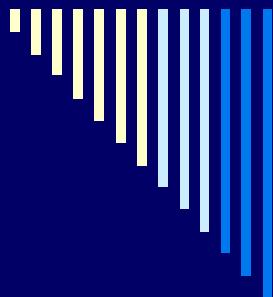


Υδρογεωλογία Υφάλμυρων πηγών

Κώστας Βουδούρης
Δρ. Υδρογεωλογίας
Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

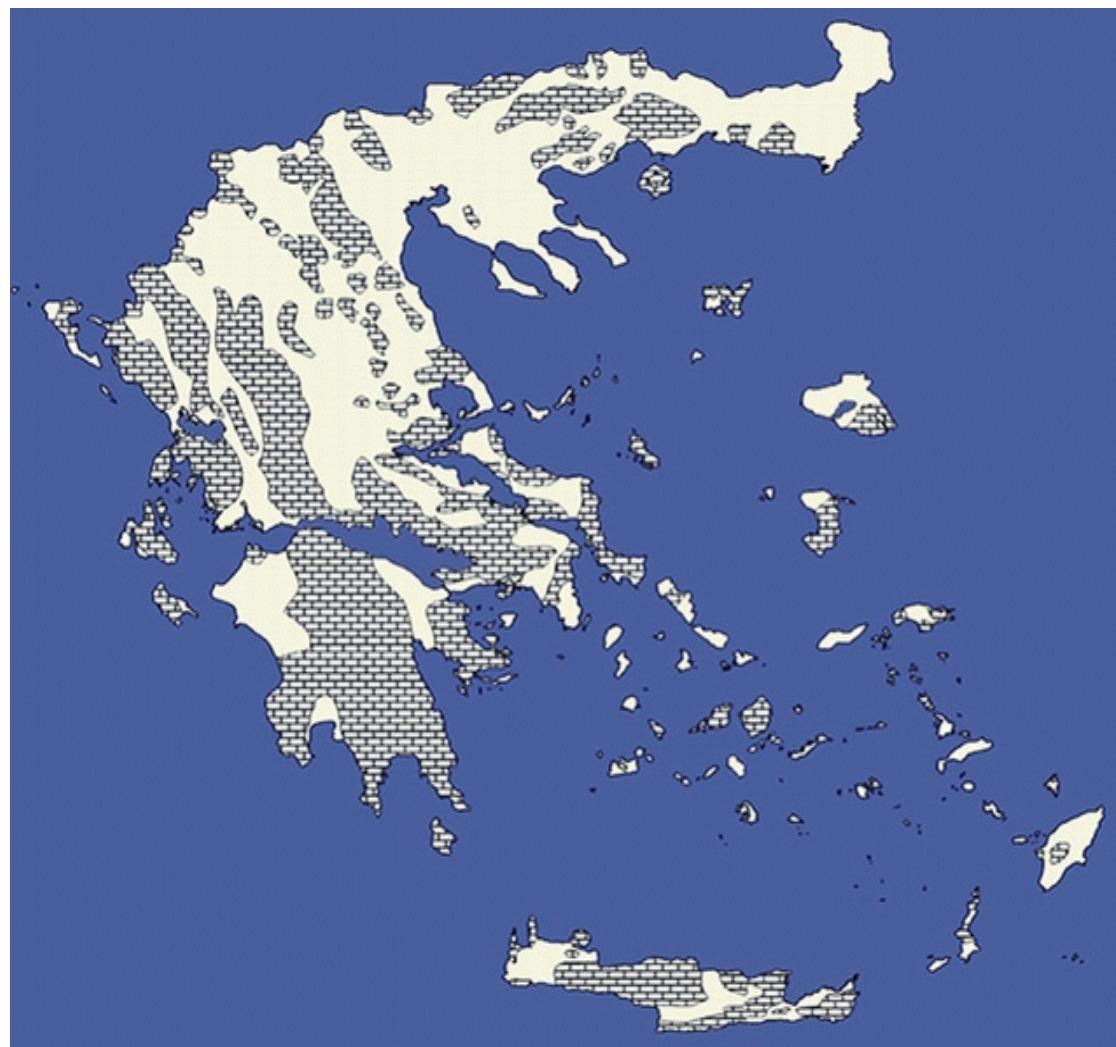


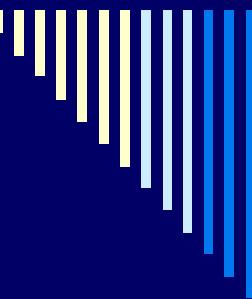


ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

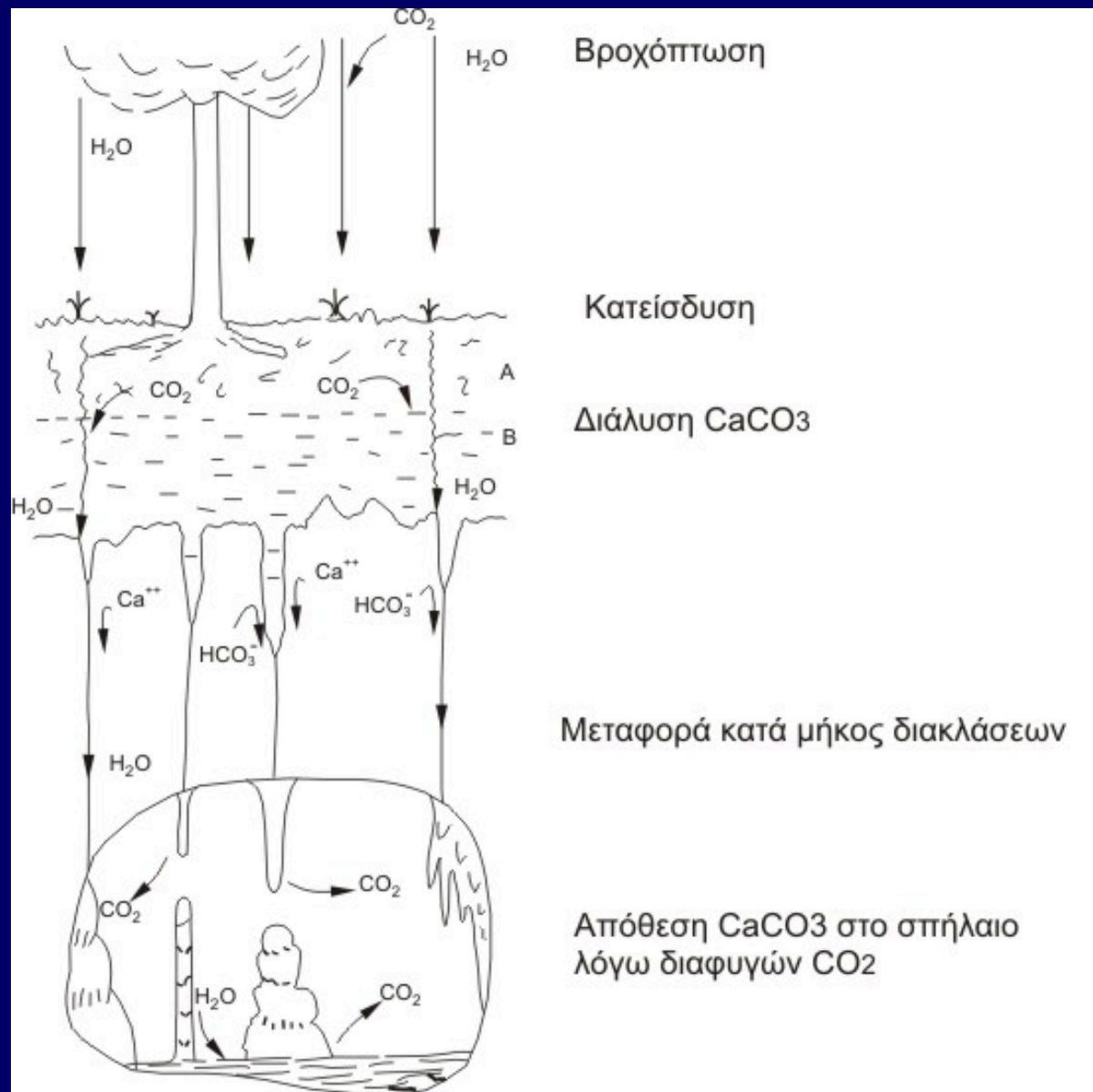
- Ανθρακικά πετρώματα
- Καρστικού υδροφορείς
- Υφάλμυρες πηγές (Παροχές-Ποιότητα)
- Δυνατότητα αξιοποίησης
- Παραδείγματα
- Συμπεράσματα

Κατανομή ανθρακικών πετρωμάτων





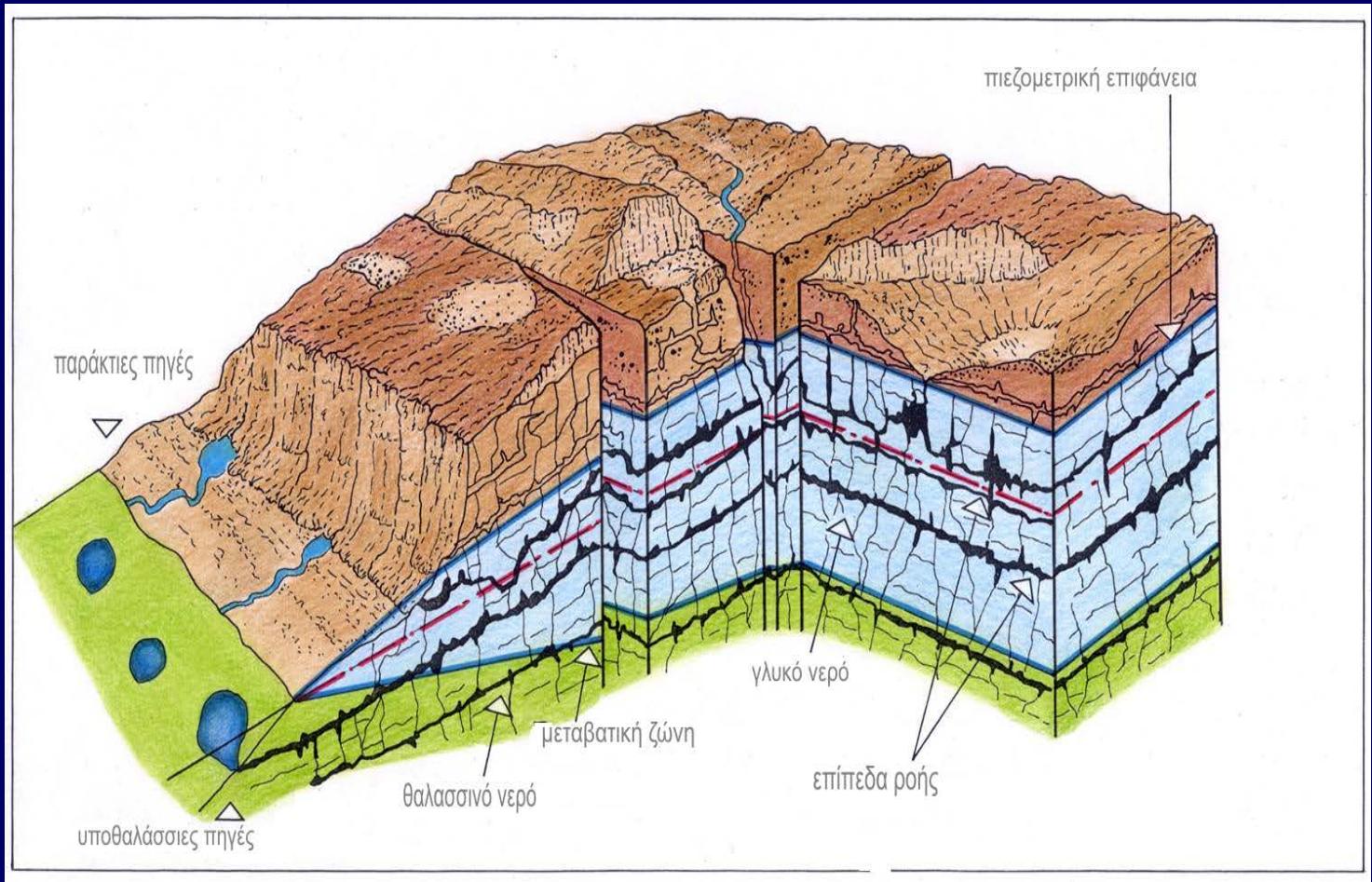
**Σχηματική
αναπαράσταση της
απόθεσης ασβεστίτη
(Holland et al., 1964
με τροποποιήσεις).**





Χημεία του καρστ

- Το καρστ είναι αποτέλεσμα των διαλυτικών διεργασιών (καρστοποίηση) που υφίστανται τα ανθρακικά πετρώματα. Η διάλυση συμβαίνει λόγω του όξινου χαρακτήρα του νερού που περιέχει CO_2 , σύμφωνα με την αντίδραση:
- $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$
- Με βάση την ανωτέρω χημική αντίδραση το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο στο νερό.
- Όταν οι συνθήκες διαφοροποιηθούν η χημική αντίδραση μετατοπίζεται αριστερά και έχουμε απόθεση CaCO_3 . Π.χ. η διαφυγή CO_2 από το νερό, λόγω ελάττωσης της πίεσης, οδηγεί στην απόθεση CaCO_3 και τη δημιουργία σταλακτιτών και σταλαγμιτών στα σπήλαια.



