



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ –
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

(hydrologic budget)

$$P = R + E + I$$

P: ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

R: απορροή (runoff)

E: πραγματική εξατμισοδιαπνοή (effective evapotranspiration)

I: κατείσδυση (infiltration)

$$P = E + R + I \pm dw \pm q$$

dw: μεταβολές των αποθεμάτων των υπόγειων νερών (Y.N.)

q: απολήψεις ή εισροές νερού (επιφανειακές ή υπόγειες)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Υ.Ν.

(groundwater hydrologic budget)

[ΕΙΣΡΟΕΣ] – [ΕΚΡΟΕΣ] = ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ Υ.Ν.

$$[R_N + (R_A) + Q_i] - [T + Q_0 + Q_P] = \Delta s$$

R_N : φυσικός εμπλουτισμός (natural recharge)

R_A : τεχνητός εμπλουτισμός (artificial recharge)

Q_i : εισροές από γειτονικούς υδροφόρους, διηθήσεις (percolation seepage), κατεισδύσεις

T : διαπνοή (transpiration)

Q_0 : εκροές προς γειτονικούς υδροφόρους - βασική ροή (base flow groundwater runoff) – πηγές (springs)

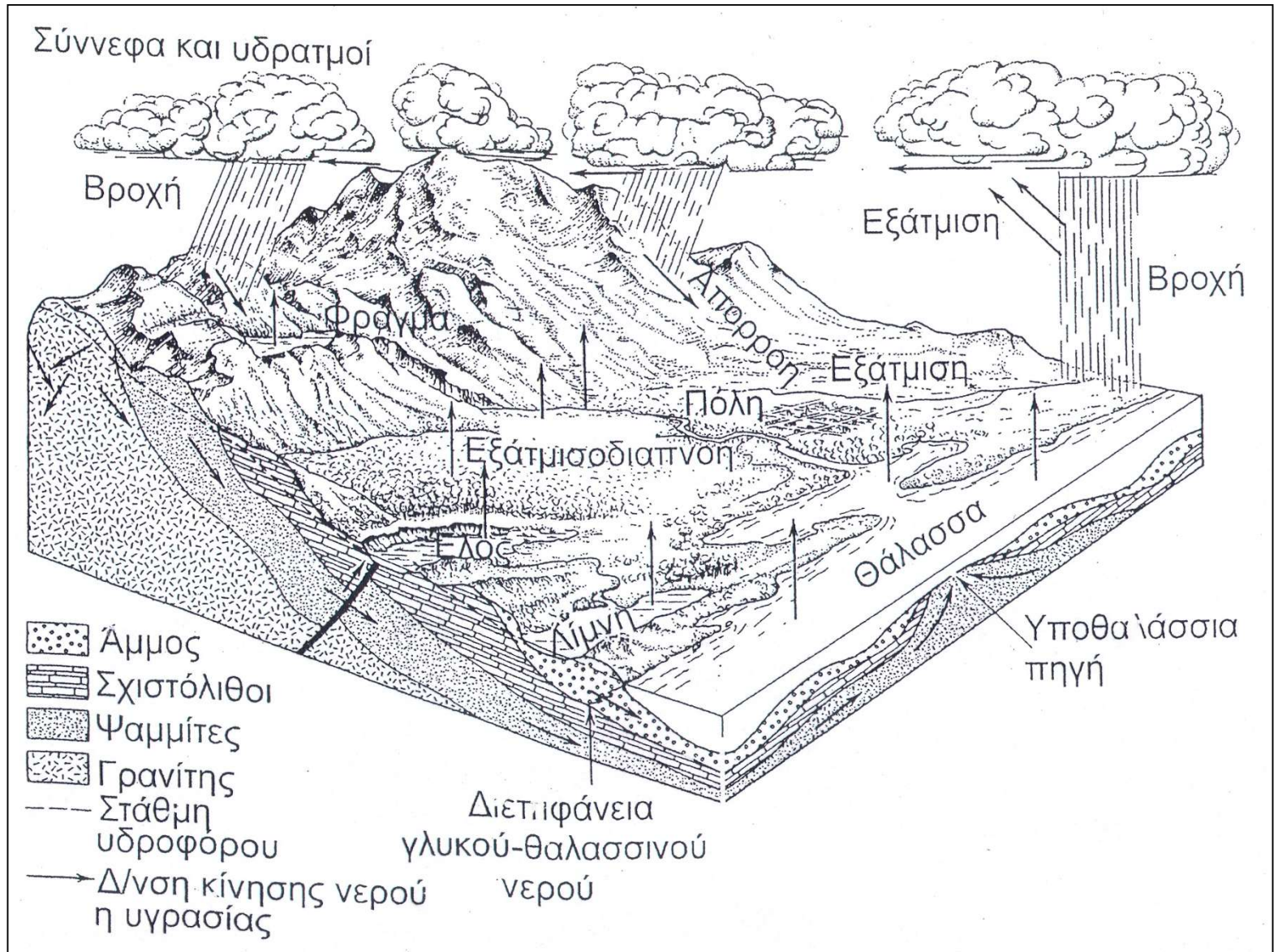
Q_P : αντλούμενες ποσότητες (groundwater pumpage, pumping quantities – αναγκαίες καταναλώσεις (water consumptive uses) (υδρομαστευτικά έργα, recovery systems)

Δs : μεταβολές στα αποθέματα των Υ.Ν. (change in groundwater storage)

Groundwater recharge (inflow): εισροές Υ.Ν.

Groundwater discharge (outflow): εκροές Υ.Ν.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ



ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (I) – ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ (Ic) –

(infiltration)

(infiltration capacity)

ΕΝΕΡΓΗ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

(effective infiltration)

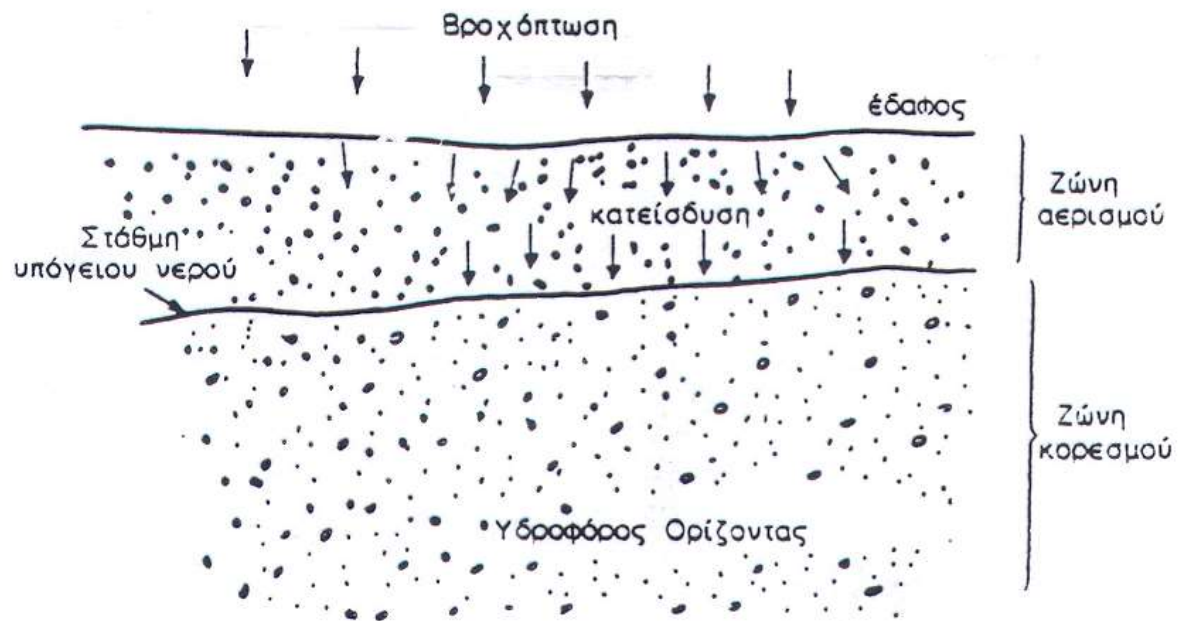
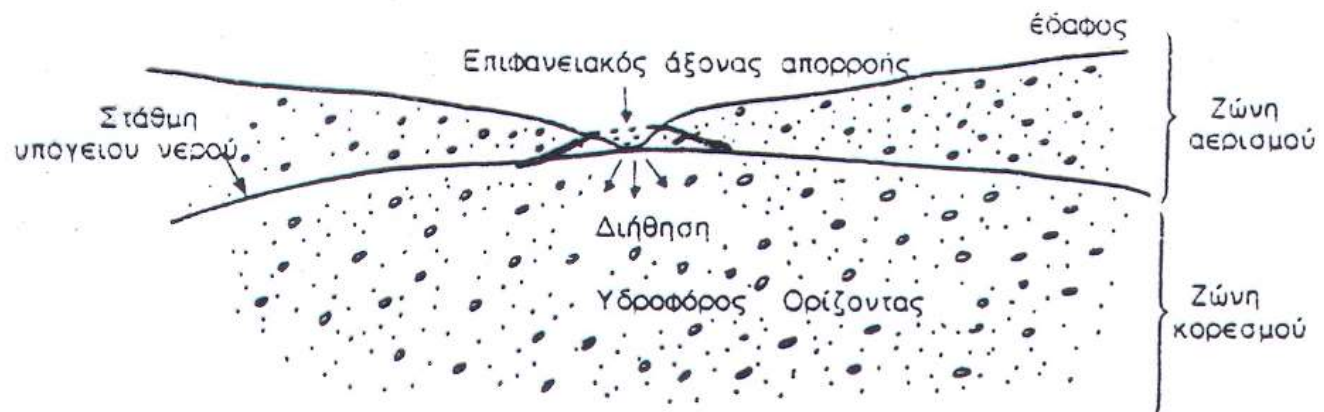
☑ Παράγοντες που επηρεάζουν:

- Υγρασία του εδάφους
- Κλίση του εδάφους
- Κατανομή και ένταση βροχόπτωσης

☑ Μέτρηση κατείσδυσης:

- Παροχή πηγών (με γνωστή επιφάνεια τροφοδοσίας)
- Πειραματικές μέθοδοι (σε ομοιόμορφο έδαφος)
- Διακύμανση πιεζομετρικής στάθμης (με τροφοδοσία μόνο από βροχοπτώσεις)
- Έμμεσα από το υδρολογικό ισοζύγιο

☑ Καρστικοί σχηματισμοί – μέθοδος Kessler



ΑΠΟΡΡΟΗ

(runoff)



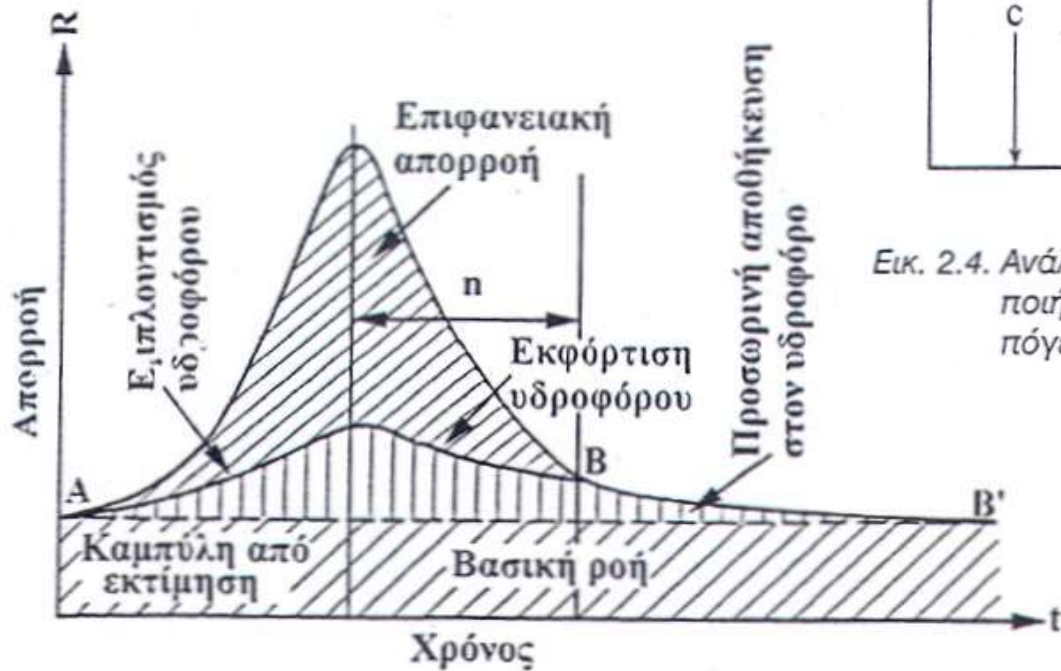
μέρος βροχόπτωσης απευθείας στα υδρορεύματα
μέρος βροχόπτωσης στην επιφάνεια του εδάφους
υποδερμική ροή (interflow)
πηγές

- Παράγοντες που επηρεάζουν:
 - Κλιματικοί (ένταση, κατανομή βροχόπτωσης, συχνότητα)
 - Φυσιογραφικοί (χαρακτηριστικά λεκάνης, χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου)

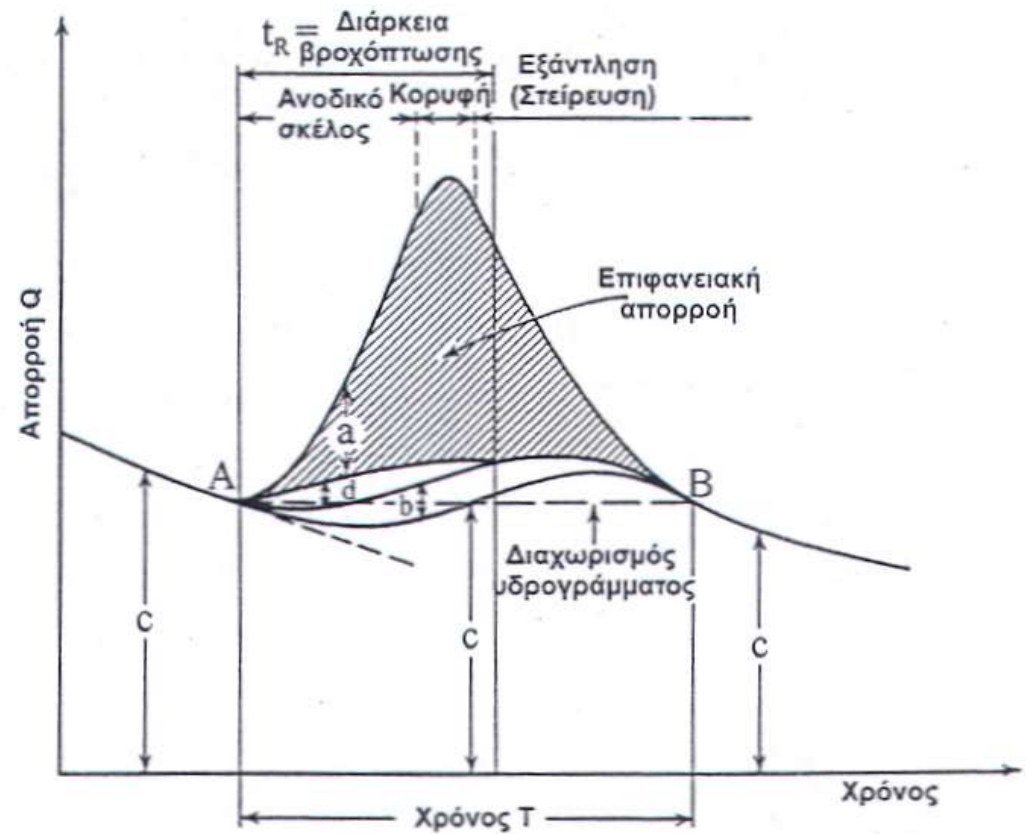
- Υδρογράφημα

- Μέτρηση απορροής (μυλίσκοι, εκχειλιστές, κλπ)

- Εμπειρικοί τύποι



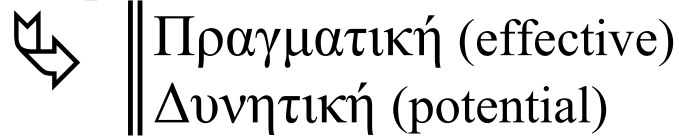
Εικ. 2.5. Επιφανειακή, υπόγεια ροή και καμπύλη εξάντλησης, όπως φαίνονται σε υδρόγραμμα (Castany, 1968, με τροποποιήσεις).



Εικ. 2.4. Ανάλυση υδρογράμματος (Davis-De Wiest, 1996, με τροποποιήσεις) a: επιφανειακή απορροή, b: ενδοροή, c: ροή υπόγειου νερού, d: βροχόπτωση απευθείας στο υδρόρευμα.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

(evapotranspiration)

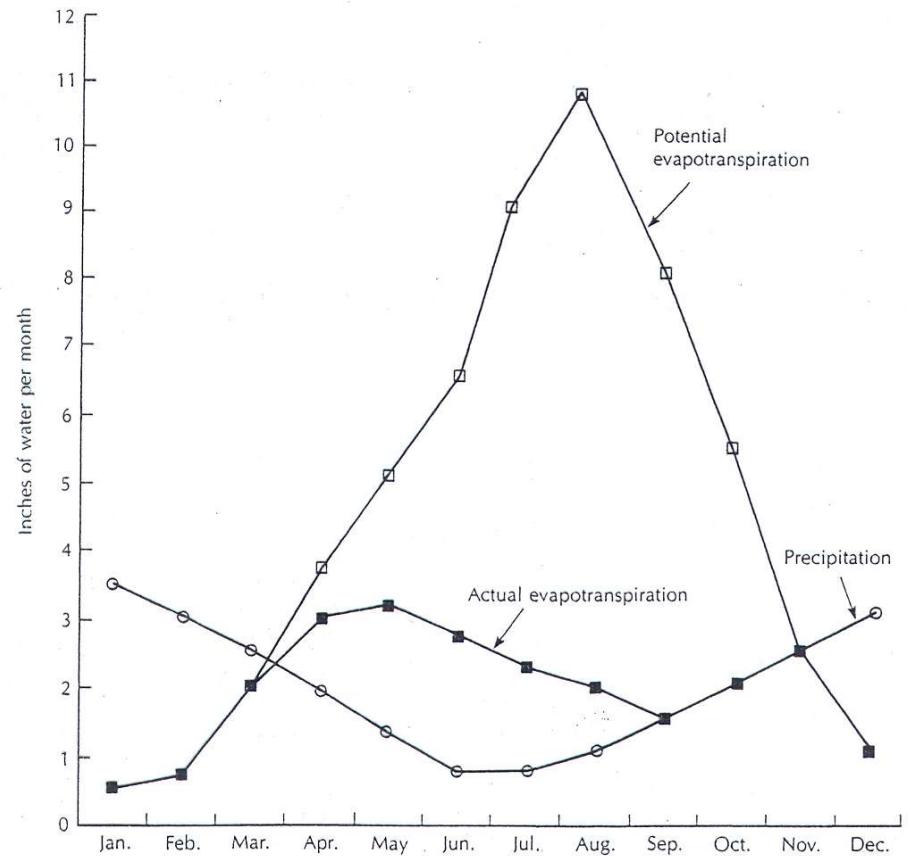
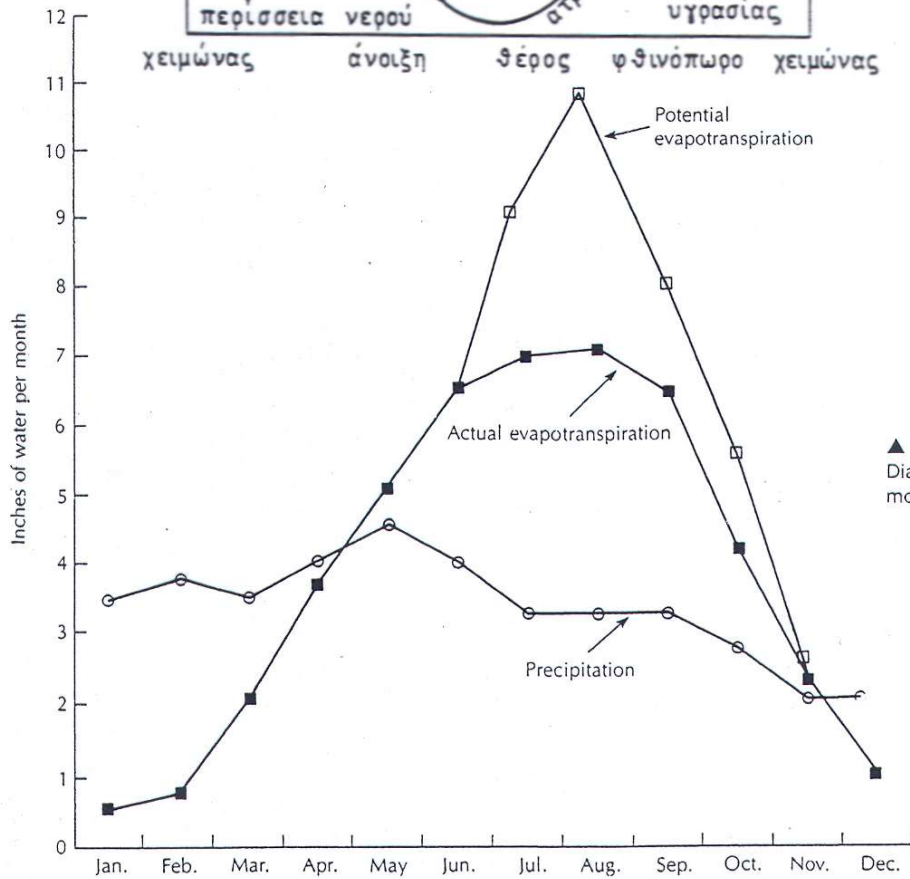
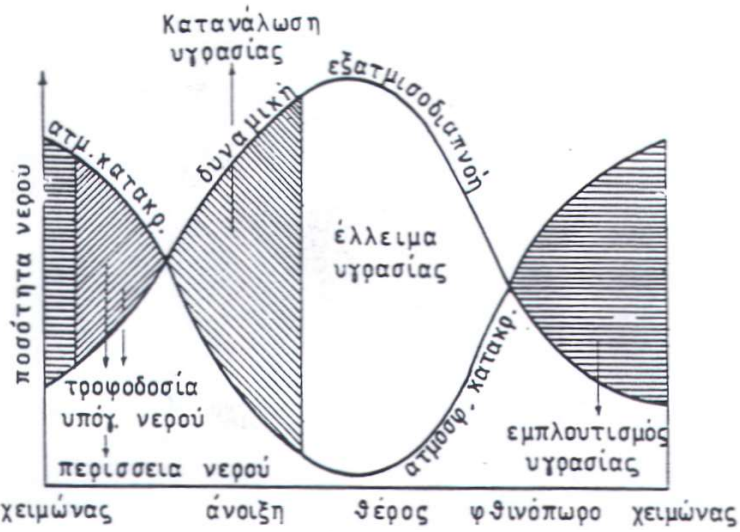


☑ Παράγοντες που επηρεάζουν:

- Ατμοσφαιρικοί (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμοι, κλπ)
- Υδρογεωλογικοί (κοκκομετρία, πορώδες, λιθολογία, υγρασία εδάφους, κλπ)
- Γεωγραφικοί (υψόμετρο, κλιματολογικές ζώνες, κλπ)
- Φυσιολογικοί (χλωρίδα, πυκνότητα βλάστησης, βάθος ριζών, κλπ)

☑ Μέτρηση εξατμισοδιαπνοής (λυσίμετρα, κλπ)

☑ Τύποι υπολογισμού (Thornthwaite, Turc, κλπ)

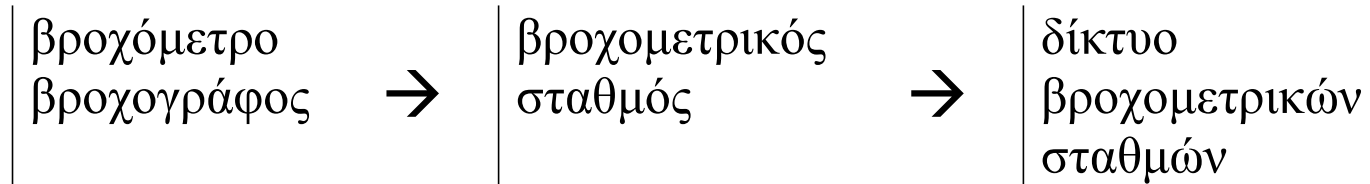


▲ FIGURE 2.2
Diagram of potential and actual evapotranspiration in an area that has coarse soil with limited soil-moisture storage; warm, dry summers; and cool, moist winters.

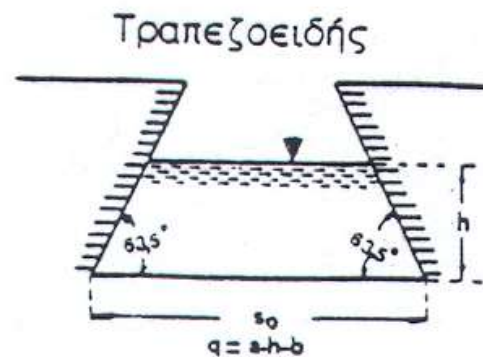
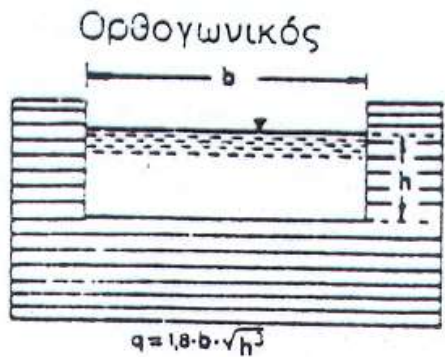
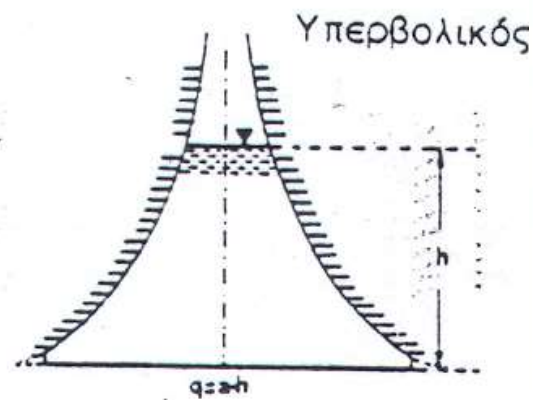
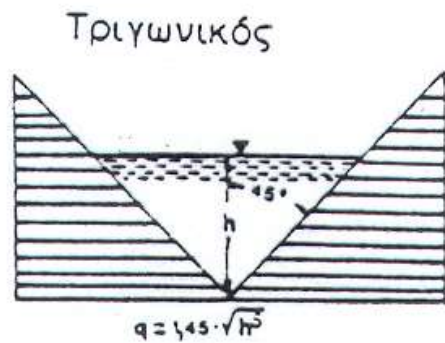
▲ FIGURE 2.3
Diagram of potential and actual evapotranspiration in an area with fine soils with ample soil-moisture storage, warm summers, cool winters, and little seasonal change in precipitation.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ

(precipitation)



- ☑ Έλεγχος ομοιογένειας των μετρήσεων – Συμπλήρωση
- ☑ Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή στο χώρο:
 - Ύψόμετρο
 - Φυσικογεωγραφικές συνθήκες (ανάγλυφο, υδρατμοί, άνεμοι, κλίμα, κλπ)
- ☑ Ημερήσιο, μηνιαίο, ετήσιο ύψος βροχόπτωσης
- ☑ Μέθοδοι υπολογισμού:
 - Ισοϋέτιες καμπύλες
 - Πολύγωνα THIESSEN



Μήνας	Συντελεστές Kessler %
Σεπτέμβριος	14,6
Οκτώβριος	12,8
Νοέμβριος	22,5
Δεκέμβριος	49,7
Ιανουάριος	43,4
Φεβρουάριος	77,5
Μάρτιος	113
Απρίλιος	60
Μάιος	44,6
Ιούνιος	33,9
Ιούλιος	20,7
Αύγουστος	17,6

**συντελεστές
επιφανειακής
απορροής**

Περιοχές ασβεστολιθικές (καρστικές γενικά)	0 - 12%
Περιοχές προσχωσιγενείς (ανάλογα με την κλίση εδάφους και σύσταση)	5 - 25%
Περιοχές οφιολιθικές	30 - 50%
Περιοχές με φλύσχη, μάργες, φυλλίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και παρεμφερή	25 - 50%
Περιοχές γρανιτικές	25 - 45%
Περιοχές μολασσικών , ψαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών	10 - 30%
Περιοχές ηφαιστειακών πετρωμάτων	25 - 50%
Περιοχές πρασινολίθων, γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και παρεμφερών μεταμορφωμένων	30 -55%

**συντελεστές
ενεργής
κατείσδυσης**

Περιοχές ασβεστολιθικές (καρστικές) γενικά	28-55%
Περιοχές προσχωσιγενείς	10-25%
Περιοχές οφιολιθικές	4-8%
Περιοχές με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους, φυλλίτες και παρόμοια	3-8%
Περιοχές γρανιτικές	5-12%
Περιοχές, μολασσικών, ψαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών	14-25%
Περιοχές ηφαιστειακών πετρωμάτων	3-8%
Περιοχές πρασινολίθων, γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και παρεμφερών μεταμορφωμένων	3-7%

1.1.3. Γεωλογικοί σχηματισμοί και Υ.Ν.

- Aquifer: υδροφόρος ~ υδροφόρο στρώμα (π.χ. αλληλοβιαίτες αποθέσεις άμμων και χαλιμιτών)
- Aquitard: βραδυδροφόρο ή ημιυδροφόρο στρώμα (π.χ. αμμώδεις σιδηρίτες)
- Aquiclude: ανυδροφόρο στρώμα (δυσκολά αδιαπέρατο ή υδατοστεγές στρώμα, π.χ. αρχιλιτικές αποθέσεις)
- Aquifuge: βεττανό ή ανυδρο στρώμα (π.χ. βυρκαχίτης γρανίτης)

→ πορώδες : $\eta = \frac{V_h}{V_0}$ (1.1.1), όπου
(porosity capacity)

↳ εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος, όπως και τον τρόπο απόθεσης των υόμων και από το βαθμό συμπίεσης και συμπύκνωσης τους. (πιν. 1.1. (βελ. 6)).

V_0 : όγκος του πορώδους υλικού
 V_h : όγκος των πόρων και των υετών
↳ $V_h = V_w + V_g$ → από νερό (από αέρα)
όγκος V_s : όγκος των στερεών υλικών

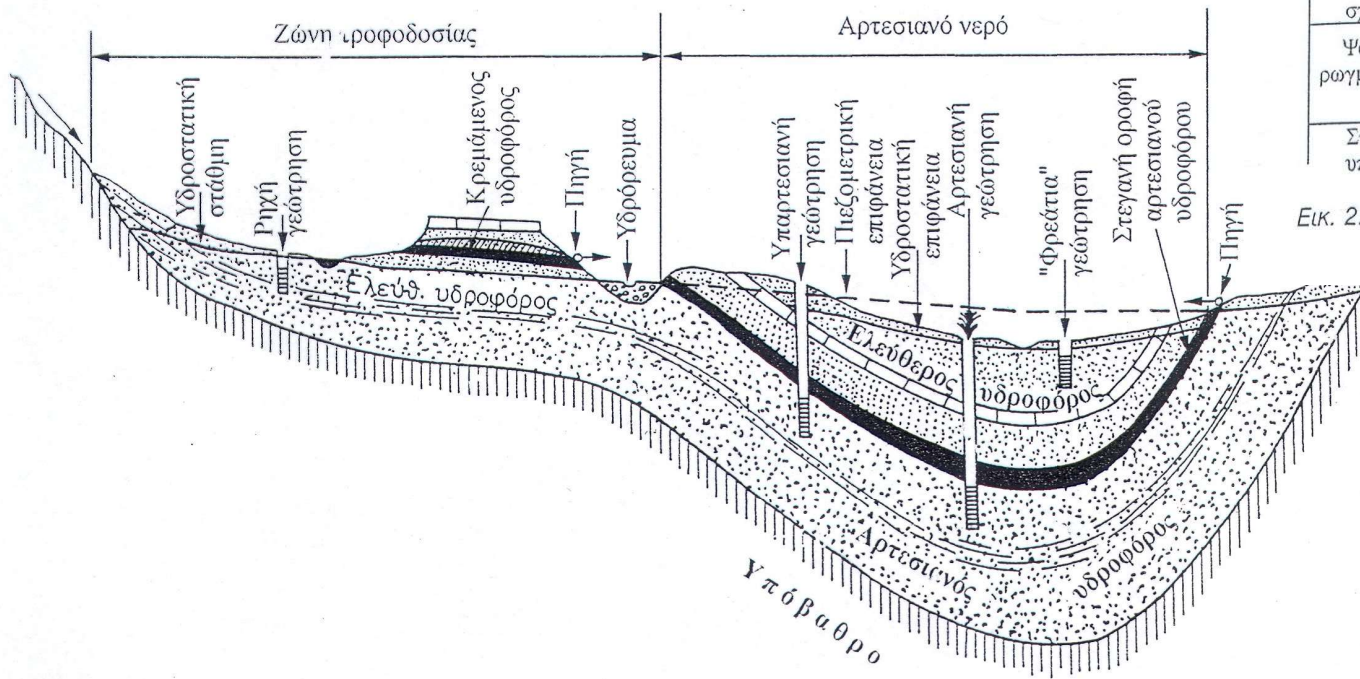
→ Ράχος των κενών: $e = \frac{V_u}{V_s}$ (1.1.2.)
 (void ratio)
 $V_0 = V_n + V_s \Rightarrow V_s = V_0 - V_n$

$$\Rightarrow e = \frac{V_n}{V_0 - V_n} = \frac{\frac{V_n}{V_0}}{\frac{V_0 - V_n}{V_0}} \xrightarrow[\text{(1.1.1)}]{\text{από}}$$

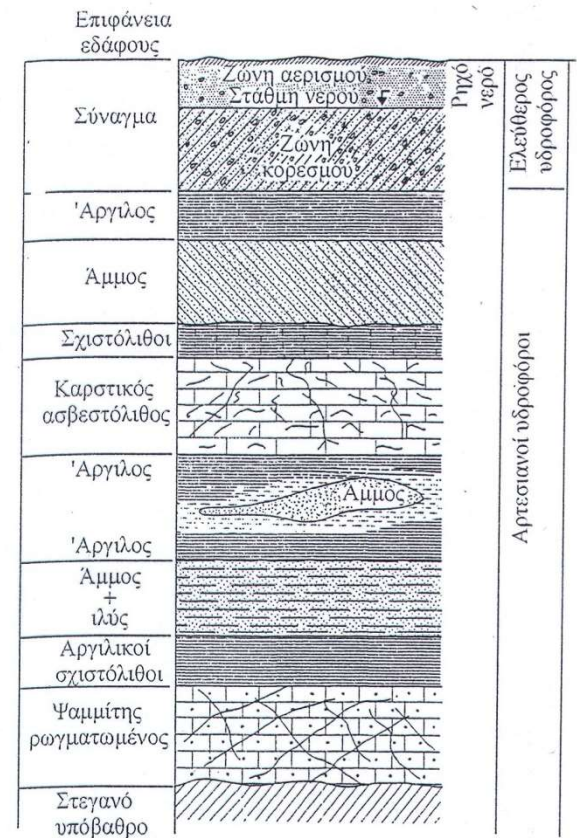
$$\Rightarrow e = \frac{n}{1-n}$$

- Saturated (κορεσμένο) - Unsaturated (μη κορεσμένο ή αερόεω)

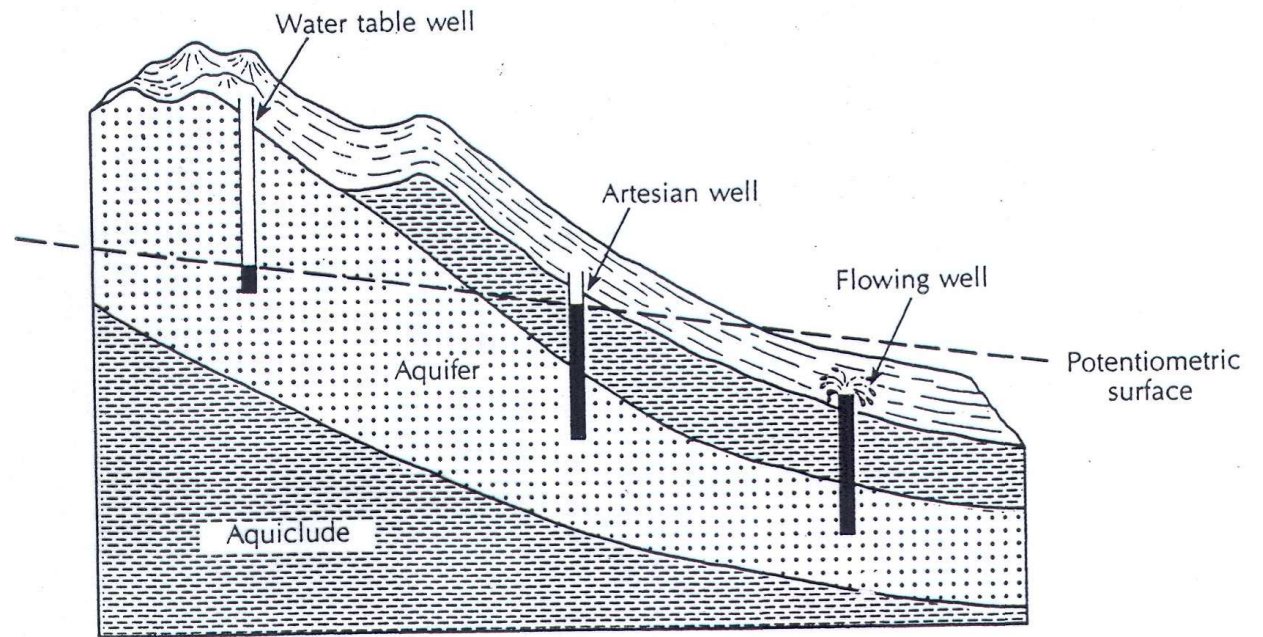
→ Βαθμός κορεσμού $S = \frac{V_w}{V_n}$ (1.1.4) [για τα κορεσμένα πορώδη]
 [υλικά $S = 1$]



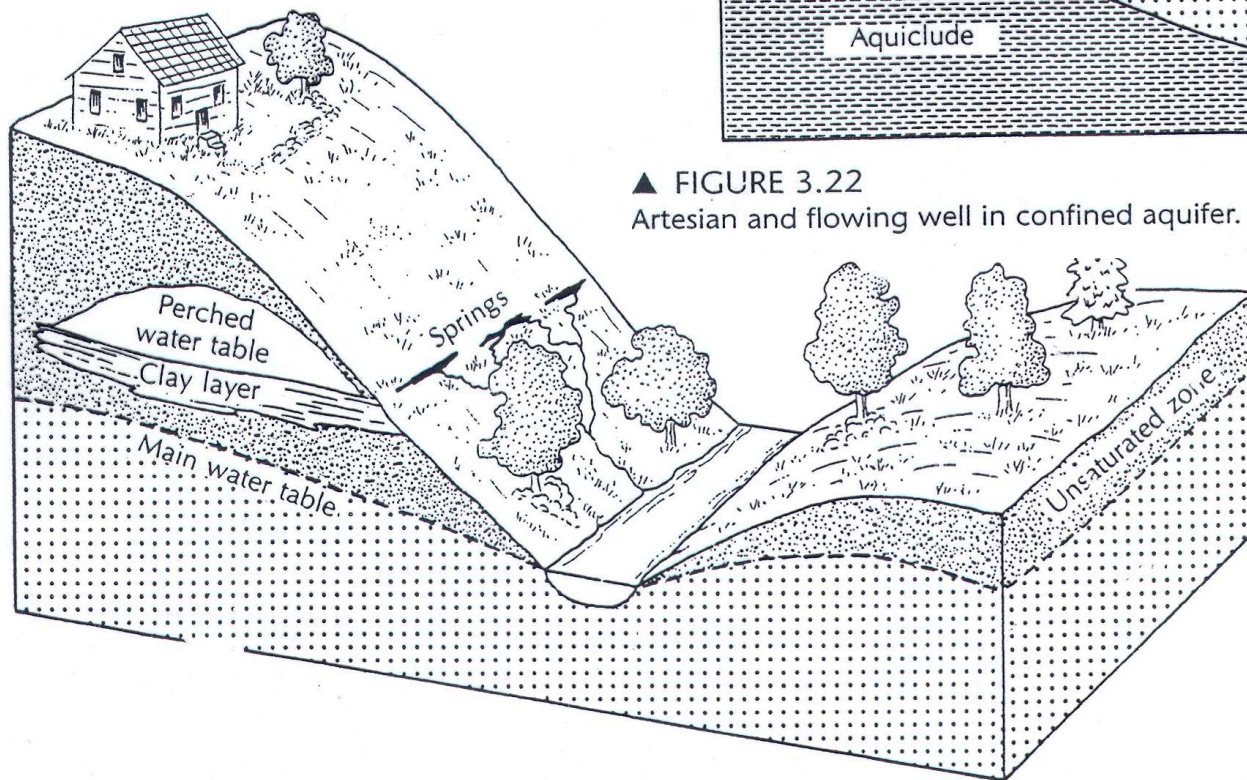
Εικ. 2.21. Ελεύθεροι, αρτεσιανοί υδροφόροι και υδρομαστευτικά έργα. (U.N. D.E.S.A. 1975).



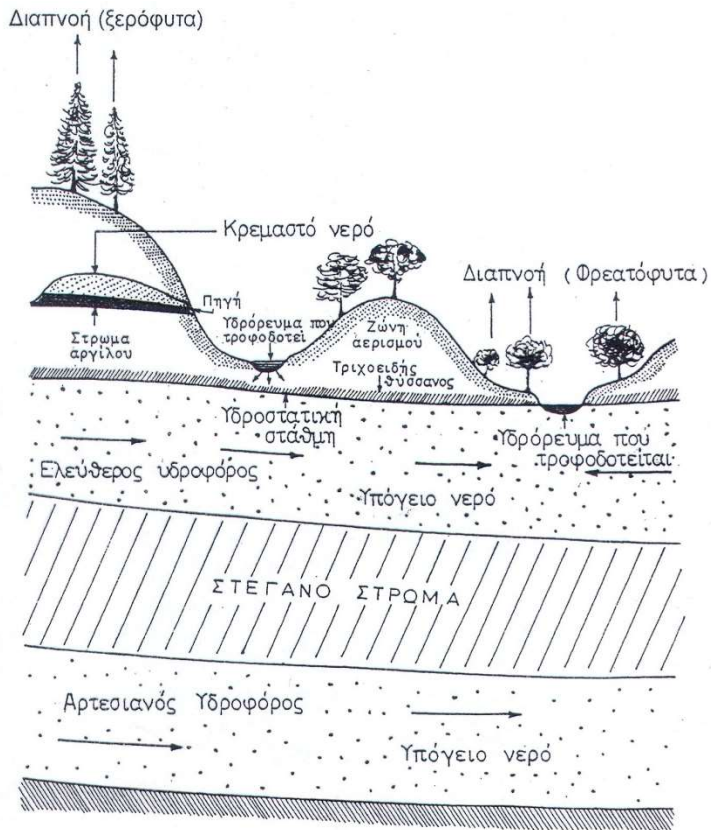
Εικ. 2.20. Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου νερού (U.N. D.E.S.A. 1975).



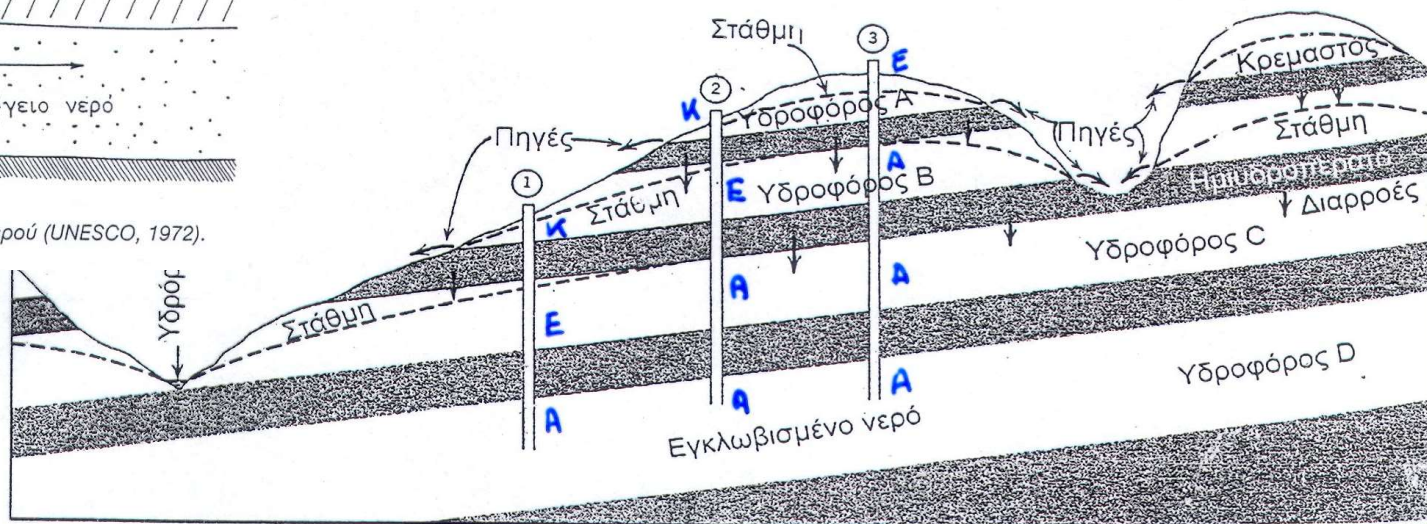
▲ FIGURE 3.22
Artesian and flowing well in confined aquifer.



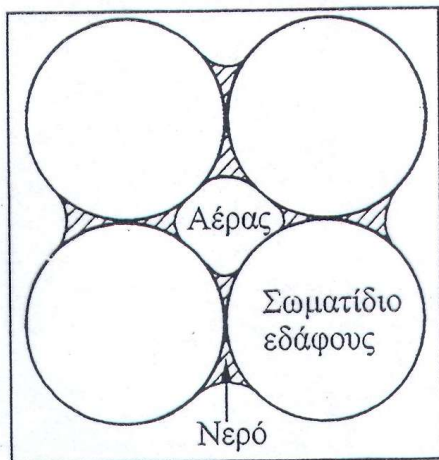
▲ FIGURE 3.23
Perched aquifer formed above the main water table on a low-permeability layer in the unsaturated zone.



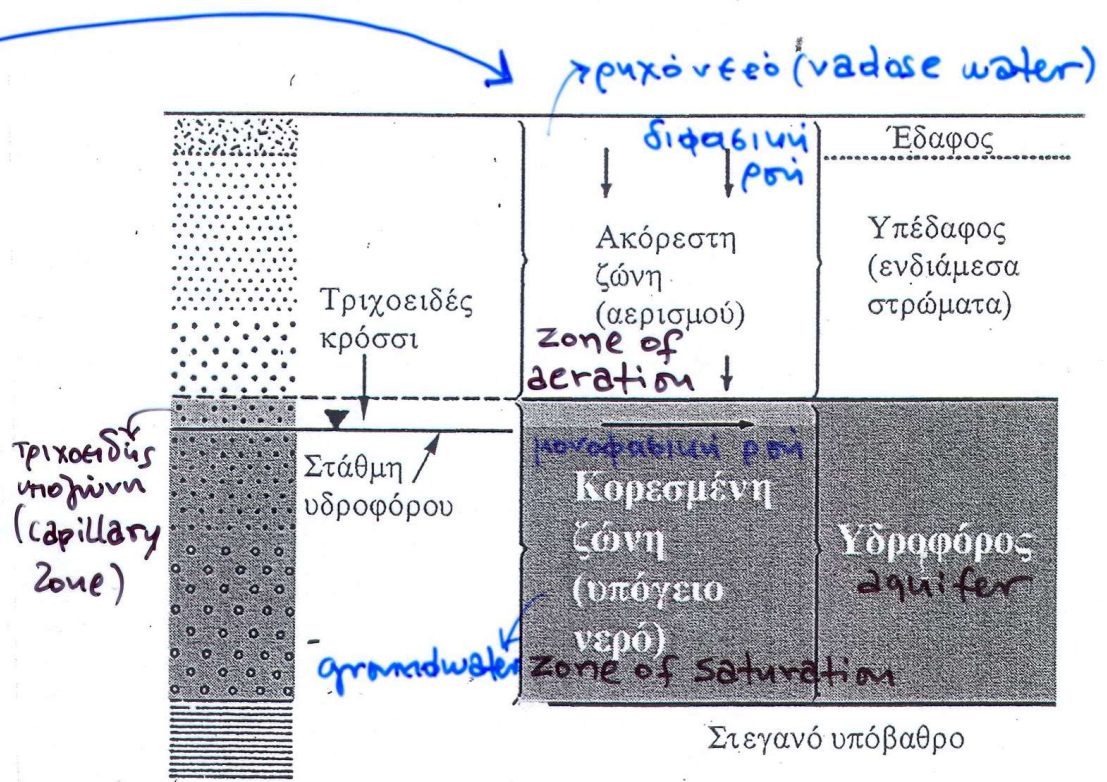
Εικ. 2.22. Οι διάφορες εμφανίσεις υπόγειου νερού (UNESCO, 1972).



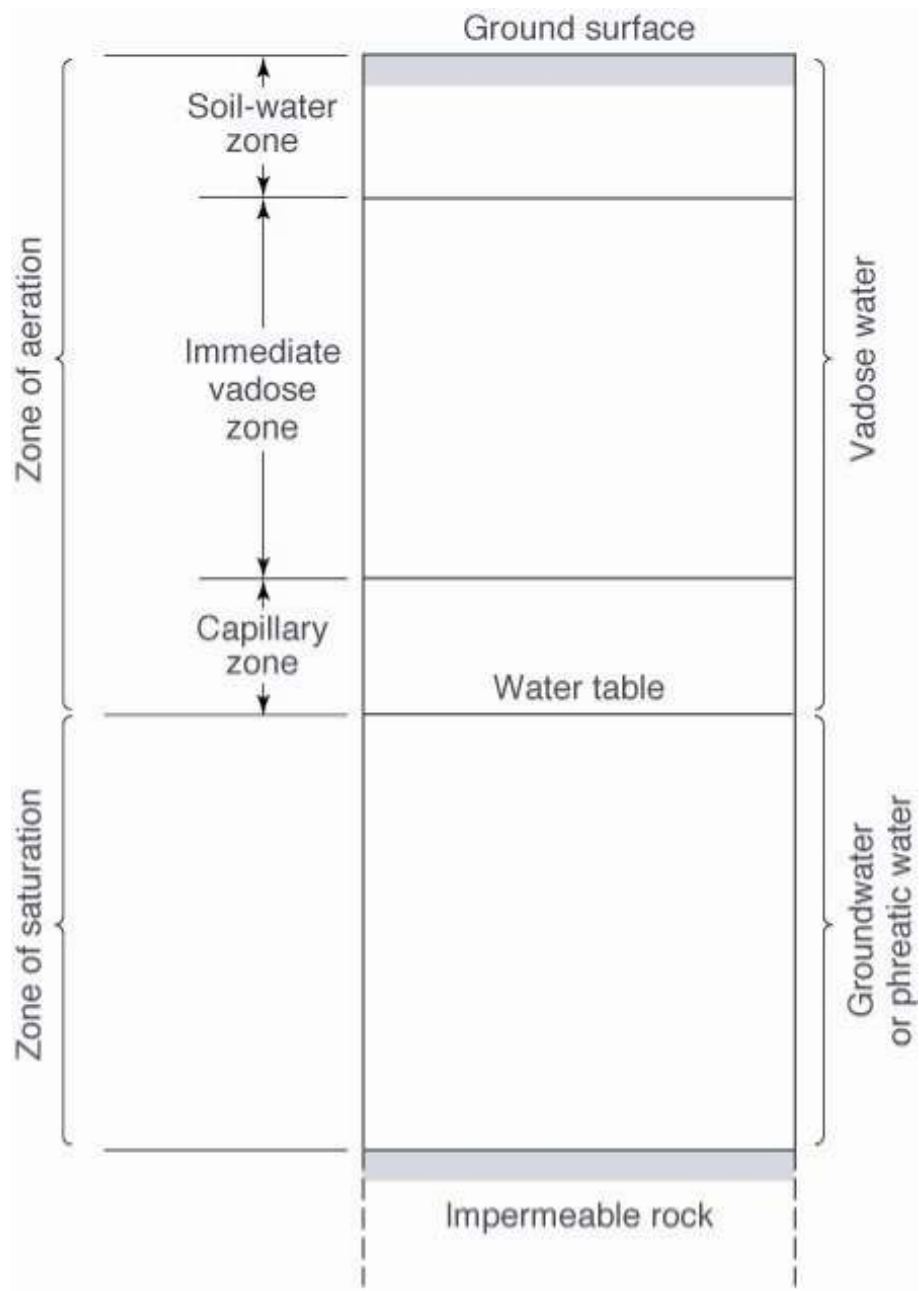
Εικ. 2.23. «Ελεύθερος», «αρτεσιανός» και «κρεμαστός» υδροφόρος σε μία στρωματογραφική ακολουθία ψαμμιτών και σχιστολιθών. Με βάση τα στοιχεία μόνο της γεώτρησης 1, ο υδροφόρος B κατατάσσεται στους κρεμαστούς, και ο υδροφόρος C στους ελεύθερους. Με βάση τα στοιχεία μόνο της γεώτρησης 2, οι υδροφόροι κατατάσσονται ο A στους κρεμαστούς, ο B στους ελεύθερους και οι C και D στους αρτεσιανούς. Με βάση τα στοιχεία μόνο της γεώτρησης 3, όλοι οι υδροφόροι, πλην του A, κατατάσσονται στους αρτεσιανούς (Davis - DeWiest, 1966).

