



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΣΑΚΙΡΗΣ Χ. ΔΗΜΗΡΙΟΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ
ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2017**



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΣΑΚΙΡΗΣ Χ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ
ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017
ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΤΟΥ
ΓΕΩΛΟΓΟΥ

ΤΣΑΚΙΡΗ Χ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΜΕ ΘΕΜΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ
ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος
Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

Κατεύθυνση Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας

Υπό την επίβλεψη του:

ΒΟΥΔΟΥΡΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του
Α.Π.Θ.

Και της συμβουλευτικής επιτροπής

ΜΑΡΙΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, Επίκουρου Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

ΧΡΗΣΤΑΡΑ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017

© Δημήτριος Χ. Τσακίρης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στην ειδίκευση της Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015. Πρόκειται για μια συνθετική βιβλιογραφική εργασία η οποία αναφέρεται στο φαινόμενο της υφαλμύρισης και στη δυνατότητα αξιοποίησης των παράκτιων πηγών που αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα.

Η ανάθεση της διπλωματικής εργασίας έγινε από τον κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, που είναι και ο επιβλέπων της παρούσας εργασίας. Έπειτα από εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση έντυπη και ηλεκτρονική, συλλέχθηκε υλικό κατάλληλο για την αξιολόγηση και σύνταξη της παρούσας εργασίας. Η εργασία εξετάστηκε και αξιολογήθηκε από την τριμελή επιτροπή επίβλεψης και συμβουλής αποτελούμενη από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο, τον κ. Μαρίνο Βασίλειο Επίκουρο Καθηγητή και τον Καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θεωρώ καθήκον μου και θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν στην τελική διαμόρφωσή και συγγραφή αυτής.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας Κωνσταντίνο Βουδούρη για την ουσιαστική συνεργασία, την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε τόσο σε θεωρητικό όσο και σε ερευνητικό επίπεδο, καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, τις πολύτιμες γνώσεις και τον χρόνο που αφιέρωσε.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής: στα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και συντονιστή του Π.Μ.Σ., κ. Βασίλειο Μαρίνο και στον Καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο, για τις βοηθητικές τους υποδείξεις, τις χρήσιμες διδακτικές συμβουλές που μου παρείχαν και την άψογη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης της διατριβής.

Ομοίως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Γεωλογίας Καζάκη Νεραντζή, Κακλή Τριαντάφυλλο, Μάττα Χρήστο και Παπαχρήστου Μαρία για τις εργαστηριακές και θεωρητικές γνώσεις που μου προσέφεραν, καθώς και την ηθική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Τον Ομότιμο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας κ. Γεώργιο Σούλιο για την ενθάρρυνση, τις γνώσεις που μου μεταβίβασε κατά την διάρκεια των σπουδών μου και τις εξαιρετικά χρήσιμες πληροφορίες που χρησιμοποίησα μέσα από τους τόμους του για την Υδρογεωλογία. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω και του Λέκτορες κ. Μουρατίδη Αντώνιο και κ. Οικονομίδη Δημήτριο για την καθοδήγησή τους σε θέματα αναφορικά με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Τέλος, οι θερμότερες ευχαριστίες ανήκουν στην οικογένειά μου που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια στις σπουδές μου, υποστηρίζοντας και βοηθώντας με να ξεπεράσω όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα και μου δίνει μεγάλη υποστήριξη σε ότι και αν



αποφασίζω να κάνω. Η υπομονή, η πίστη τους και η υλική και ηθική τους υποστήριξη συνέβαλε ουσιαστικά στην εκπόνηση της διατριβής μου.

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2017



Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με την τρέχουσα γνώση των παράκτιων καρστικών πηγών και υδροφόρων οριζόντων και στόχος της είναι να χαρακτηρίσει τη λειτουργία και την δυνατότητα αξιοποίησης των συστημάτων αυτών, που συνδέονται στενά με τη θάλασσα. Παρουσιάζεται η προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος της αξιοποίησης των γλυκών υδάτων στους παράκτιους καρστικούς υδροφορείς κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων όπου οι συνθήκες ευνοούν τη δυνατότητα διείσδυσης αλμυρού νερού. Η προσέγγιση στηρίζεται στην καταγραφή παλαιότερων και πρόσφατων μελετών περίπτωσης, ανά τον κόσμο, των υδροφορέων και των πηγών. Με βάση τα ευρήματά τους, μπορεί να αποδειχθεί ότι δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί που εμπλέκονται στη λειτουργία αυτών των συστημάτων, το ότι οι υδροφόροι ορίζοντες εκφορτίζουν μέσω υποθαλάσσιων πηγών και ότι παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού μέσω αγωγών ανοιχτά προς τη θάλασσα.

Η έρευνα των παράκτιων καρστικών πηγών έχει αποκαλύψει κάποια κοινά χαρακτηριστικά που δείχνουν την ανάπτυξη ή/και την λειτουργική ικανότητα των καρστικών δικτύων αποχέτευσής τους και βοήθησε στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ενδεχόμενη εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων στις παράκτιες περιοχές. Τέλος, παρουσιάζονται συστήματα για την αφαλάτωση των υφάλμυρων καρστικών πηγών στην καρστική παράκτια ζώνη, χρησιμοποιώντας την εμπειρία που αποκτήθηκε στον εντοπισμό, την αξιοποίηση και την μοντελοποίηση των υπόγειων καρστικών συστημάτων.

ABSTRACT

This paper focuses on the current knowledge of coastal karst aquifers and aims to define the functionality and the possibility of reclaiming those systems which are closely linked with the sea. It presents an approach for solving the problem of exploitation of freshwater in the coastal karst aquifer during summer dry periods in the conditions of potential salt water intrusion. This approach is based on the registration of old and new case studies of aquifers and springs, around the globe. Based on their findings, it is proven that two essential mechanisms are involved in the functionality of these systems, the fact that aquifer discharge through submarine springs and saline intrusion through conduits open to the sea.

This survey of coastal karst aquifers has revealed some common characteristics that show the development and/or functional capacity of their karst drainage networks. A classification of such systems into three categories is proposed with the aim of assisting in the decision-making concerning potential exploitation of water resources in coastal regions. Finally, ways for desalinating brackish karst springs in karst coastal zone are presented, using the experience gained by the identification and the modeling of underground karst systems.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

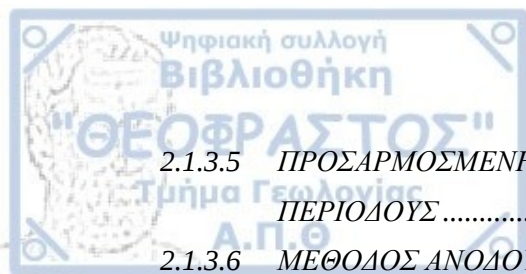
ABSTRACT

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

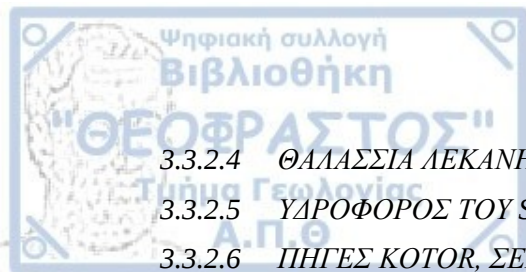
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ABSTRACT

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1.2 ΚΑΡΣΤ	2
1.3 ΠΗΓΕΣ	4
1.3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	4
1.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΗΓΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ	5
1.3.3 ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΗΓΕΣ	6
1.3.4 ΥΦΑΛΜΥΡΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	7
1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	8
1.4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	8
1.4.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	10
1.4.2.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ	10
1.4.2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	11
1.4.3 ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	14
2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΗΓΩΝ	14
2.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	14
2.1.2 ΕΙΔΙΚΑ ΕΡΓΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ	16
2.1.2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	16
2.1.2.3 ΦΡΑΓΜΑΤΑ	16
2.1.2.4 ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	17
2.1.2.5 ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ	17
2.1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	17
2.1.3.1 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	17
2.1.3.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ	18
2.1.3.3 ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ	18
2.1.3.4 ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	19

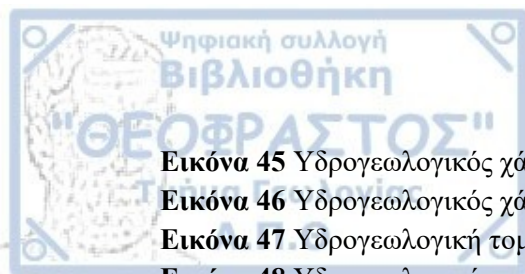


2.1.3.5	ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΙΣ ΞΗΡΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ	19
2.1.3.6	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	20
2.1.4	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΗΓΩΝ	22
2.1.5	ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΗΓΩΝ.....	23
2.2	ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ	28
2.2.1	ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ	28
	ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ.....	28
2.3	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ	30
2.3.1	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	30
2.3.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΡΓΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	30
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	31
3.1	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	31
3.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	34
3.2.1	ΦΡΑΓΜΑ ΚΙΒΕΡΙΟΥ, ΑΡΓΟΣ	34
3.2.2	ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ, ΚΡΗΤΗ	37
3.2.3	ΦΡΕΑΤΙΟ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΤΟΥ	39
	ΠΟΡΟΥ, ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ	39
3.2.4	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΤΟΥ ΜΠΑΛΙΟΥ, ΚΡΗΤΗ.....	40
3.2.5	ΠΗΓΗ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ, ΚΡΗΤΗ	41
3.3	ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	44
3.3.1	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΚΡΟΑΤΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	44
3.3.1.1	ΠΗΓΕΣ ROBINZON, ΚΡΟΑΤΙΑ	45
3.3.1.2	ΠΗΓΕΣ NOVLANSKA ZRNOVNICA, ΚΡΟΑΤΙΑ.....	46
3.3.1.3	ΠΗΓΗ BLAZ, ΚΡΟΑΤΙΑ	47
3.3.1.4	ΠΗΓΗ ΤΗΣ MARTINISCICA, ΚΡΟΑΤΙΑ	48
3.3.1.5	ΠΗΓΗ ΤΗΣ SLANO, ΚΡΟΑΤΙΑ	49
3.3.1.6	ΠΗΓΗ ΝΟΤΙΑΣ ISTRIA, ΚΡΟΑΤΙΑ	50
3.3.1.7	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ ΚΟΝΣΑ-ZATON, ΚΡΟΑΤΙΑ.....	51
3.3.1.8	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ SIPAN, ΚΡΟΑΤΙΑ	52
3.3.1.9	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ PERILO, ΡΙΕΚΑ, ΚΡΟΑΤΙΑ.....	53
3.3.1.10	ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΗΓΩΝ ΚΟΛΠΟΥ TRSTENICA, ΚΡΟΑΤΙΑ	54
3.3.1.11	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ZVIR II, ΡΙΕΚΑ, ΚΡΟΑΤΙΑ.....	54
3.3.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΧΩΡΟ	57
3.3.2.1	ΠΕΡΙΟΧΗ PORT-ΜΙΟΥ, ΓΑΛΛΙΑ.....	57
3.3.2.2	ΦΡΑΓΜΑ ΠΗΓΩΝ AURISINA, TRIESTE, ΙΤΑΛΙΑ.....	58
3.3.2.3	ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ GARGANO, ΙΤΑΛΙΑ.....	59



3.3.2.4	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ MAR PICCOLO, ΙΤΑΛΙΑ	59
3.3.2.5	ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΟΥ SALENTO, ΙΤΑΛΙΑ	61
3.3.2.6	ΠΗΓΕΣ ΚΟΤΟΡ, ΣΕΡΒΙΑ.....	61
3.3.2.7	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ SIERRA DE GADOR, ΙΣΠΑΝΙΑ	62
3.3.2.8	ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΟΥ KRAS, ΣΛΟΒΕΝΙΑ.....	62
3.3.2.9	ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΟΥΑΚΙΚ, ΤΟΥΡΚΙΑ.....	63
3.3.2.10	Ο ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΗΣ ΓΟΚΟΒΑ, ΤΟΥΡΚΙΑ.....	64
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	67
	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

Εικόνα 1 Απεικόνιση του καρστικού τοπίου και των υπόγειων χαρακτηριστικών	3
Εικόνα 2 Κατανομή καρστικών σχηματισμών στην Ελλάδα.	3
Εικόνα 3 Κατεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων	5
Εικόνα 4 Παράκτια Α και υποθαλάσσιες Β,Γ, πηγές και υποθαλάσσιες εισροές Δ.....	6
Εικόνα 5 Εμφάνιση υποθαλάσσιας πηγής στην επιφάνεια της θάλασσας.....	7
Εικόνα 6 Υφαλμύριση καρστικής πηγής	8
Εικόνα 7 Καρστικές πηγές ανά ευρύτερη γεωγραφική περιοχή.....	8
Εικόνα 8 Γεωγραφική κατανομή καρστικών πηγών με βάση τον τύπο τους	9
Εικόνα 9 Κατανομή καρστικών πηγών με βάση την περιεκτικότητα σε χλωρίοντα.....	10
Εικόνα 10 Διακύμανση της σκληρότητας του νερού των καρστικών πηγών	11
Εικόνα 11 Γεωγραφική κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την σκληρότητα	12
Εικόνα 12 Κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την παροχή τους.....	13
Εικόνα 13 Γεωγραφική κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την παροχή τους.....	13
Εικόνα 14 Παράκτια πηγή με σίφωνα σε καρστικό σύστημα ροής υδροφόρου πιεζομετρικών επιφανειών	19
Εικόνα 15 Αξιοποίηση της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας για αφαλάτωση στην Μήλο	21
Εικόνα 16 Αφαλάτωση νερού στην Κίμωλο	21
Εικόνα 17 Αφαλάτωση στην Δυτική Αυστραλία	22
Εικόνα 18 Τυπική επιφανειακή απόδειξη ύπαρξης υποθαλάσσιας πηγής.....	23
Εικόνα 19 Σχέδιο του σίφωνα στο στόμιο ανάβλυσης	24
Εικόνα 20 Σχέδιο του συστήματος της υποθαλάσσιας πηγής	24
Εικόνα 21 Σύστημα «σίφωνα-καμπάνα»	25
Εικόνα 22 Σκίτσο του σχεδιασμένου συστήματος για την πρώτη δοκιμή εκμετάλλευσης που πραγματοποιήθηκε στη «Citro Galeso»	26
Εικόνα 23 Πειραματική εκμετάλλευση στην υποθαλάσσια πηγή της «Citro Galeso».....	26
Εικόνα 24 Μέθοδος της ημι-βυθισμένης σημαδούρας	27
Εικόνα 25 Απεικόνιση της υποθαλάσσιας πηγής (1) και του συστήματος σύλληψης (2).....	27
Εικόνα 26 Σχηματική παράσταση παράκτιου καρστικού υδροφορέα.....	28
Εικόνα 27 Θέση και γεωμετρία της μεταβατικής ζώνης του υφάλμυρου νερού σε καρστικούς υδροφόρους	29
Εικόνα 28 Γραφική αναπαράσταση της Γενικής Υδρογεωλογικής Συμπεριφοράς των παράκτιων καρστικών υδροφορέων	33
Εικόνα 29 Φράγμα και αντλιοστάσιο Κιβερίου	35
Εικόνα 30 Τομή φράγματος Ανάβαλου Κιβερίου Άργους	35
Εικόνα 31 Φράγμα Κιβερίου. Δομές αφαλάτωσης που προτάθηκαν	37
Εικόνα 32 Πηγές Μαλαύρας.....	38
Εικόνα 33 Πανοραμική άποψη του μετώπου εμφάνισης πηγών Μαλαύρας.	38
Εικόνα 34 Κάτοψη και τομή του μηχανισμού σύλληψης στον Πόρο Κεφαλληνίας.....	39
Εικόνα 35 Δομές για την αφαλάτωση των πηγών στον κόλπο του Μπαλί.....	40
Εικόνα 36 Τύποι πηγών στον κρητικό χώρο και η περιοχή μελέτης του Ηρακλείου.....	41
Εικόνα 37 Η πηγή Αλμυρού Ηρακλείου και η λεκάνη απορροής	42
Εικόνα 38 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής γύρω από την πηγή του Αλμυρού	42
Εικόνα 39 Σημερινή εικόνα της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου	43
Εικόνα 40 Κατανομή κύριων παράκτιων καρστικών υδροφόρων της Νότιας Ευρώπης	45
Εικόνα 41 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής Robinzon	46
Εικόνα 42 Ζώνη παράκτιας πηγής Novlanska Zrnovnica	47
Εικόνα 43 Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής της πηγής στη Novljanska Zrnovnica	47
Εικόνα 44 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Martiniscica.....	49



Εικόνα 45	Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Σλάνο	50
Εικόνα 46	Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Νότιας Ιστρίας.....	51
Εικόνα 47	Υδρογεωλογική τομή της υδρομαστευτικής στοάς του Zaton	52
Εικόνα 48	Υδρογεωλογική τομή υδρομαστευτικού έργου	52
Εικόνα 49	Υδρογεωλογικός χάρτης της ζώνης της πηγής του Perilo.....	53
Εικόνα 50	Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής της Ριέκας	55
Εικόνα 51	Σύστημα σπηλαίων στη ζώνη σύλληψης των υδάτων.....	55
Εικόνα 52	Έννοια του μηχανισμού μόλυνσης του γλυκού νερού απο το αλμυρό, στην υποθαλάσσια πηγή του Port-Miou	57
Εικόνα 53	Καταγραφική απεικόνιση των φραγμάτων και του υπερχειλιστή του έργου.....	58
Εικόνα 54	Φράγμα Aurisina και εσωτερικές πηγές.....	58
Εικόνα 55	Η περιοχή του Mar Piccolo και οι πηγές του Citro	60
Εικόνα 56	Περιοχή μελέτης της λεκάνης Onacik.....	64
Εικόνα 57	Παροχή των υποθαλάσσιων πηγών του Onacik.....	64



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χώρες που αποτελούνται κατά ένα μεγάλο μέρος της συνολικής τους έκτασης από ανθρακικά πετρώματα και επομένως και ανθρακικούς σχηματισμούς αλλά και συνδέονται γειτονικά με θάλασσα, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην έρευνα, στην εκμετάλλευση και στην αξιοποίηση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων και των υπόγειων νερών τους.

Στην Ελλάδα το 33% του ανάγλυφου της επιφάνειας καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα (Παπαδοπούλου, 2000). Λόγω της ευρύτατης εξάπλωσης αυτών των πετρωμάτων, η ανθρωπογενής δραστηριότητα και εκμετάλλευση των καρστικών περιοχών είναι σημαντική διότι σχετίζεται με το νερό, τον ορυκτό πλούτο και τη φυσική ομορφιά, που με τη σειρά τους συνδέονται με την ορυκτό-μεταλλευτική βιομηχανία, την κατασκευή δρόμων, κτηρίων και άλλων δομών. Για τον λόγο αυτό, ο προγραμματισμός της χρήσης της γης των καρστικών περιοχών είναι ζωτικής σημασίας για τις περιοχές του καρστ και είναι το «κλειδί» για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε ανθρώπινα και φυσικά συστήματα.

Οι παράκτιοι καρστικοί υδροφορείς έχουν σημαντικό ρόλο ως υδάτινοι πόροι και μερικές φορές είναι οι μόνοι διαθέσιμοι στους ανθρώπους που ζουν στις παράκτιες περιοχές και πολύ συχνά, αυτοί οι υδροφορείς έχουν υδραυλικές συνδέσεις με τη θάλασσα.

Η κυκλοφορία του νερού μέσω καρστικών υδροφορέων μεταβάλλεται, δηλαδή ρέει γρήγορα μέσα από διευρυμένους αγωγούς και ρωγμές και πιο αργά μέσω καλά διαβαθμισμένων πόρων και ρωγμών. Η ροή των υπογείων υδάτων στους αγωγούς και τις ρωγμές των καρστικών υδροφορέων διαφέρει ριζικά από τη ροή σε άλλους υδροφορείς.

Προκειμένου να συζητηθούν οι υδραυλικές σχέσεις μεταξύ της θάλασσας και των καρστικών υδροφορέων στις παράκτιες ζώνες, περιγράφονται οι διαφορές των παράκτιων υδροφορέων με ειδικές συνθήκες ροής και οι δυνατότητες αξιοποίησης αυτών. Αυτή η εργασία βασίζεται σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, περιλαμβάνοντας πρόσθετες νεότερες πληροφορίες και ασχολείται με τους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες και τις παράκτιες υφάλμυρες καρστικές πηγές και τις εκροές τους στην ξηρά ή στη θάλασσα.

Η εισροή του θαλασσινού νερού στο σύστημα των παραπάνω υδροφορέων βρίσκεται σε απευθείας σύνδεση με την εκμετάλλευση και τη διαχείριση των υπόγειων νερών των παράκτιων υδροφορέων. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε παράκτια φρεάτια είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό επαναφόρτισης των υδροφορέων, τότε έχουμε διείσδυση του θαλασσινού νερού και έτσι οδηγούμαστε σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των πηγών. Στον ελλαδικό χώρο το φαινόμενο αυτό είναι υπαρκτό στους περισσότερους παράκτιους καρστικούς υδροφορείς, προκαλώντας μεγάλη υποβάθμιση και περιορισμούς στις χρήσεις του νερού. Παρ' όλα αυτά έχουμε και εκείνες τις καταστάσεις εκτόνωσης των παράκτιων καρστικών υδροφορέων από παραθαλάσσιες ή/και υποθαλάσσιες πηγές ανάβλυσης γλυκού νερού.

Οι αρδευτικές και υδρευτικές απαιτήσεις σε νερό αυξάνονται συνεχώς και οδηγούν σε έρευνες και μελέτες των καρστικών πηγών και των υδροφορέων που τις τροφοδοτούν σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι έρευνες αυτές εστιάζουν στην εύρεση, στην προστασία και στην αξιοποίηση των ήδη υπάρχοντων πόρων, έτσι ώστε να καλυφθεί η υψηλή ζήτηση σε νερό.

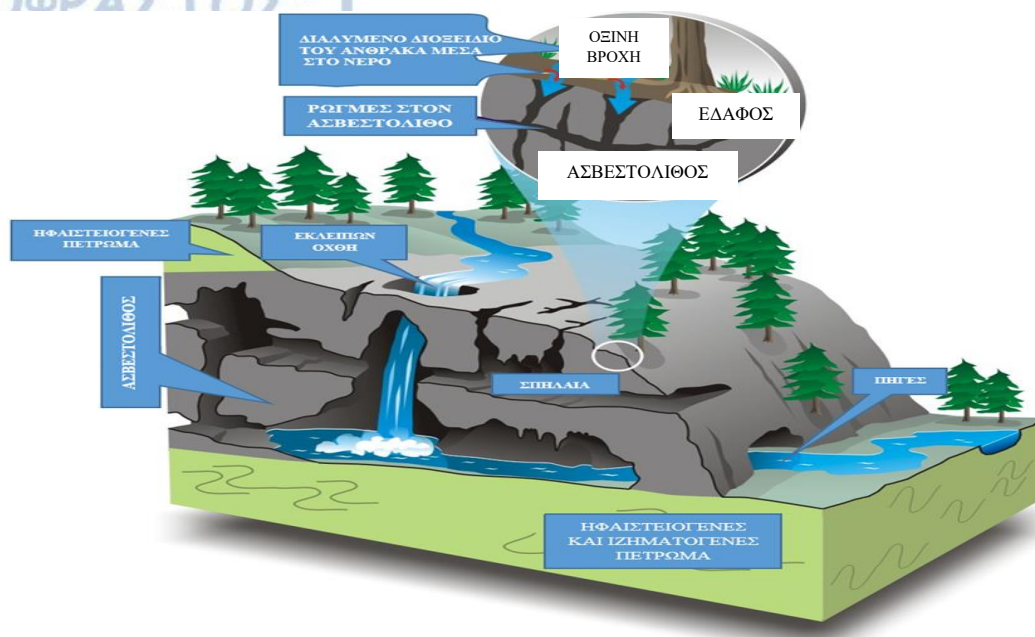
Η υφαλμύριση είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί λόγω της έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων και επομένως δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθεί το πρόβλημα. Η κατάσταση του προβλήματος γίνεται όλο και πιο δύσκολη, καθώς με την εφαρμογή των απαιτούμενων μέτρων αντιμετώπισης επηρεάζονται οι νομικοί, οικονομικοί, πολιτικοί και κοινωνικοί παράγοντες.

1.2 ΚΑΡΣΤ

Το καρστικό ανάγλυφο είναι σύνηθες φαινόμενο στους ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) και στους εβαπορίτες (γύψους, ανυδρίτες). Η παρουσία διαφόρων επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών, εμφανίζει σημαντικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά (White & William, 1988).

Η ανάπτυξη του καρστ εξαρτάται επίσης από τον τρόπο με τον οποίο το νερό εισάγεται στο καρστικό σύστημα. Η καρστικοποίηση που προχωράει προς τα βάθύτερα στρώματα έχει χωροταξικό χαρακτήρα και μπορεί να φτάσει σε βάθος χιλιομέτρων του υποβάθρου όπου δημιουργούνται οι υπόγειες καρστικές μορφές. Η ύπαρξη των υπόγειων αγωγών και σπηλαίων επιτρέπουν την ανάπτυξη υδροφόρων συστημάτων.

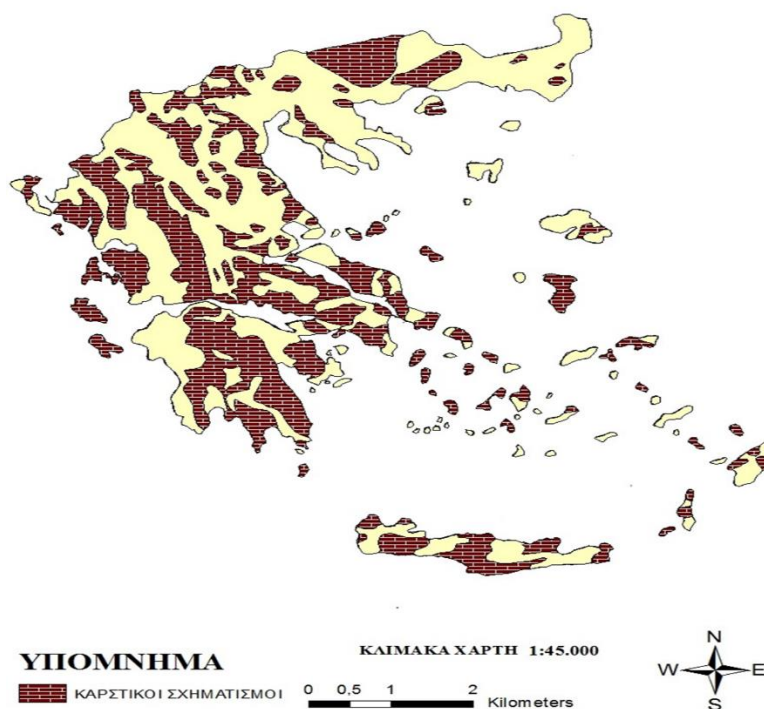
Στις καρστικές περιοχές έχουμε μεγαλύτερη κατείδδυση. Η επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων είναι πολύ διαπερατή, αλλά αυτή η διαπερατότητα μειώνεται με το βάθος. Οι δομές που δημιουργούνται από την προσβολή των ανθρακικών πετρωμάτων ονομάζονται καρστικές δομές και καθορίζουν την υδρογεωλογική συμπεριφορά αυτών (εικ. 1).



Εικόνα 1 Απεικόνιση του καρστικού τοπίου και των υπόγειων χαρακτηριστικών (Τροποποίηση από www.geodifhs.com).

Οι καρστικές δομές διακρίνονται σε εξωκαρστικές και ενδοκαρστικές, ανάλογα με το που βρίσκονται, δηλαδή στην επιφάνεια ή σε βάθος αντίστοιχα. Αποτελούν μορφολογικούς σχηματισμούς οι οποίοι προκύπτουν από τη διαλυτική δράση του νερού στα ανθρακικά πετρώματα. Παρακάτω παρατηρούμε και την κατανομή των καρστικών σχηματισμών στον ελληνικό χώρο (εικ. 2).

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ



Εικόνα 2 Κατανομή καρστικών σχηματισμών στην Ελλάδα (Τροποποίηση από Κουμαντάκης κ.ά., 2004).

1.3 ΠΗΓΕΣ

1.3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

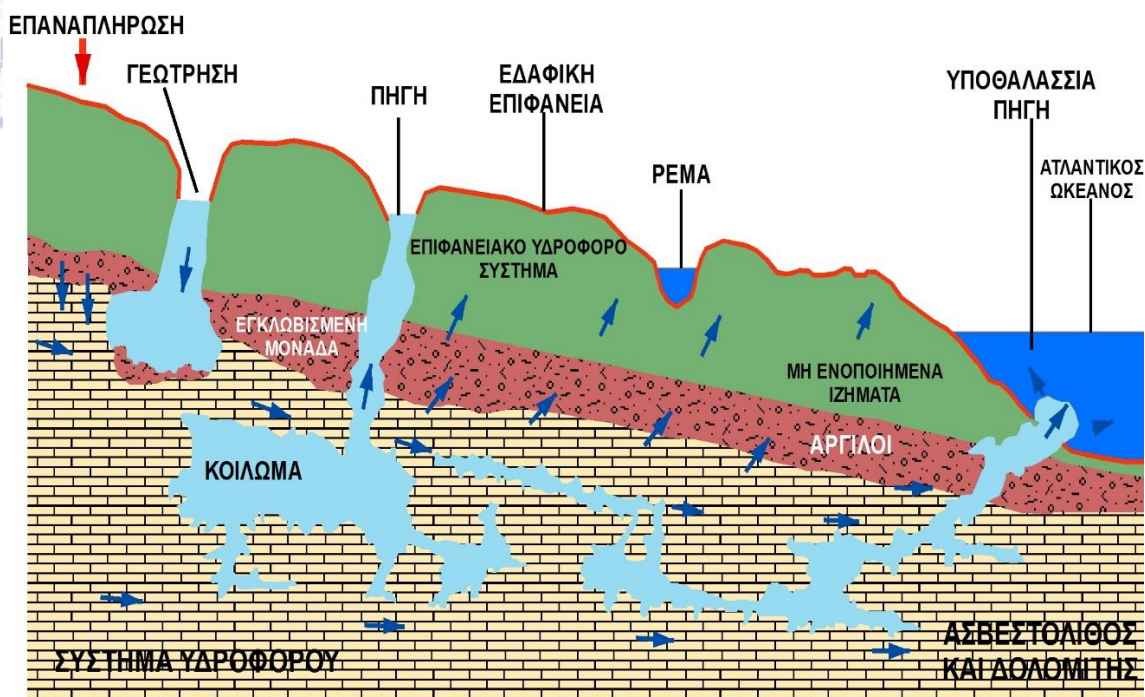
Η συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού και η εμφάνισή της στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα που ρέει ελεύθερα, αποτελεί τον ορισμό της πηγής (Todd, 1980) (εικ. 3).

Μια πηγή σχηματίζεται όταν η πλευρά ενός λόφου, το κάτω μέρος μιας κοιλάδας ή μια άλλη ανασκαφή, τέμνουν ένα ρέον σύστημα υπόγειων υδάτων στο τοπικό υδροφόρο ορίζοντα ή κάτω από αυτόν, κάτω από τον οποίο το υλικό κάτω από την επιφάνεια είναι κορεσμένο με νερό. Μια πηγή είναι το αποτέλεσμα ενός υδροφόρου ορίζοντα που πληρώνεται στο σημείο που το νερό υπερχειλίζει πάνω στην επιφάνεια της γης.

Οι πηγές δεν περιορίζονται μόνο στην επιφάνεια της Γης. Οι επιστήμονες έχουν ανακαλύψει τις ιαματικές πηγές σε βάθος έως 2,5 χιλιομέτρων στους ωκεανούς, γενικά κατά μήκος των μέσο-ωκεάνιων ρηγμάτων (κορυφογραμμές εξάπλωσης). Το ζεστό νερό (πάνω από 300 °C) που προέρχονται από αυτές τις πηγές είναι επίσης πλούσιο σε μέταλλα και θείο, το οποίο οδηγεί σε ένα μοναδικό οικοσύστημα στο οποίο ασυνήθιστα και εξωτικά θαλάσσια ζώα φαίνεται να ευδοκιμούν.

Η κατηγοριοποίηση των πηγών γίνεται με βάση κάποια κριτήρια, και με βάση αυτά έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- ❖ Με βάση την ετήσια διακύμανση της παροχής,
- ❖ Με βάση την παροχή της πηγής και το αν είναι συνεχής ή όχι,
- ❖ Με βάση την μέση παροχή της πηγής,
- ❖ Με βάση τις γεωλογικές συνθήκες δημιουργίας που επικρατούν και τις λειτουργίες αυτών,
- ❖ Με βάση τα θερμοκρασιακά δεδομένα,
- ❖ Με βάση το σημείο ανάβλυσής σε σχέση με την ακτή της θάλασσας,
- ❖ Με βάση την χημική σύσταση του νερού της πηγής και την περιεκτικότητα αυτού σε στοιχεία και μέταλλα,
- ❖ Με βάση το είδος του πετρώματος του υδροφόρου και της ζώνης τροφοδοσίας.



Εικόνα 3 Κατεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων (Τροποποίηση από www.water.usgs.gov).