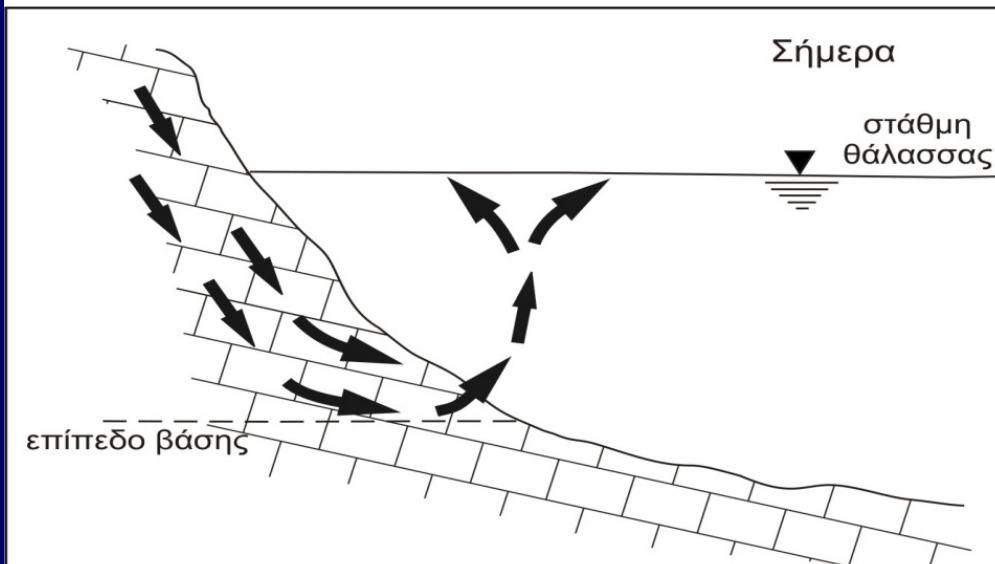
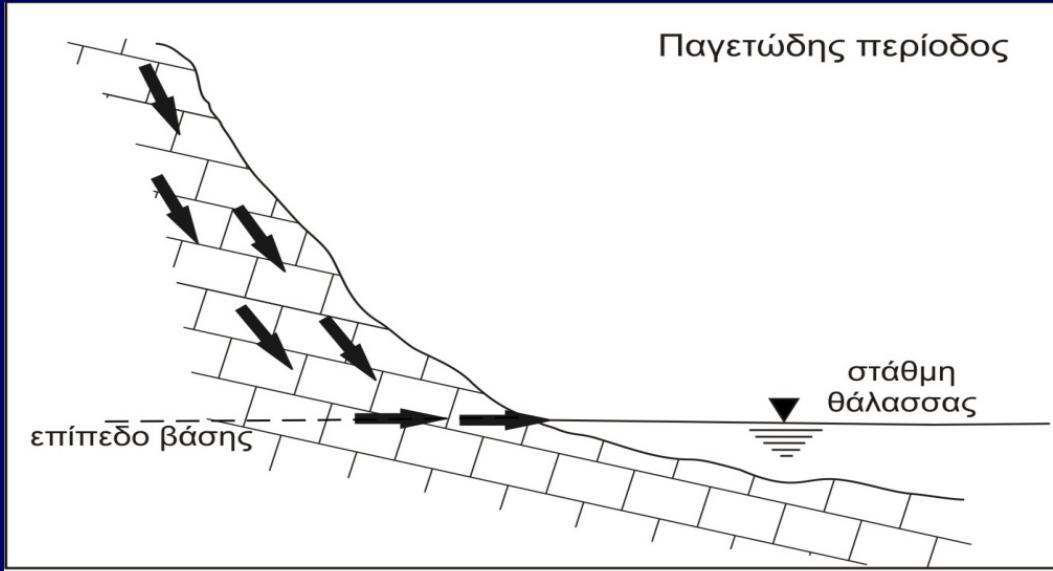
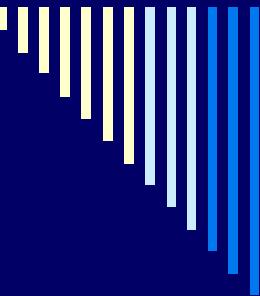
Σχηματική παράσταση παράκτιου καρστικού υδροφορέα (Tulipano, 2003).

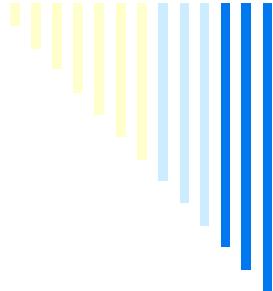


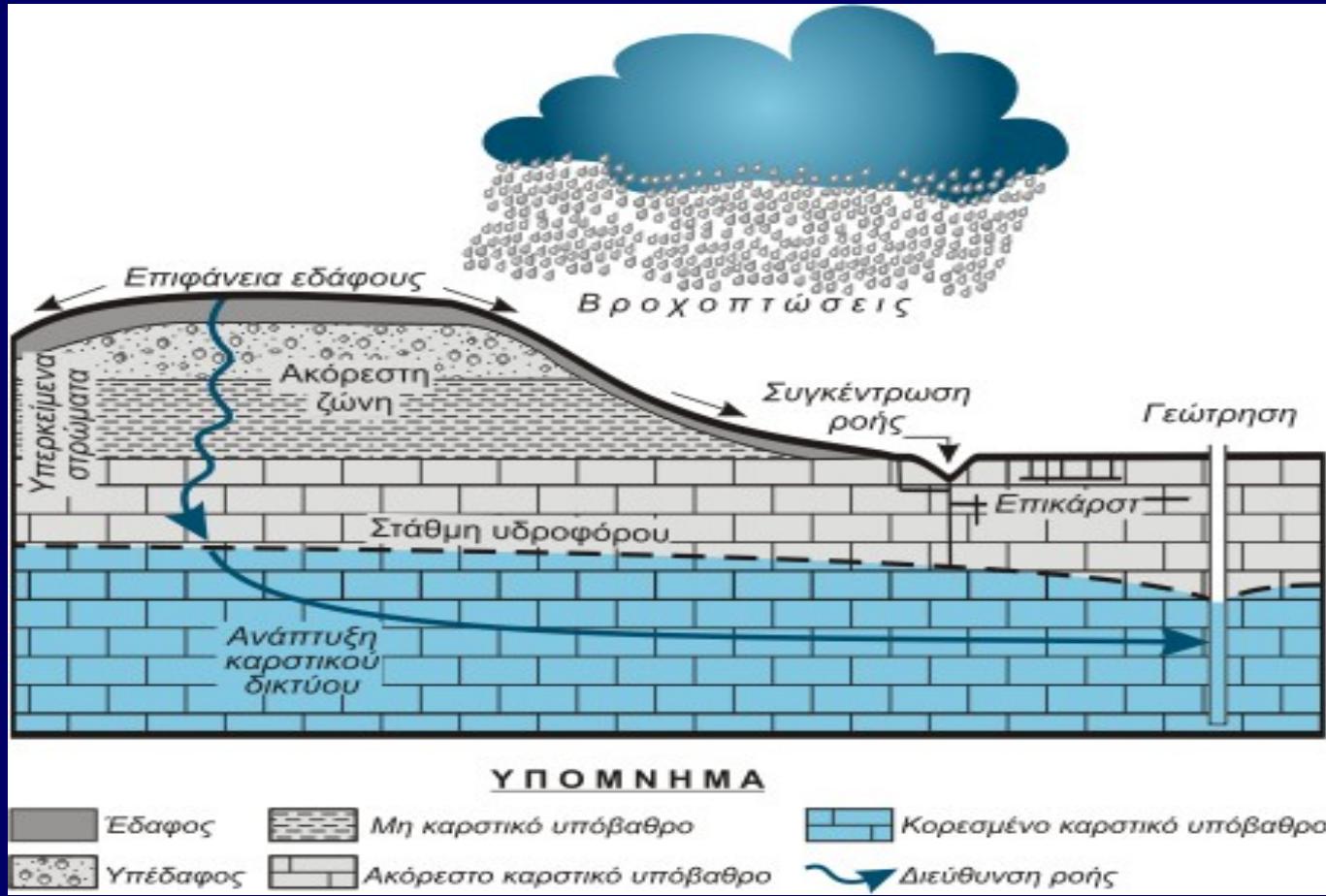
Επίπεδα βάσης

Η υδροφορία ελέγχεται από τα επίπεδα βάσης. Το επίπεδο βάσης αποτελεί το κατώτερο όριο ενός καρστικού υδροφορέα, αν και τα καρστικά πετρώματα εκτείνονται κάτω από το επίπεδο βάσης.

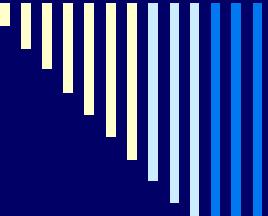
- **Τοπικά** (υποκείμενοι στεγανοί σχηματισμοί),
- **Γενικά** (στάθμη της θάλασσας ή λίμνης που βρίσκεται σε επαφή με τους καρστικούς σχηματισμούς) και
- **Απόλυτα** (επίπεδο ανάβλυσης καρστικών υποθαλάσσιων πηγών).
- Το επίπεδο βάσης αποτελεί το κατώτερο όριο ενός καρστικού υδροφορέα, αν και τα καρστικά πετρώματα εκτείνονται κάτω από το επίπεδο βάσης.
- Η πτώση του επιπτέδου βάσης συνδέεται με τεκτονικούς λόγους (απόσυρση της θάλασσας, τεκτονική ανύψωση) και προκαλεί την ανάπτυξη προς τα κάτω ενός νέου καρστικού δικτύου.



