροστατική επιφάνεια κάτω από το επίπεδο της θάλασσας.







## Σχέσεις γλυκού – αλμυρού νερού

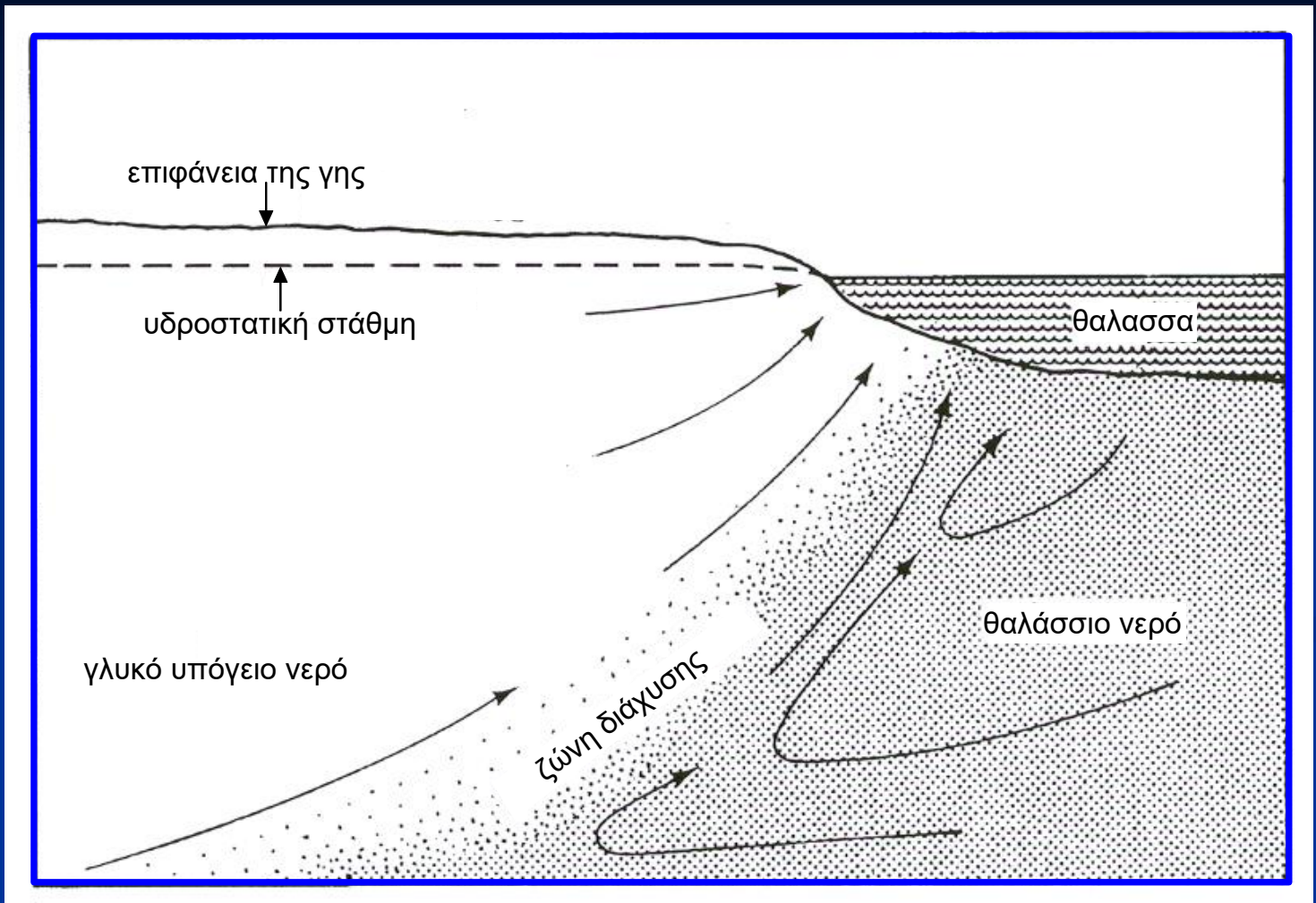
Η διαφορά στην πυκνότητα γλυκού/αλμυρού νερού είναι ιδιαίτερα σημαντική

Υπάρχει μια *απότομη διεπιφάνεια* ανάμεσα στο γλυκό και στο αλμυρό νερό.

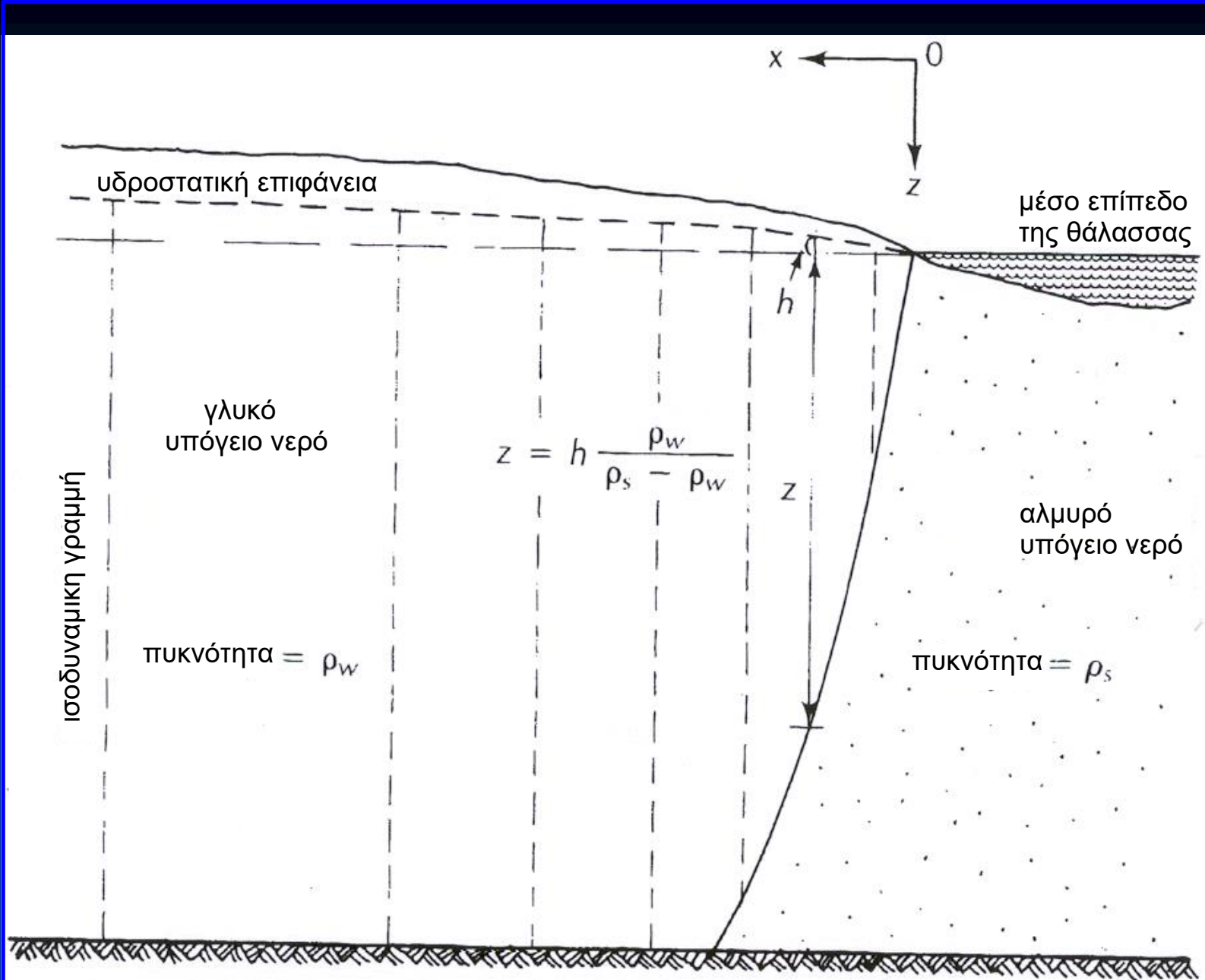
Οι W. Baydon-Ghyben (1888-1889) και A. Herzberg (1901) κατέληξαν στο τέλος του 19ου αιώνα στην **Αρχή των Ghyben-Herzberg**

$$z(x, y) = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} h_{(x, y)}$$

Βασιζόμενοι στο ειδικό βάρος (1.025) του θαλάσσιου νερού, κατέληξαν ότι σε ένα ελεύθερο παράκτιο υδροφορέα το βάθος, στο οποίο εκτείνεται το υπόγειο νερό κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, είναι κατά προσέγγιση 40 φορές το ύψος της υδροστατικής στάθμης πάνω από το επίπεδο της θάλασσας:



**Εικόνα 4** Κυκλοφορία γλυκού και αλμυρού υπόγειου νερού στη ζώνη διάχυσης σε ένα παράκτιο υδροφόρο



Σχήμα 5. Σχέση της στάθμης του γλυκού νερού με το βάθος της διεπιφάνειας

# ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΔΙΕΪΣΔΥΣΗ

Για να σχεδιάσουμε, να κατασκευάσουμε αλλά και να θέσουμε αποτελεσματικά σε λειτουργία ένα φραγμό στη θαλάσσια διεΐσδυση, πρέπει να αξιολογηθούν οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των γεωλογικών, υδρολογικών και οικονομικών συνθηκών.

## Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν:

- ➔ την μετανάστευση του θαλάσσιου νερού μέσω των διαφόρων διαδρομών στους υδροφόρους ορίζοντες
- ➔ τις μεταβολές στις παροχές των παραγωγικών γεωτρήσεων
- ➔ τις μεταβολές στον εποχιακό φυσικό εμπλουτισμό
- ➔ το κόστος και τη διαθεσιμότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του υδραυλικού φραγμού και
- ➔ την ανάλυση κόστους-οφέλους

οι φραγμοί τροποποιούνται για να ανταποκρίνονται στις καινούριες συνθήκες

**Οι μέθοδοι προστασίας των υπόγειων νερών** από την θαλάσσια διείσδυση αποβλέπουν:

- Στην εμπόδιση της πλήρους ή μερικής διαφυγής του γλυκού νερού προς τη θάλασσα.
- Στην αύξηση του υδραυλικού φορτίου του γλυκού νερού
- Στη ρύθμιση των δραστηριοτήτων άντλησης νερού σε ορισμένες ζώνες

**Οι φραγμοί λειτουργούν**

μέσω της δημιουργίας μιας δυναμομετρικής επιφάνειας στους γλυκούς υδροφορείς, η οποία κλίνει προς την πλευρά της θάλασσας

**Οι λύσεις για αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης περιλαμβάνουν:**

- ➔ Μείωση και έλεγχο των αντλήσεων υπόγειου νερού με στόχο να τεθεί φραγμός στο καθεστώς υπερεκμετάλλευσης
- ➔ Χρησιμοποίηση εισαγόμενου νερού για την κάλυψη των απαιτήσεων που δεν ικανοποιούνται από το υφιστάμενο καθεστώς διαχείρισης των υπόγειων νερών
- ➔ Κατασκευή υδραυλικών φραγμών γλυκού νερού πλησίον της ακτής
- ➔ Ένα διαχειριστικό πρόγραμμα για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων
- ➔ Ένα χαμηλότοκο χρηματοδοτικό πρόγραμμα μακρόχρονης διάρκειας
- ➔ Η ύπαρξη υπηρεσίας διαχείρισης των πόρων και της χρηματοδότησης του προγράμματος.

## παράγοντες που εμπλέκονται στο εφαρμόσιμο ή μη μιας μεθόδου

- το απαιτούμενο κεφάλαιο,
- το ετήσιο κόστος των αναγκαίων φυσικών εργασιών (π.χ. γεωτρήσεις, δίκτυα παροχής και κατανομής, υπόγειοι φραγμοί κ.λ.π),
- η διαθεσιμότητα και το κόστος των συμπληρωματικών παροχών,
- το νομικό καθεστώς,
- οι απαιτήσεις σε αποχέτευση και ισορροπία αλάτων,
- οι δυνατότητες συντήρησης πλημμυρικών απορροών, και
- η αποθηκευτική ικανότητα

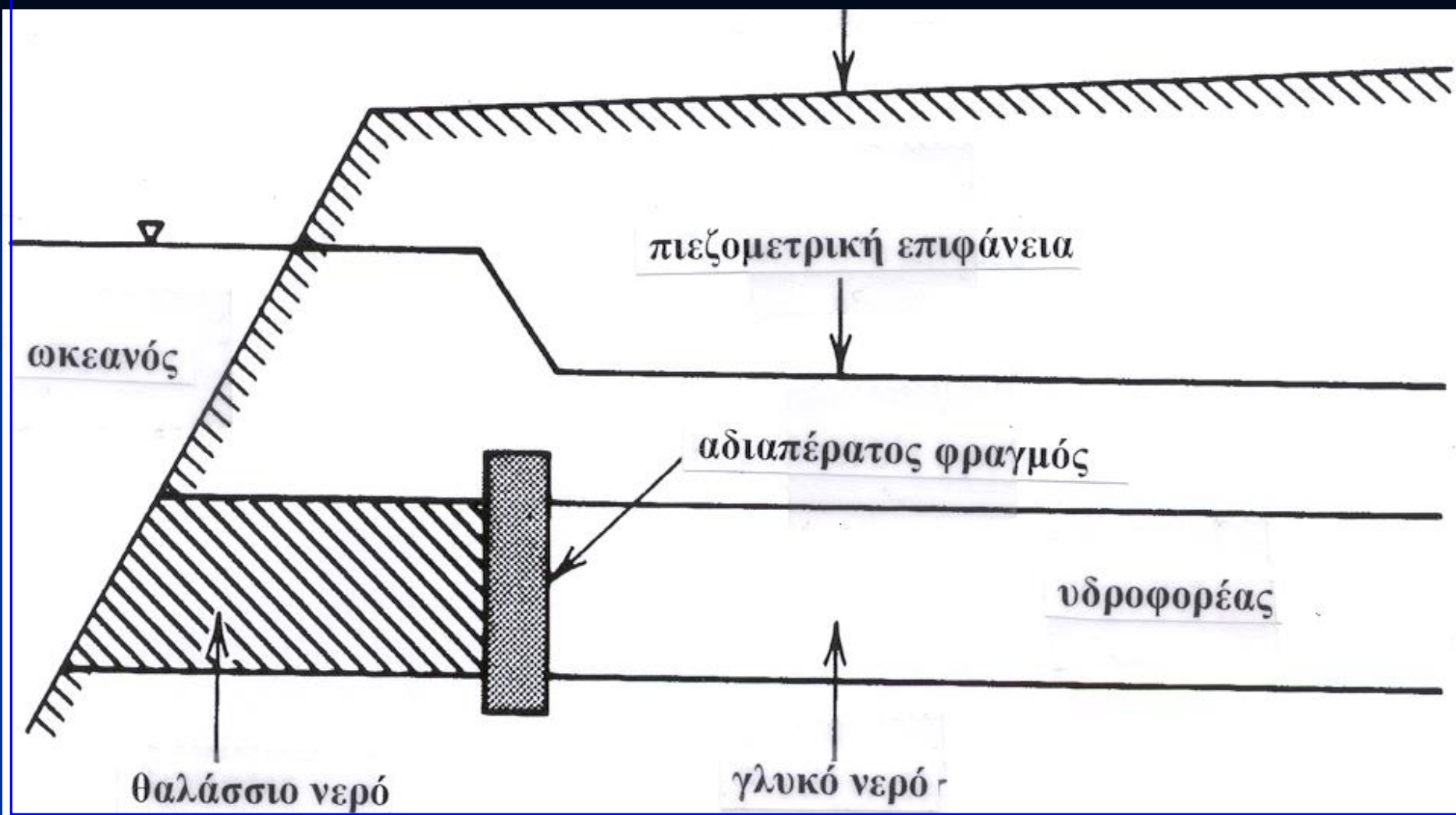


## Το φάσμα των μεθόδων παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης περιλαμβάνει (ASCE, 1987):

- **Μείωση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειου νερού**  
μείωση των αντλήσεων σε ένα προσχεδιασμένο επίπεδο και εφόσον αυτό κριθεί αναγκαίο τροποποίηση του σχεδίου άντλησης
- **Μέθοδος κατάκλυσης (spreading)**  
απαιτεί κατ' αρχήν την ύπαρξη ευνοϊκών φυσικών συνθηκών και την παρουσία πρόσθετης πηγής νερού
- **Υπόγειος φραγμός**  
Φυσική διακοπή της υδραυλικής επικοινωνίας των υδροφόρων με τη θάλασσα τοποθέτηση κάποιου τύπου *αδιαπέρατης μεμβράνης* ανάμεσα στην πηγή του θαλάσσιου νερού και στις αντλούμενες γεωτρήσεις

### **Μειονεκτήματα**

είναι υπαρκτός ο κίνδυνος αύξησης της αλατότητας περικλείουν κατασκευαστικές δυσκολίες και οικονομικά προβλήματα



Σχήμα 8. Έλεγχος της θαλάσσιας διείσδυσης με ένα αδιαπέρατο υποεπιφανειακό φραγμό παράλληλο προς την ακτή



Σχήμα 9. Σχηματικό διάγραμμα ενός υπόγειου φράγματος σε ένα παράκτιο ασβεστόλιθιο σπήλαιο για την παρεμπόδιση της ανάμιξης γλυκού και αλμυρού νερού

## ● **Κοίλωμα άντλησης**

μπορεί να δημιουργηθεί μέσω μιας γραμμής από ελεγχόμενες γεωτρήσεις άντλησης, κατάλληλα διατεταγμένες κατά μήκος της ακτής και τοποθετημένες ανάμεσα στις παραγωγικές γεωτρήσεις και τη διαδρομή του θαλάσσιου νερού.