1.3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΗΓΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

Η κατηγοριοποίηση των πηγών με βάση τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν γίνεται ως εξής (Σούλιος, 2004):

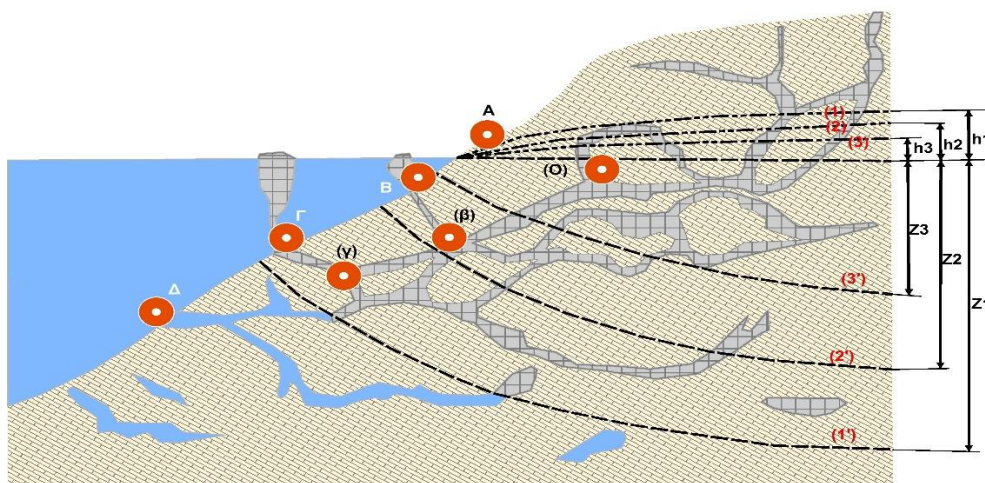
- ❖ *Ρηγματογενής πηγή*, συνδέεται με την παρουσία κάποιου ρήγματος,
- ❖ *Πηγή επαφής*, δημιουργείται από επικάλυψη περατού πάνω σε αδιαπέρατο σχηματισμό,
- ❖ *Πηγή ψευδοεπαφής*, όταν το πάχος του γεωλογικού σχηματισμού δεν είναι ομοιγενές,
- ❖ *Υπερπληρωτική πηγή*, όταν το νερό της κατείσδυσης τροφοδοτεί το υδροφόρο στρώμα, η στάθμη του φτάνει πάνω από το έδαφος και έτσι έχουμε υπερχείλιση.
- ❖ *Διαλείπουσα πηγή*, όταν το νερό κινείται μέσω ενός σίφωνιου, φθάνει στο σημείο ανάβλυσσης και η στάθμη του υδροφόρου ανέρχεται για σωστή λειτουργία,
- ❖ *Ανερχόμενη ρηγματογενής πηγή*, όταν η παρουσία ενός ρήγματος οδήγησε στην άνοδο του υδροφόρου στρώματος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και το νερό ακολουθεί την διαπερατή διαδρομή.
- ❖ *Βωκλυζιανή πηγή*, όταν το νερό ανέρχεται διά μέσω μιας μεγάλης οπής και αυτό γίνεται εξαιτίας υδροστατικής πίεσης.

1.3.3 ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Σε ένα μέτωπο εκροής γλυκού νερού προς τη θάλασσα από ένα υδροφόρο αλλουβιακό σύστημα, έχουμε διάχυτες υποθαλάσσιες αναβλύσεις και ίσως μερικές μικρές ή σπάνια μεγάλες πηγές.

Όταν όμως πρόκειται για παράκτια υδροφόρα συστήματα ρωγμωδών σχηματισμών και ιδίως καρστικών σχηματισμών που έχουν μεγάλο υπόγειο υδάτινο δυναμικό και στην Ελλάδα είναι η συνήθης περίπτωση, τότε έχουμε μια κύρια παράκτια πηγή, την Α, και μία ή περισσότερες υποθαλάσσιες τις Β και Γ σε διαφορετικά βάθη (εικ. 4). Συχνά όμως υπάρχει και ένας υποθαλάσσιος αγωγός ο Δ από τον οποίο εισρέει θαλασσινό νερό προς τη στεριά. Ανάλογα με τη θέση της πιεζομετρικής στάθμης του παράκτιου υδροφόρου, έχουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις.

Ανάλογα με την πιεζομετρία του παράκτιου υδροφορέα η παράκτια πηγή θα έχει γλυκό ή υφάλμυρο νερό και οι υποθαλάσσιες πηγές θα έχουν γλυκό ή υφάλμυρο νερό ή θα λειτουργούν ως «εσταβέλλες» (δηλαδή με εναλασσόμενη διεύθυνση ροής από ή προς τη θάλασσα (Σούλιος, 2004).



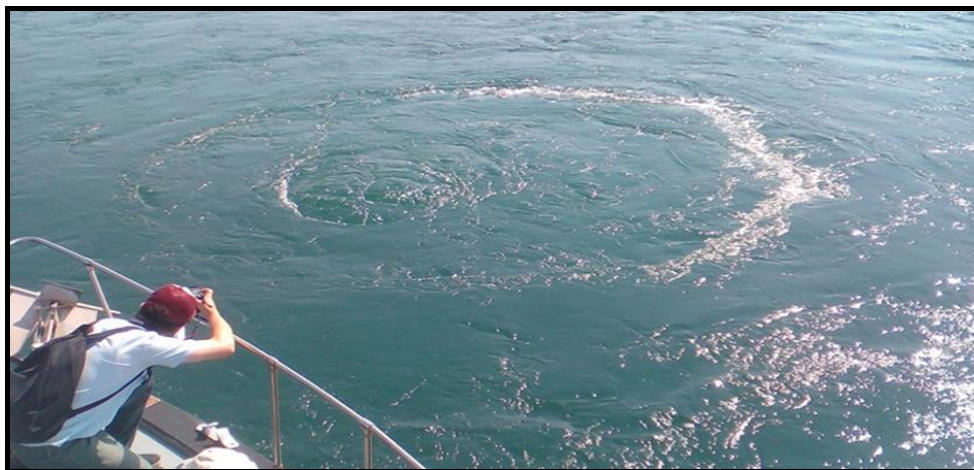
Εικόνα 4 Παράκτια Α και υποθαλάσσιες Β,Γ, πηγές και υποθαλάσσιες εισροές Δ (Τροποποίηση από Σούλιος, 2004).

- Οι παράκτιες πηγές στον ελληνικό χώρο είναι αρκετές και με ιδιαίτερη σημαντικότητα και συνήθως εκφορτίζουν σε μεγάλες καρστικές μάζες με πλούσιο υδάτινο δυναμικό προς τη θάλασσα. Αντικείμενα μελέτης γίνανε οι Πηγές Κέρης-Κιβερίου-Ανάβαλου Αργολίδας, η Πηγή Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης, η Πηγή Αλμυρού Αγίου Νικολάου Κρήτης, οι Πηγές Σάμης-Ευθυμίας στην Κεφαλονιά κ.α.

Στις περισσότερες από αυτές τις πηγές έχει παρατηρηθεί ότι η παροχή τους είναι μεγάλη, δηλαδή όταν η στάθμη είναι υψηλή, η περιεκτικότητα του νερού σε χλωριόντα είναι μικρή, ενώ όταν η παροχή είναι μικρή και η στάθμη χαμηλή, τότε η περιεκτικότητα σε χλωριόντα είναι μεγάλη, όπως π.χ. στην πηγή Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης.

Η διακύμανση της στάθμης της θάλασσας, επηρεάζει την παροχή πολλών παράκτιων πηγών, ενώ η παλιρροιακή διακύμανση της θάλασσας, δεν φαίνεται να την επηρεάζει. Επηρεάζει όμως, η υπερπαλιρροϊκή διακύμανση, τη στάθμη του υδροφόρου η οποία είναι διασυνδεμένη με τη στάθμη της θάλασσας (Μπεζές, 1983).

- Όσον αφορά τις υποθαλάσσιες είναι άμεσα ορατές και άλλες όχι (εικ. 5). Είναι δυνατό να εντοπισθούν όμως, με μεθόδους τηλεπισκόπησης. Η συνηθέστερη θερμοκρασία των νερών των πηγών αυτών γύρω στους 15 °C, παρουσιάζοντας έτσι μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στο νερό των θαλασσών και του νερού ανάβλυσης των υποθαλάσσιων πηγών, τους θερινούς μήνες (Σούλιος, 2004).



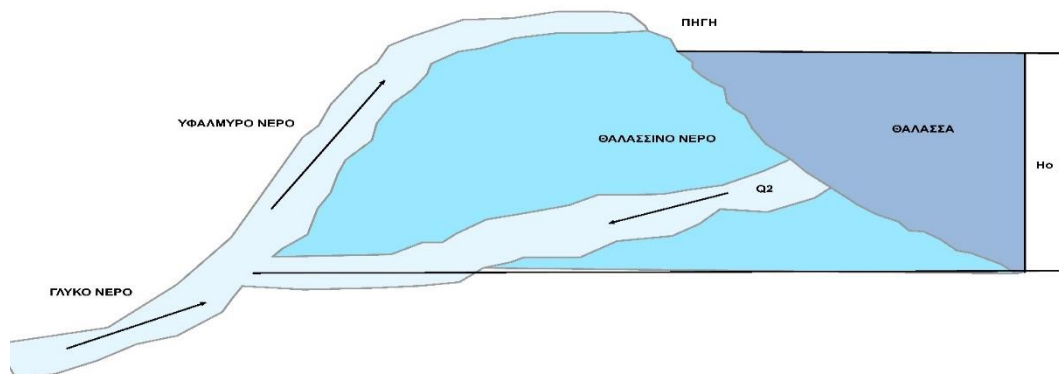
Εικόνα 5 Εμφάνιση υποθαλάσσιας πηγής στην επιφάνεια της θάλασσας (υποθαλάσσια πηγή Citro Galeso στο Mar Piccolo του Taranto) (www.seaxp.com).

- Για την αξιοποίηση των υποθαλάσσιων πηγών έχουμε δύο τρόπους:
 1. Την κατασκευή φράγματος για τις παράκτιες πηγές μικρού βάθους, όπως στο Κιβέρι Αργολίδας,
 2. Εφαρμόζοντας την μεθοδο «σίφωνα-καμπάνας», για αποστασιοποιημένες από την ακτή και μερικού βάθους πηγές, με την χρήση ειδικής αντλίας που διακόπτει την άντληση σε περίπτωση υπέρβασης μιας τιμής της περιεκτικότητας σε χλωριόντα. (Σούλιος, 2004).

1.3.4 ΥΦΑΛΜΥΡΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Μια καρστική πηγή η οποία είναι παράκτια, καθώς και ο καρστικός υδροφόρος που την τροφοδοτεί θα βρίσκεται σε άμεση επαφή με τη θάλασσα, μπορεί να είναι υφάλμυρη ή περιοδικά υφάλμυρη. Αυτό οφείλεται είτε στη διαφορά πυκνότητας γλυκού-αλμυρού νερού, είτε στη συμβολή των δύο αγωγών και την ύπαρξη στένωσης

σε αυτή αφού μεταφέρουν το γλυκό νερό από τη λεκάνη της πηγής και το αλμυρό νερό από τη θάλασσα και έτσι, σύμφωνα με την εξίσωση του Bernoulli έχουμε το φαινόμενο της αναρρόφησης του θαλασσινού νερού, εξαιτίας της δημιουργίας υποπίεσης (Μαραμαθάς, 2002) (εικ. 6).



Εικόνα 6 Υφαλμύριση καρστικής πηγής (Τροποποίηση από Μαραμαθάς κ.α., 2006).

1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

1.4.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η ωριμότητα ενός καρστικού συστήματος συνδέεται άμεσα με το πλήθος και το μέγεθος των καρστικών πηγών. Επομένως, σε περιοχές επικράτησης ώριμου καρστ παρατηρούνται λίγες πηγές με μεγάλες παροχές, ενώ σε περιοχές όπου επικρατεί νεαρό καρστ παρατηρούνται μικρές και πολυάριθμες πηγές που όμως, δεν έχουν απογραφεί ακόμη. Στις εικόνες 7 και 8 αποτυπώνεται στις περιοχές της Ελλάδος, το πλήθος και η διασπορά των καρστικών πηγών και παράλληλα η πυκνότητα εμφάνισής τους καθώς και η ανομοιογένειά τους.



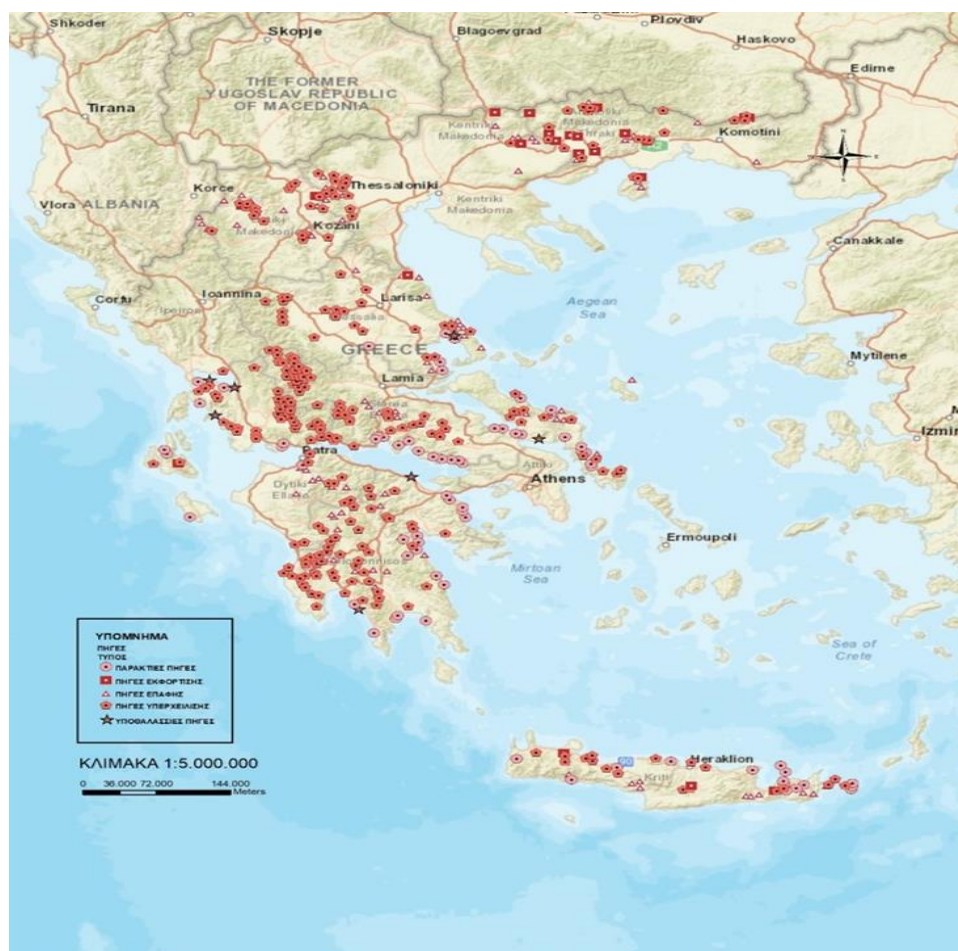
Εικόνα 7 Καρστικές πηγές ανά ευρύτερη γεωγραφική περιοχή.

Βασιζόμενοι στα τεύχη απογραφής του Ι.Γ.Μ.Ε. η ταξινόμηση των πηγών στον ελλαδικό χώρο γίνεται με βάση τον τύπο τους, στις εξής πέντε κατηγορίες (Κουμαντάκης κ.ά., 2004) (εικ. 8):

1. Πηγές εκφόρτισης,
2. Πηγές επαφής,
3. Πηγές υπερχειλίσσης,
4. Παράκτιες πηγές,
5. Υποθαλάσσιες πηγές.

Από τους παραπάνω τύπους πηγών, αξίζει να σημειωθεί ότι, ο τύπος πηγής που υπερτερεί είναι αυτός των πηγών υπερχειλίσσης και ανήκουν κατά το μεγαλύτερο μέρος τους σε ενδοχώριους καρστικούς υδροφορείς.

Στην νότια Ελλάδα παρατηρούμε μεγάλο πλήθος παράκτιων καρστικών πηγών (Ανατολική και Δυτική Στερεά Ελλάδα, Κρήτη, Πελοπόννησος και Εύβοια) με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τις υψηλές παροχές και τον υφάλμυρο τύπο των νερών τους. Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι οι συνθήκες αξιοποίησής τους είναι δύσκολες και περίπλοκες.



Εικόνα 8 Γεωγραφική κατανομή καρστικών πηγών με βάση τον τύπο τους (Τροποποίηση από Κουμαντάκης κ.ά., 2004). *Σημείωση:* Στις περιφέρειες της Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Δωδεκανήσων, Κυκλάδων και ΒΔ Ελλάδος δεν υπάρχει συστηματική απογραφή καρστικών πηγών.

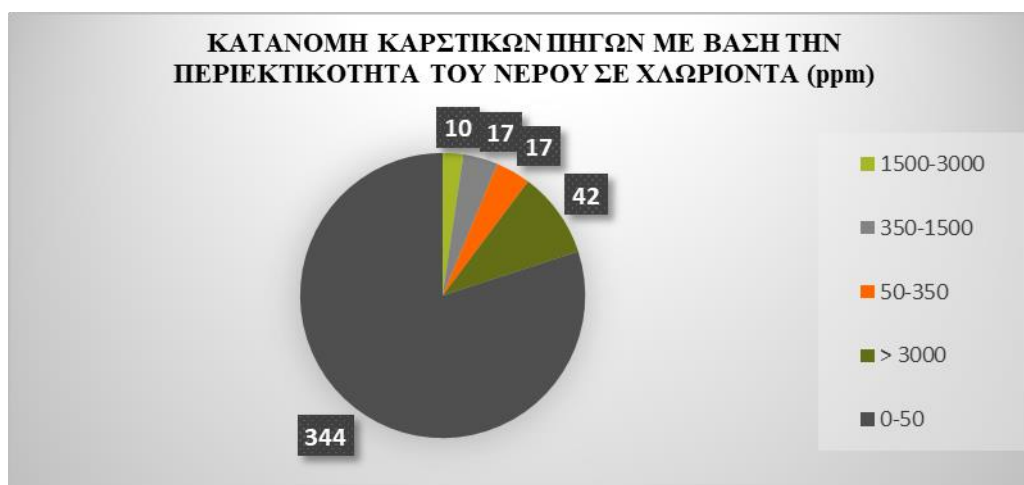
1.4.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Διακρίνουμε δύο υδροχημικούς τύπους καρστικών νερών, αυτόν του οποίου τα νερά έχουν υδροχημικά χαρακτηριστικά με άμεση εξάρτηση από λιθολογική σύσταση του καρστικού συστήματος. Επίσης, έχουμε και τον τύπο που συμπεριλαμβάνει τα νερά του παράκτιου καρστ, που εξαρτάται άμεσα από την επίδραση της θάλασσας.

Με βάση την χημική σύσταση των υδάτων των καρστικών πηγών υπάρχει εξάρτηση ανάμεσα σε αυτήν και στην ποιότητα του νερού, την χρήση τους και τον βαθμό αξιοποίησής τους. Η σκληρότητα, η περιεκτικότητα σε Cl^- και η μεταλλικότητα του νερού αποτελούν τις βασικές παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του νερού και επομένως και τη χρήση του (Κουμαντάκης κ.ά., 2004).

1.4.2.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Παρατηρώντας την εικόνα 9 και την κατανομή της περιεκτικότητας χλωριόντων του νερού αξίζει να σημειωθεί ότι αναφερόμαστε στις 430 πηγές από τις συνολικά 544 μιλώντας δηλαδή, για ένα ποσοστό της τάξεως του 79%. Προκύπτει λοιπόν ότι, 344 πηγές ανήκουν στην κατηγορία των 0-50 ppm, δηλαδή αυτής με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα. Συνεχίζοντας, 17 πηγές έχουν περιεκτικότητα 50-350 mg/l και αντίστοιχα άλλες 17 πηγές έχουν περιεκτικότητα 350-1500 mg/l. Αμέσως μετά, 10 πηγές έχουν περιεκτικότητα χλωριόντων 1500-3000 mg/l. Τέλος, 42 πηγές έχουν περιεκτικότητα σε χλωρίοντα μεγαλύτερη από 3000 mg/l. Η τιμή της περιεκτικότητας σε χλωρίοντα αυξάνει, ανάλογα με την ανάμειξη με το θαλασσινό νερό. Επομένως, οι πηγές με την υψηλότερη περιεκτικότητα είναι αυτές σε περιοχές παράκτιων καρστικών συστημάτων (Κουμαντάκης κ.ά., 2004).



Εικόνα 9 Κατανομή καρστικών πηγών με βάση την περιεκτικότητα του νερού σε χλωρίοντα.

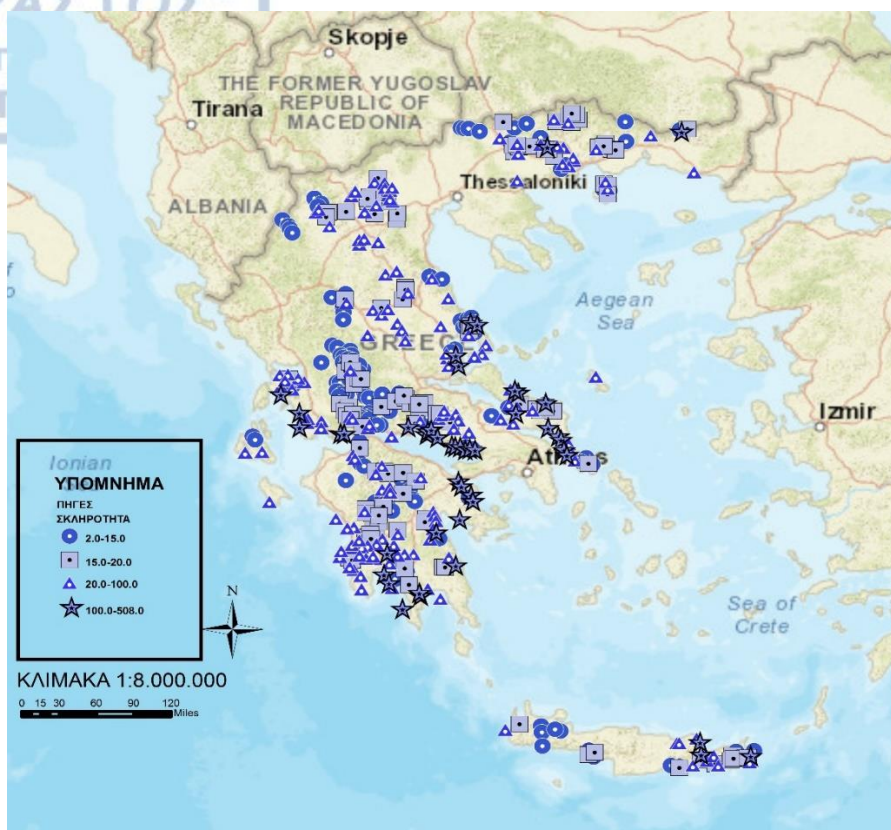
1.4.2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Συλλέγοντας πληροφορίες για την διακύμανση της μεταλλικότητας των νερών των καρστικών πηγών στον ελληνικό χώρο, και εδώ όπως και με την σκληρότητα, συμπεραίνουμε ότι σε τιμές μεταλλικότητας μεγαλύτερες των 1000 mg/l, αντιστοιχούν πηγές παράκτιων περιοχών και ο κύριως λόγος είναι η επαφή και ανάμειξη του θαλασσινού και του γλυκού νερού.

Στην εικόνα 10 και 11 παρατηρούμε την κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την ολική σκληρότητα των νερών τους διαπιστώνοντας έτσι, ότι χαρακτηρίζονται κατά κύριο μέρος από σκληρότητα με τιμές μεγαλύτερες από τους 15 γαλλικούς βαθμούς. Από τις συνολικά 486 πηγές για τις οποίες υπάρχουν καταγραφές της σκληρότητας των νερών, οι 137 πηγές έχουν τιμές σκληρότητας 2.0 έως 15.0 γαλλικούς βαθμούς, τιμές 15.0 έως 20.0 γαλλικούς βαθμούς παρατηρούνται σε 148 πηγές, ενώ 132 πηγές έχουν τιμές σκληρότητας 20.0 έως 50.0 γαλλικούς βαθμούς. Ο μικρότερος αριθμός πηγών που αντιστοιχεί σε 21 πηγές, παρουσιάζει 50.0 έως 100.0 γαλλικούς βαθμούς, ενώ τέλος για τιμές μεταξύ 50.0 και 508.0 γαλλικών βαθμών ο αριθμός των πηγών απαντάται σε 48, φανερώνοντας ότι οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε σκληρά έως πολύ σκληρά νερά και παρατηρώντας την εικόνα 11, κατανοούμε ότι η ολική σκληρότητα των νερών που πηγάζουν από τις πηγές που βρίσκονται κοντά σε παράκτια καρστικά συστήματα (Κουμαντάκης κ.ά., 2004) .



Εικόνα 10 Διακύμανση της σκληρότητας του νερού των καρστικών πηγών.



Εικόνα 11 Γεωγραφική κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την ολική σκληρότητα των νερών τους (Τροποποίηση από Κουμαντάκης κ.ά., 2004). *Σημείωση:* Στις περιφέρειες της Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Δωδεκανήσων, Κυκλάδων και ΒΔ Ελλάδος δεν υπάρχει συστηματική απογραφή καρστικών πηγών.

1.4.3 ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ

Ακόμη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των καρστικών πηγών είναι η παροχή τους και αποτελεί ιδιαίτερο κομμάτι στη χρήση τους σε συνδυασμό με την ποιότητα των νερών τους.

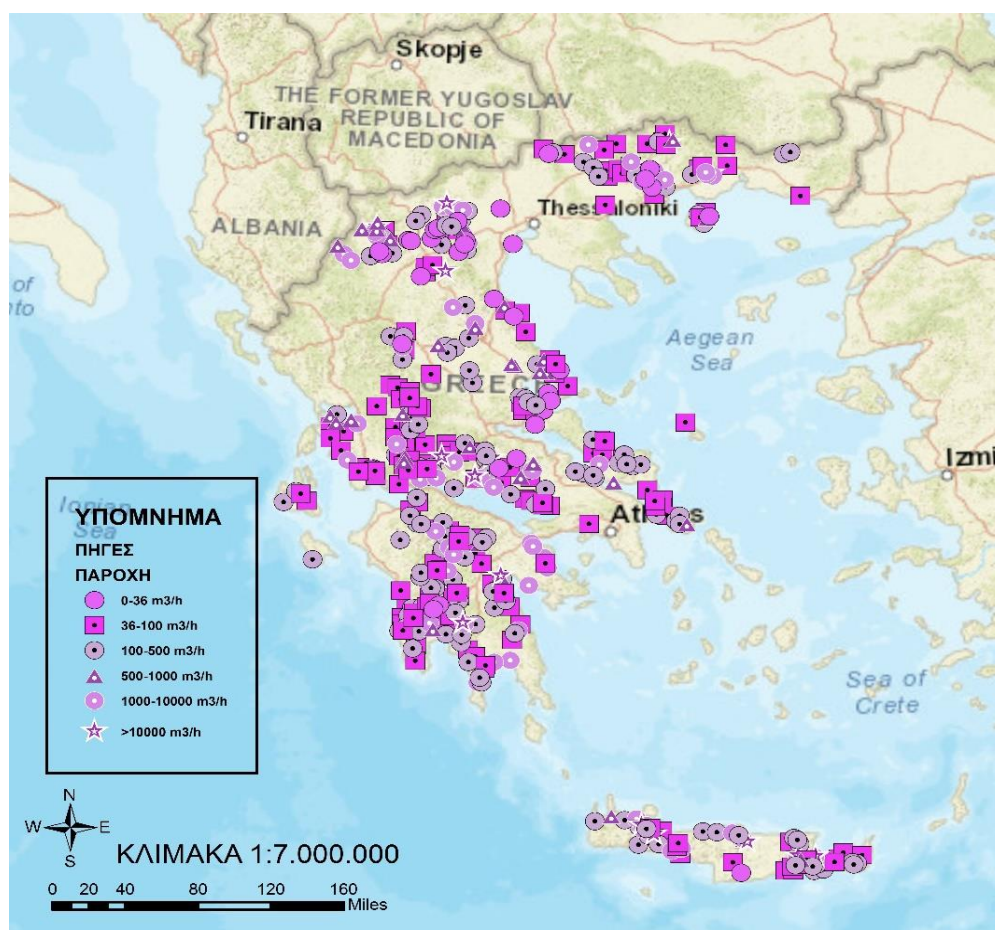
Το Ι.Γ.Μ.Ε. πραγματοποίησε απογραφή των καρστικών πηγών του ελλαδικού χώρου, καταγράφοντας μόνο τις πηγές με παροχή μεγαλύτερη των 36 m³/h, θεωρώντας την τιμή αυτή ως το κρίσιμο κατώτερο όριο για τη δυνατότητα αξιοποίησης της πηγής και δηλώνοντας την οικονομική της εκμεταλλευσιμότητα.

Κοιτώντας την εικόνα 12 συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση μεταξύ των τιμών της παροχής. Όπως προέκυψε από τις καταγραφές, η μικρότερη τιμή παροχής αντιστοιχεί σε 32 πηγές και είναι με 36 m³/h, ενώ παράλληλα παρατηρούνται και πολύ μεγάλες τιμές της τάξεως του 50400 m³/h στην Ανάβαλο. Τιμές παροχής 36–100 m³/h, χαρακτηρίζουν 193 πηγές, ενώ τιμές 100–500 m³/h παρατηρήθηκαν σε 190. Ένας μικρός αριθμός πηγών έχει παροχή 500–1000 m³/h (42 πηγές) και 1000–10000 m³/h (46 πηγές) και τέλος, όπως φαίνεται και στον χάρτη κατανομής στην

εικόνα 13, οι πηγές στον ελληνικό χώρο με παροχή μεγαλύτερη από 10000 m³/h είναι πολύ λίγες, στον αριθμό 21 (Κουμαντάκης κ.ά., 2004) .



Εικόνα 12 Κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την παροχή τους.



Εικόνα 13 Γεωγραφική κατανομή των καρστικών πηγών με βάση την παροχή τους (Τροποποίηση από Κουμαντάκης κ.ά., 2004). Σημείωση: Στις περιφέρειες της Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Δωδεκανήσων, Κυκλάδων και ΒΔ Ελλάδος δεν υπάρχει συστηματική απογραφή καρστικών πηγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΗΓΩΝ

2.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Οι διαφοροποιήσεις των τοπικών υδρογεωλογικών συνθηκών, συντελούν στο να έχουν διατυπωθεί πολλές διαφορετικές γνώμες στο θέμα του σχεδιασμού και της κατασκευής έργων, με σκοπό την εκμετάλλευση των νερών των παράκτιων καρστικών υδροφορέων.

Επομένως, είναι πιο ασφαλές να γίνεται αναζήτηση και μελέτη πολλών και διαφορετικών περιπτώσεων που αφορούν τα έργα αξιοποίησης των παράκτιων υδροφόρων, για να οδηγηθούμε σταδιακά στο καλύτερο αποτέλεσμα. Το είδος του έργου σύλληψης που θα προκύψει θα είναι προϊόν της επεξεργασίας των δεδομένων της συστηματικής έρευνας που θα γίνει. Αφού επιλεγθεί ο καταλληλότερος τύπος έργου με βάση τις συνθήκες ροής, τους κινδύνους, τα αποτελέσματα της μελέτης του υδροφορέα όσον αφορά τους κινδύνους υφαλμύρισης, καθώς και πως επιδρά το νερό της θάλασσας χημικά και μηχανικά έναντι του έργου. Έτσι, γίνεται επιλογή του πλέον κατάλληλου έργου και των παράλληλων βοηθητικών-συνοδών έργων με σκοπό να αξιοποιηθεί ο υδροφορέας που είναι υπό μελέτη.

Έτσι διακρίθηκαν δύο κατηγορίες έργων, αυτή των συμβατικών έργων και αυτή των ειδικών υδρομαστευτικών. Στην πρώτη κατηγορία έργων έχουμε αυτά που έχουν άμεση συσχέτιση με την άντληση ή την σύλληψη των υδάτων από πηγές, γεωτρήσεις και υδρομαστευτικές στοές.

Η ποσότητα του γλυκού νερού που είναι προς εκμετάλλευση καθώς και η υπάρχουσα κατάσταση του νερού του υδρομαστευτικού έργου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης, αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα όταν πρόκειται για περιπτώσεις άντλησης, έτσι ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ρύπανσης του συστήματος.

Η συγκεκριμένη μέθοδος εκμετάλλευσης παράκτιων υδροφορέων είναι η μοναδική που γνωρίζει εφαρμογή, ανεξάρτητα από το μειονέκτημά της στον τρόπο εκμετάλλευσης, καθώς υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης υφαλμύρισης λόγω των υπεραντλητικών συνθηκών, αφού επιτρέπεται η αξιοποίηση ενός μικρού μόνο μέρους των υδατικών πόρων του γλυκού νερού.

Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν τα υδρομαστευτικά έργα που σχετίζονται με την επίτευξη μιας «ασυνέχειας» στον υδροφορέα, έτσι ώστε να γίνει τροποποίηση των φυσικών συνθηκών ροής. Τα υδρομαστευτικά έργα διακρίνονται σε 1) «ασυνέχειες» για να δημιουργηθεί ένα πρόσθετο υδραυλικό φορτίο γλυκού νερού έτσι ώστε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ο κίνδυνος ρύπανσης των υδροφορέων και 2) σε «ασυνέχειες» με σκοπό τον διαχωρισμό ζώνης γλυκού νερού και ρυπασμένης ζώνης.