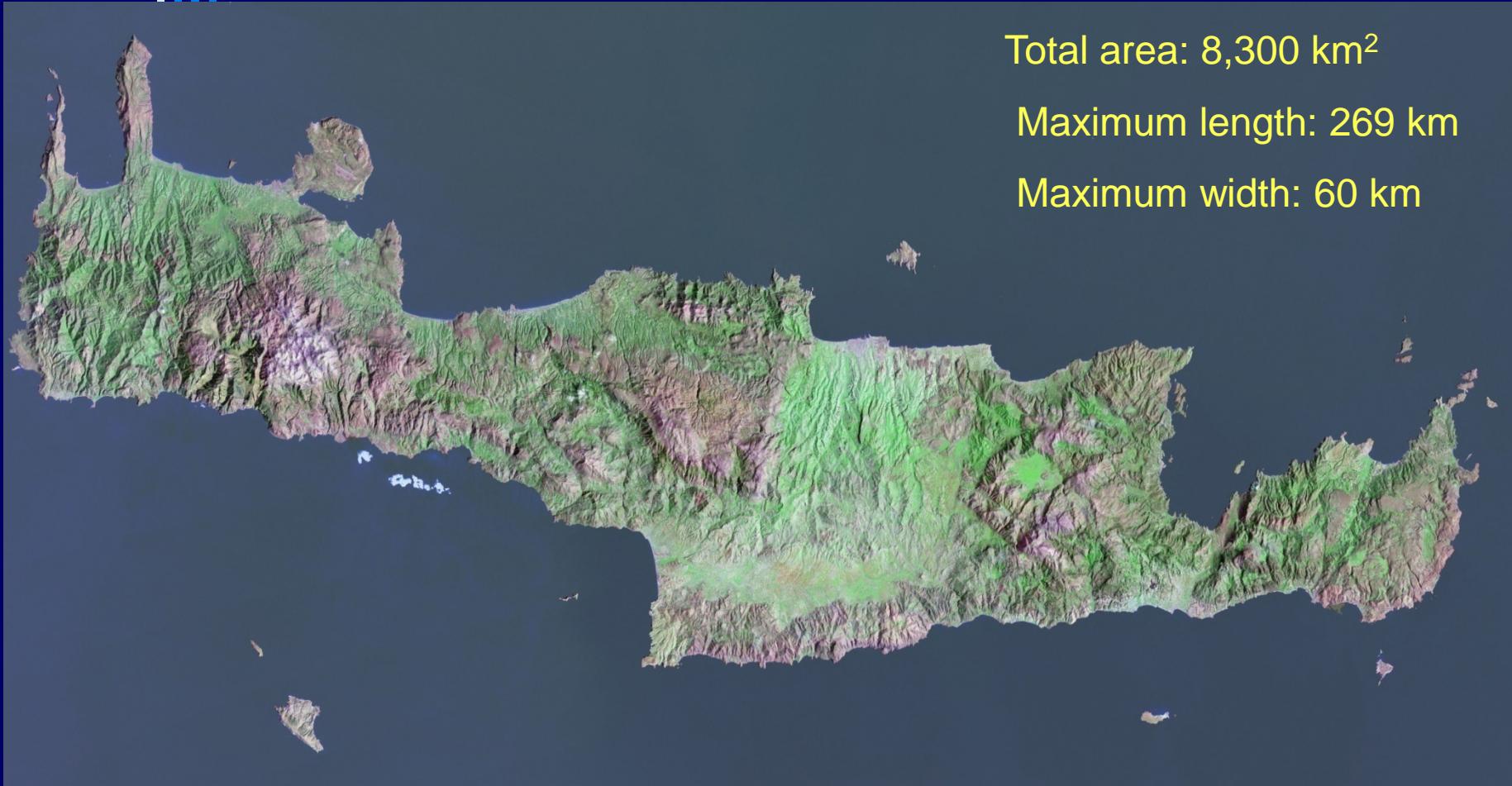




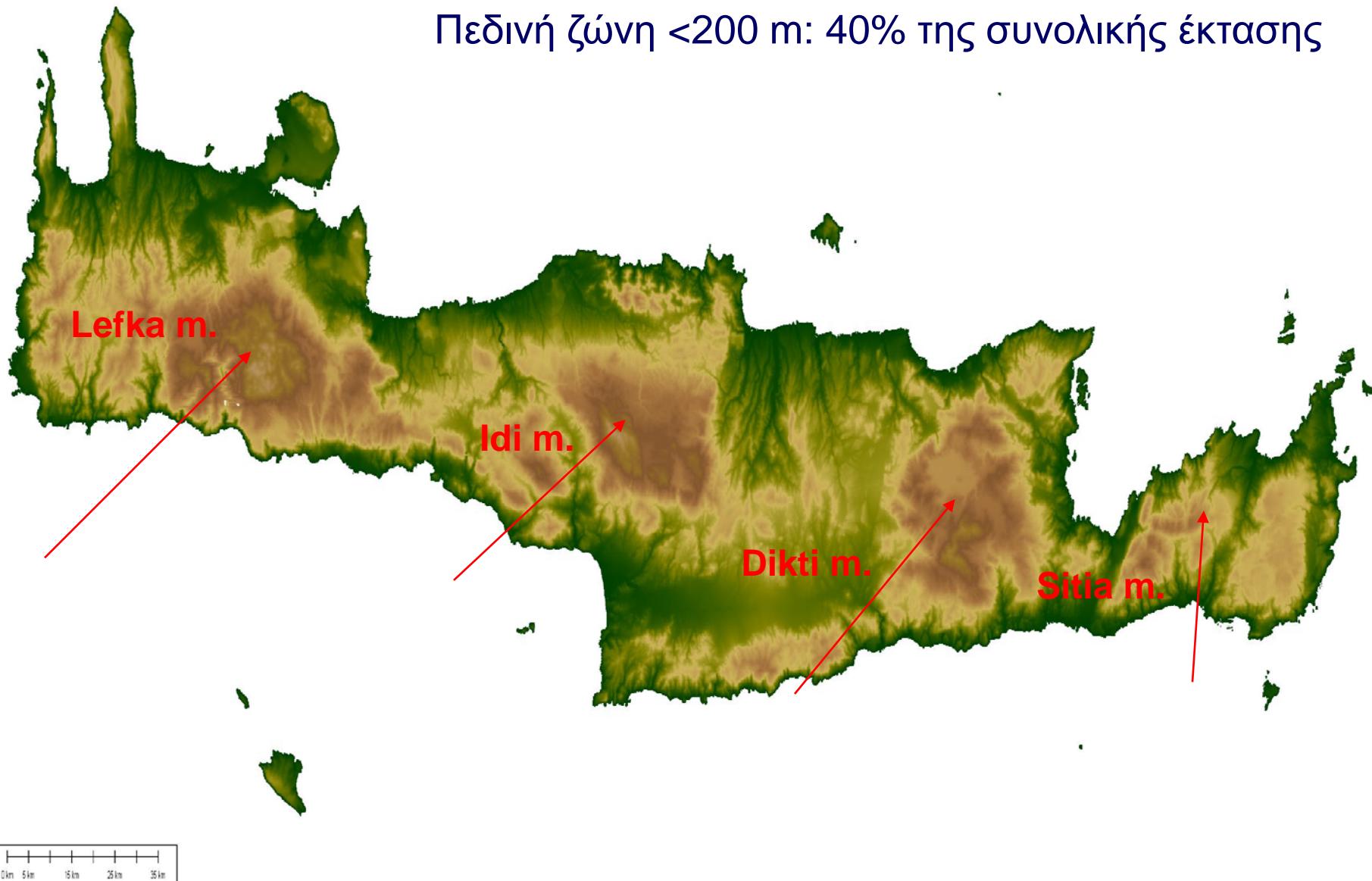
**Εννοιολογικό μοντέλο λειτουργίας ενός καρστικού υδροφόρου συστήματος
(COST 620, 2003 με τροποποιήσεις).**



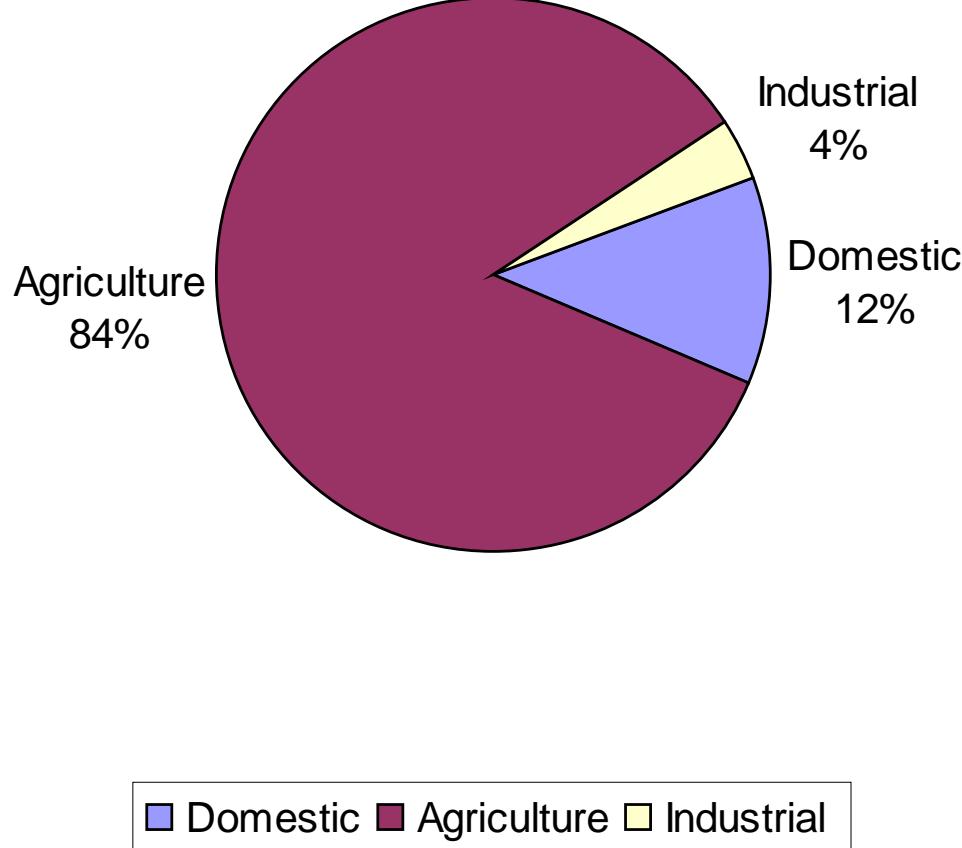
Ανάγλυφο της Κρήτης



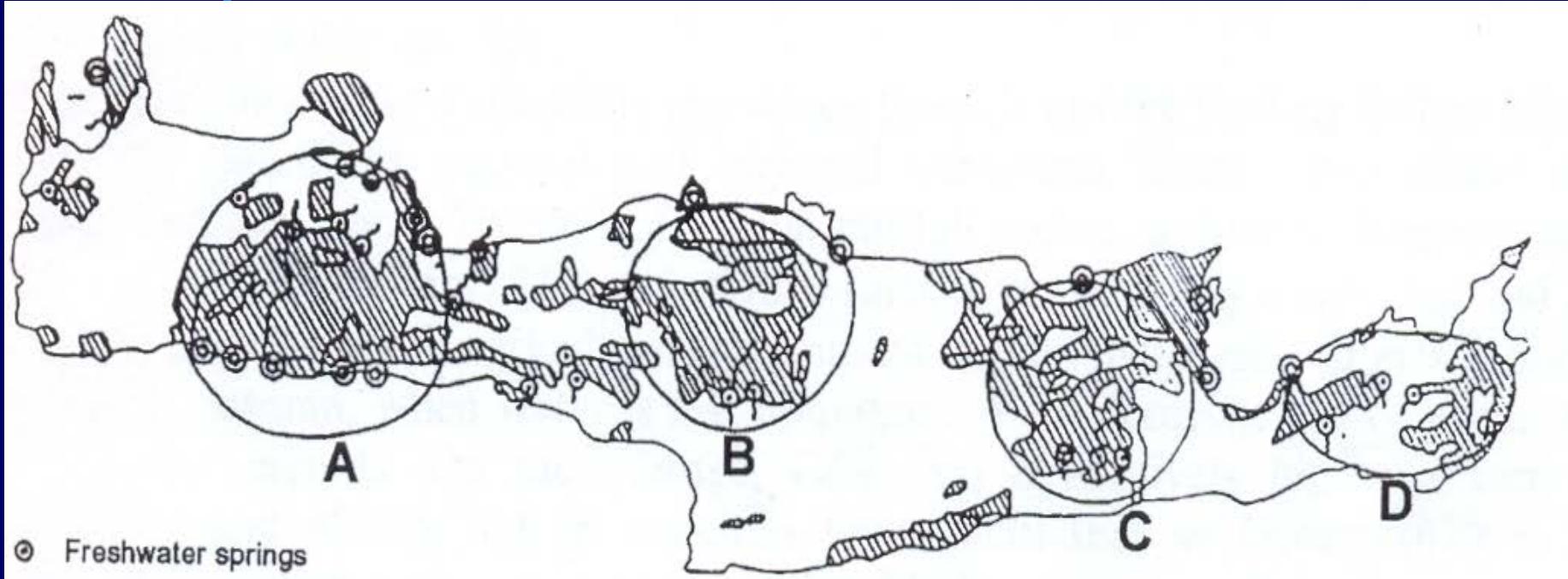
Πεδινή ζώνη <200 m: 40% της συνολικής έκτασης



Χρήσεις νερού στην Κρήτη



Ανθρακικά πετρώματα στην Κρήτη



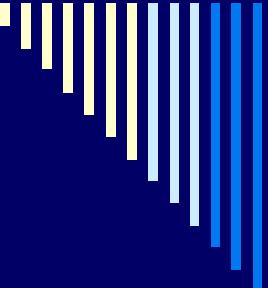
- ◎ Freshwater springs
- ◎ Brackish water springs
- ◎ Undersea springs (Bali etc.)
- A, B, C, D Mountainous masses

(Chartzoulakis et al., 2001)