## ● **Υδραυλικό ύβωμα**

Η θαλάσσια διείσδυση μπορεί να αναστραφεί μέσω έντονου εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα, δημιουργώντας έτσι ένα ύβωμα στη δυναμομετρική επιφάνεια του υπόγειου νερού.

Μια σειρά από πεδία κατάκλυσης (spread ground) ή από γεωτρήσεις έγχυσης ή ένας συνδυασμός των δύο,

Πολύ αποτελεσματικός αποδείχθηκε ο τύπος της μεθόδου που συνδυάζει ένα υδραυλικό ύβωμα με ένα κοίλωμα άντλησης

## ● Δημιουργία υβώματος με τη χρήση γεωτρήσεων έγχυσης

μια *συστοιχία από γεωτρήσεις εμπλουτισμού*, διευθετημένες κατάλληλα και παράλληλα προς την ακτή, έχει συνδυασμένη επίδραση στη φυσική ροή, επιτρέποντας μια ομοιόμορφη υποχώρηση της αρχικής σφήνας του αλμυρού νερού.

προϋποθέτει ικανοποιητική γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών

Τα *κρίσιμα σημεία ελέγχου* είναι αυτά που βρίσκονται στη μέση περίπου της απόστασης ανάμεσα στις γεωτρήσεις έγχυσης

*ίδιες εξισώσεις* - χρησιμοποίηση θετικών προσήμων

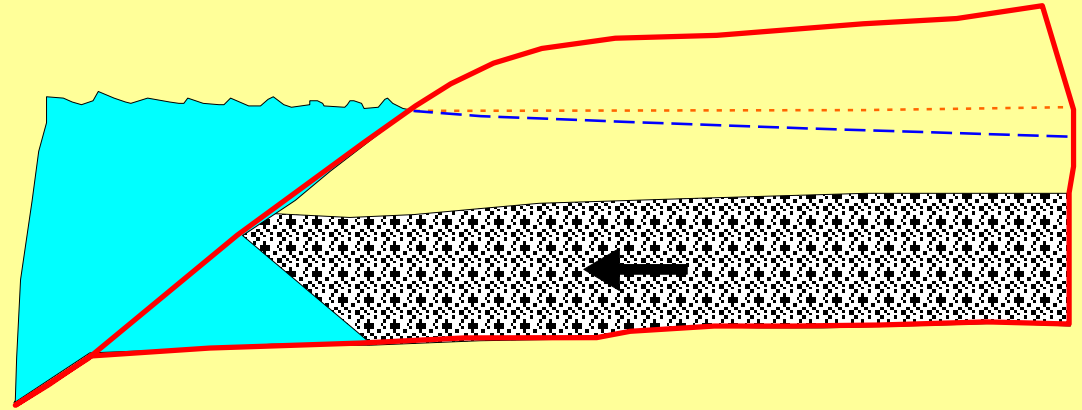
## West Coast Basin, Dominguez Gap και Alamitos





- παράδειγμα εφαρμογής περιβαλλοντικού σχεδίου διεθνούς σημασίας
- το μεγαλύτερο σύστημα φραγμών στη θάλασσα διείσδυση σε όλη τη Βόρεια Αμερική πρότυπο αντιμετώπισης της θάλασσας διείσδυσης
- $38.646 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  εισαγόμενου νερού εγχύθηκαν και εμπλούτισαν τους υδροφόρους κατά το 1992-93.
- Η ποσότητα που προστατεύεται είναι πάνω από  $234.27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
- επιβεβαιωμένη μέγιστη ποσότητα που μπορεί να αντληθεί τα  $347.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ .

## Σχήμα 10

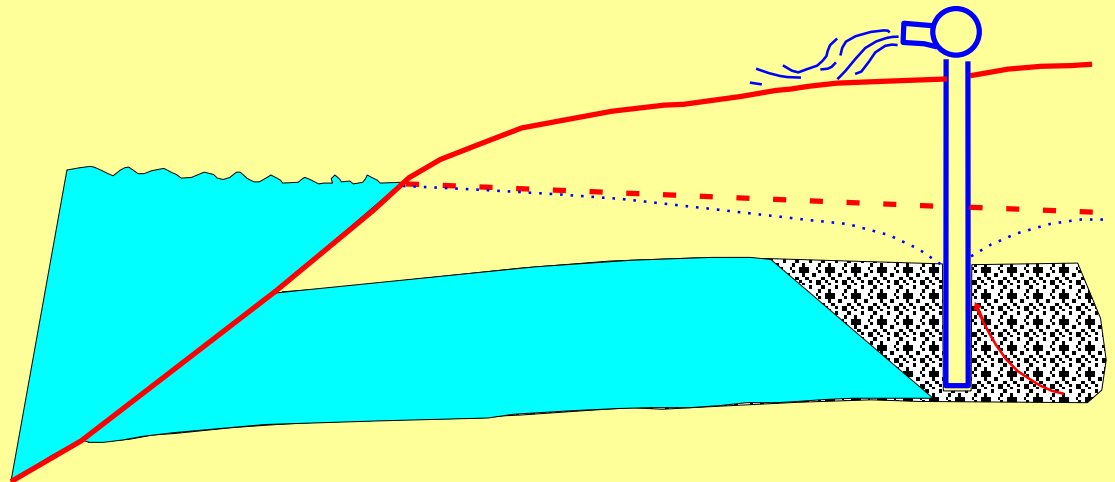
α Υπό πίεση παράκτιος υδροφορέας χωρίς διείσδυση της θάλασσας