Όσον αφορά τα έργα για την αύξηση του υδραυλικού φορτίου, ένα φράγμα προκαλεί την αύξηση της πιεζομετρίας του γλυκού νερού, με σκοπό τον μετριασμό των συνθηκών ανταλλαγής και ανάμιξης του γλυκού και αλμυρού νερού σε έναν παράκτιο υδροφορέα. Έργα που γνώρισαν επιτυχία με τις διαδικασίες της παραπάνω μεθόδου είναι αυτό στον Αλμυρό Ηρακλείου στην Κρήτη, στον Ανάβαλο Κιβερίου στο Άργος και του Port-Miou στη Γαλλία.

Τα έργα με στόχο τον διαχωρισμό των ζωνών γλυκού και ρυπασμένου νερού περιλαμβάνουν έργα, που σκοπό έχουν να διακόψουν και να προκαλέσουν αποφυγή της άμεσης διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Τέτοιες κατασκευές είναι οι κουρτίνες τσιμεντενέσεων, οι διαφραγματικοί τοίχοι, τα υπόγεια φράγματα, τα διαφράγματα με χρήση στεγανών μεμβρανών κ.α. Έργα που κατασκευάστηκαν και σχετίζονται με αυτή την κατηγορία έργων είναι το φράγμα στον Ανάβαλο Κιβερίου του Άργους, όπου κατασκευάστηκε ένα τοξωτό φράγμα εντός της θαλάσσης, έτσι ώστε να απομονωθούν οι καρστικές υποθαλάσσιες πηγές. Επίσης το έργο στο Port-Miou της Μασσαλίας, όπου κατασκευάστηκε φράγμα εντός του υποθαλάσσιου καρστικού αγωγού.

Στην συγκεκριμένη κατηγορία έργων, υπάρχουν και κάποια όχι και τόσο συνηθισμένα έργα σύλληψης νερού από τις υποθαλάσσιες πηγές. Για την επίτευξη της σύλληψης του νερού γίνεται χρήση μιας συσκευής που περικυκλώνει τις πηγές, παγιδεύεται το νερό και δεν διαφεύγει στη θάλασσα και στην συνέχεια το νερό διαχέεται στην επιφάνεια της θαλάσσης, εφόσον αυτό επιτρέπεται από τις υπάρχουσες συνθήκες ή/και σε διαφορετική περίπτωση το νερό αντλείται μέσα από την συσκευή. Λειτουργεί έτσι σαν μια στενή γεώτρηση στην οποία εισέρχεται από τον πυθμένα γλυκό νερό. Τέτοιες κατασκευές περικύκλωσης είναι η στεγανή καμπάνα, το ανεστραμμένο καζάνι, το χωνί κτλ. Σχετικά παραδείγματα τέτοιων έργων έγιναν στην υποθαλάσσια πηγή Citro Galeso και Citro Citrello στο Taranto της Ιταλίας και σχεδιάστηκε από τον A. Stefanon (1972, 1973).

2.1.2 ΕΙΔΙΚΑ ΕΡΓΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ

Τα ειδικά έργα εκμετάλλευσης των παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών περιλαμβάνουν πλήθος τεχνικών, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

- ❖ Δίκτυα γεωτρήσεων,
- ❖ Υδρομαστευτικές γαλαρίες,
- ❖ Φράγματα,
- ❖ Πετάσματα τσιμεντενέσεων,
- ❖ Τεχνητός εμπλουτισμός,
- ❖ Φρεάτια και Τάφροι.

2.1.2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Η εκμετάλλευση με γεωτρήσεις είναι ο ευκολότερος τρόπος εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού σε σημαντικό βάθος. Η αυξημένη ζήτηση νερού με το πέρας των χρόνων και με την ανάπτυξη τεχνικών γεώτρησης, κατέστησαν δυνατή τη διάνοιξη γεωτρήσεων μεγάλου βάθους και ταυτοχρόνως οικονομικά αποδεκτών. Έχουμε δύο κατηγορίες τεχνικών διάτρησης και αυτές είναι η κρουστική και η περιστροφική διάτρηση, καθώς και ο συνδυασμός των δύο αυτών (Biondic et al., 2005).

2.1.2.2 ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΕΣ ΓΑΛΑΡΙΕΣ

Η χρήση τους γίνεται για την σύλληψη του υπόγειου νερού και ο τρόπος κατασκευής τους είναι τέτοιος ώστε να επιτρέπει την άμεση επικοινωνία με το υπόγειο νερό. Παρ' όλα αυτά η εισαγωγή των τεχνικών διάτρησης με γεωτρύπανα, οδήγησε στην εγκατάλειψη των υδρομαστευτικών γαλαριών. Ωστόσο στις Μεσογειακές καρστικές περιοχές, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των καρστικών υδροφορέων, οι υδρομαστευτικές γαλαρίες για την σύλληψη του νερού δεν εγκαταλείφθηκαν ποτέ. Σε αυτές τις συνθήκες γίνεται απευθείας σύλληψη του νερού από την περιοχή της πηγής ή σε διαφορετικές περιπτώσεις γίνεται διατομή του καρστικού αγωγού υπόγεια, με κάποιο τύπο υδρομαστευτικής γαλαρίας (Biondic et al., 2005).

2.1.2.3 ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Η κατασκευή αυτών, σε περιοχές παρουσίας καρστικών υδροφόρων έχει ως στόχο την απομόνωση του γλυκού νερού και την εμπόδιση της επαφής με το θαλασσινό νερό. Η κατασκευή τους γίνεται είτε επιφανειακά, είτε μέσα στο καρστικό σύστημα, ωστόσο γίνεται κοντά στην ακτή. Φράγματα εντός του καρστικού συστήματος χρησιμοποιούνται για τη σύλληψη του γλυκού νερού που προέρχεται από καρστικούς αγωγούς, οδηγώντας έτσι στην τοπική ανύψωση του υδραυλικού φορτίου του γλυκού νερού και στην αποκοπή μιας πιθανής διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους αγωγούς. Παρ' όλα αυτά η κατασκευή τους είναι δύσκολη και η αποτελεσματικότητά τους παρουσιάζει αμφιβολίες. Φράγμα εντός των καρστικών αγωγών, μπορεί να

οδηγήσει σε παράκαμψη του γλυκού ή του θαλασσινού νερού και φράγμα που κατασκευάζεται στη θάλασσα μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της παροχής ή στην ενεργοποίηση των πηγών έξω από την παράκτια ζώνη (Biondic et al., 2005).

2.1.2.4 ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

Η χρήση τους γίνεται σε ζώνες όπου παρατηρούνται εκφορτίσεις των παράκτιων πηγών, το μέτωπο της ανοικτής θάλασσας περιορίζεται σε στενότερες ζώνες, δίνοντας έτσι την δυνατότητα για εισπίεση ενεμάτων τσιμέντου. Όμως, η συγκεκριμένη μέθοδος εγκυμονεί κινδύνους για τυχόν αποτυχία και κινδύνους υψηλού κόστους. Έτσι η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ως ένα σημαντικό συμπληρωματικό εργαλείο (Biondic et al., 2005).

2.1.2.5 ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Ο τεχνητός εμπλουτισμός των παράκτιων καρστικών υδροφορέων δεν εφαρμόζεται συνήθως ως μέθοδος για την ανάκτηση ή την πρόληψη της θαλάσσιας διείσδυσης. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες εφαρμογές του τεχνητού εμπλουτισμού, ειδικά στις περιοχές όπου υπάρχουν τεχνητές λίμνες και δεξαμενές αποθήκευσης, που έχουν κατασκευαστεί για άλλους σκοπούς (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση, ύδρευση, κλπ).

Η αποδοτικότητα ενός έργου τεχνητού εμπλουτισμού, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη κατανόηση της γεωμετρίας και της υδροδυναμικής του συστήματος. Αυτό προϋποθέτει καλή γνώση της στρωματογραφίας, της λιθολογίας, της τεκτονικής, των κατευθύνσεων και των ταχυτήτων ροής των υπογείων υδάτων, των θέσεων και τον αριθμό των πηγών, τον χρόνο παραμονής του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, την διαστρωμάτωση του υδροφόρου στην παράκτια περιοχή κ.α. Τέλος, είναι απαραίτητη η λεπτομερής γνώση των χαρακτηριστικών του νερού που προορίζεται για τεχνητό εμπλουτισμό και η συμβατότητά του με αυτόχθονα υπόγεια ύδατα (Πιλάκας & Διαμαντής, 1998).

2.1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

2.1.3.1 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Αφαλάτωση είναι η διεργασία κατά την οποία γίνεται αφαίρεση των αλάτων από αλατούχα ύδατα και ουσίες και κατ' επέκταση γίνεται και ανάκτηση πόσιμου νερού, για κάθε χρήση, από το θαλασσινό. Είναι μια βιομηχανική μέθοδος κατά την οποία είτε απομακρύνεται το νερό από τα άλατα, είτε τα άλατα από το νερό. Η εφαρμογή τους είναι συνηθέστερη σε περιοχές δίπλα στη θάλασσα που είναι φτωχές σε πόσιμο νερό, όπου η μεταφορά του νερού δεν συμφέρει τεχνικά και οικονομικά.

Άλλες μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται είναι και οι ακόλουθες:

1. Απόσταξη
 - i. Multi-Stage Flash (MSF)
 - ii. Multiple-Effect evaporator (MED|ME)
 - iii. Συμπύκνωση ατμού
 - iv. Εξαέρωση/Συμπύκνωση
2. Μέθοδοι με μεμβράνες
 - i. Ηλεκτρόλυση
 - ii. Αντίστροφη όσμωση
 - iii. Νανοφίλτρα
 - iv. Ευθεία όσμωση
 - v. Δύλιση με μεμβράνες
3. Πάγωμα
4. Γεωθερμική αφαλάτωση
5. Κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο
6. Υψηλής ποιότητας ανακύκλωση νερού.
7. Ηλιακή απόσταξη

Οι δύο πιο σημαντικές κατηγορίες αφαλάτωσης αφορούν την απόσταξη και την μέθοδο με τις μεμβράνες. Η αφαλάτωση με αντίστροφη όσμωση παρέχει νερό ύδρευσης με υψηλή ποιότητα και είναι η πιο δοκιμασμένη και αναγνωρισμένη τεχνολογία.

2.1.3.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΚΟΠΗΣ

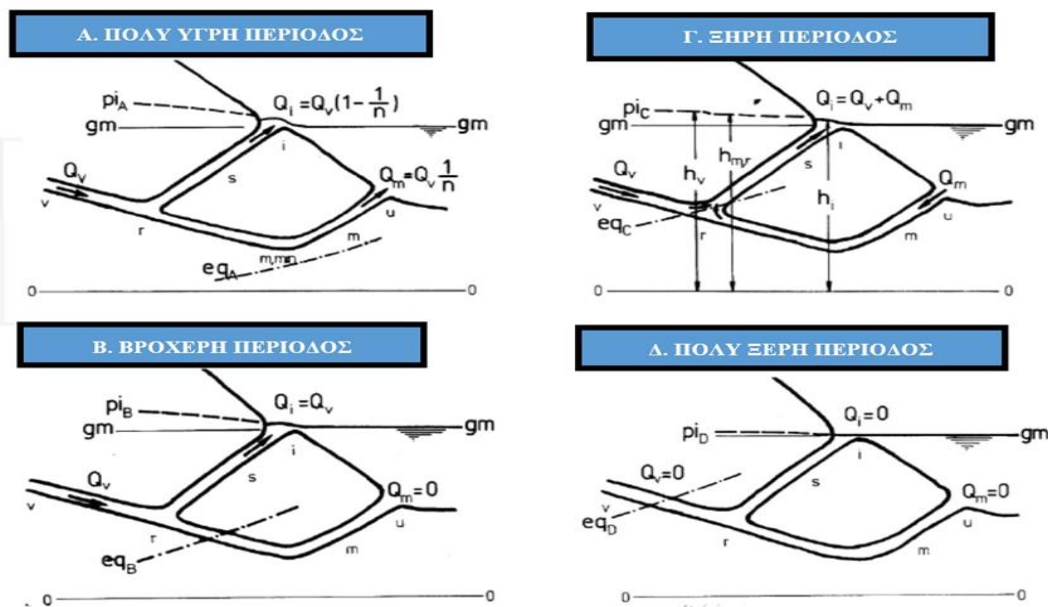
Η ιδέα αυτής της μεθόδου είναι η σύλληψη του γλυκού νερού στο εσωτερικό του καρστικού ορεινού όγκου, εκτός της ακτίνας επιρροής του θαλασσινού νερού. Επιτυχείς είναι οι γεωτρήσεις στο Klarici στη Σλοβενία, το σύστημα Zvir II στην Κροατία με διατρητές γεωτρήσεις, τα πηγάδια στον Κρουσώνα στην Ελλάδα και αλλού. Ανεπιτυχείς είναι, εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης, οι γεωτρήσεις στην Τύλισσο και στο Κερί της Ζακύνθου στην Ελλάδα και πολλές διατρητές βαθιές γεωτρήσεις στους παράκτιους υδροφορείς στη Murgia, στο Salento και στη Taranta στη νότια Ιταλία και σε άλλα μέρη (Pavlin, 1990).

2.1.3.3 ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ

Η ιδέα είναι να αποτρέψει την εισροή θαλασσινού νερού στον καρστικό ορεινό όγκο με έναν τοίχο ή μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων. Θετικά παραδείγματα είναι οι κουρτίνες τσιμεντενέσεων για τις πηγές Zrnovica και Bacvice στην Κροατία και αρνητικά για την κουρτίνα τσιμεντενέσεων στην πηγή Tabacina στο Μαυροβούνιο, του διαφραγματικού τοίχου στην πηγή Μαλαύρας στην Ελλάδα κ.α. (Breznik, 1998, Nonveiller, 1989, Vlahovic, 1983).

2.1.3.4 ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Η μέθοδος αυτή αποτρέπει την εισροή θαλασσινού νερού, αυξάνοντας τη στάθμη της πηγής με ένα φράγμα, μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων ή έναν διαφραγματικό τοίχο. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να επιτύχει μόνο σε έναν υδροφόρο με σίφωνα. Όμως, μια πολύ μεγάλη αύξηση της στάθμης θα μπορούσε να προκαλέσει τις απώλειες του γλυκού νερού, όπως φαίνεται στην εικόνα 14. Στην ξηρή περίοδο Γ, έχουμε άνοδο της στάθμης της πηγής από ανθρώπινη παρέμβαση προς την βροχερή περίοδο Β, και όχι από μια άνοδο της πολύ υγρής περιόδου Α (Breznik, 1971, 1973, Breznik & Steinman, 2008).



Εικόνα 14 Παράκτια πηγή με σίφωνα σε καρστικό σύστημα ροής υδροφόρου πιεζομετρικών επιφανειών (Breznik, 1989, 1998).

2.1.3.5 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΙΣ ΞΗΡΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

Η συγκεκριμένη μέθοδος θα μπορούσε να διατηρήσει χαμηλή την αλατότητα του νερού σε περιόδους ξηρασίας, σε πολλούς παράκτιους υδροφορείς μειωμένης παροχής για άντληση. Η μείωση της άντλησης εμποδίζει την αλάτωση της στοάς αποχέτευσης στην Κονκα-Zaton, στις ρωμαϊκές δεξαμενές (Bakar, Trogir), στο Sipan της Κροατίας (Biondic, 2005), και στην Klarici της Σλοβενίας (Breznik, 1998, Breznik & Steinman, 2008) κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων.

2.1.3.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Αυτή η μέθοδος απαιτεί ένα σίφωνα σχηματισμένο σε χαμηλότερη φλέβα και προτείνεται αύξηση του απόλυτου επιπέδου της στάθμης της πηγής, όπως στην περίπτωση της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου με διερρηγμένες γεωτρήσεις, με κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων και ενός μικρού φράγματος γύρω από μια αναμενόμενη καρστική πηγή υπερχείλισης στη χαράδρα του Κεριού (Breznik, 1970).

2.1.3.7 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Σε πολλές περιοχές παγκοσμίως, όπως και στην Ελλάδα, κυρίως στη νησιώτικη χώρα, οι απαιτήσεις για πόσιμο νερό υψηλής ποιότητας και παράλληλα χαμηλού κόστους, είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Σε πολλές τέτοιες παραθαλάσσιες περιοχές η λειψυδρία συνυπάρχει με την παρουσία αξιόλογων (παράκτιων) γεωθερμικών ταμιευτήρων, όπως συμβαίνει στη Μήλο, την Κίμωλο, τη Σαντορίνη κλπ. Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού αποτελεί τη μόνη ίσως λύση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών στις περιπτώσεις αυτές, είναι όμως ιδιαίτερα ενεργοβόρα εφαρμογή. Υπό αυτό το πρίσμα, η γεωθερμική ενέργεια συνιστά μια ελκυστική επιλογή που συνδυάζει ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη, δεδομένου ότι πρόκειται για την αξιοποίηση μιας ήπιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας με αμελητέες ή μηδενικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η γεωθερμική ενέργεια σχετίζεται με θερμοκρασιακές μεταβολές σε αναλογία με το βάθος από την επιφάνεια και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Ανάλογα με τον τύπο της πηγής, υπάρχει και η ανάλογη σύνδεση της γεωθερμικής ενέργειας με τις μονάδες αφαλάτωσης (Bougouecha & Dhahbi, 2003).

Η αφαλάτωση επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής και μέσης ενθαλπίας, τα οποία μπορούν να συμβάλλουν οικονομικά στη λύση του προβλήματος, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου είτε δεν γνωρίζουν εφαρμογή άλλες λύσεις, είτε αυτές είναι αρκετά δαπανηρές. Μερικές φορές οι παράκτιοι γεωθερμικοί ταμιευτήρες βρίσκονται σε μικρά και οικονομικά βάθη όπως στο Σουσάκι Κορινθίας, στη Μήλο (εικ. 15), στην Κίμωλο (εικ. 16) και σε πολλές περιοχές ανά τον κόσμο, όπως στη Δυτική Αυστραλία (εικ. 17).

Η θερμική αφαλάτωση περιέχει δύο βασικές τεχνικές. Η πρώτη είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (Multiple Flash Distillation, MSF). Η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου (Multiple Effect Distillation, MED). Η αποδοτικότερη μέθοδος είναι η MED και χρησιμοποιείται για μεγαλύτερες μονάδες. Στην εικόνα 16 φαίνεται η μικρή μονάδα αφαλάτωσης που έχει εφαρμοστεί, με τη μέθοδο MED. Επίσης, άλλες μέθοδοι είναι οι θερμικές αποστάξεις πολλαπλών βαθμίδων σε εξατμιστήρες, είτε κάθετων, είτε οριζόντιων αυλών (MEO-VT, MEO-HT) ή με υβριδικά συστήματα (MSFMEO).



Εικόνα 15 Αξιοποίηση της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας για αφαλάτωση στην Μήλο (Βουνάλια) (Φυτίκας, 2014).



Εικόνα 16 Αφαλάτωση νερού στην Κίμωλο (Φυτίκας, 2004).

Στην Κίμωλο (εικ. 16), η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η εξάτμιση του πολλαπλού φαινομένου. Κατά την περίοδο 1998-1999 κατασκευάστηκε από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) μια μικρή πιλοτική στην οποία γινόταν αφαλάτωση του ίδιου του γεωθερμικού νερού από παρακείμενη γεώτρηση και αυτό θεωρήθηκε ως μια μεγάλη πρωτοτυπία. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας, με χρήση γεωθερμικού νερού, παράχθηκε αφαλατωμένο νερό αρίστης ποιότητας.

Στη Μήλο και στη Νίσυρο έγινε ένα πρόγραμμα, πριν χρόνια (δεκαετία 2000), για τη χρήση ρευστών μέχρι 100 °C για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια αφαλάτωση. Έγιναν οι απαραίτητες γεωτρήσεις (εικ. 15), αλλά το εν λόγω εγχείρημα δεν προχώρησε λόγω της αδυναμίας που φανέρωσε και σχετίζεται με το φορέα υλοποίησης.

Τέλος, οι παραθαλάσσιες θερμές πηγές, μπορούν να αξιοποιηθούν ως ιαματικός ή ενεργειακός πόρος, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν (θερμοκρασία, παροχή, χημική σύσταση).



Εικόνα 17 Αφαλάτωση στην Δυτική Αυστραλία ([www. energypress.gr](http://www.energypress.gr)).

2.1.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΗΓΩΝ

Η πρώτη επιστημονική προσέγγιση στο πρόβλημα της σύλληψης και εκμετάλλευσης μιας υποθαλάσσιας πηγής πραγματοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '60 (Calvino & Stefanon, 1963). Αυτή η προσπάθεια ακολουθήθηκε από την πρώτη εκτίμηση της συμπεριφοράς μιας πηγής το 1969 (Stefanon & Cotecchia, 1969). Στη συνέχεια, η πρώτη πειραματική σύλληψη που στόχευε στην παρακολούθηση των υδρογεωλογικών παραμέτρων διεξήχθη το 1972 (Stefanon, 1972), και η πρώτη υλοποίηση ενός έργου σύλληψης σε μια υποθαλάσσια πηγή έγινε το 1973 (Potie, 1973).

Οι περισσότερες υποθαλάσσιες πηγές είναι γνωστές λόγω της επιφανειακής μαρτυρίας που προκύπτει από την ανάβλυση και ανάβαση, λόγω της ελαφρότητας σε σχέση με το θαλασσινό νερό, του γλυκού ή υφάλμυρου νερού. Όσο πιο μεγάλο είναι το υδραυλικό φορτίο του γλυκού νερού σε σχέση με του νερού της θάλασσας στη θέση ανάβλυσης της πηγής, τόσο πιο εμφανής είναι η εικόνα στην επιφάνεια της θάλασσας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ένας απλός σωλήνας εισάγεται στο στόμιο της πηγής επιτρέποντας την εύκολη δειγματοληψία του νερού της πηγής (εικ. 18). Εντοπισμός υποθαλάσσιων πηγών γίνεται επίσης με τη βοήθεια τηλεσκοπικών μεθόδων και εικόνων (αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, κ.τ.λ.).

Η παροχή της υποθαλάσσιας πηγής εξαρτάται άμεσα από το υδραυλικό φορτίο του υδροφόρου που την τροφοδοτεί και τη σχέση της με το υδραυλικό φορτίο της στήλης του θαλασσινού νερού στη θέση ανάβλυσης της πηγής. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε μεταβολή της στάθμης της θάλασσας (παλίρροιες), της ατμοσφαιρικής πίεσης και της υδροστατικής πίεσης, μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά τους των αναβλυζόντων νερών.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα υποθαλάσσιων πηγών, οι οποίες έχουν υδραυλικό φορτίο σχεδόν ίσο με αυτό της στήλης του αλμυρού νερού στο στόμιο ανάβλυσής του. Στις πηγές αυτές παρατηρείται ισορροπία των υδραυλικών φορτίων και κατά την ξηρή περίοδο οι παράκτιοι υδροφορείς που τις τροφοδοτούν λειτουργούν ως γεωτρήσεις, εντός των οποίων εισρέει θαλασσινό νερό. Σ' αυτή την περίπτωση οι πηγές-γεωτρήσεις ονομάζονται «εσταβέλλες» και δι' αυτών τα παράκτια καρστικά συστήματα υφαλμυρώνονται έντονα.



Εικόνα 18 Τυπική επιφανειακή απόδειξη ύπαρξης υποθαλάσσιας πηγής. Επιτρέπει την εύκολη δειγματοληψία (hydro.ntua.gr).

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΗΓΩΝ

Η εμφάνιση και η συμπεριφορά των υποθαλάσσιων πηγών ελέγχεται από διάφορους υδρογεωλογικούς παράγοντες και εξαιτίας της υποτίμησής τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν υποτιμηθεί, οδηγώντας έτσι σε αναποτελεσματική προσπάθεια εκμετάλλευσης (Fidelibus et al., 2005).

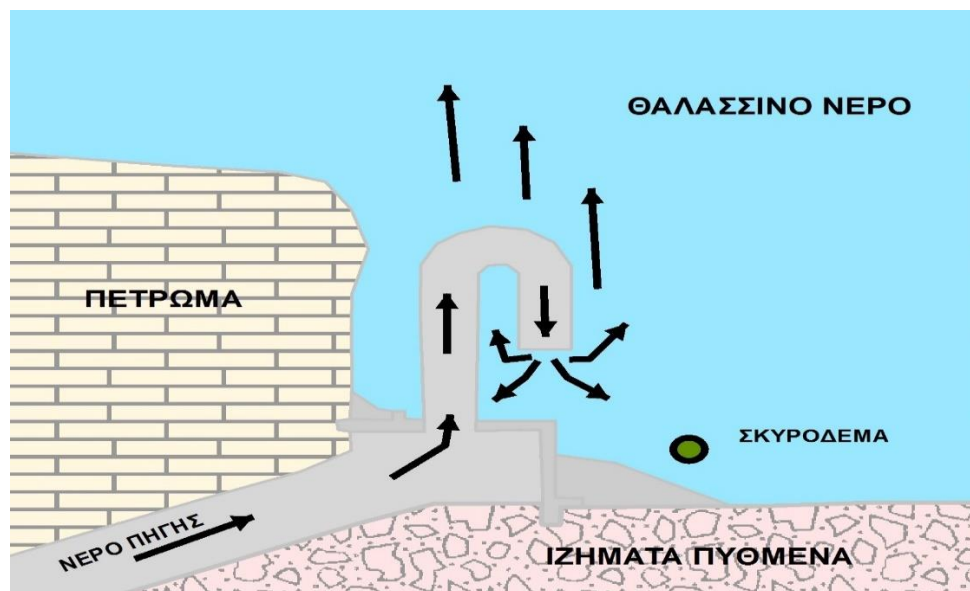
Η εκμετάλλευση μιας υποθαλάσσιας πηγής μπορεί να αποδειχθεί οικονομικά συμφέρουσα, εφόσον υπάρξει ισορροπία μεταξύ των ακόλουθων παραμέτρων και κάθε πηγή πρέπει να θεωρηθεί ως μια μοναδική περίπτωση:

- ❖ Ζήτησης νερού στην εν λόγω περιοχή, Συνολικού όγκου και ρυθμού εκκένωσης, λαμβάνοντας υπόψη το τοπικό παλιρροϊκό εύρος,
- ❖ Βάθους στο στόμιο της πηγής,
- ❖ Μορφολογία και αριθμός των στομιών της πηγής,
- ❖ Απόσταση της πηγής από την ακτή,
- ❖ Τοπικές ανεπιθύμητες μετεωρολογικές συνθήκες,
- ❖ Γεωμορφολογία του βυθού μεταξύ της πηγής και της ακτής,
- ❖ Γεωμορφολογία της ακτογραμμής.

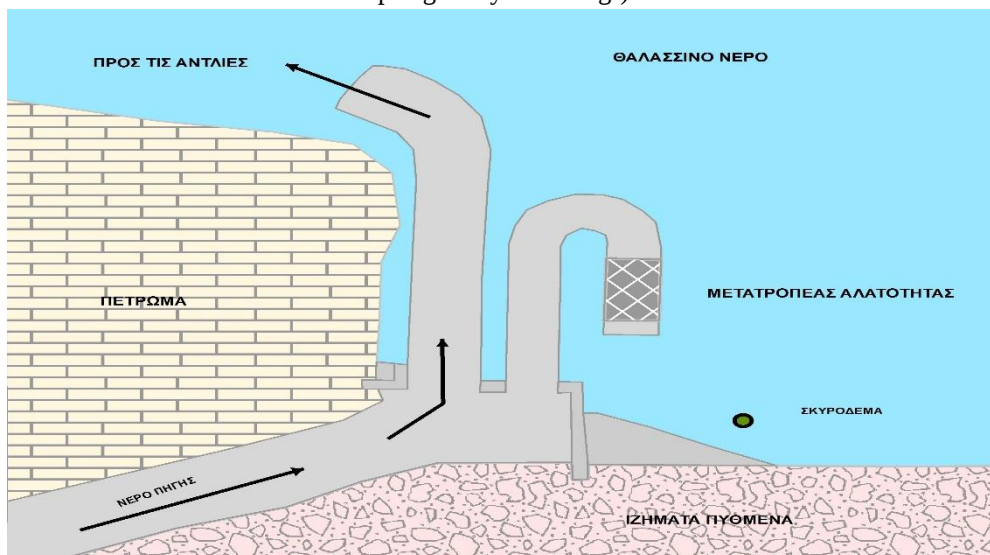
Οι υποθαλάσσιες πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς (οικιακές, αγροτικές, βιομηχανικές), ανάλογα με την ποιότητα και την παροχή της έκβολης των νερών.

Η παρακολούθηση μιας υποθαλάσσιας πηγής είναι δυνατόν να γίνει με τοποθέτηση ενός απλού σιφονιού στο στόμιο ανάβλυσης (εικ. 16). Μια τέτοια συσκευή, αν είναι

αρκετά μεγάλη, επιτρέπει στο νερό της πηγής να ρέει χωρίς καμία αντίσταση. Ταυτόχρονα το θαλάσσινο νερό δεν μπορεί να εισέλθει και να ανέλθει στο εξωτερικό κατερχόμενο τμήμα του ανεστραμμένου σχήματος "U" σωλήνα, και μέσω αυτού να διεισδύσει στον καρστικό αγωγό. Ως εκ τούτου, μπορεί να πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία των εκβαλλόμενων υδάτων που δεν έχουν υποστεί μόλυνση από το θαλάσσινο νερό (εικ. 19, 20).



Εικόνα 19 Σχέδιο του σίφωνα στο στόμιο ανάβλυσης (Τροποποίηση από postgrad.hydro.ntua.gr).

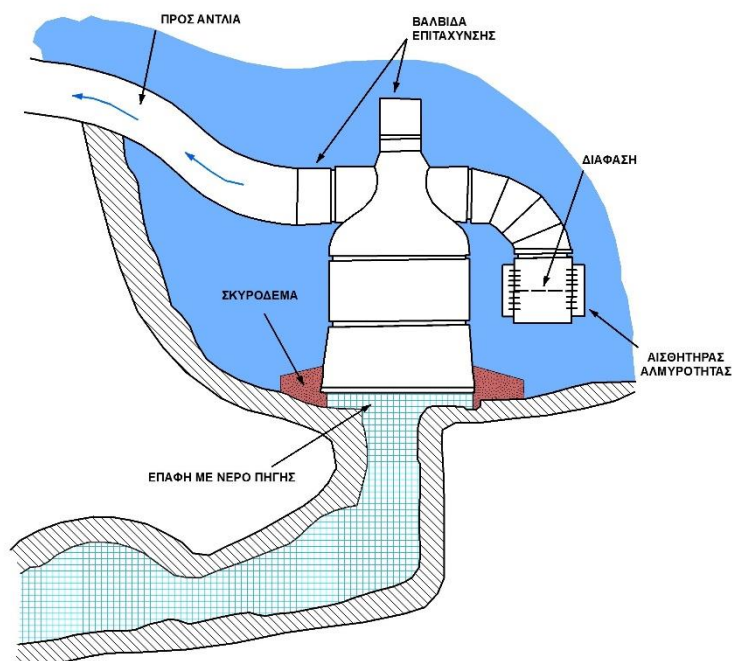


Εικόνα 20 Σχέδιο του συστήματος της υποθαλάσσιας πηγής. Ένας αγωγός που συνδέεται με το καλυμμένο σιφόνι το οποίο επιτρέπει την ασφαλή εκμετάλλευση της πηγής. Μετατροπείς της αλατότητας βρίσκονται στο εξωτερικό του κατερχόμενου μέρους του σίφωνα, που επιτρέπει την παρακολούθηση της θέσης διασύνδεσης (Τροποποίηση από postgrad.hydro.ntua.gr).

Προφανώς, με το σύστημα αυτό, ο όγκος του νερού που θα αξιοποιείται πρέπει να ρυθμίζεται έτσι ώστε να μην ξεπερνά τη φυσική παροχή της πηγής. Εάν υπάρχει μια εξισορρόπηση μεταξύ φυσικής ροής και παροχής εκμετάλλευσης το σύστημα θα

ισορροπεί και έτσι ούτε αλμυρό νερό θα εισρέει στο ανοδικό σκέλος του σίφωνα, ούτε γλυκό νερό θα εξέρχεται απ' αυτό στη θάλασσα. Στο τμήμα αυτό του σίφωνα θα «εγκατασταθεί» η διεπιφάνεια γλυκού-αλμυρού νερού, πάνω από την οποία θα επιπλέει το γλυκό νερό, και από τον σωλήνα εξόδου θα φεύγει για αξιοποίηση.

Ένας άλλος τρόπος αξιοποίησης των υποθαλάσσιων πηγών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι αυτό του «σίφωνα-καμπάνας». Το σύστημα σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε το 1972 από τον Stefanon (Stefanon, 1972, 1973) και πρόκειται για μια ειδική καμπάνα ινών υάλου που χρησιμοποιείται σαν κάλυμμα (εικ. 21). Η πρώτη επιτυχημένη σύλληψη πραγματοποιήθηκε στη Mar Piccolo του Ταράντο (νότια Ιταλία).