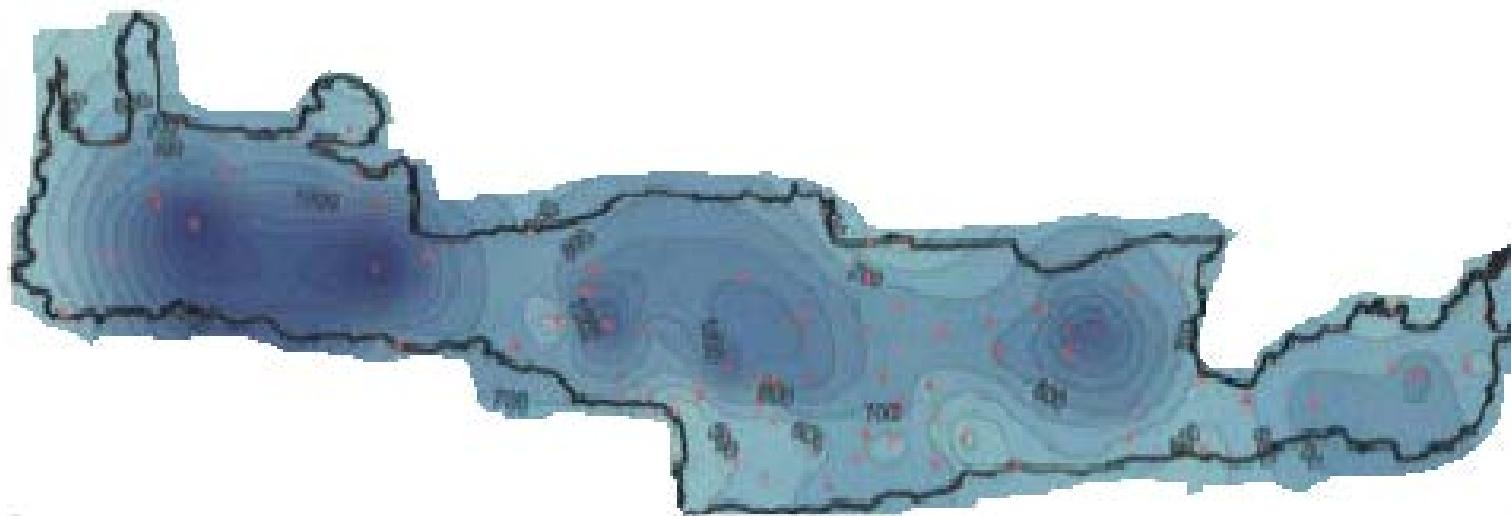


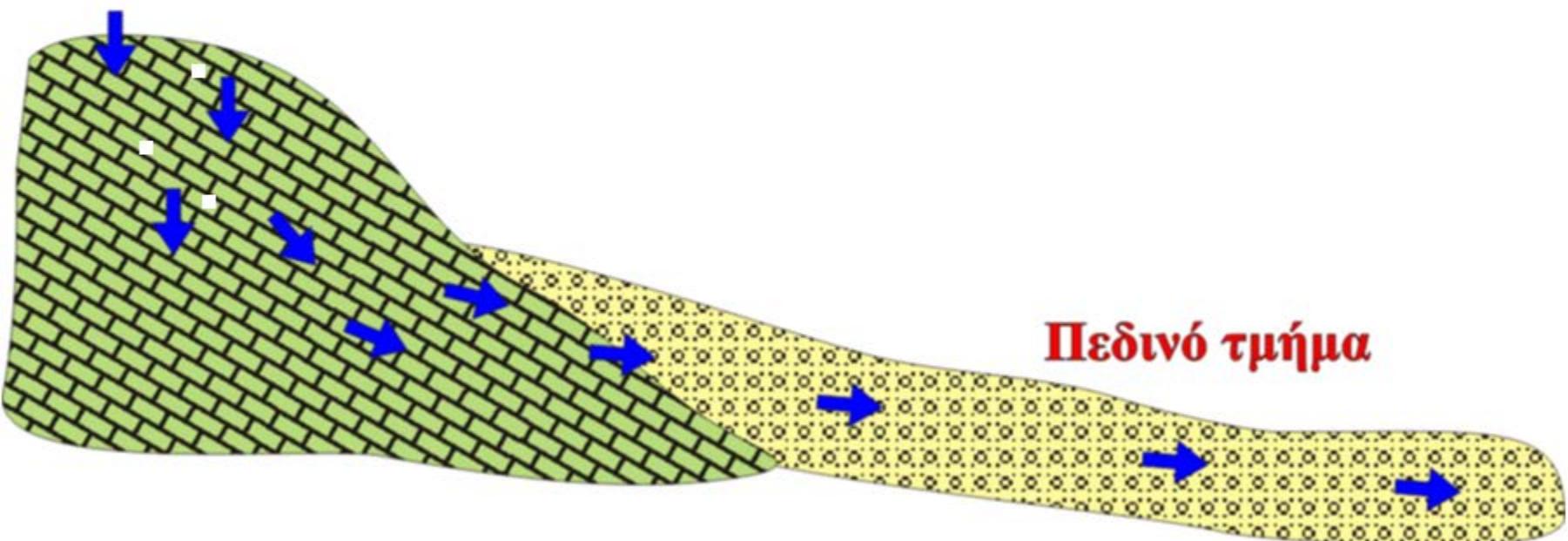
Τροφοδοσία

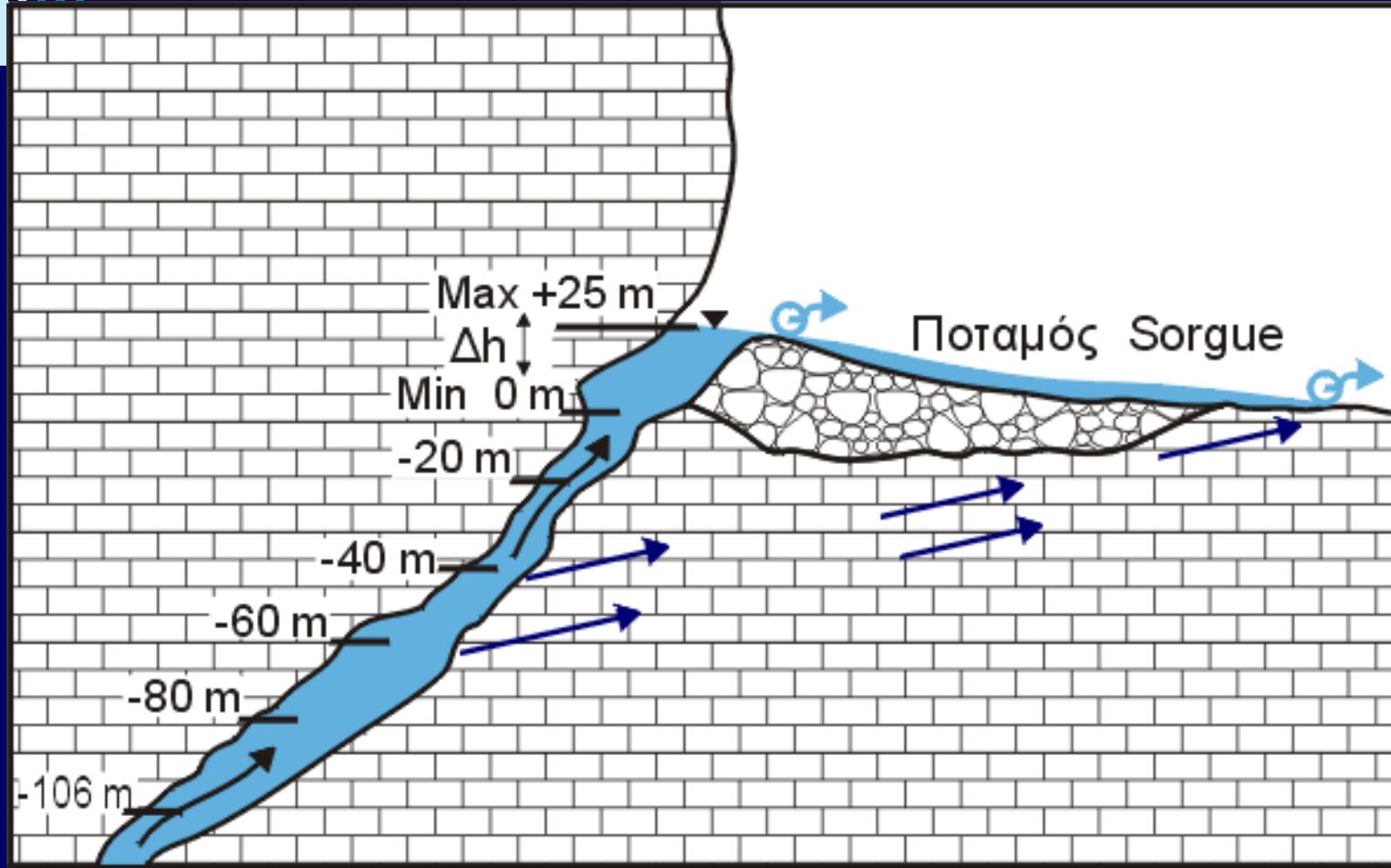
- Ο φυσικός εμπλουτισμός των καρστικών υδροφορέων γίνεται σχετικά εύκολα, κυρίως από την άμεση κατείσδυση του νερού της βροχόπτωσης μέσω καταβοθρών, σημείων θραύσης του επικάρστ, διακλάσεων κ.λπ.
- Να σημειωθεί ότι ο συντελεστής κατείσδυσης κυμαίνεται μεταξύ 40-60% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, εξαρτώμενος από το βαθμό καρστικοποίησης.



Κατανομή βροχοπτώσων

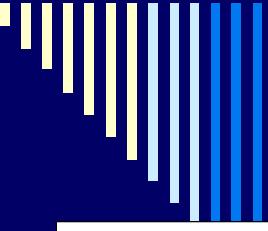




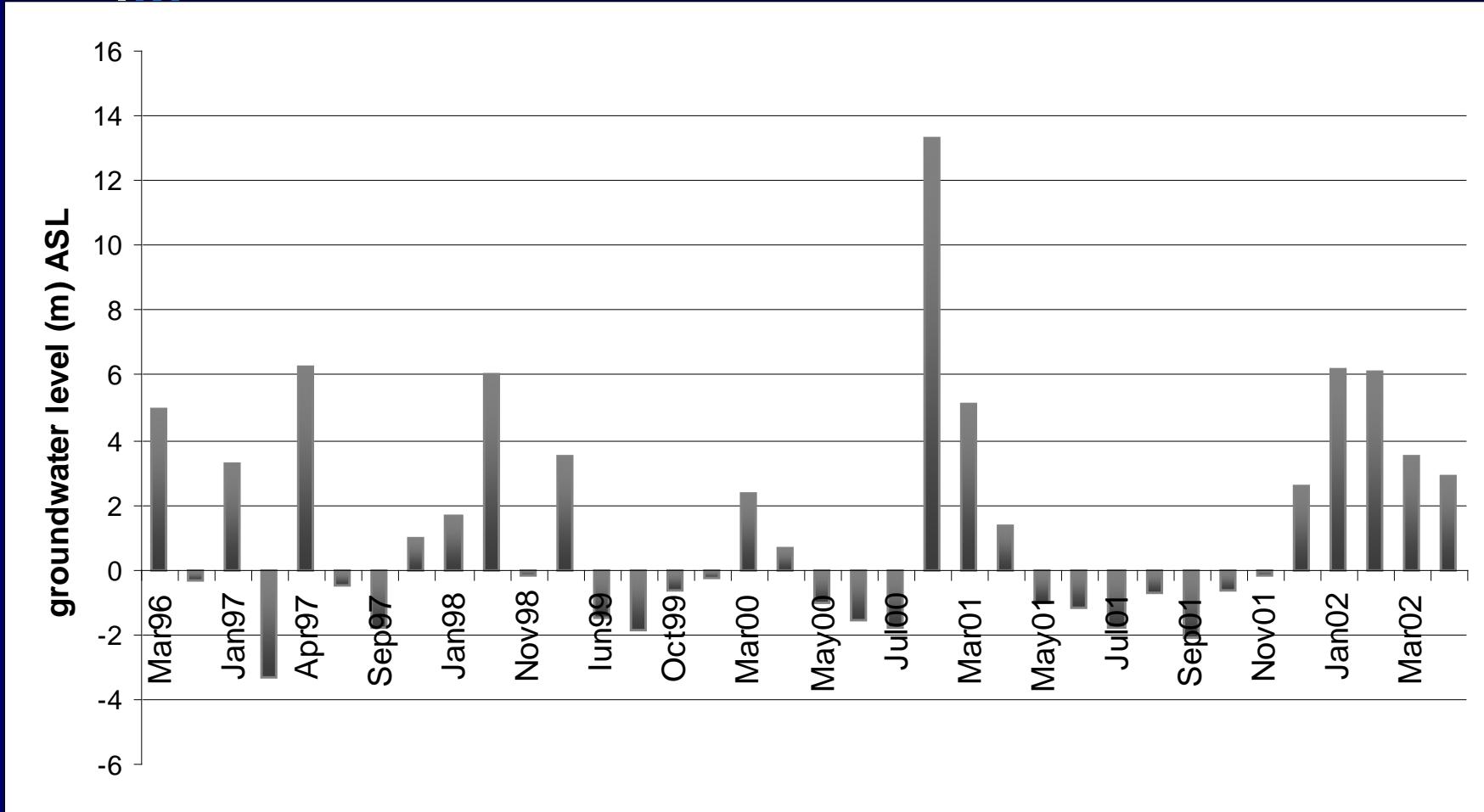


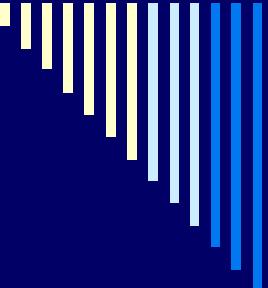
Βωκλουζιανή πηγή (Vauclusian spring)