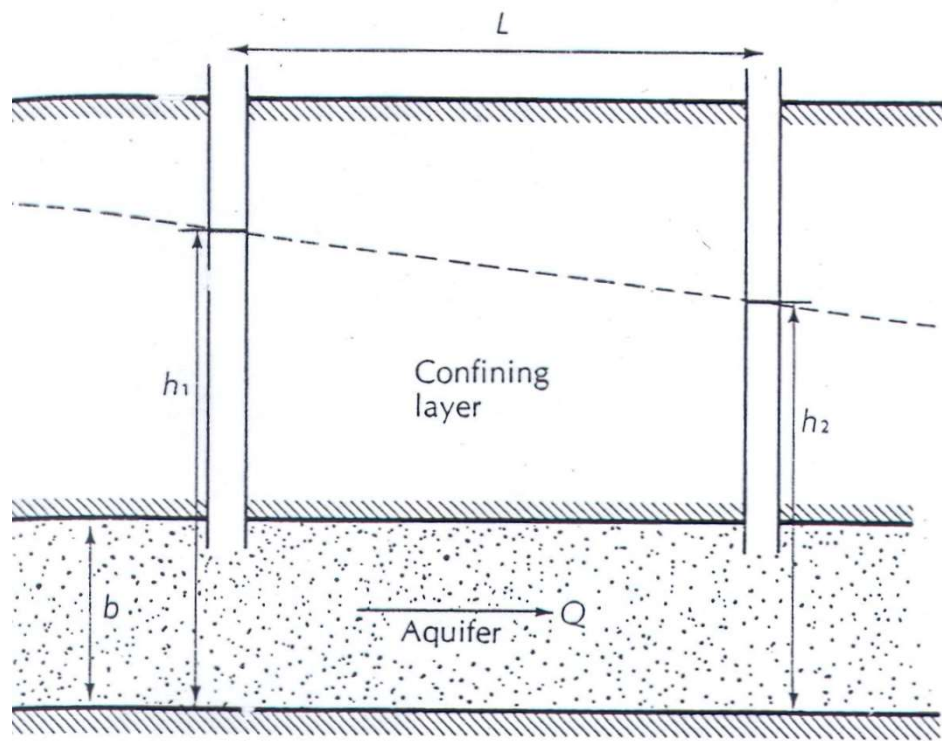
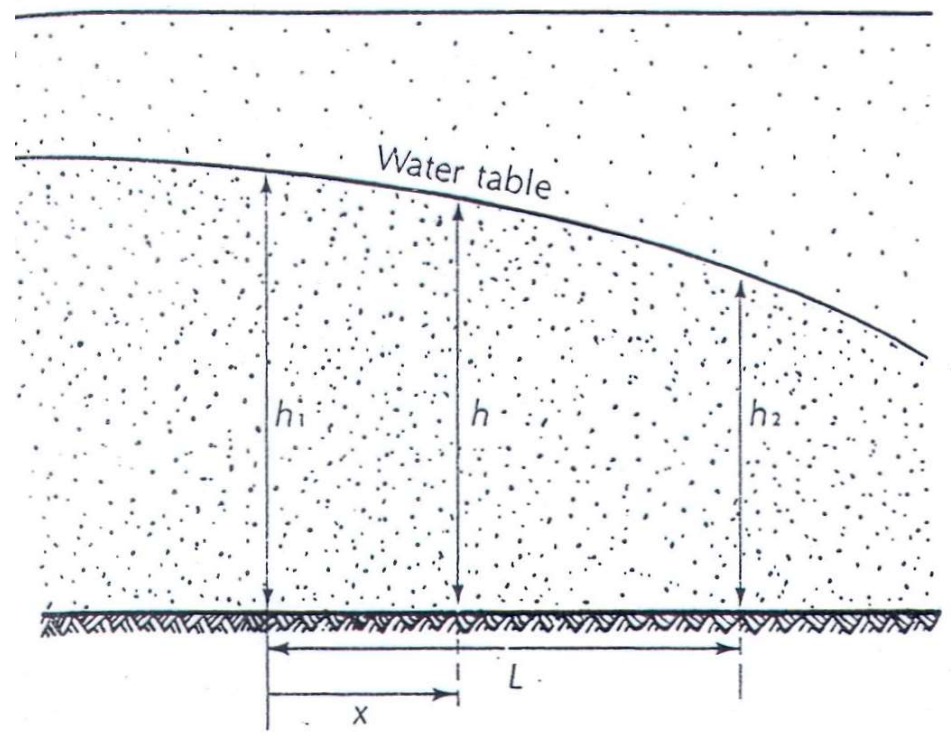


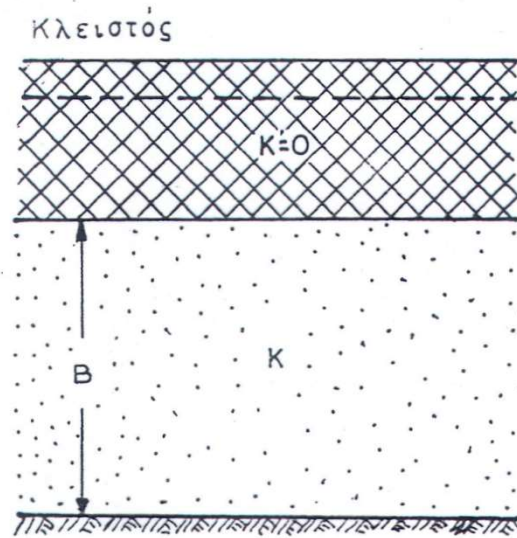
Εικ. 2.18. Το «ενδιάμεσο» νερό συγκρατούμενο στα σημεία επαφής των «κόκκων» του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη.



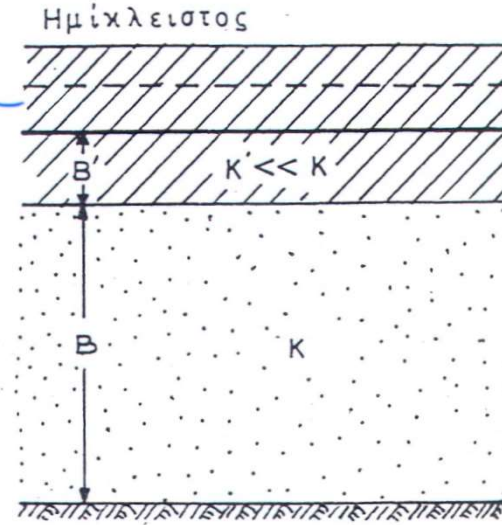
Εικ. 2.17. Υδρολογικές ζώνες στο υπέδαφος





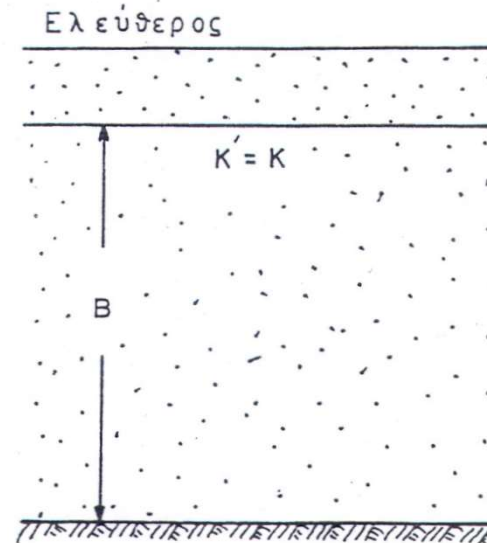
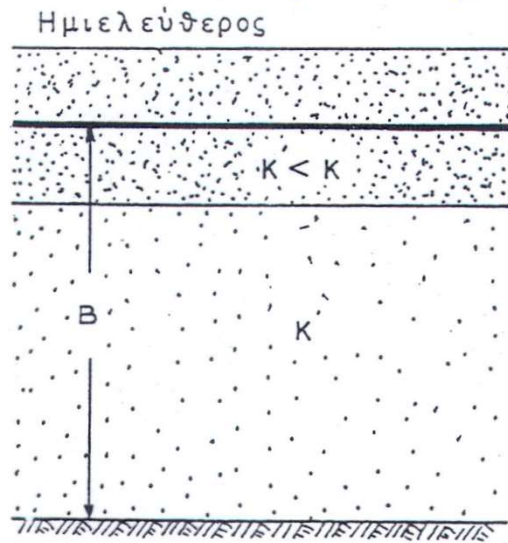


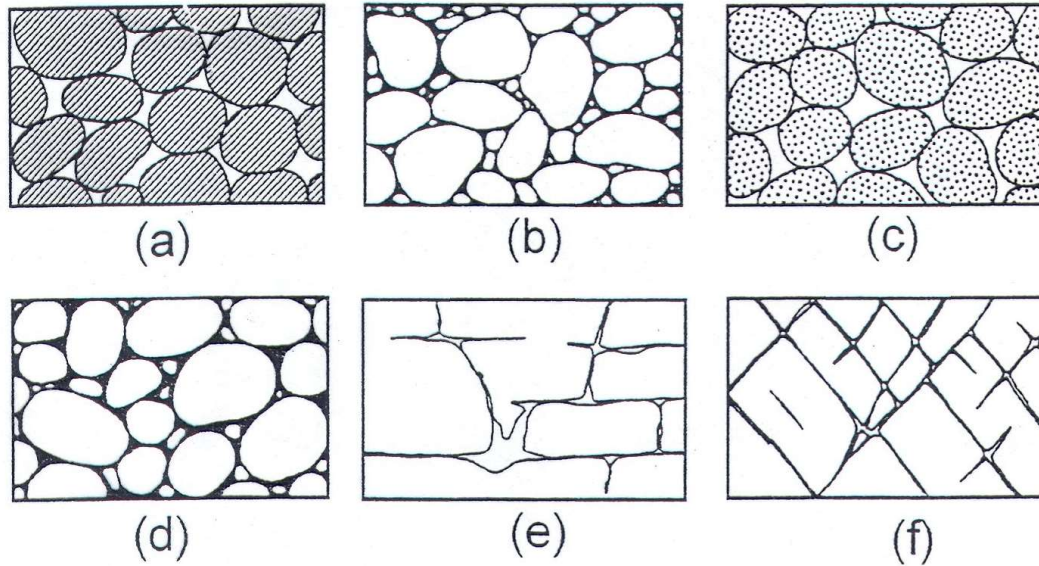
(οριζόντια συνιστώσα της ροής $\approx \phi$)



	Αδιαπέρατο		Λεπτή άμμος		Πιεζομετρική επιφάνεια
	Ημιδιαπερατό		Υδροφορέας		Φρεατική επιφάν.

(οριζόντια συνιστώσα της ροής = κριτήρια υπαγνιστική)





Εικ. 2.13. Παραδείγματα «διακένων» πετρωμάτων και σχέση «υφής» τους και πορώδους (a) καλά διαβαθμισμένη ιζηματογενής απόθεση με υψηλό πορώδες, (b) ιζηματογενής απόθεση με φτωχή διαβάθμιση και μικρό πορώδες (c) καλά διαβαθμισμένη ιζηματογενής απόθεση αποτελούμενη από πορώδη χαλίκια με αποτέλεσμα πολύ υψηλό πορώδες στο σύνολο (d) καλά διαβαθμισμένη ιζηματογενής απόθεση της οποίας το πορώδες έχει ελαττωθεί από την παρουσία ορυκτών υλών στα «διάκενα (e) πέτρωμα που οφείλει το πορώδες του στη διάλυση και (f) πέτρωμα που οφείλει το πορώδες του στη ρωγμάτωση (Meinzer 1923).

→ ογκομετρικό περιεχόμενο υγρασίας : $C = \frac{V_w}{V_o}$ (1.1.5)
(volumetric moisture content)

(1.1.1)
(1.1.4)
(1.1.5) → $C = n S$ [για τα κορεσμένα κορώδια]
[υλικά $S=1$, $C=n$.]

→ ειδική κατακράτηση : $S_r = \frac{V_{wr}}{V_o}$ → όγκος νερού που κατακρατείται ανυδρώντας στη βαρύτητα μετά από υστέρηση (πορισμός δύναμης ή σύζυγης επιβ. τάσης)

→ ειδική απόδοση : $S_y = \frac{V_{wy}}{V_o}$ → όγκος νερού που αποδίδεται μετά από στράγγισμα (βαρυτικό νερό)
[$V_w = V_{wr} + V_{wy}$]

→ ενεργό πορώδες : n_e
ή αποτελεσματικό (effective porosity)
(δχ. 1.3, σελ. 8)

$n = S_r + S_y = S_r + n_e$
(Ιλυώδη έδαφη : $n_e \ll n$
Αμμώδη ή χαλιμώδη έδαφη : $n_e \approx n$)

↳ επιφάνει τον μερικό όγκο των πόρων μέσα από τους οποίους το νερό είναι ελεύθερο να κινηθεί, ανα μονάδα συνολικού όγκου των πόρων υλικού.

1.1.4. Πίεση, πιεζομετρικό φορτίο, υπόστρεβα βωάθρα

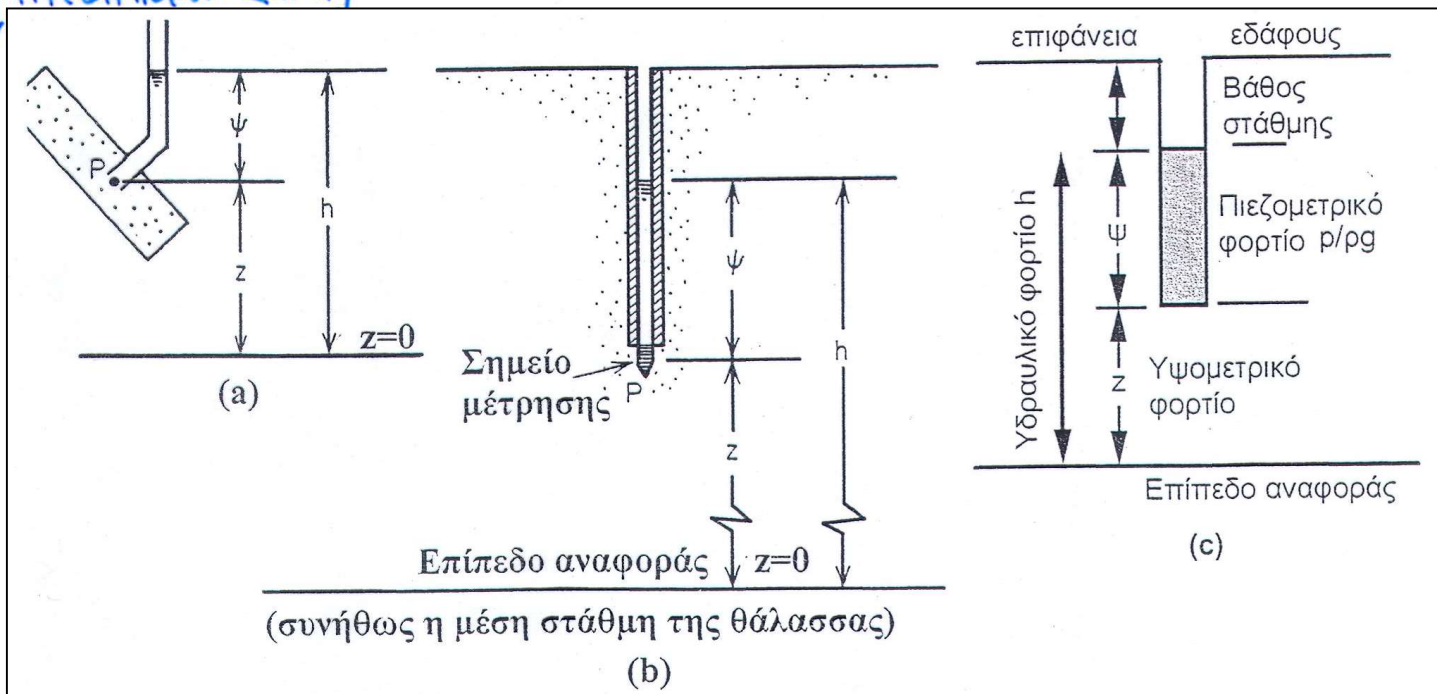
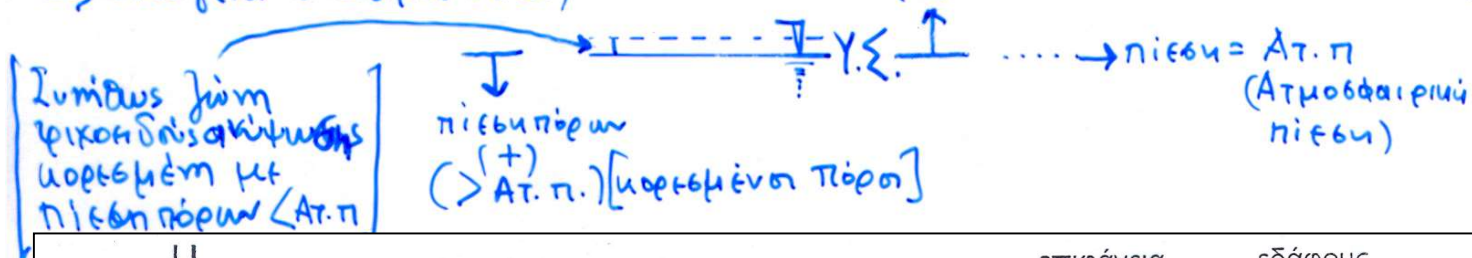
→ πίεση πόρων (pore pressure) → φορτίο πίεσης : $\frac{P}{\gamma_w}$ (pressure head)
 ύψος πίεσης
 ↳ ειδικό βάρος νερού ($1 \frac{gr}{cm^3}$)
 ~ (ρg)
 ↳ πυκνότητα

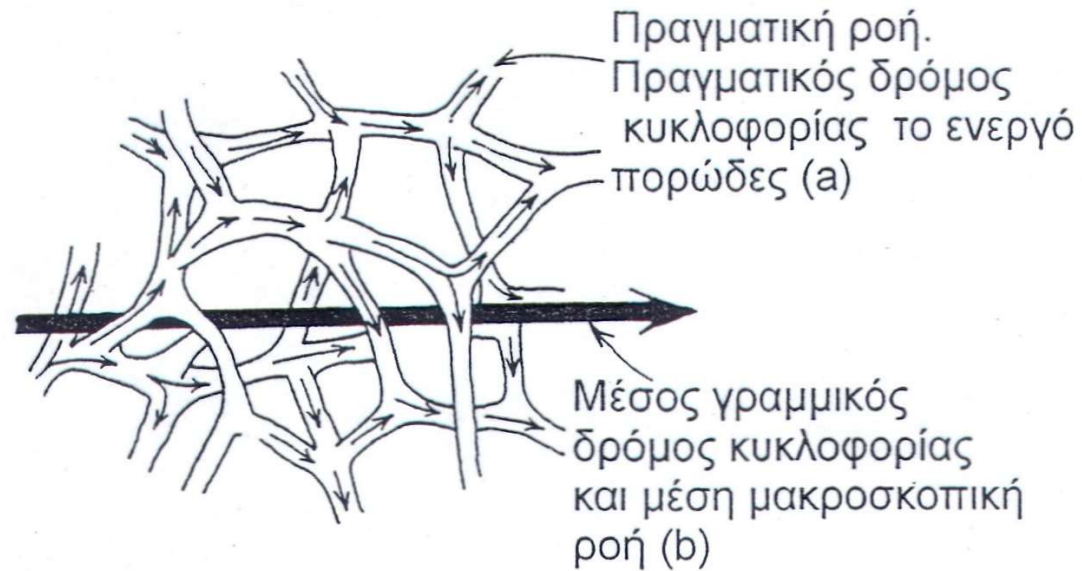
→ ύψος ή φορτίο θέσης : Z (elevation head)

→ υδραυλικό φορτίο : $h = \frac{P}{\gamma_w} + Z$
 (hydraulic head) ύψος

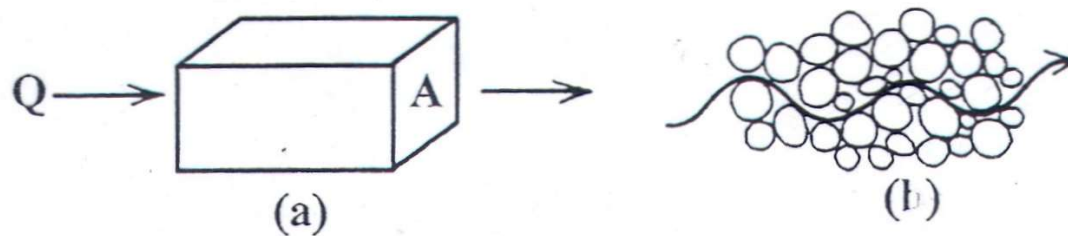
→ υπόστρεβα βωάθρα (Υ.Σ.)

πίεση πόρων (< Ατ. π) [μη κορεσμένοι] [πόρος]
 (-)

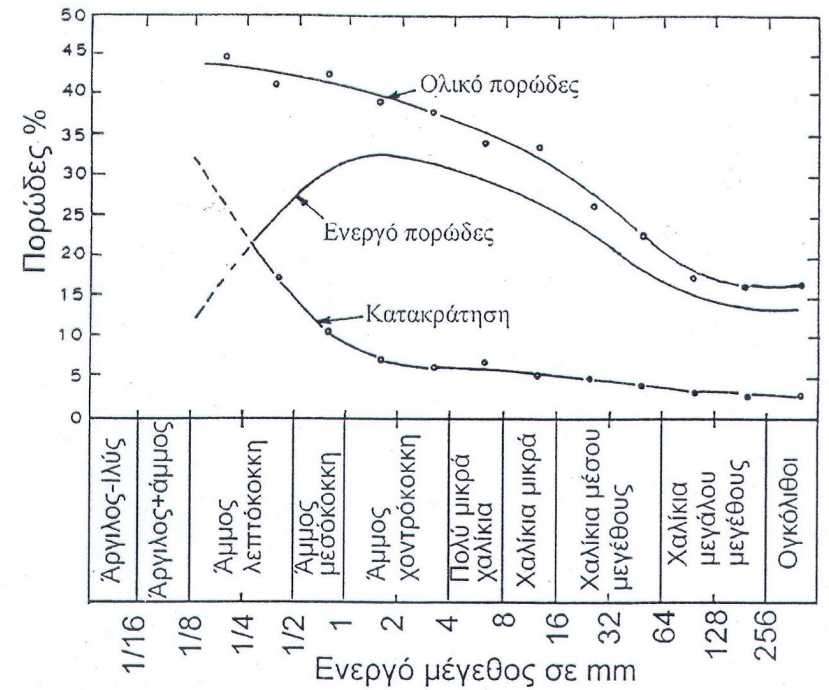




Εικ. 3.4. Πραγματική (a) και φαινόμενη (b) ταχύτητα ροής του νερού σε πορώδες μέσο (Freeze-Cherry, 1979).



Εικ. 3.5. Μακροσκοπική (a) και μικροσκοπική (b) ροή του υπόγειου νερού (Freeze-Cherry, 1979).



Εικ. 2.14. Μεταβολή του ολικού πορώδους και της κατακράτησης με το ενεργό μέγεθος (Eckis, 1934).

Πίνακας 2.3. Εύρος κύμανσης συνολικού πορώδους.

Προσχώσεις	Πορώδες %	Ιζηματογενή πετρώματα	Πορώδες %	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες %
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματωμένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Ιλυόλιθοι	21-41	Μη ρωγματωμένα	0-5
Χοντρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι-Δολομίτες	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Ιλύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10	Αποσαθρωμένοι γάββροι	42-45
“Άργιλος”	34-60				

1.1.5. Τύποι υδραφών βρωμάτων
(βλ. 1.4., βελ. 12)

- Ελεύθερος ή φρεάτιος υδράφωρος
μη περρωρισμένο (unconfined) aquifer
(phreatic) aquifer

Υδρογεωλογικές παράμετροι

- συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας: $K [L \cdot T^{-1}]$
(hydraulic conductivity)
- ειδική απόδοση: S_y (τάξη μεγέθους: $10^{-1} - 10^{-2}$)
(specific yield)

- Κλειστός ή περιορισμένος ή υπό πίεση υδροφόρος (confined aquifer)

→ Πιεζομετρική επιφάνεια (π.ε.)

→ Αρτεσιανός υδροφόρος

Υδρογεωλογικές παράμετροι

→ συντελ. υδραυλ. αγωγιμότητας: K

→ πάχος B

→ συντελεστής μεταβιβασιμότητας: $T = KB$
 ή διοχετευσιμότητας $[L^2 \cdot T^{-1}]$
 ή παραχτυσιμότητας

(transmissivity coefficient)

→ συντελεστής εναποθήκευσης: S (τάξη μεγέθους: $10^{-3} - 10^{-6}$)
 (storage coefficient)

- Ημιυδατός ή κλειστός με διαρροή ($K' \ll K$) (semiconfined) (leaky confined)

μερική υπό πίεση

Υδρογεωλογικές παράμετροι

→ $K, B, T = KB$

→ K', B' τα ημιδιαπερατά στρώματα

→ $c = \frac{B'}{K}, [T]$ υδραυλική αντίσταση του ημιδιαπ. στρ

→ $\lambda = \sqrt{\frac{K'}{KBc}}, [L]$ παράγοντας διαρροής του συστήματος (leakage factor)

- Ημιελεύθερος ή φρεάτιος με διαρροή ($K' < K$)
(semiconfined) (leaky phreatic)

Υδρογεωλογικές παράμετροι

- $K, B, T = KB$
- συντελεστής αναποδιάνυξης αρχικής περιόδου S_A
(early time coefficient)
- καθυστερημένη ειδική απόδοση S_Y
(delayed specific yield)
- συντελεστής αδιάστατος $\gamma = 1 + \frac{S_Y}{S_A}$
- ενεργός συντελεστής αναποδιάνυξης $S = S_A + S_Y = \gamma S_A$
ή
αποτελεσματικός
(effective storage coefficient)
- K', B' , των ημιδιαρρατικών στρωμάτων
- δείκτης καθυστέρησης Boulton $\frac{1}{a}$ [T] ημερες, ή t_d
(delay index) υψέρπυσης
↑
σταθερά ηχηρημιά [ευζιμηνη απο τη δύναμη των υαίμων το υδροφόρου]
- παράγοντας στράγγισης $\lambda_A = \sqrt{KB/aS_Y}$, [L].

- Εξιδανικευμένα υδροφόρα
(Idealized aquifers)

→ ομοιογενής ή ισόζωνη

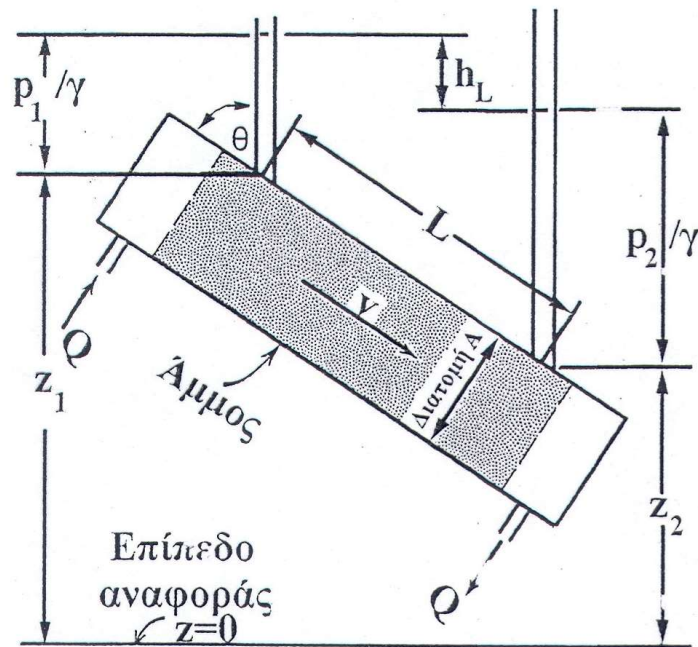
1.2. Νόμος του Darcy

1.2.1. Γενικότητα

$$\frac{Q}{A} = V = K \frac{h_1 - h_2}{\Delta l} = -K \frac{h_2 - h_1}{\Delta l} \quad \text{ή} \quad v = -K \frac{dh}{dl}$$

!! κίνηση προς h_2 (μικρότερο φορτίο)!!

μακροβιοτική ταχύτητα
ταχύτητα διαβάστασης ή διήθησης
(seepage velocity)



Εικ. 3.1. Η κατανομή των πιέσεων και η απώλεια φορτίου κατά τη ροή του νερού μέσα από άμμο.

1.2.2. Μορφές και πεδίο ισχύος των νόμων Darcy
(βλ. 1.8, σελ. 17)

→ Γενικεύσει των νόμων Darcy για ομοιογενή και ισότροπα πορώδη υλικά με τη διανυσματική επίδραση:

$$\vec{V} = -K \text{grad} h \quad (1.2.3)$$

$$\left(\underbrace{L^3 \cdot T^{-1}}_{Q = \frac{V}{t}} \cdot \underbrace{L^{-2}}_A = L T^{-1} \right)$$

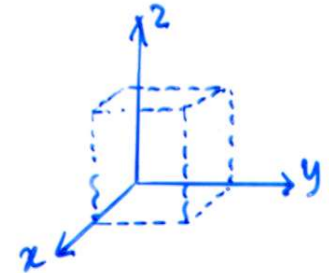
→ Δυναμικό λαχύτιδας $\phi = -K \left(\frac{p}{\rho g} + z \right) = -Kh$, ($L^2 T^{-1}$)

→ \vec{V} είναι πάντοτε κάθετη στην επιφάνεια ίσων δυναμικών, όπου $\phi = -Kh = \text{σταθερό}$ ή $h = \text{σταθερό}$.

→ Συνιστώσες της \vec{V}

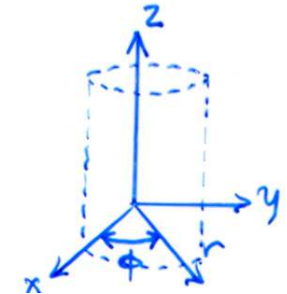
• καρτεσιανές συντεταγμένες
(x, y, z)

$$\begin{cases} V_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \\ V_y = -K \frac{\partial h}{\partial y} \\ V_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \end{cases}$$



• κυλινδρικές συντεταγμένες
(r, ϕ, z)

$$\begin{cases} V_r = -K \frac{\partial h}{\partial r} \\ V_\phi = -K \frac{\partial h}{r \partial \phi} \quad (!!) \\ V_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \end{cases}$$

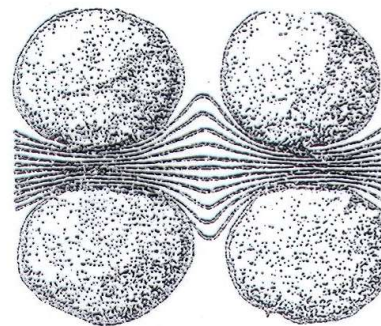


→ Αριθμός Reynolds: $Re = \frac{Vd}{\nu}$

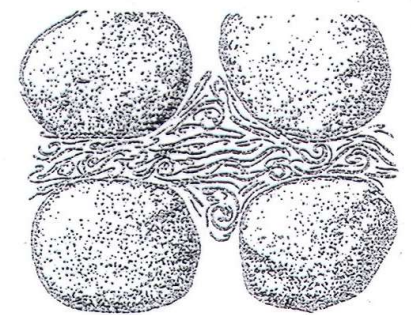
↗ ταχύτητα διαστάλαξης
 ↘ χαρακτηριστική μέση διάμετρος των κόκκων των πορώδους υλικού
 ↙ αδιάβητο
 ↘ κινηματικό ιξώδες του ρευστού ($\frac{cm^2}{sec}$)
 (kinematic viscosity) $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

→ Από πειράματα → ισχύς του νόμου Darcy: $Re < 3-10$
 Για $600 > Re > 10$ → μη γραμμική σχέση Q και $grad h$
 ↳ ταχύτερη ροή ή κόκκοι αρκετά μεγάλοι

→ Στρωτή ροή: $Re < 10$
 (laminar flow)
 Τυρβώδης ροή: $Re > 10$
 (turbulent flow)

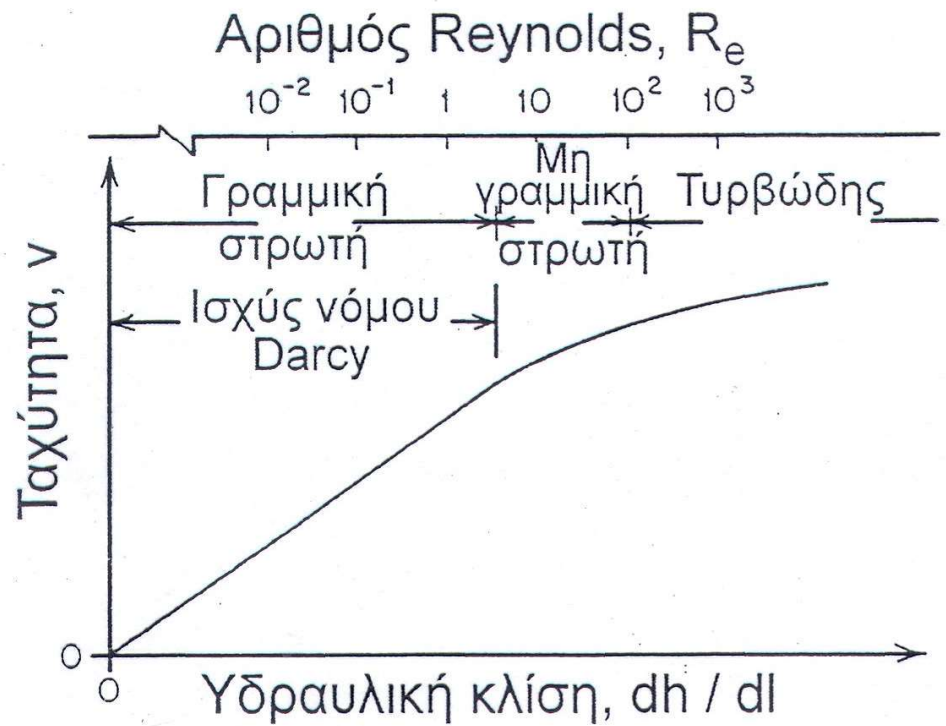


Στρωτή ροή

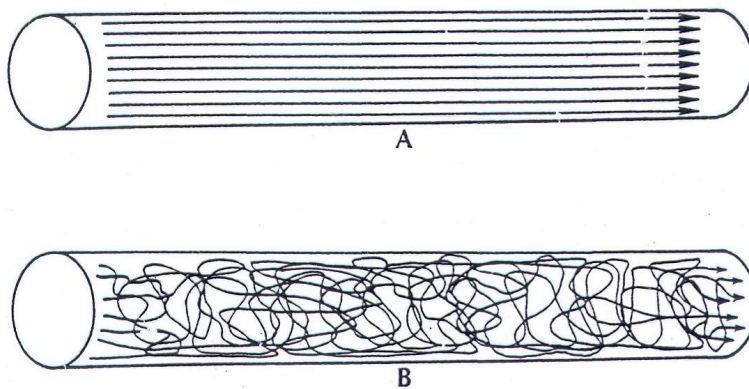


Τυρβώδης ροή

Εικ. 3.7. Στρωτή και τυρβώδης ροή (Heath-Trainer, 1968).



Εικ. 3.8. Όρια ισχύος του νόμου του Darcy (Freeze-Cherry, 1979).



▲ FIGURE 4.6

A. Flow paths of molecules of water in laminar flow. **B.** Flow paths of molecules of water in turbulent flow.

- Επιφυλακτικότητα ως προς την ισχύ του νόμου Darcy:
- σε υδροφόρους υπό χαλίκια
 - σε βλιστογενή και καρβινά πετρώματα
 - σε κανονικούς υδροφόρους στις περιοχές κοντά στα τοκώματα των φρέατων ή των βραχχοστιμών τάφρων (ταχύτητα μεγάλης ~ μεγάλης i)
- Ισχύς του νόμου Darcy:

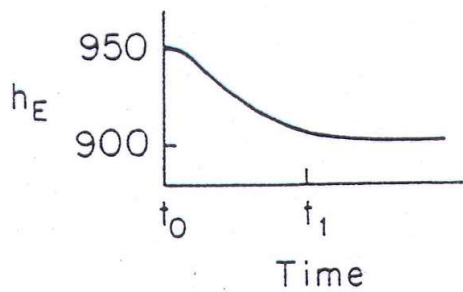
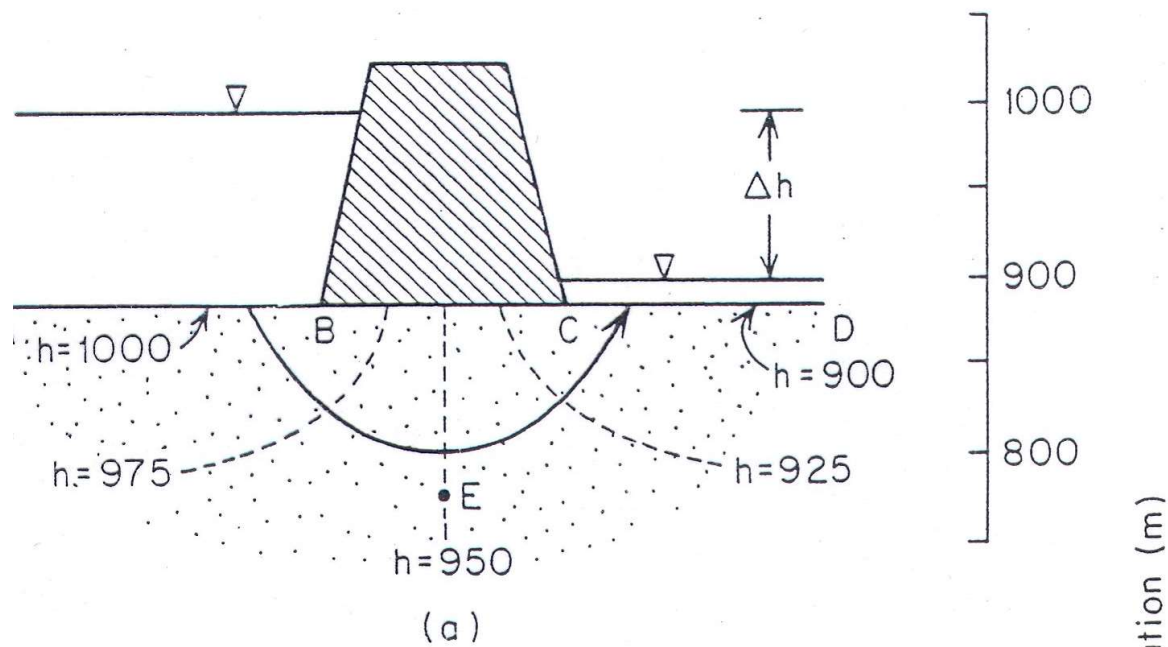
- και σε μόνιμη ή σταθερή ροή (v = σταθερή συνάρτηση του χρόνου και σε διεύθυνση και σε μέγεθος)
 - και σε μη μόνιμη ή αβασθή ροή (με προϋπόθεση ότι η ροή πρέπει να είναι αργή)
- ↓

στρωτή ροή
(laminar, $Re < 10$)

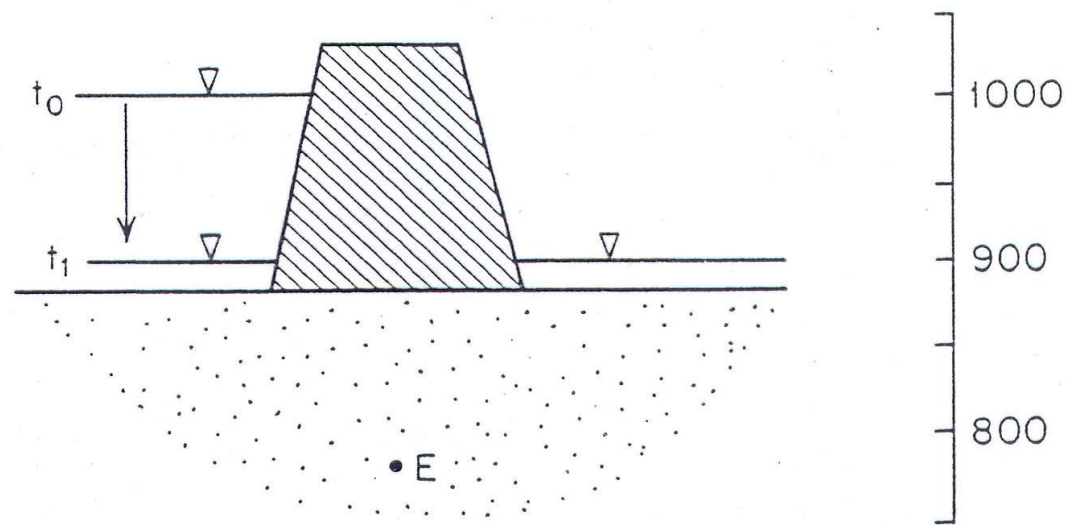
↓

τυρβώδης ροή
(turbulent, $Re > 10$)

→ Σε μη υφασμένη ροή ισχύει ο νόμος Darcy, αλλά $k \neq$ σταθερή (η k ονομάζεται πλέον ζεικοειδής αγωγιμότητα και είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας εδαφικής υγρασίας ή της πίεσης των εδαφικ. νερά)



(b)



Steady-state and transient groundwater flow beneath a dam.

1.2.3. Υδραυλική αγωγιμότητα

$$K = C d^2 \frac{\gamma}{\mu} \quad (1.2.10)$$

μέση διάμετρος \uparrow \rightarrow ειδικό βάρος
 \downarrow \rightarrow ιξώδη (viscosity) συντελεστής

υδραυλική αγωγιμότητα
 (coefficient of permeability
 or
 hydraulic conductivity)
 $[L \cdot T^{-1}]$
 υδροπέρατοιτητα

παράγοντας σχήματος (shape factor),
 συνάρτηση:
 - του σχήματος και της διάβρωσης των κοίμων
 - της απόστασης του μεγέθους των κοίμων από τη μέση διάμετρο
 - του παρώδους.

$$K_p = C d^2 \quad (1.2.11)$$

$\downarrow [L^2]$
 απόλυτη ή γεωμετρική διαπερατότητα (specific or physical or intrinsic permeability or permeability)

$$(1.2.10) \Rightarrow (1.2.11) \Rightarrow K = K_p \cdot \frac{\gamma}{\mu} = K_p \cdot \frac{g}{v} \quad (1.2.12)$$

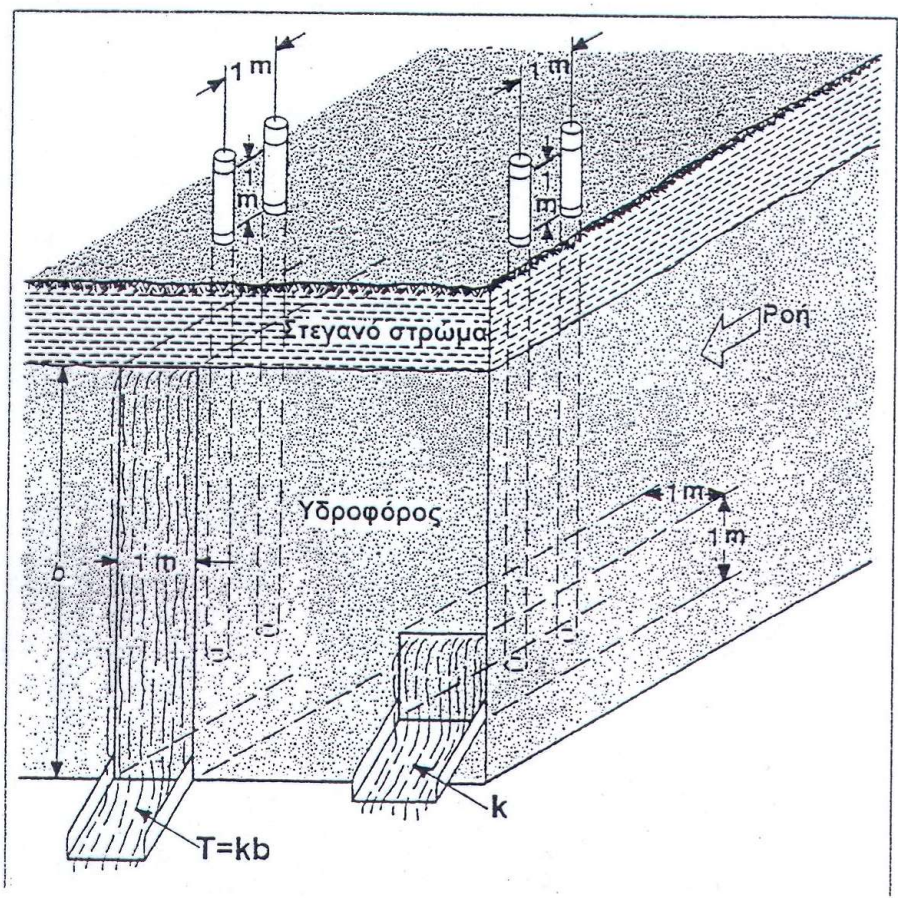
$\frac{cm}{sec}$ \downarrow cm^2 \downarrow $\frac{gr \cdot sec}{cm^2}$ \rightarrow $\frac{gr}{cm^3}$ \rightarrow $\frac{cm}{sec^2}$ \rightarrow κινηματικό ιξώδη $(\frac{cm^2}{sec})$

$$\left[\begin{array}{l} \gamma = \rho g \\ \mu = \nu \rho \end{array} \right]$$

\downarrow
 πυκνότητα (density)

1.2.4. Μονάδες μέτρησης των K και K_p

- K : cm/sec, m/sec, m/h, m/ημέρα (πρέπει να επισημάνεται και η θερμοκρασία μέτρησης)
- K_p : \rightarrow cm², m² (π.χ. 10^{-16} cm² (γρανίτης) \div 10^{-3} cm² (βασιλιά))
 \rightarrow 1 darcy = $0,987 \times 10^{-8}$ cm² (Αμερική)
 \rightarrow για φυσικά έδαφη: 1 millidarcy = 10^{-3} darcy
 013 darcy) (Γαλλία)



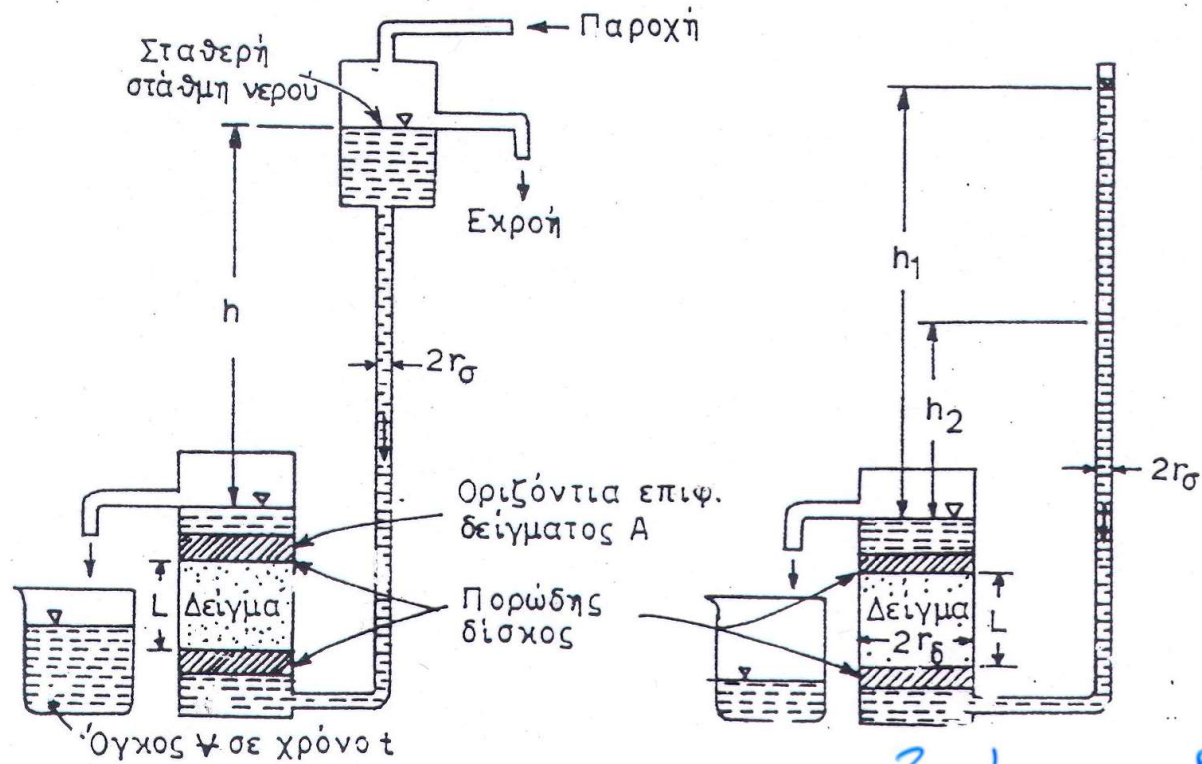
Μεγάλο εύρος μεθόδων υπολογισμού της K , ήδη από το 19ο αιώνα.

Η επιλογή εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα στοιχείων και τον προϋπολογισμό της έρευνας.

Οι διαθέσιμες μέθοδοι μπορούν να διακριθούν σε:

- Εργαστηριακές δοκιμές (κοκκομετρικές αναλύσεις-εμπειρικοί τύποι [αρκετά μικρό κόστος-μικρή αξιοπιστία], δοκιμή περατομέτρου [μικρό έως μέσο κόστος-ικανοποιητική αξιοπιστία])
- In situ δοκιμές μικρής κλίμακας (in situ δοκιμή με περατόμετρο, κλπ)
- In situ δοκιμές μεγάλης κλίμακας (δοκιμαστικές αντλήσεις, δοκιμές ελέγχου του υπόγειου νερού, κλπ)
- Άλλες μέθοδοι (γεωφυσικά, τεχνικές προσομοίωσης, κλπ)

Permeameter	$K_v = \frac{QLR_t}{Ath}$	K_v : m/sec, Q: quantity of flow (cm ³), A: cross sectional area of sample (mm ²), L: length of sample (mm), h: head loss (mm), t: elapsed time (sec), R_t : temperature correction factor for viscosity of water.
Hazen	$K = \frac{g}{v} \cdot (6 \times 10^{-4}) \cdot [1 + 10(n - 0.26)] \cdot d_{10}^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, 0.1mm < d_{10} < 3mm, n < 5
Slichter	$K = \frac{g}{v} \cdot 10^{-2} \cdot n^{3.287} \cdot d_{10}^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, 0.01mm < d_{10} < 5mm
Terzaghi	$K = \frac{g}{v} \cdot C_T \cdot \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}}\right)^2 \cdot d_{10}^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, large-grain sands, $C_T = 10.7 \times 10^{-3}$ for smooth grains and $C_T = 6.1 \times 10^{-3}$ for coarse grains
Beyer	$K = \frac{g}{v} \cdot [(6 \times 10^{-3}) \cdot \log \frac{500}{\eta}] \cdot d_{10}^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, η : coefficient of uniformity, $1 < \eta < 20$, 0.06mm < d_{10} < 0.6mm
Sauerbrei	$K = \frac{g}{v} \cdot (3.75 \times 10^{-3}) \cdot \left(\frac{n^3}{(1 - n)^2}\right)^2 \cdot \tau \cdot d_{17}^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, τ : correction temperature ($\tau \sim [1.05 \times 10^{-6}]/v$), sand and sandy clay, $d_{17} < 0.5$ mm
Kröger	$K = \frac{g}{v} \cdot (4.35 \times 10^{-5}) \cdot \frac{n}{(1 - n)^2} \cdot d_e^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, medium-grain sands, $\eta > 5$
Kozeny	$K = \frac{g}{v} \cdot (8.3 \times 10^{-3}) \cdot \frac{n^3}{(1 - n)^2} \cdot d_e^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, large-grain sands
Zunker	$K = \frac{g}{v} \cdot C_Z \cdot \left(\frac{n}{(1 - n)}\right) \cdot d_e^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, $C_Z = 0.7 \times 10^{-3} - 2.4 \times 10^{-3}$ fine and medium-grain sands
Zamarin	$K = \frac{g}{v} \cdot (8.2 \times 10^{-3}) \cdot \frac{n^3}{(1 - n)^2} \cdot d_e^2$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, large-grain sands
USBR	$K = \frac{g}{v} \cdot (4.8 \times 10^{-4}) \cdot d_{20}^{2.3}$	v : kinematic coefficient of viscosity, n: porosity, medium-grain sands, n < 5
Alyamani	$K = 1300 \cdot [I_0 + 0.025(d_{50} - d_{10})]^2$	I_0 : initial slope and intercept (mm)
Shepherd	$K = cd^{1.65-1.85}$	$d = d_{50}$, $c = 3500$, exponent: 1,65
Loudon	$K = \frac{10^{(1.365+5.15n)}}{S^2}$	K in cm/s, n: porosity, $S(\text{cm}^2)/(\text{cm}^3)$: specific surface of grains



$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

$$K = \left(\frac{r_{\delta}}{r_{\sigma}}\right)^2 \cdot \frac{L}{t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Σχήμα 1.9. Διαπερατόμετρα σταθερού (α) και μεταβαλλόμενου (β) πιεζομετρικού φορτίου

Πίνακας 2.2. Ενδεικτικές τιμές υδροπερατότητας και υδροχωρητικότητας (Mandel - Shiftan 1981, με τροποποιήσεις).