β Υπό πίεση παράκτιος υδροφορέας με διείσδυση της θάλασσας

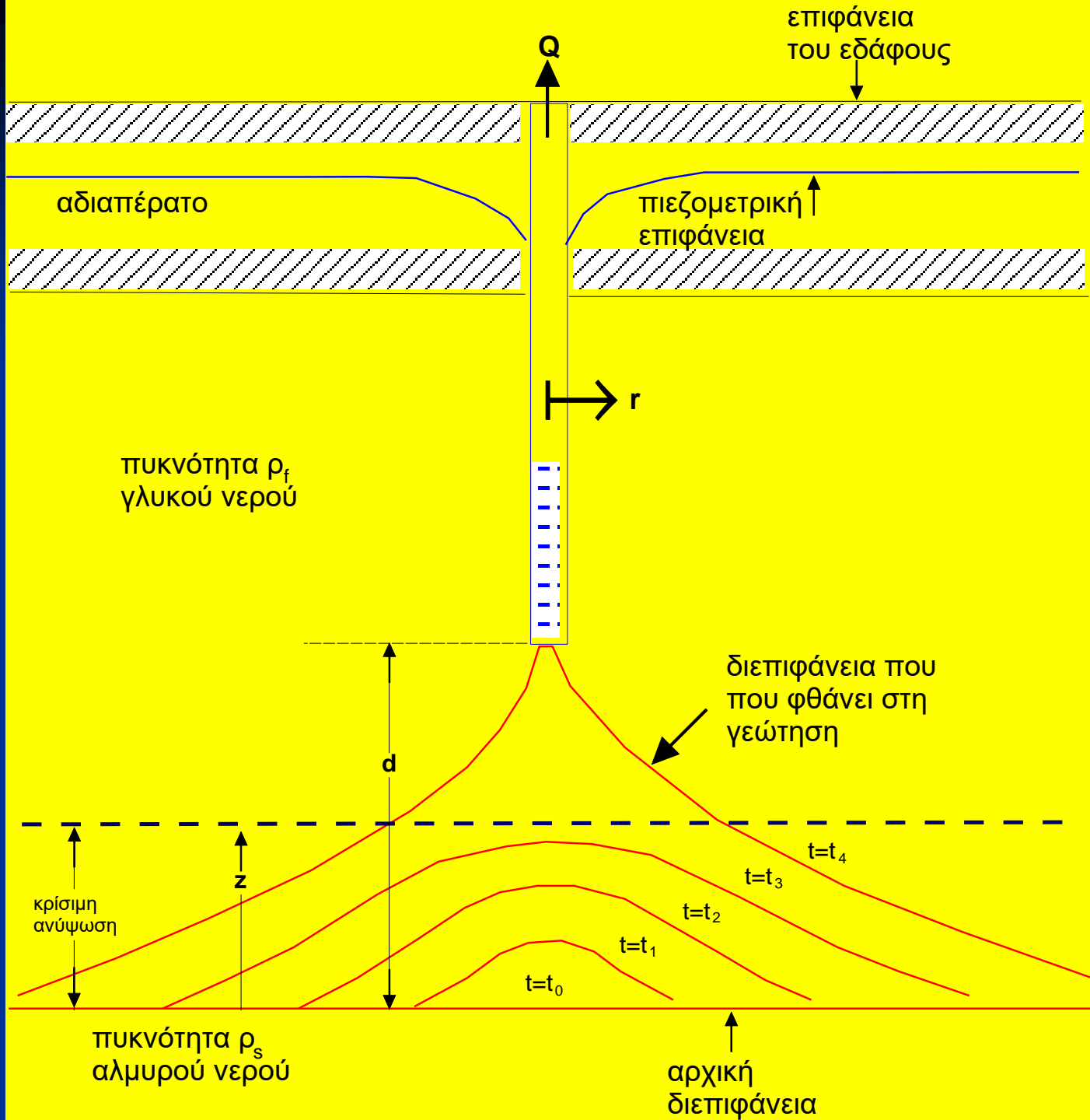


-  θαλάσσιο νερό
-  γλυκό νερό
-  επίπεδο της θάλασσας
-  πιεζομετρική επιφάνεια

Υπό πίεση υδροφορέας χωρίς θαλάσσια διείσδυση



Υπό πίεση υδροφορέας με θαλάσσια διείσδυση



Επιφάνεια του εδάφους

$Q$

αδιαπέρατο

Πιεζομετρική  
επιφάνεια

$r$

Πυκνότητα  $\rho_f$   
γλυκού νερού

Διεπιφάνεια που φθάνει στη γεώτηση

$d$

κρίσιμη ανύψωση

$z$

$t=t_4$

$t=t_3$

$t=t_2$

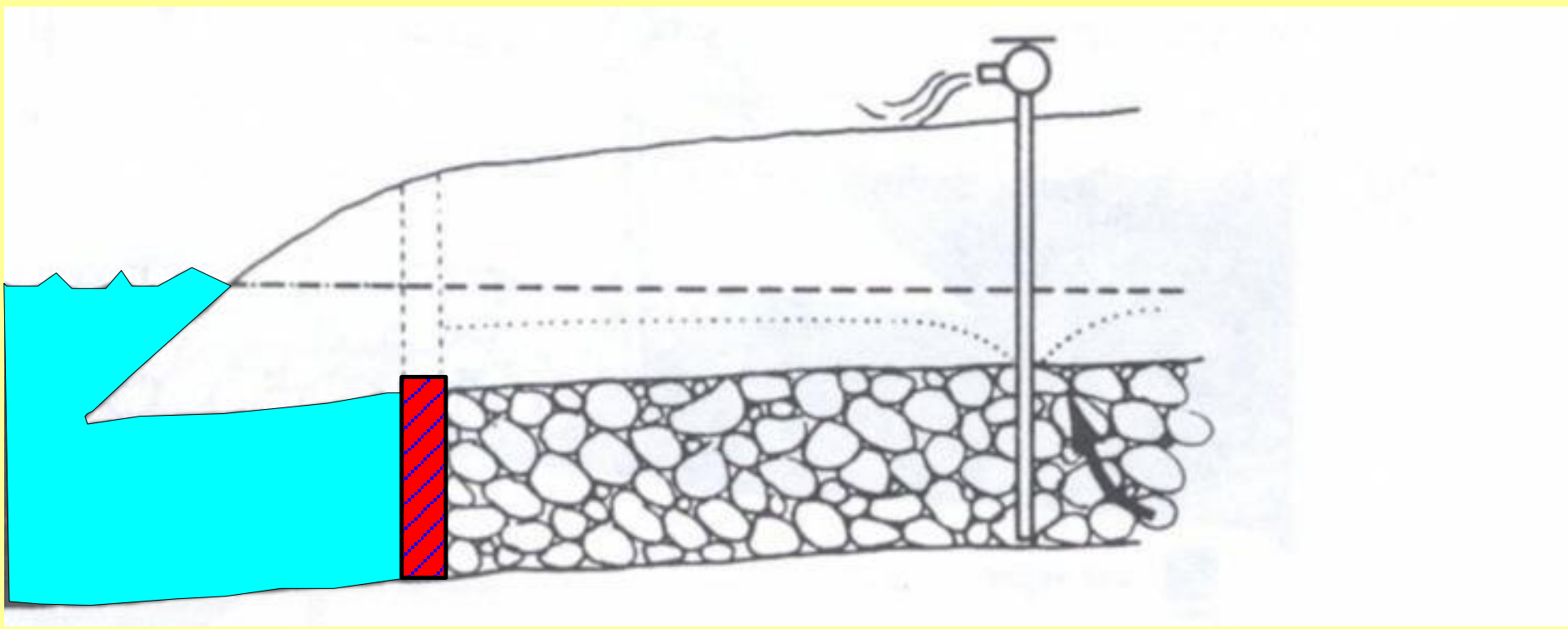
$t=t_1$

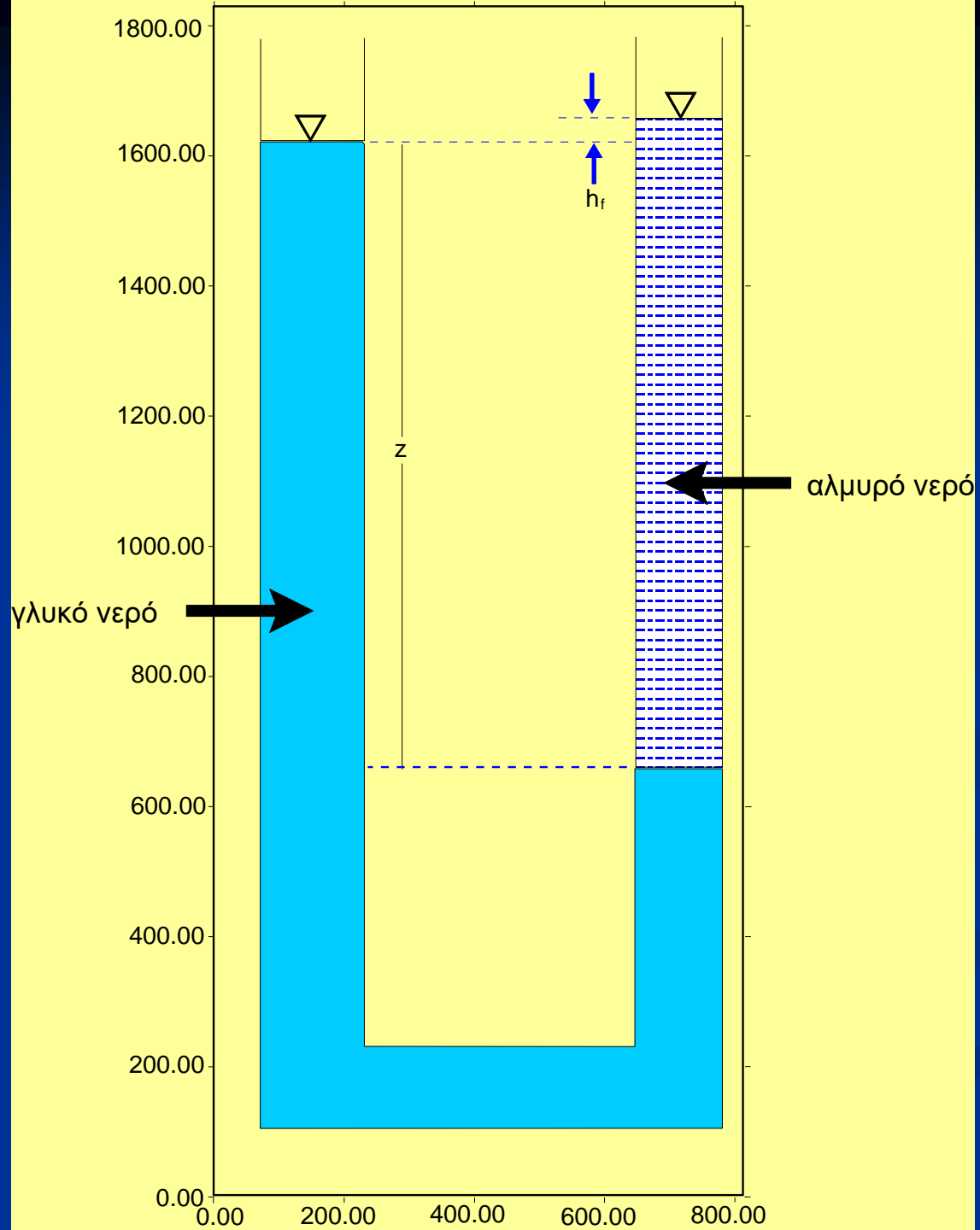
$t=t_0$

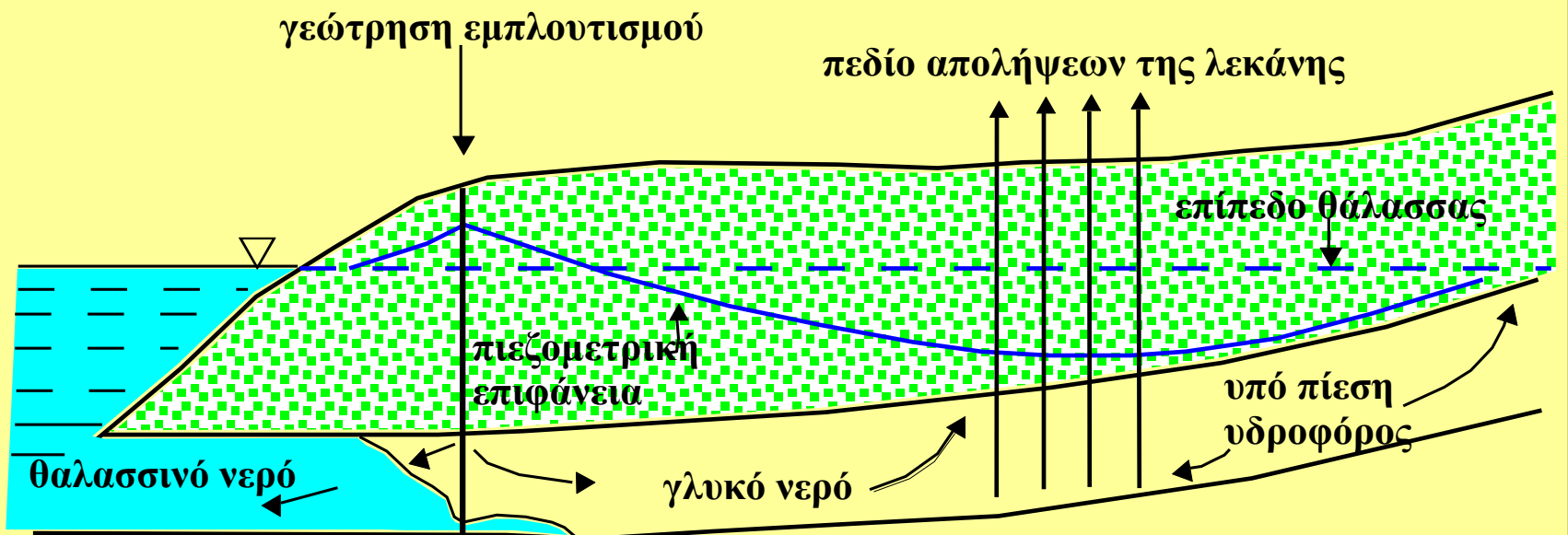
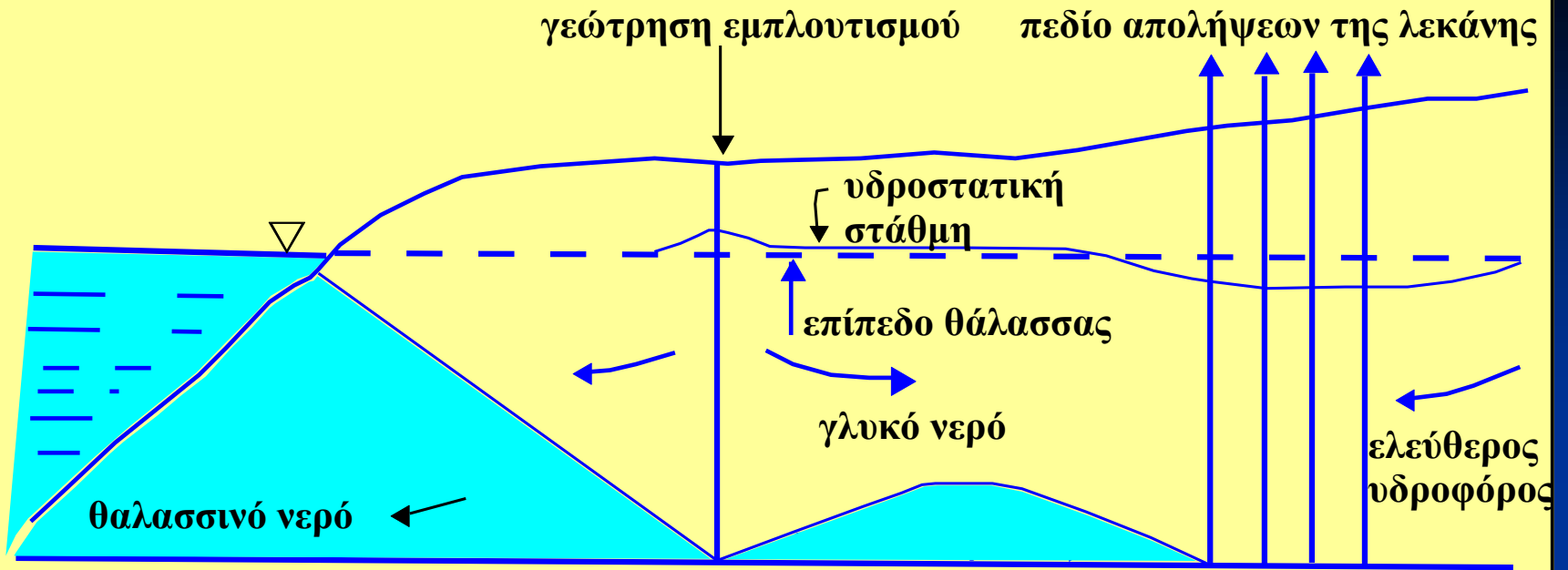
Πυκνότητα  $\rho_s$   
αλμυρού νερού

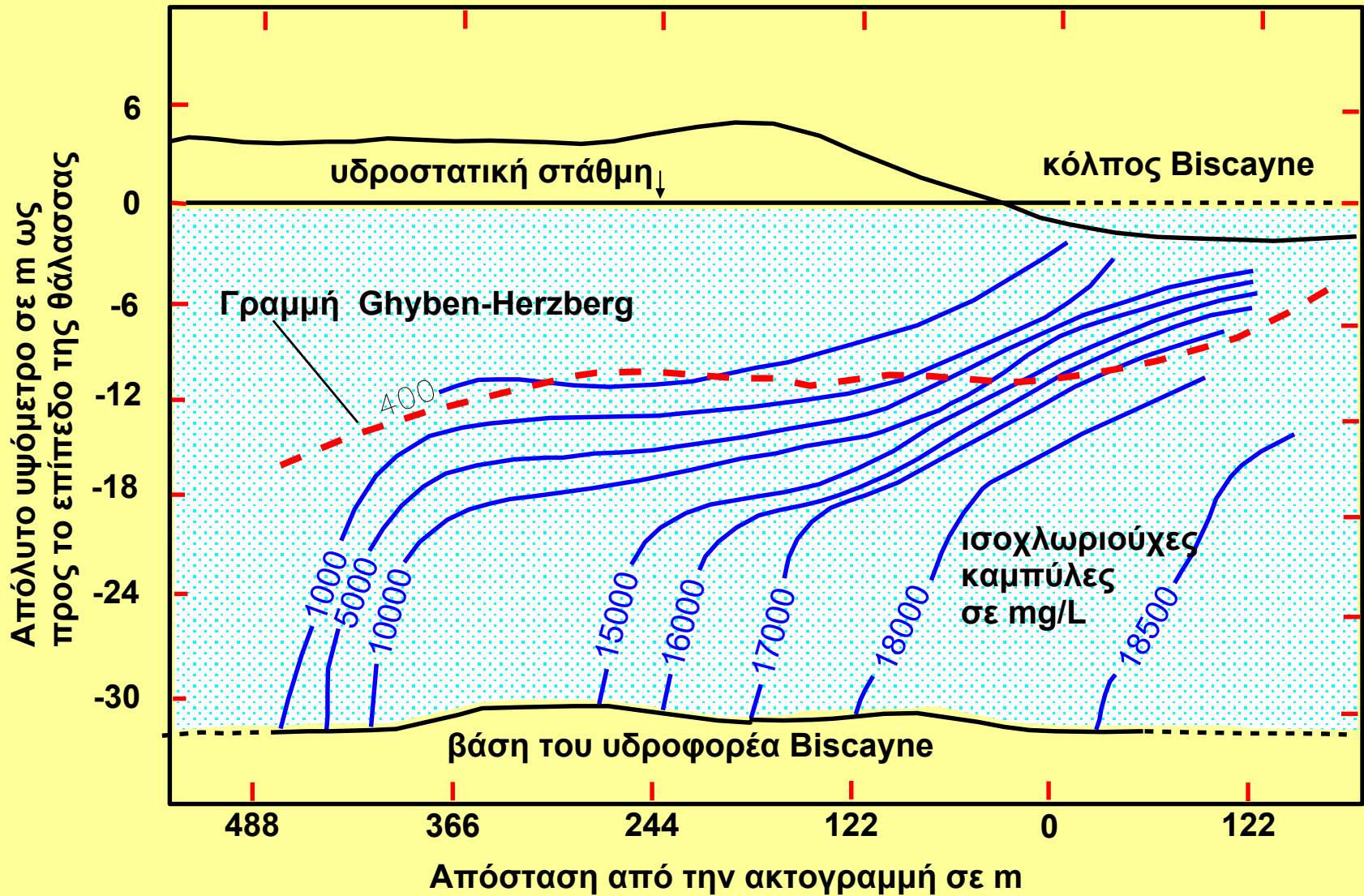
αρχική διεπιφάνεια











Ζώνη διάχυσης στον κόλπο Biscayne (τροποποιήθηκε από τον Kohout, 1960)

# Χρήσιμες χημικές και φυσικοχημικές παράμετροι στη μελέτη της διείσδυσης της θάλασσας

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης συνδέεται άμεσα με την αποσαφήνιση του καθεστώτος αλμύρινης.

Δηλαδή θα πρέπει πρώτα να αποκλείσουμε άλλες αιτίες αλμύρινης των υπόγειων νερών πριν στραφούμε στην αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης.

Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν ιδιαίτερα η χρησιμοποίηση παραμέτρων όπως:

1. η αλμυρότητα - ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC),
2. τα Περιβαλλοντικά ισότοπα,
3. ο **λόγος  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$**  είναι:
  - για το θαλασσινό νερό = 297
  - σε υπολείματα νερού της θάλασσας που εξατμίστηκε (υπεράλμυρες αλμύρες) < 297
  - στη Νεκρά θάλασσα = 40
  - σε προϊόντα διάλυσης εβαποριτών > 1000
  - σε εκροές υγρών αποβλήτων μέχρι 800
  - σε επιστροφές άρδευσης είναι χαμηλός

## Λόγος $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ ,

• η σχέση αυτή σε διεισδύον νερό της θάλασσας είναι χαμηλότερη εκείνης του νερού της θάλασσας (π.χ.  $< 0.86$ , molar ratio)

• Η σχέση αυτή είναι  $>1$  σε αστικά υγρά απόβλητα

## Λόγοι $\text{Ca}/\text{Mg}$ και $\text{Ca}/(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$

σε διεισδύον νερό της θάλασσας είναι  $> 1$

4. η βασική σύνθεση των υπόγειων νερών σε  $\text{Cl}^-$

5. Η γραμμική συσχέτιση  $\delta\text{D}$  με  $^{18}\text{O}$  ή  $\text{Cl}$  με  $^{18}\text{O}$  κατά την ανάμιξη νερού της θάλασσας με γλυκό υπόγειο νερό έχει διαφορετική κλίση σε αλμύριση που προκαλείται από άλλες πηγές (επιστροφές άρδευσης ή υγρά απόβλητα)

**Τα ισότοπα βορίου.** Οι τιμές του  $\delta^{11}\text{B}$  σε διεισδύον νερό της θάλασσας κυμαίνεται από 30‰ μέχρι την τιμή του νερού της θάλασσας ( $\delta_{11}\text{B}=39‰$ ), σε υπόγεια νερά που ρυπάνθηκαν από υγρά απόβλητα  $\delta^{11}\text{B}= 5- 25‰$

6. τα διαγράμματα Piper και Durov και

7. η Βηματική διακριτική ανάλυση

## Μοντέλα προσομοίωσης της θαλάσσιας διείσδυσης.

Το πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης μπορεί να διατυπωθεί με τη μορφή δύο μερικών διαφορικών εξισώσεων:

- Η πρώτη εξίσωση χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ροής ρευστών ποικίλης πυκνότητας (μίγμα αλμυρού και γλυκού νερού)
- Η δεύτερη εξίσωση χρησιμοποιείται για να περιγράψει την μεταφορά των διαλυμένων αλάτων

Ελάχιστες μελέτες έχουν προσπαθήσει να περιγράψουν την ταυτόχρονη παρουσία ροής μεταβλητής πυκνότητας, μεταφοράς σε διάλυση και γεωχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα.

### προσομοίωση της θαλάσσιας διείσδυσης από τον Essink (1999)

αναφέρεται σε τροποποίηση και συνδυασμό γνωστών κωδικών όπως ο κωδικός MOC3D κατάλληλος για την προσομοίωση διαφορών στην πυκνότητα και ο ευρέως αποδεκτός κωδικός προσομοίωσης της υπόγειας ροής MODFLOW

Στην ιδιαίτερη δυσκολία προσομοίωσης τέτοιων συστημάτων συντελούν και η απουσία βασικών δεδομένων. Σπανίζουν τα υδραυλικά και γεωχημικά δεδομένα πεδίου που αναφέρονται σε δυναμικά τρισδιάστατα μέτωπα θαλάσσιας διείσδυσης.

# Διαχείριση παράκτιων υδροφόρων

Τέσσερες τεχνικές συνιστώσες είναι αναγκαίες για την κατάλληλη διαχείριση των υπόγειων υδατικών πόρων σε σχέση με τη θαλάσσια διείδυση.

## Μετρήσεις:

Ο χαρακτηρισμός των υπαρχουσών συνθηκών έτσι ώστε να υπάρξει επαρκής κατανόηση τόσο και των υδρογεωλογικών συνθηκών και ένας αξιόπιστα λεπτομερής χωρικός χαρακτηρισμό της διεπιφάνειας αλμυρού/ γλυκού νερού

## Παρακολούθηση:

Η εγκαθίδρυση ενός προγράμματος παρακολούθησης το οποίο θα παρακολουθεί τις συνθήκες και θα παρέχει μια αξιόπιστα ασφαλή εκτίμηση των αλλαγών στην διεπιφάνεια αλμυρού/ γλυκού νερού με το χρόνο.

## Προσομοίωση:

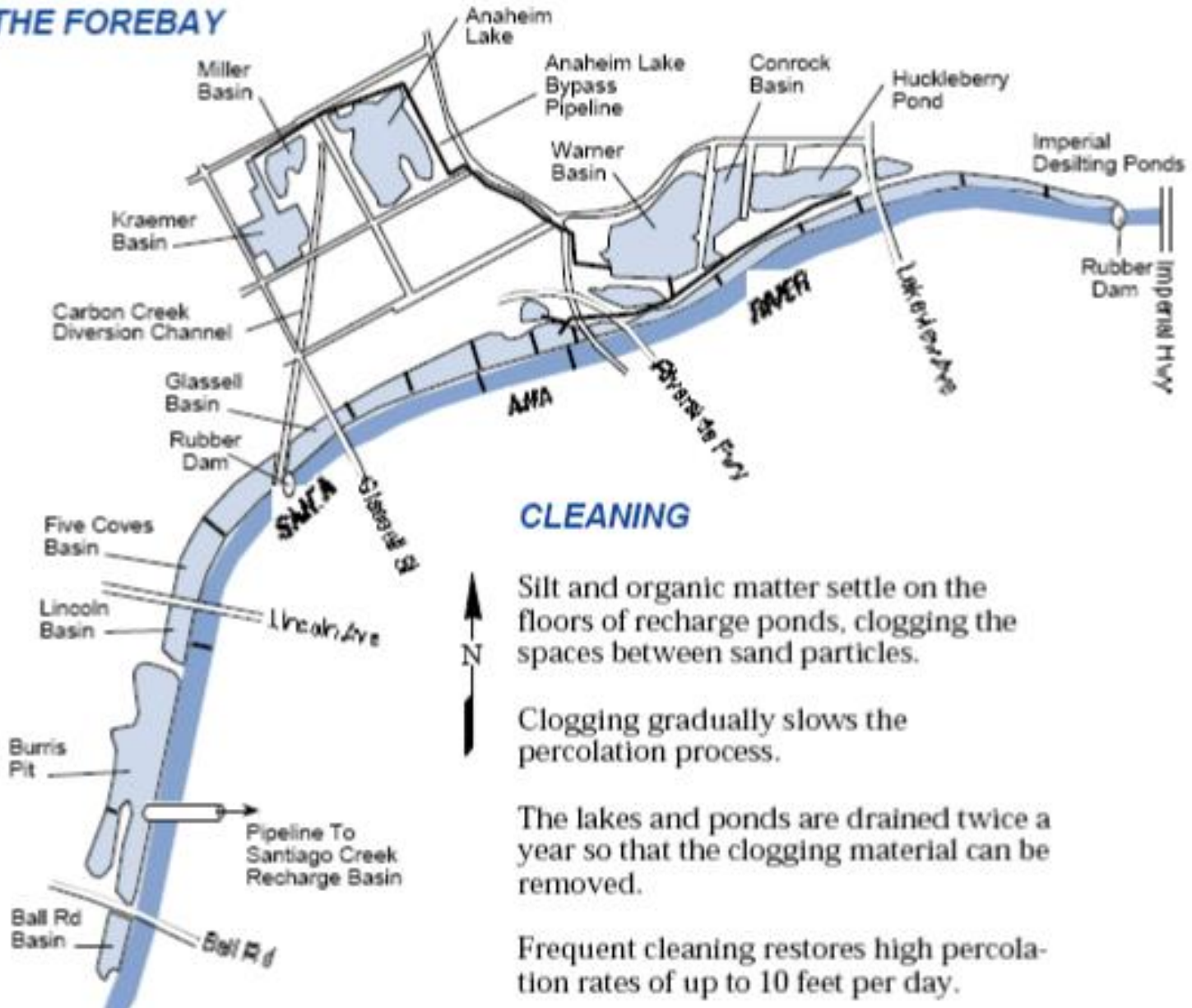
θα παράσχει τη μακράς διάρκειας συμπεριφορά της διεπιφάνειας αλμυρού/γλυκού νερού ως απόκριση του συστήματος στις αλλαγές στον πληθυσμό, στις χρήσεις γης, στις βροχοπτώσεις και στις άλλες δραστηριότητες που επιδρούν στο υπόγεια νερά.