(Σούλιος, 2004)

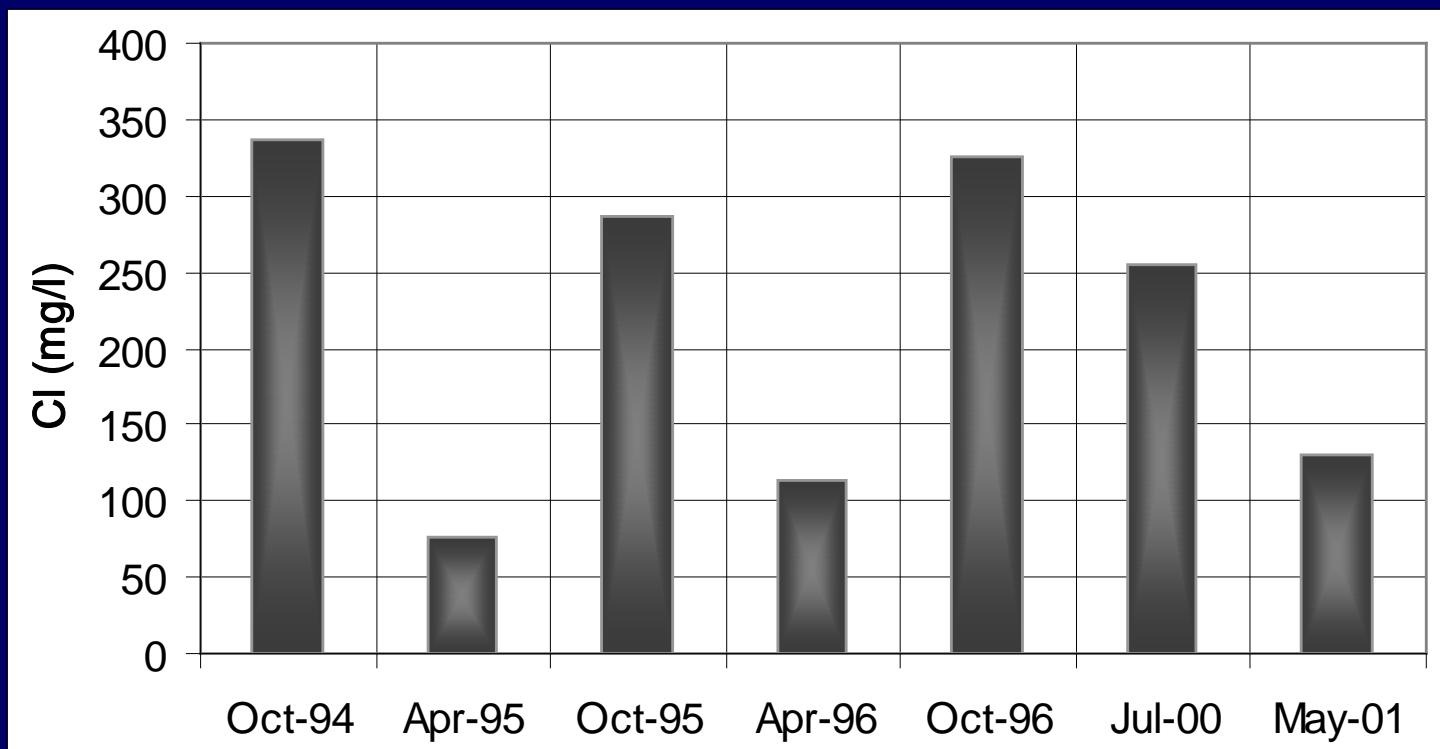


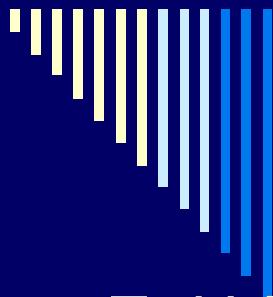
Groundwater level fluctuation in borehole B1 drilled in karstic aquifer of Malia area.





Fluctuation of chloride concentration (mg/L) in borehole B1, drilled in karstic aquifer of Malia area.

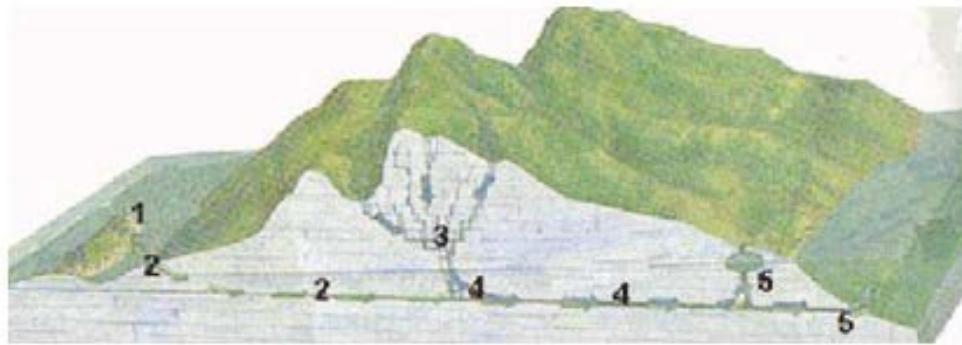




Επιφανειακά και υπόγεια νερά

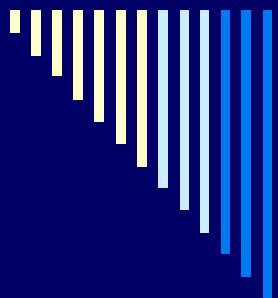
- Πολλές φορές υπάρχει υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των επιφανειακών νερών που παροχετεύονται μέσω καταβοθρών και στη συνέχεια μέσω των αγωγών του καρστικού συστήματος και των νερών των σπηλαίων ή των καρστικών πηγών.

Π.χ. η καταβόθρα Χώνου στο οροπέδιο Λασιθίου αποστραγγίζουν τα νερά του οροπεδίου και στη συνέχεια καταλήγουν μέσω καρστικών αγωγών στην περιοχή Θραψανού (ευρεία διασπορά)



Υπόμνημα: 1) Η θάλασσα εισχωρεί στις καταβόθρες Αργοστολίου, 2) Το θαλασσινό νερό προελαύνει στην ενδοχώρα του νησιού, 3) Τροφοδοσία από νερά της θρυχόπτωσης, 4) Ανάμειξη θαλασσινού νερού με τα νερά της θρυχής, 5) Τα υφάλμυρα νερά εκβάλλουν στον Καραβόμυλο της Σάμης.

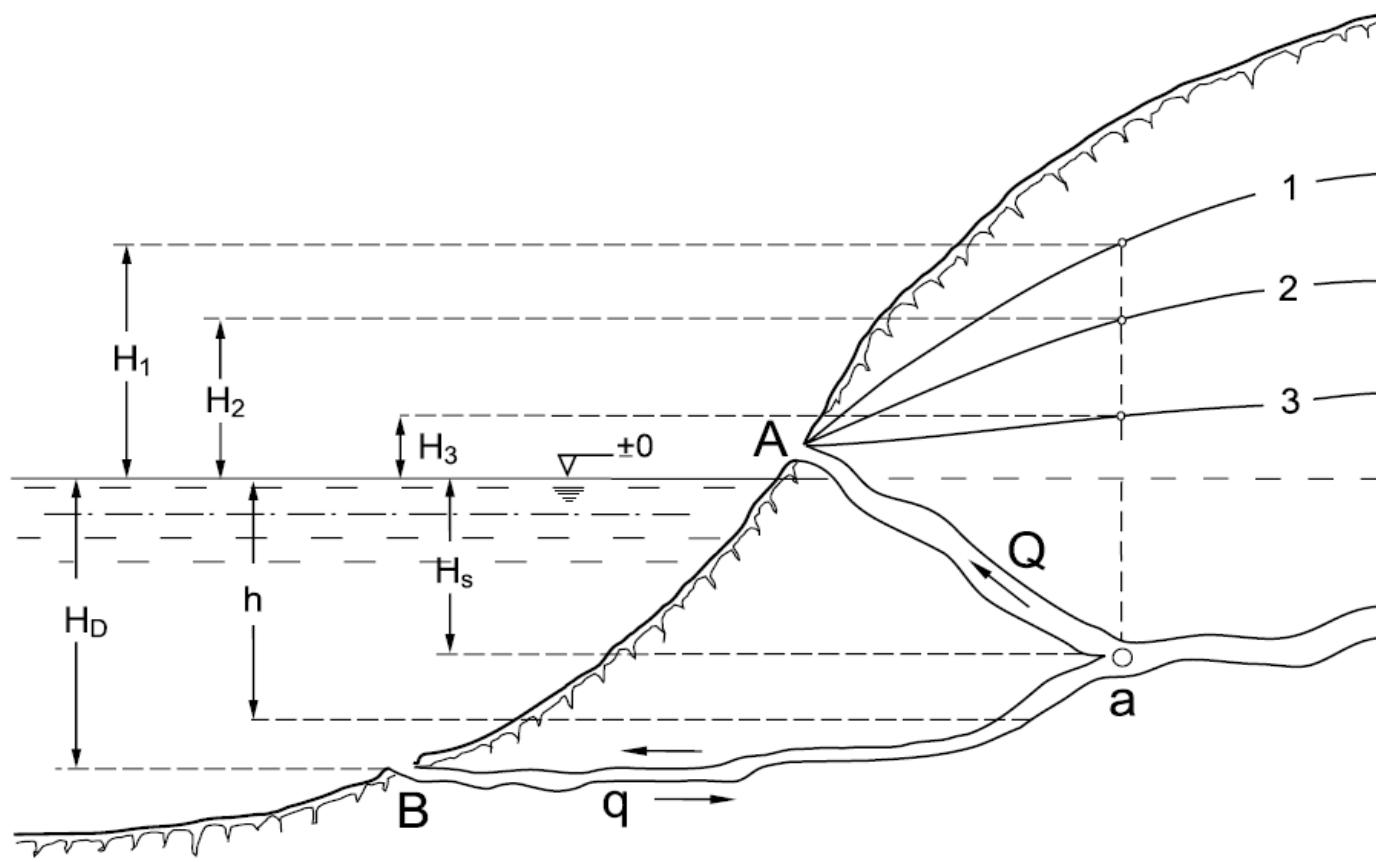
Καρστικό σύστημα	Πηγές	Παροχή	Περιεκτικότητα Cl ⁻ (mg/L)
Λευκά όρη	Αγιαάς & Μεσκλών Στύλου-Αρμένων Γεωργούπολης Σφακιά-Γλυκά Νερά	23 m ³ /s → 355x10 ⁶ m ³ /yr	>1000
Ψηλορείτη-Ταλαία όρη	Αλμυρός Ηρακλείου Μπαλίου Ζαρού-Γέργερης	14 m ³ /s → 440x10 ⁶ m ³ /yr	
Δίκτης-Σελένας Ελούντας-Φουρνή	Αγ. Νικολάου Μαλίων Ελούντας	76x10 ⁶ m ³ /yr 80x10 ⁶ m ³ /yr	2600-3300 2000 2000
Σητείας	Μαλαύρας Σταυροχωρίου Ζάκρου & Ζου	14x10 ⁶ m ³ /yr 6x10 ⁶ m ³ /yr	500-800