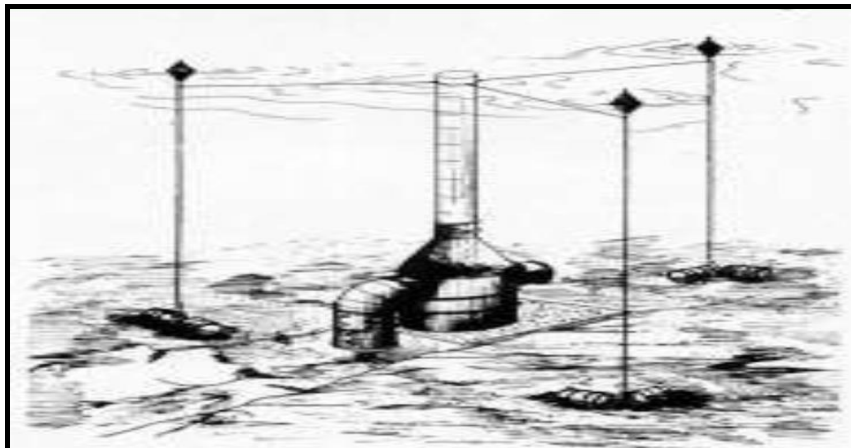


Εικόνα 21 Σύστημα «σίφωνα-καμπάνα» που χρησιμοποιείται στη σύλληψη και εκμετάλλευση της υποθαλάσσιας πηγής «Citro Citrello» του Ταράντο. Οι ρυθμιστικές βαλβίδες επιτρέπουν την εκβολή της πηγής μέσω της καμπάνας και προσομοιώνουν τη δράση ενός συστήματος εκμετάλλευσης (Τροποποίηση από postgrad.hydro.ntua.gr).

Η καναλοποίηση της ροής της πηγής με τη χρήση της καμπάνας, οδηγεί στην εύκολη και σωστή δειγματοληψία. Επιπλέον, ένας σωλήνας επαρκούς διαμέτρου συνδέεται με το σύστημα κάλυψης, και φθάνει στην επιφάνεια της θάλασσας (εικ. 21), όντας ο απλούστερος τρόπος για την προσομοίωση της εκμετάλλευσης. Η πρώτη πειραματική δοκιμή εκμετάλλευσης μέσω αυτού του τύπου της συσκευής, πραγματοποιήθηκε στο «Citro Galeso» στα τέλη του φθινοπώρου του 1987.

Περαιτέρω, εφαρμόστηκαν και μικρότερες τροποποιήσεις με το σύστημα που απεικονίζεται στις εικόνες 22 και 23, προσθέτοντας μια ημι-βυθισμένη σημαδούρα (εικ. 24), πάνω στην οποία μπορεί να χωρέσει σταθερά ο μεγάλος σωλήνας

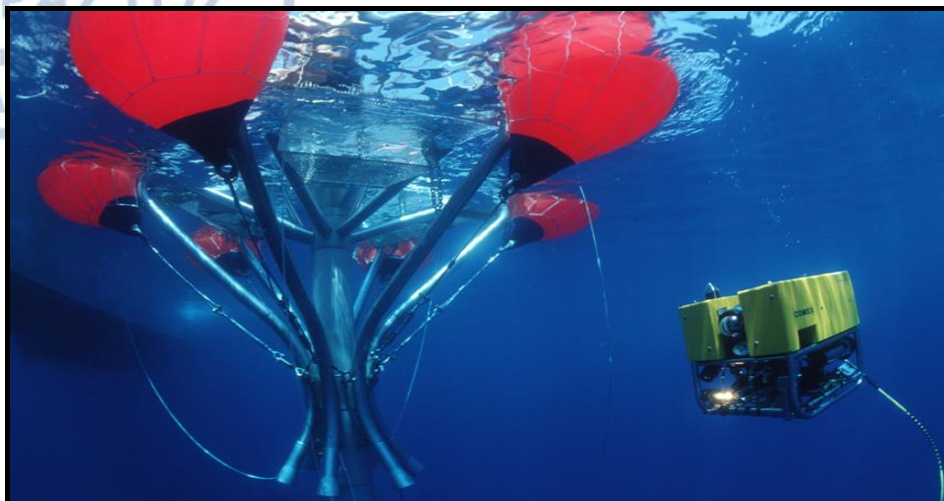
μεταβίβασης της ροής της πηγής (εικ. 22 και 23). Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν ακριβείς μετρήσεις και λεπτομερής έλεγχος της απόδοσης του σίφωνα παρακολούθησης (Cotecchia et al., 1990).



Εικόνα 22 Σκίτσο του σχεδιασμένου συστήματος για την πρώτη δοκιμή εκμετάλλευσης που πραγματοποιήθηκε στη «Citro Galeso» (Ταράντο, Ν. Ιταλία) (postgrad.hydro.ntua.gr).



Εικόνα 23 Πειραματική εκμετάλλευση στην υποθαλάσσια πηγή της «Citro Galeso» στο Mar Piccolo του Ταράντο (Ν. Ιταλία). Ένας σωλήνας διαμέτρου 1 m φθάνει στην επιφάνεια της θάλασσας και βρίσκεται υπό την κατοχή μιας ημι-βυθισμένης σημαδούρας (postgrad.hydro.ntua.gr).



Εικόνα 24 Μέθοδος της ημι-βυθισμένης σημαδούρας (www.nymag.com).

Μέθοδο αξιοποίησης αποτελεί και η έμπιξη ενός απλού σωλήνα μέσα στο στόμιο ανάβλυσσης της πηγής, του οποίου το άλλο άκρο κατάληγε στην επιφάνεια της θάλασσας (εικ. 25). Έτσι, το πηγαίο νερό ανέρχεται και αναβλύζει σε θετικό υψόμετρο. Αυτή η μέθοδος έλαβε χώρα στην υποθαλάσσια πηγή Rovereto της Τυρρήνιας θάλασσας, όπου έγινε η πρώτη μελέτη προκειμένου να γίνει η αξιοποίησής της (Calvino & Stefanon, 1963). Όμως, δεν κατασκευάστηκε κάποιο έργο συστηματικής εκμετάλλευσης των νερών της πηγής αλλά, επινοήθηκε και εφαρμόστηκε το παρόν σύστημα «σύλληψης» του νερού το οποίο δοκιμάστηκε επιτυχώς επί 8 μήνες.

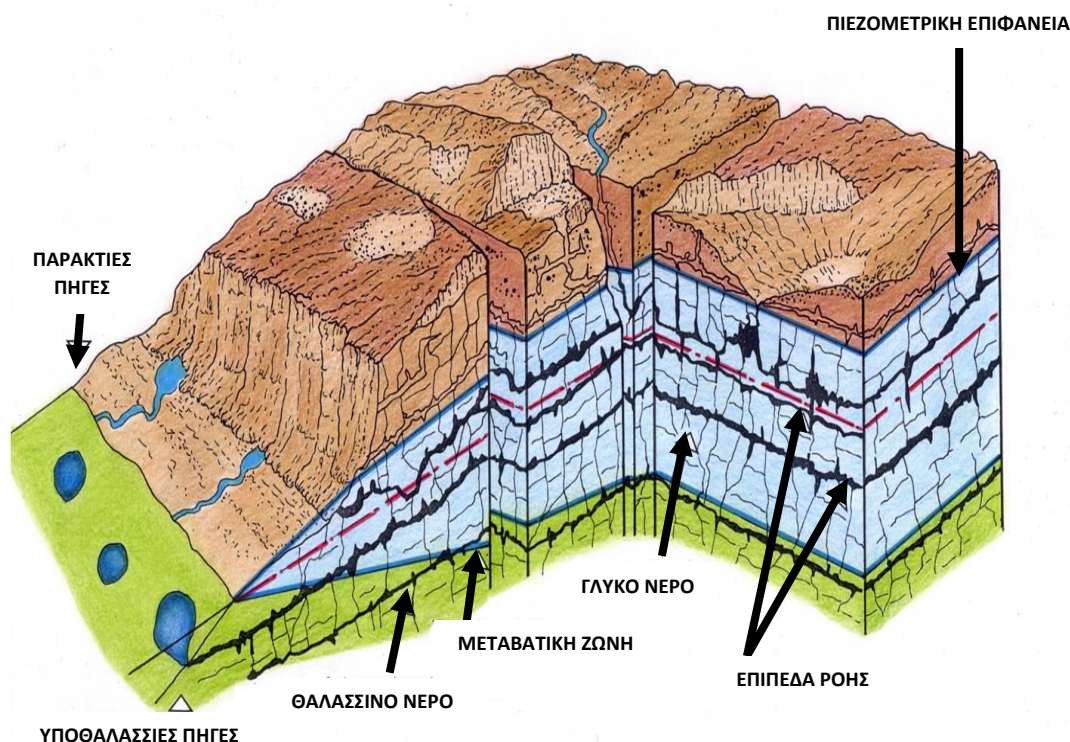


Εικόνα 25 Απεικόνιση της υποθαλάσσιας πηγής (1) και του συστήματος σύλληψης (2) (postgrad.hydro.ntua.gr).

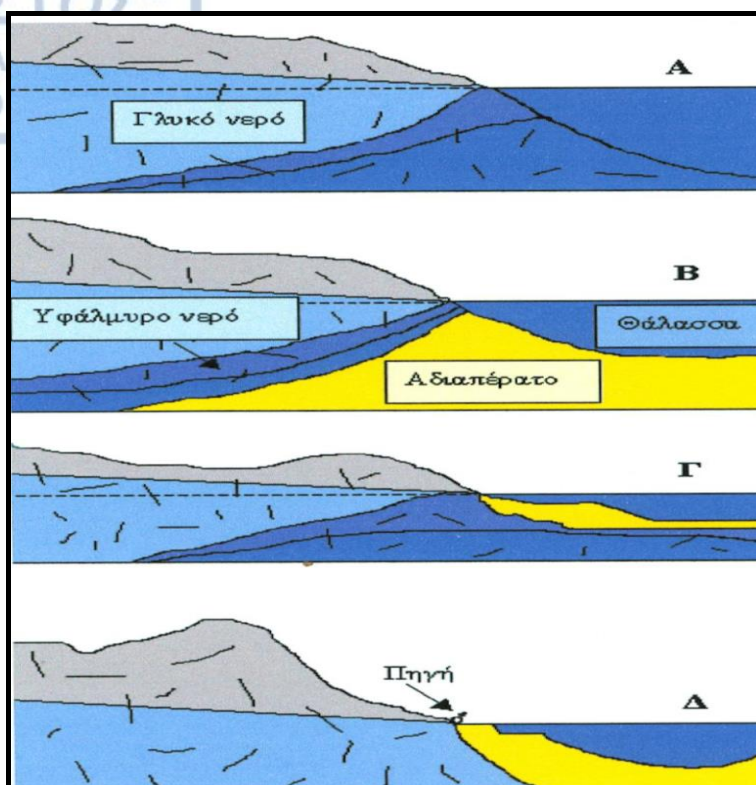
2.2 ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

2.2.1 ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ

Σε αυτού του τύπου τους υδροφορείς (εικ. 26) παρατηρούνται ιδιαιτέρως ευνοϊκές συνθήκες εμφάνισης του φαινομένου της υφαλμύρισης, λόγω των χαρακτηριστικών τους. Οι παράκτιοι καρστικοί υδροφορείς παρατηρούνται σε καρστικοποιημένες μάζες πετρωμάτων κοντά στις ακτές και έχουν χαρακτηριστική στενή υδραυλική σχέση με το θαλασσινό νερό και άμεση επαφή γλυκού-αλμυρού νερού. Η διείσδυση του νερού της θάλασσας προς το εσωτερικό της ενδοχώρας, προκαλεί συχνά υφαλμύριση του υδροφόρου σε ψηλότερα επίπεδα από τη στάθμη της θάλασσας (Καλλέργης, 2001) (εικ. 27). Η εμφάνιση της υφαλμύρισης συγκεντρώνει αρκετές πιθανότητες πρόκλησης από κανάλια, τα οποία καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας, αρκετά μακριά από την ακτή και σε αρκετά μεγάλα βάθη (Καλλέργης, 2001).



Εικόνα 26 Σχηματική παράσταση παράκτιου καρστικού υδροφορέα (Tulipano, 2003).



Εικόνα 27 Θέση και γεωμετρία της μεταβατικής ζώνης του υφάλμυρου νερού σε καρστικούς υδροφόρους (Μαραμαθάς, 2002). (Α): Ελεύθερος υδροφόρος προς τη θάλασσα, (Β): Υδροφόρος μερικώς φραγμένος προς τη θάλασσα, (Γ): Με επικρεμάμενο φραγμό, (Δ): Ολικά φραγμένο.

2.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

2.3.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Οι επιπτώσεις του περιβάλλοντος στο έργο, αναφέρονται στις δυνάμεις της φύσης που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το έργο κατασκευαστικά ή να παρεμποδίζουν την ικανότητα να διεξαχθούν οι δραστηριότητες του έργου ομαλά, με τον ήδη προγραμματισμένο τρόπο. Συνήθως, το δυναμικό επίδρασης του περιβάλλοντος σε κάθε έργο είναι στη λειτουργία του ή στο σχεδιασμό των υποδομών και της πρόσληψης των φυσικών κινδύνων και των επιρροών της φύσης. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν από φυσικές συνθήκες, από την μορφολογία της γης και τα τοπικά γενικά χαρακτηριστικά που μπορεί να ενεργούν στο πλαίσιο του έργου, και έτσι το χρονοδιάγραμμα, και/ή το κόστος του, θα μπορούσαν να είναι δυσμενώς μεταβαλλόμενα (Pekas, 2012).

2.3.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΡΓΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η κατασκευή ενός έργου αξιοποίησης των παράκτιων υφάλμυρων πηγών, βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με τους υπόγειους υδατικούς πόρους. Όλα τα πόσιμα και εγχώρια αποθέματα νερού για οικιακή χρήση, για εμπορικές εγκαταστάσεις και για αγροκτήματα γειτονικά της περιοχής κατασκευής του έργου, προέρχονται από τα υπόγεια ύδατα μέσω γεωτρήσεων (Pekas, 2012).

Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των έργων μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα της κατασκευής και, σε μικρότερο βαθμό, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και συντήρησης του ολοκληρωμένου έργου. Οι δραστηριότητες των έργων, εφόσον δεν πραγματοποιούνται με προσοχή και ασφαλή τρόπο, θα μπορούσε να οδηγήσει σε κινδύνους για το κοινό ή τους εργαζόμενους. Συνολικά, τα έργα θα έχουν μια μακροπρόθεσμη θετική επίδραση στο περιβάλλον για τη δημόσια υγεία και την ασφάλεια.

Τα βασικά μέτρα μετριασμού για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των έργων θα εφαρμοστούν όπου είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν πιθανές δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή του έργου:

- ❖ Χρονοδιάγραμμα συντήρησης,
- ❖ Γνώση περιβαλλοντικής ευαισθησίας,
- ❖ Χρήση και συντήρηση του εξοπλισμού,
- ❖ Ενημέρωση των κατοίκων της περιοχής,
- ❖ Χρήση προγραμματισμένων περιορισμών, όπου αυτοί είναι δικαιολογημένοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Παρακάτω θα αναλυθούν τα δεδομένα, τα αποτελέσματα και οι πληροφορίες που προέκυψαν από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν, σε συγκεκριμένες περιοχές στον ελλαδικό και ευρωπαϊκό χώρο. Οι πληροφορίες και οι έρευνες αφορούν υδροφόρους που ανήκουν στις χώρες της Ελλάδας, της Ισπανίας, της Γαλλίας, της Ιταλίας, της Κροατίας, της Σερβίας κ.α., με αναφορά στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά αυτών (Fidelibus et al., 2005).

❖ *Ισπανία:* Η Ισπανία είναι μία από τις χώρες όπου είναι δυνατό να βρεθούν πολλά παραδείγματα παράκτιων καρστικών υδροφόρων, καθώς πάνω από το 50% της παράκτιας ζώνης καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα. Το μεσογειακό μέρος της ισπανικής ακτής θα μπορούσε να διαχωριστεί σε τέσσερις τομείς, όπου η παρουσία των καρστικών υδροφορέων είναι σημαντική:

- i. Υδροφορείς που σχετίζονται με τα υλικά της εσωτερικής ζώνης του Betic Cordillera,
- ii. Υδροφορείς που σχετίζονται με τους ασβεστόλιθους των εξωτερικών ζωνών του Betic Cordillera,
- iii. Υδροφορείς που συνδέονται με τους παράκτιους τομείς της σειράς των Ιβηρικών βουνών και της αλυσίδας της Καταλονίας,
- iv. Υδροφορείς των Βαλεαρίδων που ανήκουν στην εξωτερική ζώνη της περιοχής των Ανδαλουσιανών βουνών.

Όλοι αυτοί οι υδροφορείς παρουσιάζουν ποικίλα προβλήματα και σχετίζονται με διαφορετικές καταστάσεις και εκμετάλλευση. Σε γενικές γραμμές, οι μεσογειακοί ισπανικοί υδροφορείς υποστηρίζουν υψηλούς ρυθμούς άντλησης και πολλές από αυτές τις περιπτώσεις θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως υπερεκμετάλλευση.

❖ *Γαλλία:* Οι παράκτιοι καρστικοί υδροφόροι ορίζονται στο μέρος της Μεσογείου στη Γαλλία, εκτείνονται κατά μήκος της ακτής από το Languedoc μέχρι το Roussillon. Αποτελούνται από Ιουρασικούς και Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Τρεις καρστικοί υδροφορείς έχουν θεωρηθεί αντιπροσωπευτικοί της γαλλικής Μεσογειακής ακτής:

- i. Η λιμνοθάλασσα του Salses-Leucate στους ασβεστόλιθους Corbieres,
- ii. Η λιμνοθάλασσα του Thau στο Hérault,
- iii. Οι ασβεστόλιθοι και οι γνωστές υποθαλάσσιες πηγές του Port Miou (δυτικά της Μασσαλίας) στην Κρητιδική της το Côte d'Azur.

Οι τρεις αυτοί υδροφόροι ορίζοντες δεν παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα υπερεκμετάλλευσης, αλλά όσο η ζήτηση σε αυτή την τουριστική ακτή αυξάνεται, θα πρέπει να μελετηθούν τα μέτρα προστασίας κατά της υφαλμύρισης.

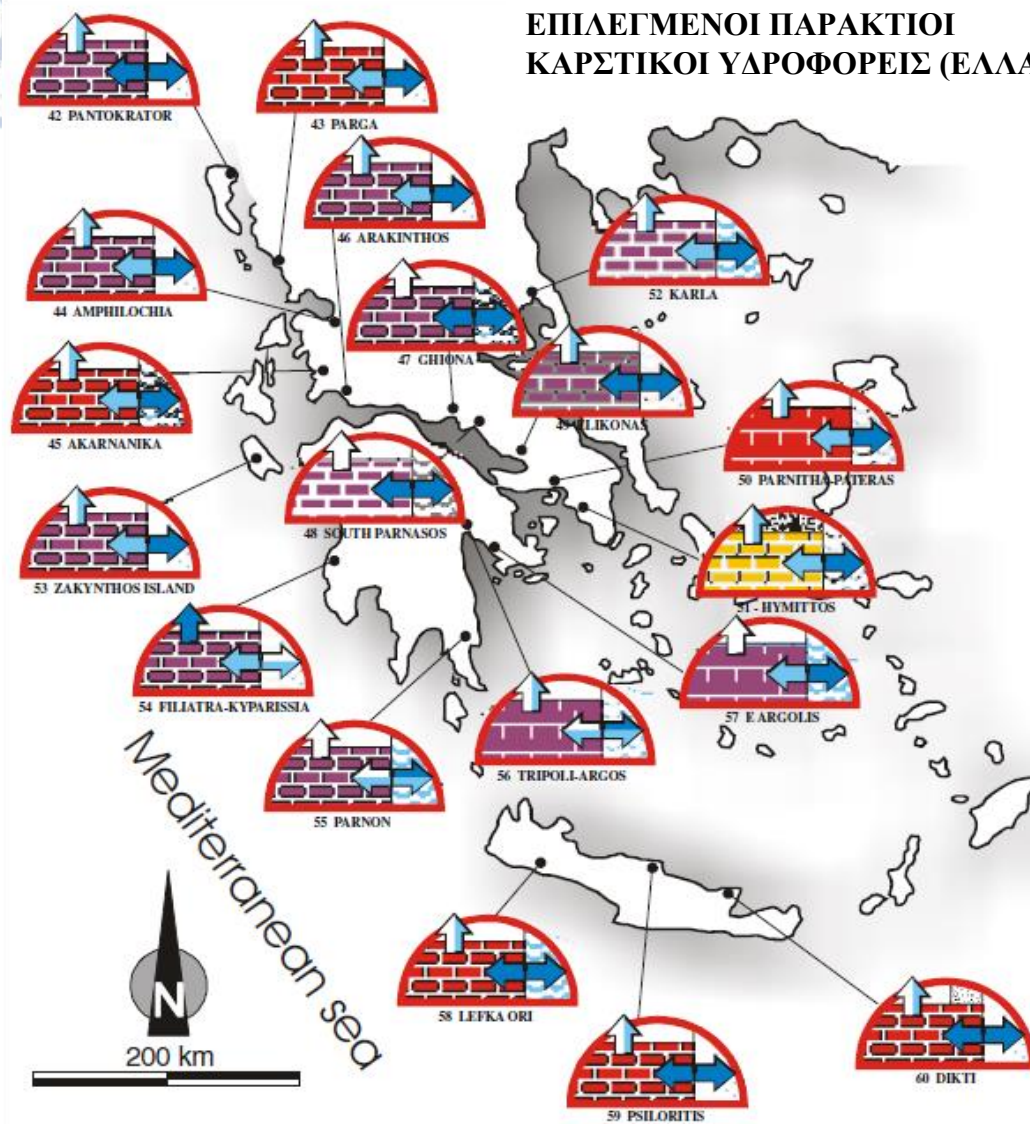
- ❖ *Ιταλία:* Παρατηρούνται τέσσερις παράκτιες καρστικές περιοχές και εννιά υδροφορείς. Οι υδροφορείς θα μπορούσαν να χωριστούν γεωγραφικά στις παράκτιες καρστικές περιοχές της Τεργέστης, όπου έχουμε:
 - i. Την καρστική περιοχή της Απουλίας,
 - ii. Τους υδροφορείς της Σικελίας,
 - iii. Τους παράκτιους καρστικούς υδροφορείς της Σαρδηνίας.
- ❖ *Κροατία:* Οι καρστικοί υδροφορείς της Κροατίας ακολουθούν τις Δαλματικές δομές που δημιουργήθηκαν κυρίως, από τους ιδιαίτερα καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους. Σε αυτή την Αδριατική χώρα παρατηρούνται μερικά από τα καλύτερα παραδείγματα υποθαλάσσιων πηγών στην Ευρώπη. Πολλές από αυτές έχουν αξιοποιηθεί, προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις νερού με μεγαλύτερη ή μικρότερη επιτυχία. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν:
 - i. Οι υδροφορείς κοντά στη χερσόνησο Ίστρια (Βόρεια Κροατία) και
 - ii. Οι ακτές του Ντουμπρόβνικ-Σπλιτ (νότια Κροατία).

Επιπλέον, πολλά από τα νησιά της Κροατίας θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως παράκτιοι καρστικοί υδροφορείς.

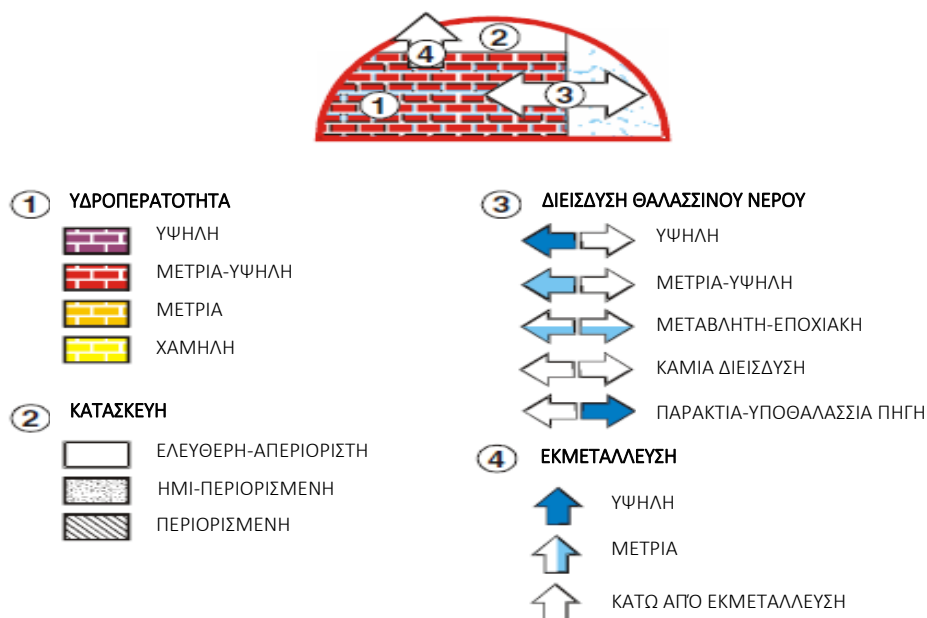
- ❖ *Ελλάδα:* Τα ανθρακικά πετρώματα καλύπτουν περισσότερο από το 35% της Ελλάδας και πολλά από αυτά αναφέρονται έξω από την ακτή. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα είναι (εικ. 28):
 - i. Η Κεντρική Ελλάδα (δηλαδή η Νότια Παρνασσού και Γκιώνας υδροφορείς) με το υφάλμυρο νερό,
 - ii. Οι υδροφόροι της Πάρνηθα-Πατέρα και του Υμηττό,
 - iii. Η Ανατολική Πελοπόννησος (Τρίπολη και Αργολίδα υδροφορείς) με υψηλή παροχή νερού προς τη θάλασσα από την υποθαλάσσια πηγή και
 - iv. Η Κρήτη με την περίφημη πηγή του Αλμυρού που μπορεί να παροχετεύσει πάνω από 50 m³/s.

Οι πιο γνωστές υφάλμυρες πηγές της Κρήτης είναι:

- i. Στον ορεινό όγκο της Δίκτης: οι Αλμυροί Αγίου Νικολάου, Μαλίων και Άρβης,
- ii. Στον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη: οι Αλμυροί Ηρακλείου, Μπαλί και Αγίου Παύλου,
- iii. Στον ορεινό όγκο του Αστερουσίων: ο Αλμυρός Τσούτσουρα κ.α.,
- iv. Στον ορεινό όγκο Λευκών ορών: οι Αλμυροί Γεωργιούπολης, Καλαμίου, Καλυβών κ.α.,
- v. Στον ορεινό όγκο της Θρύπτης: οι Αλμυροί Μαλάβρας και Καψά.

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΙ ΠΑΡΑΚΤΙΟΙ
ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ (ΕΛΛΑΔΑ)

Εικόνα 28 Γραφική αναπαράσταση της Γενικής Υδρογεωλογικής Συμπεριφοράς των παράκτιων καρστικών υδροφορέων (COST Action 621, 2004).



**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ,
ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ**

ΟΝΟΜΑ	ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ
ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΩΡ	1	1	1-5	2
ΠΑΡΓΑ	2	1	2-5	2
ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	1	1	2-5	2
ΑΚΑΡΝΑΝΙΚΑ	2	1	2-5	2
ΑΚΑΡΥΝΘΟΣ	1	1	2-5	2
ΓΚΙΩΝΑ	1	1	1-5	3
ΝΟΤΙΟΣ ΠΑΡΝΑΣΣΟΣ	1	1	1-5	3
ΕΛΙΚΩΝΑΣ	1	2	1-5	2
ΠΑΡΝΗΘΑ-ΠΑΤΕΡΑΣ	2	2	2-5	2
ΥΜΜΗΤΟΣ	3	2	2-5	2
ΚΑΡΛΑ	1	1	2-5	2
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	1	1	2-5	2
ΦΙΛΙΑΤΡΑ-ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	1	1	2-3	1
ΠΑΡΝΩΝ	1	1	3-5	3
ΤΡΙΠΟΛΗ-ΑΡΓΟΣ	1	1	3-5	2
Ε ΑΡΓΟΛΙΣ	1	1	2-5	3
ΛΕΥΚΑ ΟΡΗ	2	1	1-5	2
ΨΗΛΟΡΕΙΤΗΣ	2	1	1-5	2
ΔΙΚΤΗ	2	1-2	1-5	2

Οι περισσότερες πηγές ανήκουν σε υδροφορείς με υψηλή περατότητα και θαλάσσια διείσδυση σύμφωνα με τις εικόνες 25 και 26.

3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

3.2.1 ΦΡΑΓΜΑ ΚΙΒΕΡΙΟΥ, ΑΡΓΟΣ

Πρόκειται για ένα τοξωτό φράγμα μέσα στη θάλασσα (εικ. 29) με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του νερού καθώς και την απομόνωση των υποθαλάσσιων καρστικών πηγών, που πραγματοποιήθηκε το 1970. Οι πηγές είναι σε απευθείας επικοινωνία με τις γεωτρήσεις του οροπεδίου της Τρίπολης και η σύνδεσή τους αποδείχθηκε με ιχνηθετήσεις. Η Τρίπολη και άλλες πόλεις αποστραγγίζονται από παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές κατά μήκος της ΒΑ ακτής της χερσονήσου της Πελοποννήσου (Gospodarič et al., 1986). Ένα ημικυκλικό φράγμα 180 m, κατασκευάστηκε κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και πάνω σε ασβεστολιθικά λατυποπαγή το 1968. Η στέψη του φράγματος βρίσκεται 4 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Έτσι, όταν η στάθμη του νερού, στην απομονωμένη από το φράγμα λεκάνη, ανέβηκε κατά 3m περισσότερο από τη στάθμη της θάλασσας, η παροχή έφτασε τα 12 m³/sec, η εισροή θαλασσινού νερού σταμάτησε και η αλατότητα έπεσε στα 200-300 mg/l σε

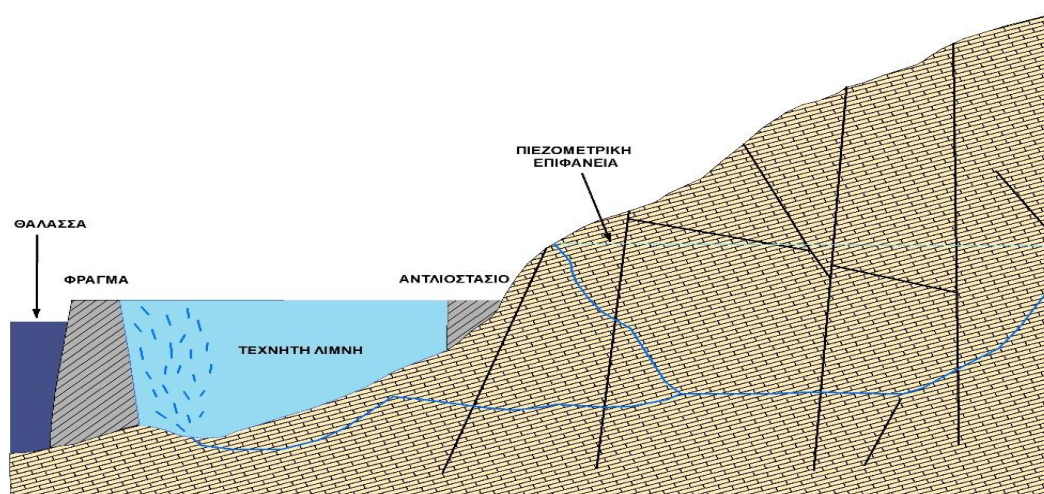
CI. Στην εικόνα 30 βλέπουμε και την τομή του φράγματος με το αντλιοστάσιο που κατασκευάστηκε και την τεχνητή λίμνη που δημιουργείται.

Η συνολική παροχή ξεπερνά τα $50000 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η δυνατότητα άντλησης ανέρχεται σε $32000 \text{ m}^3/\text{h}$. Η παροχή αυτή οφείλεται σε μια σειρά ευνοϊκών συνθηκών, όπως η μεγάλη έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας, οι τεκτονικές δομές, η σύγκλιση των καρστικοποιημένων ρηγμάτων κλπ.

Το νερό το οποίο αντλείται από τον ταμιευτήρα, προσφέρεται για άρδευση της πεδιάδας του Άργους και για τεχνητό εμπλουτισμό των υφάλμυρων υπόγειων υδροφόρων. Η ποιότητα του νερού αυτού, κυμαίνεται σε σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα και εξαρτάται από την ετήσια ανανέωση του καρστικού υδροφορέα, από τις βροχοπτώσεις. Η περιεκτικότητα σε χλωρίοντα κυμαίνεται από 175 mg/l (περίοδοι υψηλών βροχοπτώσεων) έως 525 mg/l (περίοδοι ξηρών ετών), πράγμα που δηλώνει ανάμειξη 0.8%-2.5% με θαλασσίνο νερό.



Εικόνα 29 Φράγμα και αντλιοστάσιο Κιβερίου (www.moriasnow.gr).



Εικόνα 30 Τομή φράγματος Ανάβαλου Κιβερίου Άργους (Τροποποίηση από Breznik, 1969).

Από επίσκεψη που έγινε την άνοιξη του 1969 διαπιστώθηκε ότι οι υδατοφράκτες του φράγματος ήταν ανοιχτοί και ένα ποτάμι πρασινωπού χρώματος εξέρρεε, που σαφώς διέφερε από τη γαλάζια θάλασσα.

Στην συνέχεια, έγινε πρόταση που αφορούσε την απομόνωση των πηγών, επιτυγχάνοντας έτσι την απομόνωση της περιοχής της πηγής με το φράγμα, έργο που οδήγησε και στη μείωση της αλατότητας.