## Τροποποίηση:

Είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα των προβλέψεων του Μοντέλου, για να τροποποιηθούν οι αντλήσεις και ο έλεγχος της απορροής ή να θεωρηθεί η επανέγχυση των λυμάτων για τη διατήρηση της στάθμης του υπόγειου νερού και για την παρεμπόδιση παραέρα προώθησης του αλμυρού νερού.



## THE FOREBAY



## CLEANING

Silt and organic matter settle on the floors of recharge ponds, clogging the spaces between sand particles.

Clogging gradually slows the percolation process.

The lakes and ponds are drained twice a year so that the clogging material can be removed.

Frequent cleaning restores high percolation rates of up to 10 feet per day.





*District crews clean the recharge basins twice yearly in order to improve percolation rates. The water that seeps through the bottom of these lakes and ponds replenishes aquifers that supply about 500 wells.*



*As much as 300 acre-feet of water can percolate through the walls of Santiago Basin in one day's time. The newest of OCWD's recharge basins, this site was formerly a gravel pit.*





**Εγκατάσταση ακαριαίας απόσταξης πολλαπλών βαθμίδων**

## Οικονομικά ( 120 χώρες)

**η επακριβής προσέγγιση του κόστους** των εγκαταστάσεων δεν είναι εφικτή

το *ύψος των απαιτούμενων κεφαλαίων* και το *λειτουργικό κόστος* της αφαλάτωσης *τείνει να μειωθεί με το χρόνο*

το *κόστος απόληψης και επεξεργασίας νερού από συμβατικές πηγές* *τείνει να αυξηθεί* - συμμόρφωση σε περισσότερο αυστηρά σταθερότυπα ποιότητας και αποτέλεσμα της αυξημένης ζήτησης

*παράγοντες που υπεισέρχονται στο λειτουργικό κόστος και στα απαιτούμενα κεφάλαια για την αφαλάτωση:*

- Δυναμικό παραγωγής και τύπος των εγκαταστάσεων
- Θέση εγκατάστασης
- Νερό τροφοδοσίας
- Εργατικά χέρια
- Ενέργεια
- Χρηματοδότηση
- Διάθεση αποβλήτων
- Αξιοπιστία της εγκατάστασης

## *κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού*

είναι 3 ως 5 φορές μεγαλύτερο από το κόστος αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού σε εγκαταστάσεις ίδιου μεγέθους

**τελευταία δεκαετία**, σε περιοχές των ΗΠΑ, το οικονομικό κόστος της αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού έχει γίνει μικρότερο από την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων συμβατικώς επεξεργασμένου νερού με μεγάλου μήκους αγωγούς

**1990** το συνολικό κόστος παραγωγής νερού, σε *συστήματα υφάλμυρου νερού* στις ΗΠΑ με δυνατότητες από 4000 έως 40000 m<sup>3</sup>/d, από **0.25 \$-0.60 \$/m<sup>3</sup>**

*εγκαταστάσεις θαλασσινού νερού* με δυνατότητες τάξης των 4000 έως 20000 m<sup>3</sup>/d κόστος από **1 έως 4\$/m<sup>3</sup>**

- η θέση και η χώρα εγκατάστασης θα επηρεάσουν οπωσδήποτε το πραγματικό κόστος όπως και το
- κόστος του αφαλατωμένου νερού σε σχέση με αυτό του νερού από άλλες εναλλακτικές.

*Σε πολλές χώρες με έλλειψη νερού*, το κόστος του νερού από εναλλακτικές πηγές είναι ήδη πολύ υψηλό και συχνά μεγαλύτερο από το κόστος του νερού από αφαλάτωση.



## *Αφαλατωμένο νερό*

κύρια πηγή δημοτικών συστημάτων παροχής νερού σε πολλές περιοχές της Καραϊβικής, της Βόρειας Αφρικής και της Μέσης Ανατολής

*Η χρησιμοποίηση τεχνολογιών αφαλάτωσης, ιδιαίτερα ελαφρώς υφάλμυρων νερών αυξάνει ραγδαίως*

*Δεν υπάρχει καμία “**πιό καλή μέθοδος**” αφαλάτωσης*

*απόσταξη και RO* χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση του θαλασσινού νερού

*RO και ηλεκτροδιάλυση* χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού

## *επιλογή της διαδικασίας*

εξαρτάται από την προσεκτική μελέτη των συνθηκών στη θέση εγκατάστασης και την άμεση εφαρμογή της

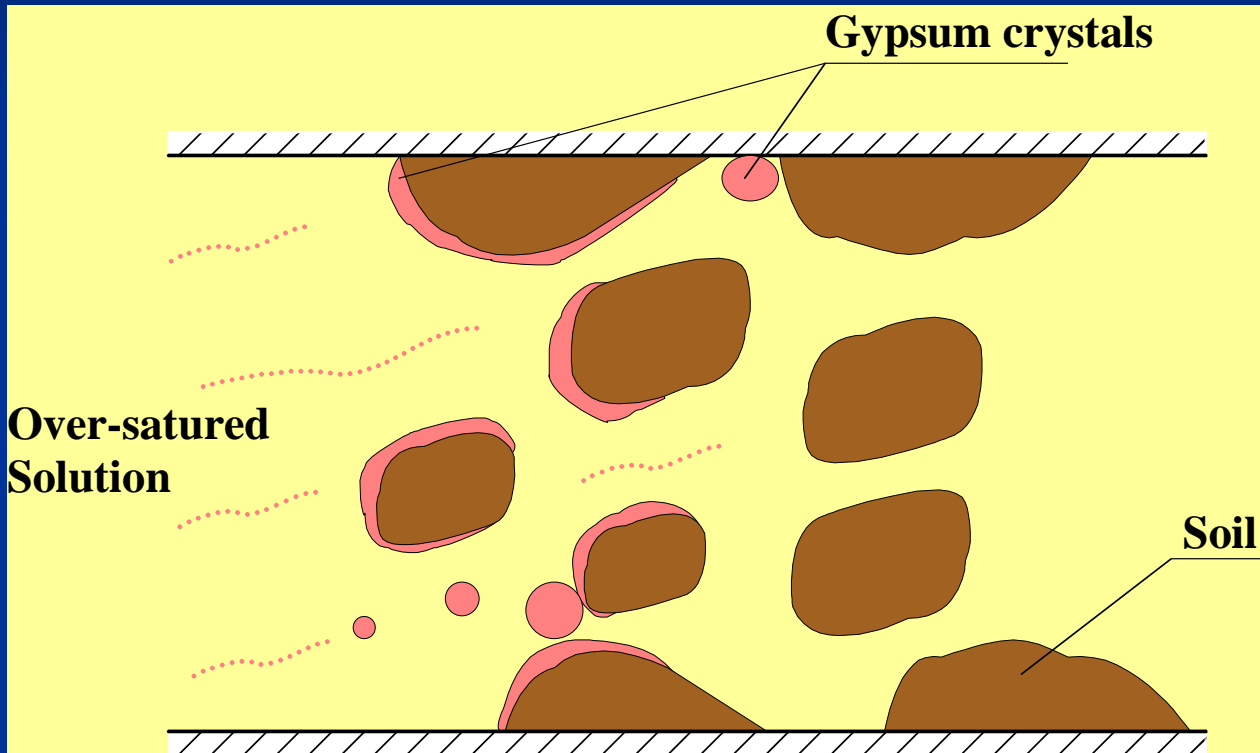
*Οι τοπικές συνθήκες* μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της πιο κατάλληλης διαδικασίας για την περιοχή



**Εγκατάσταση ακαριαίας απόσταξης πολλαπλών βαθμιδών**

# Προσομοίωση μικρο- και μακρο- κλίμακας της κρυστάλλωσης γύψου στο πορώδες υλικό

Τα πορώδη μέσα μπορεί να φραχθούν ερμητικά μέσω πρόκλησης σχηματισμού κρυστάλλων μέσα στο πορώδες υλικό



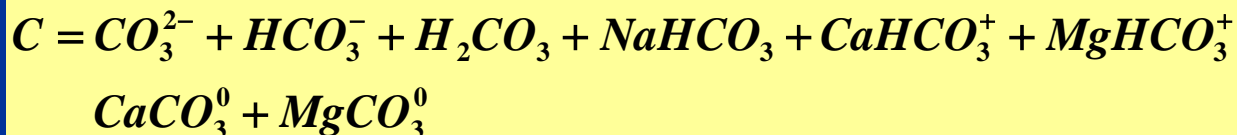
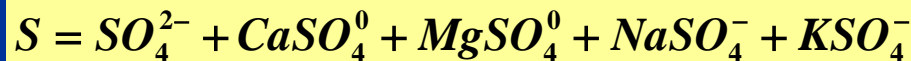
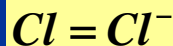
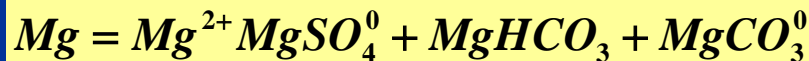
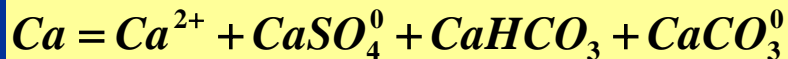
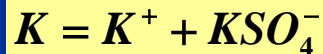
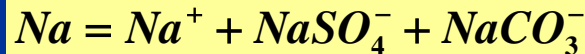
Έγχυση ενός υπερκορεσμένου σε γύψο διαλύματος. Το διάλυμα αναμιγνύεται με το νερό της θάλασσας και πραγματοποιείται κρυστάλλωση και καθίζηση γύψου που μπορεί να παρατηρηθεί κατά την αντίδραση θειϊκών όντων με ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{++}$ ).

## Χημικές σχέσεις

Στην περίπτωση της καθίζησης γύψου που οφείλεται στην έγχυση ενός υπερκορεσμένου διαλύματος, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στη ρευστή φάση μπορούν να αναγνωριστούν 20 χημικές ουσίες:

$Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $H^+$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $H_2CO_3$ ,  $NaSO_4^-$ ,  $KSO_4^-$ ,  $CaSO_4^0$ ,  $MgSO_4^0$ ,  $NaHCO_3^0$ ,  $CaHCO_3^+$ ,  $MgHCO_3^+$ ,  $NaCO_3^-$ ,  $CaCO_3^0$ , και  $MgCO_3^0$ .

Οι παραπάνω ουσίες μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση τα ακόλουθα επτά στοιχεία Na, K, Ca, Mg, Cl, S and C, όπου:



# Διαδικασία κρυστάλλωσης

## Επιδράσεις ανασταλτικών παραγόντων

Οποιαδήποτε ουσία εκτός του υλικού κρυστάλλωσης μπορεί να θεωρηθεί ως “πρόσμιξη” (*impurity*)

Οι προσμίξεις μπορούν να επηρεάσουν ποικιλοτρόπως τους ρυθμούς ανάπτυξης κρυστάλλων

Αυτές μπορούν να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά προσρόφησης του προσροφόντος στρώματος στη διεπιφάνεια κρυστάλλου – διαλύματος και να επηρεάσουν την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των κρυσταλλικών μονάδων

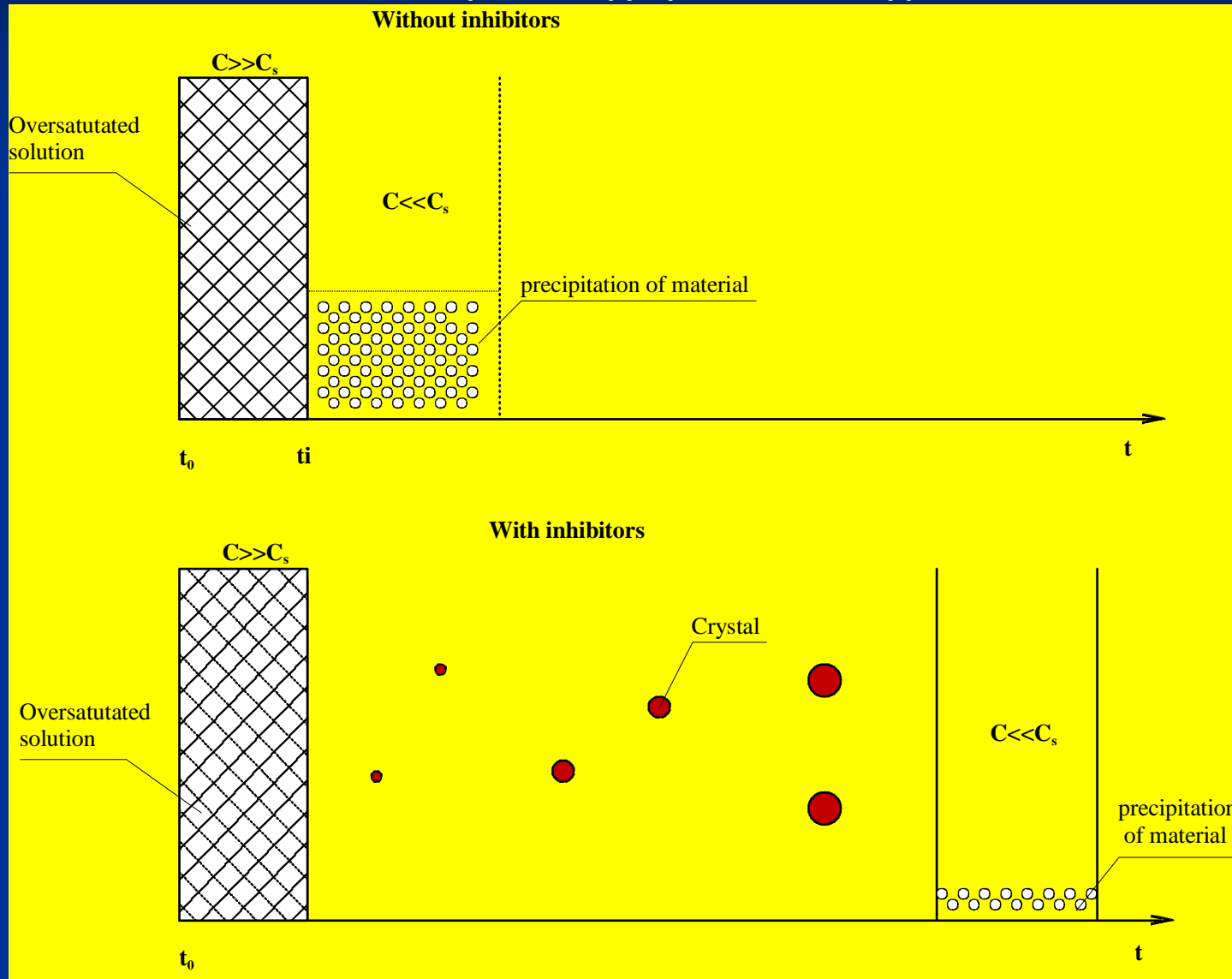
Αυτές μπορούν να ενσωματωθούν στον κρύσταλλο, ειδικά όταν υπάρχει κάποιος βαθμός ομοιότητας του πλέγματος

Οι προσμίξεις συχνά προσροφώνται επιλεκτικά σε διάφορες κρυσταλλικές έδρες και επιβραδύνουν τους ρυθμούς ανάπτυξης.