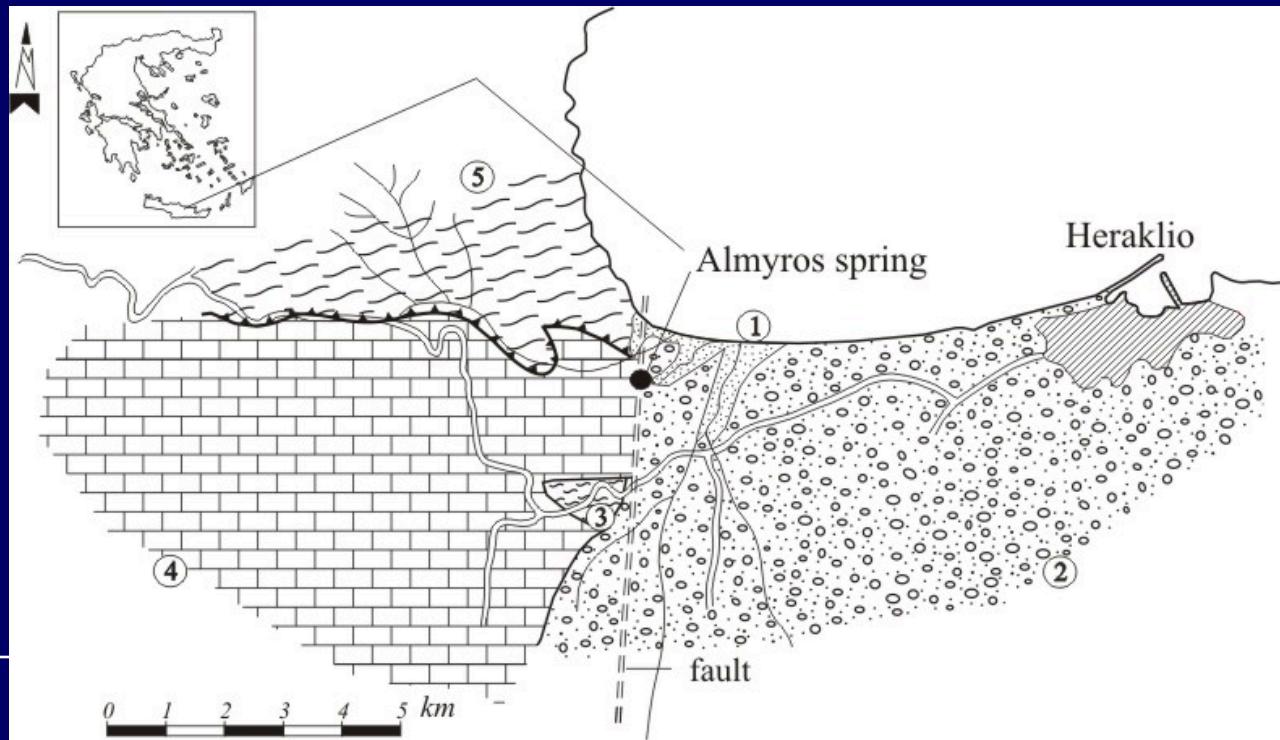
Αλμυροί (υφάλμυρες πηγές)

Με το όνομα *Αλμυροί* απαντώνται στην Κρήτη πολλές υφάλμυρες πηγές, οι πιο γνωστές εκ των οποίων είναι (Αγγελάκης, 2014):

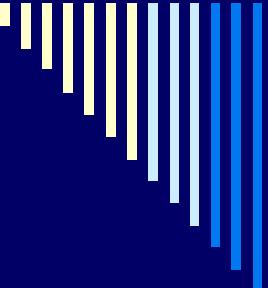
- (α) Στον ορεινό όγκο της Δίκτης: οι Αλμυροί Αγίου Νικολάου, Μαλίων και Άρβης.
- (β) Στον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη: οι Αλμυροί Ηρακλείου, Μπαλί και Αγίου Παύλου.
- (γ) Στον ορεινό όγκο του Αστερουσίων: ο Αλμυρός Τσούτσουρα, κ.ά.
- (δ) Στον ορεινό όγκο των Λευκών ορέων: οι Αλμυροί Γεωργιούπολης, Καλαμίου, Καλυβών, κ.ά.
- (ε) Στον ορεινό όγκο της Θρύπης: οι Αλμυροί Μαλάβρας και Καψά.



Σχήμα 17.9: Οι υδροδυναμικές συνθήκες καθορίζουν τη λειτουργία των παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών (Djurasin από Καλλέργης, 2001).

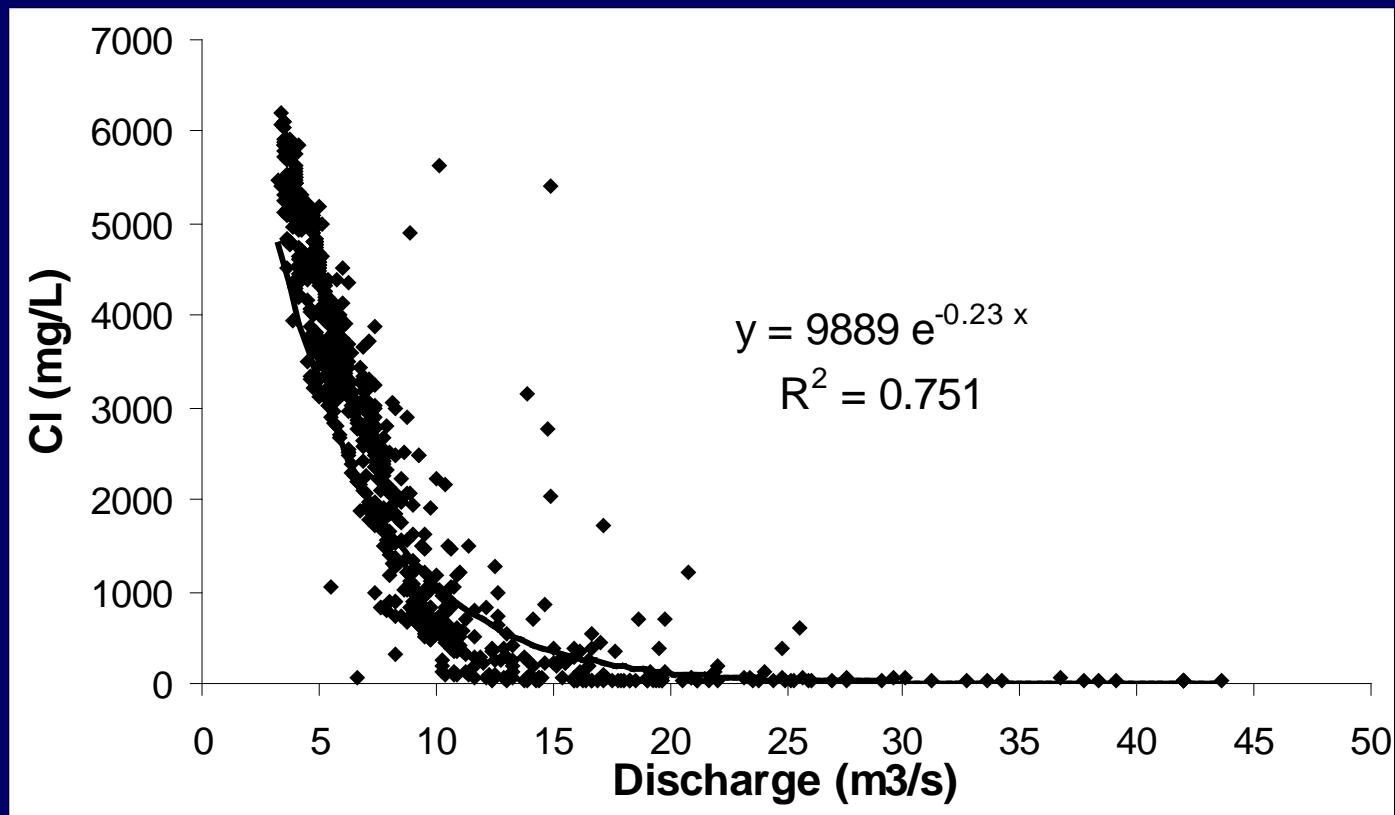


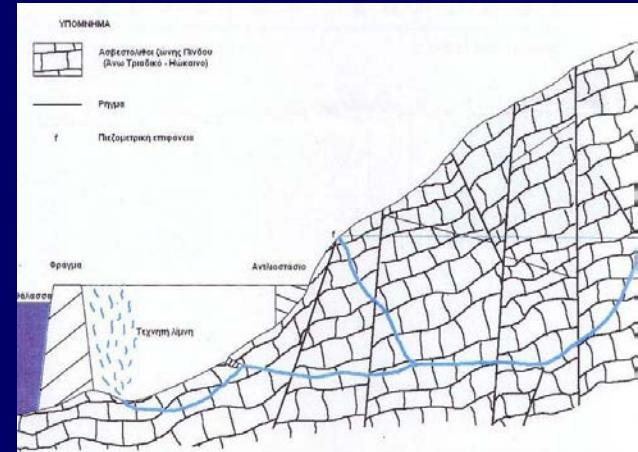
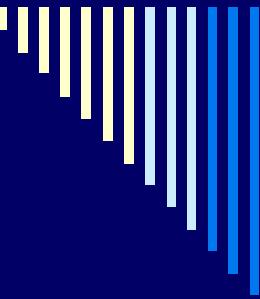




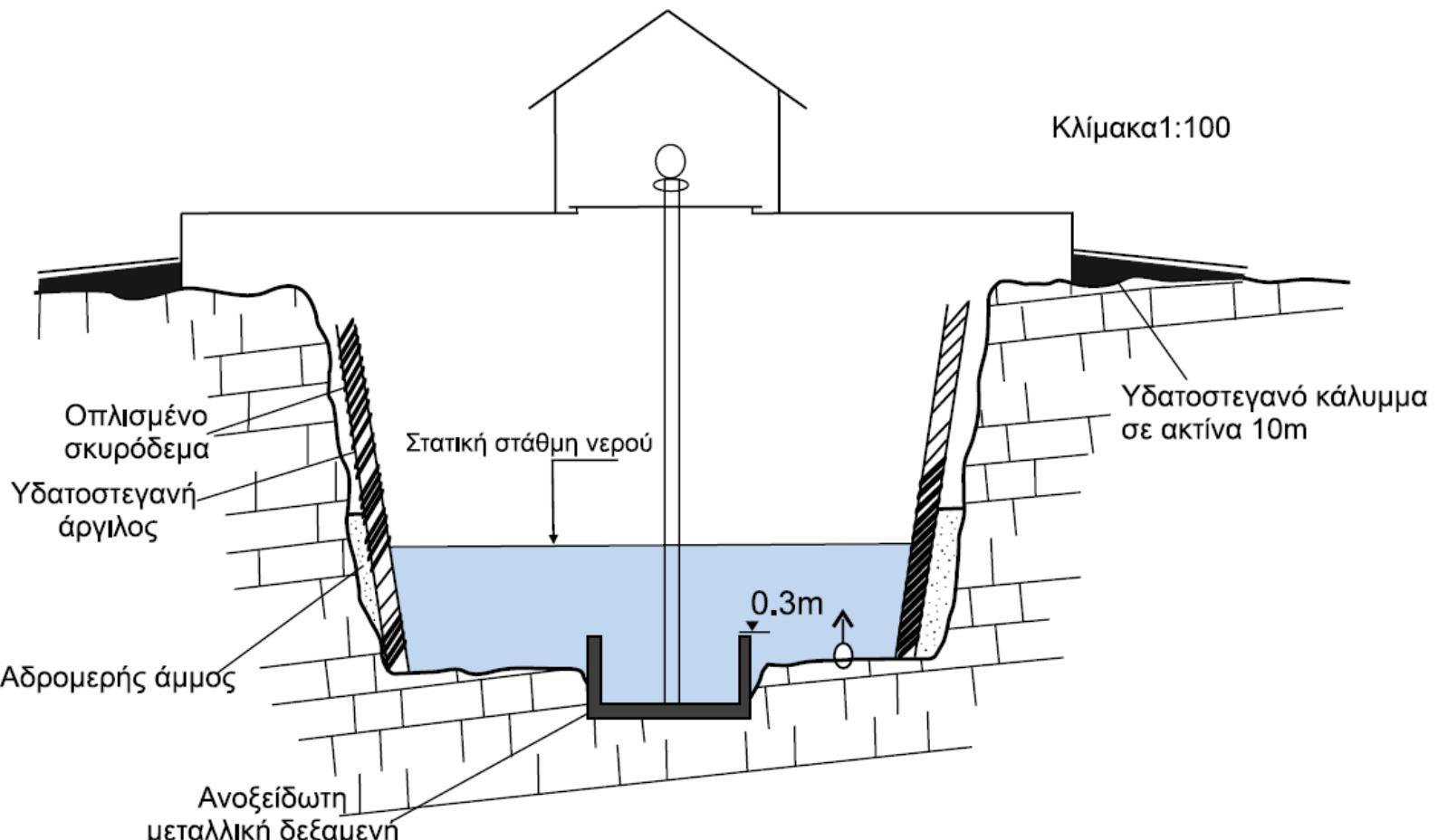
Relationship between chloride concentration (mg/L) and discharge (m³/s) in spring Almiros Heraklion

(Monopolis et al., 2005 with modifications, Data from Municipal Enterprise for Water Supply and Drainage of the city of Heraklion).