Σχηματισμός	Τιμή k σε cm/s κατά προσέγγιση	Τιμή S	Χαρακτηρισμός
Χαλίκια μικρού μεγέθους	$7 \cdot 10^{-2}$	0,1	Υδροφόρο
Χονδρόκοκκη άμμος	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,1-0,25	Υδροφόρο
Λεπτόκοκκη άμμος	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,25-0,35	Υδροφόρο
Άμμοι και ιλύς	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,35	Βραδυδροφόρο
Άργιλος	$1 \cdot 10^{-7}$	-	Ανυδροφόρο
Αρτεσιανοί υδροφόροι	-	0,005-0,0005	

H: οριζόντια υδροπερατότητα
 V: κατακόρυφη //
 R: φαινόμενα μεταβλητότητας

Πίνακας 3.1. Η υδροπερατότητα σε μερικούς σχηματισμούς

Υλικό	Υδροπερατότητα σε m/s	Είδος μέτρησης	Υλικό	Υδροπερατότητα σε m/s	Είδος μέτρησης
Μεγάλα χαλίκια	$1,7 \cdot 10^{-3}$	R	Άμμος θινών	$2,3 \cdot 10^{-4}$	V
Χαλίκια μέσου μεγέθους	$3,1 \cdot 10^{-3}$	R	Πηλός	$9,2 \cdot 10^{-7}$	V
Χαλίκια μικρού μεγέθους	$5,2 \cdot 10^{-3}$	R	Τύρφη	$6,6 \cdot 10^{-5}$	V
Χονδρόκοκκη άμμος	$5,2 \cdot 10^{-4}$	R	Κρυσταλλικός σχιστόλιθος	$2,3 \cdot 10^{-6}$	V
Μεσόκοκκη άμμος	$1,4 \cdot 10^{-4}$	R	Γραφικός σχιστόλιθος	$9,2 \cdot 10^{-10}$	V
Λεπτόκοκκη άμμος	$2,9 \cdot 10^{-5}$	R	Αμμούχοι παγετώδεις αποθέσεις	$5,7 \cdot 10^{-6}$	R
Ιλύς	$9,2 \cdot 10^{-7}$	H	Χαλικομιγείς παγετώδεις αποθέσεις	$3,5 \cdot 10^{-4}$	R
Άργιλος	$2,3 \cdot 10^{-9}$	H	Τόρφος	$2,3 \cdot 10^{-6}$	V
Λεπτόκοκκος ψαμμίτης	$2,3 \cdot 10^{-6}$	V	Βασάλτης	$1,1 \cdot 10^{-7}$	V
Μεσόκοκκος ψαμμίτης	$3,6 \cdot 10^{-5}$	V	Αποσαθρωμένος Γάβρος	$2,3 \cdot 10^{-6}$	V
Ασβεστόλιθος	$1,08 \cdot 10^{-5}$	V	Αποσαθρωμένος Γρανίτης	$1,6 \cdot 10^{-5}$	V
Δολομίτης	$1,1 \cdot 10^{-8}$	V			

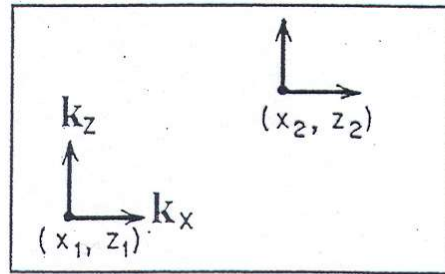
Γενικά η υδροπερατότητα χαρακτηρίζεται ως:

- [- πολύ μεγάλη όταν $k \geq 10^{-2}$ m/s (χαλίκια)
- μεγάλη όταν $10^{-5} < k < 10^{-2}$ (καθαροί άμμοι με χαλίκια)
- μέτρια όταν $10^{-8} < k < 10^{-5}$ (λεπτόκοκκοι άμμοι)
- μικρή όταν $10^{-10} < k < 10^{-8}$ (ιλυούχος άργιλος)
- πολύ μικρή όταν $k \leq < 10^{-10}$ (καθαρή άργιλος, πρακτικά στεγανά πετρώματα)

Ανάλογα με την υδροπερατότητα τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως:

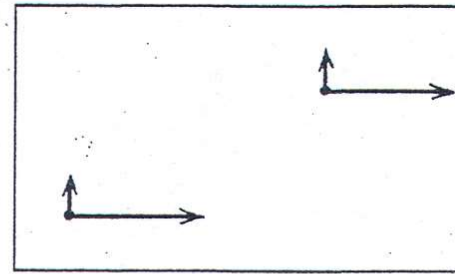
- [- πολύ υδροπερατά όταν $k \geq > 10^{-1}$ m/s
- υδροπερατά όταν $10^{-6} < k < 10^{-1}$ m/s
- λίγο υδροπερατά όταν $10^{-6} > k > 10^{-9}$ m/s
- Πρακτικά στεγανά όταν $k \leq < 10^{-9}$ m/s

Ομοιογενές & ισότροπο

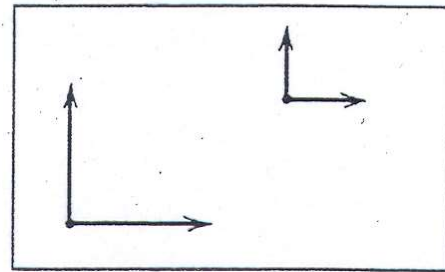


(a)

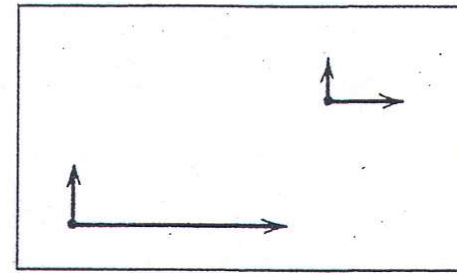
Ομοιογενές & ανισότροπο



(b)



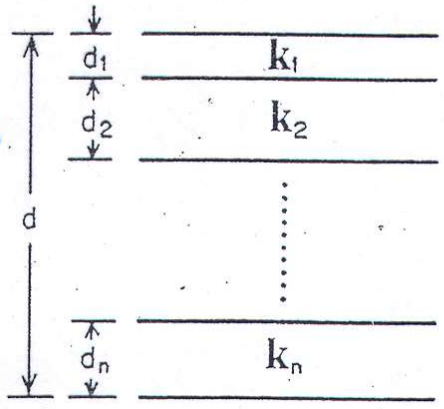
Ετερογενές & ισότροπο
(c)



Ετερογενές & ανισότροπο
(d)

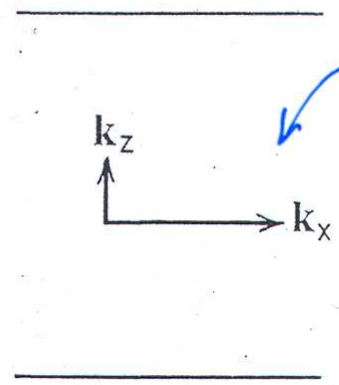
I

Ετερογενές
βραχυστάθμη
σύστημα
από
Επί μέρας
ομοιογένειες
ισότροπο
Σταθερά
βρίμματα



ΥΔΡΑΓΩΓΗ
≡
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ

II



Ενιαίο
υδατικό
βραχυστάθμη
ομοιογένειες
αλλά
ανισότροπο

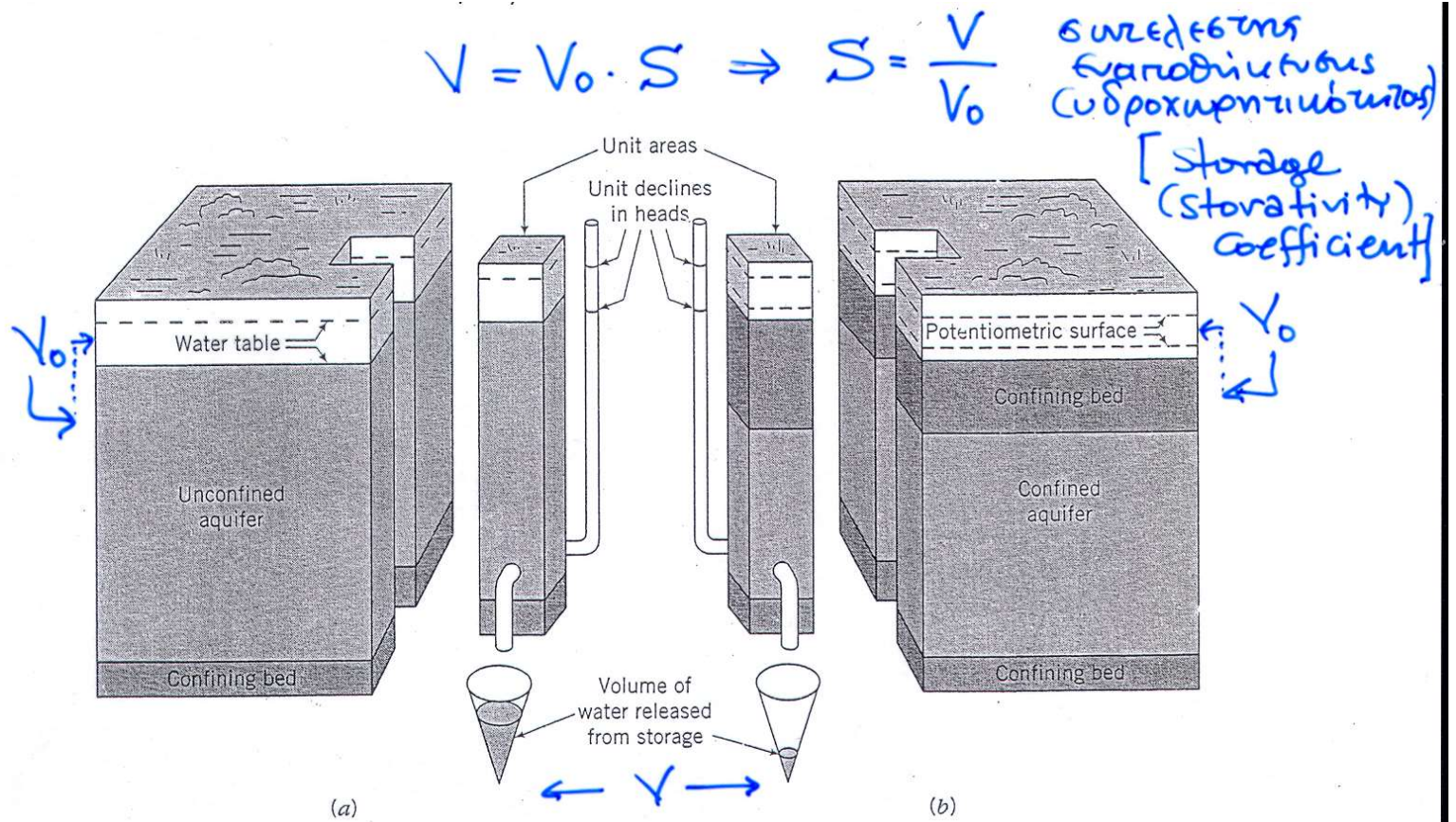
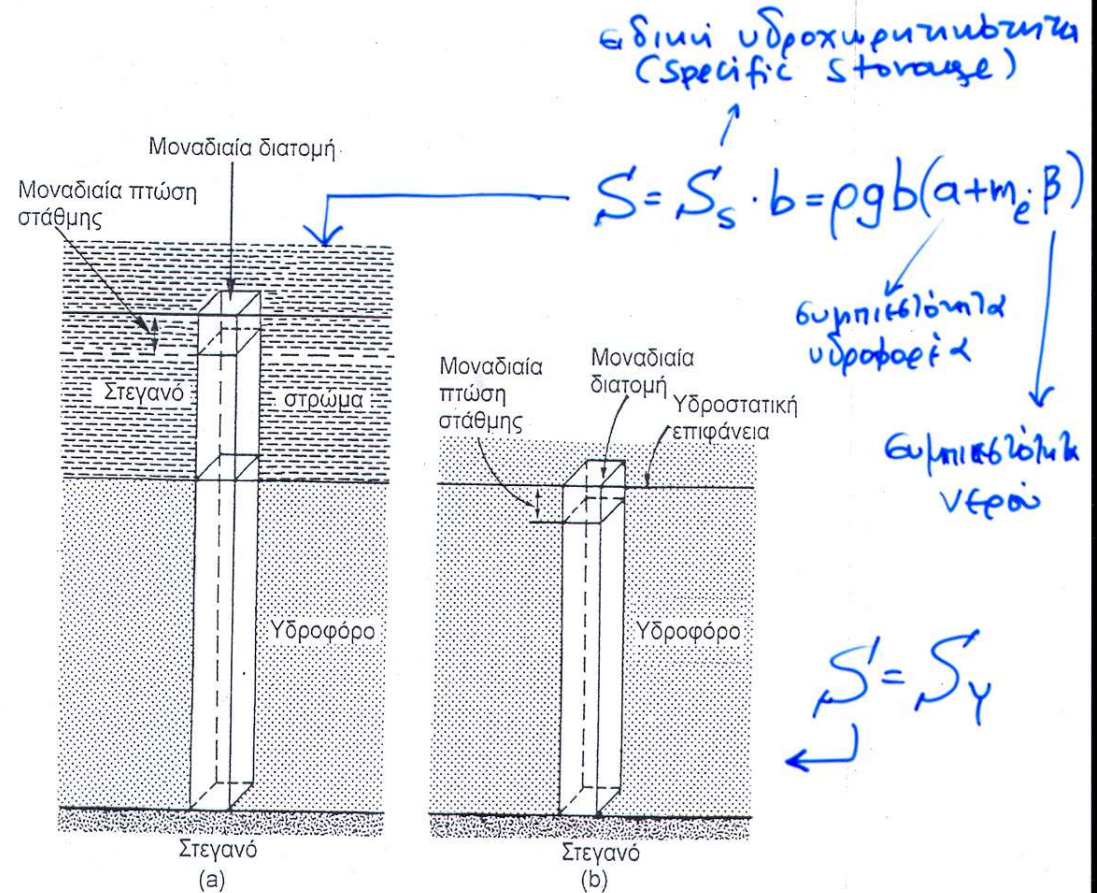


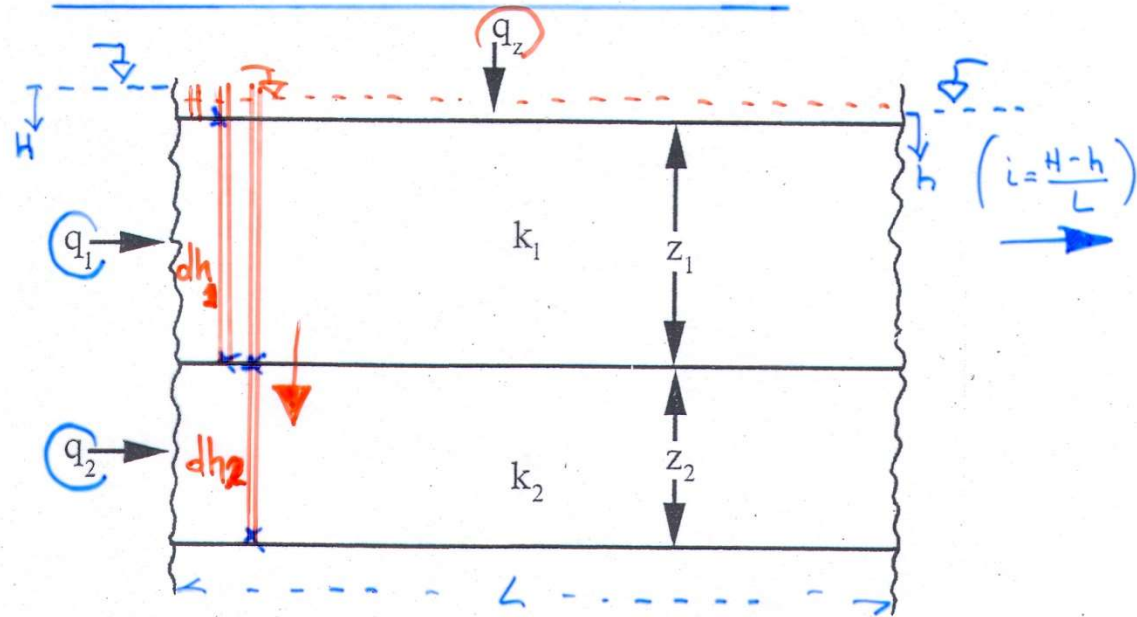
Figure 4.3 Diagrams illustrating the concept of storativity in (a) an unconfined aquifer and (b) a confined aquifer (from Heath, 1982).

Διακύμανση S :
 Αρτεσιό: $\sim 5 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-5}$
 Ελευθ.: $\sim 0,3 \div 0,01$



Εικ. 2.27. Παραστατικά σχέδια για τον καθορισμό της υδροχωρητικότητας στους αρτεσιανούς (a) και ελεύθερους (b) υδροφόρους.

Ανισότροποι υδροφόροι



Εικ. 3.22. Διάγραμμα δύο οριζόντιων στρωμάτων που το καθένα είναι ισότροπο αλλά που έχουν διαφορετικό πάχος και k .

- Στα συμπαγή πετρώματα η ανισοτροπία ελέγχεται από τον προανατολισμό των στρώσεων, τις διαρρήξεις, τις διακλίσεις κλπ.
- Στις αλλαβιακές αποθέσεις (οριζόντια στρώματα):
 $k_x > k_z \rightarrow \frac{k_x}{k_z} \approx 2-10$ (και μέχρι ≥ 100 σε στρώματα αρχιλύ)

ενκίο υδροφόρο σύστημα
 οριζόντια
 εσοί

$q_1 = k_1 \cdot i \cdot z_1$
 $q_2 = k_2 \cdot i \cdot z_2$

ολική οριζόντια εσοί
 $q_x = q_1 + q_2 = k_1 \cdot i \cdot z_1 + k_2 \cdot i \cdot z_2 = i(k_1 z_1 + k_2 z_2) \quad (1)$

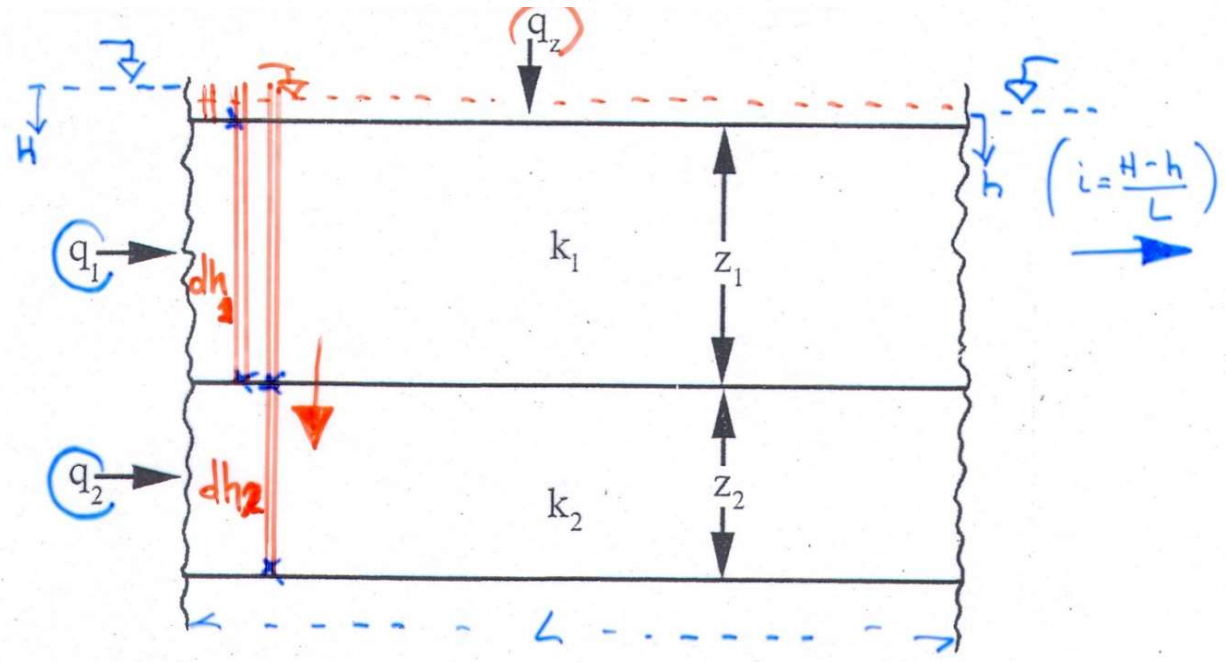
ανά μονάδα εσοί (μίσθ) οριζόντια υδροκινητική αγωγιμότητα συστήματος

• σύστημα ομοοφών: $q_x = K_x \cdot i \cdot (z_1 + z_2) \quad (2)$

• $\frac{(1)}{(2)} \rightarrow K_x = \frac{k_1 \cdot z_1 + k_2 \cdot z_2}{z_1 + z_2} \quad (3)$

γενική μορφή
 για
 στρώματα
 $K_x = \frac{k_1 z_1 + k_2 z_2 + \dots + k_n z_n}{z_1 + z_2 + \dots + z_n} \quad (4)$

οριζόντια υδροκινητικότητα σε ένα στρώμα υδροφόρο



υαταύρωμα



• $q_z = k_1 \left(\frac{dh_1}{z_1} \right) = k_2 \left(\frac{dh_2}{z_2} \right) \Rightarrow \begin{cases} dh_1 = \frac{z_1}{k_1} q_z \\ \text{και} \\ dh_2 = \frac{z_2}{k_2} q_z \end{cases} \quad (5)$

↓
 για μονάδα επιφάνειας
 (αρχή της συνέχειας)

• (5) $\rightarrow dh_1 + dh_2 = \left[\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} \right] q_z \quad (6)$

ολική απώλεια φάρδιων
 (μήκη υαταύρωμα υδραυλική αγωγιμότητα βετώματος)

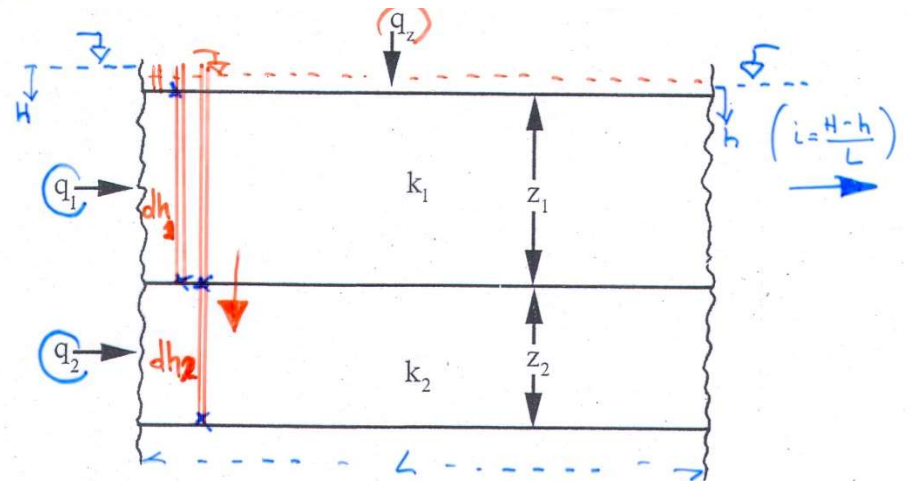
• Σύστημα ομοιογένειας: $q_z = k_z \left[\frac{dh_1 + dh_2}{z_1 + z_2} \right] \Rightarrow$
 $\Rightarrow dh_1 + dh_2 = \left[\frac{z_1 + z_2}{k_z} \right] q_z \quad (7)$

• (6) $\rightarrow k_z = \frac{z_1 + z_2}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2}} \quad (8) \Rightarrow$

Γενική μορφή για n βετώματα

$k_z = \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} + \dots + \frac{z_n}{k_n}} \quad (9)$

υαταύρωμα υδροφραγής σε ένα βετώματι υδροφόρο

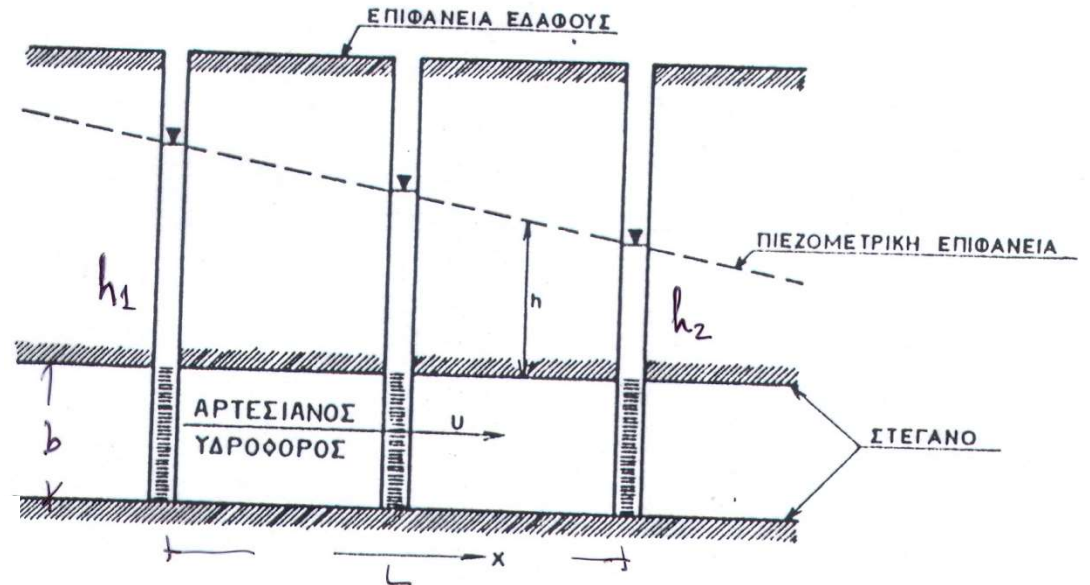


- Για διευθύνσεις διαφορετικές από την οριζόντια (k_x) και την κατακόρυφη (k_z):

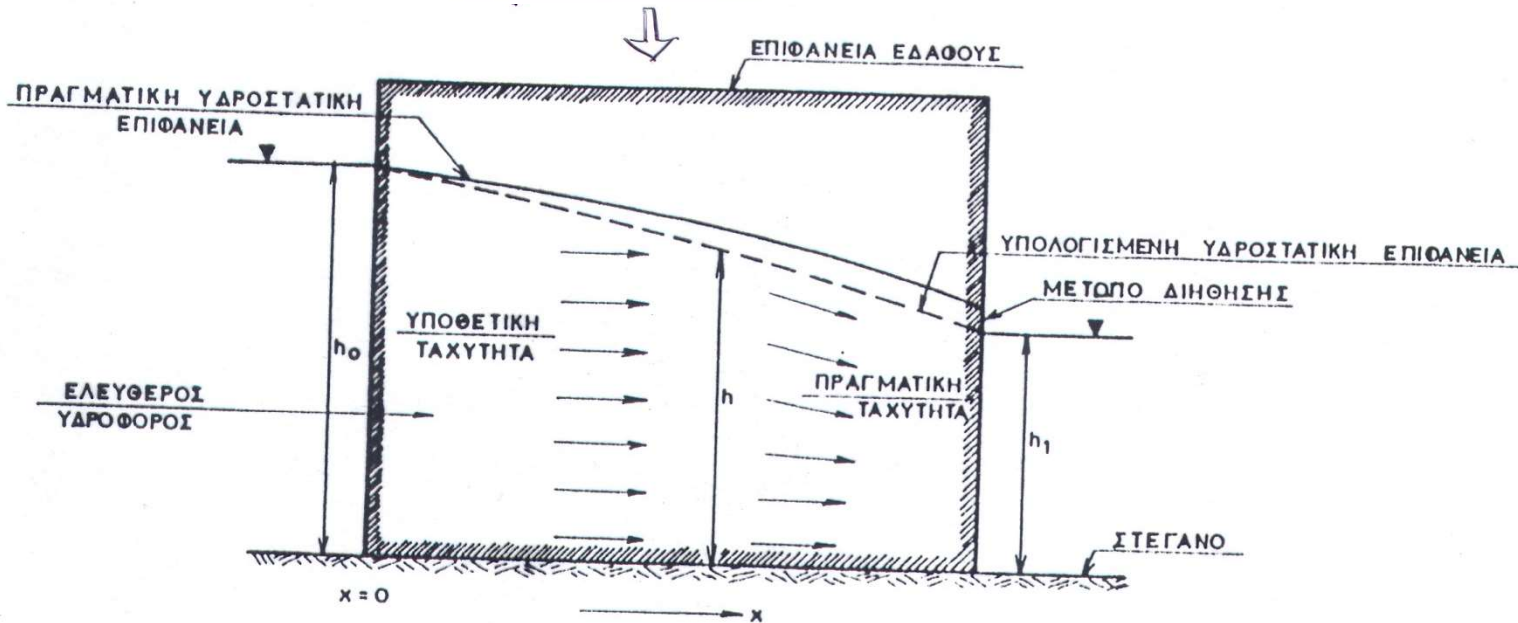
$$\frac{1}{k_\beta} = \frac{\cos^2 \beta}{k_x} + \frac{\sin^2 \beta}{k_z}$$

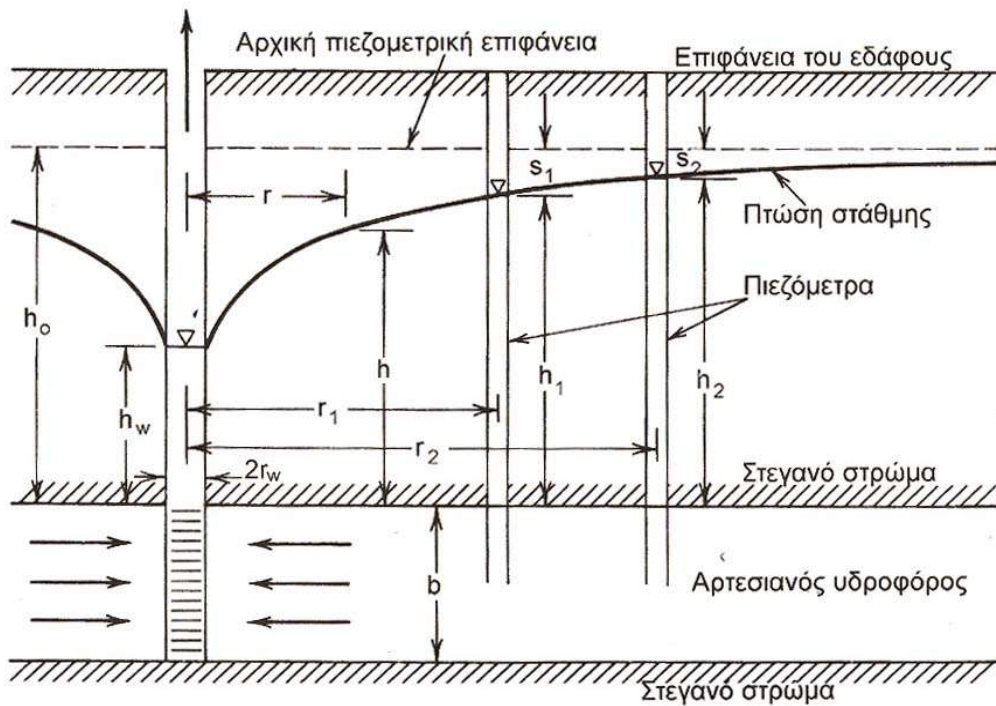
όπου k_β : υδραυλική αγωγιμότητα του σχηματιστή
γωνία (β) με την οριζόντια (κατά διεύθυνση).

$$\left[\text{Darcy: } q = -b \cdot k \cdot \frac{h_2 - h_1}{L} \right]$$



$$q = -\frac{1}{2}k \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{L}$$





Αρτεσιανός υδροφόρος
(ομοιογενής και ισότροπος)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

↓

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \frac{\text{εξίσωση Laplace}}{\text{(για σταθερή ροή)}}$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

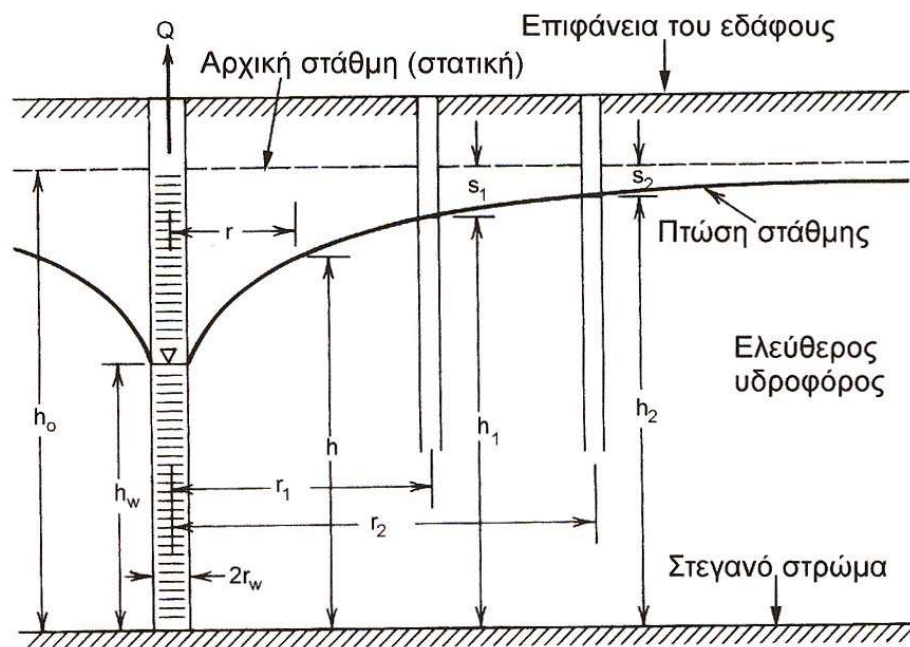
$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

Εικ.4.17. Ακτινωτή ροή σε γεώτρηση που υδρομαστεύει εκτεταμένο αρτεσιανό υδροφόρο (Todd, 1980).

Ελεύθερος υδροφόρος

(ομοιογενής και ισότροπος)



Εικ.4.18. Ακτινωτή ροή σε γεώτρηση που υδρομαστεύει ελεύθερο υδροφόρο (Todd, 1980).

Εξίσωση Boussinesq

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

για $s \ll h_0 \Rightarrow h \cong b$:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S_y}{Kb} \frac{\partial h}{\partial t}$$

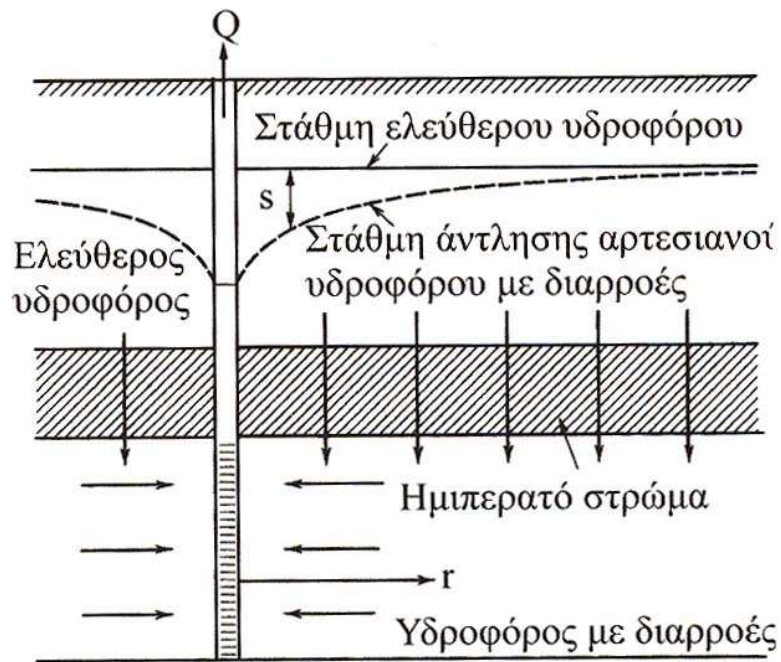
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[(h_0 - s) \frac{\partial s}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(h_0 - s) \frac{\partial s}{\partial y} \right] = \frac{S_y}{K} \frac{\partial s}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h^2}{\partial r} = \frac{2S_y}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} - \frac{1}{h_0 - s} \left(\frac{\partial s}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S_y}{K(h_0 - s)} \frac{\partial s}{\partial t}$$

για $s \ll 0,02h_0$:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S_y}{Kh_0} \frac{\partial s}{\partial t}$$



Εικ. 4.44. Άντληση νερού από έναν υδροφόρο με διαρροές.

Υδροφόρος με διαρροές
(ομοιογενής και ισότροπος)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{h_0 - h}{\lambda^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} - \frac{s}{\lambda^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{h_0 - h}{\lambda^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} - \frac{s}{\lambda^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

όπου: $\lambda = \sqrt{Kbc}$ (παράγοντας διαρροής) [L]

$c = \frac{b'}{K'}$ (υδραυλική αντίσταση) [T]

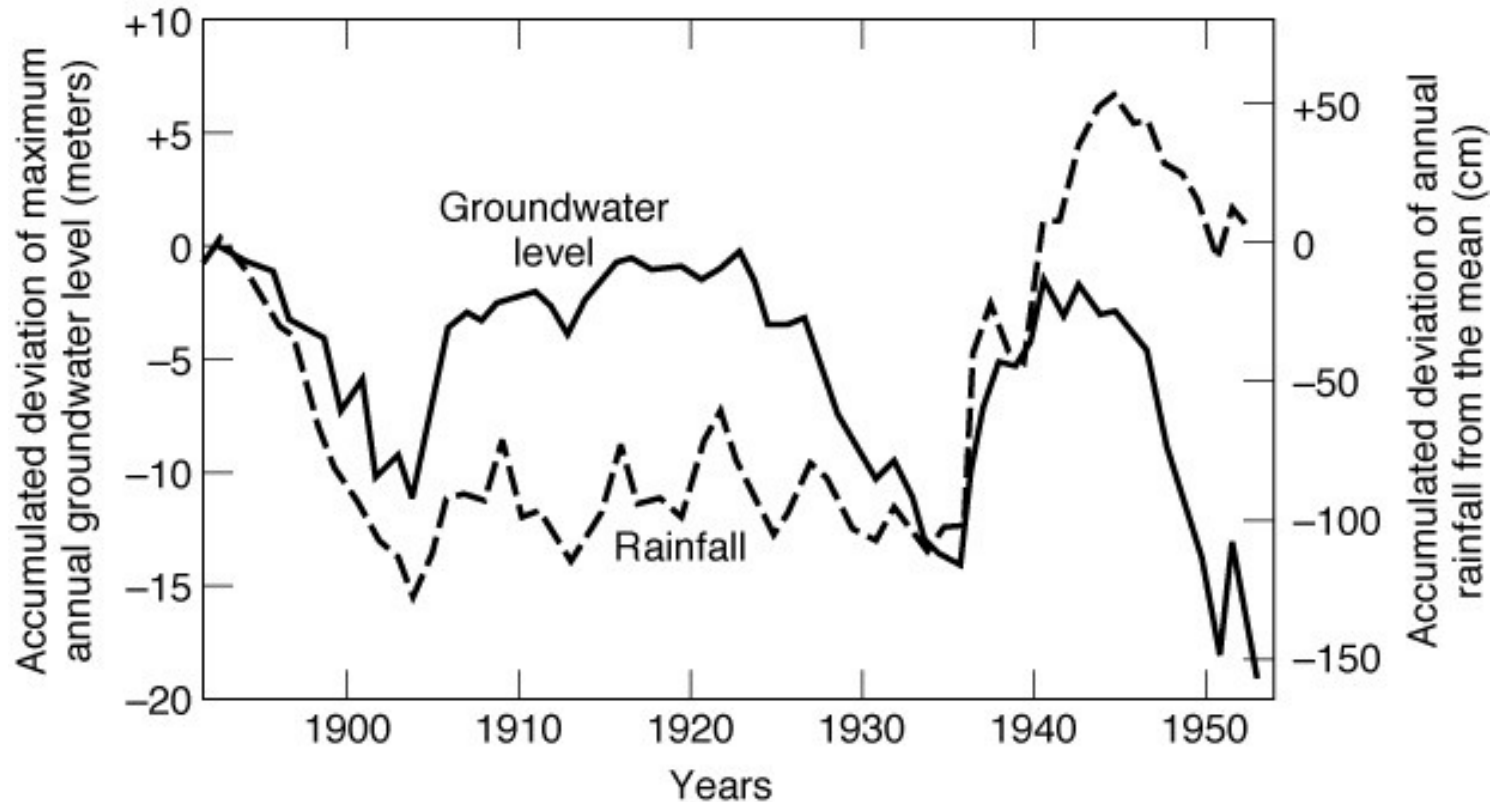
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ (ΥΝ)

Μηχανισμοί
που
προκαλούν
διακυμάνσεις
στη στάθμη
των ΥΝ

	Ελεύθερος υδροφόρος	Αρτεσιανός υδροφόρος	Φυσική Από ανθράκι- νη δραστηρι- ότητα	Μικρής διάρκειας	Ημερήσιες	Εποχικές	Μεγάλης διάρκειας	Κλιματική επίδραση
Εμπλουτισμός υδροφόρων (κατείσδυση)	v		v			v		v
Εγκλωβισμός αέρα κατά τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών.	v		v	v				v
Εξατμισοδιαπνοή και κατανάλωση από τα φρεατόφυτα.	v		v		v			v
Αποθήκευση όχθης υδρορευμάτων.	v		v			v		v
Επίδραση παλιρροιακών φαινομένων (παράκτιοι υδροφόροι).	v	v	v		v			
Μεταβολές της βαρομε- τρικής πίεσης.	v	v	v		v			v
Εξωτερικά φορτία σε αρτεσιανούς υδροφόρους.		v		v				
Σεισμοί		v	v	v				
Άντληση υπόγειου νερού.	v	v		v			v	
Έκχυση σε βαθιές γεωτρήσεις.		v		v			v	
Τεχνητός εμπλουτισμός (επιφανειακός).	v			v			v	
Άρδευση και στράγγιση	v			v			v	v
Γεωτεχνική στράγγιση	v			v			v	

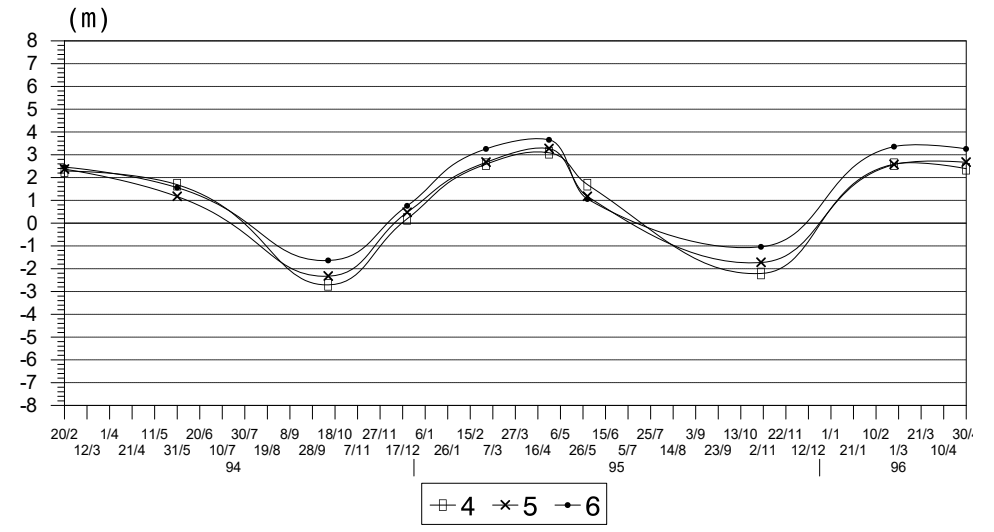
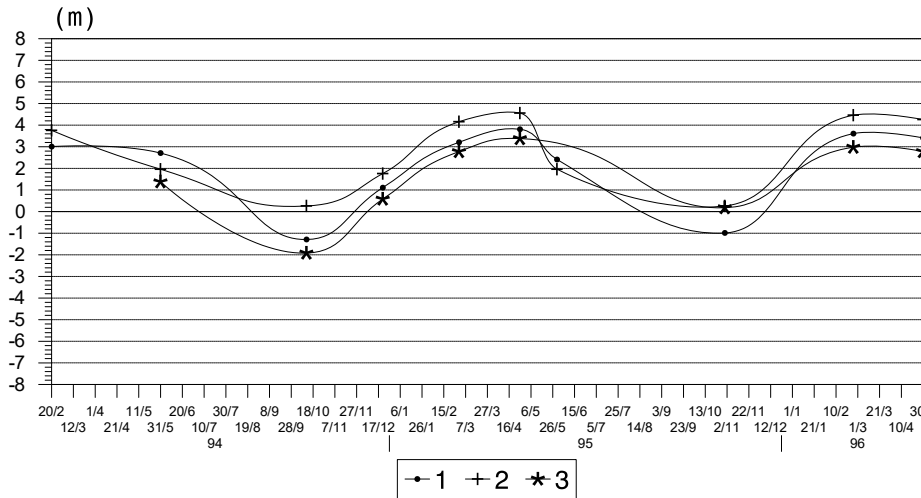
1. Χρονικές διακυμάνσεις της στάθμης των ΥΝ

- Υπερετήσιες διακυμάνσεις
 - Εναλλαγές υγρών και ξηρών ετών
 - Φυσικός εμπλουτισμός (Φ.Ε.) (ένταση βροχόπτωσης - κατανομή - απορροή)
 - Αντλήσεις > Φ.Ε. → συνεχής πτώση




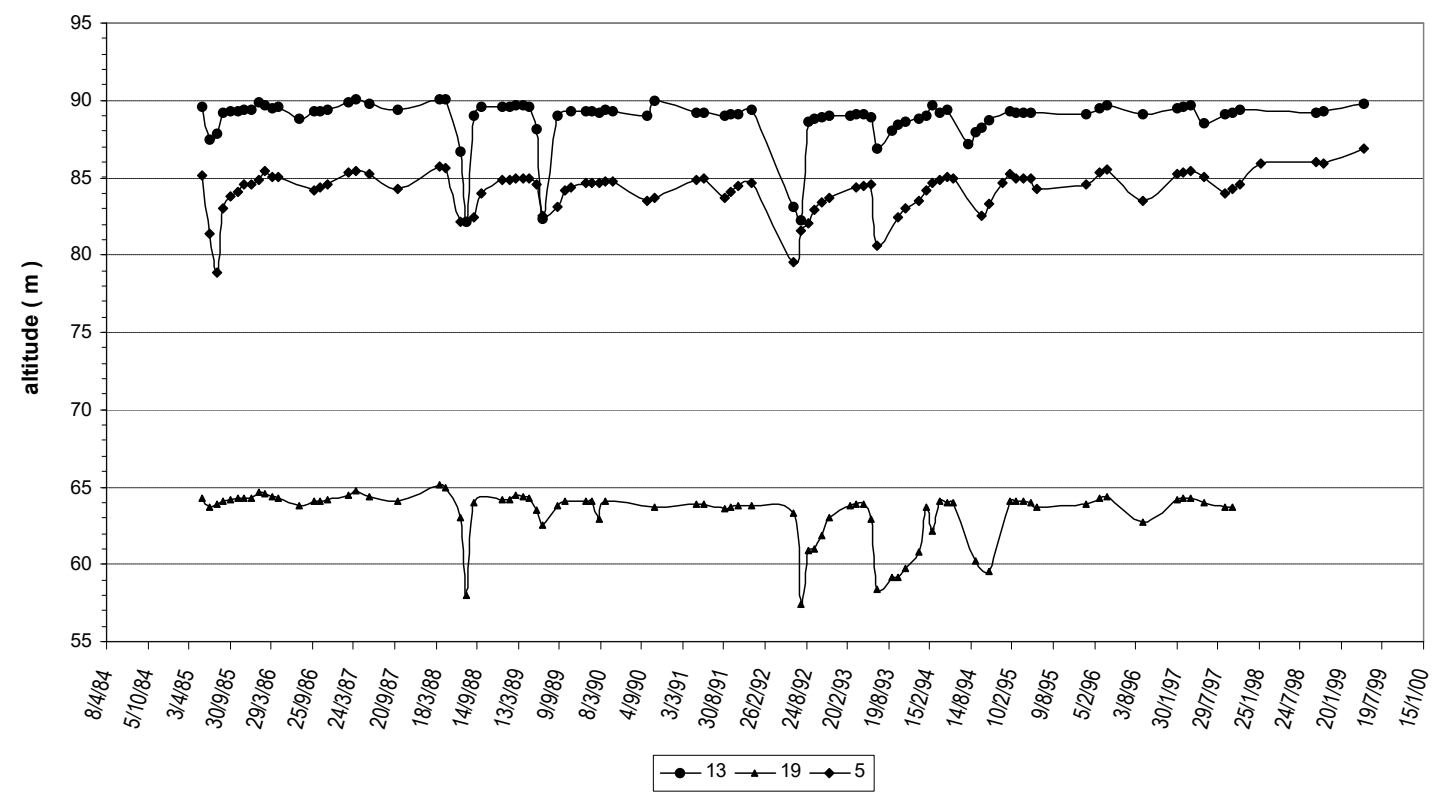
1. Χρονικές διακυμάνσεις της στάθμης των ΥΝ

- Εποχικές διακυμάνσεις
 - Βροχόπτωση, αντλήσεις (άρδευση)
 - max: τέλος άνοιξης, min: αρχές-μέσα φθινοπώρου (γεωγραφικό πλάτος)
 - εύρος διακύμανσης (Φ.Ε., ένταση αντλήσεων, τύπος υδροφόρου)
 - εύρος διακύμανσης αρτεσιανών > εύρους διακύμανσης ελεύθερων
 - εύρος διακύμανσης πολύ μεγάλο στους καρστικούς υδροφόρους (μεγάλο T, μικρό S)
- Διακυμάνσεις μικρής περιόδου
 - Ημερήσιες (π.χ. γεωτρήσεις ύδρευσης)
 - Εβδομαδιαίες (αντλήσεις για βιομηχανικές και δημόσιες χρήσεις)