Μια σύντομη ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων δείχνουν ότι, η απομόνωση της πηγής του Κιβερίου ενάντια στην εισροή του θαλασσινού νερού δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη. Ένα φράγμα στηριζόμενο σε πολύ καρστικοποιημένα λατυποπάγη, χωρίς ενοποίηση της μάζας του ασβεστόλιθου και χωρίς κουρτίνα τσιμεντενέσεων, δεν είναι μια ολοκληρωμένη κατασκευή. Εκτιμάται ότι το βάθος της καρστικοποίησης είναι στα 90 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Έτσι προτάθηκε η αποτροπή της εισροής του θαλασσινού νερού από μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων, οι διερευνητικές εργασίες της οποίας, θα πρέπει να γίνουν σε στάδια (Breznik, 1969) (εικ. 31).

1. *Πρώτο στάδιο:* γεωτρήσεις σε απόσταση 4 m κατά μήκος της στέψης του φράγματος και δομούμενα με τσιμεντοκονίαμα σε βάθος 65 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Στην συνέχεια γίνεται δοκιμή εισπίεσης, για εδραίωση των καρστικοποιημένων λατυποπάγων κάτω από το φράγμα, στα 10-35 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.
2. *Δεύτερο στάδιο:* γίνονται γεωτρήσεις ανάμεσα σε αυτές του πρώτου σταδίου, διάτρητες και δομούμενες με τσιμεντοκονίαμα μέχρι 130 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.
3. *Τρίτο στάδιο:* τοποθετείται κουρτίνα τσιμεντενέσεων κάτω από το δρόμο και επεκτείνεται για 200 m και στις δύο πλευρές του φράγματος.
4. *Τέταρτο στάδιο:* πρόσθετες κουρτίνες τσιμεντενέσεων πίσω από τις μικρότερες πηγές στα βόρεια, αν χρειαστεί. Σε όλα αυτά διερευνητικά στάδια, πρέπει να γίνει δοκιμαστικά μια αύξηση του επιπέδου της πηγής, έτσι ώστε να αναλυθούν τα αποτελέσματα και να ρυθμιστούν οι επόμενες φάσεις του έργου, επιτρέποντας μία άνοδο του υφιστάμενου φράγματος κατά 4 m.

Η δεύτερη φάση της αξιοποίησης ολοκληρώθηκε με την άνοδο της στάθμης της μικρής λίμνης, εντός του φράγματος, έως 3 m σε απόλυτο υψόμετρο (Staender, 1971). Η μέση παροχή των πηγών είναι 6 m³/sec και κατά τη διάρκεια των περιόδων άρδευσης το 1955-1990, η ποιότητα των υπόγειων υδάτων επιδεινώθηκε λόγω της υπεράντλησης και της θαλάσσιας διείσδυσης (Τηνιακός κ.ά., 2005).



Εικόνα 31 Φράγμα Κιβερίου. Δομές αφαλάτωσης που προτάθηκαν (Breznik, 1969).

3.2.2 ΠΗΓΕΣ ΜΑΛΑΥΡΑΣ, ΚΡΗΤΗ

Η πηγή της Μαλαύρας (εικ. 32, 33) βρίσκεται στη βόρεια ακτή της ανατολικής Κρήτης, και αποστραγγίζει στα ανθρακικά πετρώματα της σειράς Plattenkalk (μάρμαρα). Τα καρστικά ύδατα εκτονώνονται μέσω του μετώπου των πηγών και όχι μέσω διακριτών πηγών. Στην πρωταρχική υδρογεωλογική μελέτη, εκτιμήθηκε ότι η ασφαλής απόδοση η οποία μπορεί να ληφθεί από τις πηγές, θα μπορούσε να είναι κατ'ανώτατο όριο $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, προκειμένου να αποφυγεί η ανάμειξη με το θαλασσινό νερό (Μαρίνος, 1987).

Προκειμένου να παρακολουθείται το γλυκό νερό, έγινε ανασκαφή ενός ορύγματος στη θέση των πηγών. Ωστόσο το νερό της πηγής είναι υφάλμυρο λόγω της διείσδυσης της θάλασσας και η συγκέντρωση των χλωριόντων του νερού της πηγής είναι $450\text{-}500 \text{ mg/l}$, παραμένοντας λιγότερο ή περισσότερο σταθερή όλο το χρόνο, υποδεικνύοντας έτσι μία ομοιογενή κατανομή του καρστικού δικτύου. Η παρουσία των χλωριόντων ($115\text{-}145 \text{ mg/l}$) στο νερό των γεωτρήσεων στην ενδοχώρα, δείχνει ότι η υφαλμύριση δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή των πηγών αλλά έχει προχωρήσει και προς το εσωτερικό του υδροφόρου ορίζοντα. Η διακοπή και η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων επιτυγχάνεται με μια σειρά γεωτρήσεων στην καρστική μάζα της ενδοχώρας ή με την κατασκευή μιας υπόγειας κουρτίνας στο μέτωπο των πηγών.

Ο μεγάλος αριθμός των γεωτρήσεων που απαιτούνται, η πιθανότητα για διαρροή των υπογείων υδάτων σε γειτονικές λεκάνες, καθώς και η άμεση παροχέτευση προς τη θάλασσα μέσα από μια στενή ζώνη των πηγών, οδήγησε στην κατασκευή του υπόγειου φράγματος ως μια πιο αποδοτική λύση. Η αύξηση της αντλούμενης παροχής θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο εάν είχε κατασκευαστεί ένα υπόγειο στεγανό φράγμα, όπου θα συντελούσε στην ανύψωση της υδροστατικής στάθμης κατά 1 m και στη βελτίωση της ποιότητας του. Η εκμετάλλευση του πραγματοποιείται μέσω μιας

υδρομαστευτικής τάφρου, που συνδέεται με μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων και μια υδρομαστευτική στοά που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό. Το νερό μεταφέρεται και αποθηκεύεται στον τεχνητό ταμιευτήρα του Μπραμιανού. Οι ποσότητες που μεταφέρονται είναι της τάξεως των 8700000 m^3 ετησίως. Επιπλέον διατίθενται απ' ευθείας για αρδεύσεις στον ΤΟΕΒ Καβουσίου περί τα 550000 m^3 ετησίως. Τουτέστιν συνολικά από το έργο αυτό αντλούνται περίπου τα 9250000 m^3 ετησίως. Τέλος το χειμώνα μπορεί επίσης να αντλείται επιπλέον νερό και να διατίθεται για τεχνητό εμπλουτισμό του γειτονικού προσχωματικού υδροφορέα που λόγω υπεραντλήσεων έχει υποστεί υφαλμύριση. Επί του παρόντος, ένα διαφραγματικό τοίχος μέσω των πασσάλων, είναι υπό κατασκευή για την απομόνωση της πηγής από την διείσδυση θαλασσινού νερού. Η συγκέντρωση χλωριόντων μειώθηκε, αλλά όχι σημαντικά. Ωστόσο το φράγμα δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί και η διείσδυση του θαλασσινού νερού δεν έχει σταματήσει, εισχωρώντας έτσι στην μικρή λίμνη της πηγής, είτε πλευρικά είτε από το κάτω μέρος.



Εικόνα 32 Πηγές Μαλαύρας (www.elter.gr).

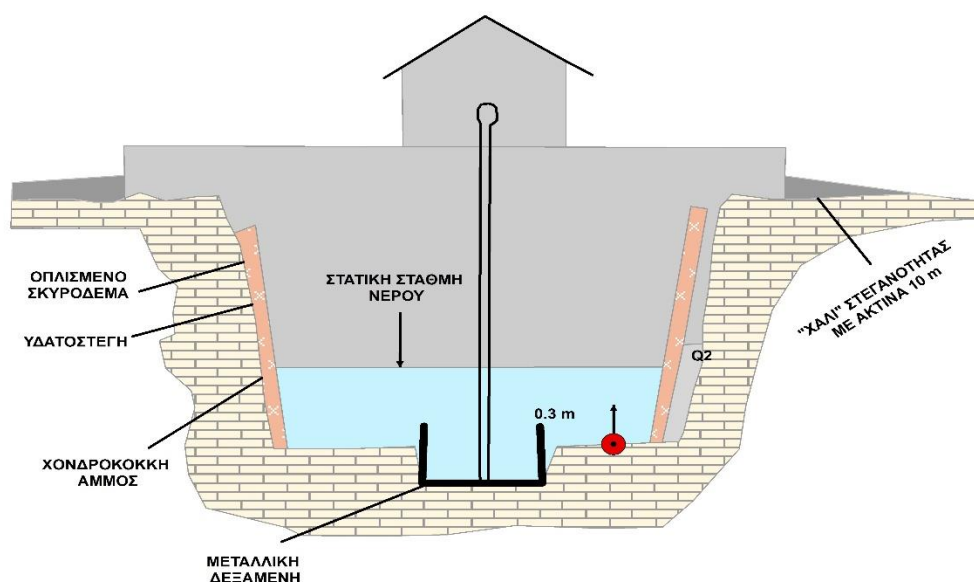


Εικόνα 33 Πανοραμική άποψη του μετώπου εμφάνισης πηγών Μαλαύρας (Φωκική Α.Ε., 2001).

3.2.3 ΦΡΕΑΤΙΟ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΚΑΡΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΤΟΥ ΠΟΡΟΥ, ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ

Μια ειδική εγκατάσταση παρεμπόδισης, κατασκευάστηκε στον Πόρο (εικ. 34), για την εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων από τον παράκτιο καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, η οποία δεν επιτρέπει την υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδάτων λόγω υφαλμύρισης. Η πόλη του Πόρου είναι χτισμένη σε πρόσφατες ποτάμιες και παράκτιες αποθέσεις (μάργες, αργίλους, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή). Το έργο κατασκευάστηκε το 1986 από τον Ι. Κουμαντάκη και πρόκειται για μικρού μεγέθους και κόστους έργο. Η εγκατάσταση αποτελείται από μια υδατοστεγανή μεταλλική δεξαμενή με χωρητικότητα 3 m^3 , εξοπλισμένη με συσκευή άντλησης. Η εγκατάσταση τέθηκε σε εφαρμογή για την παροχή νερού στην πόλη του Πόρου, λόγω του προβλήματος έλλειψης νερού ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Το έργο κατασκευάστηκε στην επίπεδη παράκτια ζώνη στο στόμιο του φαραγγιού του Πόρου. Μια δεξαμενή τοποθετήθηκε στο κάτω μέρος του φρεατίου με ανασκαφή εντός του ασβεστόλιθου και ο πυθμένας της στέκεται πάνω από το απόλυτο υψόμετρο. Το κάτω μέρος του φρέατος είναι κάτω από την πιεζομετρική επιφάνεια, ενώ το άκρο της δεξαμενής βρίσκεται πάνω από το απόλυτο υψόμετρο. Έτσι, μόλις η στάθμη του επιπέδου άντλησης πέσει κάτω από το απόλυτο υψόμετρο, η εισροή στη δεξαμενή διακόπτεται, ο κώνος δεν μπορεί να μεταδοθεί και ως εκ τούτου διατηρείται η πιεζομετρία και αναστέλλεται η άνοδος της ζώνης αλάτωσης. Συνεπώς έχουμε ισορροπία του υδραυλικού φορτίου του γλυκού νερού, αυτό οδηγεί σε συγκράτηση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού και άντληση καλής ποιότητας νερού. Το έργο λειτουργεί και ως ενισχυτής της ύδρευσης της περιοχής με νερό, φτωχό σε συγκέντρωση χλωριόντων.

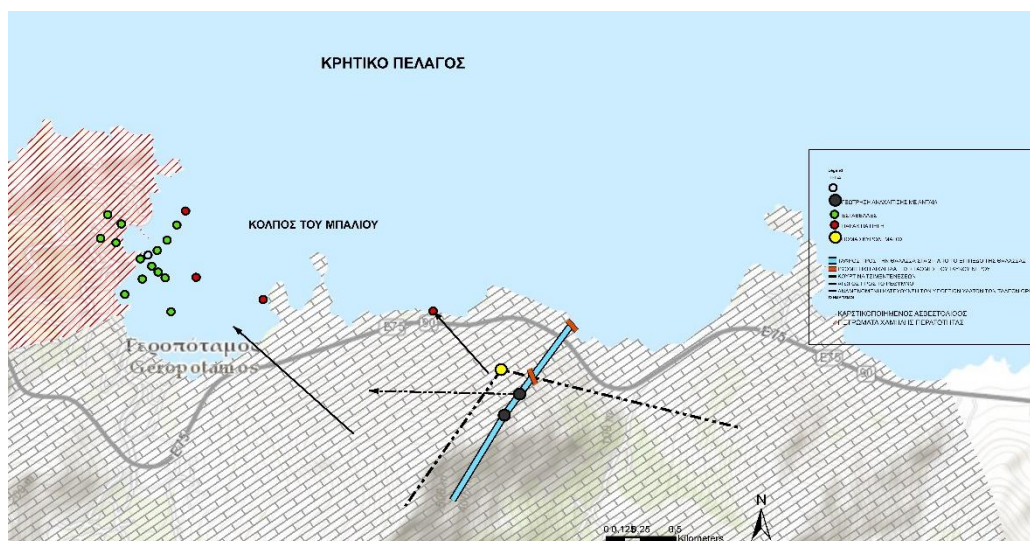


Εικόνα 34 Κάτοψη και τομή του μηχανισμού σύλληψης στον Πόρο Κεφαλληνίας (Τροποποίηση από Κουμαντάκης, 1987).

Κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής άντλησης με παροχή $100 \text{ m}^3/\text{h}$, η πτώση ήταν 0.5 m και η συγκέντρωση χλωριόντων ήταν 135.4 mg/l . Η αρχική υδροστατική στάθμη ήταν 0.54 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Ακόμα και όταν ο υδροφορέας αντλείτο εντατικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής, η ποιότητα του νερού παρέμενε καλή. Ένα χρόνο μετά την κατασκευή, η συγκέντρωση χλωριόντων ήταν 38.5 mg/l (Κουμαντάκης, 1987).

3.2.4 ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΤΟΥ ΜΠΑΛΙΟΥ, ΚΡΗΤΗ

Η περιοχή της λεκάνης του υδροφόρου ορίζοντα του κόλπου του Μπαλίου είναι στη βόρεια ακτή της Κρήτης και οι πηγές αναδύονται και αναβλύζουν μέσω της ανθρακικής μάζας των Ταλέων Όρων. Στο εσωτερικό μέρος του κόλπου του Μπαλίου, 15 υποθαλάσσιες πηγές έχουν αναγνωριστεί, οι οποίες λειτουργούν σαν εσταβέλλες (εικ. 35). Κατά την υγρή περίοδο το υφάλμυρο νερό ρέει από τις εσταβέλλες προς τον κόλπο του Μπαλίου (Οικονομόπουλος, 1983). Σε ορισμένες περιπτώσεις το θαλασσινό νερό εισρέει με τιμή της τάξεως του $0.5\text{-}1 \text{ m}^3/\text{sec}$ (Μπεζές, 1982). Η κακή ορατότητα προς την χοάνη εκροής της πηγής, υποδεικνύει την ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού (Breznik, 1998). Σε βάθος 12 m υπήρχε ένας αριθμός μικρότερων και τριών μεγαλύτερων εσταβέλλων που «καταπίνουν» περισσότερο από $1 \text{ m}^3/\text{s}$ θαλασσινού νερού (Barbier et al., 1992). Η θέση των εσταβέλλων στην υγρή περίοδο και η εκροή της πηγής στην ξηρή περίοδο, δείχνουν την κατεύθυνση της υπόγειας ροής των Ταλαίων Όρων. Με γεωφυσικές μεθόδους στην πηγή θα μπορούσε να καθοριστεί ο αγωγός νερού των Ταλέων Όρων, προς την πηγή (Breznik, 1998, Breznik & Steinman, 2008).

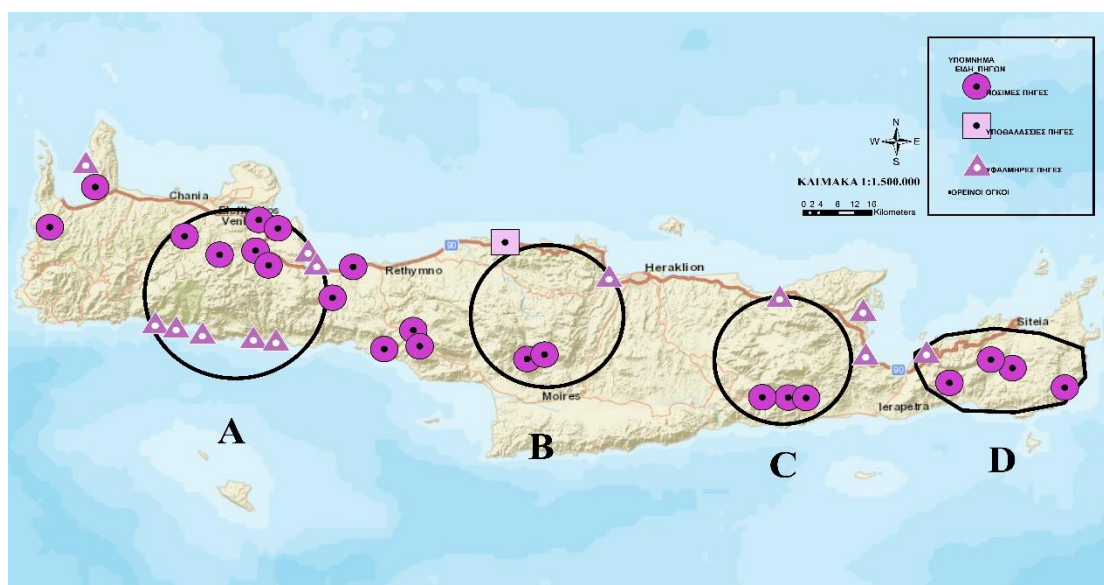


Εικόνα 35 Δομές για την αφαλάτωση των πηγών στον κόλπο του Μπαλί και των εσταβέλλων (Τροποποίηση από Breznik & Steinman, 2008, Economidou, 1983).

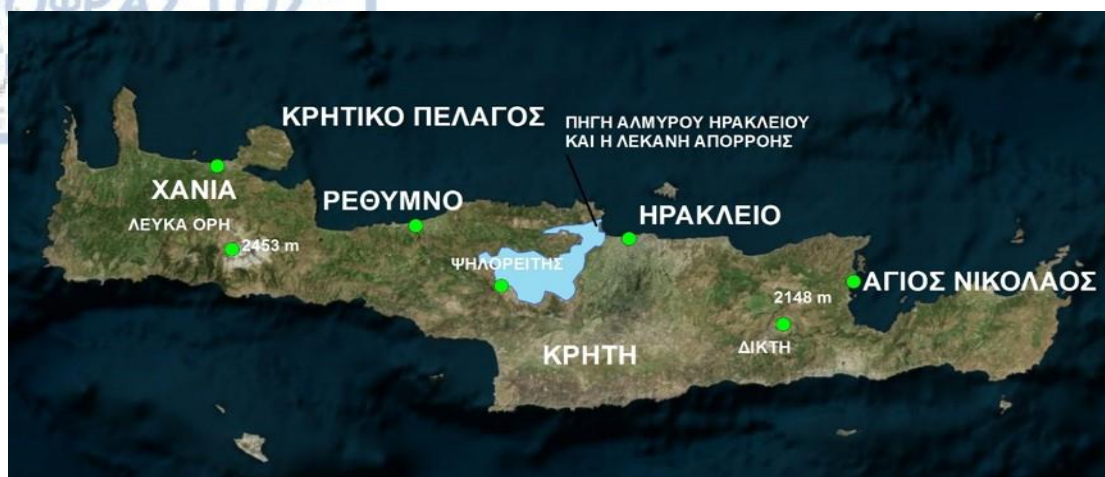
Οι επόμενες ερευνητικές μέθοδοι είναι η σύλληψη των υπόγειων υδάτων του αγωγού με γεωτρήσεις παρακολούθησης. Αυτό γίνεται με ανασκαφή μιας τάφρου με μια ρυθμιστική δικλείδα από γεωτρήσεις παρακολούθησης στη θάλασσα στα 2 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Συνδέει, με τσιμεντενέσεις και σκυροδέματα, τον αγωγό μεταξύ των γεωτρήσεων παρακολούθησης και της πηγής του. Ακόμη, κατασκευάστηκε μια σειρά από κουρτίνες τσιμεντενέσεων, με απόσταση των γεωτρήσεων 2-3 m μέχρι 60 m και 120 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η αύξηση της στάθμης των υδάτων από τη ρυθμιστική δικλείδα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, μας οδήγησαν στην κατανόηση πιθανών απωλειών νερού κατά μήκος της ακτής, καταχώριση νέων πηγών και καταγραφή της θερμοκρασίας των παράκτιων υδάτων, έτσι ώστε να κατασκευαστούν πρόσθετες κουρτίνες τσιμεντενέσεων εάν αυτό είναι απαραίτητο. Εκτιμήθηκε ότι υπάρχει μια πιθανότητα 70% για αφαλάτωση της τάξεως του 0.5-1.0 m³/sec του υδροφόρου των Ταλέων Όρων. Μερικοί ερευνητές πιστεύουν ότι οι εσταβέλλες του κόλπου του Μπαλίου συμβάλλουν στην αλάτωση της υφάλμυρης πηγής του Αλμυρού στο Ηράκλειο.

3.2.5 ΠΗΓΗ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ, ΚΡΗΤΗ

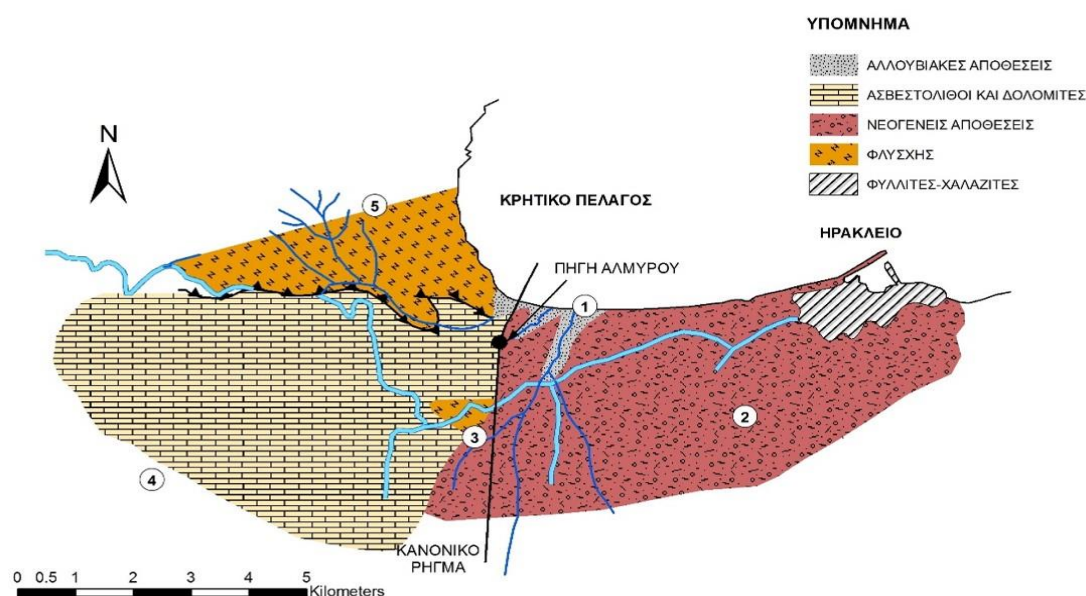
Το χαρακτηριστικό αυτής της πηγής (εικ. 36, 37) είναι μια πολύ αργή αύξηση της αλατότητας, κατά τη διάρκεια της μείωσης της παροχής σε απόσταση 1 km από την ακτή της θάλασσας, με πολλές πρωτογενείς φλέβες μιας καρστικής περιοχής, τροφοδοσίας 300 km² και με πολύ βαθιές φλέβες-διακλάσεις σε διαφορετικά βάθη (εικ. 38) (Re 1968, Breznik, 1971, 1973, 1998, Breznik & Steinman, 2008, Monopolis κ.ά., 2005, Σούλιος, 1989).



Εικόνα 36 Τύποι πηγών στον κρητικό χώρο και η περιοχή μελέτης της υφάλμυρης πηγής του Ηρακλείου (Τροποποίηση από Arfib et al., 2007).



Εικόνα 37 Η πηγή Αλμυρού Ηρακλείου και η λεκάνη απορροής (Τροποποίηση από Arfib et al., 2007).



Εικόνα 38 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής γύρω από την πηγή του Αλμυρού (Τροποποίηση από Παναγόπουλος & Λαμπράκης, 2006).

Όλες οι φλέβες είναι ασβεστολιθικές του Μεσοζωικού και οι χαμηλότερες φλέβες κάτω από την πλάκα Φαιστού–Ηρακλείου είναι νεογενή. Αυτή η πηγή ερευνήθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη-UNDP-FAO και το Ελληνικό Δημόσιο κατά τα έτη 1967 έως 1972. Από την πηγή μέχρι και τη ακτή της θάλασσας, υπάρχουν 15 γεωτρήσεις μεγάλου βάθους (240 m), με σκοπό να βρουν και να σφραγίσουν με μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων, έναν αγωγό με εισροή θαλασσινού νερού. Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ότι αυτός ο αγωγός δεν είναι μεταξύ της πλησιέστερης θάλασσας και της πηγής, αλλά είναι κάτω από τις νεογενείς αποθέσεις και στα 800 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Η πηγή του Αλμυρού έχει μέση παροχή από 8 m³/sec. Η παροχή του υδροφορέα που παρατηρήθηκε για μια βδομάδα, κατά την περίοδο του Αυγούστου του 1969, ήταν 0.12 m³/sec στις νεογενείς αποθέσεις (Breznik, 1971).

Προτάθηκε λοιπόν, η αφαλάτωση της πηγής του Αλμυρού με τις μεθόδους της απομόνωσης, της αύξησης της στάθμης της πηγής και της διακοπής με σκοπό την ύδρευση του δήμου Γαζίου. Προτάθηκε ακόμη, η άνοδος της στάθμης της πηγής κατά 10 m (Breznik, 1971). Ένα νέο φράγμα κατασκευάστηκε το 1976, οδηγώντας στην αύξηση της στάθμης της πηγής στα 10 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας για κάποιους μήνες το 1977 και το 1987. Το νερό της πηγής παρέμεινε υφάλμυρο (αρνητικό αποτέλεσμα), αλλά η παροχή μειώθηκε και δεν εμφανίστηκαν εσταβέλλες στη θάλασσα του Ηρακλείου (θετικό αποτέλεσμα). Έτσι, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι μια μεγάλη ανύψωση της στάθμης της τάξεως των 20-30 m (Breznik, 1984), θα πρέπει να καθοριστεί με δοκιμή κατά την περίοδο του χειμώνα, για να έχουμε μεγαλύτερη παροχή (Breznik, 1978, 1989).

Ωστόσο, προτάθηκε και κατασκευάστηκε ένα επιπλέον φράγμα, χωρίς να έχει επιτυχή αποτελέσματα, καθώς το νερό δεν παρουσίασε αποτελέσματα ποσιμότητας (εικ. 39). Το 2016 δημιουργήθηκε μια μονάδα αφαλάτωσης στην περιοχή, με σκοπό την μείωση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα μέχρι το επιθυμητό αποτέλεσμα, παρ' όλα αυτά δεν υπάρχουν ακόμη ενδείξεις ποσιμότητας.



Εικόνα 39 Σημερινή εικόνα της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου και η κατασκευή του επιπλέον φράγματος (Arfib et al., 2007).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΠΗΓΗ	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΑ
ΑΝΑΒΑΛΟΣ ΚΙΒΕΡΙΟΥ ΑΡΓΟΥΣ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	36.000 - 50.000 m ³ /h	ΤΟΞΩΤΟ ΦΡΑΓΜΑ, ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ΜΑΛΑΥΡΑΣ ΚΡΗΤΗΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	400 - 70.000 m ³ /h	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ, ΥΠΟΓΕΙΟ ΦΡΑΓΜΑ, ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟΣ, ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΘΕΙ (ΕΙΝΑΙ ΜΗ ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΜΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ)
ΠΟΡΟΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	3.500 - 36.000 m ³ /h	ΦΡΕΑΤΙΟ, ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ (ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ)
ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	7.000 - 11.000 m ³ /h	ΦΡΑΓΜΑ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ, ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ΜΠΑΛΙ ΚΡΗΤΗΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	1.800-3.500 m ³ /h	ΤΑΦΡΟΣ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ

3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

3.3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΚΡΟΑΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

Σχεδόν το ήμισυ του κροατικού εδάφους είναι δομημένο από ανθρακικά πετρώματα, τα οποία ανήκουν στα Δαλματικά καρστ (Herak et al., 1969). Οι προϋποθέσεις αυτές συνιστούν ευνοϊκές συνθήκες για σχηματισμό υφάλμυρης πηγής και διείσδυση θαλασσινού νερού βαθιά μέσα στους παράκτιους υδροφορείς.

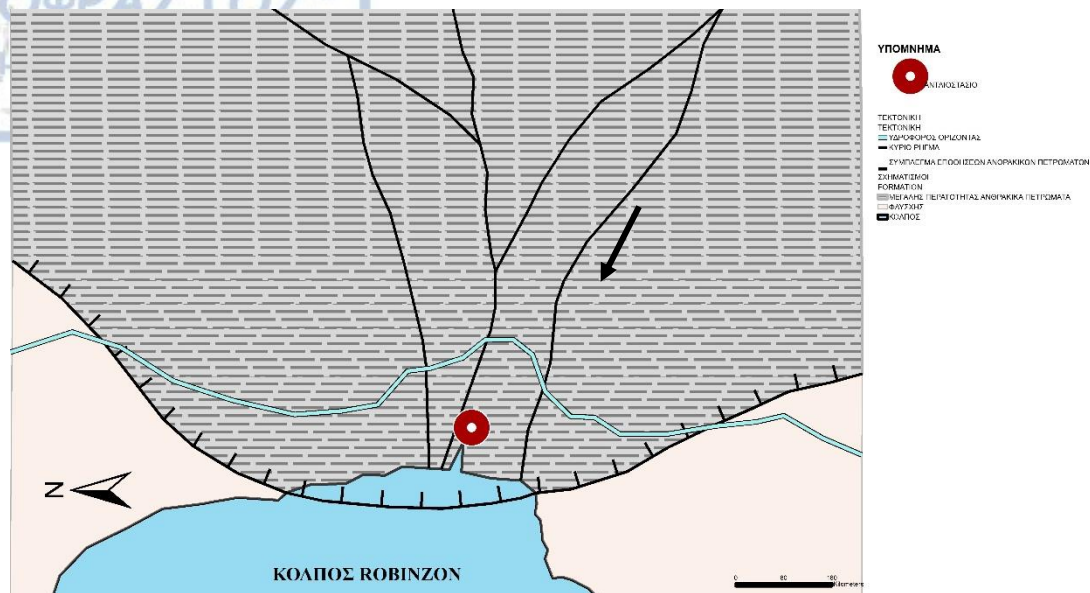
Η Κροατική Αδριατική ακτή χαρακτηρίζεται από έναν μεγάλο αριθμό μόνιμων ή περιοδικών παράκτιων υφάλμυρων και υποθαλάσσιων πηγών (εικ. 40). Οι υφάλμυρες πηγές εμφανίζονται στο επίπεδο της θάλασσας, κάτω και πάνω από αυτό. Οι θέσεις των υφάλμυρων παράκτιων καρστικών πηγών αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 40 Κατανομή κύριων παράκτιων καρστικών υδροφόρων της Νότιας Ευρώπης (Τροποποίηση από COST Action 621). Σημείωση: Οι περιοχές των επιλεγμένων καρστικών υδροφόρων της Ν. Ευρώπης περιγράφηκαν στον σκελετό του COST 621 Action και χρησιμοποιήθηκαν για την ομαδοποίηση που απαιτείται στην παρούσα εργασία.

3.3.1.1 ΠΗΓΕΣ ROBINZON, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η πηγή Robinzon βρίσκεται στο νότιο τμήμα της ακτής της Αδριατικής Θάλασσας, κοντά στην πόλη του Ντουμπρόβνικ. Η ανάβλυση της αναδεικνύεται στην τεκτονική επαφή μεταξύ πολύ διαπερατών στρωμάτων ασβεστόλιθου και φλύσχη στην παράκτια ζώνη και η έξοδος της είναι 70 m από την ακτή, με μέγιστες και ελάχιστες παροχές περίπου 2 m³/s και 165 L/s, αντίστοιχα (εικ. 41). Η επαφή αυτή είναι διαβρωμένη και παρατηρείται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των πηγών κατά τις περιόδους ξηρασίας το καλοκαίρι (Bonacci & Roje-Bonacci, 1997).



Εικόνα 41 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής Robinson (Τροποποίηση από COST Action 621, 2004).