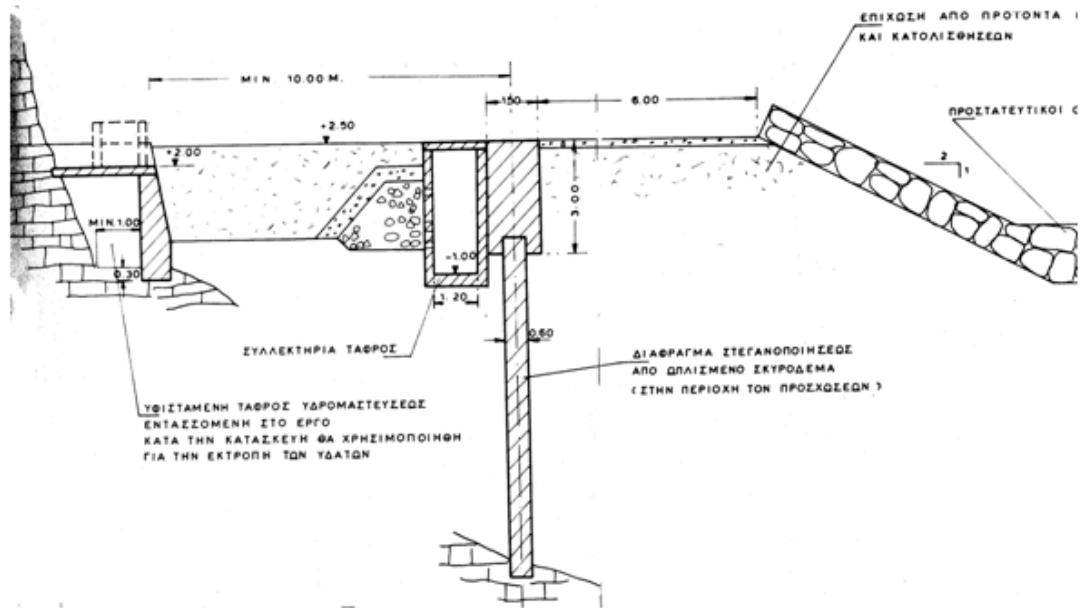




Άποψη του φράγματος και τομή των πηγών Αναβάλου στο Κιβέρι Αργολίδας.

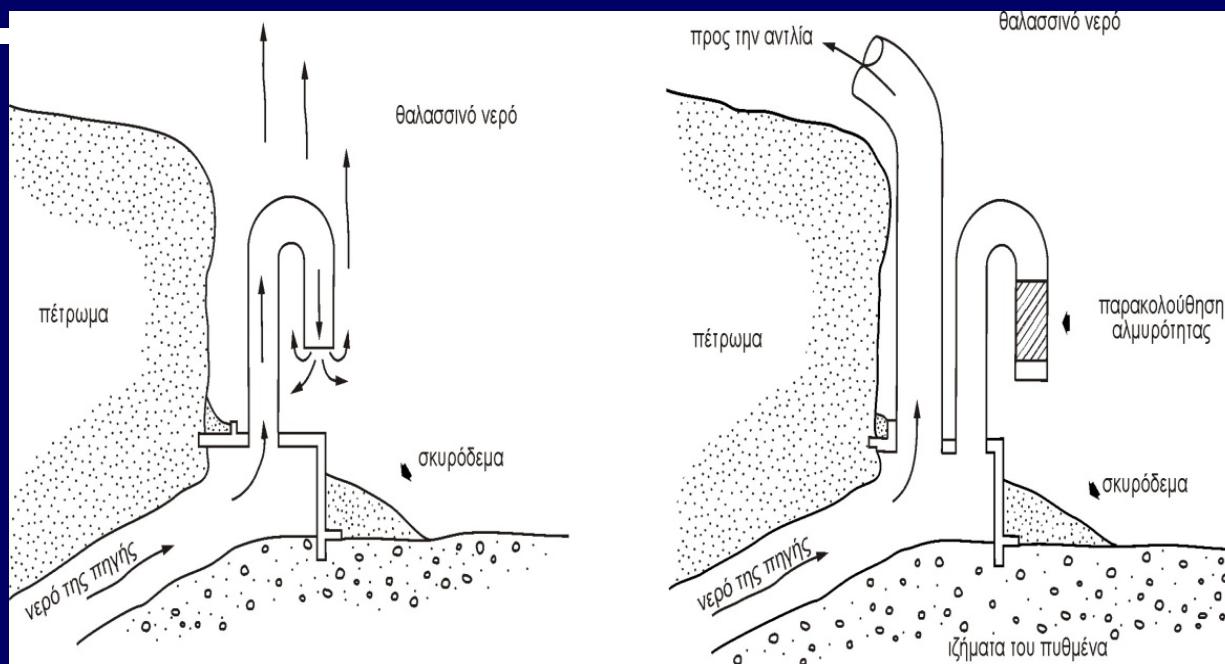


Σχήμα 17.18: Τομή του ειδικού υδρομαστευτικού έργου για την εκμετάλλευση παράκτιου καρστικού υδροφορέα στον Πόρο Κεφαλονιάς (Κουμαντάκης, 2006).



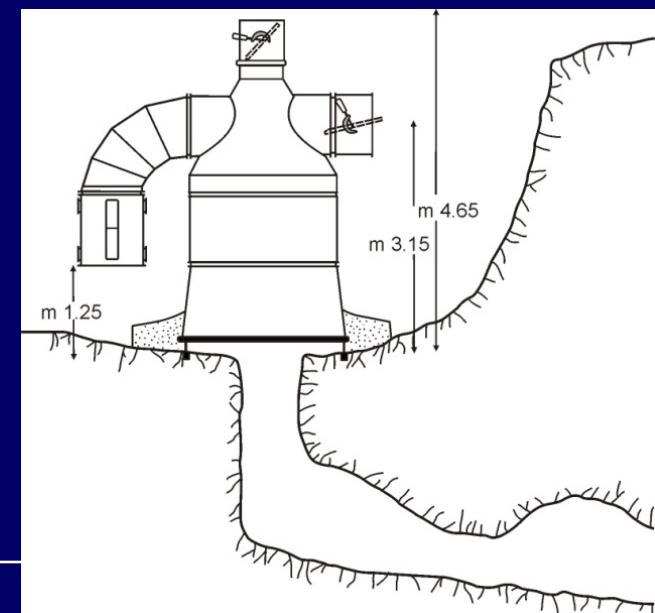
Εικόνα 11-5. Σκαρίφημα των παρεμβάσεων στις πηγές Μαλαύρας.

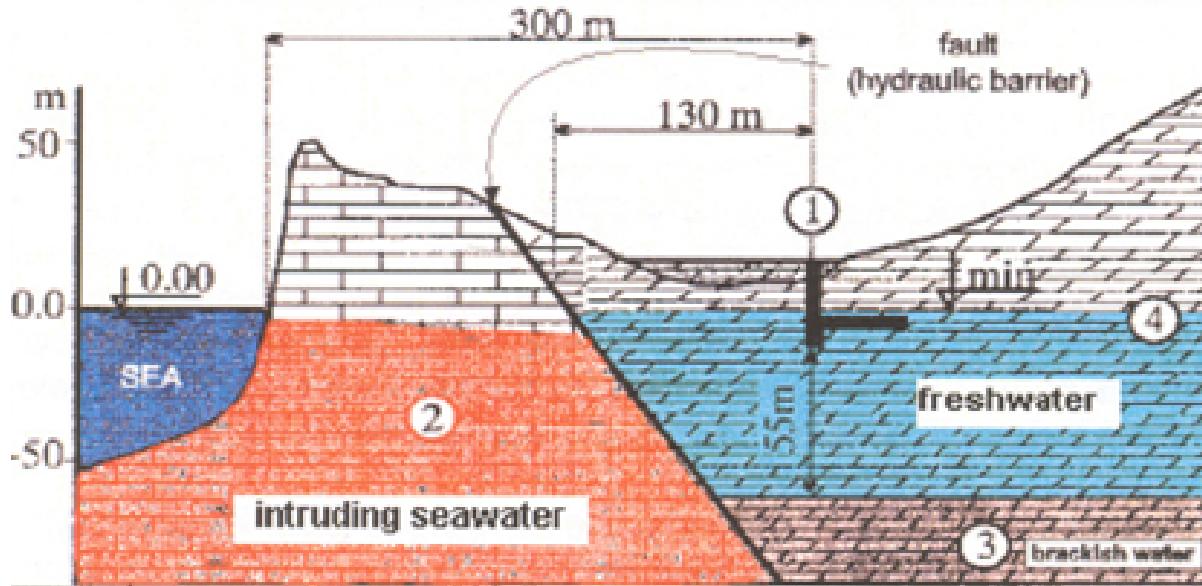




Υδρομάστευση υποθαλάσσιας πηγής με σίφωνα.

Το σύστημα «σίφωνας-καμπάνα» που εφαρμόζεται στην υποθαλάσσια πηγή Citro Citrello στην περιοχή Taranto, N. Ιταλία.