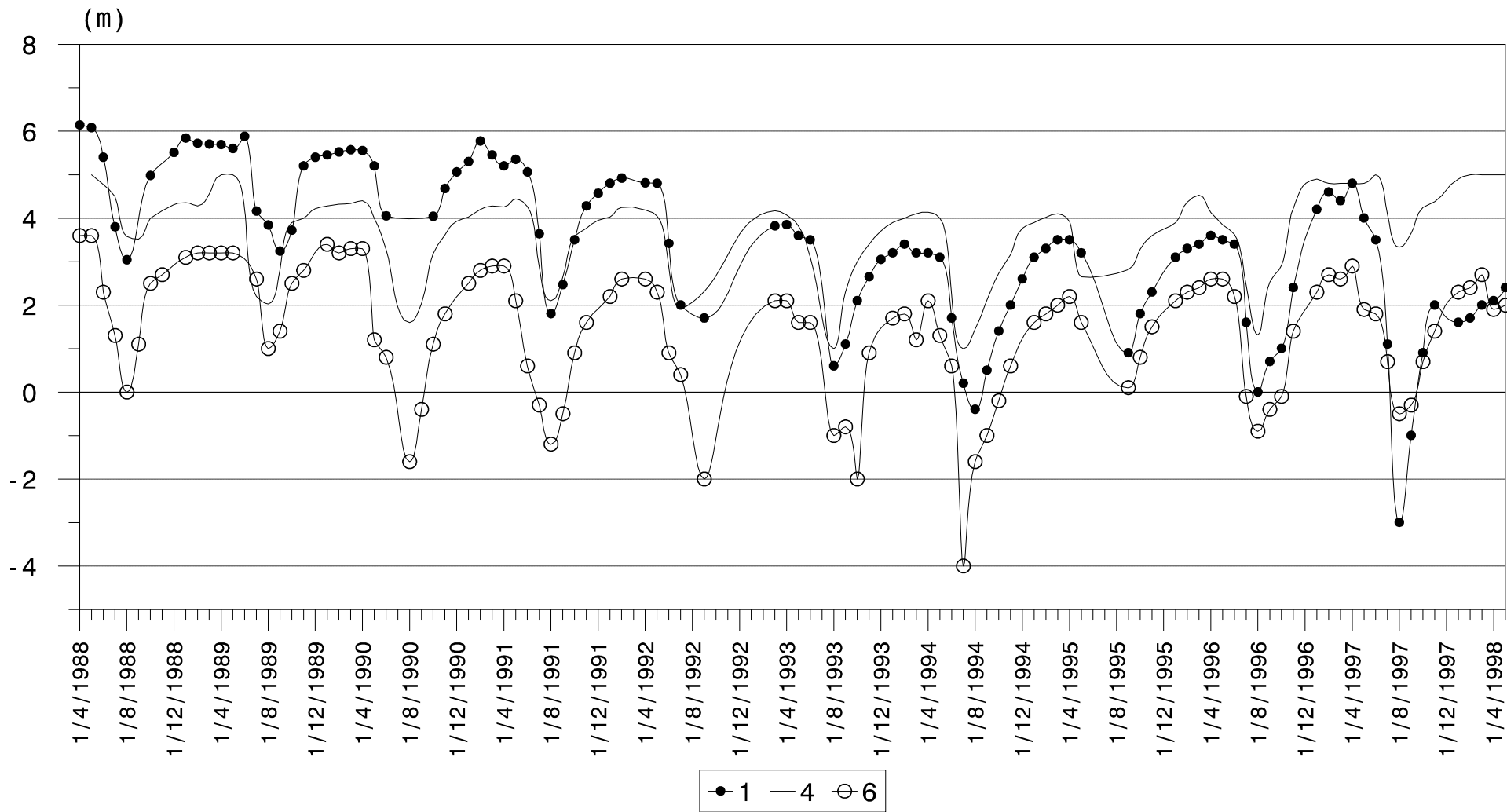
JUNE 1985 - MAY 1999

περιοχή
Ξυλαγανής -
Ίμερου
N. Ροδόπης

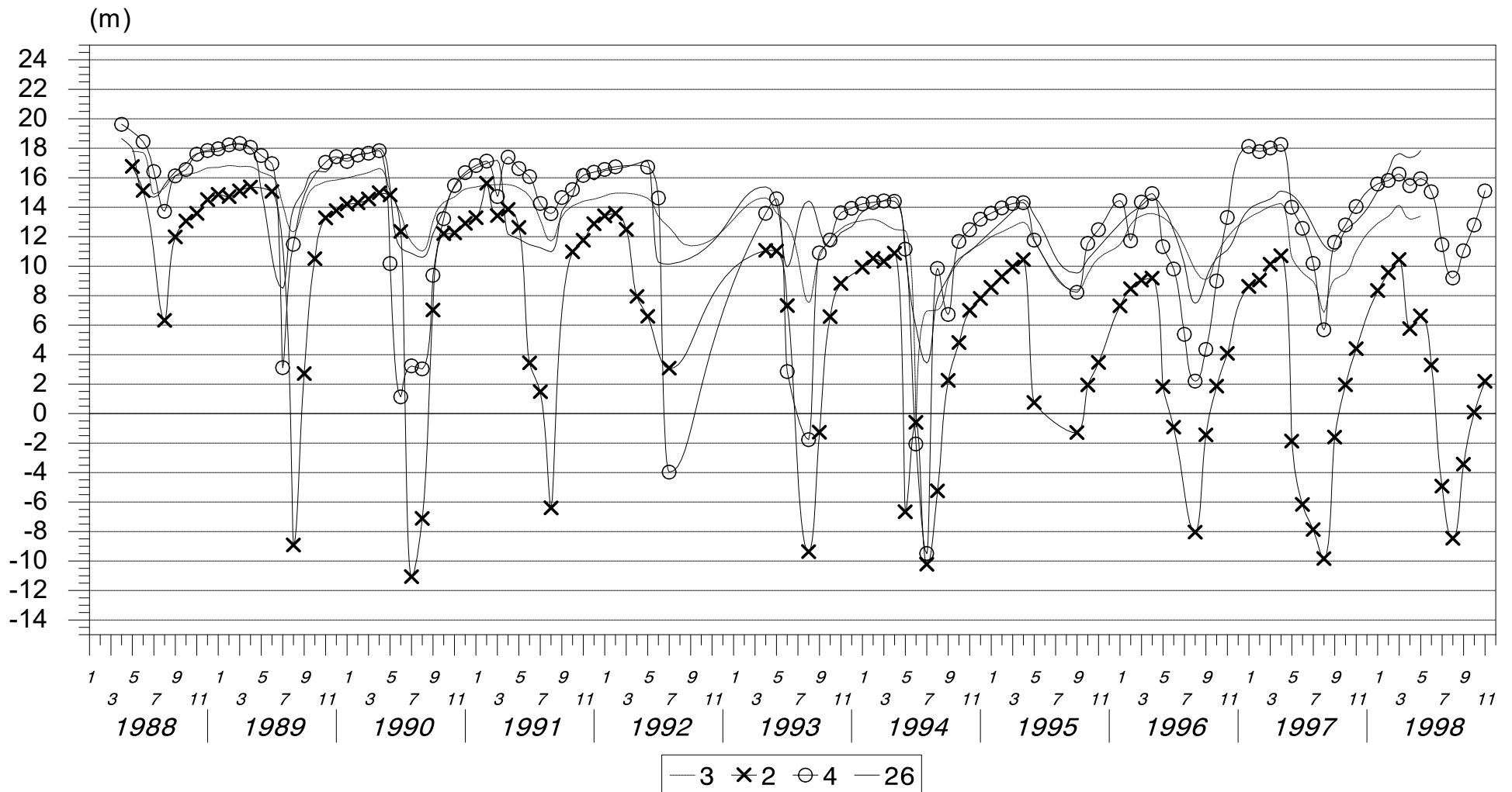



Περία Κοιλιάδα
N. Καβάλας

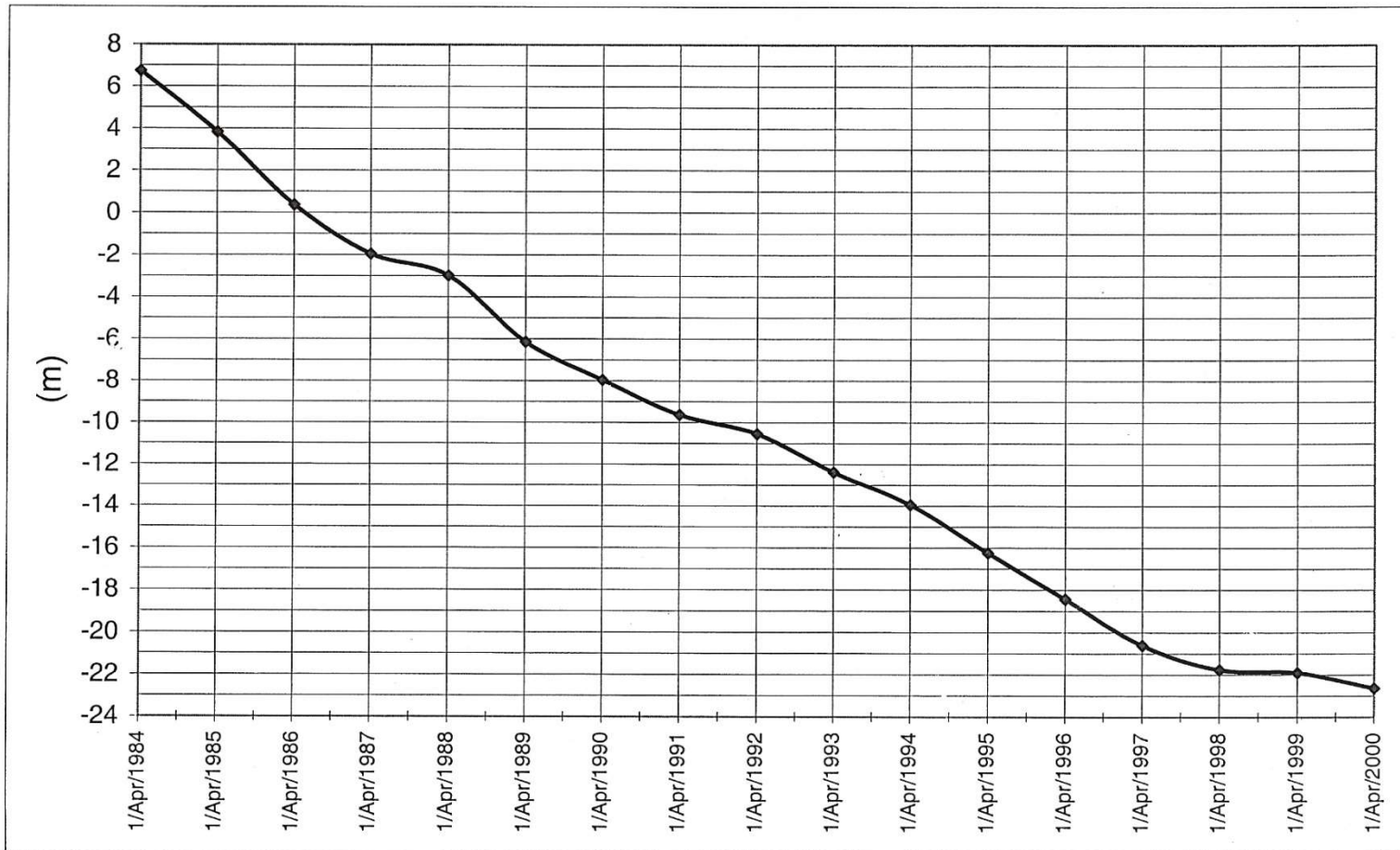




ανατολικό Δέλτα του Π. Νέστου

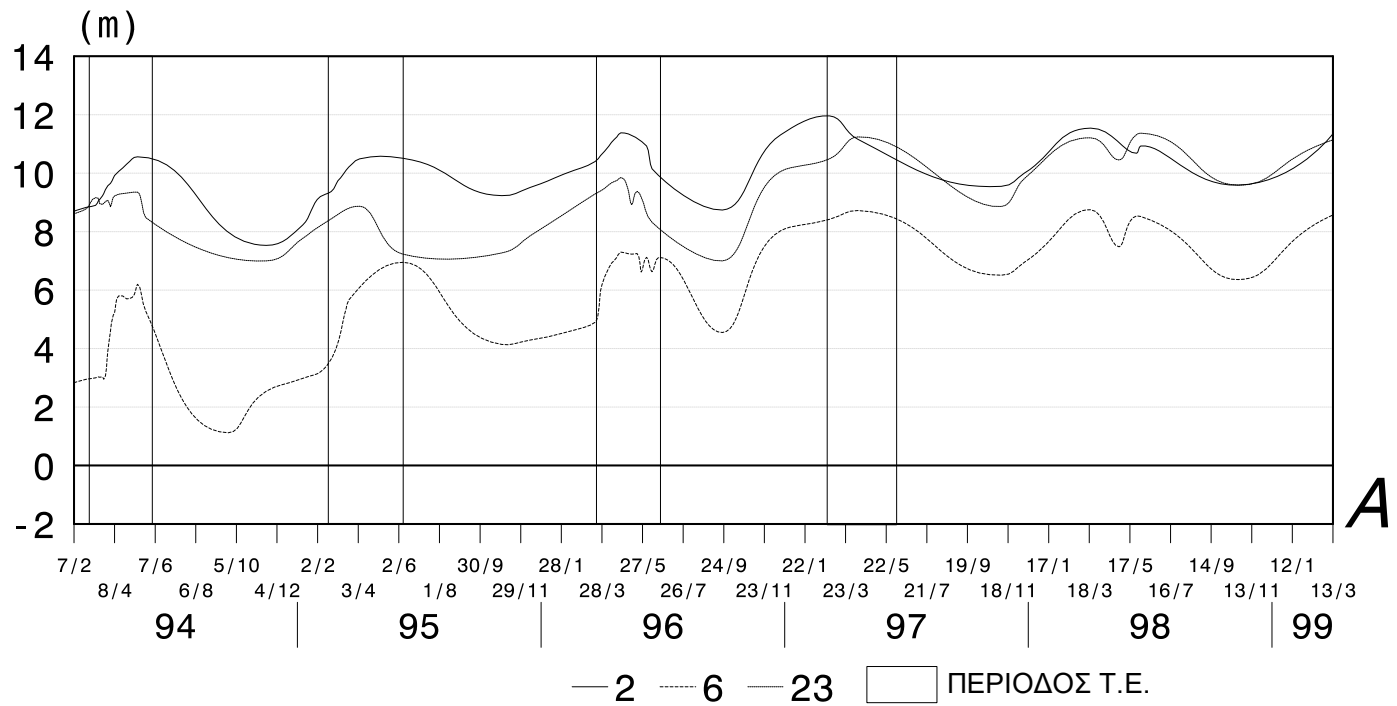
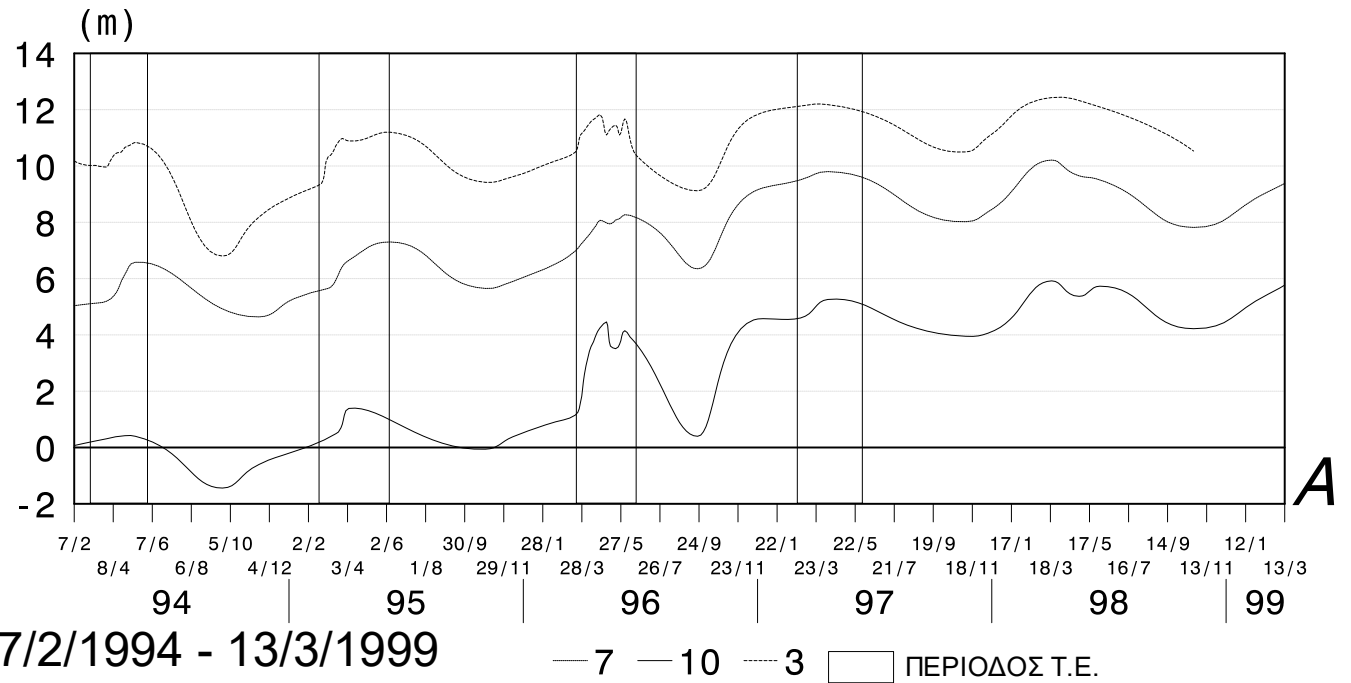


περιοχή Βαφείκων του Ν. Ξάνθης



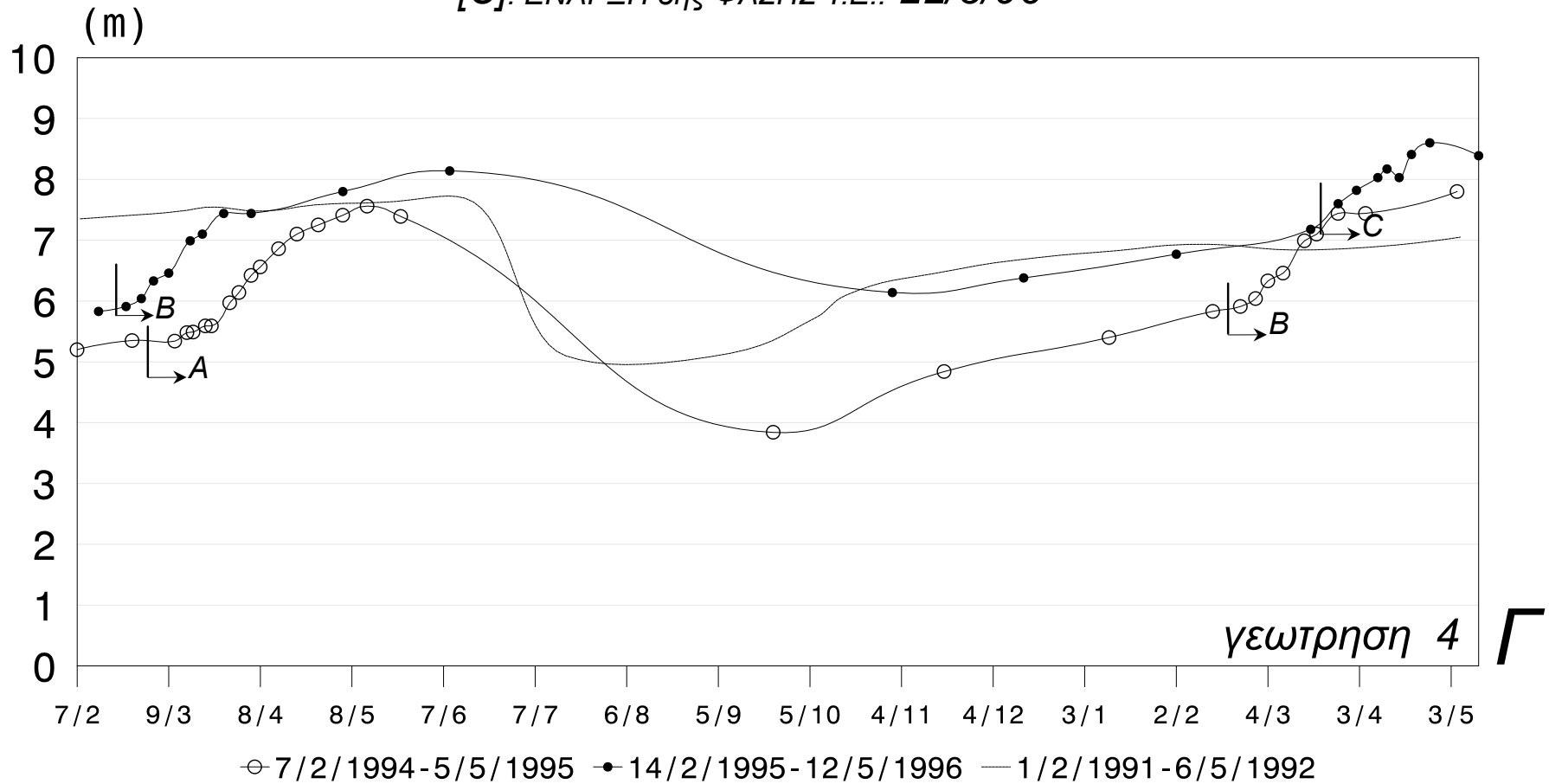
Πορεία της ανώτατης ετήσιας πιεζομετρικής στάθμης σε παράκτιο υδροφόρο του Ν. Ροδόπης

εφαρμογή τεχνητού
εμπλουτισμού (Τ.Ε.)
σε υδροφόρο της
περιοχής Πολυσίτου
Ν. Ξάνθης



[A]: ΕΝΑΡΞΗ 1ης ΦΑΣΗΣ Τ.Ε. : 2/3/94 [B]: ΕΝΑΡΞΗ 2ης ΦΑΣΗΣ Τ.Ε.: 20/2/95

[C]: ΕΝΑΡΞΗ 3ης ΦΑΣΗΣ Τ.Ε.: 22/3/96

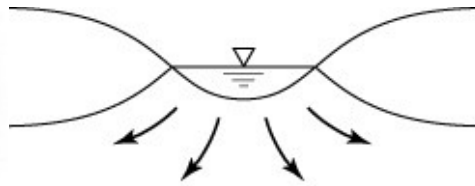
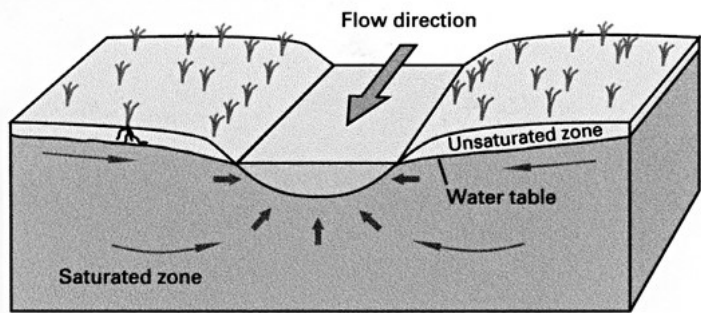


εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού (Τ.Ε.) σε υδροφόρο της περιοχής
Πολυσίτου Ν. Ξάνθης

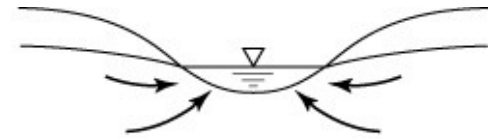
2. Σχέσεις απορροής και στάθμης υπόγειου νερού

- Υδρόρευμα σε άμεση επαφή με ελεύθερο υδροφόρο –
Τροφοδοσία → ←
 - Αποθήκευση όχθης (bank storage)
 - Βασική ροή ή υπόγεια απορροή (base flow – groundwater runoff)
 - όχι μεγάλες διακυμάνσεις
 - εκτίμηση: διάγραμμα μέσης στάθμης Υ.Ν. – παροχής
 - καμπύλες στείρευσης ή εξάντλησης της βασικής ροής
(recession curves) → μέτρο αποχέτευσης
- $$Q_t = Q_o k^t \text{ (k: σταθερά εξάντλησης, συνήθεις τιμές: 0,89-0,95)}$$

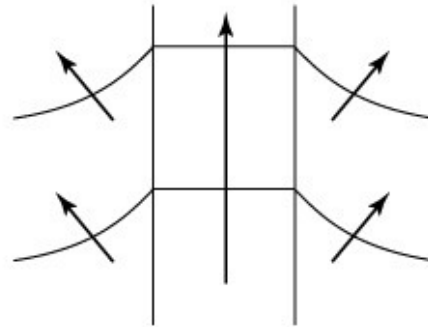
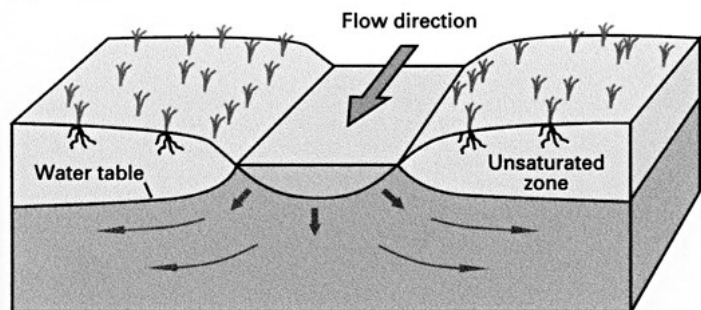
A Gaining Stream



Cross sections

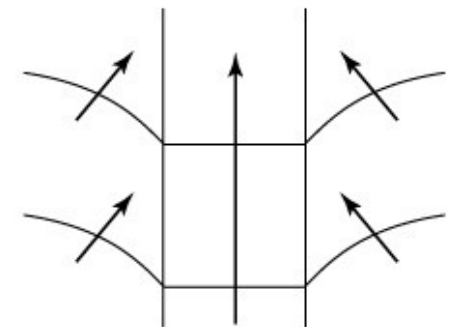


B Losing Stream



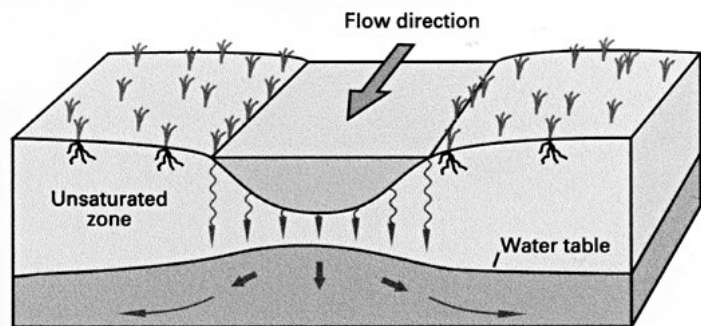
(a)

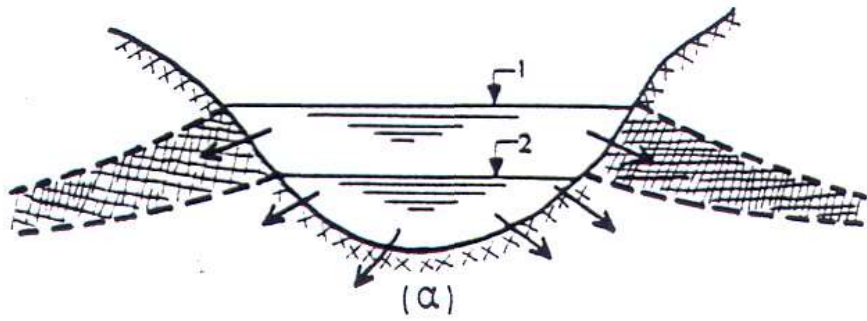
Plan views



(b)

C Losing Stream That Is Disconnected From The Water Table





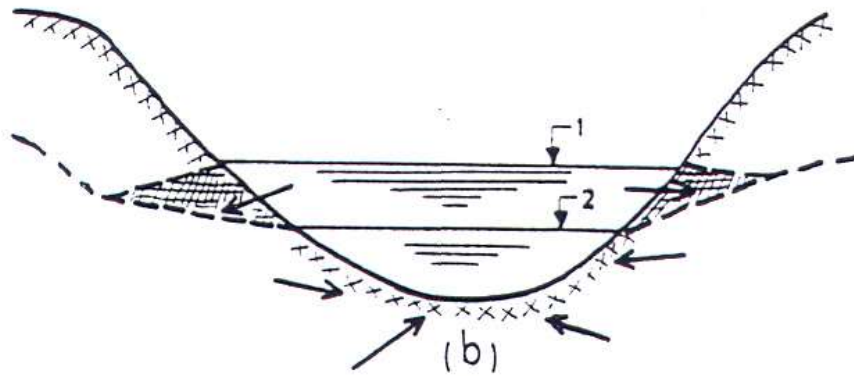
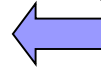
περίοδος πλημμυρών


(α): υδρόρευμα τροφοδοτεί τον υδροφόρο

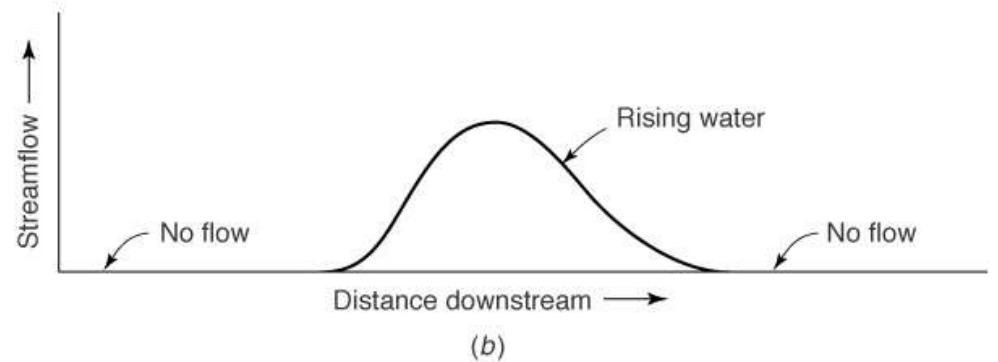
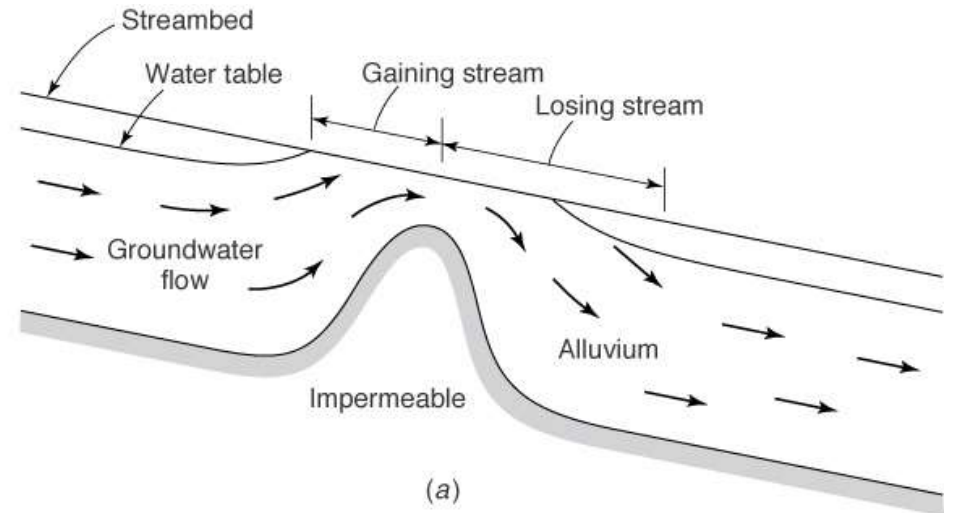
(β): υδρόρευμα τροφοδοτείται από τον υδροφόρο

1: υψηλή στάθμη

2: χαμηλή στάθμη



 Αποθήκευση όχθης



3. Διακυμάνσεις της στάθμης προκαλούμενες από την εξατμισοδιαπνοή

- Ρηχοί ελεύθεροι υδροφόροι → ημερήσιας διακύμανσης
- Επίδραση εξάτμισης
 - Βάθος
 - Υδραυλική αγωγιμότητα (>1 m)
 - Ατμοσφαιρικές συνθήκες (<1 m)
- Επίδραση διαπνοής
 - Είδος βλάστησης
 - Εποχή και καιρός
- Δύσκολη διάκριση απωλειών → απώλειες ως εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) ή κατανάλωση (consumptive use)

4. Διακυμάνσεις προκαλούμενες από μετεωρολογικά φαινόμενα

- Ατμοσφαιρική πίεση (βαρομετρική πίεση $\uparrow \Rightarrow$ στάθμη $\Upsilon.N. \downarrow$)
- Βροχόπτωση (κατείσδυση) (t: min \div μήνες ή και χρόνια)
- Άνεμος (τροπικές χώρες \rightarrow τυφώνες) (πίεση αέρα $\downarrow \Rightarrow$ στάθμη $\Upsilon.N. \uparrow$)
- Παγετός (περιοχές με ψυχρό κλίμα) ($\Upsilon.E.$: χειμώνα \downarrow - άνοιξη \uparrow)

5. Διακυμάνσεις προκαλούμενες από παλιρροιακά φαινόμενα

- Ωκεάνιες παλίρροιες (ocean tides) – στάθμη θάλασσας ↑

⇒ στάθμη Υ.Ν. ↑

$C = \Delta h / \Delta H$ (Παλιρροιακή Ικανότητα, Tidal Efficiency)

$C = 1 - B$, (B: Βαρομετρική Ικανότητα), $B = \gamma \Delta h / \Delta p_a$

- Παλίρροιες της στεριάς (earth tides) (έλξη από σελήνη – ήλιο), (αρτεσιανοί υδροφόροι: 12ωρες διακυμάνσεις)

6. Αστικοποίηση (urbanization)

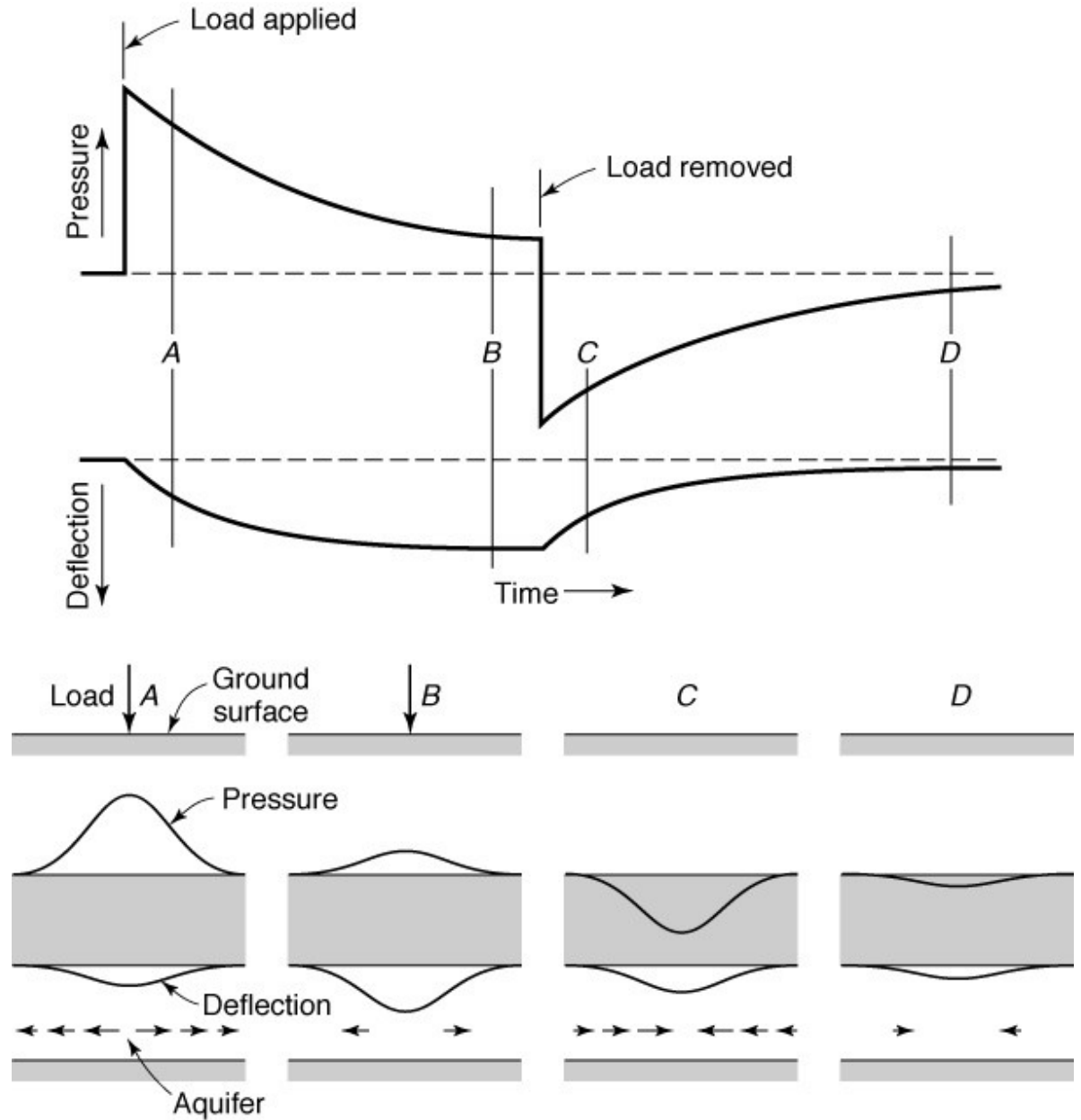
- Αποτελέσματα:
 - Μείωση τροφοδοσίας
 - ασφαλτόδρομοι
 - οικήματα, πλατείες, κλπ
 - αποχέτευση νερών βροχής
 - αποχέτευση αποβλήτων σε υπονόμους
 - Αύξηση απολήψεων Υ.Ν. (αντλήσεις)
- Συνέπειες:
 - Ρύπανση από απόβλητα
 - Διείσδυση θάλασσας (παράκτια αστικοποίηση)
 - Μείωση ροής υδρορευμάτων λόγω ελάττωσης της βασικής ροής
- ✓ (υδροχημική μελέτη Υ.Ν. στο κέντρο της Αθήνας (1970): τροφοδοσία κύρια από αποχετευτικό δίκτυο → κίνδυνος μόλυνσης νερού ύδρευσης)

7. Επιδράσεις των σεισμών (earthquakes)

- απότομη αύξηση ή πτώση στάθμης Υ.Ν.
- απότομες μεταβολές παροχής πηγών - εμφάνιση νέων πηγών ή εξαφάνιση παλιών
- εκτόξευση νερού ή λάσπης
- υδροσεισμοί (hydroseisms) (διακυμάνσεις της Π.Σ. σε αρτεσιανούς υδροφόρους – σεισμικά κύματα Rayleigh – 200 km/min – 8000 km)
- έγχυση αποβλήτων σε βαθιές γεωτρήσεις (π.χ. στη χημική βιομηχανία των ΗΠΑ, μέχρι και βάθη 3600 m ⇒ σεισμοί μέχρι και 4,4 Richter)
- αύξηση περιεκτικότητας των Υ.Ν. σε ραδόνιο

8. Εξωτερικά φορτία

- Ελαστικοί αρτεσιανοί υδροφόροι

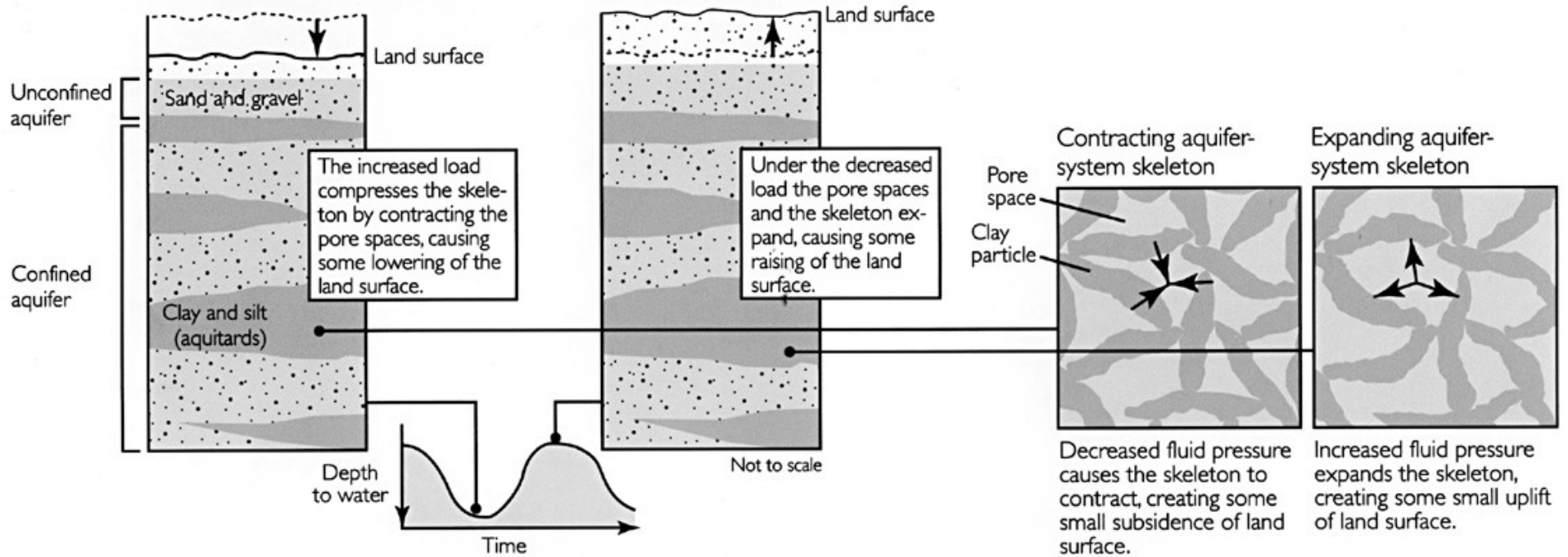


9. Καθιζήσεις του εδάφους (land subsidence)

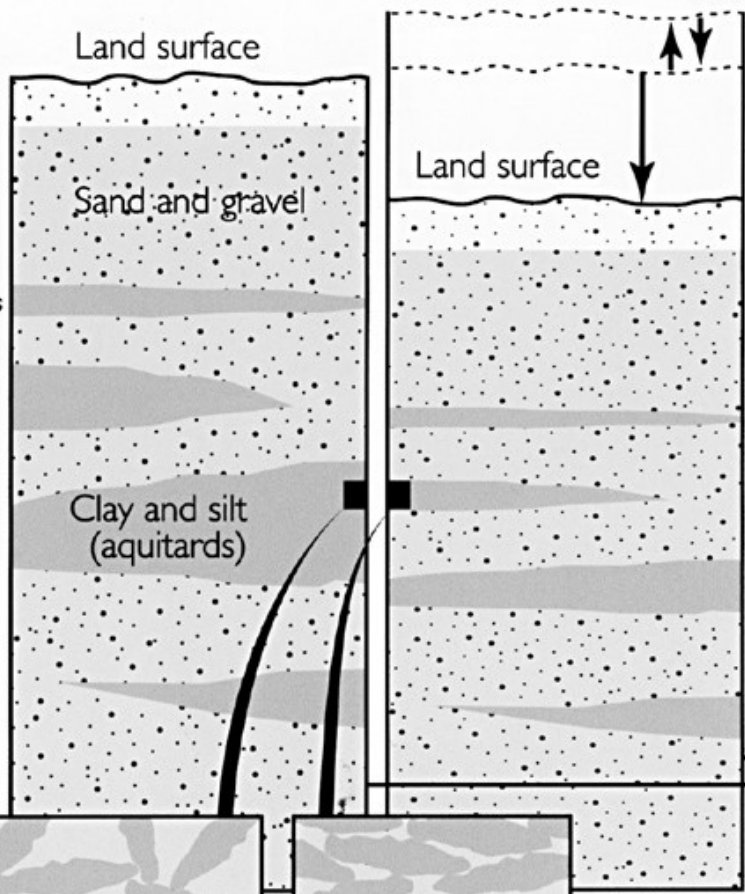
- Πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας (έντονες αντλήσεις – συμπύκνωση αργίλου: πάχος, κατακόρυφο K αργίλου, χρόνος, μικροϋφή αργίλου)
 - Πλατεία Αγ. Μάρκου Βενετίας → περιοδική κατάκλυση: καθίζηση 20cm την τελευταία 50ετία
 - Πόλη Μεξικού, 1938-1970: καθιζήσεις 9 m, στρώματα συμπύκνωσης σε βάθος 1000 m
 - Συμπύκνωση αργίλου: ανελαστική και μόνιμη → μείωση ρυθμού αντλήσεων – τεχνητός εμπλουτισμός
- Υδροσυμπύκνωση (χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις με έλλειμμα υγρασίας)
- Αφυδάτωση οργανικών εδαφών
- Σχηματισμός καταβοθρών (καρστικοί σχηματισμοί)
- Αναθλώσεις του φλοιού (ελαστική διαστολή της λιθόσφαιρας - αντίθετο φαινόμενο της καθίζησης)

When water levels drop, due mainly to seasonal increases in groundwater pumping, some support for the overlying material shifts from the pressurized fluid filling the pores to the granular skeleton of the aquifer system.

When groundwater is recharged and water levels rise, some support for the overlying material shifts from the granular skeleton to the pressurized pore fluid.

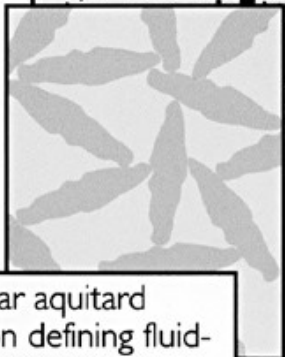


When long-term pumping lowers groundwater levels and raises stresses on the aquitards beyond the preconsolidation-stress thresholds, the aquitards compact and the land surface subsides permanently.

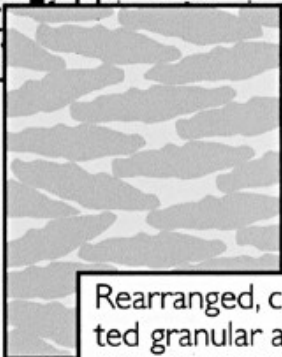


Recoverable land subsidence caused by reversible elastic deformation
Permanent land subsidence caused by irreversible inelastic deformation

Compaction of the aquifer system is concentrated in the aquitards.

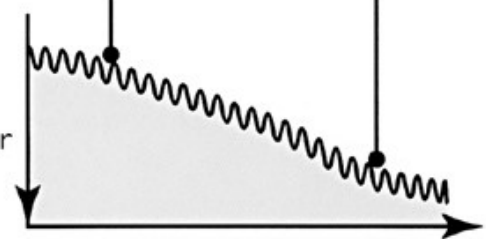


Granular aquitard skeleton defining fluid-filled pore spaces storing groundwater



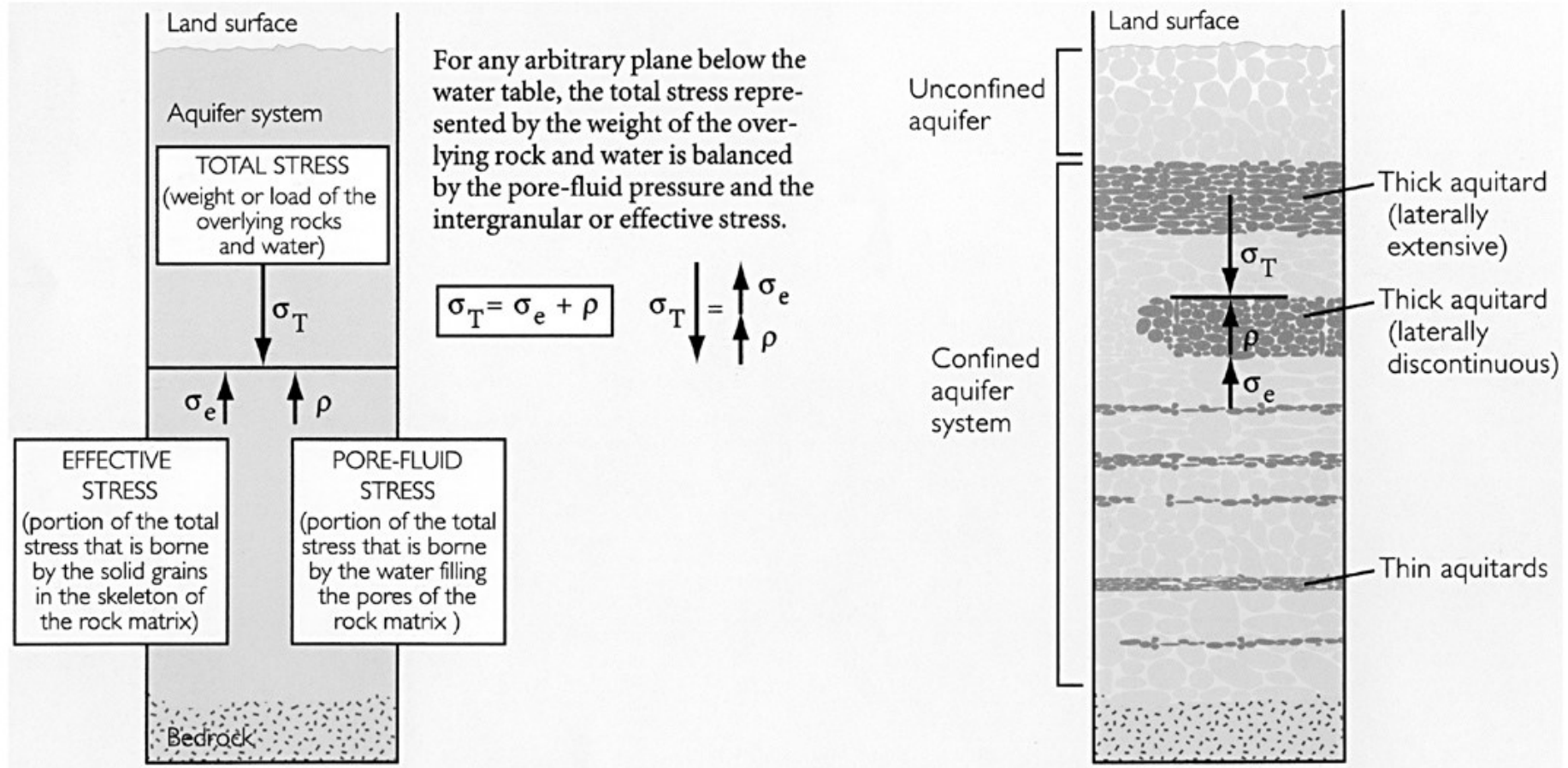
Rearranged, compacted granular aquitard skeleton with reduced porosity and groundwater storage capacity

Depth to water



Long-term decline in water level modulated by the seasonal cycles of groundwater pumpage

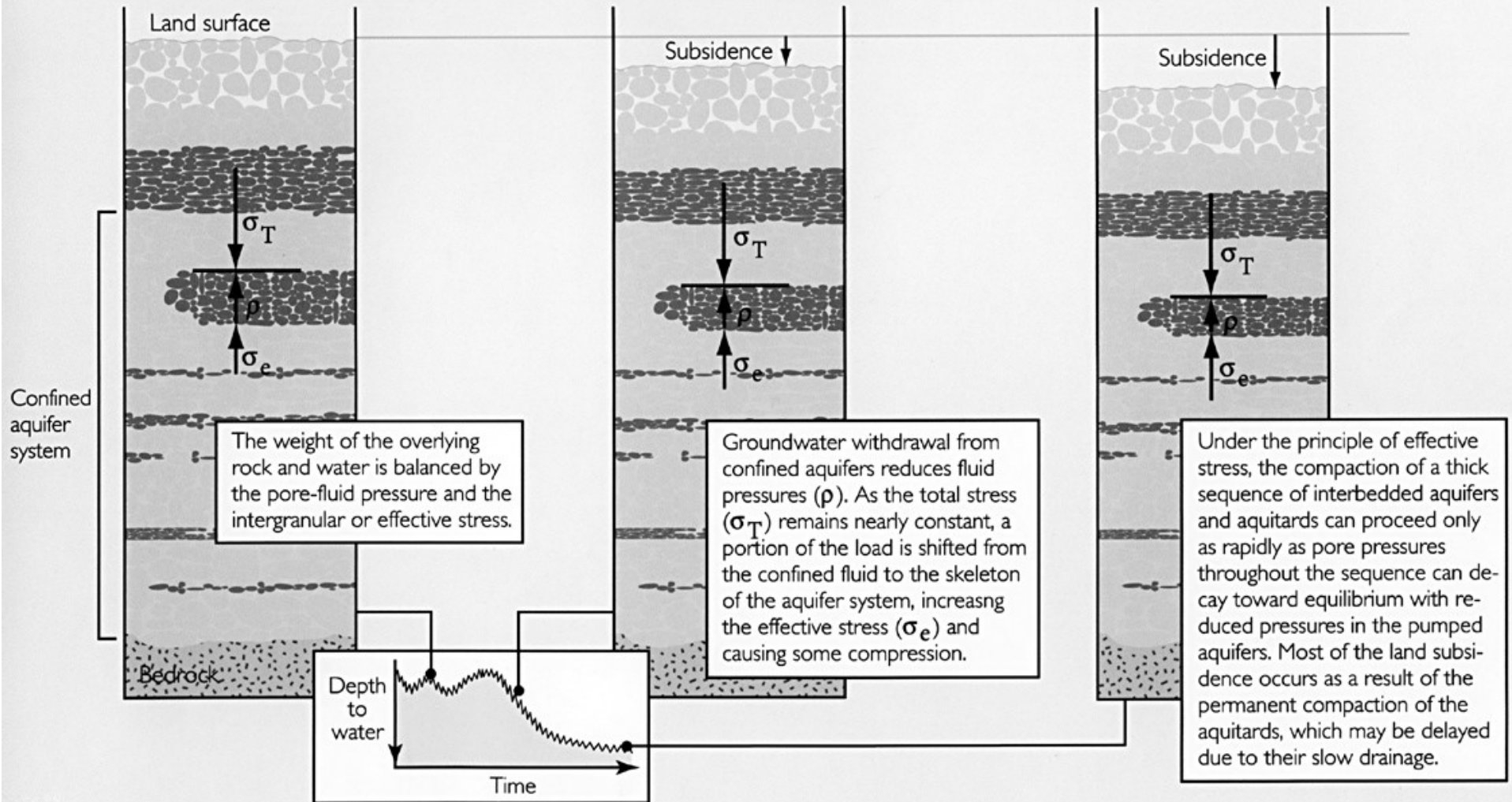
This principle describes the relation between changes in water levels and deformation of the aquifer system.



Prior to the extensive development of groundwater resources, water levels are relatively stable—though subject to seasonal and longer-term climatic variability.

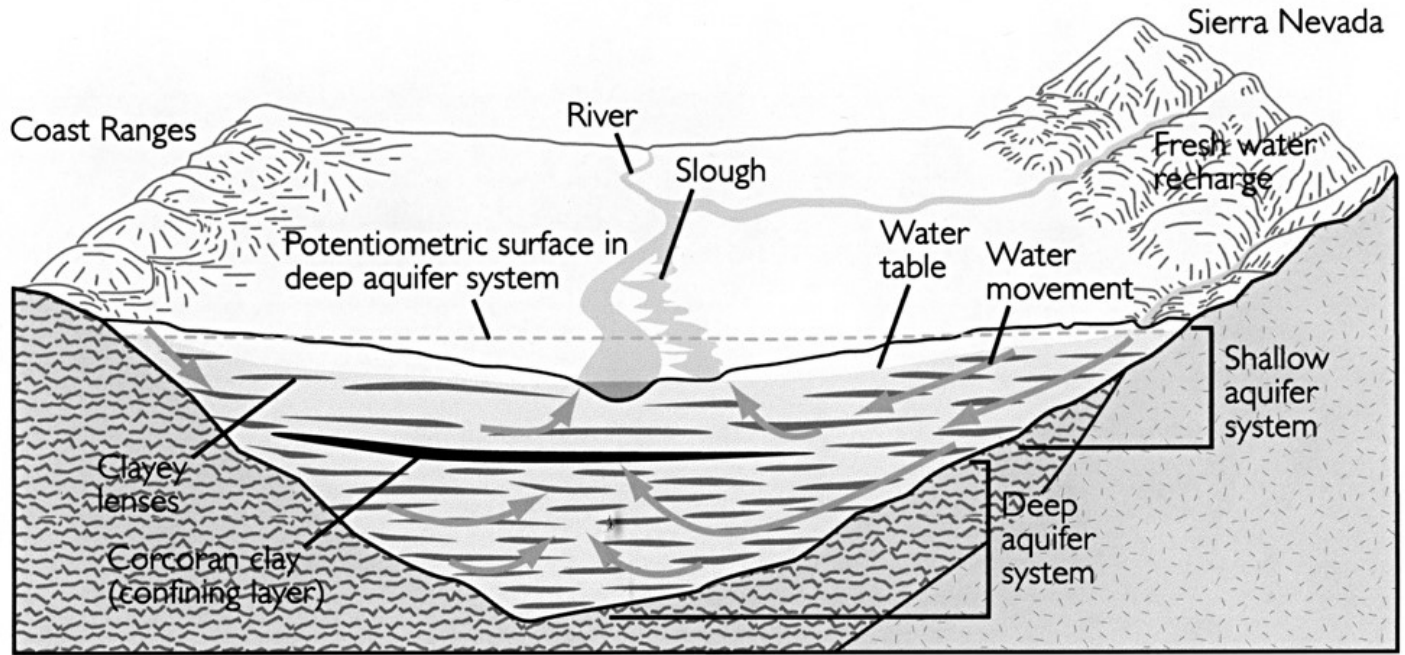
During development of groundwater resources, water levels decline and land subsidence begins.