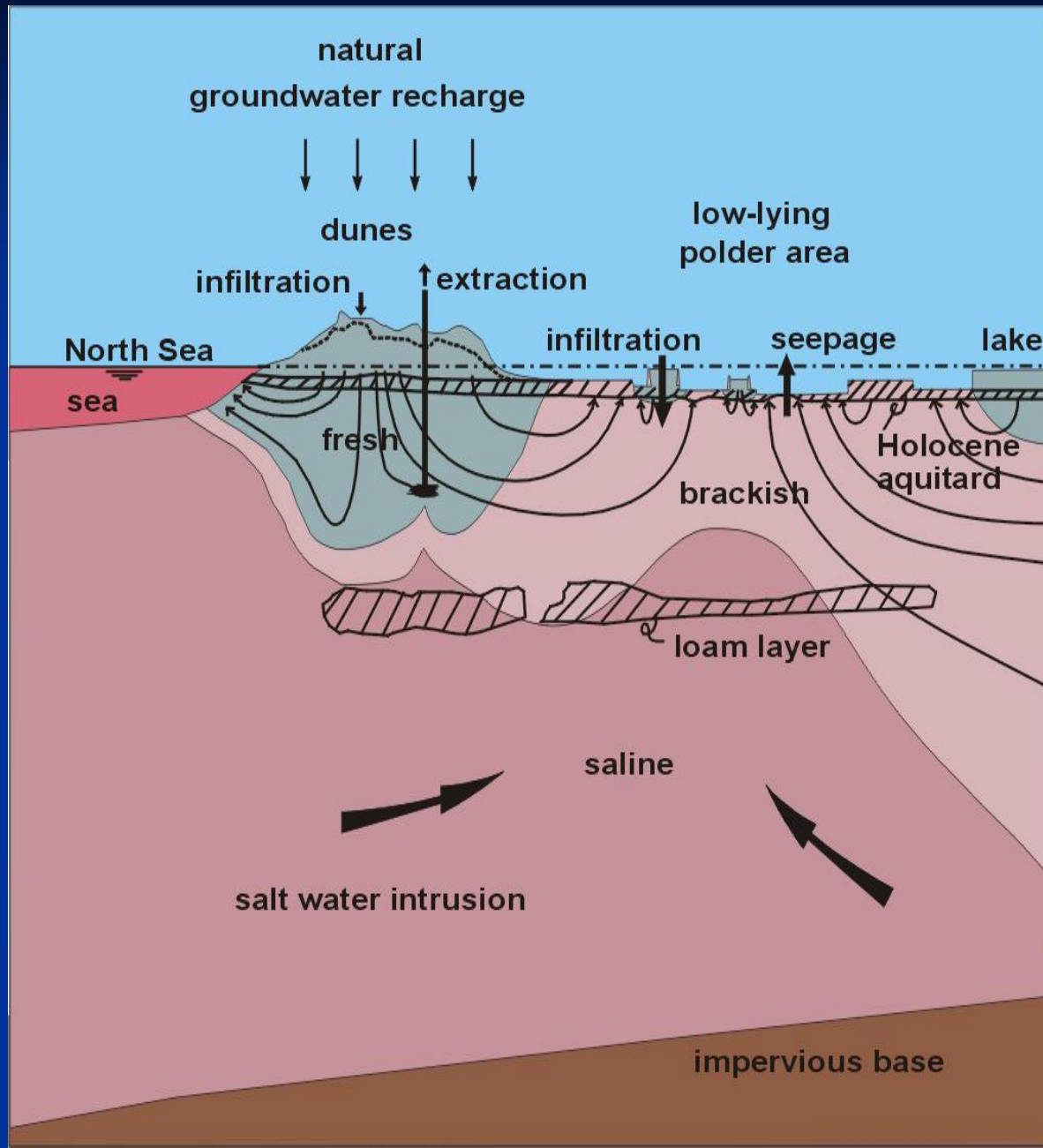
Η επίδραση της επιβράδυνσης από την πρόσμιξη, δεν είναι απαραίτητο να συμπεριλάβει όλη τη κρυσταλλική έδρα

# Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης των ανασταλτικών παραγόντων στη διαδικασία κρυστάλλωσης

Κατά την ανάπτυξη των κρυστάλλων συμβαίνει προσρόφηση χημικών από τον νέο κρύσταλλο, γι' αυτό μειώνεται η συγκέντρωση των ανασταλτικών παραγόντων κατά την διάρκεια της κρυστάλλωσης.



# Διείσδυση αλμυρού νερού στην Ολλανδία



## Ανθρωπογενείς αιτίες:

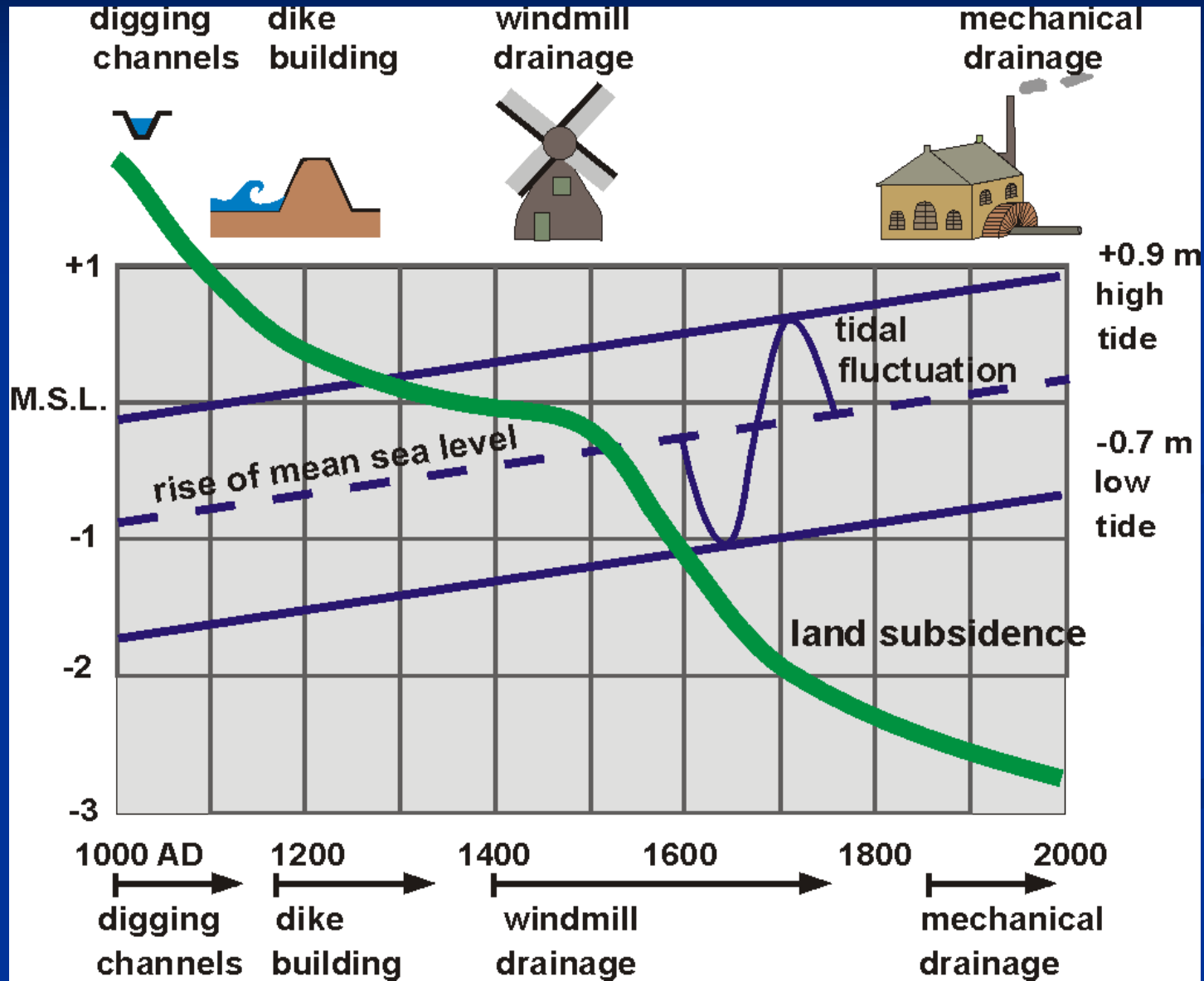
- Καθίζηση εδάφους
- απολήψεις υπόγειου νερού

## Μελλοντικές εξέλιξη (κλιματικές αλλαγές):

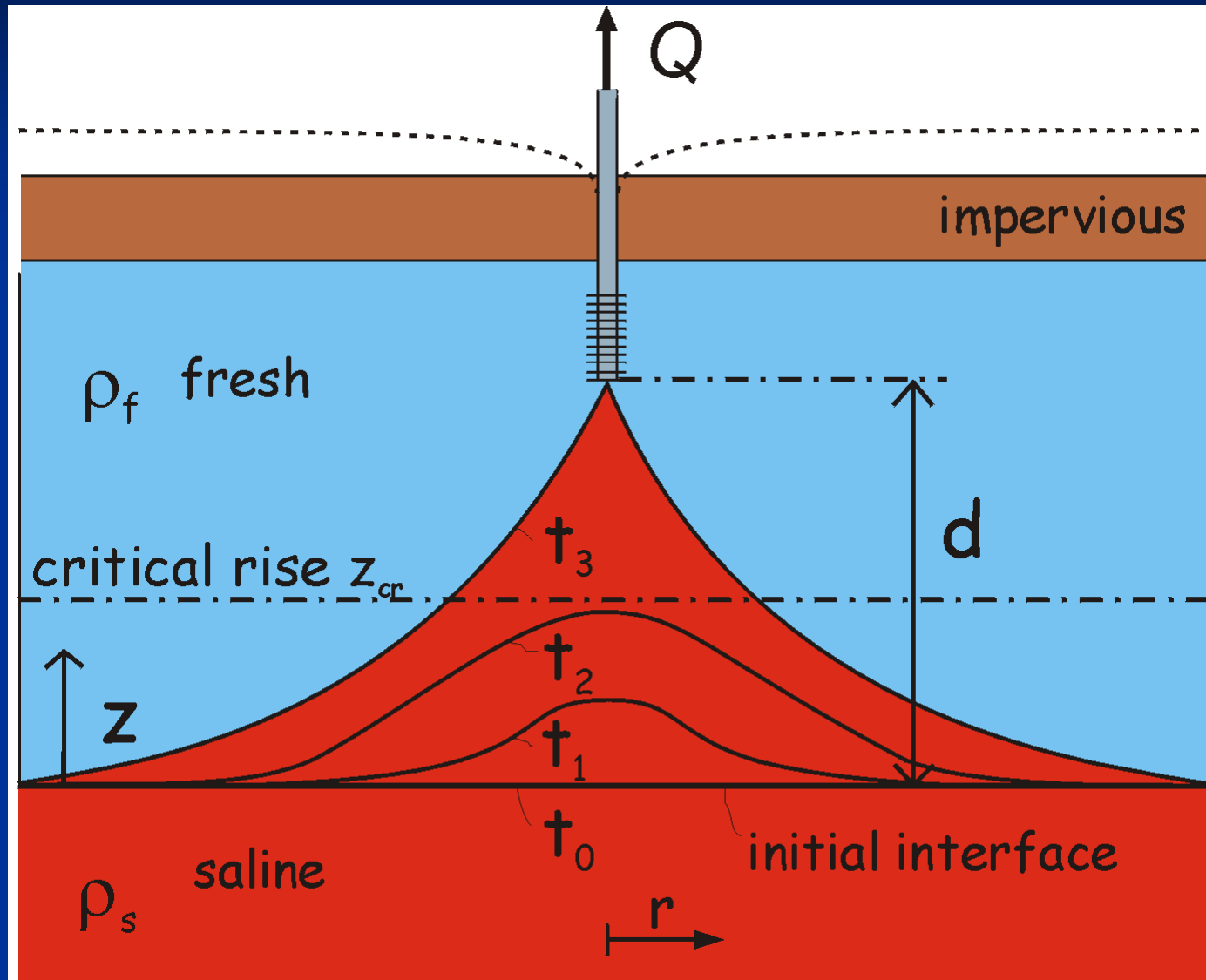
- άνοδος επιπέδου της θάλασσας (0.2 m έως 0.9 m έως το 2100)
- αλλαγές στον εμπλουτισμό



# Ιστορικό υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους στην Ολλανδία



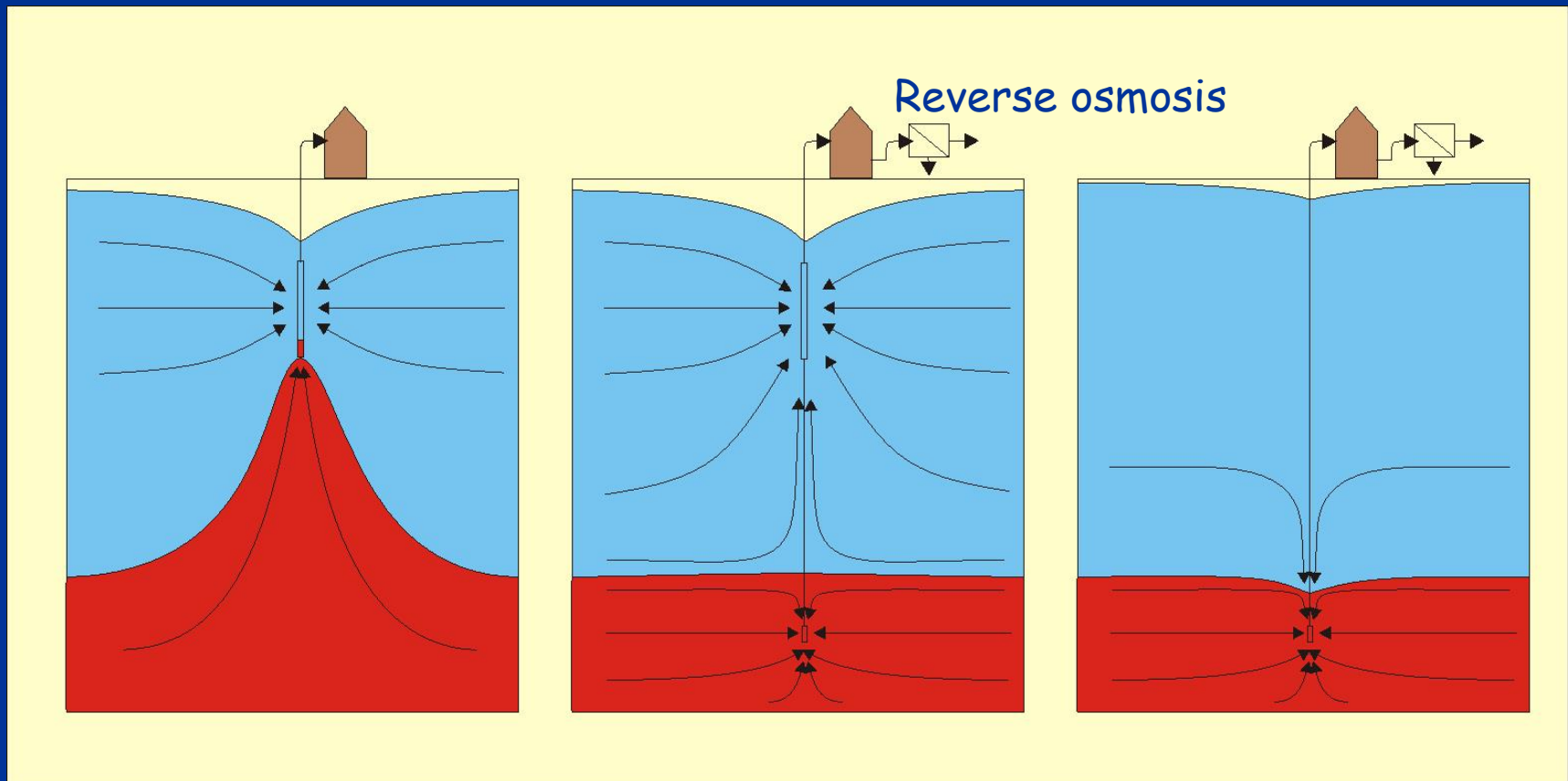
# Σχηματισμός κώνου ανόδου αλμυρού υπόγειου νερού κάτω από μία παραγωγική γεώτρηση



- **Λύσεις**
- **Πιθανά μέτρα παρεμπόδισης της διείσδυσης της θάλασσας**
- Άντληση αλμυρού/υφάλμυρου υπόγειου νερού
- Διήθηση γλυκού επιφανειακού νερού
- Εγχειοβελτιωτικά έργα στο μέτωπο της ακτής
- Δημιουργία αδιαπέρατου φραγμού (CRYSTECHSALIN)

Ο σχηματισμός κώνου ανόδου αλμυρού νερού μπορεί να παρεμποδιστεί μέσω της άντλησης αλμυρού/υφάλμυρου υπόγειου νερού

Αυτό το υφάλμυρο υπόγειο νερό μπορεί να μετασχηματιστεί ποιοτικά σε νερό άρδευσης μέσω της χρησιμοποίησης της τεχνικής της μεμβράνης φιλτραρίσματος (membrane filtration technique)



ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ  
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ  
ΝΕΡΩΝ ΜΕ ΤΗ  
ΧΡΗΣΗ  
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΩΝ  
ΣΕ ΠΟΙΟΤΗΤΑ  
ΝΕΡΩΝ

# Υπόγειοι Υδροφορείς

Τεράστιες εγκαταστάσεις αποθήκευσης νερού παρέχουν δυνατότητα εξέχουσας διαχειριστικής ευελιξίας με σχετικά αποδεκτό οικονομικό κόστος.