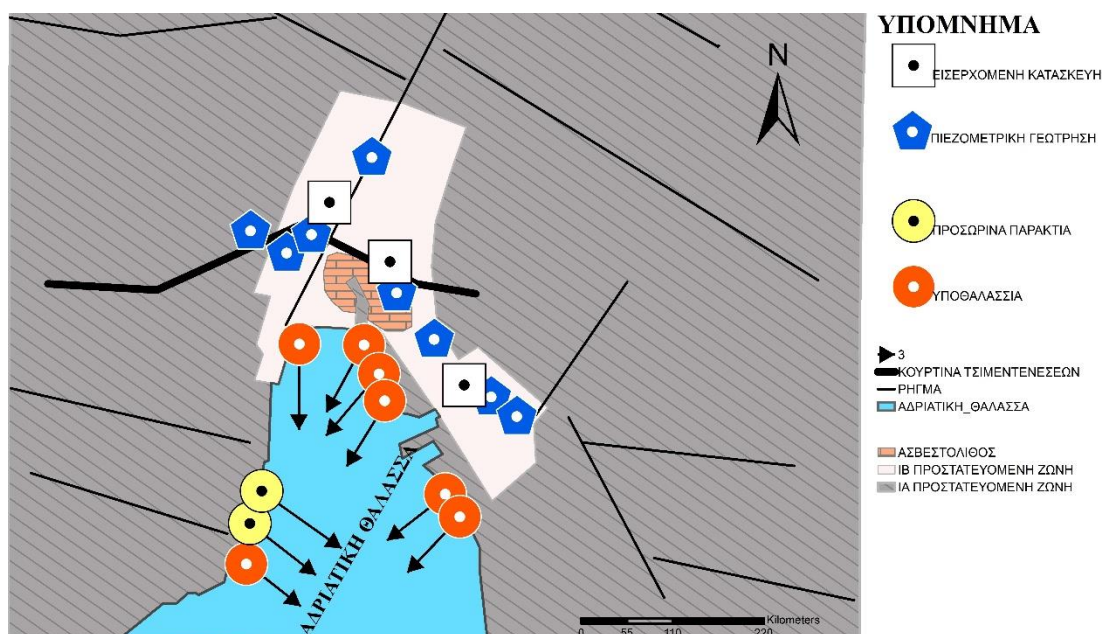
Προτάθηκε να αφαιρεθεί γλυκό νερό από τον καρστικό υδροφορέα περαιτέρω της ζώνης υφαλμύρισης. Για το σκοπό αυτό, μετρήθηκε η αγωγιμότητα σε γεωτρήσεις στον υδροφόρο πιο βαθιά στην ενδοχώρα, και παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών αυτής σε συνάρτηση με το βάθος. Οι τιμές αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα την κατασκευή διαφράγματος τσιμεντενέσεων στα κατάντι των πηγών με σκοπό να εμποδιστεί η υφαλμύριση, να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η απορροή του γλυκού προς το θαλασσίνο νερό και να οδηγήσει σε αυξανόμενο απόθεμα γλυκού νερού με στόχο την χρήση του την θερινή περίοδο. Η λύση αυτή δεν έχει βρεί όμως ακόμη εφαρμογή.

3.3.1.2 ΠΗΓΕΣ NOVJANSKA ŽRNOVNICA, ΚΡΟΑΤΙΑ

Οι πηγές στη Novljanska Žrnovnica βρίσκονται κατά μήκος του βόρειου τμήματος της ακτής της Κροατίας στην Αδριατική (εικ. 42). Η λεκάνη απορροής της είναι κυρίως «κρυμμένη» κάτω από του Κατώτερου Κρητιδικού ασβεστόλιθο, υψηλής διαπερατότητας (εικ. 43). Ασβεστόλιθοι διασχίζουν την περιοχή και λειτουργούν ως υδρογεωλογικός φραγμός. Η δυναμική της κυκλοφορίας των υπογείων υδάτων και η αλληλεπίδρασή τους με το θαλασσίνο νερό είναι πολύπλοκη, η οποία κάτω από φυσιολογικές συνθήκες προκαλεί την περιοδική διεύδυση του θαλασσινού νερού. Για την μείωση της υφαλμύρισης, κατασκευάστηκε μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων με σκοπό να αποφευχθεί η επαφή μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού στη ρηχή ζώνη (Biondić et al., 2005). Η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων διεξάγεται με βαθιές γεωτρήσεις και αποκάλυψε ότι η ζώνη ανάμειξης μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού βρίσκεται σε βάθος 90 έως 110 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Αυτό δείχνει ότι η αποτελεσματικότητα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων δεν είναι απόλυτη, και η διεύδυση του θαλασσινού νερού μέσα στο υδροφόρο ορίζοντα εξακολουθεί να υπάρχει σε εξαιρετικά ξηρές χρονιές.



Εικόνα 42 Ζώνη παράκτιας πηγής Novljanska Zrnovnica (www.researchgate.net).



Εικόνα 43 Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής της πηγής στη Novljanska Zrnovnica της Κροατίας (Τροποποίηση από COST Action 621, 2004).

3.3.1.3 ΠΗΓΗ BLAZ, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η πηγή του Blaž είναι η κύρια, σε μια ζώνη καρστικών πηγών, που αποτελείται από περίπου 20 μόνιμες και προσωρινές παράκτιες πηγές που βρίσκονται κατά μήκος της ακτής του κόλπου Rasa. Αυτό αντιπροσωπεύει τη ζώνη επαφής μεταξύ ανθρακικών πετρωμάτων και αδιαπέρατων στρωμάτων φλύσχη. Η μέση παροχή της πηγής είναι περίπου $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ και η μέγιστη είναι $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bonacci & Roje-Bonacci, 1997). Λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού και της υψηλής συγκέντρωσης χλωριόντων κατά την καλοκαιρινή περίοδο, το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση. Η υφαλμύριση παρατηρείται κάθε χρόνο κατά τη διάρκεια των ζεστών και ξηρών

περιόδων του καλοκαιριού. Το θαλασσινό νερό διαπερνά τον υδροφορέα απευθείας μέσω του καρστικού αγωγού και συνδέεται με την Αδριατική Θάλασσα.

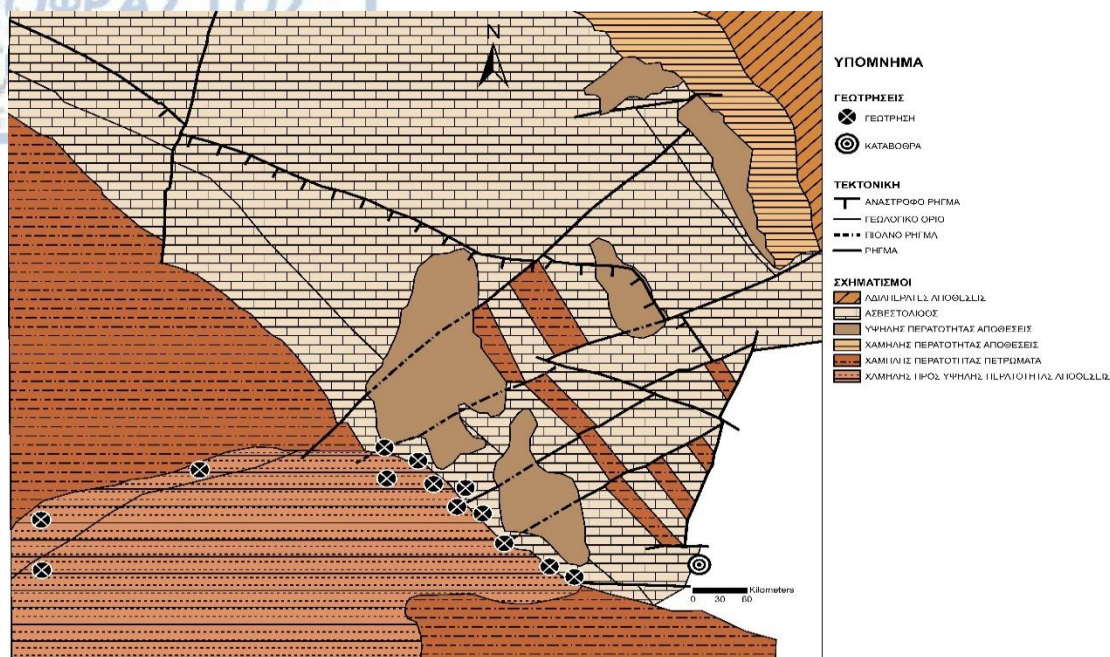
Η υφάλμυριση στην πηγή του Blaž θα μπορούσε ενδεχομένως να προληφθεί μέσω του αποκλεισμού του καρστικού αγωγού μέσω του οποίου η κύρια ποσότητα του νερού της θάλασσας εισχωρεί στην πηγή και με κατασκευή μιας κουρτίνας τσιμεντενέσεων. Παρ' όλα αυτά δεν έχει γίνει ακόμη καμία εφαρμογή.

3.3.1.4 ΠΗΓΗ ΤΗΣ MARTINISCICA, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η πηγή της Martiniscica είναι μία από τις πηγές που αξιοποιούνται για την ύδρευση της Ρίεκα, με μέγιστη παροχή των 400 L/sec. Το σύστημα παροχής νερού αποτελείται από αρκετά φρεάτια που φαίνονται στην εικόνα 44. Ωστόσο, οι γεωτρήσεις δεν είναι σε λειτουργία λόγω της αυξημένης αλατότητας κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ξηρών περιόδων. Η εκμετάλλευση ασκείται με 8 γεωτρήσεις, όμως μόνο 3 γεωτρήσεις λειτουργούν σε μήνες αιχμής.

Πιεζόμετρα τοποθετημένα μακρύτερα στον καρστικό ορεινό όγκο, έδειξαν ότι το όριο μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού εξαρτάται από τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες και τις αλλαγές στο επίπεδο των υπόγειων υδάτων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Καθώς τα τοπικά στρώματα δολομίτη είναι σχεδόν αδιαπέρατα, το υφάλμυρο νερό από τα βαθύτερα στρώματα δεν μπορεί να έχει καμία επιρροή στο γλυκό νερό που ρέει μέσα από το στρώμα ασβεστόλιθου, μέσα στους δολομίτες. Καθώς η επαφή γλυκού- αλμυρού νερού είναι ευρύτερη, καμία τεχνική παρέμβαση δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την απομόνωση του γλυκού νερού.

Αυτή η υδρογεωλογική κατάσταση δίνει τη δυνατότητα επιτυχούς αξιοποίησης της πηγής, αλλά υπό την προϋπόθεση του ελέγχου των δυναμικών αποθεμάτων γλυκού νερού. Η λύση για την αλατότητα καθορίζεται από ένα διαχειριστικό σύστημα εκμετάλλευσης και από τον συστηματικό έλεγχο του ρυθμού υδροληψίας, που δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει τα δυναμικά αποθέματα του γλυκού νερού, έτσι ώστε να μην διακοπεί το φυσικό ισοζύγιο και οδηγήσει στην αύξηση της αλατότητας σταδιακά (Bonacci & Roje-Bonacci, 1997).



Εικόνα 44 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Martiniscica (Τροποποίηση από COST Action 621, 2004).

3.3.1.5 ΠΗΓΗ ΤΗΣ SLANO, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η περιοχή της Nereza αποτελείται από αποθέσεις φλύσχη. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες υφίστανται σε μια ακανόνιστη εναλλαγή και χαρακτηρίζονται από καλής προς μέτριας περατότητας, λόγω του δευτερογενούς πορώδους.

Το πόσιμο νερό για την πόλη Σλάνο αντλείται από δύο γεωτρήσεις που ανήκουν στον καρστικό υδροφορέα της πηγής της (εικ. 45). Κατά τη διάρκεια των ξηρών θερινών μηνών οι συγκεντρώσεις χλωριόντων αυξήθηκαν πάνω από τα επιτρεπτά επίπεδα. Το αντλούμενο νερό προέρχεται από δύο καρστικοποιημένους υδροφόρους ορίζοντες που βρίσκονται μέσα σε αποθέσεις φλύσχη. Άντλητικές δοκιμές έδειξαν ότι υπάρχει αυξημένη εισροή αλμυρού νερού από το χαμηλότερο ανθρακικό ορίζοντα. Ως εκ τούτου, κατά τη διάρκεια της συνεχής άντλησης τη θερινή περίοδο, παρατηρείται μείωση φακών γλυκού νερού, λόγω της μειωμένης τροφοδοσίας, έτσι το σύστημα αντλεί από την ενδοχώρα και, κατά συνέπεια, η μεταβατική ζώνη ανεβαίνει στις γεωτρήσεις εκμετάλλευσης. Έχει αναφερθεί ότι μετά την αναπλήρωση του συστήματος, η μεταβατική ζώνη υποχωρήσε σε μεγαλύτερα βάθη και υφίστανται πλέον ένα νέα ισοζύγιο. Αντιθέτως, τα βαθύτερα μέρη των γεωτρήσεων είναι πάντα κάτω από την επιρροή του θαλασσινού νερού και ενός ασταθούς ισοζυγίου με ύπαρξη γλυκού νερού (Bonacci et al., 1995).

Η υφαλμύριση εμφανίζεται μετά την πρώτη εκδήλωση έντονης βροχόπτωσης, το φθινόπωρο. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί από την ανάμειξη γλυκού και θαλασσινού νερού. Μετά από ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, η κατάσταση σταθεροποιείται, και η συγκέντρωση χλωριόντων μειώνεται γρήγορα.

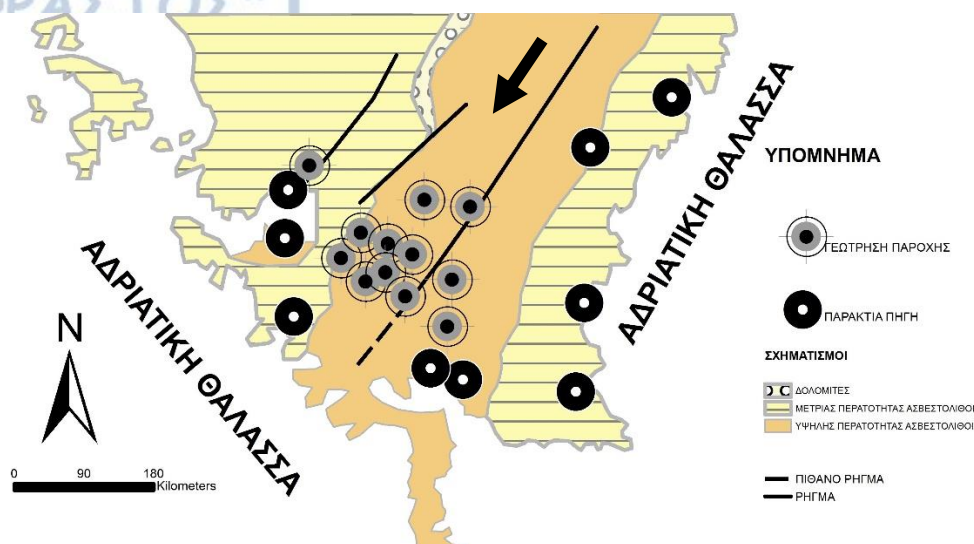


Εικόνα 45 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Σλάνο (COST Action 621, 2004).

Η εφαρμοζόμενη λύση στην συγκεκριμένη πηγή, έχει να κάνει με τον έλεγχο της συγχρονισμένης άντλησης νερού για τις υπάρχουσες συνθήκες στάθμης των υπόγειων υδάτων. Επίσης, η ικανότητα άντλησης της περιοχής Nereza, όπου βρίσκεται η Slano, θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά μέσω μιας καλύτερης κατανομής των γεωτρήσεων και ενός προσεκτικά σχεδιασμένου συστήματος με σκοπό να παρακολουθεί στενά τη διατήρηση του ασταθούς ισοζυγίου γλυκού-αλμυρού νερού στη μεταβατική ζώνη.

3.3.1.6 ΠΗΓΗ ΝΟΤΙΑΣ ISTRIA, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η νότια χερσόνησος της Istria σχηματίζεται από μια σειρά ανθρακικών αποθέσεων, όπου ο ασβεστόλιθος είναι κυρίαρχος και εμφανίσεις δολομίτη (εικ. 46). Η υδρογεωλογία της καρστικής αυτής περιοχής μπορεί να περιγραφεί ως μια ανοιχτή παράκτια ζώνη με μια σειρά από μικρές παράκτιες πηγές με παροχές έως 24 L/sec. Έγινε διάτρηση πολλών γεωτρήσεων με συνολική χωρητικότητα 200 lt/sec, στους παράκτιους καρστικούς υδροφορείς, με σκοπό την υδροδότηση της πόλης της Πούλα (Bonacci & Roje-Bonacci, 2000). Η εντατική εκμετάλλευση προκαλεί τον υποβιβασμό της στάθμης των υπόγειων υδάτων σε περιόδους ξηρασίας, με αποτέλεσμα την υφαλμύριση των υδροφόρων, των γεωτρήσεων εκμετάλλευσης και των παράκτιων καρστικών πηγών. Το πρόβλημα γίνεται όλο και χειρότερο εξαιτίας των πολλών ιδιωτικών γεωτρήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούν το νερό για άρδευση.



Εικόνα 46 Υδρογεωλογικός χάρτης της πηγής της Νότιας Ιστρίας (Τροποποίηση από COST Action 621, 2004).

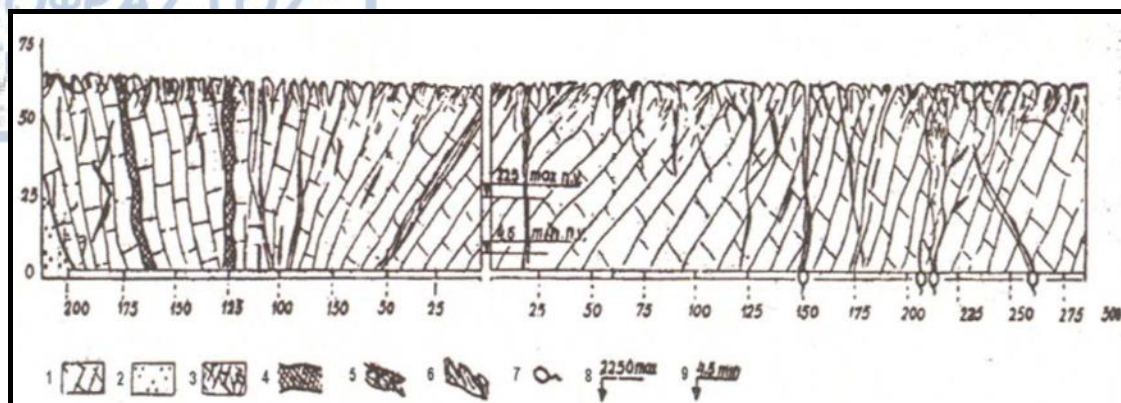
Η μειωμένη παροχή της πηγής είχε σαν αποτέλεσμα την χρήση του τεχνητού εμπλουτισμού, ταυτόχρονα με μελέτες της περιοχής. Η ιχνηθέτηση οδήγησε στην εύρεση της επικοινωνίας που υπήρχε, μεταξύ της πηγής και μιας εκ των γεωτρήσεων. Έτσι εφαρμόστηκε τεχνητός εμπλουτισμός και τροφοδοσία της γεώτρησης με νερό και επετεύχθη μέσω του ταμιευτήρα Butoniga, διευκολύνοντας έτσι την διοχέτευση της γεώτρησης μέσω ενός αγωγού και άλλων μικρότερων έργων στη γεώτρηση. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η επαναφορά της αρχικής παροχής της πηγής.

3.3.1.7 ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ ΚΟΝΤΑ-ZATON, ΚΡΟΑΤΙΑ

Το έργο αποτελείται από μια γεώτρηση προσπέλασης και μια υδρομαστευτική στοά που ξεκινά από τον πυθμένα της γεώτρησης, που είναι κατασκευασμένη στο επίπεδο της υδροστατικής στάθμης του καρστικού υδροφόρου που τροφοδοτεί παράκτιες πηγές μεγάλης παροχής (εικ. 47). Κατά την διάρκεια των θερινών μηνών, οι πηγές αναβλύζουν υφάλμυρο νερό και για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης, απομακρύνθηκε η στοά από την παραλία (Bonacci & Roje-Bonacci, 2000).

Η κατασκευή της γαλαρίας έγινε εντός της υδροπερατής ζώνης και ταυτίζεται με τη διεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων. Έτσι δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης 140-150 m³/h κατά τη θερινή περίοδο. Ο κίνδυνος της υφαλμύρισης μειώνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης, παρά το γεγονός ότι το έργο βρίσκεται σε απόσταση περί τα 30 Km μακριά από την ζώνη των παράκτιων πηγών.

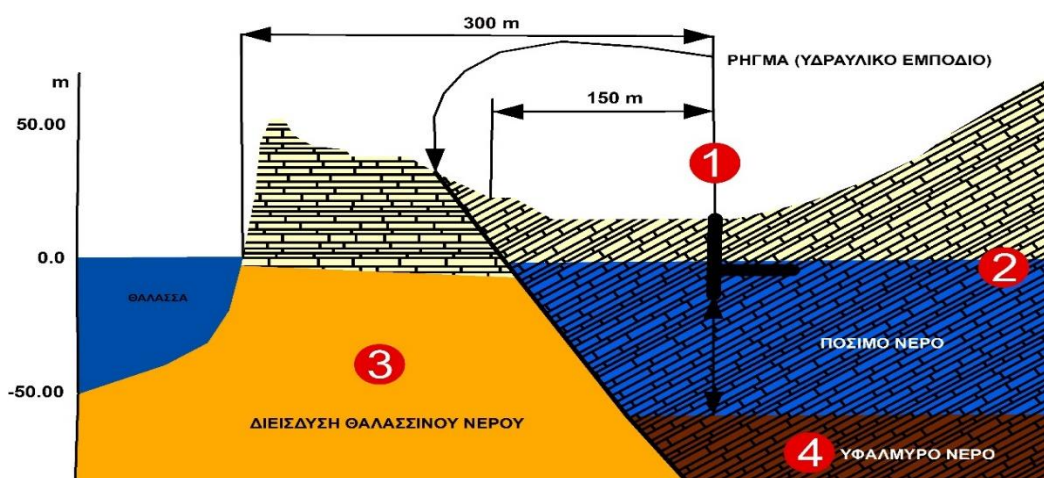
Δύο ακόμη, του ίδιου τύπου γαλαρίες (Dubravica I και II), έχουν κατασκευαστεί στην ίδια περιοχή με συνολική παροχή 140-150 m³/h.



Εικόνα 47 Υδρογεωλογική τομή της υδρομαστευτικής στοάς του Zaton. 1) Κρητιδικοί συμπαγείς ασβεστόλιθοι, 2) Φλύσχης, 3) Θραυσμένοι ασβεστόλιθοι, 4) Σπήλαιο, 5) Ρηγματογενείς ζώνη, 6) Θραύσεις, 7) Εμφάνιση ύδατος, 8) Μέγιστη στάθμη υπόγειου νερού, 9) Ελάχιστη στάθμη υπόγειου νερού (postgrad.hydro.ntua.gr).

3.3.1.8 ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ SIPAN, ΚΡΟΑΤΙΑ

Τα καρστικά υπόγεια ύδατα στο νησί Sipan στην Αδριατική Θάλασσα αναχαιτίζονται μέσω μιας γαλαρίας αποχέτευσης που έχει κατασκευαστεί 300 m από την ακτή λόγω των ευνοϊκών γεωλογικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Η περιοχή αποτελείται από καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους Κατώτερου Κρητιδικού και από δολομίτες Ανώτερου Κρητιδικού επιπλεγμένους πάνω σε αυτούς, λόγω της παρουσίας του ρήγματος (εικ. 48). Το νερό στον ασβεστόλιθο είναι πολύ αλμυρό λόγω υφαλμύρισης ακόμη και 170 m από την ακτή. Ωστόσο, επειδή το ανάστροφο ρήγμα δρα ως υδραυλικός φραγμός, το νερό στο δολομίτη είναι γλυκό και γίνεται υφάλμυρο σε μεγαλύτερο βάθος. Το παρόν έργο χτίστηκε εντός του δολομίτη, 130 μέτρα μακριά από την επαφή με τον ασβεστόλιθο και συλλέγει την καρστική υδροφορία, σε εδάφη ιδιαίτερως ευνοϊκά δομούμενα από ασβεστόλιθους και δολομίτες (Milanovic, 2000).

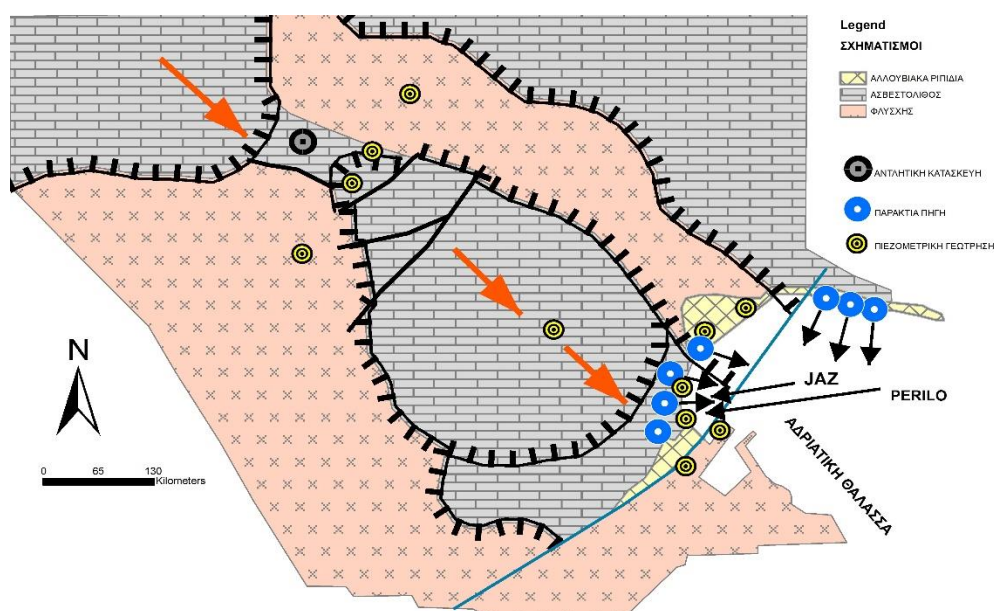


Εικόνα 48 Υδρογεωλογική τομή υδρομαστευτικού έργου (Τροποποίηση από Milanovich, 2000). 1) Κατακόρυφη γεώτρηση και υδρομαστευτική στοά, 2) Καρστικοί ασβεστόλιθοι με έντονη διείσδυση στη θάλασσα, 3) Τμήμα του υδροφορέα στους δολομίτες με μικρή επίδραση της διείσδυσης της θάλασσας, 4) Υδροφορέας με γλυκό νερό στο εσωτερικό των δολομιτών.

3.3.1.9 ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ PERILO, ΡΙΕΚΑ, ΚΡΟΑΤΙΑ

Η πηγή του Perilo είναι επίσης μία από τις παράκτιες καρστικές πηγές, το νερό των οποίων χρησιμοποιείται για τον εφοδιασμό της πόλης της Ριέκα. Μια εγκατάσταση άντλησης έχει τοποθετηθεί στον καρστικό υδροφορέα πιο βαθιά στην ενδοχώρα (εικ. 49). Η ικανότητα άντλησης στις ξηρές περιόδους του καλοκαιριού είναι 240 L/s. Στις περιόδους αυτές, μπορεί να συμβεί διείσδυση του θαλασσινού νερού μέσα στην πηγή, ως αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης και του χαμηλού επιπέδου των υπόγειων υδάτων. Η ολοκληρωτική διακοπή των αντλήσεων από τη στοά, δεν ανυψώνει την υδροστατική στάθμη του συγκεκριμένου συστήματος εξαιρουμένων των πρώτων υψηλών βροχοπτώσεων που ακολουθούν μετά την ξηρή περίοδο. Η αξιοποίηση του υδροφορέα είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της γεώτρησης και της υδρομαστευτικής γαλαρίας, με διάνοιξη μιας υδρομαστευτικής στοάς από τον πυθμένα κατά πλάτος όλης της υδροπερατής ασβεστολιθικής ζώνης. Έτσι γίνεται η ροή των υπόγειων υδάτων προς τον κόλπο του Bakar, μέσω της γαλαρίας (Drew & Hoetzel, 1999).

Για να υπάρξει βελτίωση της λειτουργίας του έργου και δοσμένων των παρόντων συνθηκών στην περιοχή, έγινε πρόταση για κατασκευή μιας κουρτίνας τσιμεντενέσων. Ωστόσο, η ελεγχόμενη άντληση νερού που συνδέεται με τη συνεχή παρακολούθηση της στάθμης των υπόγειων υδάτων έχει ως αποτέλεσμα να μην ληφθούν οποιαδήποτε επεμβατικά μέτρα.



Εικόνα 49 Υδρογεωλογικός χάρτης της ζώνης της πηγής του Perilo (Τροποποίηση από COST Action 621, 2004).

3.3.1.10 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΠΗΓΩΝ ΚΟΛΠΟΥ TRSTENICA, ΚΡΟΑΤΙΑ

Οι τρεις παράκτιες πηγές Bilan, Mali Vodovar και Veliki Vodovar βρίσκονται και αναβλύζουν στον κόλπο Trstenica και αποστραγγίζουν, βόρεια του Orebic, τους ανθρακικούς λόφους. Η συγκεκριμένη περιοχή είναι η μοναδική ζώνη όπου το θαλασσινό νερό μπορεί να εισέλθει στον υδροφόρο ορίζοντα (Komatina, 1984).

Η κατασκευή μιας υδρομαστευτικής στοάς, 1.6 km από την ακτή, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι και άλλες κατασκευές θα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε να συλλέγουν το γλυκό νερό. Η κατασκευή ενός μικρού φράγματος στην πηγή Bilan ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική, δεδομένου ότι η στοά στο Stankovic θα μπορούσε στη συνέχεια να δώσει μια μικρή παροχή της τάξεως του 1.5-3.0 l/sec, γλυκό νερό.

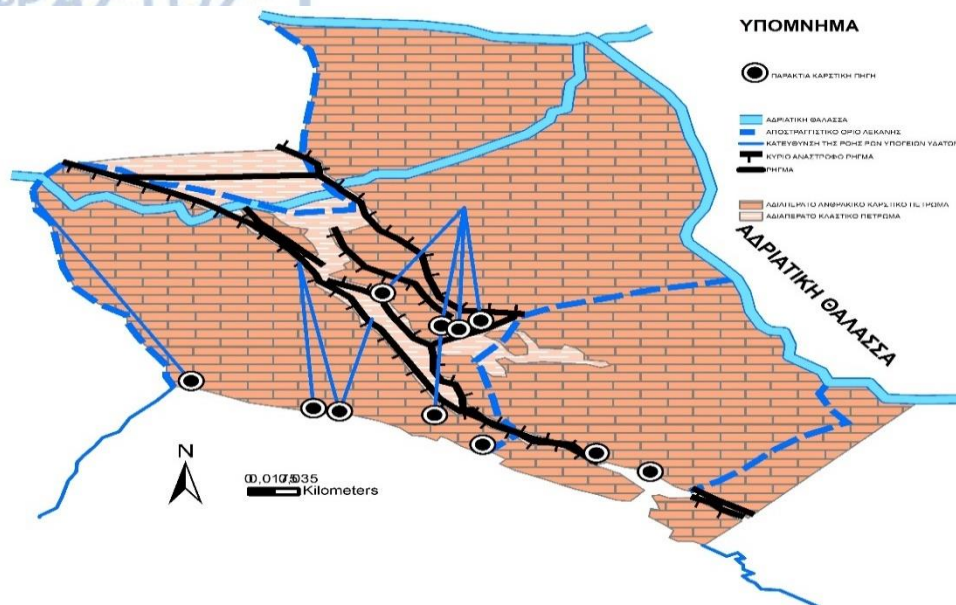
Πολλές έρευνες που διεξάγονται στις τρεις περιοχές έδειξαν ότι το πρόβλημα της υφαλμύρισης, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά μέσω της ανασυγκρότησης του φράγματος του φλύσχη, μέσω ενεμάτων σκυροδέματος ή/και τοίχων από μπετόν.

Η πηγή Bilan απομονώθηκε από τη θάλασσα με τρία μακρά τοίχη, η πηγή Mali Vodovar απομονώθηκε με ένα φράγμα που επεκτείνεται 2 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ακόμη η πηγή Veliki Vodovar απομονώθηκε με τσιμεντένιο τοίχο, του οποίου το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται κάτω από την θάλασσα.

Οι παρεμβάσεις αποδείχθηκαν πολύ αποτελεσματικές και η μείωση της αλατότητας ήταν ευκόλως εμφανής και σημαντική. Οι στάθμες των υπόγειων υδάτων σε τρεις θέσεις, η μείωση της υδραυλικής κλίσης, η σταθεροποίηση της αλατότητας και στα τρία σημεία παράκτιας παροχής καθώς και η μείωση της διακύμανσης των επιπέδων των υπόγειων υδάτων που σχετίζονται με παλίρροιες, ενισχύουν την απομόνωση του υδροφόρου ένταντι του θαλασσινού νερού, αποδεικνύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των έργων απομόνωσης.