After ground-water pumping slows or decreases, water levels stabilize but land subsidence may continue.



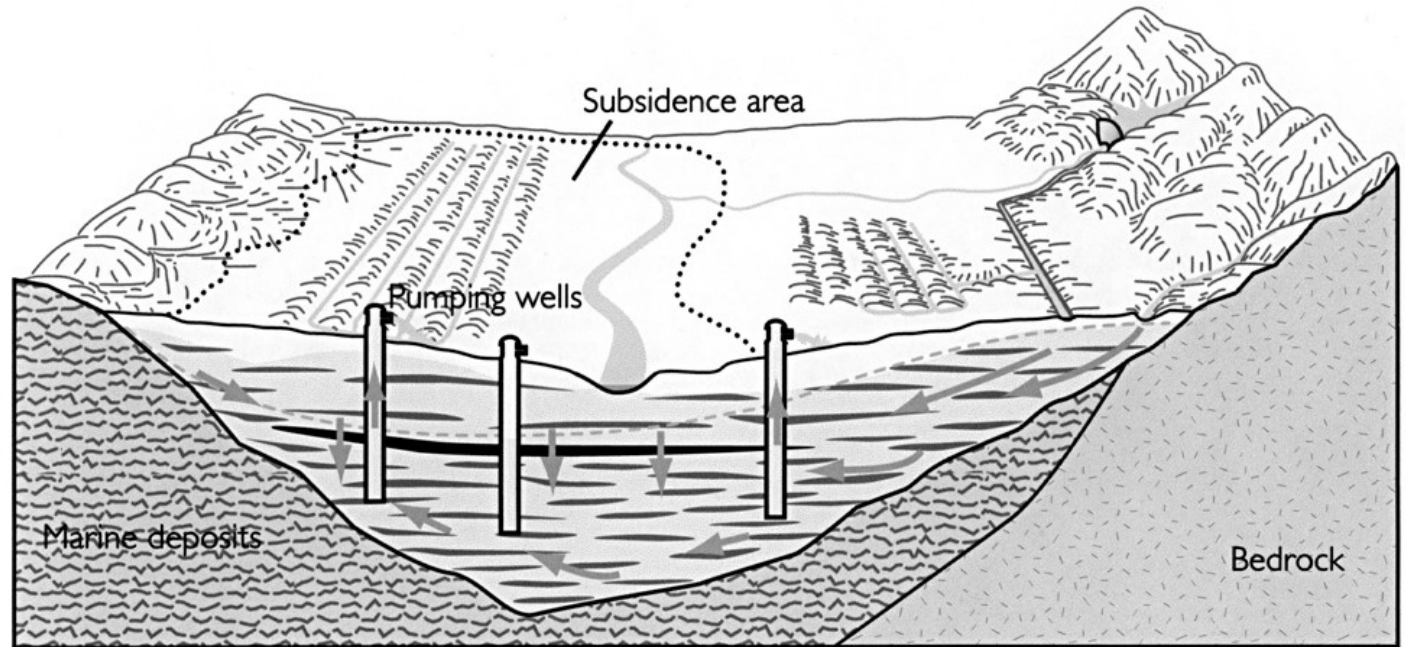
Predevelopment

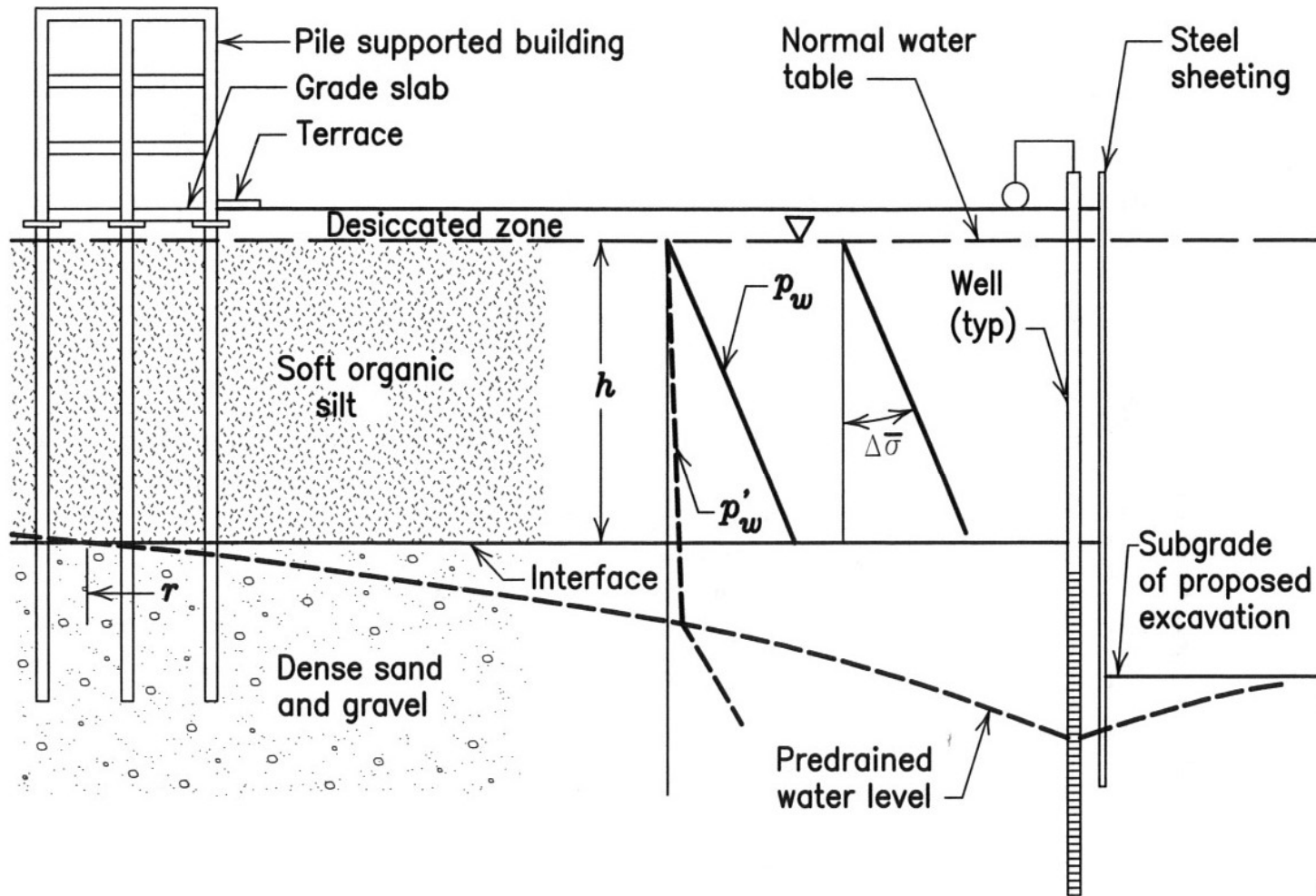
Groundwater flowed from the mountains toward the center of the valley where it discharged into streams or through evapotranspiration.



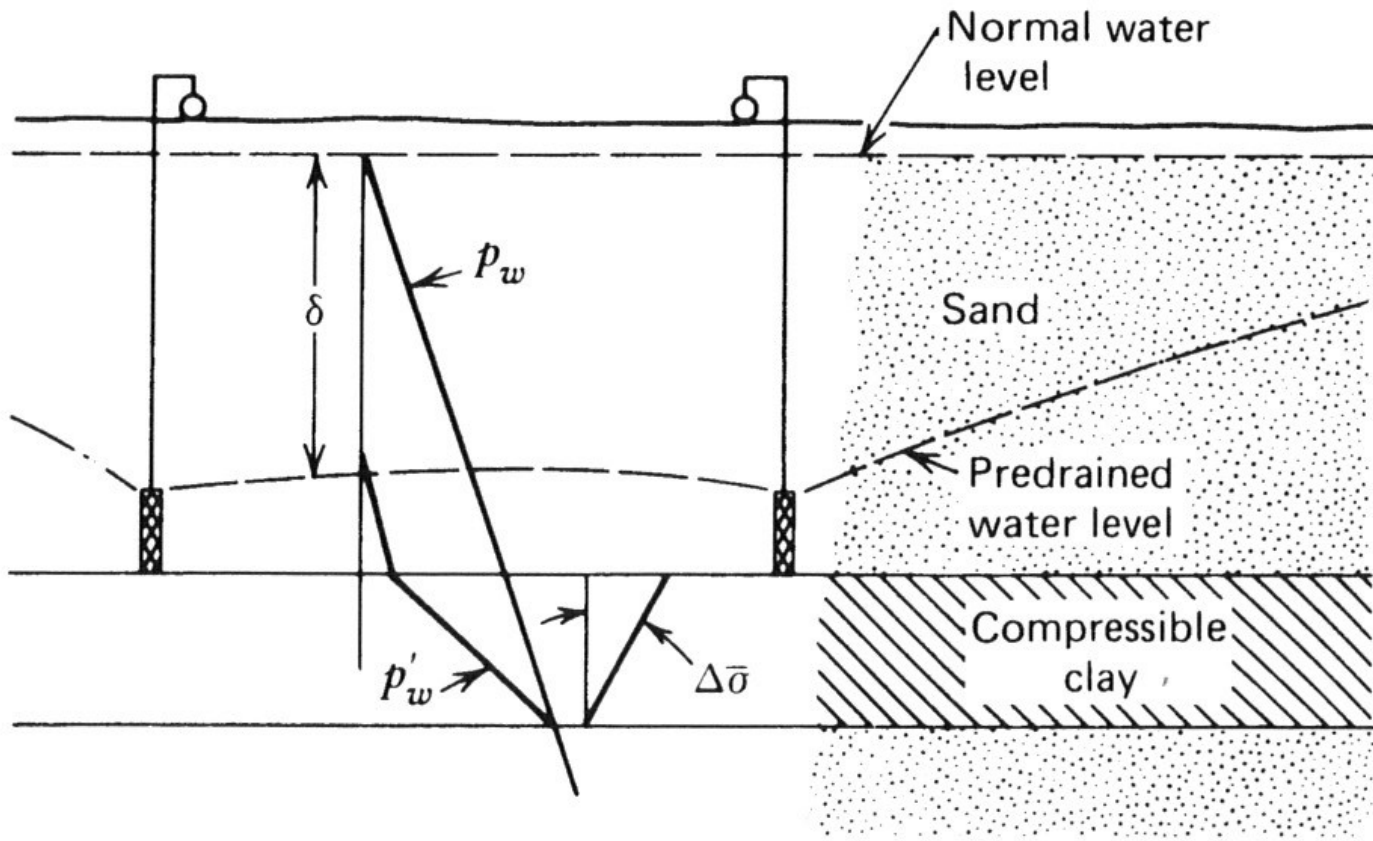
Postdevelopment

Groundwater flow generally downward and toward pumping centers.



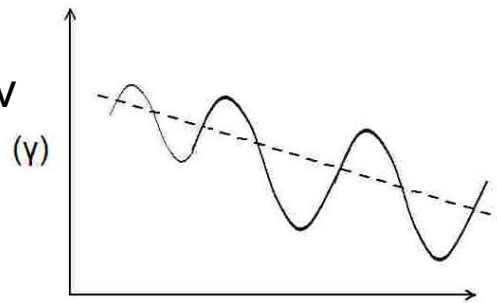
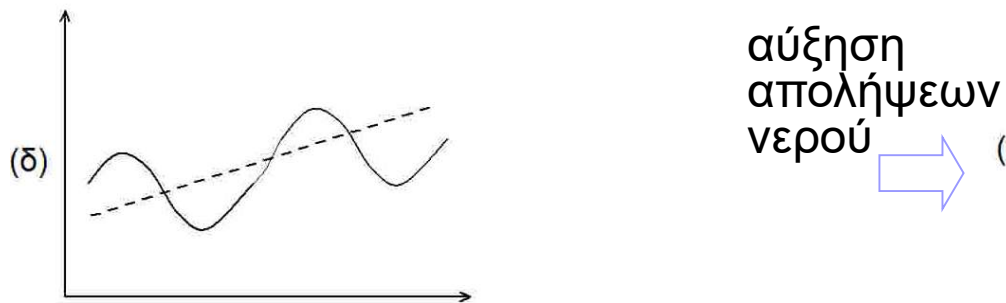
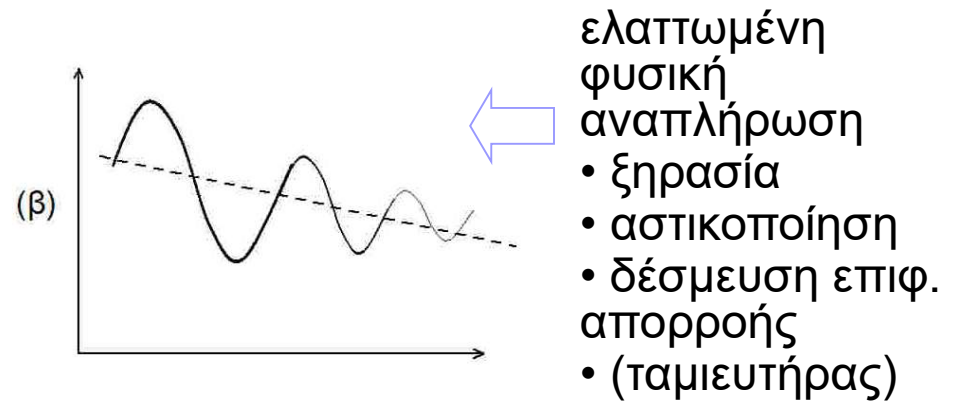
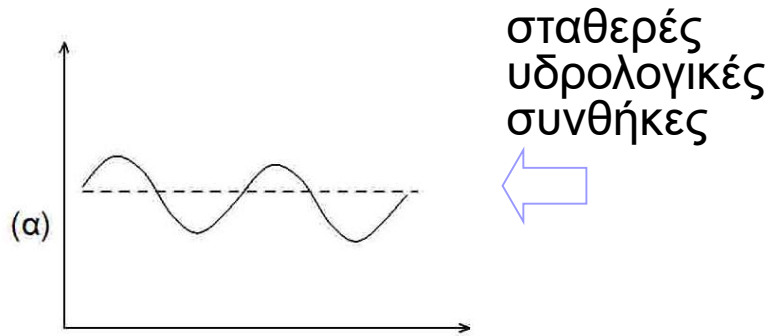


Dewatering under a compressible layer.



Dewatering over a compressible layer.

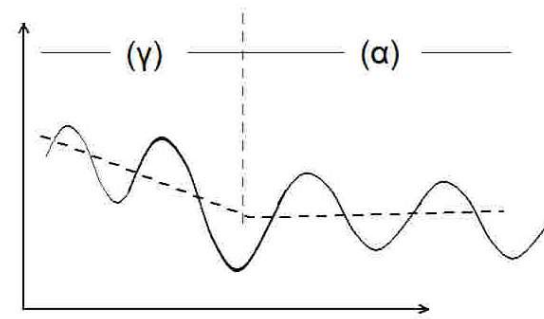
10. Η υδρογεωλογική σημασία των διακυμάνσεων της στάθμης των υδροφόρων



- ↑
- επιστροφές από άρδευση
 - τεχνητός εμπλουτισμός
 - κλιματικές μεταβολές
 - λύματα κλπ

υπερεκμετάλλευση

Detailed description: A line graph with a vertical y-axis and a horizontal x-axis. A solid line oscillates around a dashed line that slopes downwards from left to right. A vertical dashed line is drawn at a point on the x-axis, with a horizontal line extending from it to the right, labeled '(α)'. The area to the left of this vertical line is labeled '(γ)'. A blue arrow points from the text 'υπερεκμετάλλευση' to the graph.



ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

Ο Νομός Ξάνθης:

1. περιοχή έρευνας στο ανατολικό τμήμα του Δέλτα του Ποταμού Νέστου
2. περιοχή έρευνας στα Βαφέικα
3. περιοχή έρευνας στον Πολύσιτο

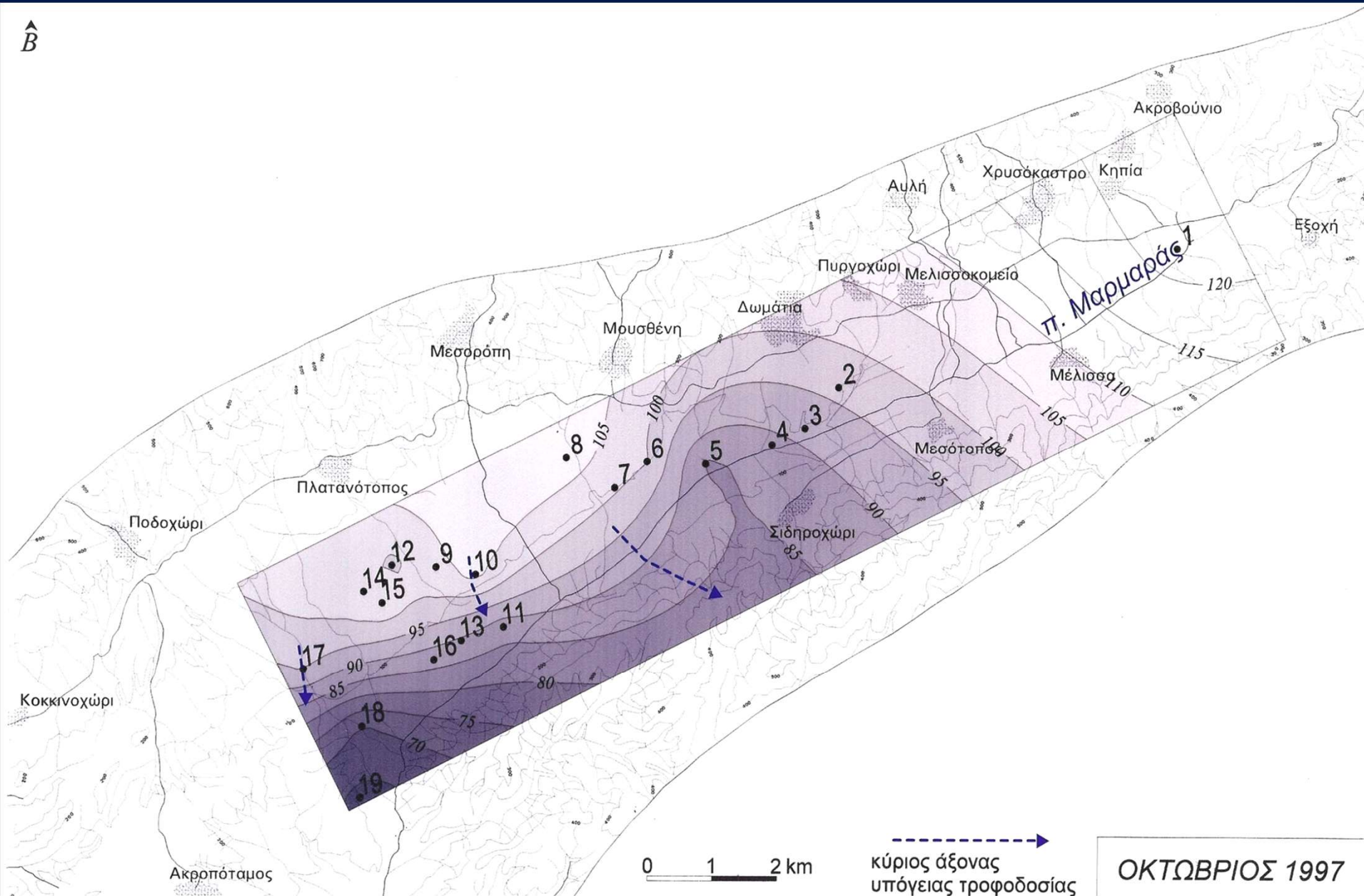
και οι θέσεις των σταθμηγράφων:

- ΣΤ1: σταθμηγράφος Αβάτου
ΣΤ2: σταθμηγράφος Βαφέικων
ΣΤ3: σταθμηγράφος Νέας Κεσσάνης
(Δαμιανίδης, 2011).



Πιερία Κοιλάδα Ν. Καβάλας

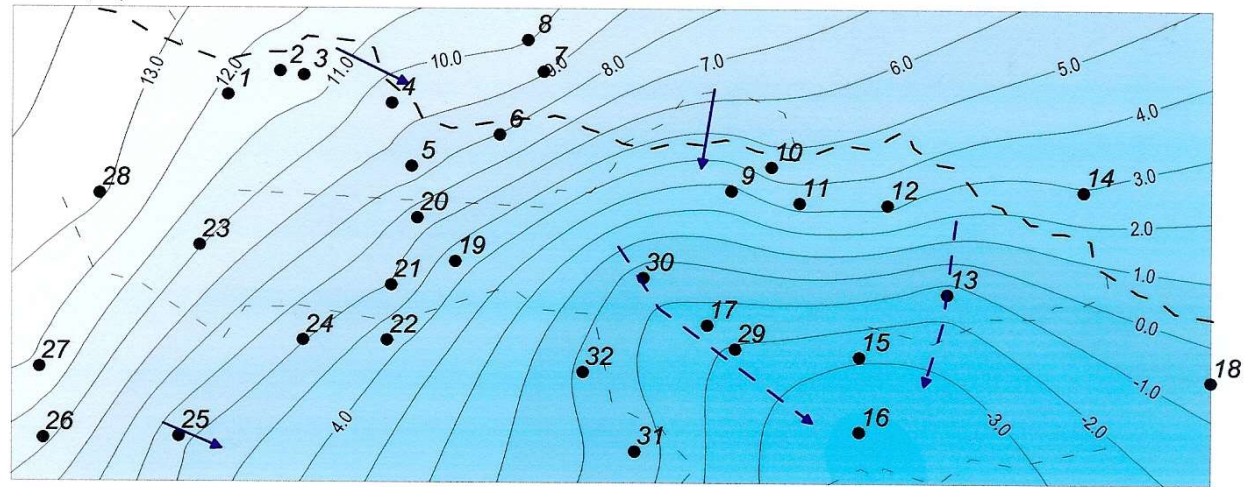
Α
Β



Πολύσιτος
Ν. Ξάνθης

Α κοίτη εμπλουτισμού

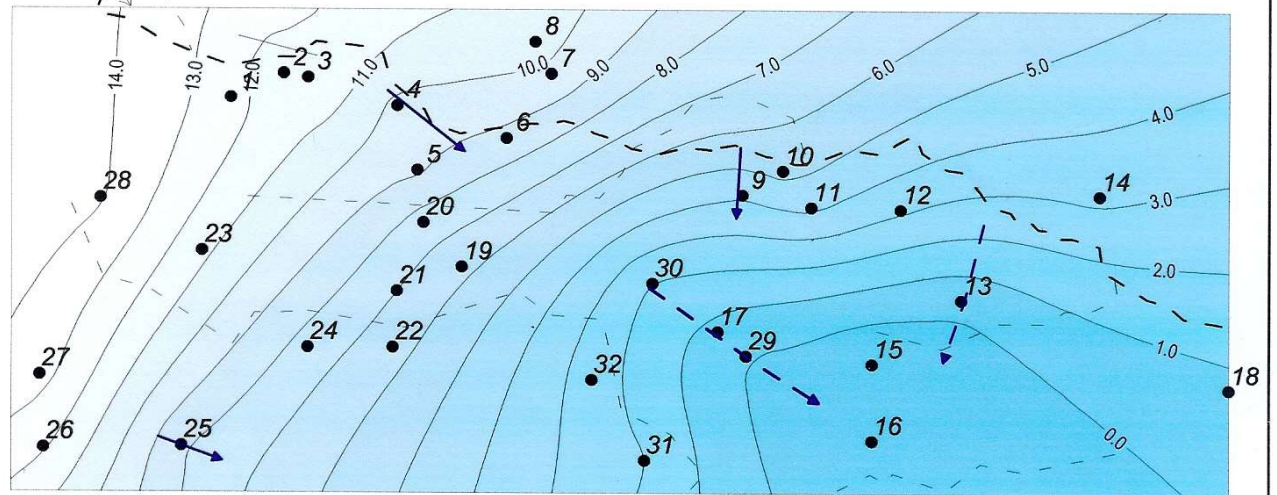
Β



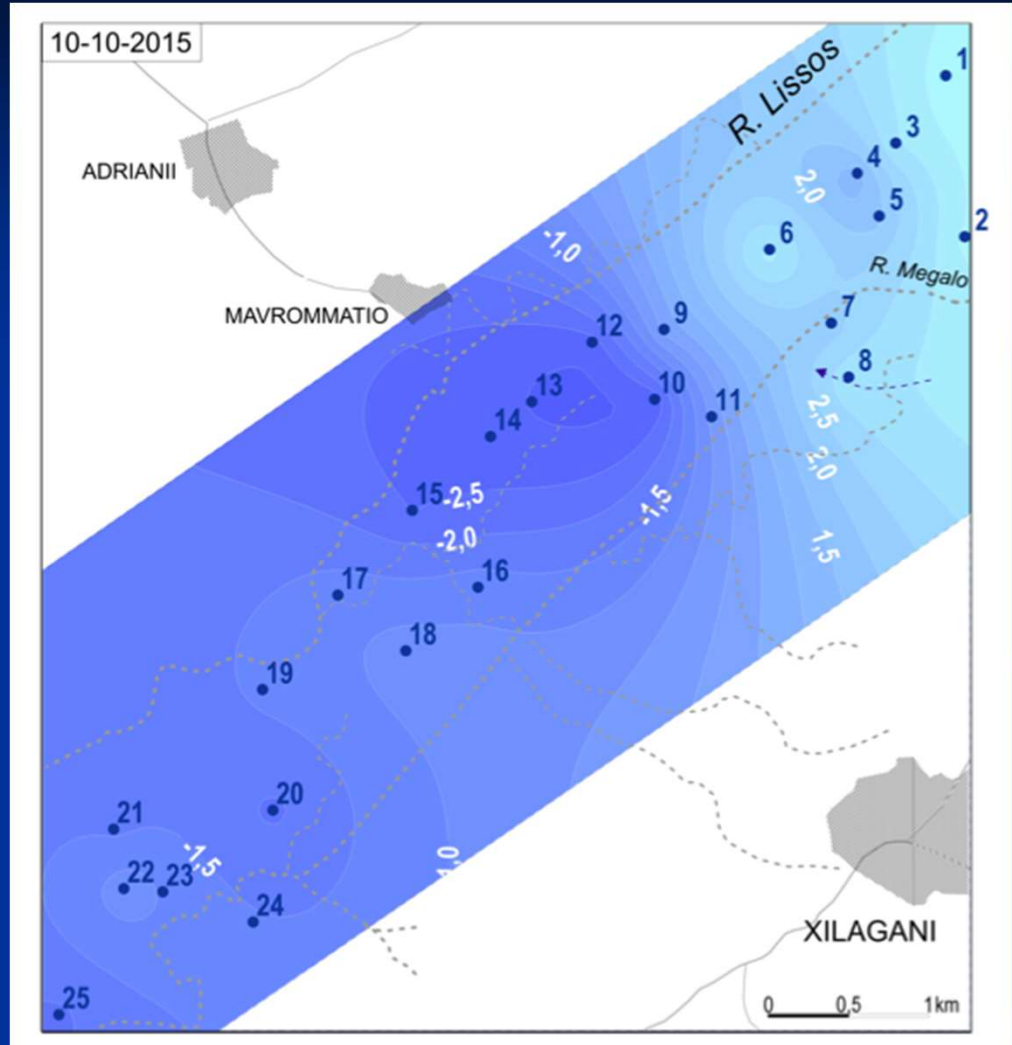
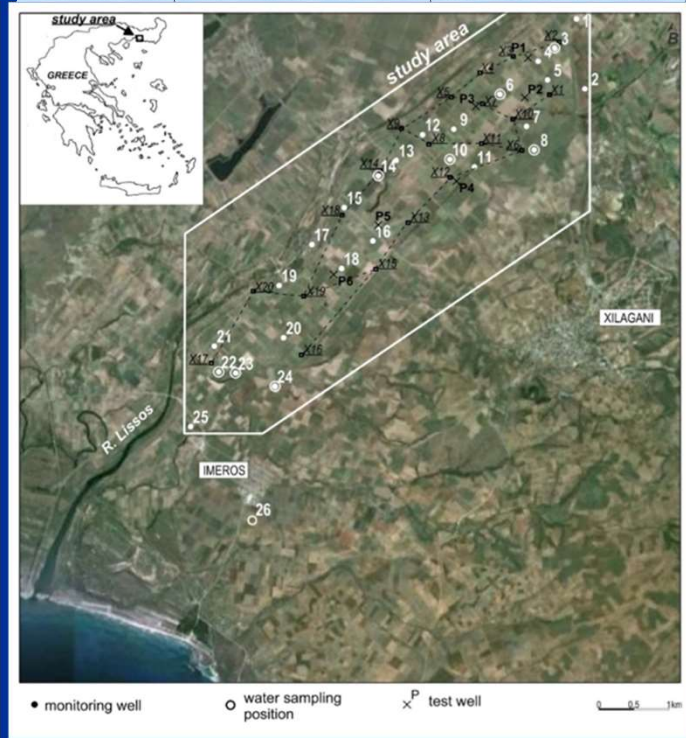
18-12-1996

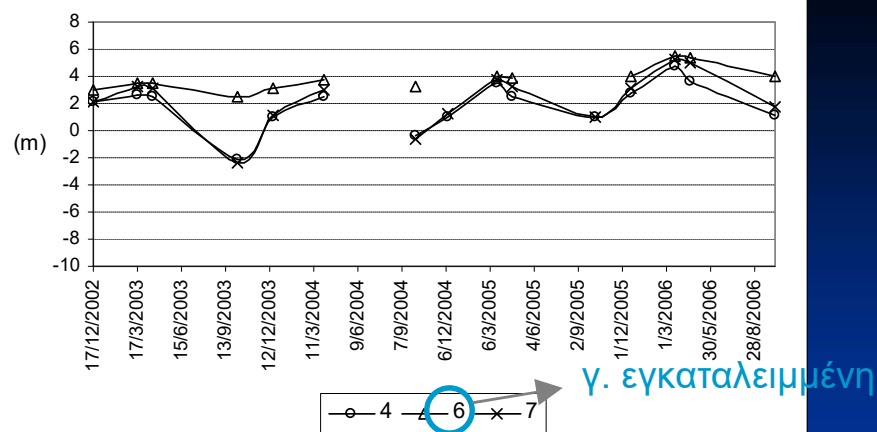
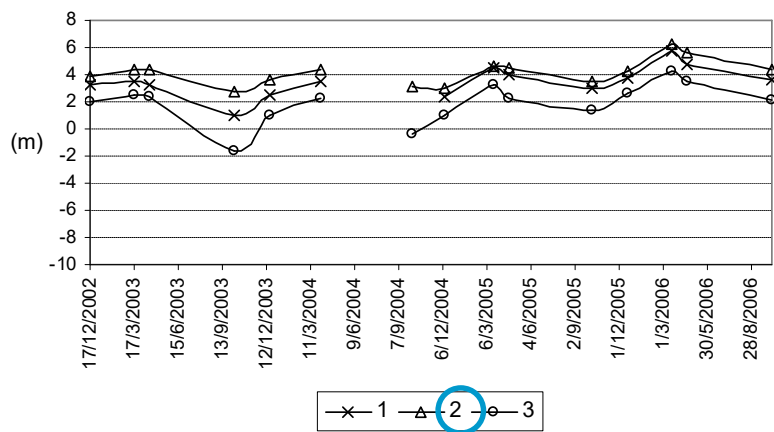
Α κοίτη εμπλουτισμού

Β

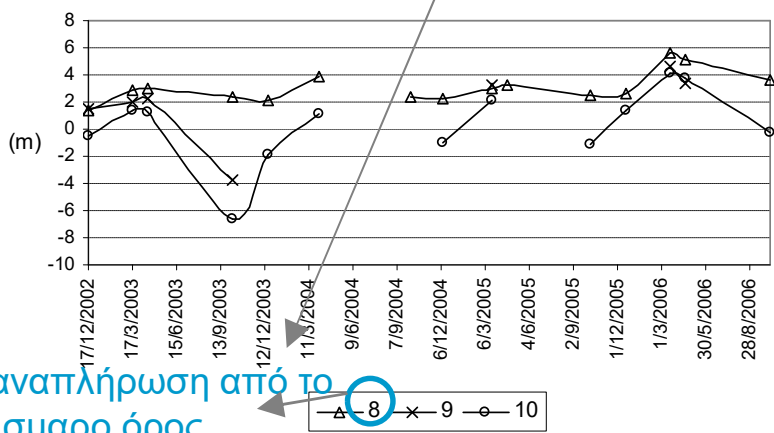


9-4-1997

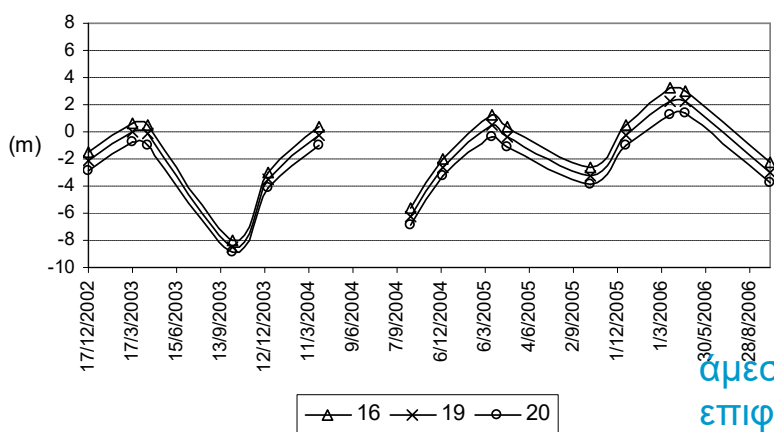
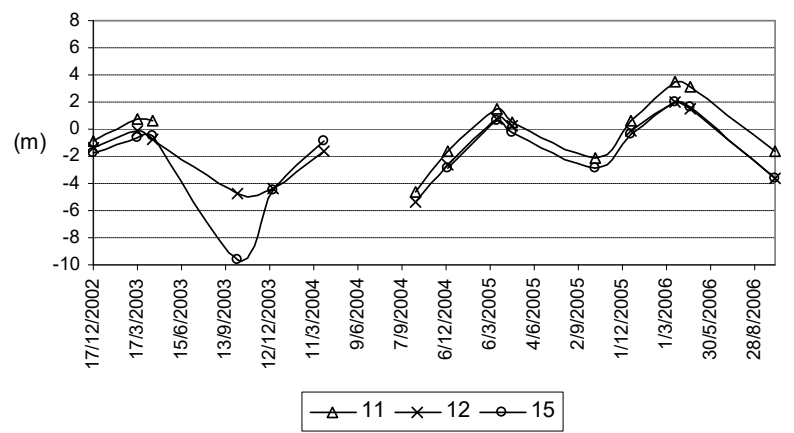




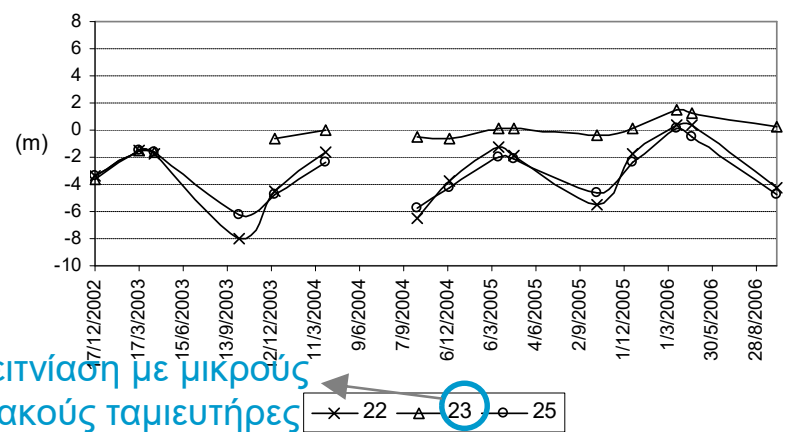
γ. εγκαταλειμμένη

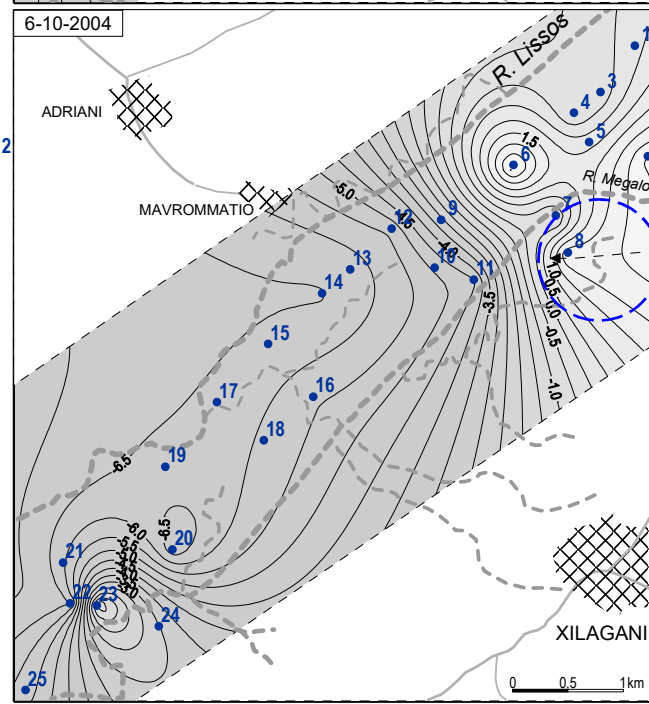
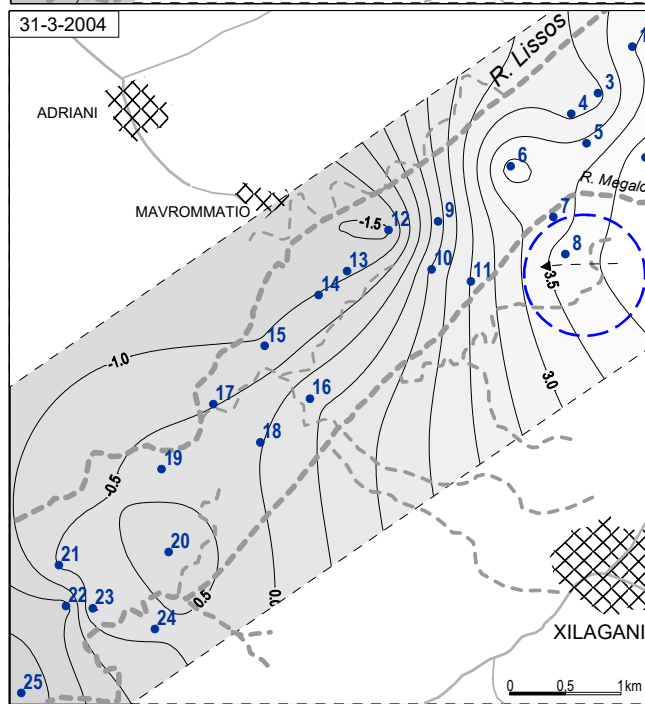
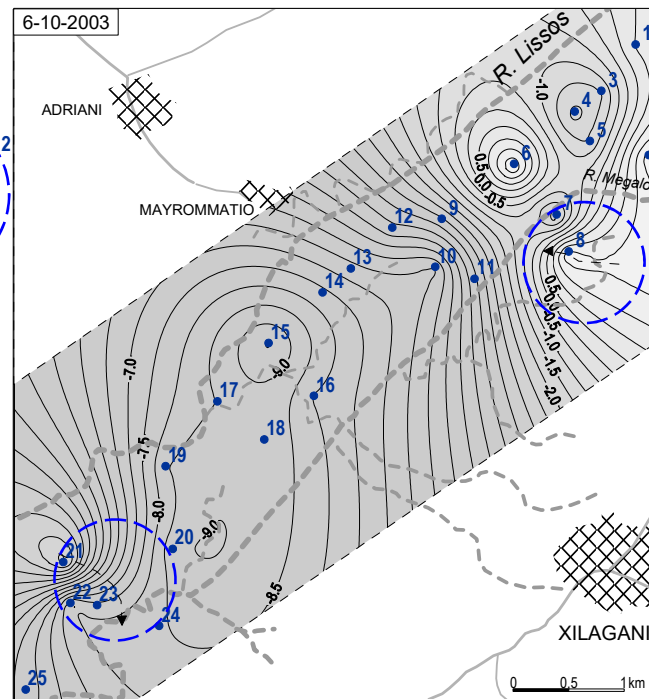
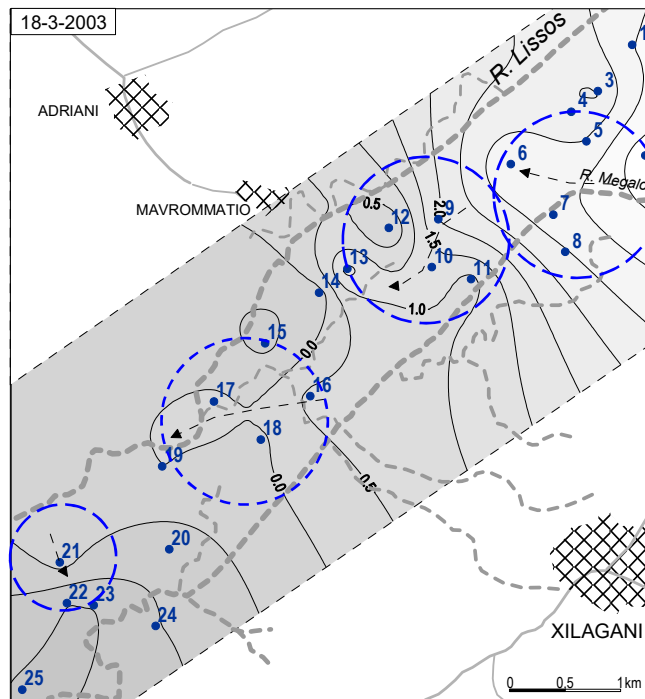


αναπλήρωση από το
Ισμαρο όρος

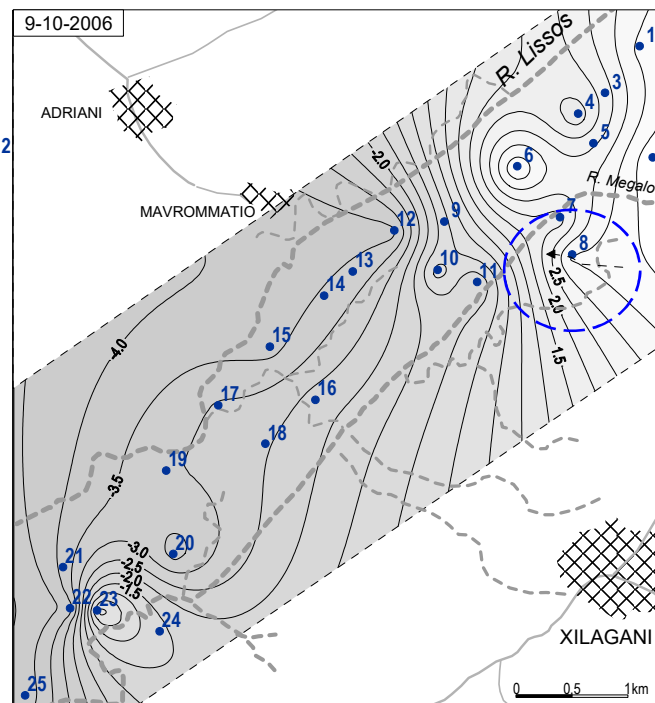
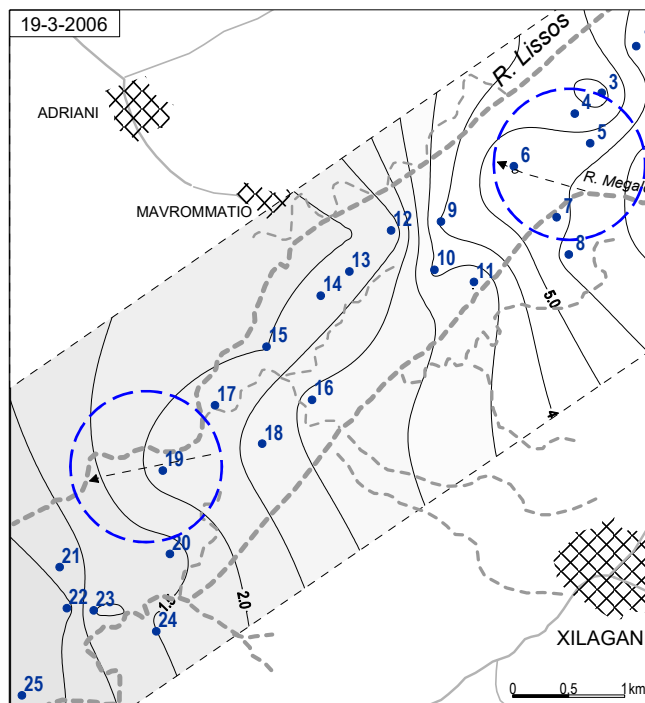
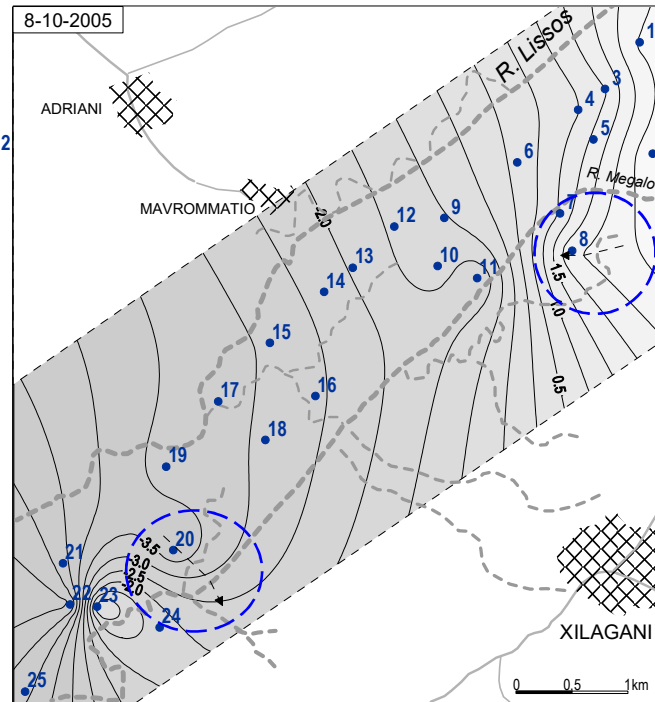
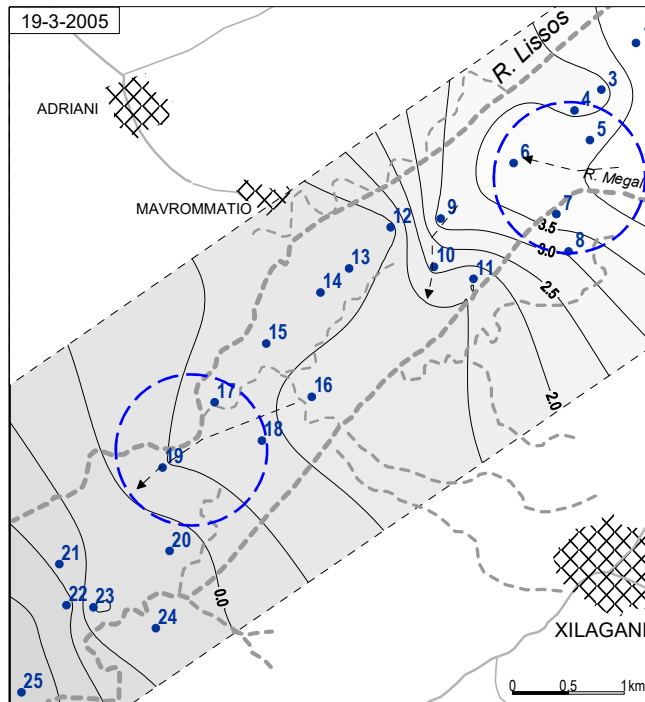


αμέση γειτνίαση με μικρούς
επιφανειακούς ταμιευτήρες

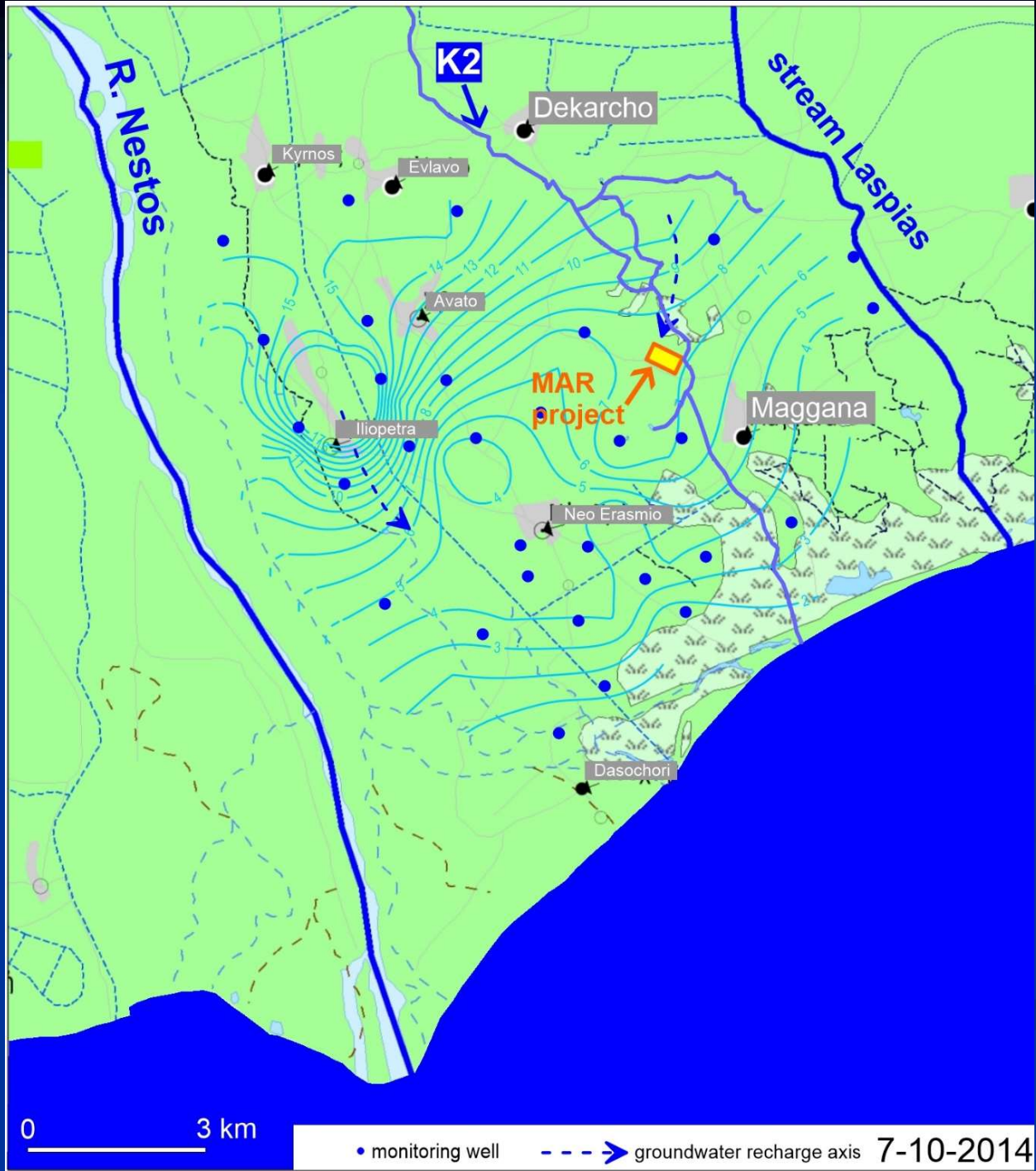




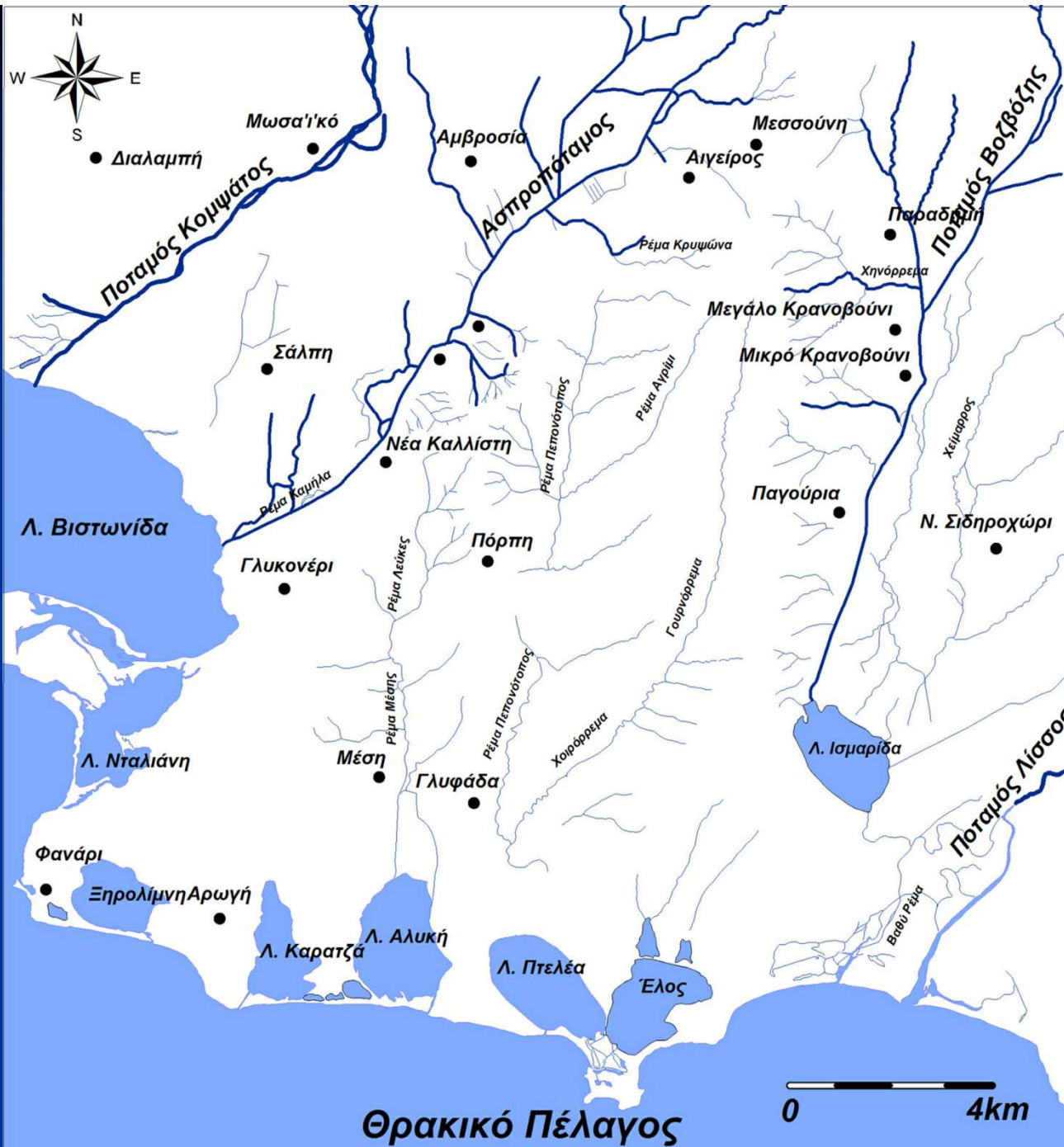
25 monitoring well
 - - - - -> main groundwater recharge axis
 - 0.5 - piezometric contour