*μια κρίσιμη ερώτηση ????*

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για εμπλουτισμό νερά υποβαθμισμένης ποιότητας;

*και η απάντηση είναι.....*

με κατάλληλη προ- και μετα-επεξεργασία και SAT

*Όμως.....*

Πότε τα ανακτημένα από τέτοια συστήματα νερά είναι κατάλληλα για πόσιμο νερό ή για άλλες χρήσεις;

# Ο ΤΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- στην παρεμπόδιση της διείδυσης της θάλασσας
- στον έλεγχο των καθιζήσεων
- στη διατήρηση της βασικής ροής των υδρορευμάτων
- στη μείωση του κόστους άντλησης υπόγειων νερών

## ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΑ-χρησιμοποίηση υποβαθμισμένων νερών

- επεξεργασμένα δημοτικά υγρά απόβλητα
- απορροές καταιγίδων
- επιστροφές ροών άρδευσης

# Ο ΤΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- στην παρεμπόδιση της διείδυσης της θάλασσας
- στον έλεγχο των καθιζήσεων
- στη διατήρηση της βασικής ροής των υδρορευμάτων
- στη μείωση του κόστους άντλησης υπόγειων νερών

## ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΑ-χρησιμοποίηση υποβαθμισμένων νερών

- επεξεργασμένα δημοτικά υγρά απόβλητα
- απορροές καταιγίδων
- επιστροφές ροών άρδευσης



# Χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τις λειτουργικές όψεις των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού:

- αιωρούμενα στερεά
- διαλυμένα αέρια
- θρεπτικές ουσίες
- BOD
- μικροοργανισμοί
- SAR (επηρεάζει την περατότητα)

# Χαρακτηριστικά που επιδρούν στην επαναχρησιμοποίηση του νερού ως πόσιμου περιλαμβάνουν:

- ανόργανες και οργανικές τοξικές ουσίες
- ενώσεις του αζώτου
- παθογενή

# Αστικά λύματα

τα πιο σταθερά χωροχρονικά σε ποιότητα και σε ποσότητα

## Εξαιρέσεις:

ανεπεξέργαστα δημοτικά υγρά απόβλητα που αναμιγνύονται με νερά καταιγίδων ή ποικίλα απόβλητα βιομηχανιών.

## Ιχνοστοιχεία στα υποβαθμισμένα νερά:

ελάχιστα είναι γνωστά

## Χλωρίωση:

οι εκροές των ΙW περιέχουν παραπροϊόντα

## Ανακτημένα νερά για πόσιμη χρήση:

πρέπει να εξετάζονται κατάλληλα

## Απορροές καταιγίδων(ΑΚ)

# Η ποιότητα των ΑΚ εξαρτάται από:

1. την ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων
2. τα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής
3. το χρόνο που παρήλθε από το τελευταίο επεισόδιο απορροής την εποχή του έτους

## Συστατικά των ΑΚ που εξετάζονται είναι τα ακόλουθα:

1. Ιχνοστοιχεία μετάλλων,
2. οργανικές ενώσεις,
3. παθογενείς οργανισμοί,
4. αιωρούμενα στερεά,
5. NaCl (στα βόρεια κλίματα)

καλής ποιότητας - η προσέγγιση της ποσότητας τους δύσκολη

# Επιστροφές άρδευσης

- Παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση στην ποιότητα
- Συνήθως εξετάζονται μόνο τα νιτρικά και η αλμυρότητα

## Ξηρές - ημίξηρες περιοχές:

τα άλατα αποτελούν πρόβλημα - πρέπει να εξετάζονται και τα ss, θρεπτικά άλατα, φυτοφάρμακα, ιχνοστοιχεία (Se, U, B, As)

οι επιστροφές άρδευσης παραμένουν *ανεπεξέργαστες*

*εφαρμοσιμότητα της επεξεργασίας* από οικονομικής πλευράς περικλείει ερωτηματικά

# SAT

- μεγάλη ικανότητα απομάκρυνσης ρυπαντών και παθογενών οργανισμών
- ιδανική επεξεργασία μέσω συστημάτων SAT

**Εξισορροπεί** τους υψηλούς ρυθμούς εμπλουτισμού με την ανάγκη για αποτελεσματική προσρόφηση και απομάκρυνση των ρυπαντών

## **Ακόρεστη ζώνη**

- απομακρύνει ή μειώνει τα χημικά και βιολογικά συστατικά του νερού
- μειώνει το δυναμικό των κινδύνων για την υγεία

**Απομάκρυνση παθογενών** με φιλτράρισμα και κάποια προσρόφηση βακτηρίων και ιών

**Διαδικασίες απομάκρυνσης** δεν είναι πλήρως αποτελεσματικές σε μια φυσική διάταξη - δεν κατακρατούνται ή αποσυντίθενται όλα τα συστατικά στον ίδιο βαθμό

διαχειριστικές πρακτικές που βελτιώνουν την απομάκρυνση σε ορισμένες περιπτώσεις, μειώνουν την αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης σε άλλες περιπτώσεις

## **Αποτελεσματική διαχείριση και παρακολούθηση**

μειώνει το κόστος της προ- και μετα-επεξεργασίας

## **SAT**

περιοδική ξήρανση (μείωση clogging)-αυξάνει απεριόριστα ο χρόνος λειτουργίας

## **Αργή μετανάστευση των ιχνοστοιχείων**

αναγκαία η προσεκτική παρακολούθηση

## **Ετερογένεια στο έδαφος**

πολύ δύσκολος ο πλήρης έλεγχος με το διαθέσιμο σήμερα εξοπλισμό

## **Καλύτερος συνδυασμός**

παρακολούθηση πλησίον της επιφάνειας και σε απομακρυσμένα σημεία

## **Επιφανειακά συστήματα εμπλουτισμού**

σε sandy loam, άμμους, χονδρόκοκκα

### **υψηλοί ρυθμοί διηθήσεων,**

μεταβίβαση νερού - μη απαραίτητος ο πλήρης κορεσμός της ζώνης πάνω από το υπόγειο νερό

### **συστήματα εντός της κοίτης**

ποταμοφράκτες

αναχώματα σχήματος T ή L. διαβρώνονται στις μεγάλες απορροές  
φράγματα με επαρκείς υπερχειλιστές, εύκολα ανακατασκευάσιμα  
φράγματα από ελαστικό - επιτρέπουν να διέλθουν οι μεγάλες απορροές

### **συστήματα εκτός της κοίτης**

παλαιές τάφροι σε χονδρόκοκκα υλικά  
ειδικά κατασκευασμένες λεκάνες

### **ρυθμοί διηθήσεων**

πεδίο διακύμανσης ρυθμού εμπλουτισμού 0.3 - 3 m/day

ΣΕ σε ετήσια βάση και με περιοδική αποξήρανση και καθαρισμό του πυθμένα 30-300 m/year.

## **ρυθμοί εξάτμισης**

2.5 m/year σε θερμά ημίξηρα κλίματα

**απώλειες από την ET<sub>r</sub> πολύ μικρότερες από τις διηθήσεις**

πυθμένες χωρίς ιζήματα ή clogging και επαρκώς χαμηλή στάθμη ΥΝ

**ρυθμοί διήθησης** = κατακόρυφο K=

0.3 m/day σε sandy loam,

1 m/day σε loamy sands,

5 m/day σε λεπτόκοκκες άμμους

20-50 m/day σε λεπτόκοκκους ή καθαρούς χάλικες

μίξεις αμμοχάλικων = η K είναι μικρότερη απ' ότι σε καθαρή άμμο

**Προσέγγιση βέλτιστων τιμών ρυθμού εμπλουτισμού**

εξέταση του clogging, βάθους νερού και της στάθμης των Υ.Ν.

## **Clogging**

στρώματα από μίγματα οργανικών και ανόργανων υλικών :

Άργιλοι, ιλύες, λεπτόκοκκες άμμοι, άλγη, τουλίπες βακτηρίων,

λασπώδη απόβλητα υπονόμων, βιοφίλμς, καλύμματα από νήματα

πολυμερών) πάχος στρωμάτων από <1mm - 0.3 m.



## **ιδιότητες των στρωμάτων clogging**

προάγουν την ακόρεστη ροή

είναι ενεργά βιοφίλτρα

απομακρύνουν λεπτόκοκκα sm, μικροοργανισμούς, οργανικό άνθρακα, νιτρικά, και μέταλλα

**μεγάλης σημασίας για λίμνες λυμάτων/ τεχνητούς υδροβιοτόπους**

**χονδρόκοκκοι άμμοι** - η παρουσία clogging είναι επιθυμητή

**πειράματα στο πεδίο οδηγούν**

στον προσδιορισμό του βέλτιστου συνδυασμού των προγραμμάτων προεπεξεργασίας και καθαρισμού, για μέγιστη υδραυλική ικανότητα και οικονομία στη λειτουργία

**διαθέσιμος επαρκής αριθμός λεκανών**

προσδίδει ευελιξία

κρίνεται απαραίτητη για τον έλεγχο του νερού στην περίπτωση μέγιστων εισροών στο σύστημα ή όταν οι ρυθμοί διήθησης μειώνονται

## **πότε εφαρμόζονται οι γεωτρήσεις;**

- μη διαθέσιμα στην επιφάνεια διαπερατά εδάφη,
- η αξία της γης είναι υψηλή,
- οι ακόρεστες ζώνες είναι περιορισμένες ή περιέχουν μη επιθυμητά φυσικά ή συνθετικά χημικά
- οι υδροφόροι έχουν στην κορυφή νερό χαμηλής ποιότητας
- οι υδροφόροι είναι αρτεσιανοί

## **Στα χαλαρά υλικά - οι γεωτρήσεις συνίστανται από**

- ένα σωλήνα,
- τα φίλτρα,
- το χαλικόφιλτρο,
- την τσιμέντωση
- ένα σωλήνα μικρότερης διαμέτρου για τη μεταφορά του νερού διήθησης μέσα στη γεώτρηση

## **συνεκτικά υλικά**

γεωτρήσεις ασωλήνωτες - χωρίς φίλτρα και περιφραγματικό

**κύριο πρόβλημα** - το κόστος και το clogging  
πιο επιδεκτικές στο clogging - η θεραπεία τους είναι δυσκολότερη και γίνεται με περιοδική άντληση

οι γεωτρήσεις αντλούν νερό εμπλουτισμού στην αρχή καφέ θολό που χρήζει επεξεργασίας

**προγράμματα άντλησης** 20 min κάθε μέρα ή μερικές φορές το χρόνο επανανάπτυξη της γεώτρησης

η αύξηση της πίεσης του νερού μέσα στη γεώτρηση εξουδετερώνει το clogging (προσοχή ανοδική κίνηση νερού γύρω από τον περιφραγματικό και την τσιμέντωση)

**κατάλληλη επεξεργασία του νερού:**

η καλύτερη στρατηγική αντιμετώπισης του clogging

**απομάκρυνση**

στερεών, αφομοιούμενου οργανικού άνθρακα, νιτρικών, φωσφορικών, μικροοργανισμών και χλωρίωση

**Γεωτρήσεις αποθήκευσης και ανάκτησης**  
ραγδαία αναπτυσσόμενη πρακτική  
συνδυάζουν λειτουργίες εμπλουτισμού και άντλησης

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-** περιβαλλοντικές επιδράσεις ανάλογα με τη θέση  
οφέλη και επικίνδυνες επιδράσεις

**Οικολογικές επιπτώσεις**

στο έδαφος,  
στην υδρολογία,  
στα υδρόβια οικοσυστήματα,  
στα είδη που εξαρτώνται από τις παραποτάμιες φυσικές κατοικίες  
πιθανές επιπτώσεις στη χρήση του νερού για δραστηριότητες  
αναψυχής.

Επηρεασμός στα κατάντη

**επιπτώσεις σχετικά ειλικρινείς και προβλέψιμες ποιοτικά**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ** - κυμαίνονται από τόπο σε τόπο

**Πότε ο ΤΕ με ΙW είναι οικονομικά εφικτός; Εξαρτάται από:**

- το κόστος άλλων πηγών
- το κόστος εναλλακτικών μέσων για την αποθήκευση ΙW
- τα οφέλη από την διαθεσιμότητα πρόσθετων παροχών νερού
- την αποτελεσματική διαχείριση των ΙW

**Η εφαρμογή ΤΕ με ΙW εξαρτάται από:**

- τη θεώρηση της ιδιαίτερης παροχής νερού
- τις συνθήκες ζήτησης
- τις διαθέσιμες εναλλακτικές
- την προθυμία των καταναλωτών να πληρώσουν πρόσθετες δαπάνες
- την έλλειψη εναλλακτικών



## Συνήθεις συγκεντρώσεις ρυπαντών σε ανεπεξέργαστα δημοτικά υγρά απόβλητα.

	συγκέντρωση σε mg/l		
	χαμηλή	μέτρια	μεγάλη
	mg/l		
στερεά, σύνολο	350	720	1200
διαλυμένα, σύνολο	250	500	850
μη πτητικά	145	300	525
πτητικά	105	200	350
αιωρούμενα στερεά	100	220	350
μη πτητικά	20	55	75
πτητικά	80	165	275
καθιζάνοντα στερεά	5	10	20
BOD <sup>α</sup>	110	220	275
TOC	80	160	290
COD	250	500	1000
άζωτο (ως συνολικό N)	20	40	85
οργανικά	8	15	45
ελεύθερη αμμωνία	12	25	50
νιτρώδη	0	0	0
νιτρικά	0	0	0
φώσφορος (συνολικός ως P)	4	8	15
	1	3	5
ανόργανος	3	5	10
χλωριόντα <sup>β</sup>	30	50	100
θειικά <sup>β</sup>	20	30	50
αλκαλικότητα <sup>γ</sup>	50	100	NA
λίπη	50	100	150
σύνολο κολοβακτηρίων	no./100 ml 10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
πτητικά οργανικά	μg/l <100	100-400	>400
σημείωση: NA = μη διαθέσιμος			
<sup>α</sup> 5-ήμερες, 20°C (BOD <sub>5</sub> , 20°C)			
<sup>β</sup> οι τιμές πρέπει να αυξηθούν κατά την ποσότητα			
που εμφανίζεται στις παροχές οικιακού νερού			
<sup>γ</sup> ως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO <sub>3</sub> ).			
πηγή: Metcalf & Eddy, Inc., 1991.			

Μέσες συγκεντρώσεις ρυπαντών σε νερά καταιγίδων για όλες τις θέσεις ανάλογα με τη χρήση γης (Nation Urban Runoff Program, NURP).

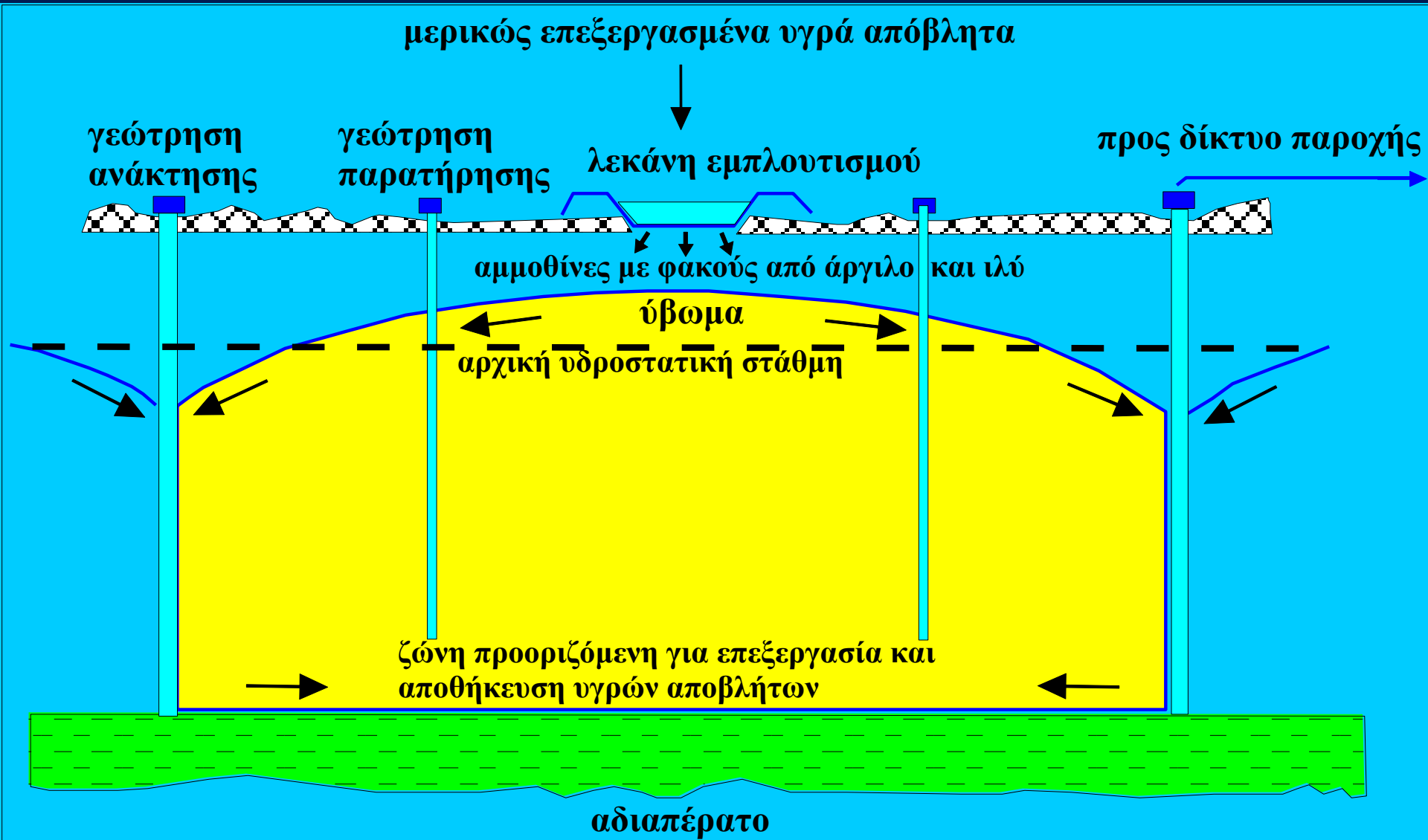
	αστική περιοχή		μικτή χρήση γης				εμπορική χρήση γης		ακάλυπτη μη αστική γη	
	διάμεσος	COV	διάμεσος	COV	διάμεσος	COV	διάμεσος	COV	διάμεσος	COV
<i>BOD (mg/l)</i>	10.0	0.4	7.8	0.5	9.3	0.3	-	-	-	-
<i>COD (mg/l)</i>	73.0	0.6	65.0	0.6	57.0	0.4	40.0	0.8	40.0	0.8
<i>Σύνολο αιωρούμενων στερεών (mg/l)</i>	101.0	1.0	67.0	1.1	69.0	0.9	70.0	2.9	70.0	2.9
<i>Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (μg/l)</i>	1900.0	0.7	1288.0	0.5	1179.0	0.4	965.0	1.0	965.0	1.0
<i>Νιτρώδες συν νιτρικό άζωτο (μg/l)</i>	736.0	0.8	558.0	0.7	572.0	0.5	543.0	0.9	543.0	0.9
<i>Ολικός φώσφορος (μg/l)</i>	383.0	0.7	263.0	0.8	201.0	0.7	121.0	1.7	121.0	1.7
<i>Διαλυτός φώσφορος (μg/l)</i>	143.0	0.5	56.0	0.8	80.0	0.7	26.0	2.1	26.0	2.1
<i>Ολικός μόλυβδος (μg/l)</i>	144.0	0.8	114.0	1.4	104.0	0.7	30.0	1.5	30.0	1.5
<i>Ολικός χαλκός (μg/l)</i>	33.0	1.0	27.0	1.3	29.0	0.8	-	-	-	-
<i>Ολικός ψευδάργυρος (μg/l)</i>	135.0	0.8	154.0	0.8	226.0	1.1	195.0	0.7	195.0	0.7