3.3.1.11 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ZVIR II, ΡΙΕΚΑ, ΚΡΟΑΤΙΑ

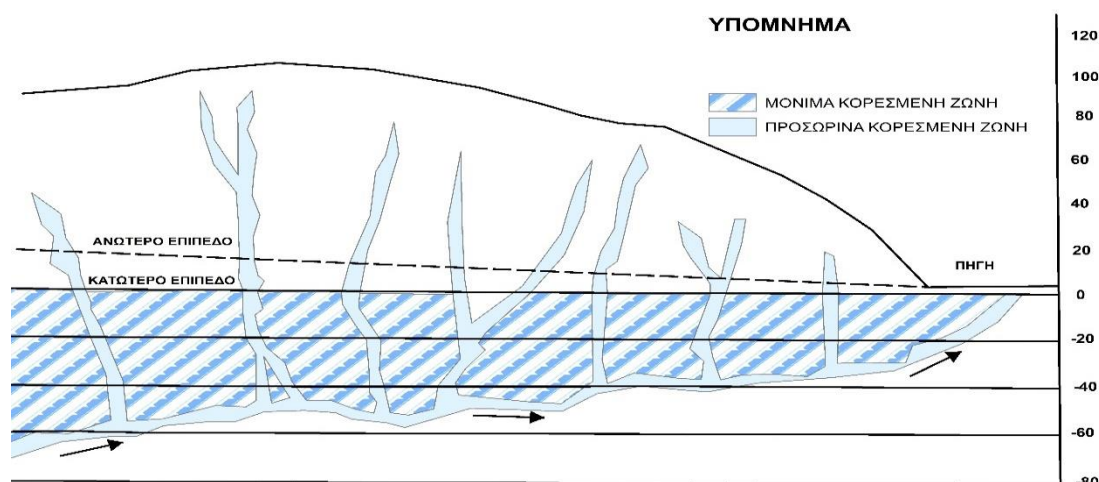
Η πόλη της Ριέκα και η γύρω περιοχή αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα (εικ. 50). Τα περισσότερα πετρώματα αποτέθηκαν κατά το Μεσοζωικό και υποβλήθηκαν σε εντατική διαδικασία καρστικοποίησης κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων της γης, ειδικά του Τεταρτογενούς. Οι αδιαπέρατες αποθέσεις φλύσχη παίζανε σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των πρόσφατων υδρογεωλογικές καταστάσεων. Αυτές οι αποθέσεις, είναι χαρακτηριστικές της τελικής αποθετικής φάσης, της ανθρακικής στην περιοχή της Αδριατικής (Pekas, 2012).



Εικόνα 50 Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής της Ριέκας (Τροποποίηση από www.researchgate.net).

Στην περιοχή της Ριέκα έγιναν κάποια έργα σύλληψης, ένα από τα οποία είναι μία στοά που έχει τοποθετηθεί στη ζώνη παροχής ενός καρστικού υδροφορέα και είναι διαφορετικά σχεδιασμένη σε σχέση με αυτές των παράκτιων καρστικών υδροφορέων. Η διαφορά αυτή σχετίζεται με την προσπέλαση εντός του υδροφόρου και όχι με την υδρομάστευσή του. Η συγκεκριμένη κατασκευή έλαβε μέρος λόγω της αστικοποίησης των φυσικών πηγών και της παρουσίας των αποβλήτων και η σύλληψη του νερού άμεσα από την περιοχή των πηγών, θεωρούνταν αδύνατο.

Έτσι, έγινε διάνοιξη στοάς μήκους 400 m και εντός αυτής κατασκευάστηκαν έξι γεωτρήσεις στις ζώνες των κατακόρυφων καρστικών δομών, φέροντας σε υδραυλική επικοινωνία τη στοά με τους βαθείς καρστικούς αγωγούς. Η συνολική απόδοση του συστήματος εκμετάλλευσης φθάνει πάνω από 800 l/s, αλλά η βέλτιστη εκμετάλλευση ορίστηκε σε 600 l/s (2160 m³/h) (εικ. 51).



Εικόνα 51 Σύστημα σπηλαίων στη ζώνη σύλληψης των υδάτων (Τροποποίηση από www.researchgate.net).

Οι καρστικές δομές φθάνουν έως τους βαθείς καρστικούς αγωγούς και μέσω αυτών το νερό ανέρχεται μέχρι την υδροστατική επιφάνεια. Επομένως, μέσω των γεωτρήσεων και της στοάς, με άντληση από τις γεωτρήσεις όταν αυτό είναι απαραίτητο, γίνεται εκτροπή της υπόγειας ροής.

Η λύση που σχεδιάστηκε και αφορά την ζώνη σύλληψης πραγματοποιήθηκε με σκοπό να αξιοποιήσει μόνο ένα μέρος της ζώνης παροχής και το υπόλοιπο μέρος παρέμεινε άθικτο έτσι ώστε να δρα σαν υδραυλικός φραγμός. Υπό ορισμένες συνθήκες, μια υδρομαστευτική δομή του τύπου γαλέρας, μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική για την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου των υπόγειων υδάτων, ιδίως σε παράκτιους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες, αλλά απαιτεί προσεκτική λεπτομερή έρευνα και τεχνικό σχεδιασμό.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΟΝ ΚΡΟΑΤΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΠΗΓΗ	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΑ
ROBINZON	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	600 - 7200 m ³ /h	ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ
NOVLANSKA ZRNOVNICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	1400 m ³ /h	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ
BLAZ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	5800-9400 m ³ /h	ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ
MARTINISCICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	1500 m ³ /h	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΣΩ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ (ΕΦΟΣΩΝ ΓΙΝΕΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ)
SLANO	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	20 m ³ /h	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SOUTH ISTRIA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	750 m ³ /h	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
KOVCA-ZATON	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	140 - 150 m ³ /h	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ, ΣΤΟΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SIPAN	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ	-	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
PERILO	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	870 m ³ /h	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ ΚΑΙ ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΣΥΝΘΗΚΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΟΥΡΤΙΝΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ
TRSTENICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	-	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ, ΦΡΑΓΜΑ, ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ZVIR II	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	2.800 m ³ /h	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ

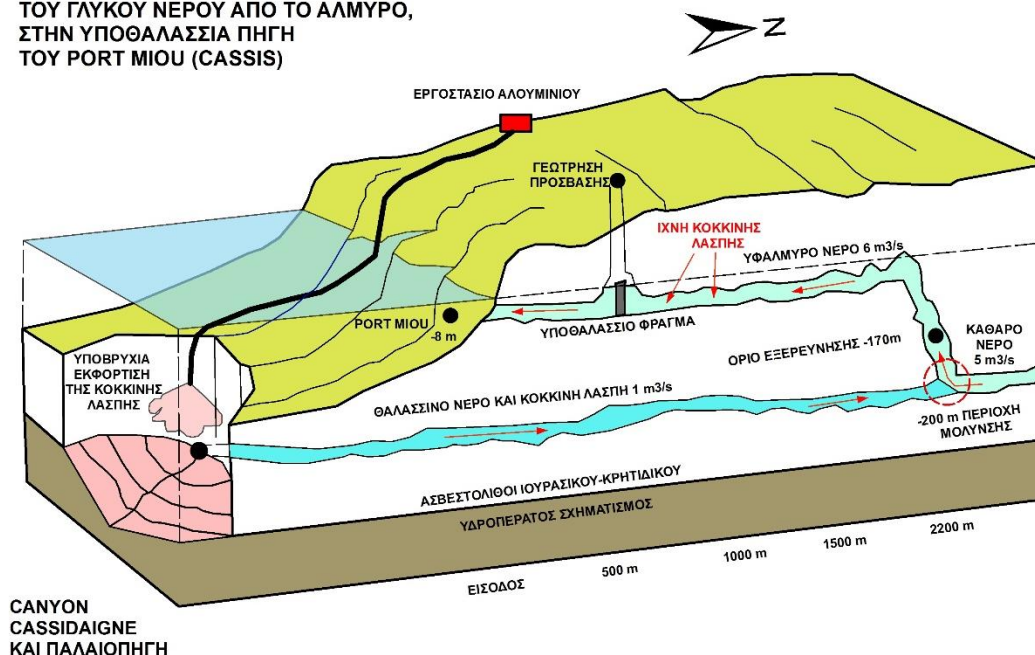
3.3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΧΩΡΟ

3.3.2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ PORT-ΜΙΟΥ, ΓΑΛΛΙΑ

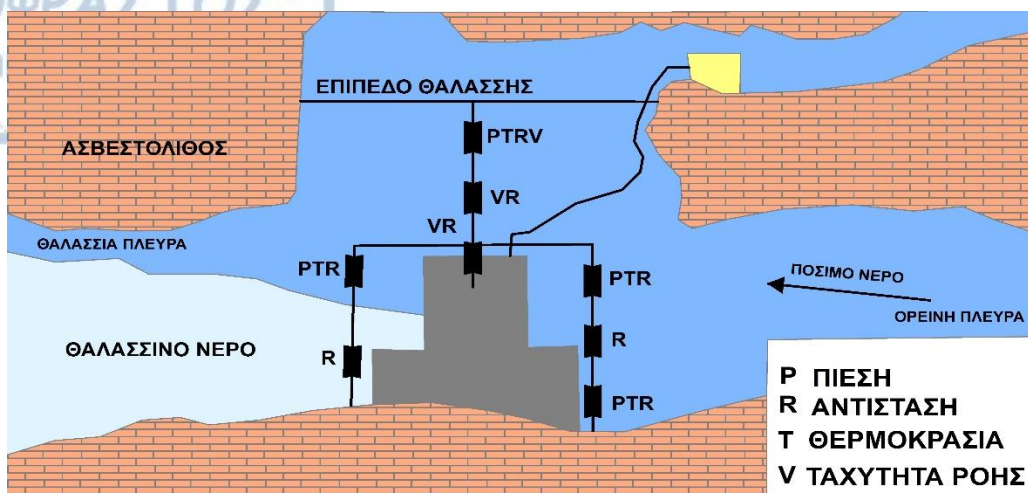
Το συγκεκριμένο έργο ανήκει στην κατηγορία των ειδικών υδρομαστευτικών έργων και συγκεκριμένα στα έργα διαχώρισης των ζωνών γλυκού και θαλασσινού νερού. Πρόκειται για την κατασκευή φράγματος εντός ενός υποθαλάσσιου καρστικού αγωγού, για την αξιοποίηση των υποθαλάσσιων πηγών κοντά στην Μασσαλία, με διακοπή της άμεσης υφαλμύρισης των πηγών Cassis (εικ. 52), μέσω του καρστικού αγωγού.

Αναφέρεται στις υποθαλάσσιες πηγές Cassis, οι οποίες αποστραγγίζουν μεγάλο μέρος μια παχείας ασβεστολιθικής ενότητας. Στο Port-Miou υπάρχει μια πηγή με μεγάλη διατομή που τροφοδοτείται από έναν καρστικό αγωγό και ένας δεύτερο μικρότερο (Bestouan). Μέσω εκτεταμένων ερευνών και πειραμάτων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του νερού των πηγών, αποφασίστηκε τελικά η κατασκευή δύο υποθαλάσσιων φραγμάτων μέσα στον ευρύ καρστικό αγωγό (εικ. 53). Υπήρχε μεγάλη βελτίωση στην αλατότητα του νερού από 10 g/l έπεσε σε 2-3 g/l, όχι όμως σε επίπεδα ικανοποιητικά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό. Το έργο ξεκίνησε το 1964, η χρηματοδότησή του όμως σταμάτησε το 1975, για λόγους που έχουν να κάνουν με αλλαγή των προοπτικών πληθυσμιακής αύξησης της Μασσαλίας για την ύδρευση της οποίας προοριζόταν. Κατά τις ξηρές περιόδους η εκροή νερού βελτιωμένης ποιότητας από τις πηγές, είναι 2-3 m³/s.

ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΜΟΛΥΝΣΗΣ
ΤΟΥ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΛΜΥΡΟ,
ΣΤΗΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΗΓΗ
ΤΟΥ PORT ΜΙΟΥ (CASSIS)



Εικόνα 52 Έννοια του μηχανισμού μόλυνσης του γλυκού νερού από το αλμυρό, στην υποθαλάσσια πηγή του Port-Miou (Τροποποίηση από Gilli, 2007).



Εικόνα 53 Καταγραφική απεικόνιση των φραγμάτων και του υπερχειλιστή του έργου (Τροποποίηση από www.researchgate.net).

3.3.2.2 ΦΡΑΓΜΑ ΠΗΓΩΝ AURISINA, TRIESTE, ΙΤΑΛΙΑ

Στην περιοχή παρατηρείται χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα και επομένως γίνεται ύδρευση από τις πηγές της Aurisina, που τροφοδοτούν την Τεργέστη (εικ. 54). Η ανάβλυση των πηγών γίνεται μέσω ανθρακικών πετρωμάτων στο παράκτιο μέτωπο. Στην περιοχή έχουμε την παρουσία ενός ρήγματος που προκαλεί την άμεση επαφή των ασβεστολίθων με μια υδροστεγανή φάση του φλύσχη, προκαλώντας έτσι την ανάβλυση του γλυκού νερού.



Εικόνα 54 Φράγμα Aurisina και εσωτερικές πηγές (www.agriturismo.it).

Η κατασκευή του φράγματος δίνει την δυνατότητα απομόνωσης των πηγών από τη θάλασσα και σε μετρήσεις που έγιναν, βρέθηκε ότι η στάθμη του νερού στην πλευρά των πηγών ήταν 1.4 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Έτσι με σταθερή άντληση παροχής $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$, είχαμε σαν αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας 5-45 cm (Breznik, 1998).

3.3.2.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ GARGANO, ΙΤΑΛΙΑ

Ο υδροφόρος του Gargano βρίσκεται στην Περιφέρεια της Απουλίας (Νότια Ιταλία). Η υδρογεωλογική λεκάνη είναι 1800 km² και οι πηγές που έχουν μέση ετήσια παροχή 252×10⁶ m³/y (Cotecchia & Magri, 1966).

Η εκμετάλλευση του υδροφόρου πραγματοποιείται με τη μορφή πολυάριθμων γεωτρήσεων πεδίου, ενώ δεν υπάρχει συγκεκριμένη εκμετάλλευση των πηγών. Η ποιότητα του νερού της πηγής παρουσιάζει σημαντική εποχιακή διακύμανση και η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 1000-11000 mg/l. Στην ενδοχώρα ωστόσο, η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 200-1500 mg/l στις γεωτρήσεις του πεδίου. Οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης διανέμονται 10% στο εσωτερικό και 90% κατά μήκος της παράκτιας ζώνης. Η διαχείριση του συστήματος είναι βιώσιμη, παρά το γεγονός ότι είναι συστηματικά εκμεταλλεύσιμη. Οι περιφερειακές αρχές που είναι υπεύθυνες για την διαχείριση των υδάτινων πόρων της περιοχής έχουν εφαρμόσει περιορισμούς για την κατασκευή νέων υδροληπτικών λειτουργιών για κάθε χρήση, αλλά εγχώρια.

3.3.2.4 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ MAR PICCOLO, ΙΤΑΛΙΑ

Η Mar Piccolo είναι μία μικρή, προστατευόμενη θαλάσσια λεκάνη που βρίσκεται βόρεια της πόλης του Τάραντα στη νότια Ιταλία. Ο υδροφορέας εμφανίζεται στο οροπέδιο Murgia και τροφοδοτεί πολλές παράκτιες πηγές, αποτελώντας την κύρια τοπική πηγή υπογείων υδάτων. Οι πηγές Galeso και Riso είναι οι κύριες χερσαίες πηγές που βρίσκονται κατά μήκος της ακτής του Mar Piccolo με παροχή 0.5 m³/s και 0.1 m³/s αντίστοιχα, όχι μακριά από την πόλη του Τάραντα (εικ. 55). Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται επίσης από αρκετές υποθαλάσσιες πηγές που τοπικά ονομάζονται "Citri" (Cerruti, 1938, Cotecchia et al., 1990).

Πρόκειται για μια εσωτερική, ημίκλειστη λεκάνη που συνδέεται με την ανοιχτή θάλασσα (Mar Grande στο Ιόνιο Πέλαγος) μέσω δύο καναλιών, το μικρότερο φυσικό και το μεγαλύτερο τεχνητό. Είναι μορφολογικά σαν ένα σχήμα «8» και χωρίζεται από δύο βραχώδη ακρωτήρια σε δύο εισόδους, την κύρια και την δευτερεύουσα με μέγιστο βάθος 13 και 8 m, αντίστοιχα.



Εικόνα 55 Η περιοχή του Mar Piccolo και οι πηγές του Citro Galeso, Citro Citrello, Riso και Galeso (www.irpi.cnr.it).

Το βόρειο ακρωτήριο χωρίζεται σε δύο υπο-κυκλικούς κόλπους (τον κύριο στα δυτικά και τον δευτερεύοντα κόλπο στα ανατολικά) με κάποια λιμνοθαλάσσια χαρακτηριστικά. Είναι μια πολύ ρηχή θαλάσσια λεκάνη με μειωμένο υδροδυναμισμό (μικροπαλιρροιακό καθεστώς και περιορισμένη δράση κυμάτων). Περιέχει μερικές μεγάλες, κυκλικές υποθαλάσσιες πηγές και αντιπροσωπεύει το επίπεδο βάσης για μικρά παραποτάμια ρυάκια που μεταφέρουν μέτριες ποσότητες των γεωργικών χημικών ουσιών.

Η παρουσία των 34 υποθαλάσσιων πηγών γλυκού νερού (εικ. 5) και οι εκβολές των μικρών παραποτάμων επηρεάζουν την αλατότητα (Pastore, 1993). Η μια εκβολή βρίσκεται στην πρώτη είσοδο με παροχή 350-700 l/sec, ανάλογα με τις εποχές. Στην πρώτη είσοδο οι πιο σημαντικές πηγές γλυκού νερού είναι η «Citro Galeso» με μέση ροή 600 l/sec και η «Citro Citrello» με μέση ροή 350 l/sec, ενώ στην δεύτερη είσοδο η πιο σημαντική είναι αυτή του «Citro le Korpre» με μέση ροή 100 l/sec. Η μέθοδος αξιοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη πηγή ήταν αυτή του «σίφωνα-καμπάνας» και κρίθηκε ως ανεπιτυχής.

3.3.2.5 ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΟΥ SALENTO, ΙΤΑΛΙΑ

Ο υδροφορέας Salento βρίσκεται στην Περιφέρεια της Απουλίας (Νότια Ιταλία). Η μέση παροχή είναι $315 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$. Ως προς την παροχή κοντά στην στεριά, τα στοιχεία είναι διαθέσιμα μόνο για δύο υποθαλάσσιες πηγές στο Mar Piccolo (Τάραντα του Κόλπου).

Η εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα γίνεται μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων καθώς δεν υπάρχει εκμετάλλευση των πηγών και ενός φράγματος, που ελέγχεται βάση της παλίρροιας, ενώ η συγκέντρωση χλωριόντων είναι 1000-11000 mg/l. Εσωτερικά ωστόσο στις γεωτρήσεις, η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 200-1500 mg/l. Οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης κατανέμονται εξίσου τόσο εσωτερικά στην ενδοχώρα όσο και κατά μήκος της παράκτιας ζώνης.

Η εκμετάλλευση του συστήματος είναι συστηματική και παρά το γεγονός ότι είναι στο στάδιο της υπερεκμετάλλευσης, οι μετρήσεις των γεωτρήσεων πεδίου δεν δείχναν σημαντική μείωση των υπόγειων υδάτων σε περιφερειακή κλίμακα (Tadolini και Tulipano, 1979, Tulipano και Fidelibus, 1999). Στην συγκεκριμένη περιοχή κατασκευάστηκε Επί του παρόντος, η παρακολούθηση περιορίζεται σε μετεωρολογικά και πιεζομετρικά δεδομένα.

3.3.2.6 ΠΗΓΕΣ KOTOR, ΣΕΡΒΙΑ

Από τις καρστικές παράκτιες πηγές Gurdi, Skurda, Tabacina, Liuta και Orachovac (Milanovich, 2000), προέρχονται οι περισσότεροι υδατικοί πόροι στην περιοχή Kotor. Στις ακτές της Αδριατικής στα περίχωρα της πόλης Kotor βρίσκονται οι μεγάλες πηγές Gurdi, Skurda και Tabacina οι οποίες είναι υδραυλικά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Κατά τη θερινή περίοδο τα νερά των πηγών Gurdi και Skurda γίνονται υφάλμυρα με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η παροχή τους. Μέσω του κατώτερου τμήματος της πηγής Gurdi, περνάει το θαλασσινό νερό δημιουργώντας παράλληλα την υφαλμύριση του (Breznik, 1998). Μέσω ενός μεγάλου, βαθύ και σιφωνοειδούς καρστικού αγωγού, οι πηγές Gurdi και Skudra επικοινωνούν απευθείας με τη θάλασσα. Η υφαλμύριση της πηγής Tabacina (Milanovich, 2000), καθώς και η διείσδυση της θάλασσας στην πηγή Skudra οφείλεται στην πηγή Gurdi η οποία λειτουργεί ως ροπορ (γεώτρηση).

Η εκμετάλλευση της πηγής Tabacina άρχισε το 1952 με συνεχώς αυξανόμενη παροχή άντληση, συνέπεια του οποίου ήταν η υφαλμύριση των νερών (συγκέντρωση χλωριόντων 1400 mg/l). Τα ενέματα τσιμεντενέσεων που τοποθετήθηκαν για την απομόνωση της πηγής από τη θάλασσα, αποδείχθηκαν αναποτελεσματικά, δεδομένου ότι η πηγή αποτελεί μέρος ενός υδροφόρου που είναι υδραυλικά διασυνδεδεμένος με την πηγή Gurdi. Με σκοπό την προστασία ολόκληρου του καρστικού συστήματος από την διείσδυση της θάλασσας μέσω του κύριου αγωγού εισόδου που είναι το στόμιο της πηγής, το 1982 προτάθηκε από τον Breznik η κατασκευή ενός λαστιχένιου

φράγματος (rubber weir) και ενός διαφράγματος τσιμεντενέσεων στην πηγή Gurdi. Κάθε χρόνο η πηγή Tabacina δίνει υφάλμυρα νερά, διότι η πρόταση δεν έγινε αποδεκτή. Την ίδια χρονική περίοδο η πηγή Liuta δεν παρουσιάζει μεταβολές (Milanovich, 2000) και παράλληλα η διαλείπουσα πηγή Orachovac συνεχίζει να έχει γλυκό νερό.

3.3.2.7 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ SIERRA DE GADOR, ΙΣΠΑΝΙΑ

Το Campo de Dalías βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα της Αλμερία, με έντονο το στοιχείο της ξηρασίας. Ο ανθρακικός υδροφόρος ορίζοντας του Campo de Dalías είναι ο πιο σημαντικός στη νότια περιοχή της Siera de Gador. Τα αποθέματα του υδροφόρου συστήματος ανέρχονται σε $130106 \text{ m}^3/\text{a}$ για ύδρευση και άρδευση και ετήσια βροχόπτωση 450 mm . Επίσης, περίπου $110106 \text{ m}^3/\text{a}$ προέρχονται από τον βαθύ ανθρακικό υδροφόρο ορίζοντα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε πτώση της στάθμης εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης, με αποτέλεσμα την θαλάσσια διείσδυση και την δημιουργία ενός κώνου κατάπτωσης της υδροστατικής στάθμης.

Για να αντιμετωπιστεί η υφαλμύριση, εφαρμόστηκε η μέθοδος της κατασκευής φραγμάτων εμπλουτισμού (Pulido-Bosch et al., 1993) στην λεκάνη απορροής στις νότιες πλαγιές της Sierra Gador. Στις γυμνές πλαγιές των αποκαρστικοποιημένων πετρωμάτων έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμοι χείμαρροι, οι οποίοι σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων πλημμυρίζουν την πεδινή ζώνη. Ταυτόχρονα μειώνεται η κατείσδυση στο καρστικό σύστημα και ελαττώνεται η επανατροφοδοσία του.

3.3.2.8 ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΟΥ KRAS, ΣΛΟΒΕΝΙΑ

Το σύστημα καρστικού υδροφόρου του Kras βρίσκεται στην περιοχή Kras, στο ΝΑ τμήμα της Σλοβενίας. Το μεγαλύτερο μέρος του υδροφόρου βρίσκεται στη Σλοβενία, ενώ ένα μικρό μέρος του βρίσκεται στην Ιταλία. Η συνολική παροχή του συστήματος είναι $1107 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ και το μεγαλύτερο μέρος του προέρχεται από 24 διακριτές παράκτιες πηγές που βρίσκονται σε ιταλικό έδαφος. Μόνο ένα μικρό μέρος της μέσης ετήσιας παροχής εμφανίζεται μέσω υπεράκτιων πηγών ($7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$) και η συγκέντρωση χλωριόντων στη ζώνη παροχέτευσης κυμαίνεται από 3-14 mg/l.

Η εκμετάλλευση του συστήματος είναι η συστηματική, κυρίως μέσω γεωτρήσεων πεδίου που βρίσκονται στην Klavici, αρκετά χιλιόμετρα στην ενδοχώρα. Παρά το γεγονός ότι οι υδροληψίες από αυτό το πεδίο είναι υψηλές, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν απαιτήσεις νερού μιας μεγάλης περιοχής, δεν έχει επισημανθεί σημαντική μείωση του μετώπου των υπόγειων υδάτων. Η διαχείριση του συστήματος είναι βιώσιμη και, λόγω της έλλειψης των συνεπειών της αλατότητας, δεν υπάρχουν ειδικά μέτρα για την προστασία των υδάτινων πόρων από την υφαλμύριση.

Προς το παρόν, οι οργανισμοί ελέγχουν τα έργα υδροληψίας, όπου ισχύουν περιορισμοί για την κατασκευή πρόσθετων έργων εκμετάλλευσης, ως μέσο για την προστασία του συστήματος από την υπερεκμετάλλευση. Με αυτό τον τρόπο, τα πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με την ανθρώπινη ρύπανση ή/και την υφαλμύριση του υδροφόρου ορίζοντα, μπορούν εύκολα να εντοπιστούν εγκαίρως και να ληφθούν διορθωτικά μέτρα (Biondic et al., 2005).

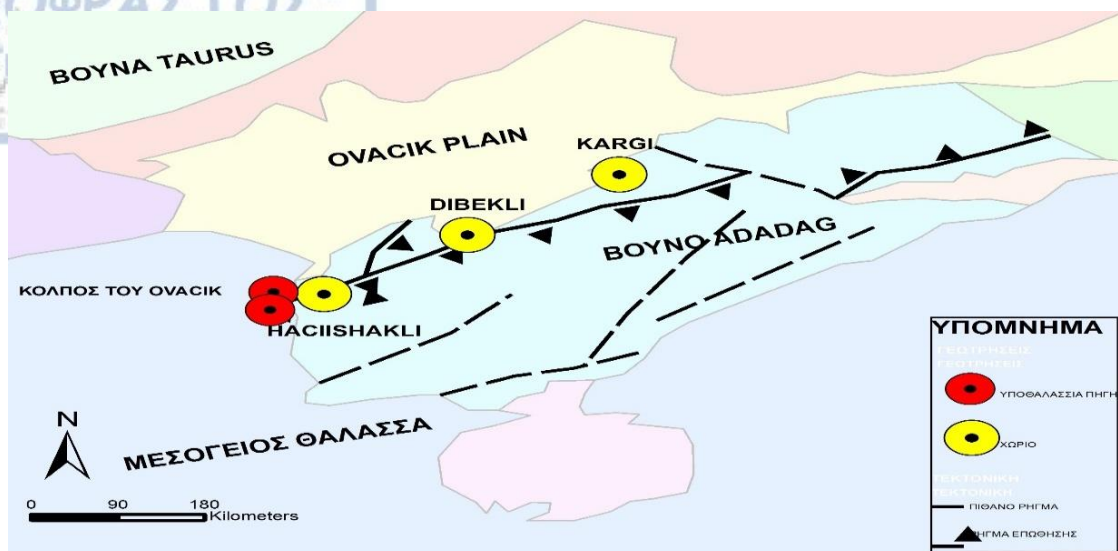
3.3.2.9 ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΟΝΑΚΙΚ, ΤΟΥΡΚΙΑ

Οι υποθαλάσσιες πηγές του Onacik (εικ. 56) βρίσκονται στη λεκάνη του Onacik, στο νοτιοδυτικό τμήμα της Τουρκίας. Η συνολική ετήσια παροχή είναι $12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ και παρουσιάζεται μέσα από πέντε γνωστές υποθαλάσσιες πηγές (εικ. 57). Το καρστικό επίπεδο βάσης κυμαίνεται από 20 m εσωτερικά (σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους) έως και 3 m στην παράκτια ζώνη (που σχετίζονται με το επίπεδο της θάλασσας).

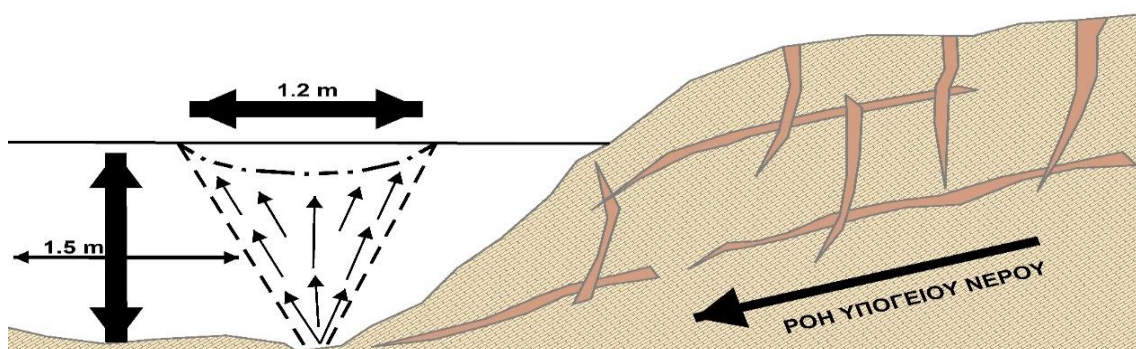
Η εκμετάλλευση του συστήματος ασκείται κατά καιρούς μέσω γεωτρήσεων παραγωγής, ενώ δεν έχουν γίνει προσπάθειες για σύλληψη των υποθαλάσσιων πηγών. Παρά την περιστασιακή εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα, σήμερα το σύστημα είναι σε κατάσταση υπερεκμετάλλευσης. Στην παραλιακή ζώνη η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 25.5-88 mg/l. Αντιθέτως, στην ενδοχώρα, όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 113-567 mg/l.

Έχουν εφαρμοστεί νομικοί περιορισμοί για την κατασκευή νέων έργων υδροληψίας. Γεωλογικές, γεωφυσικές, γεωχημικές και υδρογεωλογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, ωστόσο δεν υπάρχει ειδικό πρόγραμμα παρακολούθησης των πηγών.

Μια οικονομική λύση για τις πηγές εκμετάλλευσης του Onacik δεν έχει βρεθεί ακόμα. Ωστόσο, η δυνατότητα για τη σύλληψη του γλυκού νερού θα είναι η διάνοιξη μιας οριζόντιας γαλαρίας αρκετά πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, κατά μήκος της προνομιακής αναμενόμενης διαδρομής της ροής του γλυκού νερού, και από αυτό να έχει μια κάθοδο με κάθετα φρεάτια στο τμήμα του υδροφορέα στα ανάντη της ζώνης ανάμιξης. Οι δοκιμές άντλησης και η παρακολούθηση των πιεζομετρικών επιπέδων θα καθορίσει τον όγκο του νερού που θα μπορούσε να αντληθεί με ασφάλεια χωρίς την ενεργοποίηση της διείσδυσης αλμυρού νερού (Biondic et al., 2005).



Εικόνα 56 Περιοχή μελέτης της λεκάνης Ovacik (link.springer.com).



Εικόνα 57 Παροχή των υποθαλάσσιων πηγών του Ovacik και διατομή στο σημείο εξόδου (link.springer.com).

3.3.2.10 Ο ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ ΤΗΣ GÖKONA, ΤΟΥΡΚΙΑ

Οι υποθαλάσσιες πηγές της Gökona βρίσκονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Τουρκίας. Η παροχή του συστήματος προέρχεται από 14 πηγές που αποφέρουν συνολικά $1272 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$. Το καρστικό επίπεδο βάσης είναι στα 13 m σχετικά με την επιφάνεια του εδάφους. Η εκμετάλλευση του συστήματος δεν είναι συστηματική και η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι βιώσιμη από την άποψη του υδάτινου ισοζυγίου. Στη ζώνη της πηγής η αλατότητα ποικίλλει σημαντικά. Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση χλωριόντων κυμαίνεται από 0.61-9147 mg/l.

Οι περιφερειακές αρχές έχουν την ευθύνη της διαχείρισης των υδάτινων πόρων και δεν ισχύουν οι περιορισμοί για την κατασκευή νέων έργων υδροληψίας. Προκαταρκτικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή, προκειμένου να αξιολογηθούν οι διάφοροι παράμετροι των χαρακτηριστικών των υδροφόρων

οριζόντων, και εκτός από τις μετεωρολογικές παραμέτρους δεν υπάρχει ειδικό πρόγραμμα παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων.