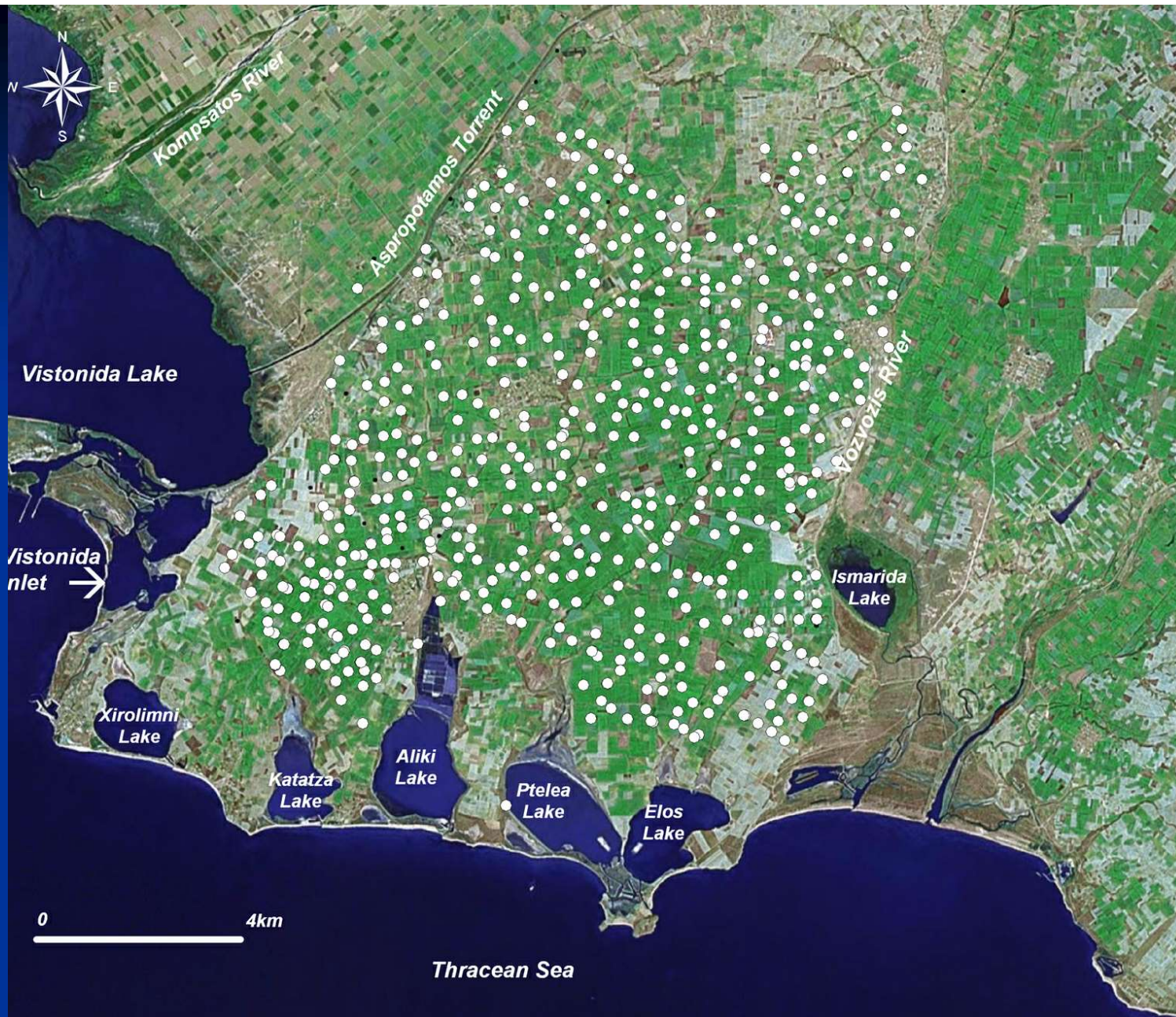


monitoring well
 main groundwater recharge axis
 0.5 piezometric contour

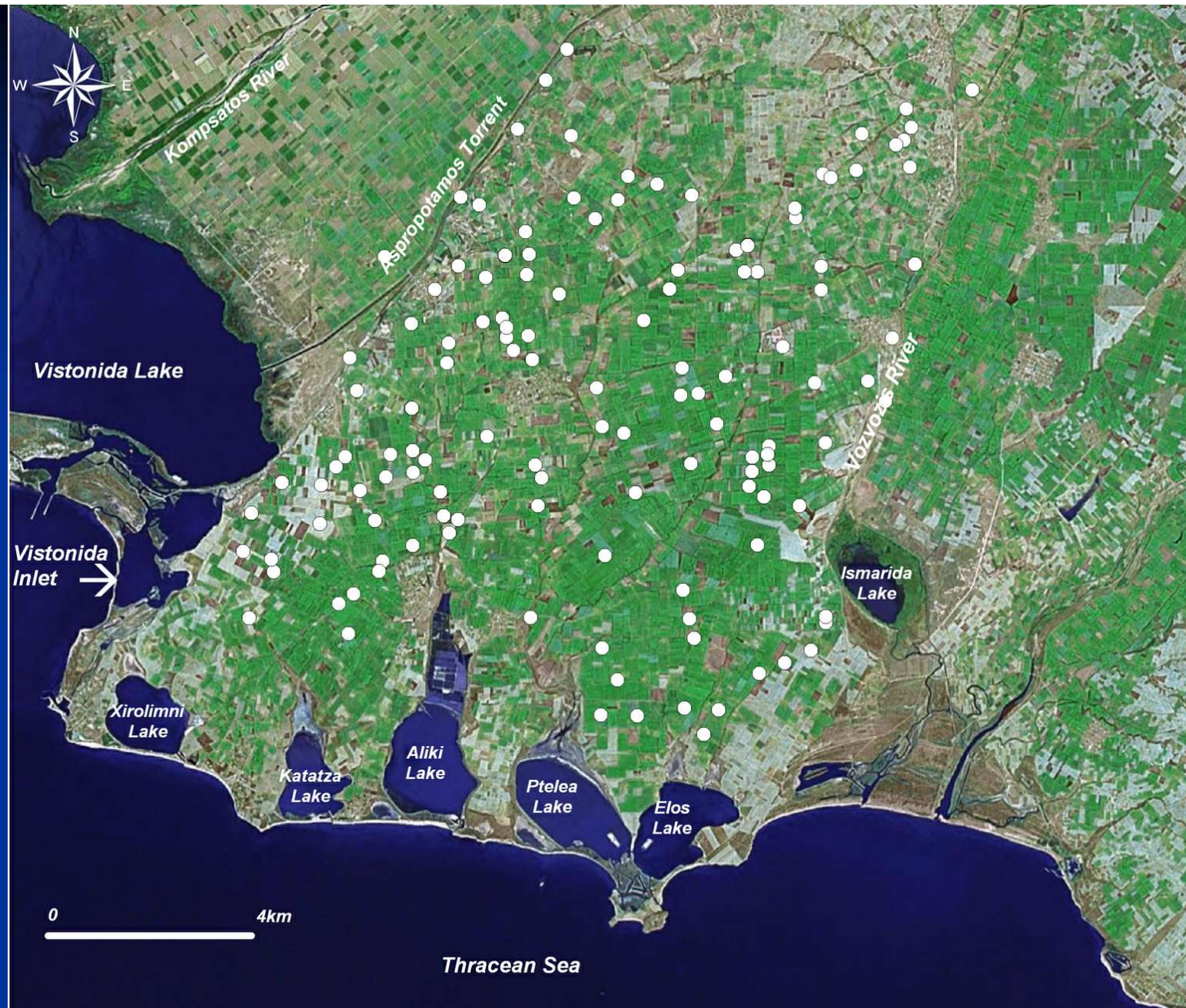






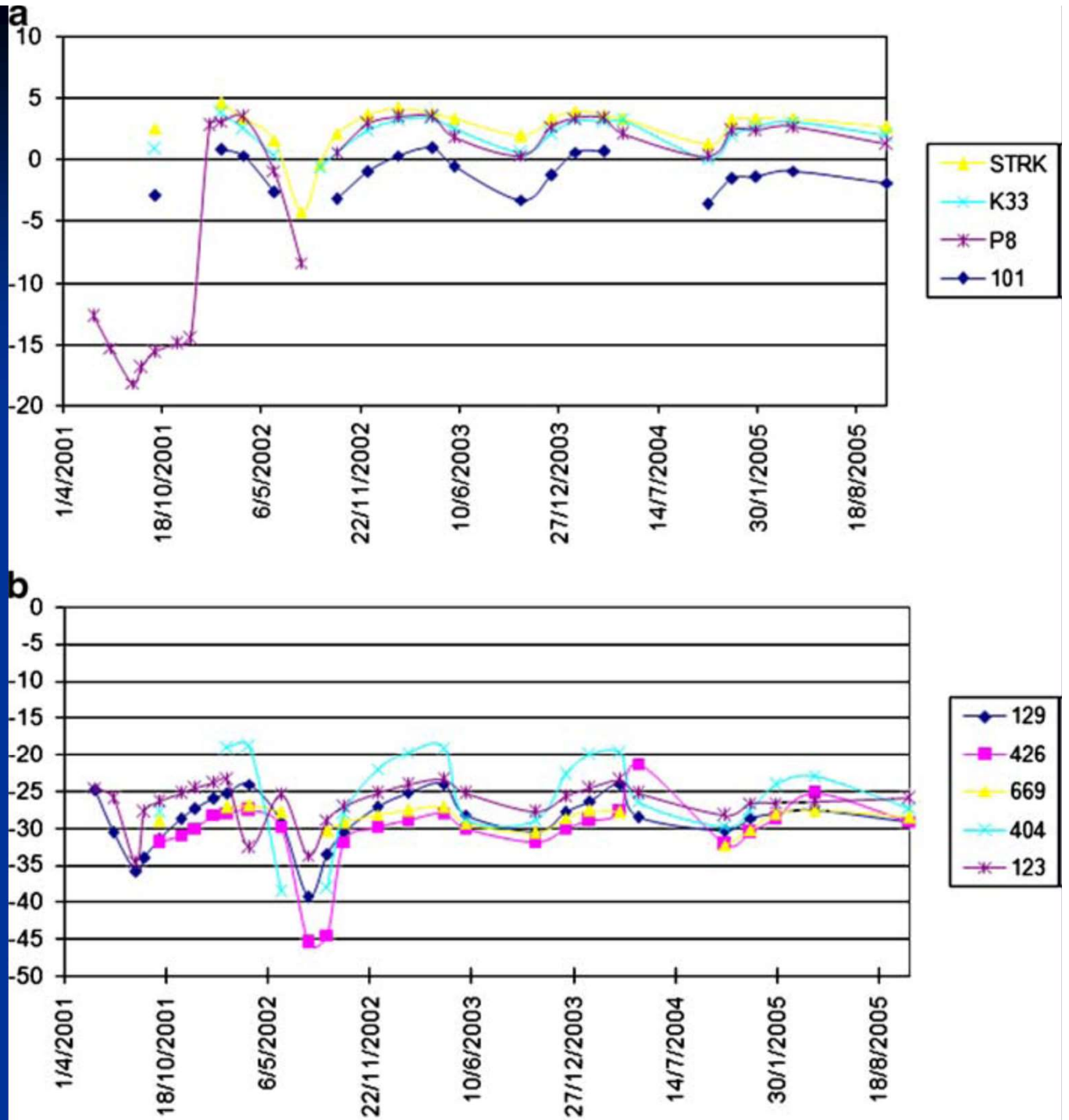


Συνολικό δίκτυο παραγωγικών και εγκαταλειμμένων γεωτρήσεων



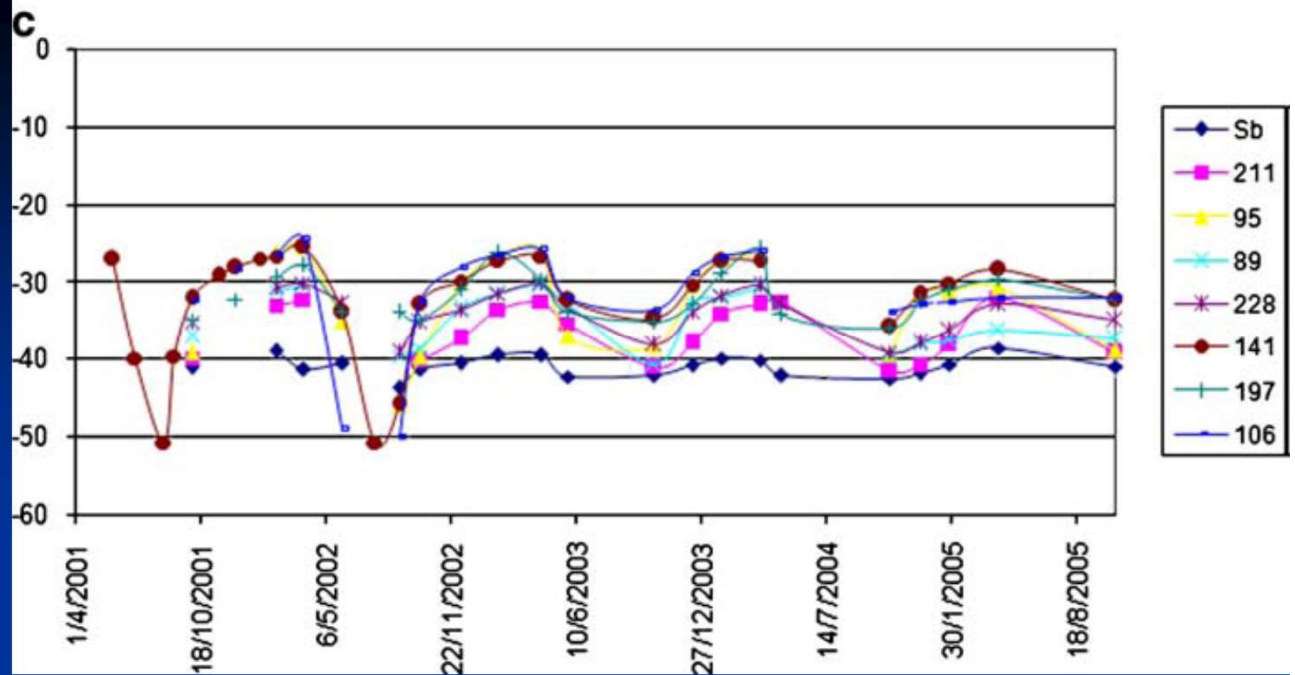
Δίκτυο γεωτρήσεων παρακολούθησης στάθμης και δειγματοληψίας

Διακύμανση στάθμης
υπόγειων νερών σε
επιλεγμένες
γεωτρήσεις
(2001-2005)

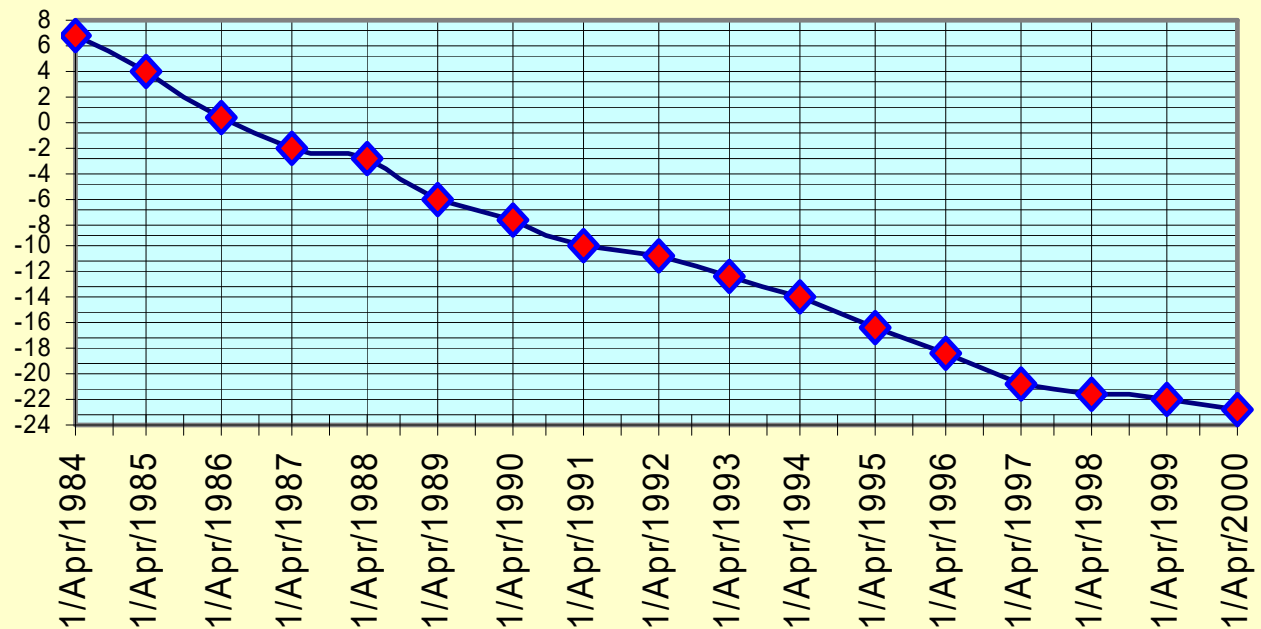


Διακύμανση στάθμης
υπόγειων νερών σε
επιλεγμένες
γεωτρήσεις
(2001-2005)

(Kallioras et al., 2010)



Πορεία της ανώτατης
ετήσιας πιεζομετρικής
στάθμης στον παράκτιο
υδροφόρο του Ν. Ροδόπης
(1984-2000)

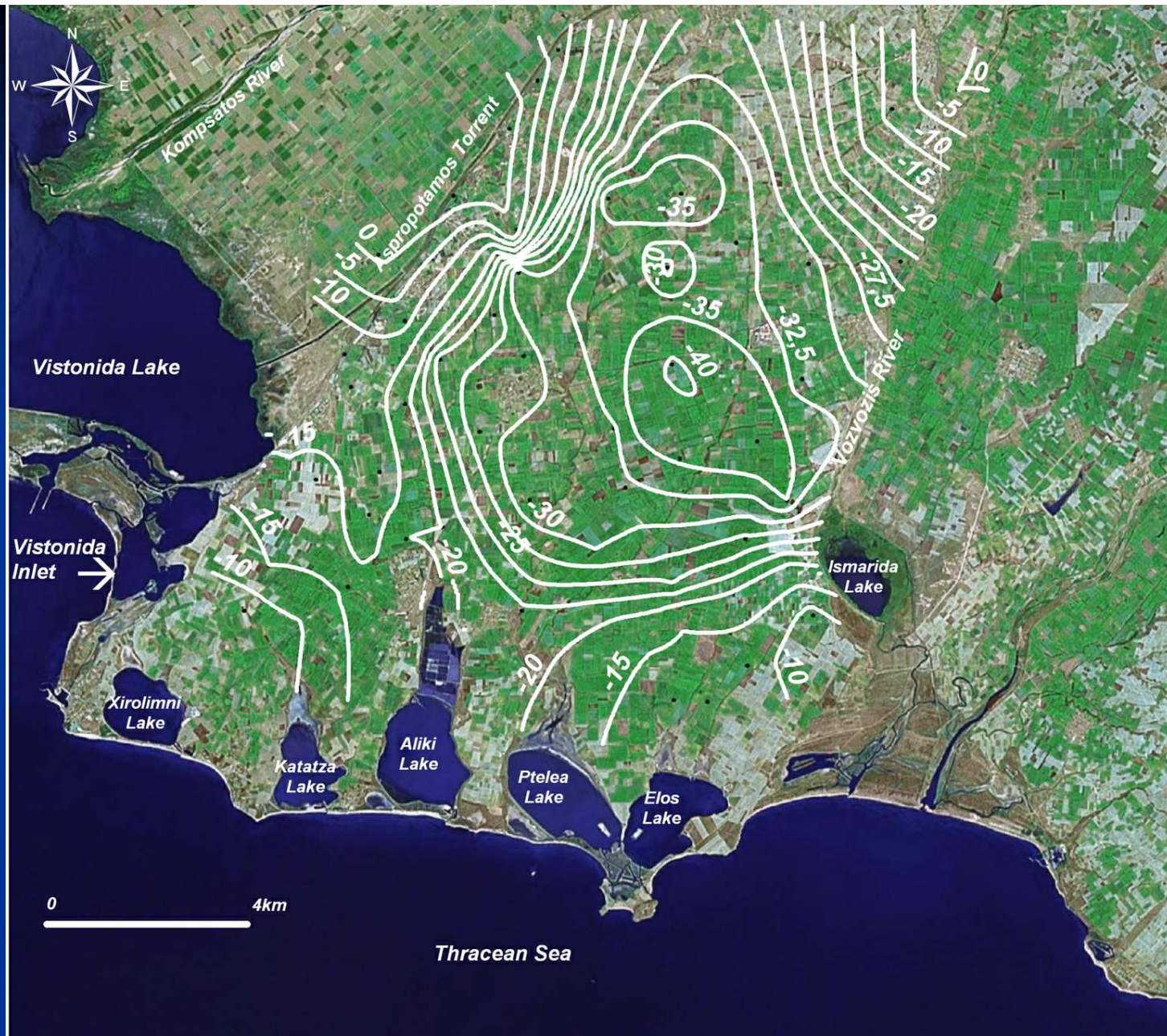




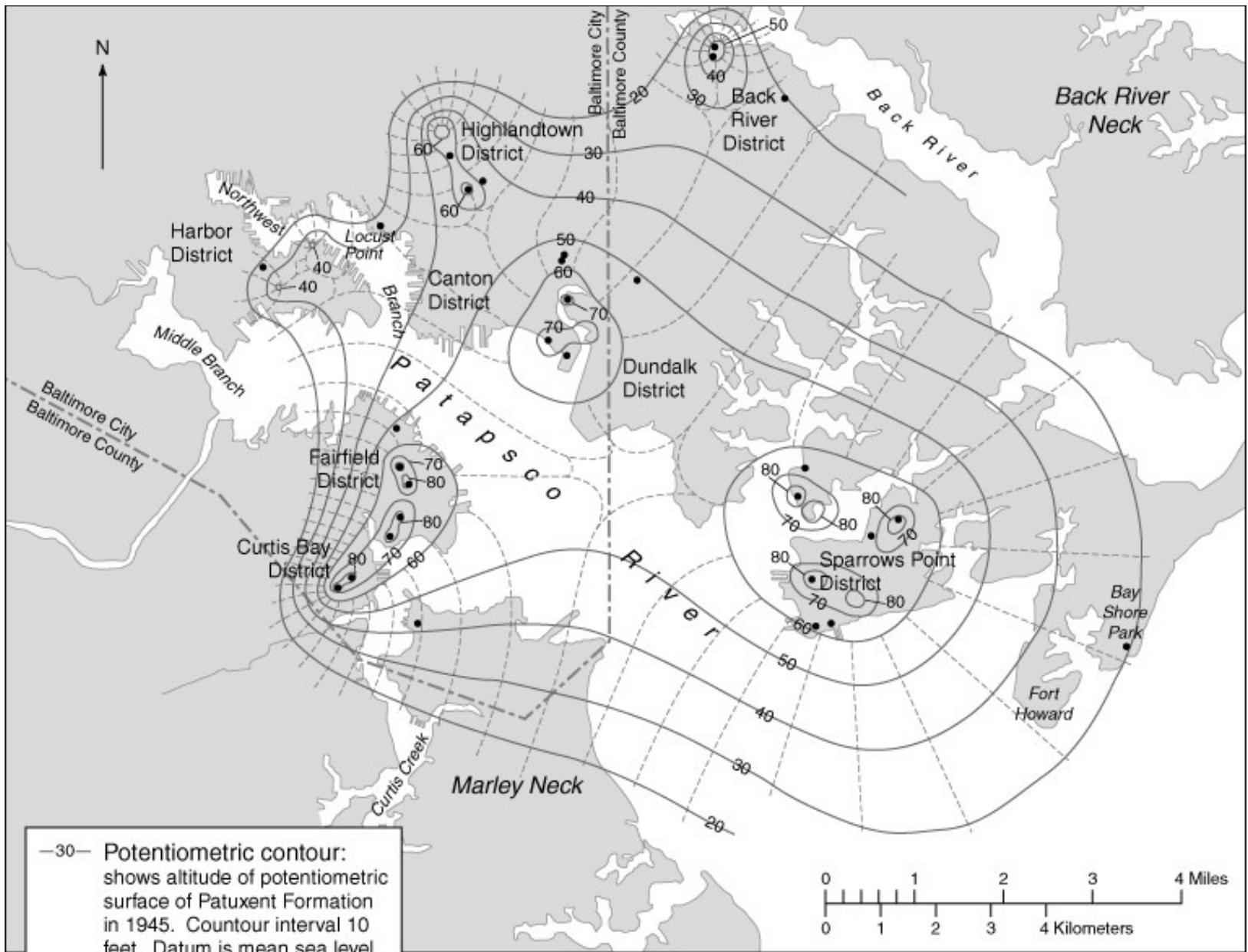
Πιεζομετρικός χάρτης περιοχής έρευνας κατά τον Απρίλιο 1992

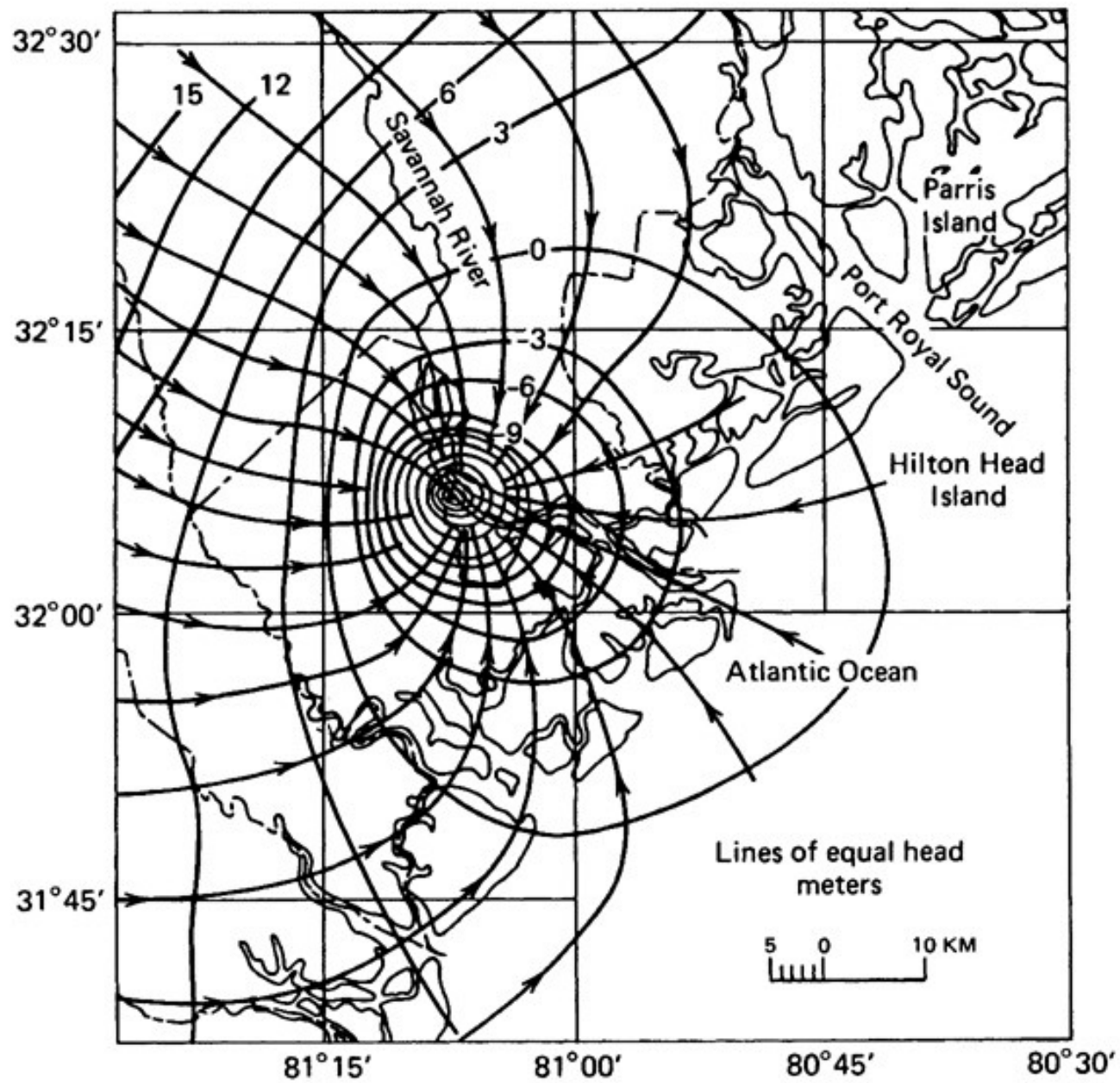


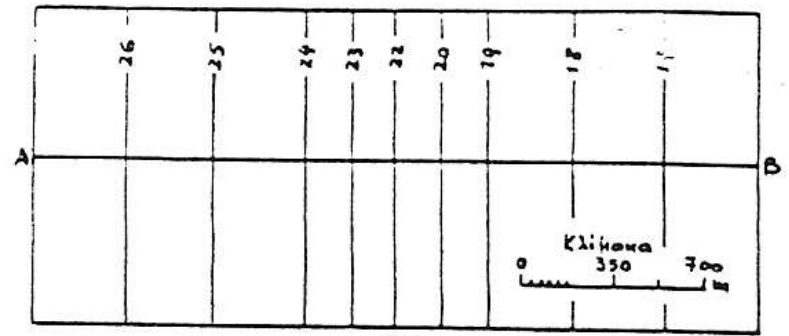
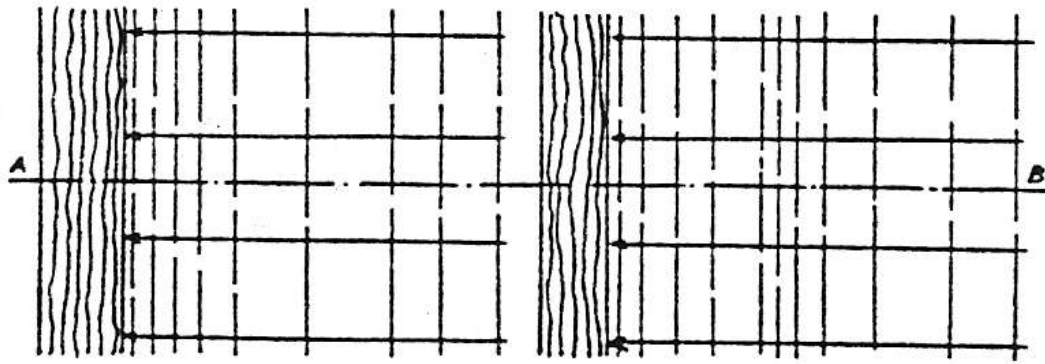
Πιεζομετρικός χάρτης Απριλίου 2005



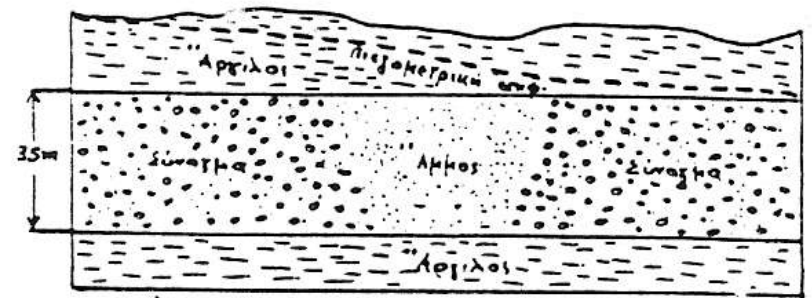
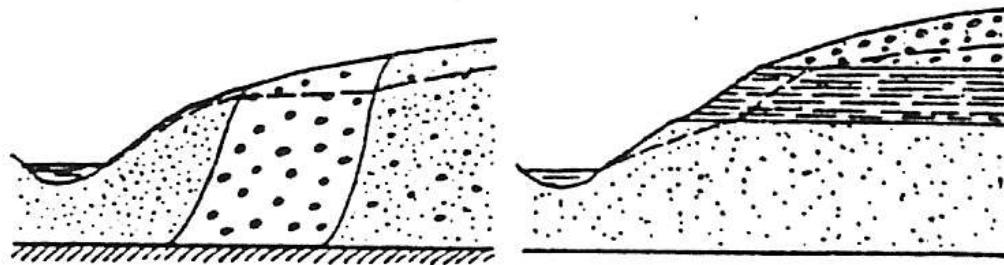
Πιεζομετρικός χάρτης Οκτωβρίου 2005





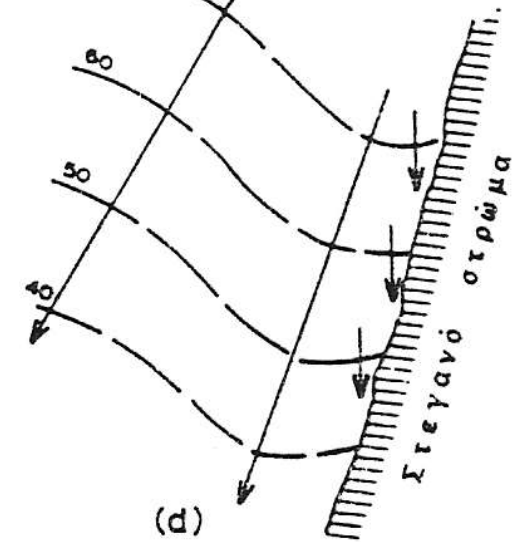
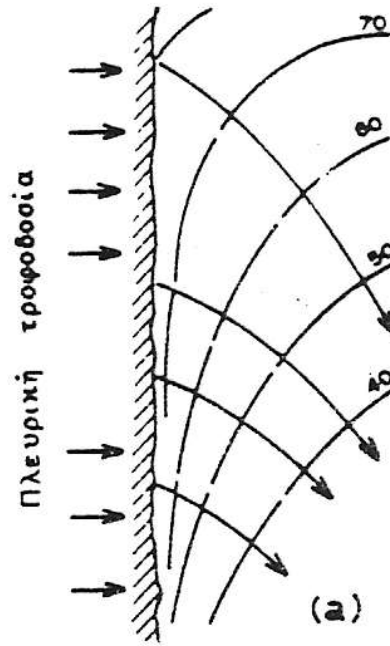
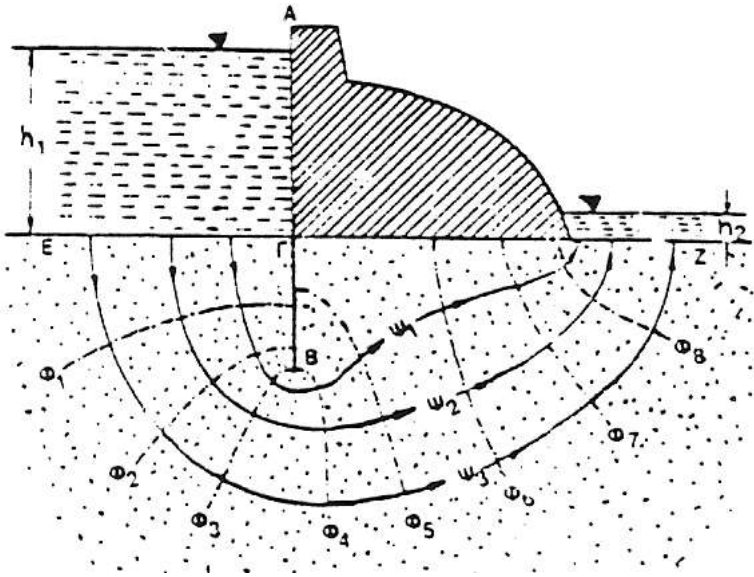


(A)



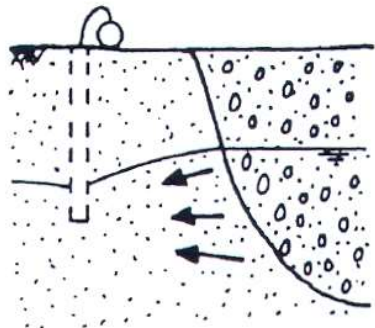
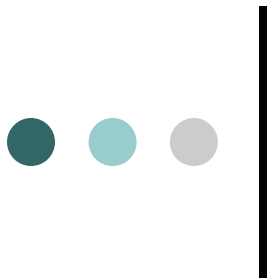
(B)

- Περιορισμένη (i = μεγάλη) → κ μικρή
 Περιορισμένη (i = μικρή) → κ μεγάλη
 ↳ κατάλληλα για παραγωγικές γεωργίες

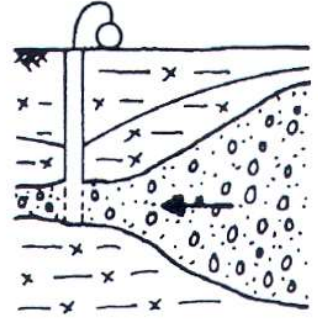


- Ραβδία στα στεγανά όρια
(ή στην επιφάνεια
ελεύθερου υδροφόρου)

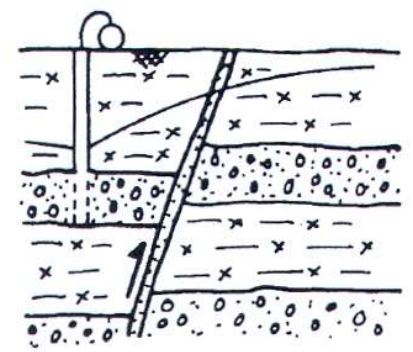
: { ραβδία παράλληλη //
&
| βόθρων. ραβδία ⊥ }



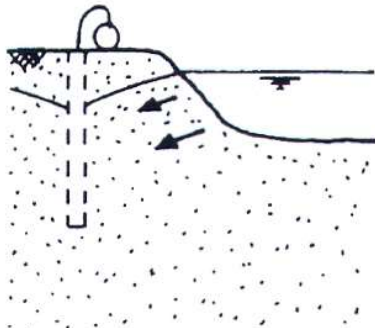
High permeability zone



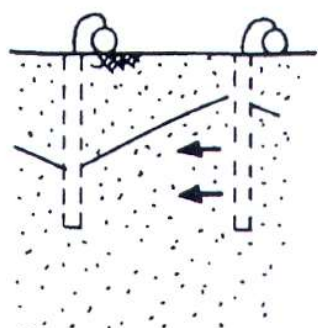
Increase in aquifer thickness



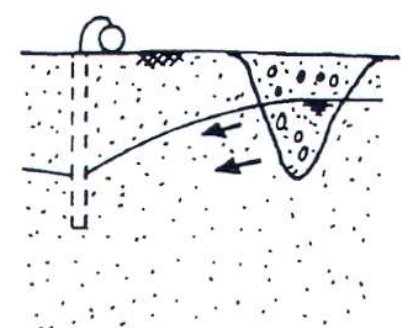
Fault



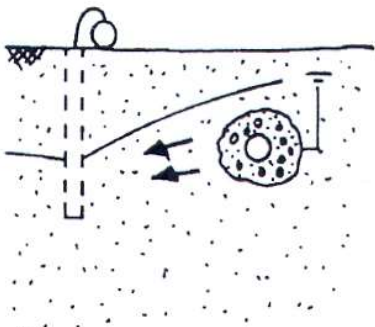
Surface water in hydraulic connection with the aquifer



Recharge wells



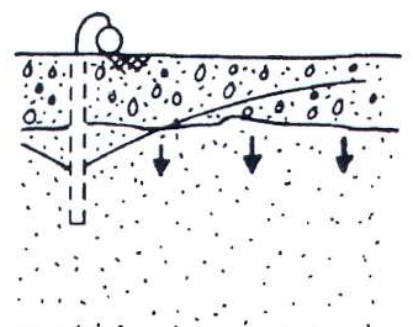
Gravel lens or channel



Flooded land drain or sewer bedding



Underlying high permeability stratum

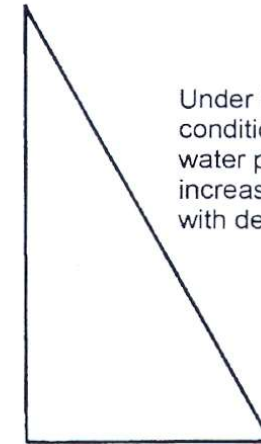
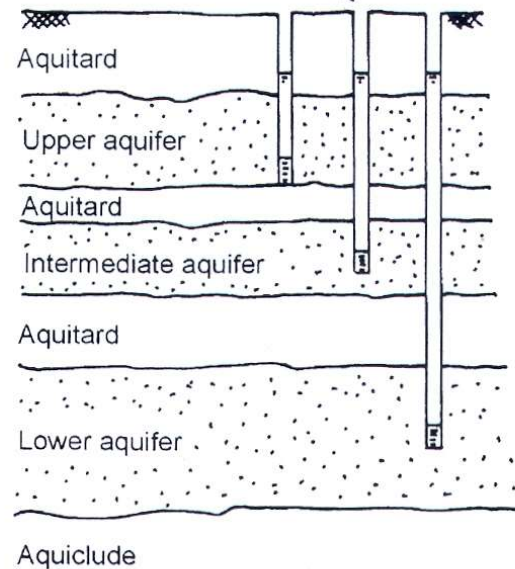


Overlying high permeability stratum

Potential aquifer recharge boundaries



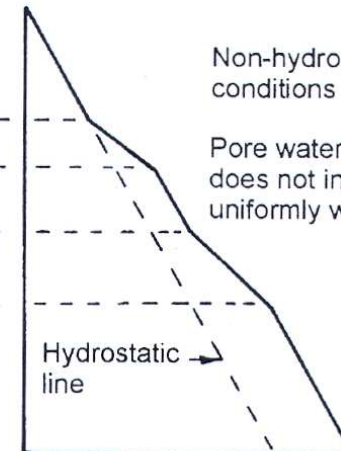
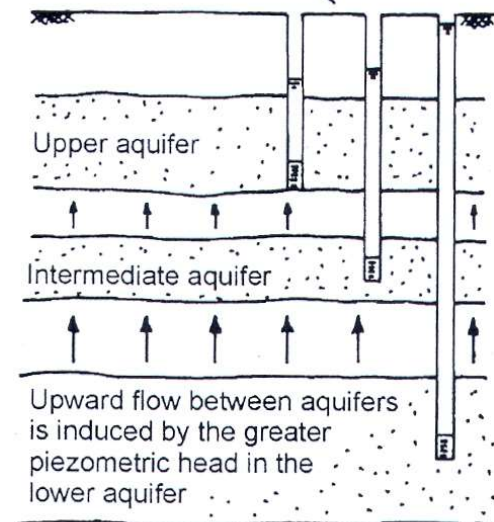
(a) For hydrostatic conditions observation wells will show the same piezometric level in each aquifer



Under hydrostatic conditions the pore water pressure increases uniformly with depth

Pore water pressure

(b) Observation wells show different piezometric levels in each aquifer



Non-hydrostatic conditions

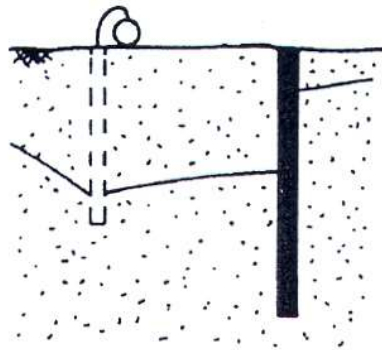
Pore water pressure does not increase uniformly with depth

Hydrostatic line

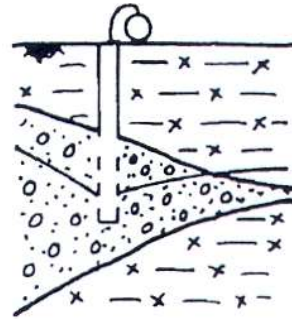
Interaction between aquifers.

(a) hydrostatic conditions,

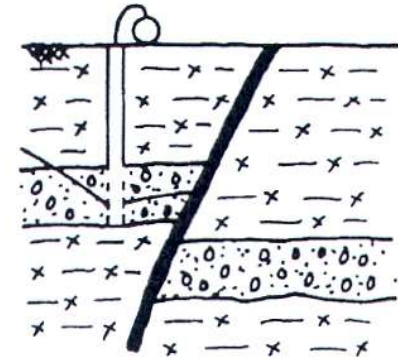
(b) flow between aquifers.