Υποσημείωση: COV = Συντελεστής διασποράς - (σταθερή απόκλιση/μέσο)

Πηγή: U.S. Environmental Protection Agency, 1983



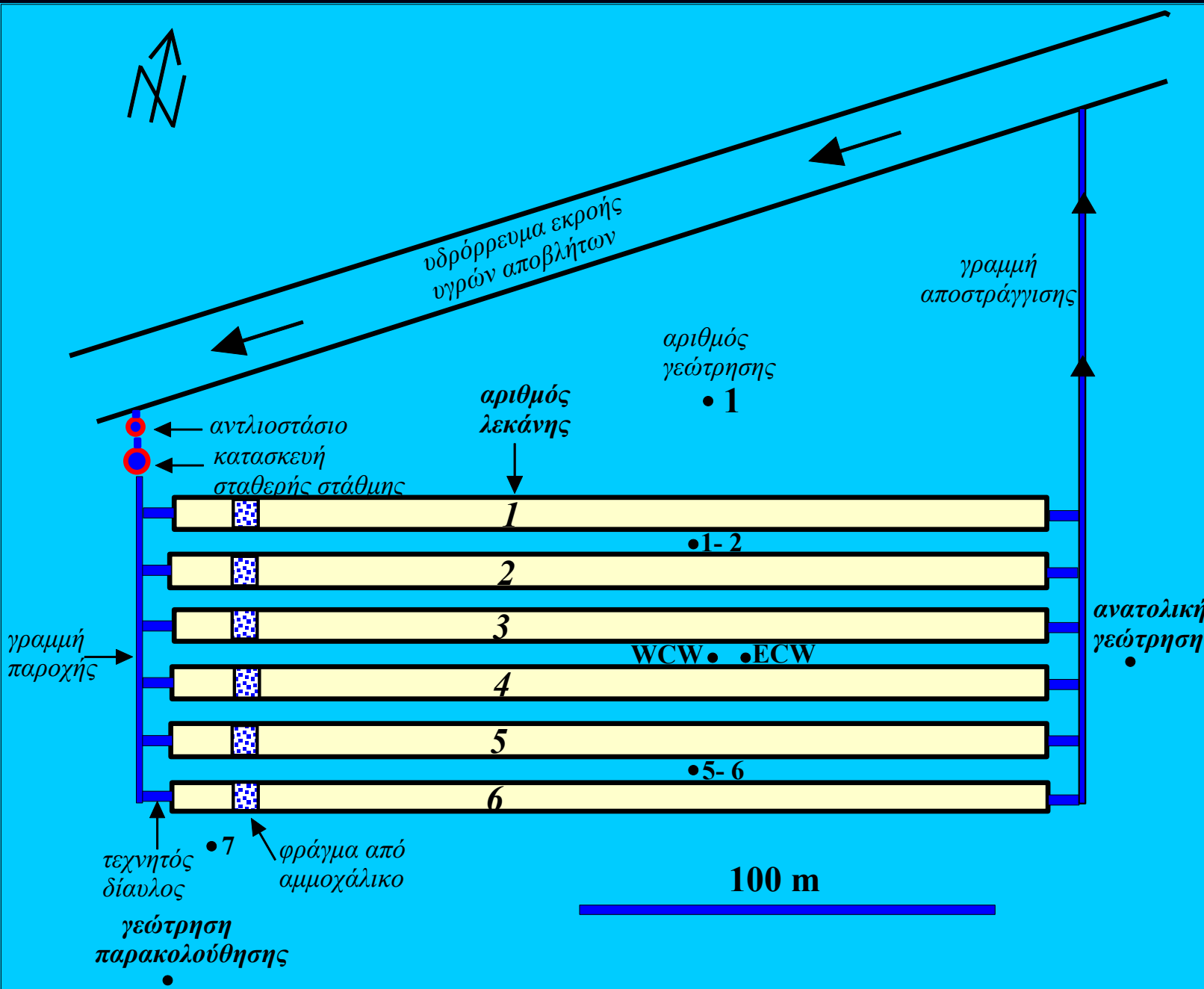
# Σύστημα SAT στο Dan Region Project, Israel.



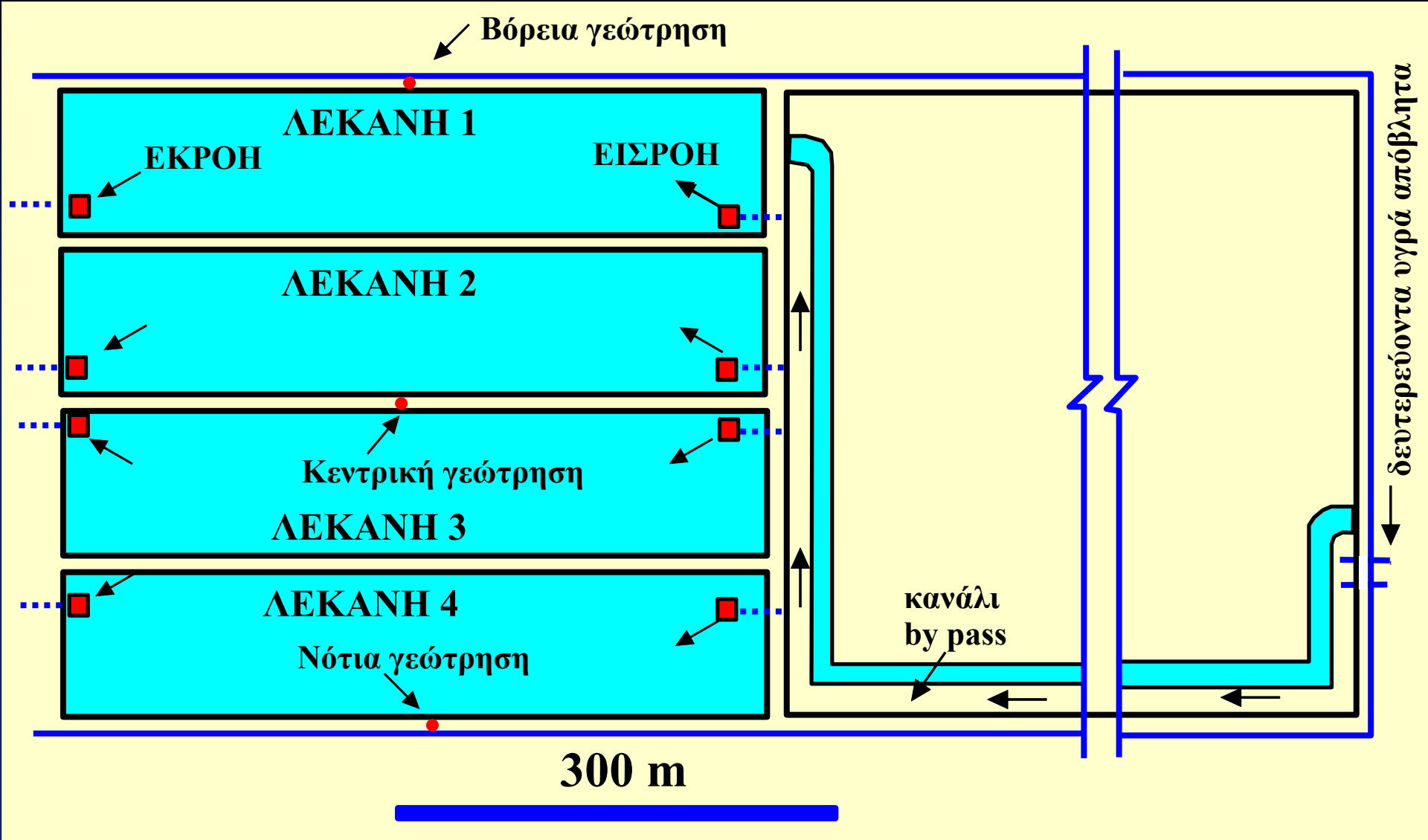
Συστατικό	Μέσος όρος	Μέγιστο
	<i>mg/l</i>	
Νάτριο	2230	2820
Κάλιο	6	12
Ασβέστιο	554	714
Μαγνήσιο	270	326
Αλκαλικότητα (ως ανθρακικό ασβέστιο)	196	213
Θειικά	4730	6500
Χλωριόντα	1480	2000
Πυρίτιο	48	60
Σύνολο διαλυμένων αλάτων	37	48
αιωρούμενα στερεά	9820	11600
ολικός οργανικός άνθρακας	11	20
COD	10.2	16
BOD	32	80
Θερμοκρασία <sup>a</sup>	3.2	5.8
pH	19	29
	8.2	8.7
	<i>μg/l</i>	
Βόριο	14400	18000
Σελήνιο	325	420
Στρόντιο	6400	7200
Σίδηρος	110	210
Αργίλιο	<1	<1
Κάδμιο	<1	20
Χρώμιο (ολικό)	19	30
Χαλκός	4	5
Μόλυβδος	3	6
Μαγγάνιο	25	50
Υδράργυρος	<0.1	<0.2
Μολυβδαίνιο	88	120
Νικέλιο	14	26
Άργυρος	<1	<1
Ψευδάργυρος	33	240

## Ανάλυση επιστροφών άρδευσης στο San Luis Drain, Mendota, California.

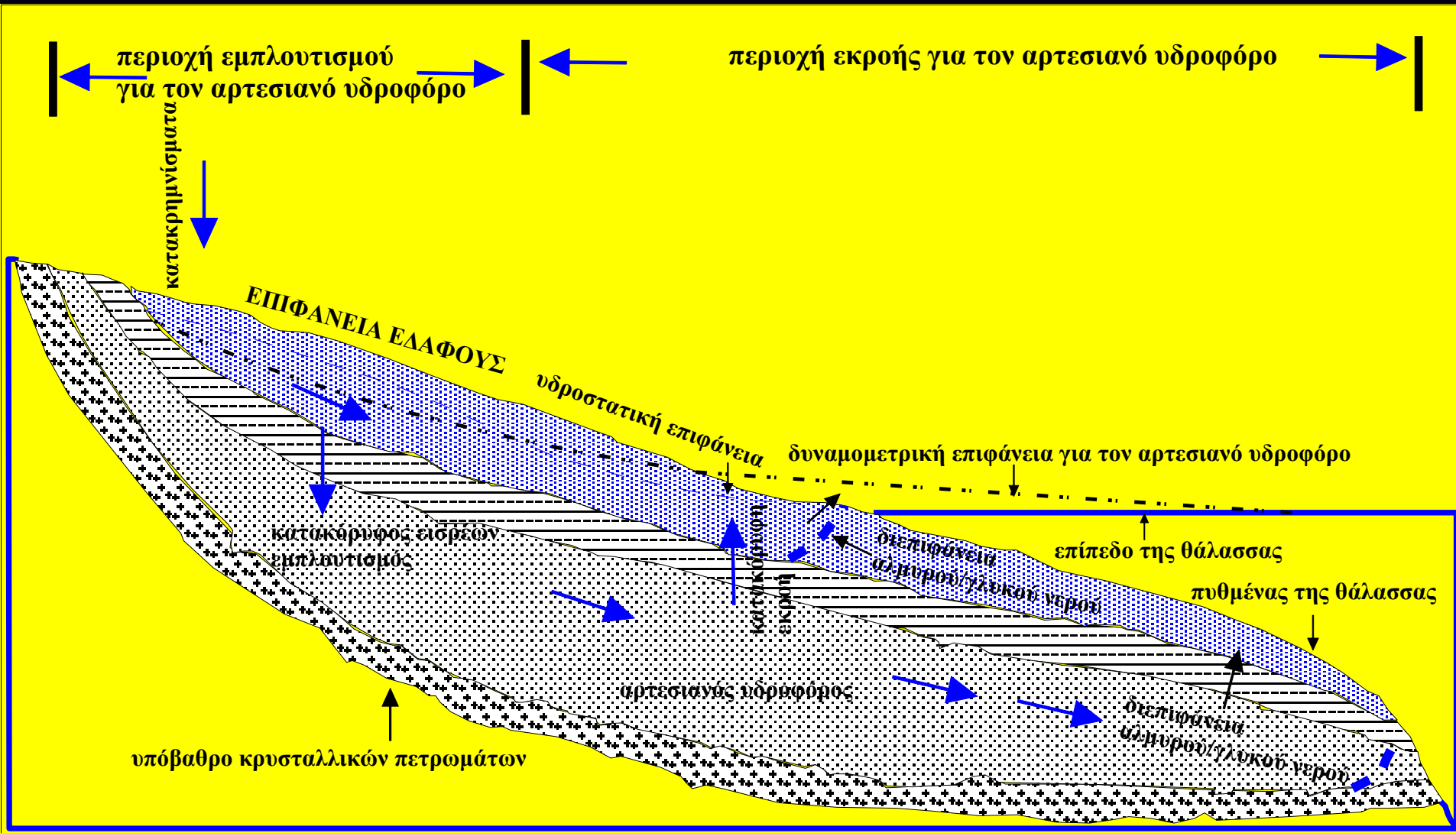
<sup>a</sup> Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 23 έως 25 ° C(θέρος) και από 12 έως 15 οC (χειμώνας)



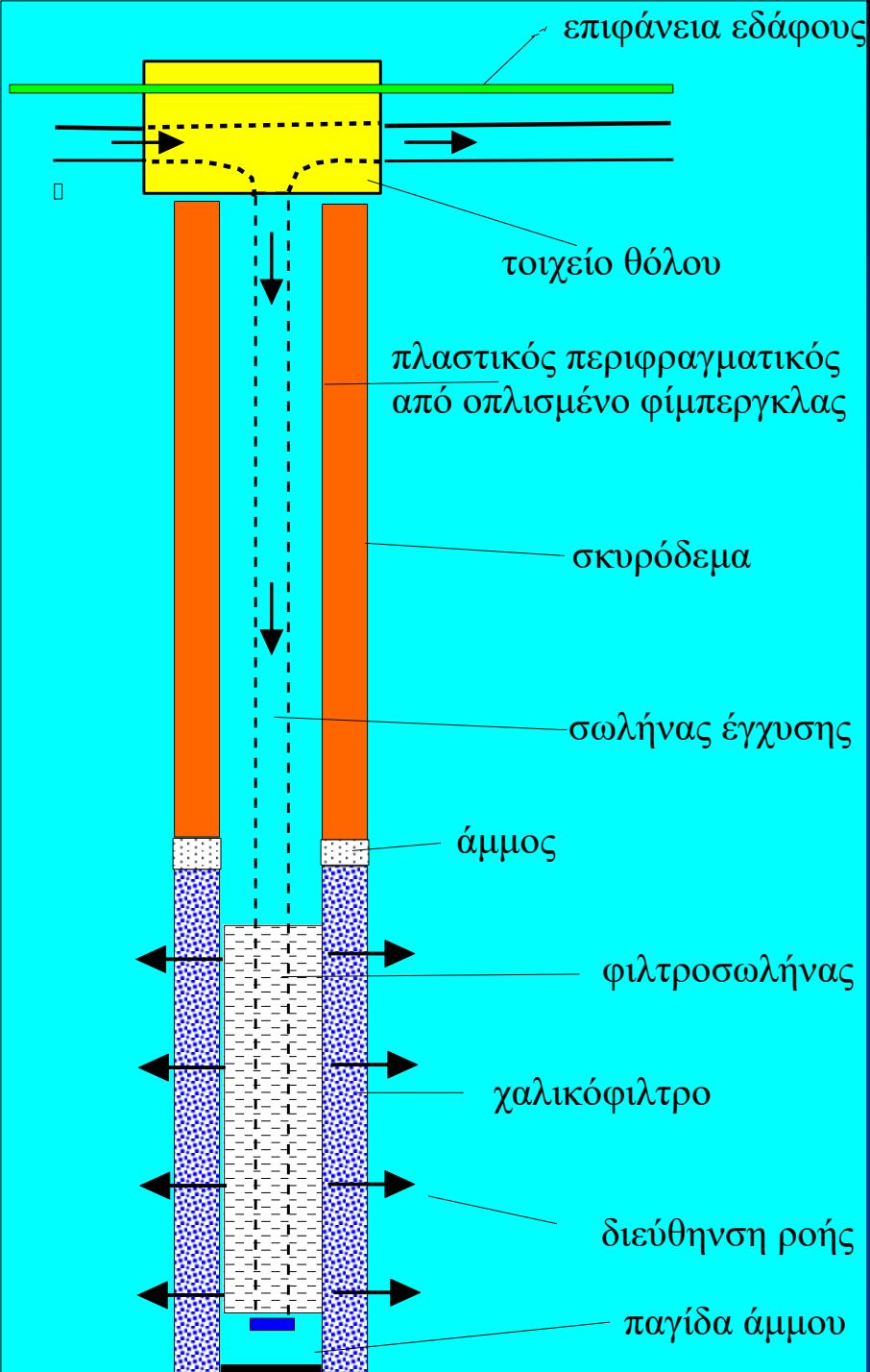
Διάγραμμα του Flushing Meadows project με τις λεκάνες εμπλουτισμού και τις γεωτρήσεις ελέγχου.