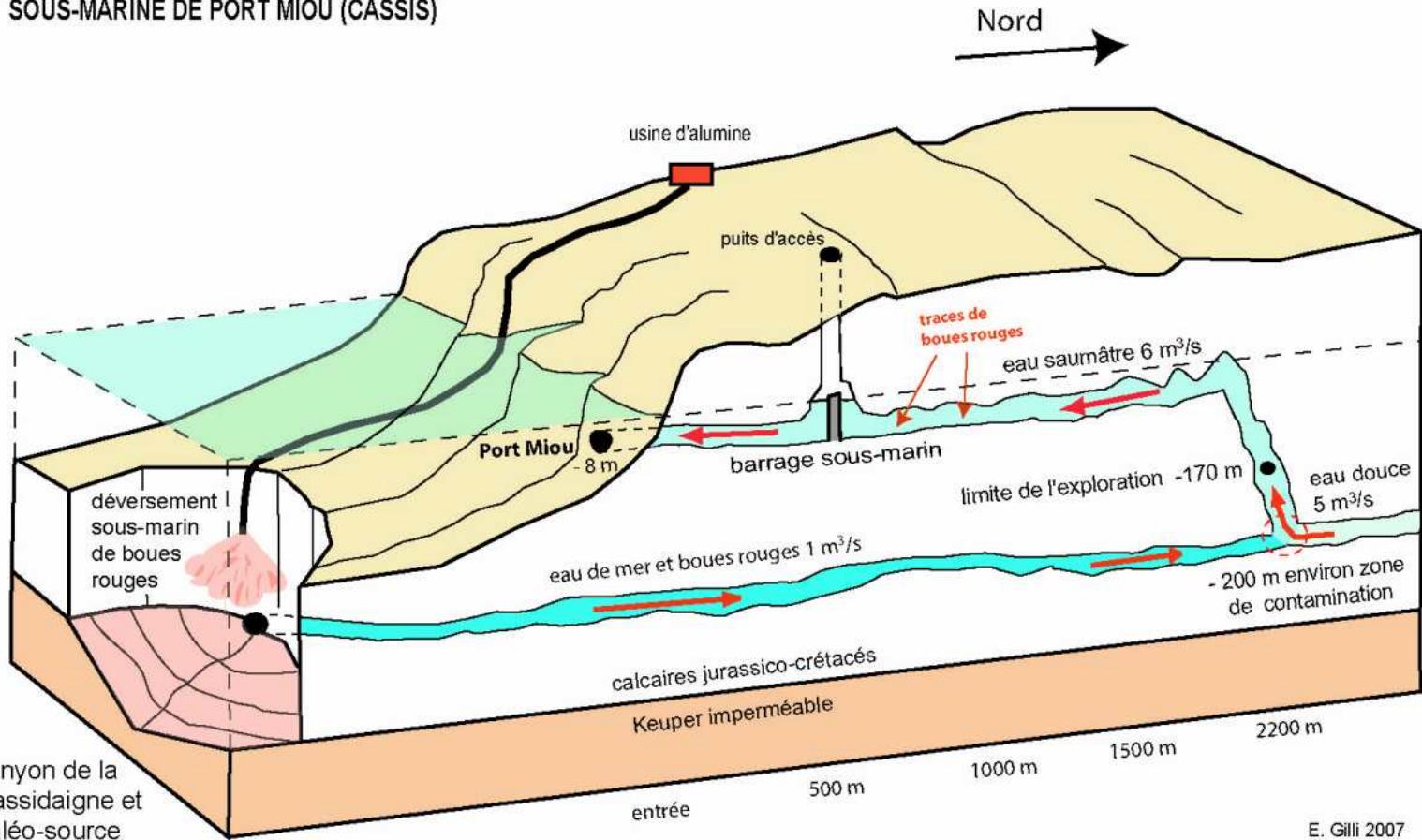




1: κατακόρυφο φρέαρ και υδρομαστευτική στοά, 2: καρστικοί κρητιδικοί ασβεστόλιθοι με έντονο το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας, 3: τμήμα του υδροφορέα στους δολομίτες με μικρή επίδραση της διείσδυσης της θάλασσας, 4: υδροφορέας με γλυκό νερό εντός των δολομιτών.

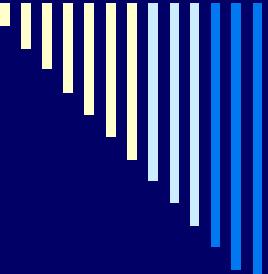
Εικόνα 11-9. Σχηματική υδρογεωλογική τομή στην περιοχή των έργων υδρομάστευσης στο νησί Sipan Κροατίας (κατά Milanovich, 2000, τροποποιημένο).

SCHEMA CONCEPTUEL DU MECANISME DE
CONTAMINATION SALINE DE LA SOURCE
SOUS-MARINE DE PORT MIOU (CASSIS)



E. Gilli 2007

2-3 m³/s. Κατασκευάσθηκαν δύο υποθαλάσσια φράγματα μέσα σε ένα καρστικό αγωγό. Χωρίς θεαματικά αποτελέσματα.



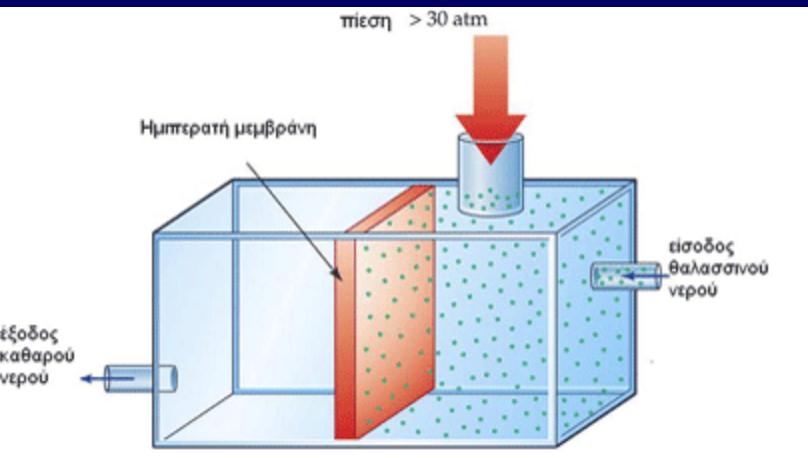
Έρευνα των υδροφορέων που τροφοδοτούν καρστικές πηγές

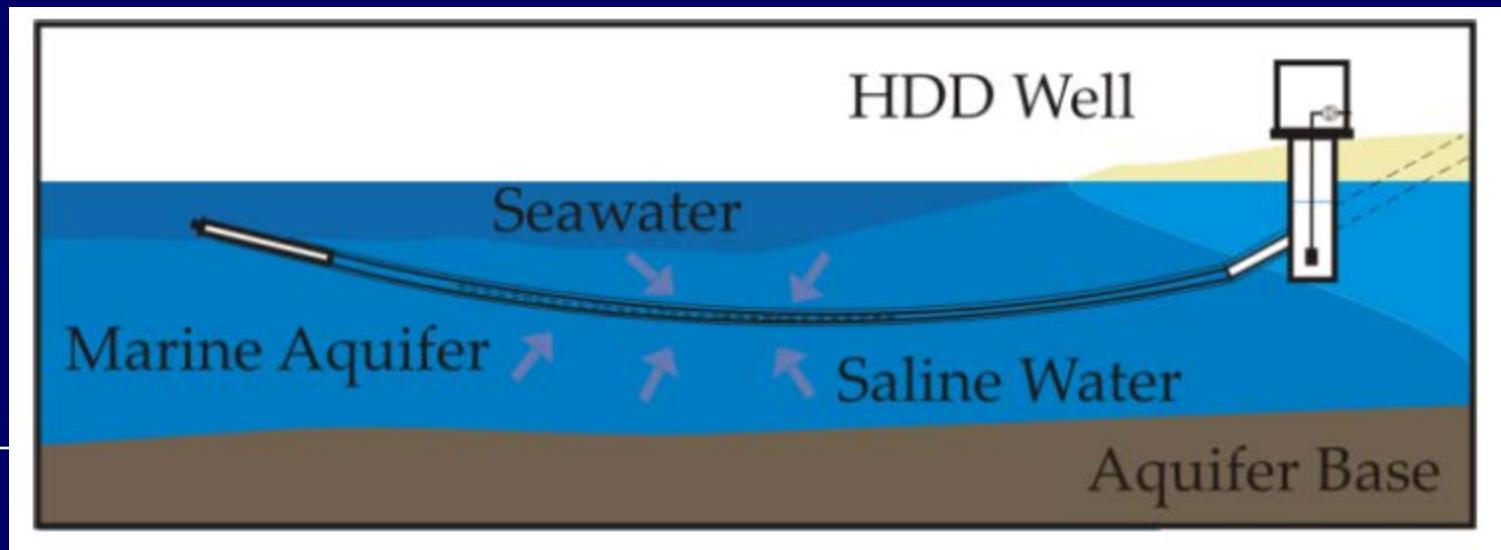
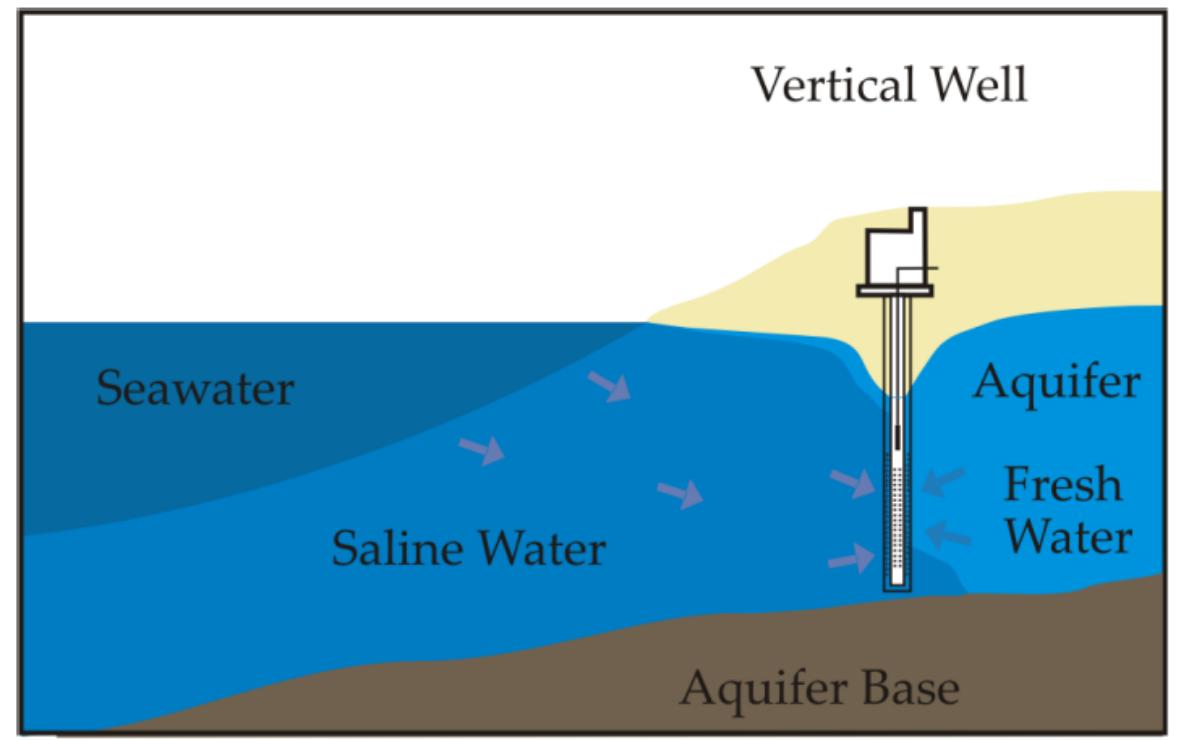
Η έρευνα για τη λειτουργία των καρστικών υδροφορέων απαιτεί:

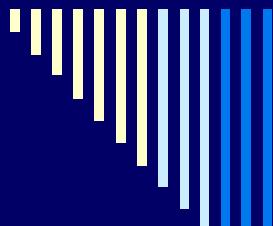
- Τη γνώση της δομής με γεωλογική και γεωμορφολογική ανάλυση
- Οριοθέτηση του καρστικού συστήματος με υδρογεωλογική χαρτογράφηση, σύνταξη υδρολογικού ισοζυγίου και ιχνηθετήσεις
- Ανάλυση των υδρογραφημάτων των πηγών
- Ισοτοπικές και υδροχημικές αναλύσεις
- Επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων
- Προσομοίωση του καρστικού συστήματος.

Αφαλάτωση:

Λύση ή μετατόπιση του υδατικού προβλήματος







Αντί επιλόγου

- Η καταγραφή και μελέτη των παράκτιων πηγών μπορεί να δώσει πολύτιμες γεωμορφολογικές και υδρογεωλογικές πληροφορίες.
- Οι υφάλμυρες πηγές δημιουργούν σημαντικούς υγροτόπους.
- Η αξιοποίηση των υφάλμυρων πηγών με συμβατικούς τρόπους ή **αφαλάτωση** θα επιλύσει το υδατικό πρόβλημα σε πολλές περιοχές της χώρας μας και ειδικά στην Κρήτη, όπου καταγράφονται ελλειμματικά υδατικά ισοζύγια.



Πηγές στοιχείων-Βιβλιογραφία

- Αλεξόπουλος, Α. Η παραγωγή υφάλμυρων νερών στην Κρήτη: Ποσότητες και χαρακτηριστικά.
- Βουδούρης, Κ. (2006): Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Castany, G. (1984): Hydrogeological features of carbonate rocks. Studies and Reports in Hydrology 41, Paris: UNESCO.
- Cost Action 620 (2003): Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers. Final report. Francois Zwahlen (Chairman, Editor in Chief).
- Ford, D.C., Williams, P.W. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman, London.
- Holland, H.D., Kirsiwu, T.V., Huebner, J.S., and Oxburgh, U.M. (1964): On some aspects of the chemical evolution of cave waters. Journal Geol. 72, 36-67.
- Κνιθάκης, Μ., Καλούμενος, Κ. (1993): Κίνδυνοι υφαλμύρινσης πηγών και υπόγειων υδροφορέων. Πρακτικά Διημερίδας.
- Mandilaras, D., Voudouris, K., Soullos, G. (2006): Hydraulic parameters in the karstic aquifer systems of Greece. Proceedings of International Conference "All about Karst & Water". Vienna, 118-129.
- Σούλιος, Γ. (1985): Υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφορέων στην Ελλάδα. Διατριβή επί Υφηγεσία. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!!!