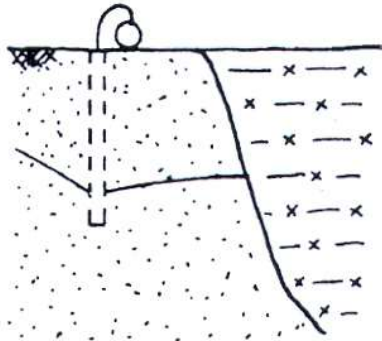
Partial cut-off wall



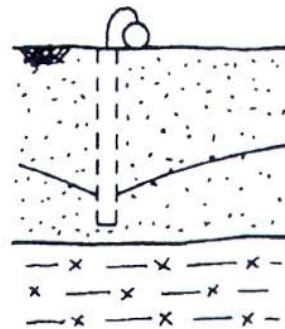
Reduction in aquifer thickness



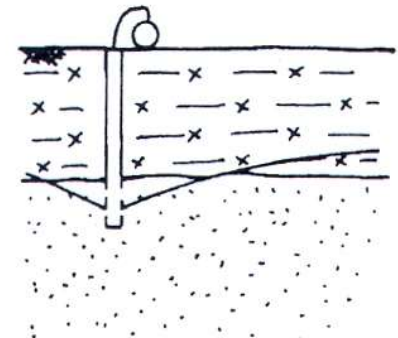
Fault



Low permeability zone

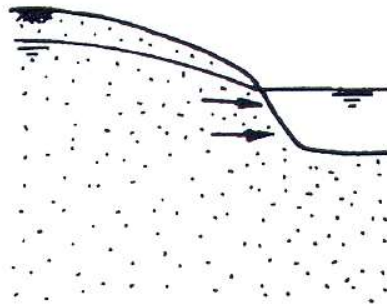


Underlying low permeability stratum

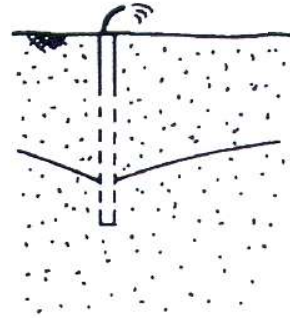


Overlying low permeability stratum

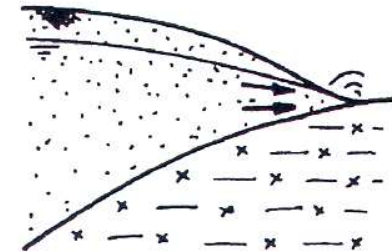
Potential aquifer barrier boundaries



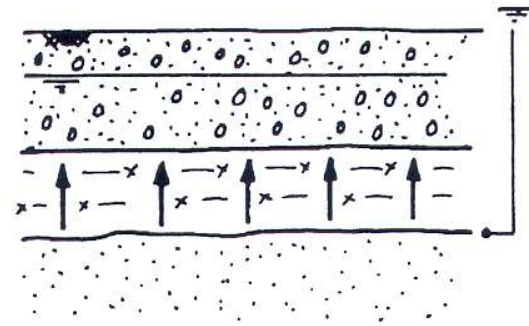
Surface water



Abstraction wells

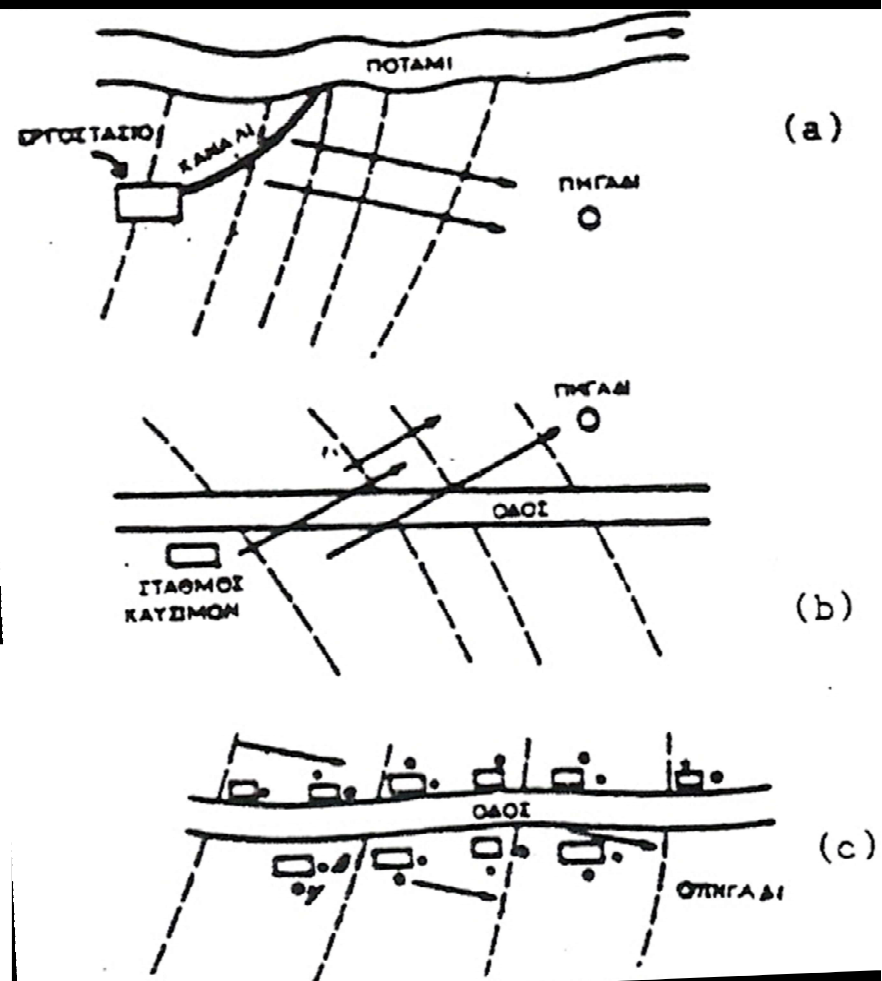
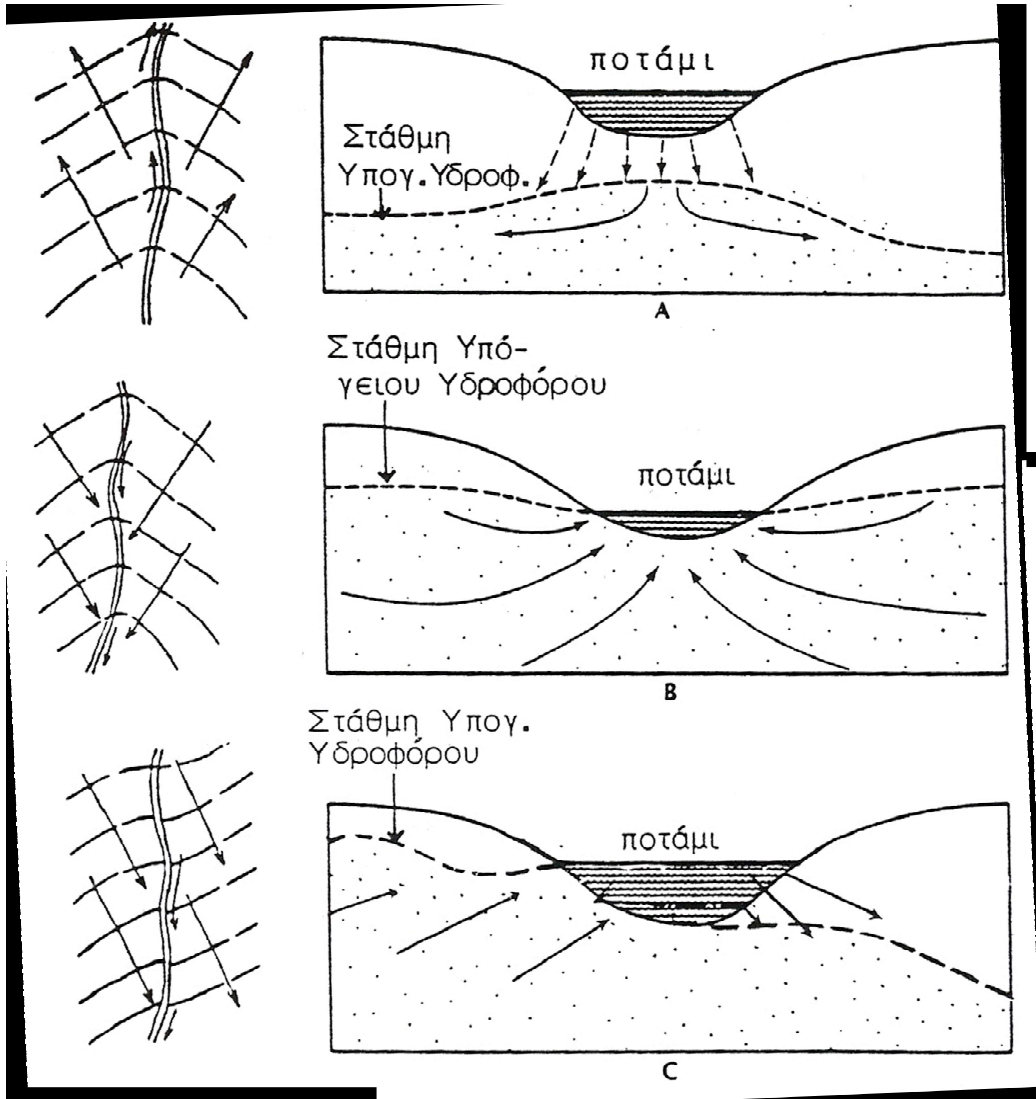


Springs

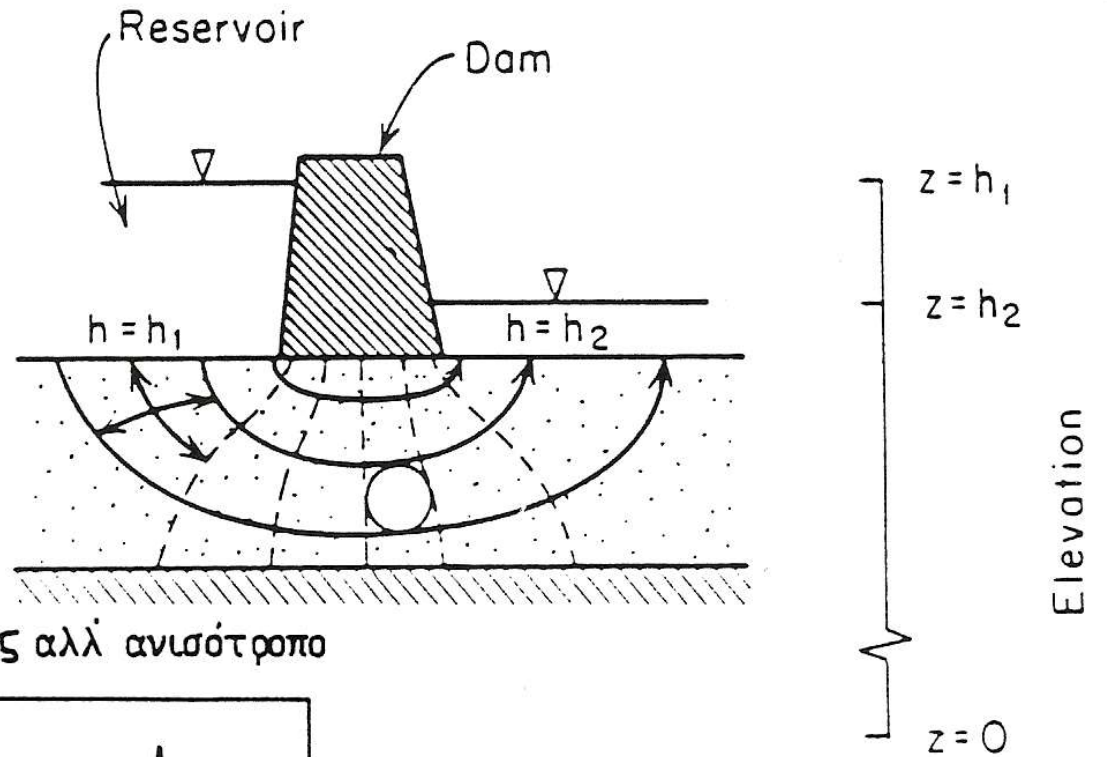


Leakage to other aquifers

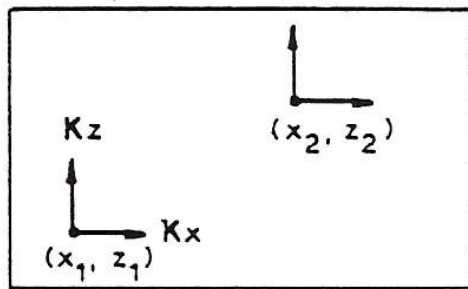
Potential aquifer discharge boundaries



δίκτυο ροής

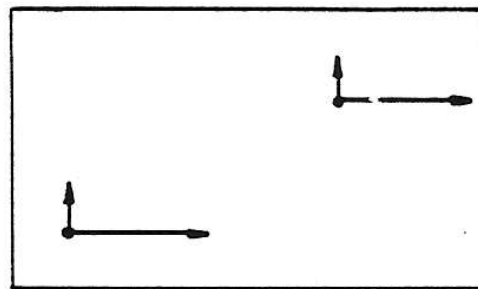


Ομοιογενές και ισότροπο



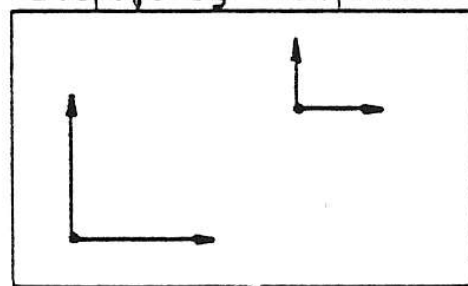
(a)

Ομοιογενές αλλ ανισότροπο



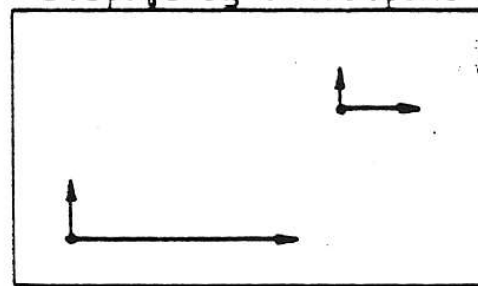
(b)

Ετερογενές ισότροπο



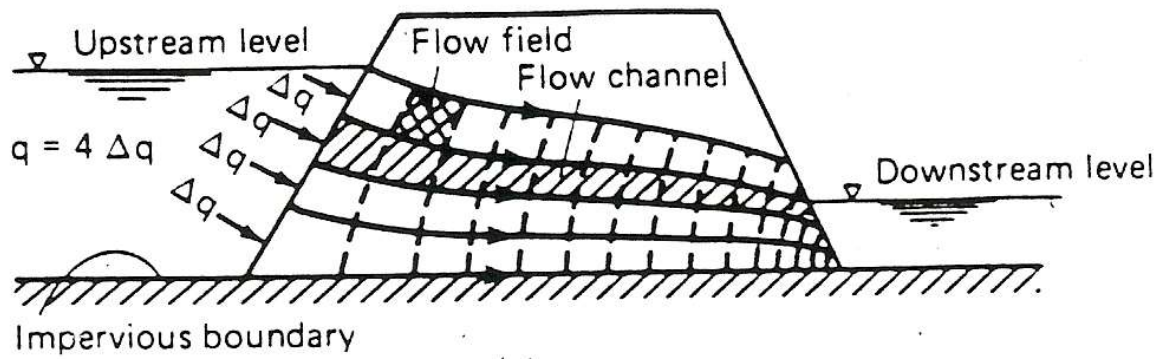
(c)

Ετερογενές ανισότροπο

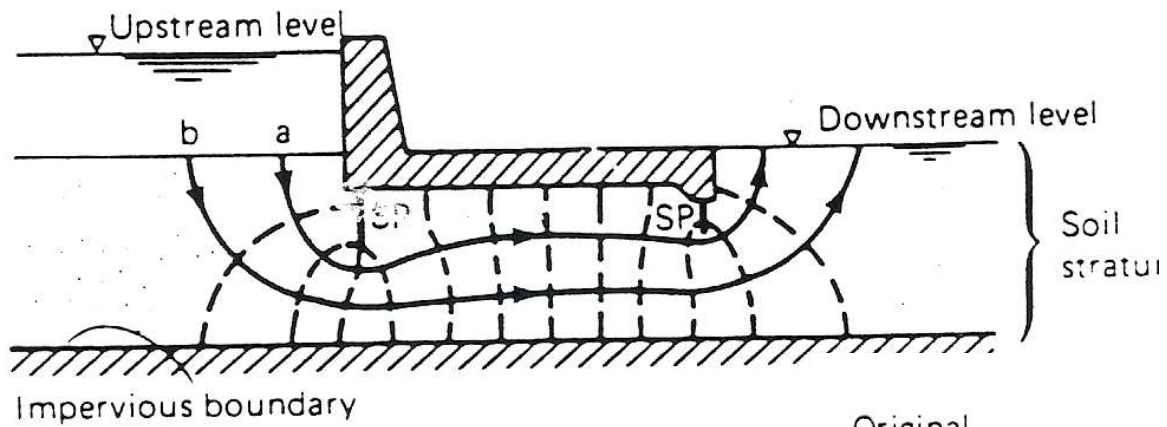


(d)

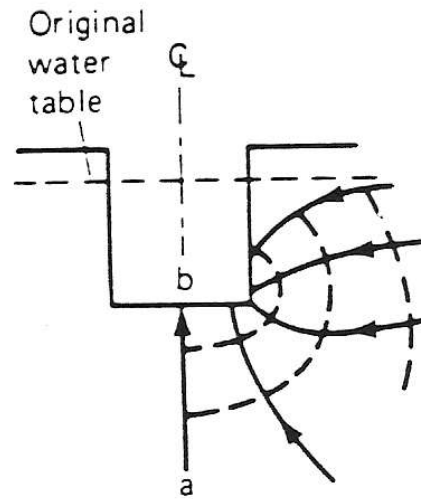
I



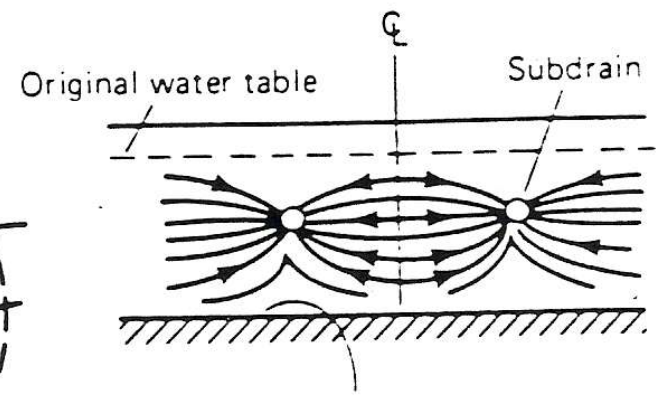
(a)



(b)



(c)



(d)

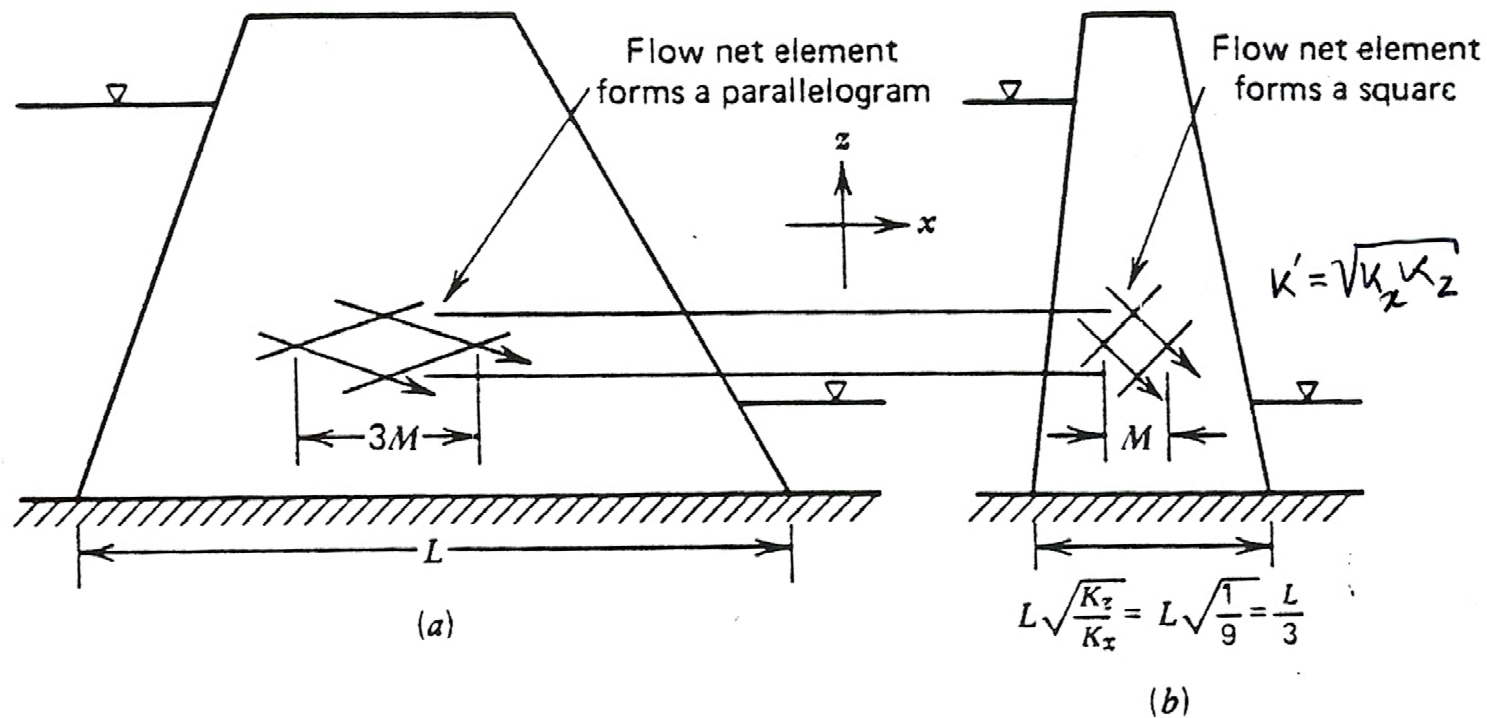


Fig. 3.11 Illustration of flow net analysis for anisotropic hydraulic conductivity in an earth dam. (a) True anisotropic section with $K_x = 9K_z$. (b) Transformed isotropic section with $K_x = K_z$.

σημερινή κατάσταση των υδατικών πόρων στον ελλαδικό χώρο

⇒ Η χώρα μας χαρακτηρίζεται:

- ‘πλούσια’, όσον αφορά τα αποθέματα νερού.
 - βροχοπτώσεις: κατά μέσο όρο 700 mm ή 115 δισεκατομμύρια m^3 (50 % χάνονται λόγω της εξατμισοδιαπνοής, ενώ 35 δις m^3 αντιπροσωπεύουν την επιφανειακή απορροή των ποταμών της ηπειρωτικής Ελλάδας και καταλήγουν στη θάλασσα).
- ‘σπάταλη’, όσον αφορά την έλλειψη ολοκληρωμένης πολιτικής απέναντι σε ένα αγαθό που κάθε άλλο παρά αφθονεί στη φύση.
 - περίπου το 87% των αποθεμάτων νερού της χώρας προορίζεται για γεωργική χρήση, με απώλειες στα αρδευτικά δίκτυα, μέχρι και 80% (τα τελευταία 15 χρόνια οι αρδευόμενες εκτάσεις έχουν αυξηθεί κατά 40% και αντιστοιχούν στο 1/3 της συνολικά καλλιεργούμενης έκτασης).

- ⇒ Το 85% έως και 90% των αποθεμάτων νερού προέρχεται από ποταμούς (με ποσοστό που ξεπερνά το 80%) και λίμνες. Οι μεγάλες ποσότητες διασφαλίζονται από τις οκτώ μεγάλες υδρογεωλογικές λεκάνες των ποταμών Αχελώου, Αξιού, Αλιάκμονα, Έβρου, Νέστου, Άραχθου και Καλαμά που μαζί με τον Αλφειό, διατρέχουν μέσα σε ελληνικό έδαφος πάνω από 100 km. Τέσσερις από αυτούς (Έβρος, Νέστος, Στρυμόνας και Αξιός) πηγάζουν από γειτονικές χώρες (Βουλγαρία, Σκόπια, Τουρκία) και φθάνουν στα ελληνικά σύνορα μεταφέροντας 12 δισεκατομμύρια m³ νερού.
- ⇒ Στα επιφανειακά νερά συνεισφέρουν και 41 φυσικές λίμνες, από τις οποίες οι 19 με εμβαδόν πάνω από 5 km² καλύπτουν συνολικά πάνω από 6 εκατομμύρια στρέμματα, δηλαδή το 0,5% της συνολικής έκτασης της χώρας. Υπάρχουν επίσης 14 τεχνητές λίμνες με συνολική έκταση 260.000 στρέμματα. Στη χώρα μας έχουν τέλος καταγραφεί 378 υγροβιότοποι που καλύπτουν πάνω από 2 εκατομμύρια στρέμματα.

- ⇒ Η ποιότητα των επιφανειακών νερών κρίνεται ικανοποιητική, αφού οι συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών και βαρέων μετάλλων είναι κάτω από τα όρια των κοινοτικών οδηγιών και από τις χαμηλότερες στην Ευρώπη. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, πάντα όμως κάτω από τα όρια, έχουν παρατηρηθεί στον Έβρο και τον Αξιό. Η ίδια πηγή σημειώνει ότι ίχνη υποβάθμισης έχουν εντοπιστεί στις λίμνες Ιωαννίνων, Καστοριάς, Βιστωνίδας, Πετρών και Βεγορίτιδας.
- ⇒ Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της κατανάλωσης φυτοφαρμάκων κατά 20%, ποσότητες που αντιστοιχούν στα επίπεδα της δεκαετίας του '80 (από το 1992 σταμάτησε η επιδότηση για τη χρήση φυτοφαρμάκων).
- ⇒ Τα υπόγεια νερά αντιπροσωπεύουν το 10 έως 15% των συνολικών αποθεμάτων, έχουν όμως σημαντικό ρόλο στις αρδεύσεις αφού εξασφαλίζουν το 40% των ποσοτήτων που καταναλώνονται σε αυτό το σημαντικό για τη χώρα μας τομέα.
- ⇒ Η οικιακή κατανάλωση αντιστοιχεί στο 10% περίπου των ποσοτήτων που καταναλώνονται κάθε χρόνο. Σήμερα, το 90% των νοικοκυριών έχει πρόσβαση σε δίκτυο ύδρευσης, έναντι 30% στη δεκαετία του '50.

- Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, αποτελεί ίσως το σημαντικότερο βήμα, υπό την έννοια της θέσπισης περιβαλλοντικού δικαίου στο αντικείμενο της διαχείρισης των υδατικών πόρων μέχρι σήμερα, σε κοινοτικό επίπεδο. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ τα κράτη-μέλη καλούνται να συμμορφωθούν εναρμονίζοντας το εθνικό τους δίκαιο προς τις προβλεπόμενες διατάξεις της εν λόγω οδηγίας.
- Ο Νόμος 3199/2003 αφορά στην εναρμόνιση του εθνικού δικαίου της Ελλάδας με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, ο οποίος καλείται να διαμορφώσει την εθνική στρατηγική σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων της Ελλάδας.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

⇒ Τα υπόγεια νερά αποτελούν:

- βασική συνιστώσα στη δημιουργία, τη διατήρηση, την ανάπτυξη και την προστασία πολλών οικονομικών και περιβαλλοντικών συστημάτων,
- αξιόπιστη πηγή παροχής γλυκού νερού υψηλής ποιότητας,
- την κύρια πηγή διάθεσης νερού σε περιόδους ξηρασίας,
- πρωταρχικό παράγοντα για την ικανοποίηση των μακροπρόθεσμων αναγκών, τη διασφάλιση τροφής και την παροχή πόσιμου νερού σε αστικές περιοχές,
- πρωταρχική πηγή της βασικής ροής σε πολλά ρεύματα και ποταμούς,
- την κύρια πηγή νερού για πολλές επιφανειακές φυτοκοινωνίες,
- την κρίσιμη πηγή νερού για τη διατήρηση των περισσότερων υγροτόπων και των συνδεδεμένων με αυτά οικοσυστημάτων γλυκού νερού
- αιτία ανταγωνισμού και διενέξεων ανάμεσα σε άτομα, τομείς, περιφέρειες και σε ορισμένες περιπτώσεις έθνη.

⇒ Από τις 23 μεγαλουπόλεις που είχαν το έτος 2000 πληθυσμό πάνω από 10 εκατομμύρια κατοίκους, 12 είναι ισχυρά εξαρτώμενες από τα υπόγεια νερά και με εξαίρεση το Λονδίνο, όλες βρίσκονται στον αναπτυσσόμενο κόσμο.

⇒ Αλλαγές στις συνθήκες της φυσικής λειτουργίας των υδρογεωλογικών συστημάτων, που προκλήθηκαν από ανθρώπινες δραστηριότητες οδήγησαν σε σύνθετες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Διαχείριση (ορθολογική-rational, βέλτιστη, αειφόρος-sustainable, ολοκληρωμένη- integrated, κλπ)

ή σοφή χρήση (wise use) των υπόγειων νερών

⇒ Γενικές αρχές της σοφής χρήσης:

- Ανάπτυξη τεχνολογίας που θα βελτιώνει την αποθηκευτική ικανότητα των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων
 - συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών,
 - ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση,
 - τεχνητός εμπλουτισμός.
- Προστασία της ποιότητας του υπόγειου νερού με την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων από:
 - την υπεράντληση, ιδιαίτερα των παράκτιων υδροφόρων,
 - την ανόρυξη γεωτρήσεων σε βάθος μεγαλύτερο από το υδρογεωλογικά επιτρεπτό,
 - τη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και βελτιωτικών του εδάφους,
 - τη διάθεση στο έδαφος και το υπέδαφος στερεών και υγρών αποβλήτων.
- Χρησιμοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων για την ιεραρχική κάλυψη των αναγκών της γεωργίας, της βιομηχανίας και της ύδρευσης με βάση την ανάπτυξη κατάλληλων κριτηρίων προτεραιότητας .

- ⇒ Τεχνικές διαδικασίες διαχείρισης λεκανών
- Αξιολόγηση των σημερινών και μελλοντικών αναγκών σε νερό.
 - Συλλογή δεδομένων και εργασίες πεδίου.
 - Αξιολόγηση της απόδοσης της λεκάνης και των σχετικών ερευνών.
 - Μελέτες εφαρμοσιμότητας για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων ικανοποίησης της επιθυμητής ζήτησης.
 - Εκπόνηση ολοκληρωμένου σχεδίου άντλησης των νερών, στο οποίο μπορεί να εμπεριέχεται και πρόγραμμα εμπλουτισμού τους.
 - Λεπτομέρειες υλοποίησης των σχεδίων, όπως τεχνικές κατασκευής, διαδικασίες και κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- ⇒ Ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης νερών είναι πολύπλοκο και δαπανηρό, αφού εκτός της υδρολογίας των υπόγειων νερών εμπεριέχει και άλλα συναφή πεδία. Γίνεται λοιπόν εμφανές ότι είναι αδύνατο να δοθούν συγκεκριμένοι κανόνες ορθολογικής διαχείρισης που να μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις περιπτώσεις.

Σχεδιασμός έρευνας υπόγειων νερών

Παραδείγματα:

- Σχεδιασμός ενός δικτύου με μεγάλες γεωτρήσεις για αρδευτικούς, βιομηχανικούς ή υδρευτικούς σκοπούς.
- Εκπόνηση μελέτης αποστραγγιστικών συστημάτων για γεωργικές εκτάσεις ή αστικές περιοχές ή άλλες τεχνικές κατασκευές όπως δρόμοι και αεροδρόμια.
- Εντοπισμός κατάλληλων περιοχών και σχεδιασμός εγκαταστάσεων εμπλουτισμού υπόγειων νερών και επίδρασή τους στην υπόγεια αποθήκευση.
- Υπολογισμός των απωλειών νερού από ταμιευτήρες ή υδρορεύματα και οι επιδράσεις τους στην παροχή υπόγειου νερού.
- Σχεδιασμός συνδυασμένης χρήσης υπόγειων και επιφανειακών νερών.

Βασικός κατάλογος δεδομένων ως οδηγός για τη σχεδίαση ερευνών και δοκιμών στο πεδίο (τα δεδομένα είναι συνήθως διαθέσιμα σε δημοσιευμένες και μη εκθέσεις και αρχεία ή πρέπει να συμπληρωθούν από επιπρόσθετες έρευνες):

1. Χάρτες

- Τοπογραφία
- Γεωλογία (Τεκτονική γεωλογία, Στρωματογραφία, Λιθολογία)

2. Υδρολογία

- Χάρτες με τις γεωτρήσεις, τις γεωτρήσεις παρατήρησης, τις πηγές
- Πιεζομετρικοί χάρτες
- Βάθος νερού
- Ποιότητα νερού, εμπλουτισμός, εκροή και περιοχή τροφοδοσίας

3. Βλάστηση, Εδάφη

4. Κλιματολογικά στοιχεία

- Κατακρημνίσματα
- Θερμοκρασία
- Εξατμισοδιαπνοή
- Ταχύτητα του ανέμου, διεύθυνση, ένταση

5. Αεροφωτογραφίες

6. Δεδομένα για τις γεωτρήσεις, τις γεωτρήσεις παρατήρησης και τις πηγές

- Τοποθεσία, βάθος, διάμετρος, τύποι γεωτρήσεων και τομές
- Στατικό επίπεδο και επίπεδο άντλησης νερού, υδρογραφήματα, απόδοση, ειδική ικανότητα, ποιότητα νερού
- Παρούσα και μελλοντική αξιοποίηση και χρήση των υπόγειων νερών
- Προβλήματα λειτουργίας και συντήρησης των γεωτρήσεων
- Τοποθεσία, τύπος, γεωλογικό περιβάλλον και υδρογραφήματα των πηγών
- Κάναβος γεωτρήσεων παρατήρησης
- Περιοχές δειγματοληψίας νερού

7. Στοιχεία υδροφόρου

- Τύπος, όπως ελεύθερος, αρτεσιανός ή κρεμάμενος
- Πάχος, βάθος και χαρακτηρισμός των σχηματισμών
- Οριακές συνθήκες
- Μεταβιβαστικότητα, αποθηκευτικότητα και διαπερατότητα
- Ειδική κατακράτηση
- Εκροές και εμπλουτισμός
- Σύνταξη πιεζομετρικών χαρτών
- Μοντέλα υδροφόρων

8. Επιφανειακά νερά

- Χρήση
- Ποιότητα
- Κατανομή απορροής, χωρητικότητες ταμιευτήρων και δεδομένα εισροών - εκροών
- Επιστροφές άρδευσης και ποσοστό απώλειας ή κέρδους
- Σταθμοί καταγραφής.

Ασφαλής απόδοση (*safe yield*) ή δυναμικό αειφόρου απόδοσης (*potential sustained yield*) ή επιτρεπόμενη αειφόρος απόδοση (*permissive sustained yield*) ή μέγιστη απόδοση λεκάνης (*maximum basin yield*) ...

... είναι η ποσότητα του φυσικού υπόγειου νερού που μπορεί να αποληφθεί οικονομικά και νόμιμα σε αειφόρο βάση από έναν υδροφόρο χωρίς υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού ή δημιουργία ανεπιθύμητων συνεπειών (περιβαλλοντικών, οικολογικών, οικονομικών, κοινωνικών, πολιτισμικών και πολιτικών).

Ασκήσεις - Σειρά 1

(Εισαγωγικά Στοιχεία Υδρολογίας των Υπόγειων Νερών)

Άσκηση 1

Μετά από σχετική υδρογεωλογική έρευνα προέκυψε ότι ένας υδροφόρος με εύρος 5 km και πάχος 30 m έχει μέση υδραυλική αγωγιμότητα $K=25$ m/ημέρα και ενεργό πορώδες 0,2. Οι στάθμες που μετρήθηκαν σε δύο πιεζόμετρα της περιοχής έρευνας και που απέχουν 1000 m, παρουσιάζουν υψομετρική διαφορά 0,4 m.

Να υπολογίσετε:

- την πραγματική ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού,
- τη μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου,
- το χρόνο που χρειάζεται το υπόγειο νερό να φτάσει από το ένα άκρο (κορυφή) της κοιλάδας της μελετώμενης περιοχής μέχρι το άλλο άκρο της σε μια απόσταση 25 km κατάντη (υδραυλική κλίση σταθερή, ταχύτητα σταθερή),
- τον πληθυσμό που μπορεί να υδρευθεί χωρίς να εξαντληθεί ο υδροφόρος, αν δεχθούμε ως μέση ημερήσια κατανάλωση την ποσότητα των 200 L/άτομο.

$$\textcircled{1} \text{ (i) } V = \frac{Q}{A} = \frac{AK_i}{A} = K_i \cdot \frac{\Delta h}{L} = 25 \text{ m/np} \times \frac{0,4}{1000} = \boxed{0,01 \text{ m/np}}$$

$$\text{(ii) } v_e = \frac{V}{\eta_e} = \frac{0,01}{0,2} = 0,05 \text{ m/np}$$

$$\frac{Q_e}{A_e} = v_e \Rightarrow Q_e = A \cdot \eta_e \cdot v_e = 5000 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 0,2 \times 0,05 \text{ m/np} =$$

$$= \boxed{1500 \text{ m}^3/\text{np}} \quad (= 17,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec})$$

$$\text{(a) } Q = AK_i = (5000 \times 30) \times 25 \times \frac{0,4}{1000} = 1500 \text{ m}^3/\text{np}$$

$$\text{(ii) } T = Kb = 25 \text{ m/np} \times 30 \text{ m} = \boxed{750 \text{ m}^2/\text{np}} \quad (= 8,68 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec})$$

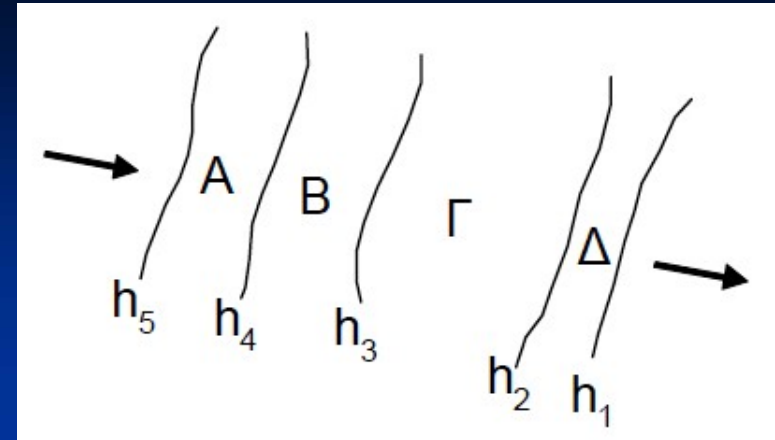
$$\text{(iv) } u = 25 \text{ m/np} \Rightarrow t = \frac{25000}{25} \text{ np} = \boxed{1000 \text{ np}} \quad (= 2,7 \text{ fm})$$

$$\text{Κατανάλωση: } 200 \text{ (lt/or)/np} = 0,2 \text{ (m}^3/\text{or)/np} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{np} \cdot \text{or}} \right)$$

$$\hookrightarrow Q_e = 1500 \text{ m}^3/\text{np} \Rightarrow P = \frac{1500}{0,2} = \boxed{7500 \text{ ιντερλκ}}$$

Άσκηση 2

Εάν η υδραυλική αγωγιμότητα στην περιοχή A του πιεζομετρικού χάρτη του σχήματος είναι 10^{-6} m/sec, προσδιορίστε την υδραυλική αγωγιμότητα στις άλλες περιοχές. Υποθέστε ότι το μέσο είναι ομοιογενές και ισότροπο και ότι δεν προστίθεται ούτε αφαιρείται ροή προς και από το σύστημα (απόσταση μεταξύ των πιεζομετρικών γραμμών: $h_1 h_2 = 5$ m, $h_2 h_3 = 20$ m, $h_3 h_4 = 10$ m, $h_4 h_5 = 10$ m).

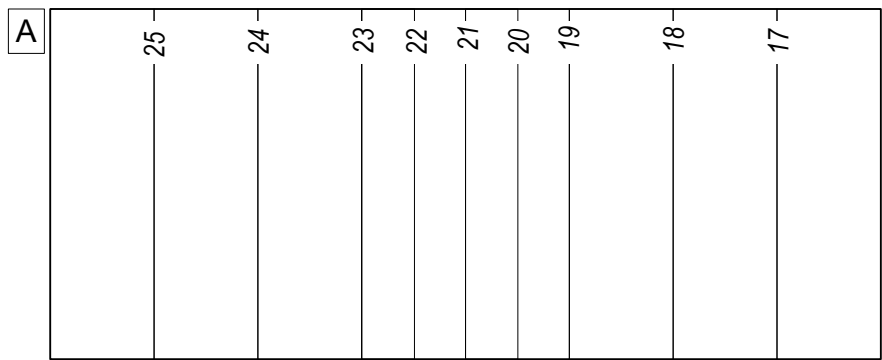


$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \quad Q &= A k_A i_A = A k_B i_B \Rightarrow \\
 \rightarrow k_B i_B &= k_A i_A \Rightarrow k_B = k_A \frac{i_A}{i_B} = k_A \frac{\frac{\Delta h_{5-4}}{h_4 h_5}}{\frac{\Delta h_{4-3}}{h_3 h_4}} = \\
 &= k_A \frac{h_3 h_4 \overset{\rightarrow 10}{\cancel{h_4 h_5}}}{h_4 h_5 \overset{\rightarrow 10}{\cancel{h_3 h_4}}} \Rightarrow \boxed{k_B = k_A = 10^{-6} \text{ m/sec}} \\
 \rightarrow k_\Gamma &= k_B \frac{h_2 h_3}{h_3 h_4} = k_B * 2 \Rightarrow \boxed{k_\Gamma = 2 * 10^{-6} \text{ m/sec}} \\
 \rightarrow k_\Delta &= k_\Gamma \frac{h_1 h_2}{h_2 h_3} = 2 * 10^{-6} * 0,25 \Rightarrow \boxed{k_\Delta = 5 * 10^{-7} \text{ m/sec}}
 \end{aligned}$$

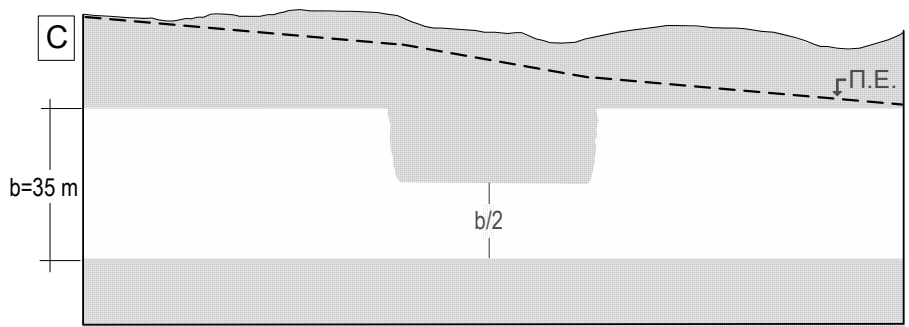
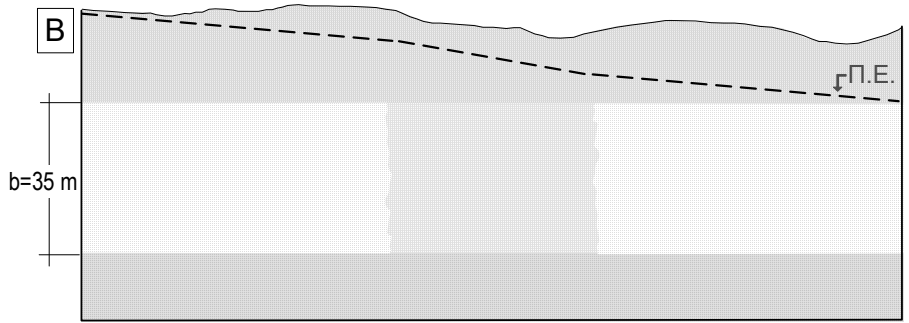
Άσκηση 3

Στο σχήμα παρουσιάζονται οι τομές δυο υδροφόρων ([B] και [C]), εύρους 1200 m, όπως και ο αντίστοιχος πιεζομετρικός χάρτης [A], που έχει την ίδια μορφή και για τους δυο υδροφόρους. Η ροή (Q) στον υδροφόρο [B] είναι $6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$. Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας του συνάγματος στον υδροφόρο [C] είναι $7 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$. Το ενεργό πορώδες του συνάγματος είναι 22%, ενώ της άμμου είναι 30%. Να υπολογίσετε:

- το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας του συνάγματος και της άμμου, όπως και την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού στον υδροφόρο [B],
- τους συντελεστές μεταβιβαστικότητας των υδροφόρων,
- τη ροή σε m^3/sec στον υδροφόρο [C] και την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού στον υδροφόρο [C].



0 350 700 m



άργιλικά υλικά
 σύναγμα (χαλικοαμμώδη υλικά)
 άμμώδη υλικά

Π.Ε.: πιεζομετρική επιφάνεια

9

$$Q = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$$
$$k_A^{[B]} = ? \quad k_{\Sigma}^{[B]} = ?$$

[B]

$$A = 1200 \times 35 = 4,2 \times 10^4 \text{ m}^2$$
$$i_A^{[B]} = \frac{4}{700} = 5,71 \times 10^{-3}$$

$$i_{\Sigma}^{[B]} = \frac{2}{700} = 2,86 \times 10^{-3}$$

$$Q = ?$$
$$k_{\Sigma}^{[C]} = 7 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

[C]

$$A(b) = 1200 \times 35 = 4,2 \times 10^4 \text{ m}^2$$
$$A(b/2) = 2,1 \times 10^4 \text{ m}^2$$

$$i_b^{[C]} = \frac{2}{700} = 2,86 \times 10^{-3}$$

$$i_{b/2}^{[C]} = \frac{4}{700} = 5,72 \times 10^{-3}$$

$$Q = A \cdot k \cdot i \quad [Q = A \cdot k \cdot i]$$
$$Q = A \cdot k \cdot i$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} \quad k_A &= \frac{Q}{A \cdot i_A} = \frac{6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}}{4,2 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 5,71 \times 10^{-3}} = \frac{6 \times 10^{-3}}{4,2 \times 5,71} = 2,50 \times 10^{-4} \text{ m/sec} \\
 \textcircled{B} \quad k_\Sigma &= \frac{Q}{A \cdot i_\Sigma} = \frac{6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}}{4,2 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 2,86 \times 10^{-3}} = \frac{6 \times 10^{-3}}{4,2 \times 2,86} \approx 5,00 \times 10^{-4} \text{ m/sec}
 \end{aligned}$$

$$v_{eA} = \frac{B \cdot B}{k_A \cdot i_A} = \frac{2,50 \times 10^{-4} \times 5,71 \times 10^{-3}}{0,30} = 4,76 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$\downarrow = \frac{Q}{A \cdot v_{eA}} = \frac{6 \times 10^{-2}}{4,2 \times 10^4 \times 0,30} = 4,76 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$v_{e\Sigma} = \frac{B \cdot B}{k_\Sigma \cdot i_\Sigma} = \frac{5,00 \times 10^{-4} \times 2,86 \times 10^{-3}}{0,22} = 6,5 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$\downarrow = \frac{Q}{A \cdot v_{e\Sigma}} = \frac{6 \times 10^{-2}}{4,2 \times 10^4 \times 0,22} = 6,50 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$\textcircled{2} \rightarrow T_A^{[B]} = k_A^B \cdot b = 2,50 \times 10^{-4} \times 35 = 8,75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$\boxed{B} \rightarrow T_I^{[B]} = k_I^B \cdot b = 5,00 \times 10^{-4} \times 35 = 17,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec} = 1,75 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$\rightarrow T_b^{[C]} = k^C \cdot b = 7 \times 10^{-4} \times 35 = 2,45 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$\boxed{C} \rightarrow T_{b/2}^{[C]} = k^C \cdot b/2 = 7 \times 10^{-4} \times \frac{35}{2} = 1,22 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$$

3

C

$$Q^{[c]} = A_b \cdot K \cdot i_b^c = 4,2 \times 10^4 \times 7 \times 10^{-4} \times 2,86 \times 10^{-3} = 8,41 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\downarrow = A_{(b/2)} \cdot K^c \cdot i_{(b/2)}^c = 2,1 \times 10^4 \times 7 \times 10^{-4} \times 5,71 \times 10^{-3} = 8,41 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$V_{e(b)}^c = \frac{K^c \cdot i_b^c}{\text{me}} = \frac{7 \times 10^{-4} \times 2,86 \times 10^{-3}}{\text{me}} = 9,1 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$\downarrow = \frac{Q^{[c]} \text{ me}}{A_b \cdot \text{me}} = \frac{8,41 \times 10^{-2} \cdot 0,22}{4,2 \times 10^4 \times 0,22} = 9,1 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$V_{e(b/2)}^c = \frac{K^c \cdot i_{(b/2)}^c}{\text{me}} = \frac{7 \times 10^{-4} \times 5,71 \times 10^{-3}}{0,22} = 18,2 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

$$\downarrow \frac{Q^c}{A_{(b/2)} \text{ me}} = \frac{8,41 \times 10^{-2}}{2,1 \times 10^4 \times 0,22} = 18,2 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$$

Άσκηση 4

Αποχετευτικό σύστημα με τάφρους πρόκειται να κατασκευαστεί σε επιφανειακή εδαφική ζώνη A, καταλαμβάνοντας μια έκταση μήκους 2000 m (κατά τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού) και εύρους 150 m. Η στάθμη του υπόγειου νερού στη ζώνη A είναι 4 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ το ενεργό πορώδες του υλικού της ζώνης, όπως και του υποκείμενου αργιλικού σχηματισμού είναι 0,1 και η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα, όπως προέκυψε από δοκιμές υπαίθρου, είναι 10^{-7} m/sec. Ο υποκείμενος αργιλικός σχηματισμός έχει κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα, μετά από εργαστηριακές μετρήσεις, 10^{-8} m/sec. Η κλίση της επιφάνειας του νερού στην πρώτη ζώνη παρουσιάζει τιμή περί τα 0,075 κατά μήκος της ζώνης. Η στάθμη του νερού στο υποκείμενο στρώμα της άμμου είναι 4 m κάτω από τον πυθμένα επαφής μεταξύ της ζώνης A και του αργιλικού σχηματισμού. Η τάφρος, κατάντη του συστήματος, πρόκειται να εκσκαφθεί μέχρι τον πυθμένα της ζώνης A και θα πληρωθεί με χαλίκια.

Να υπολογιστούν:

- Η ταχύτητα της οριζόντιας ροής του νερού στη ζώνη A και η ποσότητα παροχής νερού στην τάφρο σε ένα χρόνο.
- Η ταχύτητα της κατακόρυφης ροής του νερού στον αργιλικό σχηματισμό και ο χρόνος που χρειάζεται το νερό να φτάσει στον αμμώδη υδροφόρο.

$$\eta_{e1} = \eta_{e2} = \eta_e = 0,1$$

$$K_1^x = 10^{-7} \text{ m/sec} \quad , \quad K_2^z = 10^{-8} \text{ m/sec}$$

$$i_1 = 0,075$$

$$(1) \quad V_1^{\text{πρωτομ}} = \frac{V_1^{\text{φαιν}}}{\eta_e} = \frac{K_1^x \cdot i_1}{\eta_e} = \frac{10^{-7} \times 0,075}{0,1} = 7,5 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$$

$$Q = K_1^x \cdot i_1 \cdot A_{\text{ΣΥΝ. ΤΑΦ.}} = 10^{-7} \times 0,075 \times (4 \text{ m} \times 150 \text{ m}) = 4,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec} \approx 141,9 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

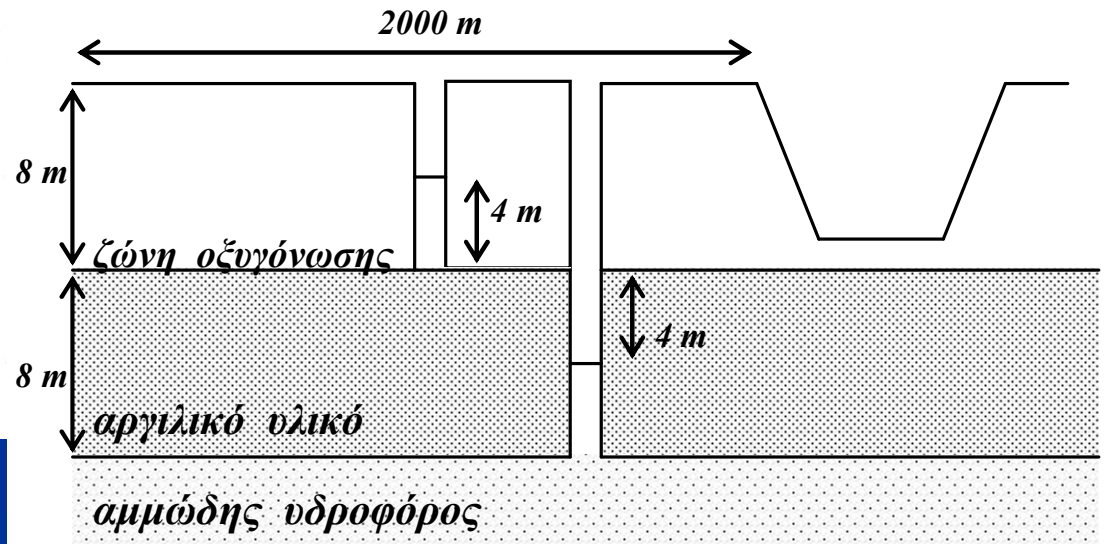
$$(1 \text{ έτος} = 365 \text{ ημ} \times 24 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ sec} \approx 31.536.000 \text{ sec})$$

$$(2) \quad V_2 = \frac{K_2^z \cdot i_2}{\eta_e} = \frac{10^{-8} \times 8 \text{ m} / 8 \text{ m}}{0,1} = 10^{-7} \text{ m/sec}$$

$$(* i_2 = \frac{\Delta h}{L_{\text{ΑΡΓ.}}} = \frac{4 + 4}{8})$$

$$t = \frac{8 \text{ m}}{10^{-7} \text{ m/sec}} = 8 \times 10^7 \text{ sec} \approx 2,5 \text{ έμ}$$

$$\left(t = \frac{L}{V_2} \right)$$



Άσκηση 5

Μετά από σχετική γεωλογική και υδρογεωλογική διερεύνηση μιας περιοχής, η τελευταία διαιρέθηκε σε 6 υδρογεωλογικές ενότητες με τα πιο κάτω χαρακτηριστικά:

υδρογεωλογική ενότητα	έκταση (km ²)	μέσο βάθος στατικής στάθμης (m)	μέσο κορε- σμένο πάχος υδροφόρου (m)	ολικό πορώδες (%)	ειδική απόδοση (Sy) (%)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	40	3,0	27,0	30	15
2	16	1,6	28,4	25	5
3	21	5,0	25,0	20	7
4	12	4,0	26,0	30	15
5	6	3,0	27,0	30	12
6	4	3,0	27,0	25	7

1)

$$V = [2] * 10^6 * [4]$$

$$R = V * [5]$$

$$V_{ανη} = V * [6]$$

$$(* 10^6 \text{ m}^3)$$

$$(* 10^6 \text{ m}^3)$$

$$(* 10^6 \text{ m}^3)$$

1	1.080
2	454,4
3	525
4	312
5	162
6	108

324

113,6

105

93,6

48,6

27

$$R_{\sigma} = 711,8 * 10^6 \text{ m}^3$$

162

22,72

36,75

46,8

19,44

7,56

$$V_{ανη(\sigma)} = 295,27 * 10^6 \text{ m}^3$$

έκταση (km ²)	μέσο βάθος στατικής στάθμης (m)	μέσο κορε- σμένο πάχος υδροφόρου (m)	ολικό πορώδες (%)	ειδική απόδοση (Sy) (%)
[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
40	3,0	27,0	30	15
16	1,6	28,4	25	5
21	5,0	25,0	20	7
12	4,0	26,0	30	15
6	3,0	27,0	30	12
4	3,0	27,0	25	7

2) $V_{ανη} = V * S_y$

~~*~~ $i = \frac{\Delta h}{L} = 0,067$

→ επιμήκη: [1:50.000 → i]

~~*~~ Darcy: $Q = i$

$A = 1 \text{ km} * [4]$

$K = 0,052 \text{ cm/sec}$
 $= 0,052 * 10^{-2} \text{ m/sec}$
 $= 0,52 * 10^{-3} \text{ m/sec}$

$Q = 1 * 10^3 \text{ m} * [4] * 0,52 * 10^{-3} \text{ m/sec} * 0,067$
 $= [4] * 0,03484 \text{ m}^3/\text{sec}$

$Q (\text{m}^3/\text{sec})$

1	0,94
2	0,99
3	0,87
4	0,90
5	0,94
6	0,94

→ l/sec ...
 $(1 \text{ lt} = 10^3 \text{ cm}^3)$
 $= 10^{-3} \text{ m}^3$

$$4) \quad V_{\text{αντλ}(5\text{m})} = A * 5\text{m} * \overbrace{S\gamma}^{[z]} \quad [6]$$

	$V_{\text{αντλ}(5\text{m})}$ ($* 10^6 \text{m}^3$)
1	30
2	4
3	7,35
4	9
5	3,6
6	1,4

$$V_{\text{αντλ}(5\text{m})}^{\text{ολ}} = 55,35 * 10^6 \text{m}^3$$

5)

$$Q_{\text{αντλ}} = \frac{V_{\text{αντλ}(5\text{m})}^{\text{ολ}} * 0,90}{5\mu * 30\text{ημ} * 24\text{h}} = 13837,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{υδρ}} = \frac{V_{\text{αντλ}(5\text{m})}^{\text{ολ}} * 0,10}{12\mu * 30\text{ημ} * 24\text{h}} = 640,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

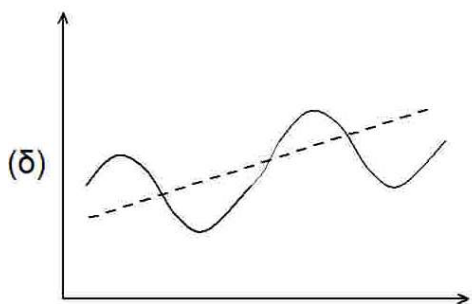
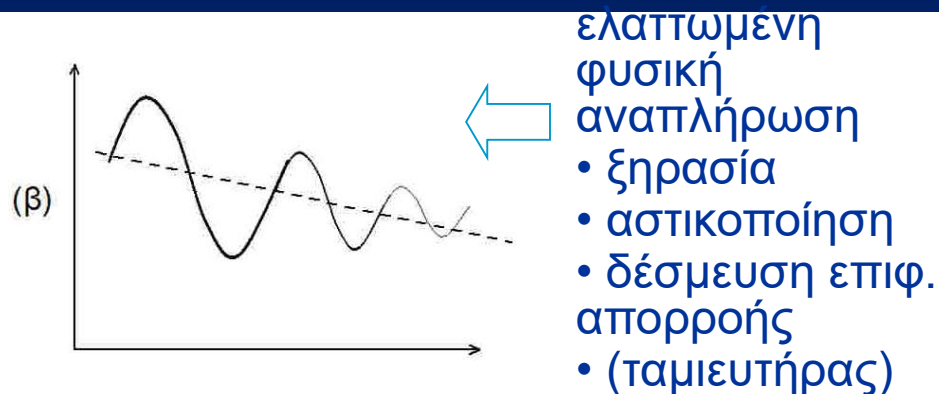
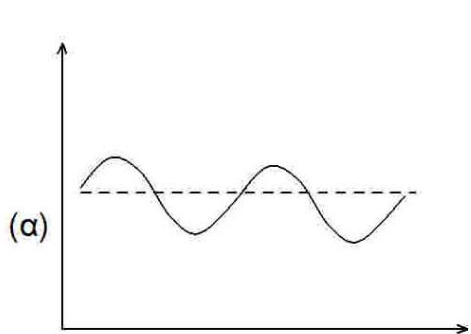
$$Q_{\text{ολ}} = Q_{\text{αντλ}} + Q_{\text{υδρ}} = 14478,13 \text{ m}^3/\text{h}$$

έκταση (km^2)	μέσο βάθος στατικής στάθμης (m)	μέσο κορε- σμένο πάχος υδροφόρου (m)	ολικό πορώδες (%)	ειδική απόδοση ($S\gamma$) (%)
[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
40	3,0	27,0	30	15
16	1,6	28,4	25	5
21	5,0	25,0	20	7
12	4,0	26,0	30	15
6	3,0	27,0	30	12
4	3,0	27,0	25	7