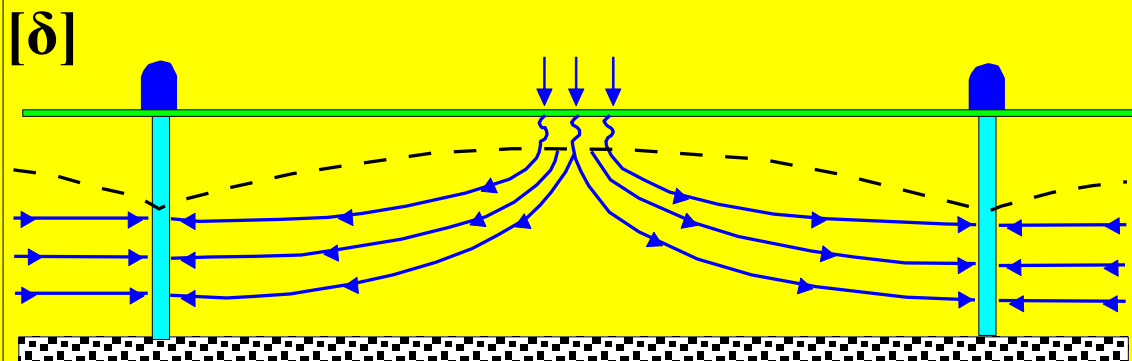
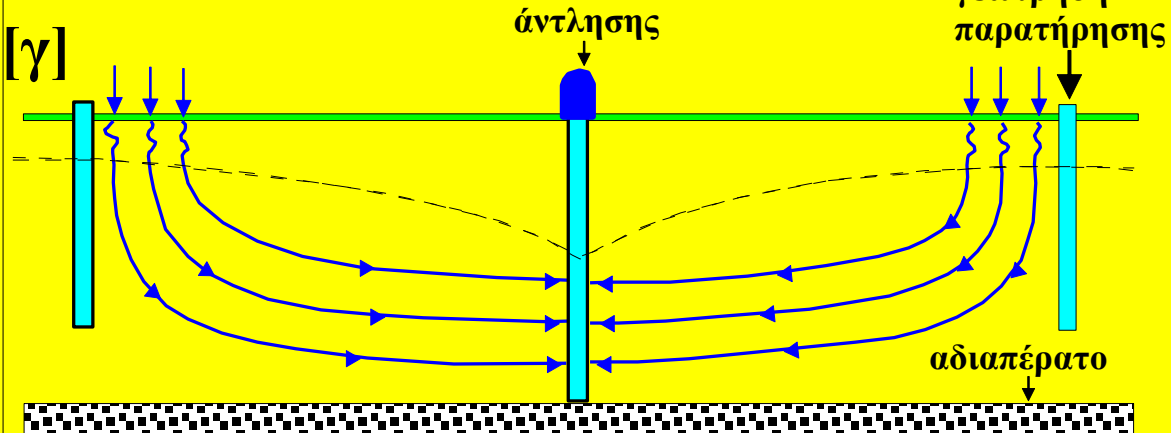
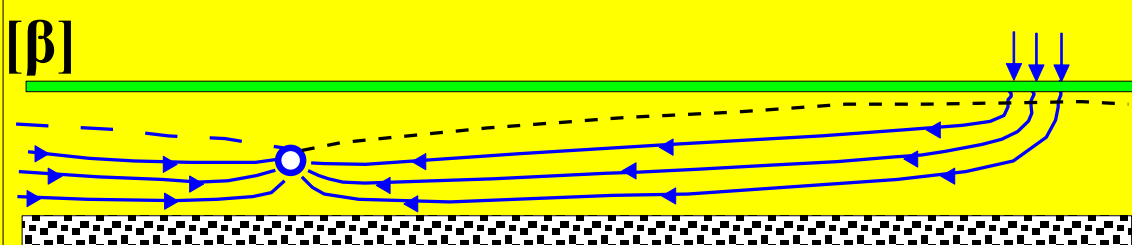
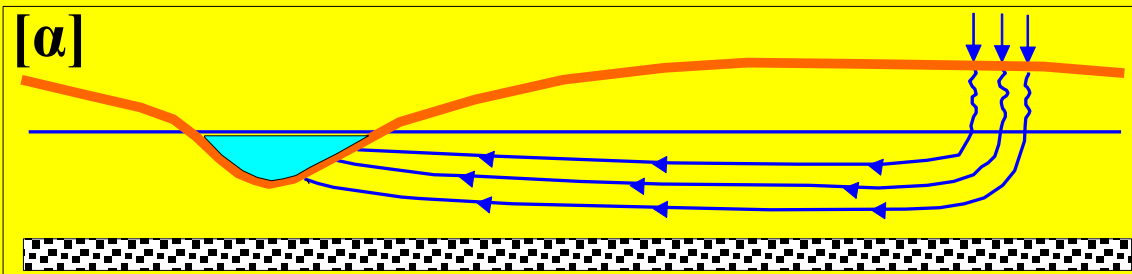
Διάγραμμα του project της 23ης Avenue με την λίμνη (αριστερά) έκτασης 16 εκταρίων που υποδιαιρέθηκε σε τέσσερες λεκάνες εμπλουτισμού και μια λίμνη (δεξιά) έκτασης 32 εκταρίων η οποία μπορεί να αυξήσει την ικανότητα του συστήματος.



Ιδανική υδρογεωλογική τομή με τους χαρακτήρες του συστήματος ροής του υπόγειου νερού.



## Γεώτρηση εμπλουτισμού



Σχηματικό διάγραμμα με τις γραμμές ροής σε ένα σύστημα SAT. α. Φυσική αποστράγγιση σε ένα υδρόρευμα, λίμνη ή χαμηλή περιοχή, β. Συλλογή ανανεωμένου νερού με υποεπιφανειακό συλλεκτήρα, γ. Περιοχές εμπλουτισμού σε δύο παράλληλες γραμμές με γραμμή γεωτρήσεων στο ενδιάμεσο, δ. Περιοχές εμπλουτισμού στο κέντρο περιβαλλόμενες από γεωτρήσεις σε κυκλική διάταξη.

χημικό συστατικό	επιλογή 1	επιλογή 2 <sup>α</sup>	επιλογή 3 <sup>α</sup>
	mg/l		
Σύνολο διαλυμένων αλάτων	650	600	600
Νάτριο	143	139	139
Χλώριο	151	140	140
Θειικά	140	122	122
Ολικός οργανικός άνθρακας	8.6	5.5	5.5
κόστος/m <sup>3</sup>	€ 0.20	€ 0.29	€ 0.31

<sup>α</sup> Η διαφορά κόστους ανάμεσα στις επιλογές 2 και 3 αποδίδεται στην εφαρμογή πλήρους μικροφιλτραρίσματος για την επιλογή 3, αλλά μόνο μερικό μικροφιλτράρισμα για την επιλογή 2.

<sup>β</sup> Το νερό πριν την επεξεργασία θεωρείται ότι περιέχει 900 mg/l σύνολο διαλυμένων αλάτων και για τις τρεις επιλογές.

<sup>γ</sup> Το κόστος περιλαμβάνει τα αναγκαία κεφάλαια, εξόφληση οφειλών, κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

**Πηγή: Orange County Water Districts of Orange County, 1993.**

Σύγκριση του κόστους επεξεργασίας και της ποιότητας του επεξεργασμένου νερού σε σχέση με το βαθμό επεξεργασίας που χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις εμπλουτισμού στην Orange County, California.



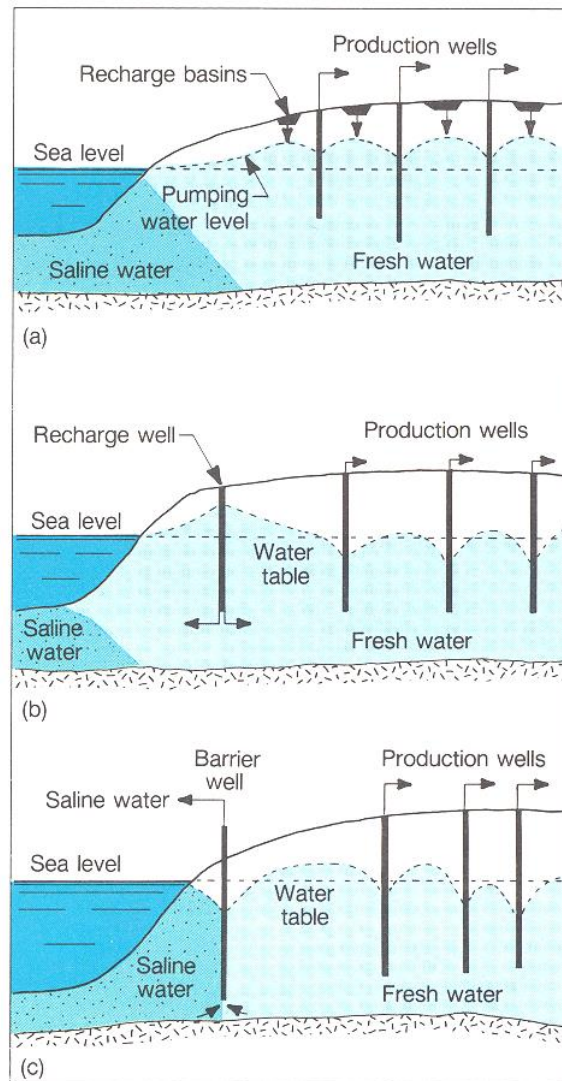
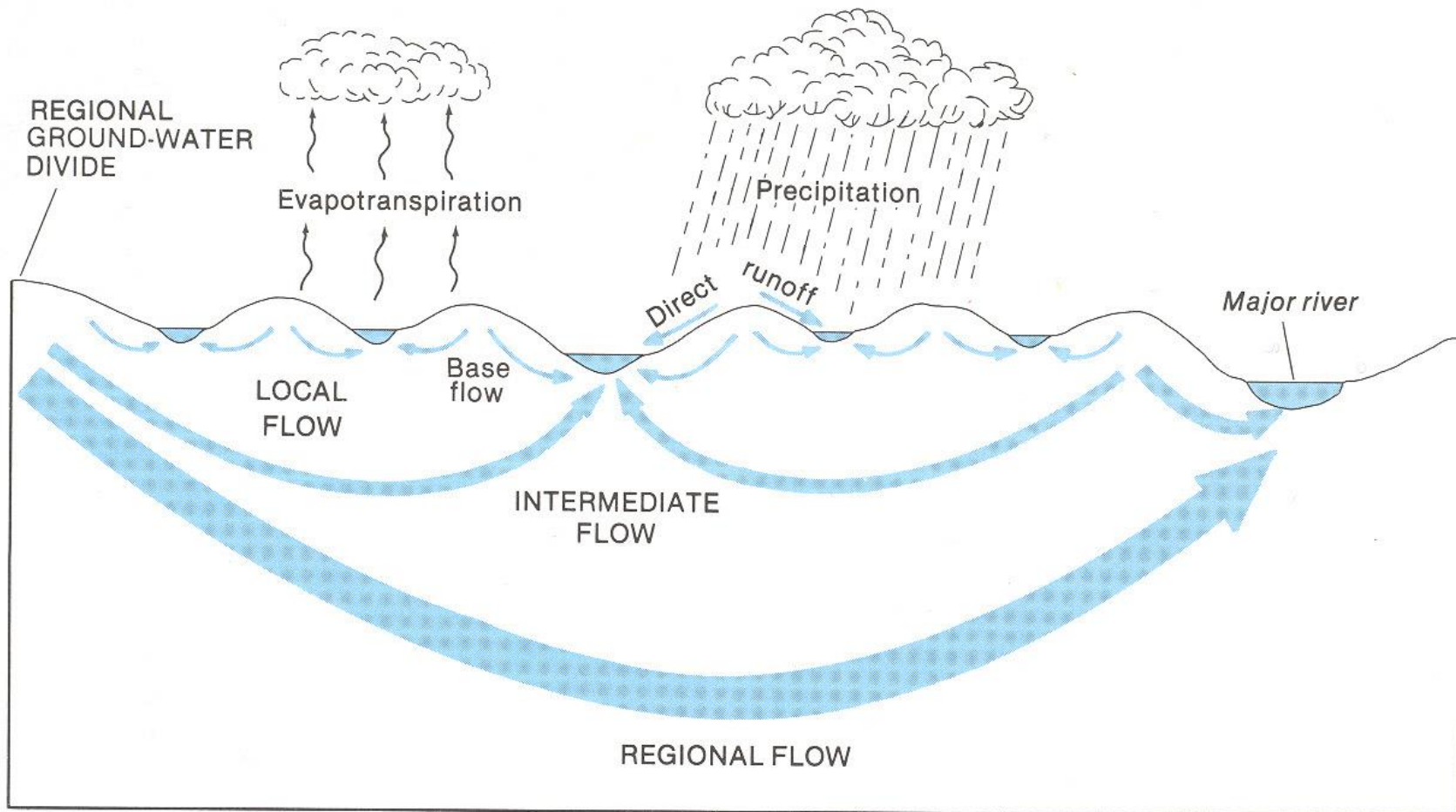


Figure 22.35. (a) Use of artificial recharge in the area of production wells in an unconfined coastal aquifer; the recharged water maintains the water table above sea level to prevent salt-water intrusion. (b) Use of injection wells to form a pressure ridge to prevent salt-water intrusion in an unconfined coastal aquifer. (c) Use of pumping wells at the coastline to form a trench in the water table, which acts as a barrier to further salt-water encroachment. (Fetter, 1980)



EXPLANATION



-  GENERAL DIRECTION OF GROUND-WATER FLOW
-  SURFACE WATER DRAIN

Figure 2. Relation between surface drainage system and scale of ground-water flow system, which discharges into surface drainage (adapted from Toth, 1963).

# Χρήσιμες χημικές και φυσικοχημικές παράμετροι στη μελέτη της διείσδυσης της θάλασσας

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης συνδέεται άμεσα με την αποσαφήνιση του καθεστώτος αλμύρινης.

Δηλαδή θα πρέπει πρώτα να αποκλείσουμε άλλες αιτίες αλμύρινης των υπόγειων νερών πριν στραφούμε στην αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης.

Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν ιδιαίτερα η χρησιμοποίηση παραμέτρων όπως:

1. η αλμυρότητα - ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC),
2. τα Περιβαλλοντικά ισότοπα,
3. ο **λόγος Cl<sup>-</sup>/Br<sup>-</sup>** είναι:
  - για το θαλασσινό νερό = 297
  - σε υπολείματα νερού της θάλασσας που εξατμίστηκε (υπεράλμυρες αλμύρες) < 297
  - στη Νεκρά θάλασσα = 40
  - σε προϊόντα διάλυσης εβαποριτών > 1000
  - σε εκροές υγρών αποβλήτων μέχρι 800
  - σε επιστροφές άρδευσης είναι χαμηλός

## Λόγος $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ ,

• η σχέση αυτή σε διεισδύον νερό της θάλασσας είναι χαμηλότερη εκείνης του νερού της θάλασσας (π.χ.  $< 0.86$ , molar ratio)

• Η σχέση αυτή είναι  $>1$  σε αστικά υγρά απόβλητα

## Λόγοι $\text{Ca}/\text{Mg}$ και $\text{Ca}/(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$

σε διεισδύον νερό της θάλασσας είναι  $> 1$

4. η βασική σύνθεση των υπόγειων νερών σε  $\text{Cl}^-$

5. Η γραμμική συσχέτιση  $\delta\text{D}$  με  $^{18}\text{O}$  ή  $\text{Cl}$  με  $^{18}\text{O}$  κατά την ανάμιξη νερού της θάλασσας με γλυκό υπόγειο νερό έχει διαφορετική κλίση σε αλμύριση που προκαλείται από άλλες πηγές (επιστροφές άρδευσης ή υγρά απόβλητα)

**Τα ισότοπα βορίου.** Οι τιμές του  $\delta^{11}\text{B}$  σε διεισδύον νερό της θάλασσας κυμαίνεται από 30‰ μέχρι την τιμή του νερού της θάλασσας ( $\delta_{11}\text{B}=39‰$ ), σε υπόγεια νερά που ρυπάνθηκαν από υγρά απόβλητα  $\delta^{11}\text{B}= 5- 25‰$

6. τα διαγράμματα Piper και Durov και

7. η Βηματική διακριτική ανάλυση