Δεν υπάρχουν συστηματικά τεχνικά έργα στην περιοχή, για την εκμετάλλευση του νερού της πηγής. Ωστόσο, θεωρείται ότι η εκμετάλλευση του νερού της πηγής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό των περιφερειακών αναγκών σε νερό. Θεωρείται ότι η εκμετάλλευση του νερού θα μπορούσε να είναι επιτυχής είτε με υδροληψία από γεωτρήσεις στα ανάντη της παράκτιας γραμμής, ή από βαθιές γεωτρήσεις δυτικά της Akyaka (Biondic et al., 2005).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

ΠΗΓΗ	ΘΕΣΗ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΤΡΟΠΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΣΧΟΛΙΑ
PORT-MIOU, ΓΑΛΛΙΑ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	3.600-36.000 m ³ /h	ΦΡΑΓΜΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
AUSIRINA, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	33.000-455.000 m ³ /h	ΦΡΑΓΜΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
GARGANO, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ	29.000 m ³ /h	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SALENTO, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ	36.000 m ³ /h	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ
CITRO GALESO, ΙΤΑΛΙΑ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	2.200 m ³ /h	ΣΙΦΩΝΑΣ - ΚΑΜΠΙΑΝΑ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ
CITRO CITRELLO, ΙΤΑΛΙΑ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	1.300 m ³ /h	ΣΙΦΩΝΑΣ - ΚΑΜΠΙΑΝΑ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ
ΚΟΤΟΡ, ΣΕΡΒΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	470-360.000 m ³ /h	ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SIERA DE GADOR, ΙΣΠΑΝΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	-	ΦΡΑΓΜΑ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ-ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ΟΥΑΚΙΚ, ΤΟΥΡΚΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	1.400 m ³ /h	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ ΑΚΟΜΗ
ΓΟΚΟΒΑ, ΤΟΥΡΚΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	40.000 m ³ /h	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ ΑΚΟΜΗ
KRAS, ΣΛΟΒΕΝΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ	36.000-126.000 m ³ /h	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΠΗΓΗ	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΠΟΣΙΜΟΤΗΤΑ
ΑΝΑΒΑΛΟΣ ΚΙΒΕΡΙΟΥ ΑΡΓΟΥΣ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	ΦΡΑΓΜΑ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ. ΣΧΕΔΙΑΖΕΤΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΟΥ ΝΑΥΠΛΙΟΥ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΜΑΛΑΥΡΑΣ ΚΡΗΤΗΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ, ΦΡΑΓΜΑ, ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΤΟΙΧΟΣ, ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΘΕΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΠΟΡΟΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΦΡΕΑΤΙΟ, (ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ)	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΑΛΜΥΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΦΡΑΓΜΑ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ, ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ (ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ ΔΗΜΟΥ ΓΑΖΙΟΥ)	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΜΠΑΛΙ ΚΡΗΤΗΣ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΤΑΦΡΟΣ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ROBINZON	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
NOVLANSKA ZRNOVNICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
BLAZ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΑΓΩΓΩΝ, ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
MARTINISCICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕΣΩ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SLANO	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
SOUTH ISTRIA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΗΤΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ
KOVCA-ZATON	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ, ΣΤΟΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
SIPAN	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
PERILO	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ ΚΑΙ ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
TRSTENICA	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ, ΦΡΑΓΜΑ, ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ZVIR II	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΣΤΟΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ
PORT-MIOU, ΓΑΛΛΙΑ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	ΦΡΑΓΜΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
AUSIRINA, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΦΡΑΓΜΑ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
GARGANO, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
SALENTO, ΙΤΑΛΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
CITRO GALESO-CITRELO, ΙΤΑΛΙΑ	ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	ΣΙΦΩΝΑΣ - ΚΑΜΠΑΝΑ	ΑΝΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
KOTOR, ΣΕΡΒΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ	ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
SIERA DE GADOR, ΙΣΠΑΝΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΦΡΑΓΜΑ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ-ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ
ONACIK, ΤΟΥΡΚΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
GOKOVA, ΤΟΥΡΚΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΕΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
KRAS, ΣΛΟΒΕΝΙΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΔΙΚΤΥΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ	ΕΠΙΤΥΧΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης των παράκτιων καρστικών πηγών και των καρστικών υδροφορέων που τις τροφοδοτούν συνοψίζονται στα εξής:

- ❖ Λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για προμήθεια νερού υψηλής ποιότητας, η σημασία των καρστικών υδροφορέων καθίσταται όλο και πιο σημαντική, ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές όπου έχουμε εντατικές δραστηριότητες κατανάλωσης νερού (γεωργία, τουρισμός, αστικοποίηση). Δύο είναι τα κύρια ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν όταν ζητείται η αξιοποίηση των υδατικών πόρων: 1) η διατήρηση ή η αποκατάσταση, σε περίπτωση διορθωτικών μέτρων της ασταθούς υδραυλικής ισορροπίας μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού και 2) σωστά σχεδιασμένα τεχνικά έργα είτε για εκμετάλλευση είτε για αποκατάσταση των διαθέσιμων πόρων.
- ❖ Τα καρστικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν έντονη ευαισθησία στην εξωτερική ρύπανση και το ίδιο ισχύει και για τους υδροφορείς και τα νερά τους. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται στις γρήγορες επιφανειακές και υπόγειες μεταφορές μεγάλων όγκων νερού, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των καρστικών γεωμορφών σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και παράλληλα και στην έλλειψη φιλτραρίσματος, οδηγώντας έτσι στη διαδικασία μεταφοράς πιθανών ρύπων.
- ❖ Όσον αφορά σχεδιαστικό κομμάτι και τις παρούσες οικονομικές δυνατότητες των έργων, προτείνονται τα παρακάτω:
 - Συλλογή και καταχώρηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων που έχουν την απαραίτητη αξιοπιστία σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα, για την αξιοποίηση των επιφανειακών υδάτων μέσω έργων ταμίευσης (φράγματα, λιμνοδεξαμενές, κ.λπ).
 - Εγκατάσταση και χρήση μονάδων αφαλάτωσης με χρήση υφάλμυρου νερού μέσω υδρογεωτρήσεων περιορισμένης περιεκτικότητας σε αλάτι, σε αντίθεση με εκείνο της θαλάσσης, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν οι παράκτιοι υφάλμυροι υδροφορείς.
 - Αυστηρές προδιαγραφές εκμετάλλευσης των παράκτιων υδροφορέων, ώστε να αποσκοπούν στον περιορισμό και στην σταδιακή αποκοπή των αντλήσεων νερού από βάθη, χαμηλότερα του επιπέδου της θάλασσας.

- Σε περιοχές όπου δεν βρίσκονται σε ισχύ υδρογεωλογικές και υδρολογικές βάσεις δεδομένων, θα πρέπει να υπάρξει δημιουργία τέτοιων, προκειμένου να αξιοποιηθούν επιτυχώς τα επιφανειακά νερά.
 - Τα νερά των καρστικών υδροφορέων θα πρέπει να προστατεύονται από την ποιοτική υποβάθμιση με τη χωροθέτηση ζωνών προστασίας, αφού πρώτα καθορισθούν οι ζώνες τροφοδοσίας.
 - Στην ολοκληρωτική απαγόρευση δημιουργίας ιδιωτικών υδρογεωτρήσεων, παρά μόνο συλλογικών σε καρστικούς υδροφορείς.
-
- ❖ Απαιτούνται πολυάριθμες έρευνες προκειμένου να γίνει η διερεύνηση των μηχανισμών λειτουργίας των υφάλμυρων πηγών ώστε να αξιοποιηθούν οι καρστικές πηγές υψηλής περιεκτικότητας σε υφάλμυρο νερό.
 - ❖ Στην έρευνα για τις παρούσες και μελλοντικές ανάγκες και στον σχεδιασμό της κάλυψης αυτών, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το υψηλό δυναμικό των νερών των υφάλμυρων καρστικών πηγών.
 - ❖ Η καταγραφή των υφάλμυρων πηγών μπορεί να δώσει πολύτιμες γεωμορφολογικές και υδρογεωλογικές πληροφορίες.
 - ❖ Κατασκευασμένα έργα τύπου στοών, κάτω από ευνοϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες, καλά και ορθά σχεδιασμένα, μπορεί να είναι πολύ ικανοποιητικά για την εκμετάλλευση μεγάλων ποσοτήτων υπόγειων νερών κυρίως παρακτίων καρστικών υδροφορέων, αλλά παράλληλα απαιτείται προσεκτική και λεπτομερής έρευνα και σχεδιασμός.
 - ❖ Αρκετοί υγρότοποι οφείλουν τη δημιουργία τους σε υφάλμυρες καρστικές πηγές (π.χ. Αλμυρός Ηρακλείου) και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην αξιοποίησή τους.
 - ❖ Το υδατικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα η νότια και περιοχές της Κρήτης, όπου έχουν καταγραφεί και αναφερθεί σημαντικές ελλείψεις στα υδρογεωλογικά ισοζύγια, μπορεί να επιλυθεί εν μέρει μέσω αξιοποιημένων υφάλμυρων καρστικών πηγών ή μέσω της αφαλάτωσης.
 - ❖ Η θερμοκρασία του νερού είναι ένας παράγοντας ο οποίος δεν επηρεάζει την εκμεταλλευσιμότητα και τη δυνατότητα αξιοποίησης των καρστικών πηγών.
 - ❖ Ακόμη ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των καρστικών πηγών είναι η παροχή τους και αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στη χρήση τους σε συνάρτηση με την ποιότητα των νερών τους. Το χειμώνα όταν οι παροχές είναι μεγάλες το νερό είναι κατάλληλο για ύδρευση. Μπορεί επίσης να αντλείται επιπλέον νερό και να διατίθεται για τεχνητό εμπλουτισμό

γειτονικών προσχωματικών υδροφορέων που λόγω υπεραντλήσεων έχουν υποστεί υφαλμύριση.

- ❖ Οι προηγμένες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αποτελούν την πλέον δόκιμη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ποιότητας αλλά και της επάρκειας νερού σε δήμους, στη βιομηχανία και σε ξενοδοχειακές μονάδες (Breznik & Steinman, 2008).
- ❖ Η κατάλληλη μέθοδος ανάπτυξης για ορισμένες υφάλμυρες καρστικές πηγές είναι η τεχνητή άνοδος του σημείου εκροής του νερού της πηγής. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται με την προϋπόθεση ότι, θα μπορούσε να εκτιμηθεί η απαραίτητη ανύψωση του σημείου εξόδου του νερού και η έμμεση απώλεια του γλυκού νερού προς τη θάλασσα. Μελέτες που αφορούν την πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου έδειξαν ότι η ανύψωση του σημείου εξόδου του νερού, μέσω της κατασκευής ενός μικρού φράγματος, θα μπορούσε να αποτρέψει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Το φράγμα θα πρέπει να κατασκευαστεί μέχρι το ύψος των 25 m. Σε αυτό το υψόμετρο, η διείσδυση της θάλασσας περιορίζεται εντελώς και η απώλεια του γλυκού νερού, κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκένωσης, είναι περίπου 37%.
- ❖ Παρ' όλες τις μεθόδους αφαλάτωσης που προτάθηκαν και τις πολλές επιστημονικές εργασίες που δημοσιεύθηκαν, οι σημαντικότερες Ελληνικές πηγές, Μπαλί, Κιβέρι και Αλμυρός Ηρακλείου, εξακολουθούν να είναι υφάλμυρες, και μετά από 30 χρόνια προσπαθειών. Όσον αφορά τα καρστ του υπεδάφους υπάρχουν τόσα πολλά άγνωστα στοιχεία, που απαιτούνται για μια μαθηματική μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων, ώστε τα αποτελέσματα να μην είναι αξιόπιστα. Προτείνεται λοιπόν, η επίτευξη της αφαλάτωσης με φυσικές επί τόπου δοκιμές όπως, τη μέθοδο απομόνωσης για τις πηγές του Μπαλί και του Κιβερίου με κουρτίνες τσιμεντενέσεων και την μέθοδο ανόδου του επιπέδου για την πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου με ένα υπόγειο φράγμα. Εκτιμάται ότι υπάρχουν 70-80% πιθανότητες επιτυχίας στις ξηρές περιόδους, 95% πιθανότητα για το Μπαλί και το Κιβέρι και 90% για την πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου σε υγρές περιόδους.
- ❖ Συνοψίζοντας τις μελέτες περιπτώσεις των υφάλμυρων πηγών σε παγκόσμιο επίπεδο διαπιστώθηκε ότι από τις 24 πηγές που αναφέρθηκαν και μελετήθηκαν οι 11 από αυτές είναι στον κροατικό χώρο και είναι όλες παράκτιες. Στις 4 από τις συγκεκριμένες, η μέθοδος αξιοποίησης που προτάθηκε είναι η κουρτίνα τσιμεντενέσεων και εφαρμόστηκε μόνο στην μία πηγή, παρουσιάζοντας μερική επιτυχία ενώ στις υπόλοιπες δεν έγινε ακόμη εφαρμογή. Άλλες εφαρμοσμένες μέθοδοι αξιοποίησης, οι οποίες στις περιοχές εφαρμογής τους γνώρισαν επιτυχία, είναι η ελεγχόμενη εκμετάλλευσή τους με τεχνητό εμπλουτισμό, με υδρομαστευτικές στοές και μέσω γεωτρήσεων. Οι εναπομείναντες 13 υφάλμυρες πηγές, από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν,

καταγράφονται σε παγκόσμιο επίπεδο και συγκεκριμένα στην Γαλλία, Ιταλία, Σερβία, Ισπανία, Τουρκία, Σλοβενία και Αμερική. Από τις προαναφερθέντες, 4 είναι υποθαλάσσιες και 9 παράκτιες. Επτά απο αυτές παρουσίασαν θετικά αποτελέσματα και χαρακτηρίστηκαν ως επιτυχείς, στις 4 παρατηρήθηκε αποτυχία όσον αφορά τα έργα που κατασκευάστηκαν και οι περιπτώσεις τους χαρακτηρίστηκαν ως ανεπιτυχείς, ενώ σε 2 πηγές στην περιοχή της Τουρκίας δεν έχει γίνει εφαρμογή των έργων αξιοποίησης που προτάθηκαν. Οι μέθοδοι που προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν σε κάποιες περιοχές είναι τα φράγματα, οι κουρτίνες τσιμεντενέσεων, το σύστημα σίφωνα-καμπάνας και τα δίκτυα γεωτρήσεων. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι με βάση την εμπειρία και την υπάρχουσα τεχνογνωσία, μπορούν να κατασκευαστούν έργα που στοχεύουν στην αξιοποίηση των υφάλμυρων πηγών επιτυγχάνοντας και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η αξιοποίηση των παράκτιων καρστικών υδροφορέων πρέπει να σχετίζεται με την υφαλμύριση και τη διαχείριση αυτής. Να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα, λόγω των γεωμορφολογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών της και το μεγάλο μήκος ακτογραμμής ευνοείται η επέλαση της θαλάσσιας διείσδυσης. Το κόστος κατασκευής των έργων προστασίας είναι μεγάλο, σε αντίθεση με την πρόληψη του φαινομένου που είναι οικονομικά πιο συμφέρουσα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στους υδρογεωολογικούς, τους υδρολογικούς και τοπικούς παράγοντες της προβληματικής περιοχής και στην όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη καταγραφή τους. Αυτό θα επιτευχθεί με την σύσταση ενός ενιαίου διαχειριστικού φορέα υδατικών πόρων, που θα ασχοληθεί με την μελέτη και καταγραφή των νερών, των ποιοτικών προβλημάτων, των γεωτρήσεων και κυρίως των παράνομων και την ορθολογική διαχείριση των ήδη υπαρχόντων υδατικών πόρων.

Τελικά, παρ' όλες τις μεθόδους αξιοποίησης, καμία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως πλήρως επιτυχής. Σε καμία μελέτη περίπτωσης δεν παρατηρήθηκε ότι το νερό της πηγής, μετά την αξιοποίησή του, ήταν πόσιμο με δεδομένο ότι σε όλες τις περιπτώσεις στην Ελλάδα, η συγκέντρωση των χλωριόντων ξεπερνούσε τα 250 mg/L.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΓΙΑ

- Αλεξόπουλος, Α. Η παραγωγή υφάλμυρων νερών στην Κρήτη: Ποσότητες και χαρακτηριστικά.
- Βέργης, Σ., 1985. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας – Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Βουδούρης, Κ., 2005. Οι επιπτώσεις της αγροτικής και τουριστικής ανάπτυξης στη βιωσιμότητα των υπόγειων νερών: Δύο παραδείγματα από τη Νότια Ελλάδα. Γεωγραφίες, Τεύχος 10, 130-146.
- Βουδούρης, Κ., 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ., 2015. Εκμετάλλευση και Διαχείριση υπογείου νερού, Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ., Scheidleder, A., Δασκαλάκη, Π., 2005. Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτια υπόγεια υδατικά συστήματα λόγω υπεράντλησης και η Οδηγία 2000/60/ΕΚ, Υδροτεχνικά, Τόμος 15, Σελ. 75-86.
- Δουλγέρης, Χ., 2004. «Το φαινόμενο της υφαλμύρισης των παράκτιων υδροφορέων», *Περιοδικό Αμφίβιον. Διμηνιαία έκδοση του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων – Υγροτόπων (ΕΚΒΥ)*. Τεύχος 58.
- Καλλέργης, Γ. Α., Σκαγιάς Σ.Α., 1985. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας – Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., 2000. Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Β', ΤΕΕ, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., 2001. Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ', Έκδοση ΤΕΕ.
- Κνιθάκης, Μ., Καλούμενος, Κ., 1993. Κίνδυνοι υφαλμύρισης πηγών και υπόγειων υδροφορέων. *Πρακτικά Διημερίδας*.
- Κουμαντάκης Ι., 1993. «Βιβλιογραφία Καρστικής Υδρογεωλογίας της Ελλάδας», *Έκδοση της Ελληνικής επιτροπής Υδρογεωλογίας*.
- Κουμαντάκης, Ι., 1987. Ειδικό έργο υδρομάστευσης παραλιακού καρστικού υδροφορέα στην Κεφαλονιά (Γεωλογικά Χρονικά των Ελληνικών Χώρων).
- Κουρμούλης, Ν. Ε., 1979. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας – Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Κουρμούλης, Ν. Ε., 1984. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας – Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Μπεζές, Κ., 1983. «Επίδραση των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας πάνω στην παροχή της καρστικής πηγής Αλμυρού Αγ. Νικολάου-Κρήτης». *Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου της Ε.Υ.Ε., Θεσσαλονίκη, 1983, Τόμος Ι, τεύχος Ι, σελ. ΙΙ 75-ΙΙ 84*.
- Σκαγιάς, Σ. Α., 1978. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας- Πελοπόννησος- Ζάκυνθος – Κεφαλονιά», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Σούλιος, Γ., 1985. Υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφορέων στην Ελλάδα. Διατριβή επί Υψηγείας. Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ..
- Σούλιος, Γ., 1986. Γενική Υδρογεωλογία Τόμος Ι.
- Σούλιος, Γ., 1986. Γενική Υδρογεωλογία Τόμος ΙΙ.
- Σούλιος, Γ., 2004. Γενική Υδρογεωλογία Τόμος ΙΙΙ, 55-63, 109-138..
- Στάμος, Α., Μανάκος Αν., 1986. «Απογραφή Καρστικών Πηγών της Ελλάδας – Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν., 2004. Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arfib, B., de Marsily, G. & Ganoulis, J., 2007.** Locating the zone of saline intrusion in a coastal karst aquifer using springflow data. - *Ground Water* 45(1), 28-35.
- Barbier, J. L. & Therond, R. & Paloc, H., 1992.** Source d'Almyros d'Heraklion, Synthese des etudes depuis 1988, Rapport general. *Unpublished report of GERSAR to the Greek Ministry of Agriculture*, p. 65, Paris.
- Barlow, P.M., 2003.** *Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic Coast*. U.S. Geological Survey Circular 1262.
- Biondic, B. & Gunay, G. & Marinos, P. & Panagopoulus, A. & Potié, L. & Sappa, G. & Stefanon, A., 2005.** Protection and remediation practices. *EUR 21366 En, COST Action 621*, 231-241, Brussels.
- Bogli, A., 1980.** *Karst Hydrology and Physical Speleology*, Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Bonacci, O., 1987.** *Karst Hydrology*, Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Bonacci, O. et al., 1995.** Groundwater behavior in karst: example of the Ombla Spring (Croatia). *Journal Hydrology* 165, 113-134, Amsterdam
- Bonacci, O. & Roje-Bonacci, T., 1997.** Sea water intrusion in coastal karst springs: example of the Blaž Spring. *Hydrol. Sci. J.* 42(1), 89-100, Oxford.
- Bouguecha, S. & Dhahbi, M., 2003.** "Coupling of membrane processes for brackish water desalination," *Desalination*, vol. 203, no. 1-3, pp. 331-336, 2007.
- Breznik, M., 1971.** Geology and Hydrogeology of the Almyros spring area. *Unpublished Tech. Note No. 103 of UN-FAO presented to Greek Gov.*, 1-94, Iraklion.
- Breznik, M., 1973.** Nastanek zaslanjenih kraških izvirov in njihova sanacija. The Origin of Brackish Karstic Springs and their Development. (Summary of the Doctor of Geology Thesis, 1972). *Geologija*, 16, 83- 186, Ljubljana.
- Breznik, M., 1976.** Mechanism and development of the brackish karstic spring Almyros Iraklion. *Annales Geologiques des Pays Helleniques* 28, 29-46.
- Breznik, M., 1977b.** Test to Raise the Water-level of the Almyros Irakliou Spring - Evaluation of Results of the 1977 Summer Test, *Unpublished report presented to Greek Gov.*, pp. 1-11, Iraklion.
- Breznik, M., 1978.** Mechanism and Development of the Brackish Spring Almyros Irakliou. *Ann. Geol. Des Pays Hell.*, 29-46, Athens.
- Breznik, M., 1983.** The Cerknica Lake Multi-Purpose Storage, *Gradbeni vestnik*, 32, Ljubljana, 3-15.
- Breznik, M., 1984a.** Bansagar project – Protection of Kuteshwar limestone deposit. *Unpublished report presented to the Central Water Commission of Government of India*, 1-15, New Delhi.
- Breznik, M., 1984b.** Development of the Almyros Irakliou brackish spring. *Unpublished report presented to the Greek Gov.*, 1-34, Ljubljana.
- Breznik, M., 1984c.** Exploration of the Bali brackish spring. *Unpublished report presented to the Greek Gov.*, 1-5, Malia.
- Breznik, M., 1984d.** The safety and endurance of the old dams of Idrija. *Int. Conf. Safety of Dams*, 133-139, Coimbra.
- Breznik, M., 1989.** Explorations, mechanism and development of brackish karst spring Almyros toy Irakleioy. *Unpublished report presented to the Greek Ministries of Agriculture and Research and Technology and Universities of Athens and Crete*, 1- 59, Ljubljana.
- Breznik, M., 1990a.** Development of Brackish Karstic Spring Almyros in Greece. *Geologija*, Vol. 31/32, pp. 555-576, ISSN 0016-7789.
- Breznik, M., 1993.** Evaluation of exploration results and development possibilities by underground dam and other methods of karst spring Almyros Irakliou, *Unpublished report presented to the Greek Gov.*, Eastern Crete Development Organisation, pp. 1-90, Ljubljana.
- Breznik, M., 1998.** *Storage reservoirs and deep wells in karst regions*, A.A. Balkema, p. 268,

- Breznik, M., 2005.** *Vodni viri Slovenske Istre (Water sources of Slovene Istria, in Slovene)*, Unpublished report to the Ministry for Environment and Physical Planning, pp. 1-35, Ljubljana.
- Breznik, M. & Steinman, F., 2008.** Hydromechanism and desalination of coastal karst aquifers: Theory and cases. *Acta carsologica*, Vol. 37, No. 2-3, pp. 197-209, ISSN 0583-6050.
- Burdon, D.J. & Papakis, N.I., 1964.** Preliminary note on the hydrogeology of the Almiros spring Heraklion-Crete. Geological
- Calvino, F., Stefanon A., 1963.** Osservazioni geologiche sulla polla rovereto e le altre sorgenti sottomarine della Mortola (riviera di Ponente). *Atti ist. Geol. Univ. Genova* 1 1:205-239.
- Cerruti, A., 1938.** Le sorgenti sottomarine (Citri) del Mar Grande e Mar Piccolo di Taranto. *Ann. Istit. Sup. Nav. Di Napoli*, VII, Napoli.
- COST Action 621, 2004.** The Main Coastal Karstic Aquifers of Southern Europe: A Contribution by Members of the COST-621 Action "Groundwater Management of Coastal Karstic Aquifers" (ed. by J. M. Calaforra) (EUR 20911), Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Cotecchia, V., Magri, G., 1966.** Idrogeologia del Gargano. *Geol. Appl. ed Idrogeol.*, I, 1-86, Bari.
- Cotecchia, V., Dai Pra, G., & Magri, G., 1969.** Oscillazioni tirreniane e oloceniche del livello marino nel Golfo di Taranto, corredata da datazioni col metodo del Radiocarbonio. *Geol. Appl. Idrogeol.*, 4, 93-147.
- Cotecchia, F., Tadolini, T., Tulipano, L., 1975.** Fondamentali caratteristiche tecniche delle opere di captazione della sorgente costiera Chidro (penisola Salentina) in relazione alle sue condizioni di emergenza e idrogeologiche. *Proc. III° Conv. Int. sulle Acque Sotterranee*, ESA-IAH, Palermo, 35.
- Cotecchia, F., Lollino, G., Pagliarulo, R., Stefanon, A., Tadolini, T., and Trizzino, R. 1990.** Hydrogeological conditions and field monitoring of Galeso submarine spring in the Mar Piccolo of Taranto (southern Italy), *11th Proceeding of Salt water intrusion meeting: Gdansk*, 171-208.
- Drew, D., Hötzl, H., 1999.** Karst hydrogeology and human activities. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.
- Economopoulos, P., 1983 & 1989.** Situation of estavelles and coastal spring in Bali bay, scale 1:25000. *Unpublished map, photo, written communications to Breznik*.
- Edwards, B.D. & Evans, K.R., 2002.** Saltwater Intrusion in Los Angeles Area Coastal Aquifers – the Marine Connection. U.S. Geological Survey Fact Sheet 030-02.
- Fidelibus, M.D., Panagopoulos, A., 2005.** Groundwater management of Coastal Karstic Aquifers.
- Gjurasin, K., 1942.** Prilog hidrografiji primorskoga krsa (Contribution to the littoral karst hydrography). *Technicki vjesnik* 59, 107-112.
- Gjurasin, K. 1943.** Prilog hidrografiji primorskoga krsa (Contribution to the littoral karst hydrography). *Techniki vjesnik* 60, 1-17.
- Gospodarič, R. & Leibungut, C., 1986.** Evaluation and Interpretation of the Tracing data. In: Morphia, A. & a. Zojer (ds.): *Hydrogeology of the Eastern Peleponissos, Greece*. 5th Int. Symp. on Underground Water Tracing, 100-110, New York.
- Herak, M., Bahun, S. & Magdalenic, A., 1969.** Pozitivni i negativni utjecaji na razvoj krša u Hrvatskoj. *Krs Jugoslavije* 6, 45-71 (in Croatian).
- Komatina, M., 1984.** Control of groundwater flow in the littoral karst, Orebic, Yugoslavia. In Burger A. Dubertret I (eds) *Hydrogeology of karstic terrains*, International contributions to hydrogeology, Verlag Heinz Heise I: pp 156-159 264 p.
- Kuscer, I., 1950.** Kraski izviri ob morski obali (Karst Sources at the Sea Coast, in Slovene). *Dissertationes Academia Scientiarum et Artium Slovenica Classis III* 1, 97-147, Ljubljana.
- Lambrakis, N., 2005.** Kiveri coastal springs, Greece. *EUR 21366 En, COST Action 621*, p. 262, Brussels.
- Maramathas, A., Maroulis, Z. & Marinos-Kouris, D., 2002.** A Brackish Karstic Springs Model.

- Application on Almiros Crete Greece, Ground Water (in print).
- Maramathas, A., 2006.** A new approach for the development and management of brackish karst springs. *Hydrogeology Journal* 14 (7), 1360–1366.
- Marinos, P., 1987.** On the Malavra springs and the exploratory program for interception of their water. Technical report, National Technical University of Athens, Greece.
- Mijatovic, B., 1983.** Problems of sea water intrusion into aquifers of the coastal Dinaric karst, In: Mijatovic B (ed) *Hydrogeology of the Dinaric Karst, Field trip to the Dinaric karst, Yugoslavia. "Geozavod" and SITRGMJ, Belgrade*, pp 89-105, 15-28 May 1983.
- Milanovic, P.T., 2000.** Geological Engineering in Karst, Dams, Reservoirs, Grouting, Groundwater Protection, Water Tapping, Tunnelling. Zebra Publishing, Belgrade, 347p.
- Monopolis, D., Lambrakis, N. & Perleros, B., 2005.** The brackish karstic spring of Almiros of Heraklion, In: *Groundwater management of coastal karstic aquifers (EUR 21366 En, COST Action 621, Final Report, Part II)*, Tulipano, L.; Fidelibus, M.D. & Panagopoulos, A. (Ed.), pp. 321-328, Office for Off. Publ. of the Europ. Commun., ISBN 92-898-0002-X, Luxembourg.
- Nonveiller, E., 1989.** *Grouting Theory and Practice*. Elsevier, (Developments in geotechnical engineering; 57), p. 250, Amsterdam.
- Panagopoulos, A., 2005.** Almiros spring, Heraklion, Greece. EUR 21366 En, COST Action 621, p. 258, Brussels.
- Pastore, M., 1993.** *Mar Piccolo*. Nuova Editrice Apulia, Martina Franca, Taranto, 163 pp.
- Pavlin, B., 1990.** Yugoslav littoral belt karst springs used for water supply. In: *Proc. 6th. Int. IAEG Congress, 1387-1394*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Pekas, Z., 2012.** Assessment of Risk and Uncertainty related to Coastal Aquifers Management in Croatia.
- Potie, L. & Ricour, J., 1974.** Etudes et captage de résurgences d'eau douce sous-marines (Studies and Capture of Resurgences of Submarine Freshwater), *Ressources en eau*, pp. 5-26.
- Pulido-Bosch, A., Martin Rosales, W., Vallejos, A., Molina, I., Navarrete, F., De Simon, E., 1993.** The southern catchment area of the Sierra de Gador and its impact on the Campo de Dalias (Almeria). In: Pulido-Bosch (ed) *Some spanish karstic aquifers*. Univesidad de Granada, 159-181.
- Pulido-Bosch, A., Vallejos, A., Pulido-Leboeuf, P., Molina, L. & Calaforra, J. M., 2005.** Some considerations about karst coastal aquifers, on the example of two Andalusian cases. In: *Ground Water Management of Coastal Karstic Aquifers. Final report. COST Action 621* (ed. by L. Tulipano), 271–281. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Ré, R. & Breznik, M., 1968.** The problems of the Almyros spring of Iraklion, *Unpublished note No. 2 of UNDP – FAO, presented to Greek Government*, pp. 1-114, Iraklion.
- Soulios, G., 1986.** Systeme karstique aquifer d' Almiros - Iraklio, Crete (Grece): Un cas interessant de fonctionnement de systeme littoral. *Bulletin du Centre D' Hydrogeologie*, 7, Université De Neuchatel.
- Soulios, G., 1987.** System karstique aquifère d'Almyros, Iraklion, un case interessant de fonctionnement de système littorale. *Bull. Centre d'hydrog.*, 7, 169-191, Neuchatel.
- Stefanon, A., Cotecchia, F., 1969.** Prime notizie sulle caratteristiche di efflusso e sulle modalità di investigazione delle sorgenti subacquee ai fini della loro captazione. *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"* 58:165-195.
- Stefanon, A., 1972.** Capture and exploitation of submarine springs. In: *Proc Int. Conf. Oceanology*, 427-434.
- Stefanon, A., 1973.** Evaluation and capture of submarine springs. In: *Proc II convegno internazionale sulle acque sotterranee*, 21-32.
- Steinman, F. et al. 2007.** Expert group assessment of the project: Drinking water supply of the Slovenian Istra and Karst hinterland. *Unpublished Report to the Ministry of Environment and Physical Planning (in Slovene)*, 1-64, Ljubljana.

Ständer, W., 1971. Written answer to Breznik.

Tadolini, T., Tulipano, L., 1979. The evolution of freshwater-salt water equilibrium in connection with drafts from the coastal carbonate and karst aquifer of the Salentine peninsula (southern Italy). *Proc 6th SWIM, in: Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 29: 69-85*

Tiniakos, L. & Tavitian, J. & Livaniou-Tianikou, A., 2005. The Anavalos-Kiveri coastal spring (Argolis, E. Peloponnesus, Greece): Hydrogeology and droughtwater quality relation, In: *Groundwater management of coastal karstic aquifers (EUR 21366 En, COST Action 621, Final Report, Part II)*, Tulipano, L.; Fidelibus, M.D. & Panagopoulos, A. (Ed.), pp. 312-320, Office for Off. Publ. of the Europ. Commun., ISBN 92-898-0002-X, Luxembourg. *EUR 21366 En, COST Action 621, 312-320, Brussels.*

Todd K. Leen., 1980. Geocoronal Balmer Alpha Measurements with a Ground-Based Fabrey-Perot. American Geophysical Union Meeting Abstracts.

Vlahovic, V., 1983. *Kraska akumulacija Slano (Karstic accumulation in Slano)*. Crnogorska akademija nauka i umjetnosti (The Montenegrin Academy of Sciences and Arts, in Serbian), 5-246, Podgorica.

Voudouris, K.S., Daskalaki, P., Antonakos A., 2005. Water Resources and Groundwater Quality in North Peloponnesus(Greece). *Global NEST Journal*, Vol 7, No 3, pp 340-353.

White, William B., 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*, Oxford University press, New York, 464 pages.

Ziegenbalg, G., Dimitriadis, K., Sarrikostis, E., 2002. Crystechsalin-A European project to manage and reduce saline water intrusion in coastal aquifers. *Πρακτικά 6^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. 13-21. Ξάνθη.*

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

www.google.gr

www.wikipedia.org

www.geo.auth.gr

www.usgs.gov

www.ntua.gr

www.uwec.edu

www.solinst.com

www.sciencedirect.com

www.researchgate.net

www.nodc.noaa.gov

www.peopleandtheplanet.com

www.sciencedaily.com