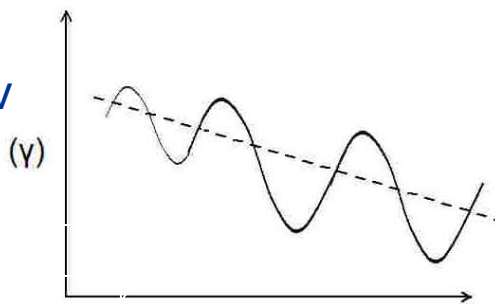
Άσκηση 6

Ποια γενικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη των παρακάτω διαγραμμάτων μεταβολής της στάθμης (υψόμετρο) του υπόγειου νερού σε επιλεγμένες γεωτρήσεις από διάφορες περιοχές έρευνας; (σημειώνεται σε κάθε διάγραμμα και η αντίστοιχη περιοχή έρευνας)



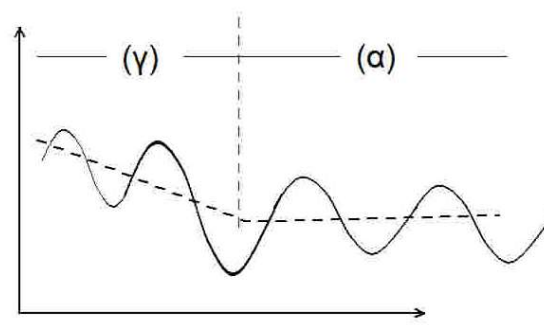
αύξηση απολήψεων νερού

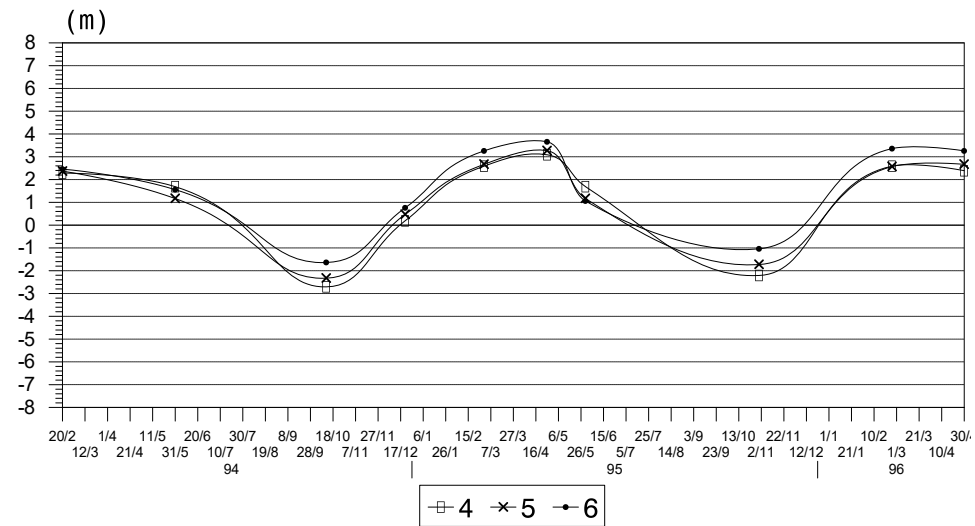
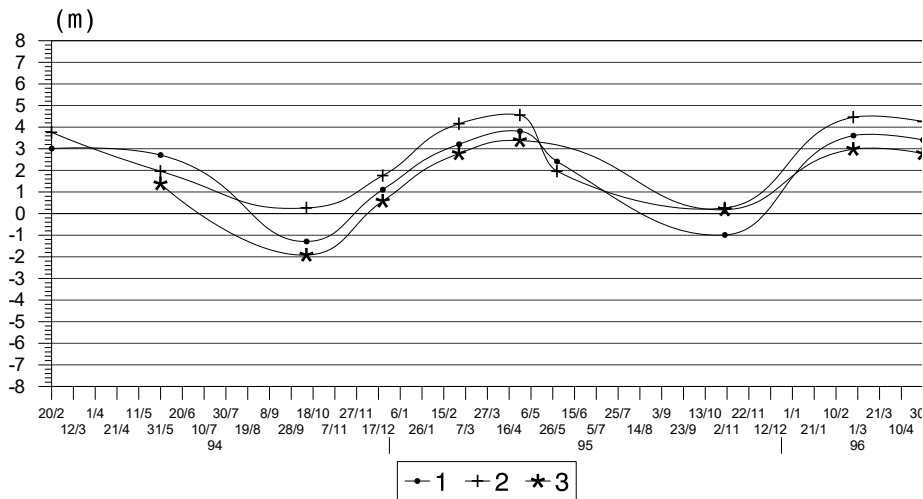
→



υπερεκμετάλλευση

→

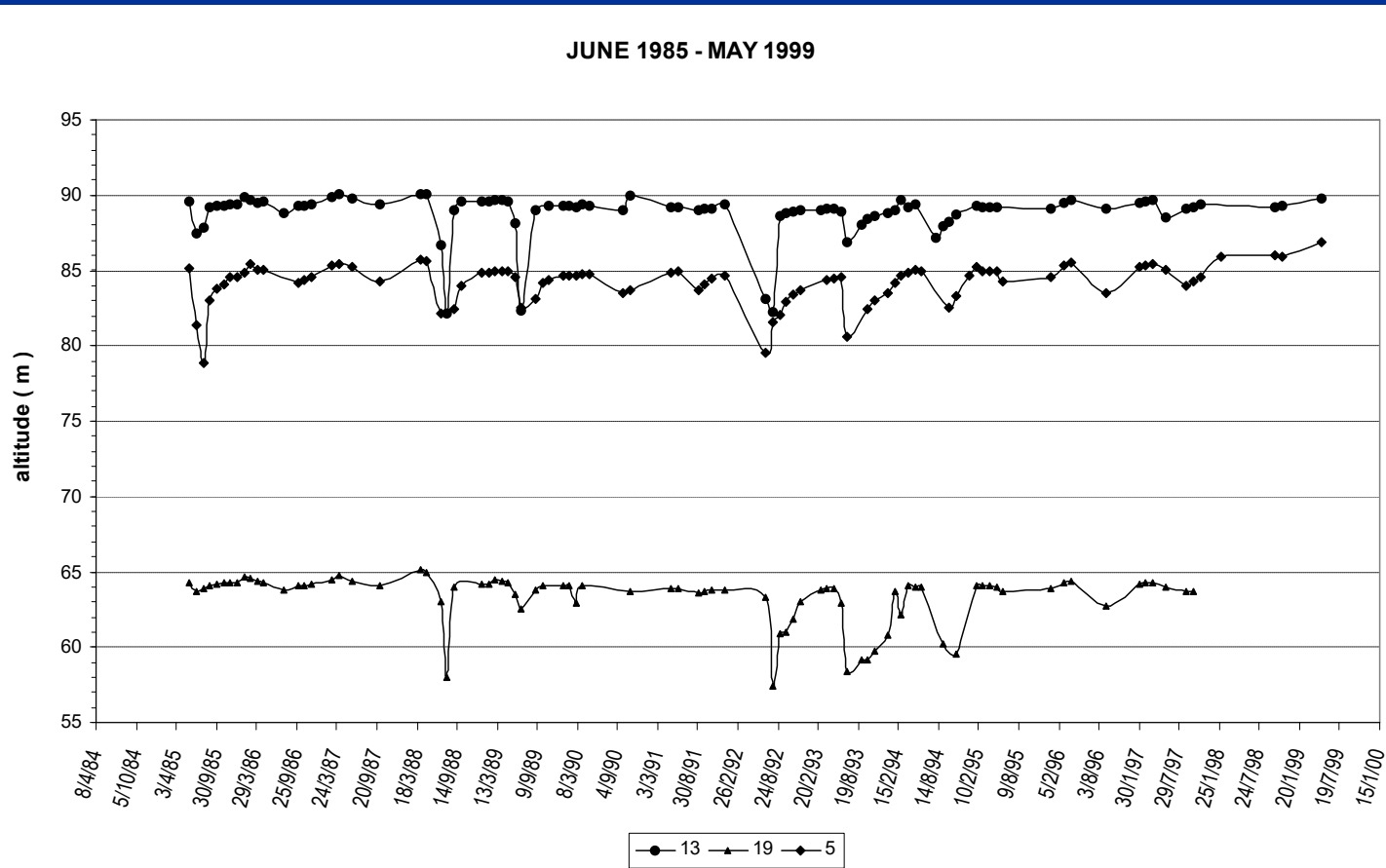


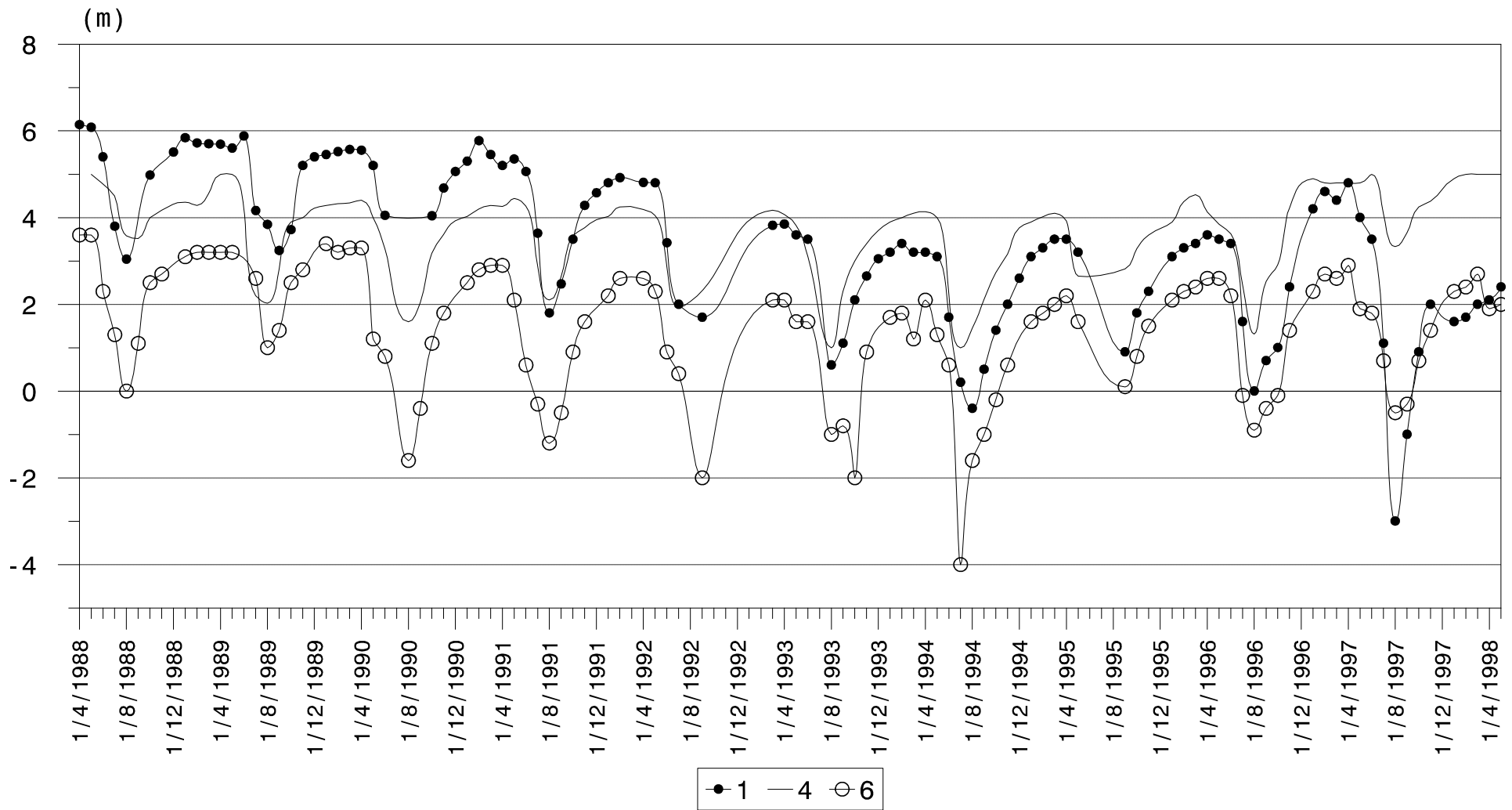


περιοχή
Ξυλαγανής -
Ίμερου
Ν. Ροδόπης

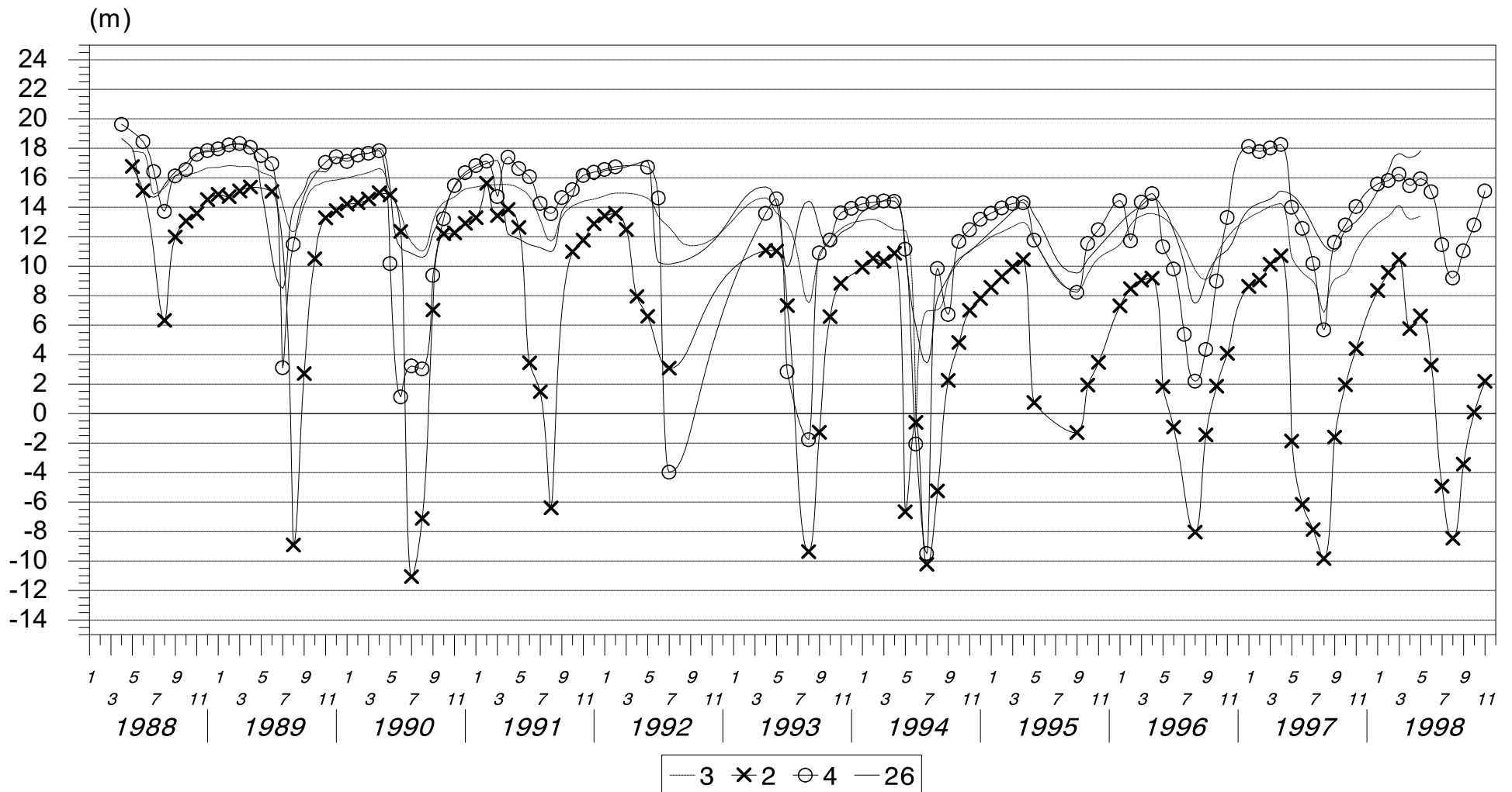


Περία Κοιλάδα
Ν. Καβάλας

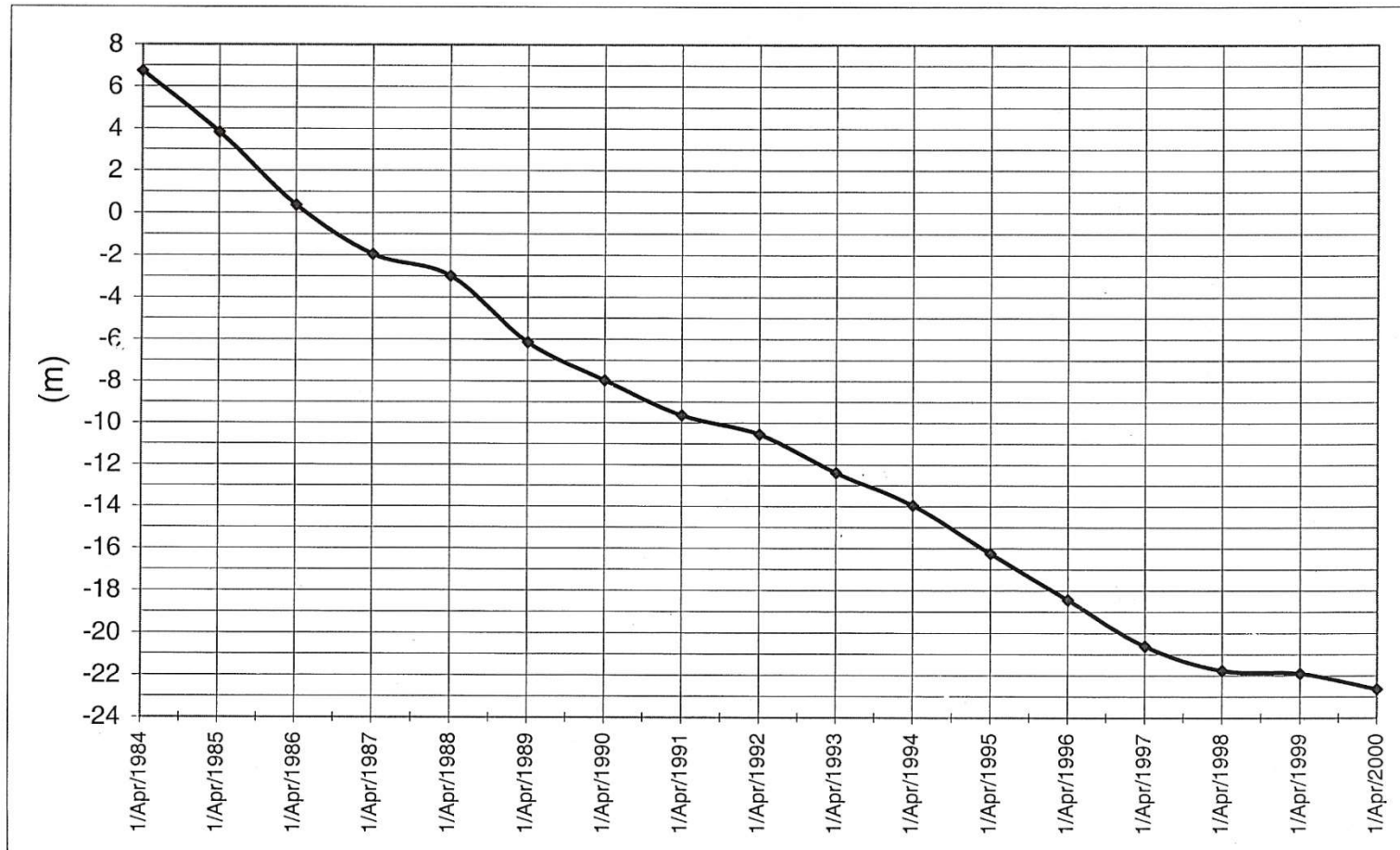




ανατολικό Δέλτα του Π. Νέστου



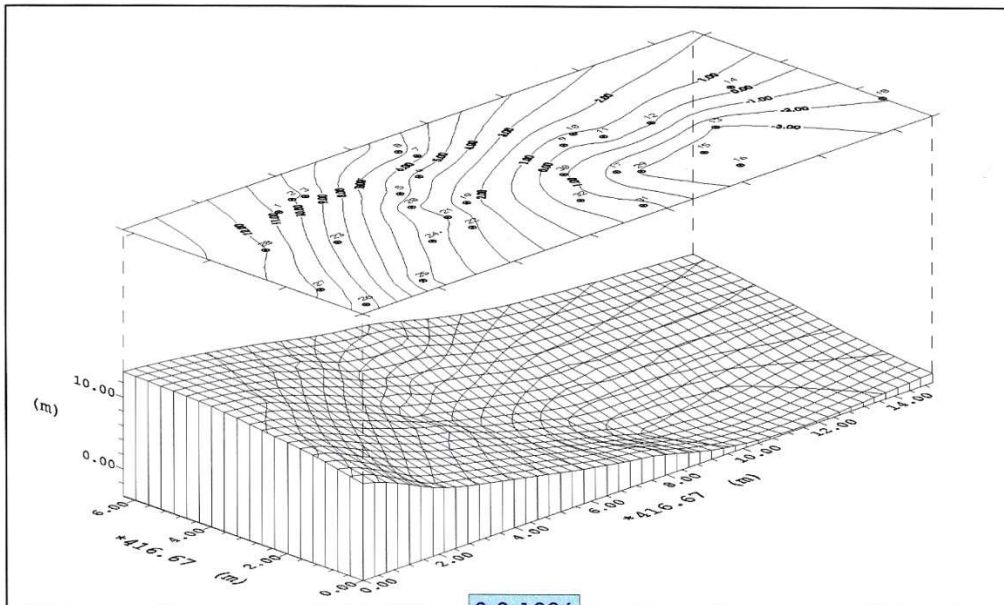
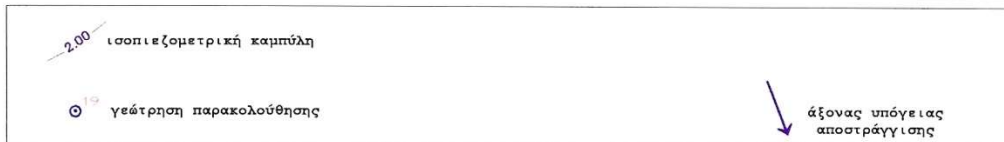
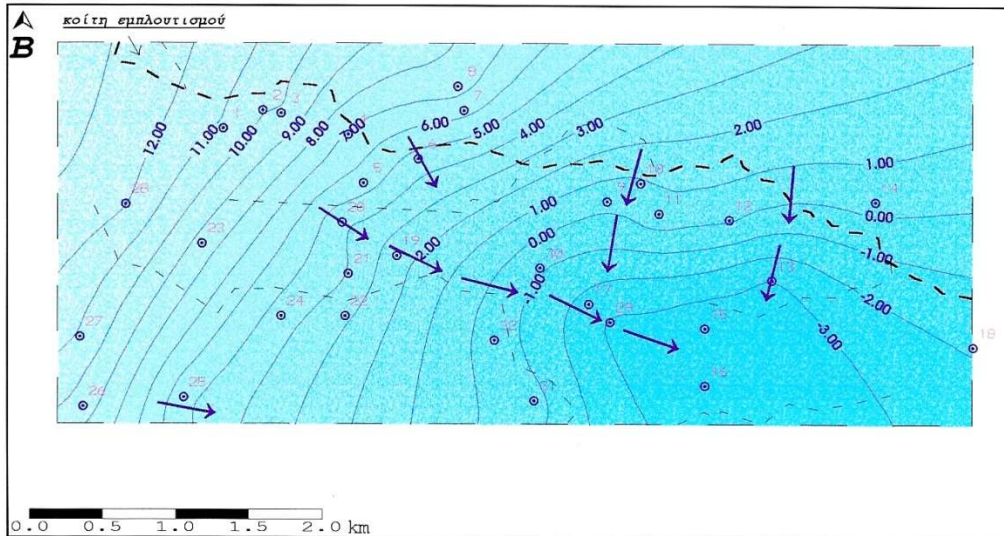
περιοχή Βαφείκων του Ν. Ξάνθης



Πορεία της ανώτατης ετήσιας πιεζομετρικής στάθμης σε παράκτιο υδροφόρο του Ν. Ροδόπης

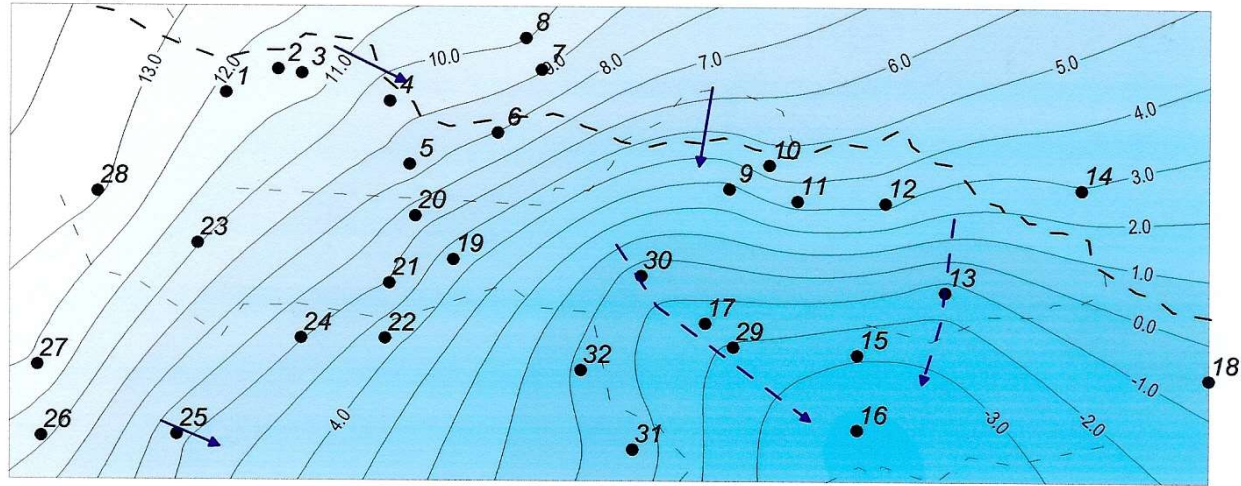
Άσκηση 7

Σχεδιάστε τους κύριους άξονες υπόγειας αποστράγγισης και τροφοδοσίας στους πιεζομετρικούς χάρτες που ακολουθούν (σημειώνεται σε κάθε χάρτη και η αντίστοιχη περιοχή έρευνας). Ποια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη των χαρτών αυτών;



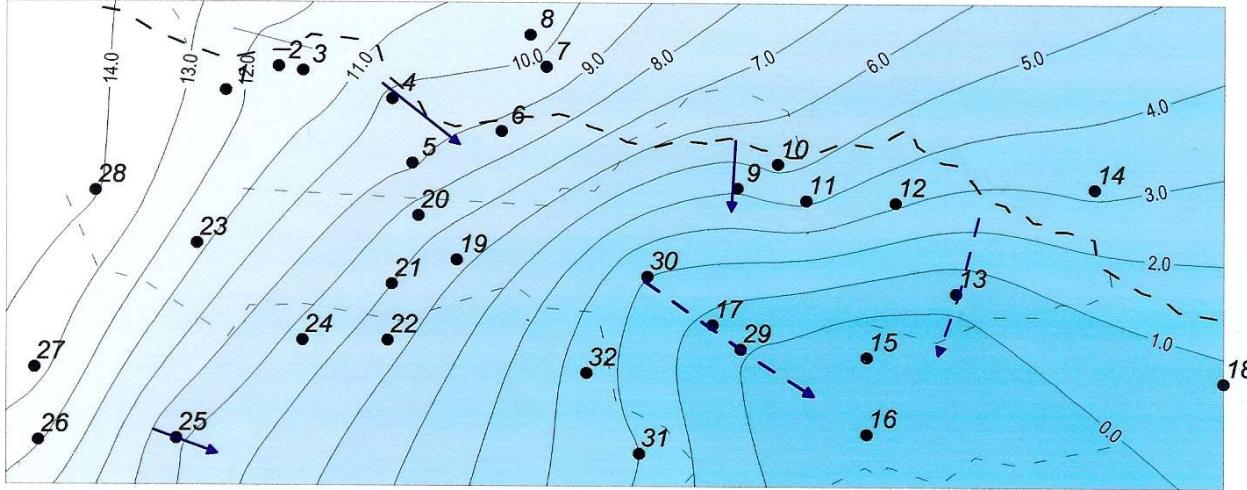
Σχ.51 Ισοπιεζομετρικός χάρτης αβαθούς υπό πίεση ορίζοντα της περιοχής έρευνας, σε διδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή

A κοίτη εμπλουτισμού
B

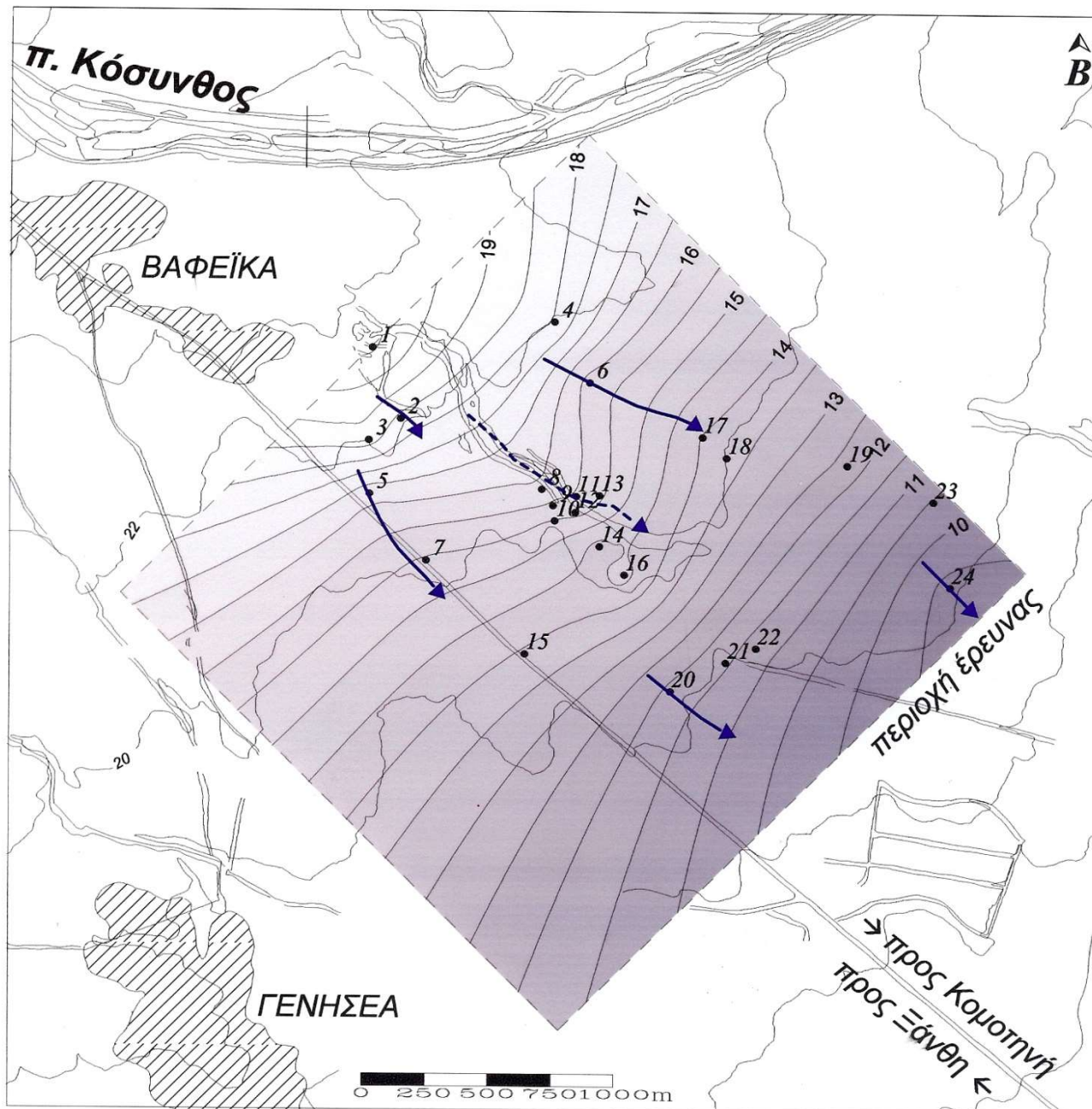


18-12-1996

A κοίτη εμπλουτισμού
B

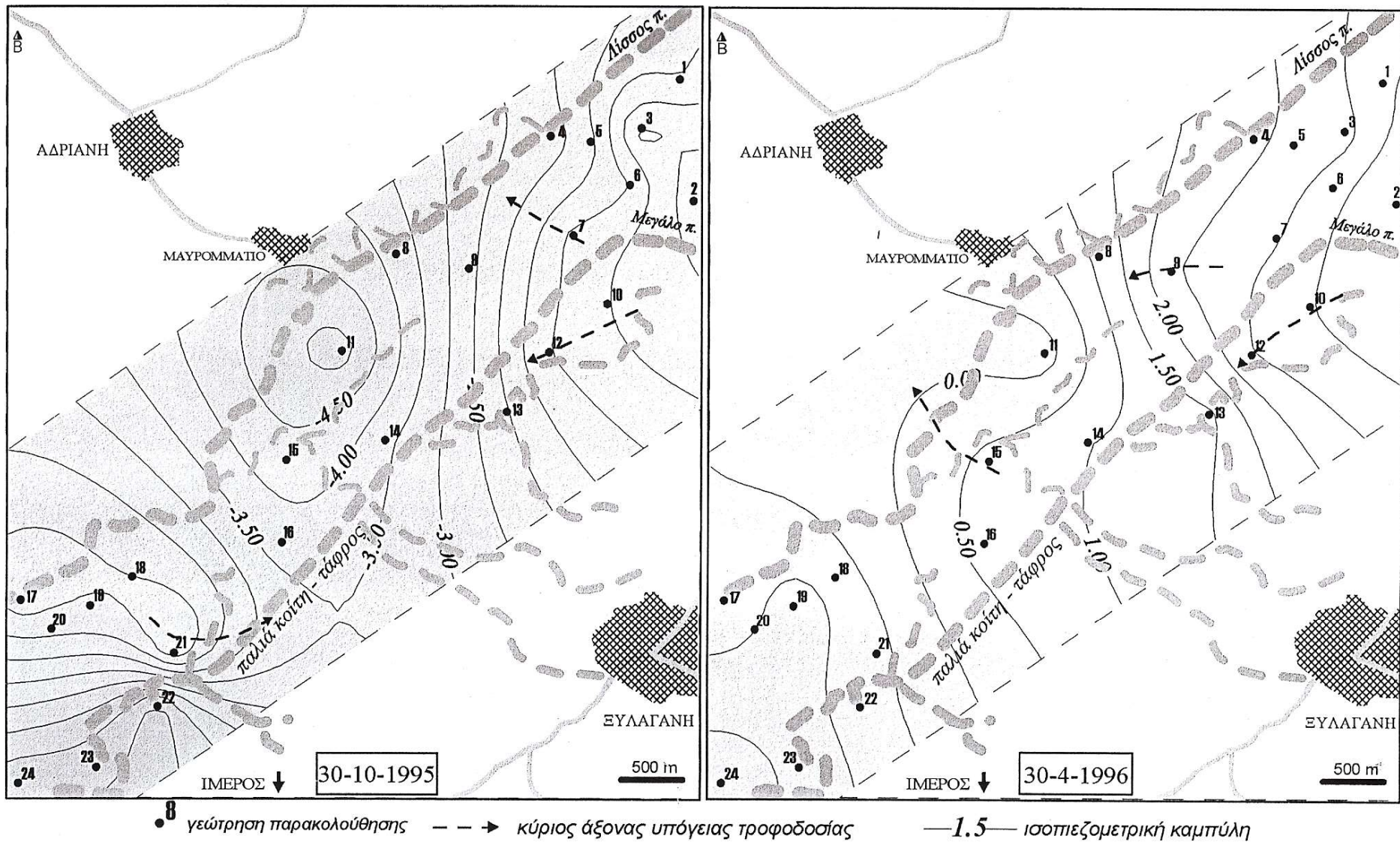


9-4-1997

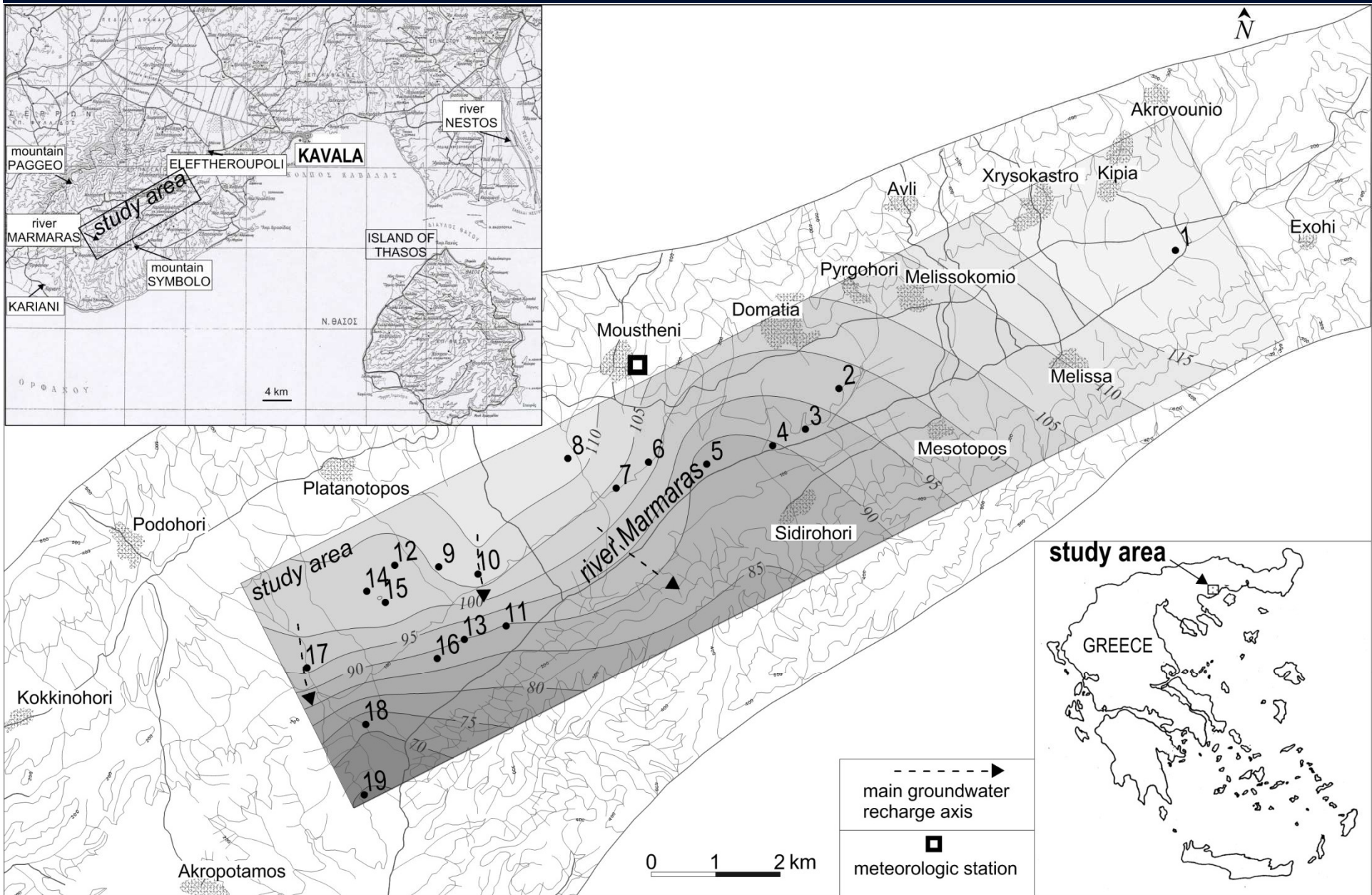


- ► κύριος άξονας υπόγειας τροφοδοσίας
- 15 γεώτρηση παρακολούθησης
- κύριος άξονας υπόγειας αποστράγγισης
- 5 — ισοπιεζομετρική καμπύλη

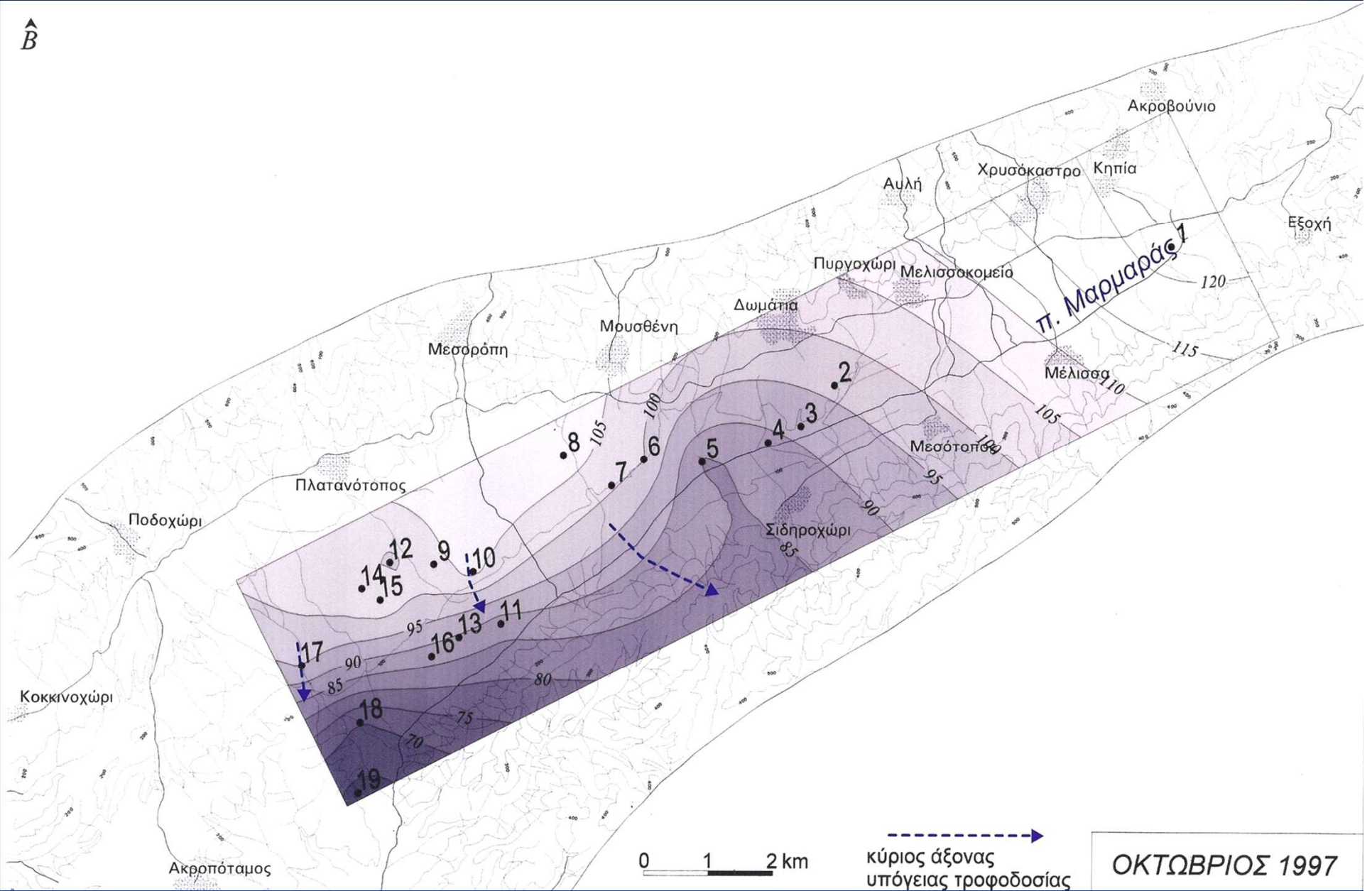
13-12-1996



Πιεζομετρικοί χάρτες των υπό πίεση υδροφόρων της περιοχής Ξυλαγανής – Ίμερου (Ν. Ροδότης)



^
B



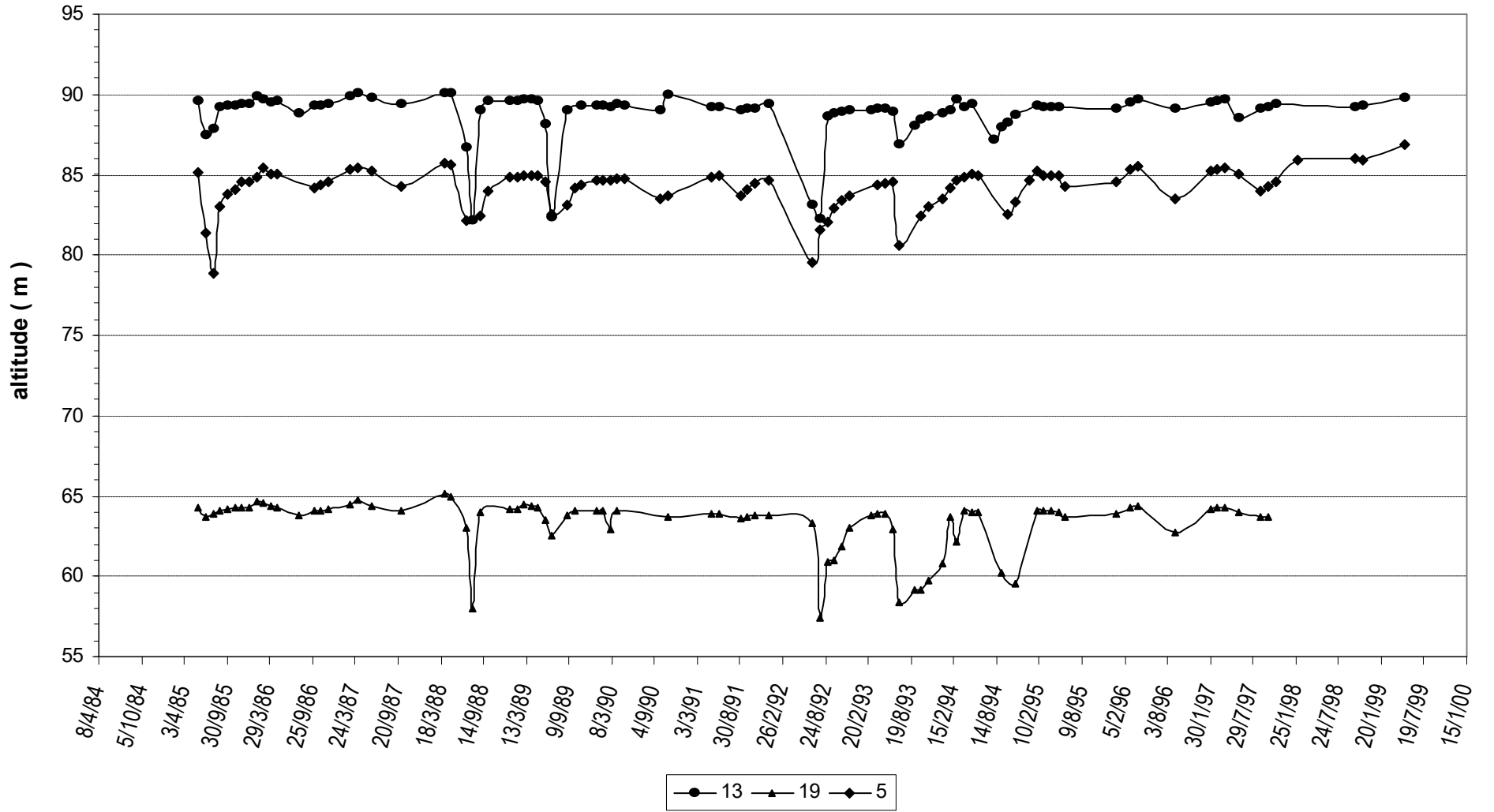
Aquifer stresses and groundwater hydrologic budget of the study area

Stress period	Aquifer recharge (R)				Aquifer discharge (D)		Groundwater hydrologic budget (R-D=I+IR-C) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	
	(+)				(-)			
	Infiltration (I) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		Irrigation return (IR) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		Consumptive uses (C) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)		(7)***	(8)***
	(1)**	(2)**	(3)**	(4)**	(5)**	(6)**		
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
JAN	1.00	1.03	-	-	0.03	0.03	+2.47	+1.73
FEB	1.52	1.21	-	-	0.08	0.03		
MAR	0.82	0.00	-	-	0.27	0.25		
APR	0.06	0.27	-	-	0.55	0.47		
MAY	1.26	0.29	0.36	0.40	1.20	1.33	-4.71	-5.22
JUN	0.40	0.35	0.63	0.61	2.10	2.05		
JUL	0.05	0.11	0.93	0.89	3.12	2.98		
AUG	0.01	0.28	0.77	0.75	2.57	2.49		
*SEP1	0.20	0.27	0.14	0.14	0.47	0.46		
*SEP2	0.39	0.53	-	-	1.11	1.10	+2.84	+1.28
OCT	1.28	0.32	-	-	0.19	0.17		
NOV	1.79	0.59	-	-	0.05	0.05		
DEC	0.73	1.16	-	-	-	-		

$\downarrow (+)$
 4.57
 \downarrow
 -0.14
 $\times 10^6 \text{ m}^3$
 $= 140,000 \text{ m}^3$

*(SEP1: the first 10-day period of September (last days of irrigation period), SEP2: the last 20-day period of September (the first days of non-irrigation period), ** (1)=table2(1) \times 19%, (2)=table2(2) \times 19%, (5)=table2(9), (6)=table2(10), (3)=(5) \times 30% (4)=(6) \times 30%, ***for each period (7)=(1)+(3)-(5) and (8)=(2)+(4)-(6).

JUNE 1985 - MAY 1999



Βιβλιογραφικές αναφορές - 1

- Avgeris L., D. Karasogiannidis, I. Gkioungkis, F. Pliakas, T. Tzevelekis, K. Bellos, I. Diamantis, (2018). Design of watercourse interventions in conjunction with managed aquifer recharge (MAR). *Water Utility Journal, EWRA*, V. 19, pp. 35-48.
- Cashman P.M., and M. Preene, (2001). *Groundwater Lowering in Construction. A Practical Guide*. Spon Press, New York, USA.
- Eminoglou G., I. Gkioungkis, A. Kallioras, F.-K. Pliakas, (2017). Updated groundwater vulnerability evaluation at a coastal aquifer system in NE Greece. *European Water, E.W. Publications*, V. 57, pp. 423-428.
- Fetter C.W., (2001). *Applied Hydrogeology*, Prentice – Hall, Inc., New Jersey.
- Heath R., F. Trainer, (1968). *Introduction to groundwater hydrology*. John Wiley & Sons, New York, 284p.
- Kallioras A., F. Pliakas, I. Diamantis, (2006). Conceptual model of a coastal aquifer system in northern Greece and assessment of saline vulnerability due to seawater intrusion conditions. *Environmental Geology (since 2009 is published as Environmental Earth Sciences)*, Springer, Vol. 51, No 3, pp. 349-361.
- Kallioras A., F. Pliakas, I. Diamantis, (2010). Simulation of groundwater flow in a sedimentary aquifer system, subjected to overexploitation. *Water, Air, & Soil Pollution, Springer*, Vol. 211, Issue 1-4, pp. 177-201.
- Pliakas F., C. Petalas, I. Diamantis, A. Kallioras, (2002). Groundwater hydrologic budget and groundwater management. The case of Pieria valley, east Macedonia, Greece. *Proceedings of the 5th International Conference: Water Resources Management in the Era of Transition*. Athens, Greece, 4-8/9/2002, pp. 243-251.
- Pliakas F., A. Kallioras, I. Diamantis, I. Gioungis, (2007). Seawater intrusion in a coastal phreatic aquifer of Kavala Prefecture, Northern Greece. *Proceedings of the 10th International Conference on the Environmental Science and Technology (CEST2007)*, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, 5-7/9/2007, Cos Island, Greece, Vol. B, pp. 626-633.
- Todd, D. K., (1980). *Ground Water Hydrology*. John Willey & Sons, New York.
- Todd D.K., and L.W. Mays, (2005). *Groundwater Hydrology (3rd edition)*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

Βιβλιογραφικές αναφορές - 2

- Avgeris L., D. Karasogiannidis, I. Gkioungkis, F. Pliakas, T. Tzevelekis, K. Bellos, I. Diamantis, (2018). Design of Mays, (2005). Groundwater Hydrology (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Διαμαντής Ι., Φ. Πλιάκας, Χ. Πεταλάς, (1999). Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Βαφείικων του νομού Ξάνθης. Πρακτικά 5ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (Ε.Γ.Ε.) και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 12-14/11/1999, Λευκωσία, Κύπρος, σελ. 81-96.
- Καλλέργης Γ., (1984). Επιχειρησιακή Υδρογεωλογία, Πάτρα.
- Καλλέργης Γ., (1999). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Α. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
- Καλλέργης Γ., (2000). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
- Καλλιώρας Α., (2008). Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη.
- Πλιάκας Φ., Ι. Διαμαντής, Χ. Πεταλάς, (1999). Αποτέλεσμα από την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Πολυσίτου του νομού Ξάνθης με τη μέθοδο επανενεργοποίησης παλιών αδρανοποιημένων κοιτών. Πρακτικά 5ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (Ε.Γ.Ε.) και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 12-14/11/1999, Λευκωσία, Κύπρος, σελ. 97-113.
- Τερζίδης Γ.Α. και Δ.Ν. Καραμούζης, (2001). Υδραυλική υπόγειων νερών. Έκδοση ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.