



ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΛΜΩΠΙΑΣ-ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Κωνσταντίνος Αναστασόπουλος 1114200700144
Ευάγγελος- Χρήστος Μιχάλοβιτς 1114200700079

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Κυριακόπουλος

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 Εισαγωγή.....	σελ.6
1.2 Γεωγραφική Θέση της περιοχής έρευνας.....	σελ.6
1.3 Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.....	σελ.7
1.3.1 Μεταμορφωμένα πετρώματα Βαρνούτα-Βόρα.....	σελ.8
1.3.2 Νεότερα ιζήματα της λεκάνης.....	σελ.9
1.3.2.1 Νεογενές	σελ.9
1.3.2.2 Εμφανίσεις νεογνών σχηματισμών.....	σελ.10
1.3.2.3 Τεταρτογενές.....	σελ.11
1.3.2.4 Πλειστόκαινο.....	σελ.11
1.3.2.5 Ολόκαινο.....	σελ.11
1.3.3 Λιγνιτοφόρες εμφανίσεις.....	σελ.11
1.4 Τεκτονική της περιοχής έρευνας.....	σελ.18
1.4.1 Παλαιότερη ρηξιγενής τεκτονική του Βόρα.....	σελ.19
1.4.1.1 Ανατολική πλευρά του Βόρα.....	σελ.19
1.4.1.2 Δυτική πλευρά του Βόρα.....	σελ.21
1.4.2 Παλαιότερη ρηξιγενής τεκτονική του Βέρνου.....	σελ.21
1.4.3 Νεώτερη ρηξιγενής τεκτονική.....	σελ.22
1.5 Ηφαιστειότητα Βόρειας Ελλάδας.....	σελ.24
1.5.1 Ηφαιστειότητα στον ελλαδικό χώρο.....	σελ.24
1.5.2 Ηφαιστειακά πετρώματα Βόρειας Ελλάδας.....	σελ.24
1.5.2.1 Ηφαιστειακά πετρώματα Σουνίου.....	σελ.25
1.5.2.2 Ηφαιστειακά πετρώματα Αλεξανδρούπολης.....	σελ.25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΝΕΡΑ

2.1 Υδρομετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας.....	σελ.28
2.1.1 Το κλίμα της Ελλάδας.....	σελ.28
2.1.2 Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Φλώρινας.....	σελ.29
2.1.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	σελ.30

2.2 Θερμομεταλλικές - Ιαματικές πηγές.....	σελ.33
2.2.1 Κύκλος του νερού και πηγές.....	σελ.33
2.2.2 Ταξινομήσεις των πηγών.....	σελ.34
2.2.3 Χαρακτηριστικά των θερμομεταλλικών πηγών.....	σελ.35
2.2.3.1 Προέλευση των θερμομεταλλικών πηγών.....	σελ.36
2.2.3.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των θερμ.πηγών.....	σελ.41
2.2.4 Κύριοι παράγοντες των θερμομεταλλικών πηγών	σελ.44
2.2.5 Ταξινόμηση των θερμομεταλλικών νερών.....	σελ.44
2.2.5.1 Ταξινόμηση με βάση την χημική σύσταση.....	σελ.44
2.2.5.2 Ταξινόμηση με βάση τη θερμοκρασία.....	σελ.45
2.2.6 Θερμομεταλλικές πηγές της Ελλάδας.....	σελ.45
2.2.7 Ρύπανση – Μόλυνση και ζώνες προστασίας θερμ.πηγών.....	σελ.48
2.2.8 Η σχέση των μεταλλικών πηγών με τη νεώτερη τεκτονική.....	σελ.49
2.2.9 Πιθανές θέσεις εκμετάλλευσης μεταλλικών νερών.....	σελ.50
2.2.9.1 Ψυχρά μεταλλικά νερά.....	σελ.50
2.2.9.2 Θερμά μεταλλικά νερά.....	σελ.56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ CO₂

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά CO ₂	σελ.58
3.2 Δέσμευση και μεταφορά CO ₂	σελ.59
3.2.1 Τεχνολογίες δέσμευσης.....	σελ.59
3.2.2 Τεχνολογίες μεταφοράς.....	σελ.60
3.3 Τεχνολογίες αποθήκευσης CO ₂	σελ.61
3.3.1 Αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου.....	σελ.62
3.3.2 Αποθήκευση σε κενούς ταμιευτήρες πετρελαίου / φυσικού αερίου και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους.....	σελ.63

3.3.3 Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα.....	σελ. 64
3.3.4 Αποθήκευση σε ωκεανούς.....	σελ. 65
3.3.5 Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης.....	σελ. 66
3.4 Ερευνητικές δραστηριότητες στον τομέα αποθήκευσης CO ₂	σελ. 66
3.4.1 Το πρόγραμμα WEYBERN.....	σελ. 66
3.4.2 Το πρόγραμμα SACS.....	σελ. 67
3.4.3 Το πρόγραμμα SNOHVIT.....	σελ. 67
3.4.4 Συμμετοχή της Ελλάδας σε ερευνητικά προγράμματα αποθήκευσης CO ₂	σελ. 68
3.4.4.1 Γεωλογική αποθήκευση του CO ₂ – Το πρόγραμμα GESTCO.....	σελ. 68
3.4.4.2 Το πρόγραμμα NASCENT.....	σελ. 68
3.5 Πιθανοί χώροι αποθήκευσης στην Ελλάδα.....	σελ. 69
3.6 Συμπεράσματα για την αποθήκευση του CO ₂	σελ. 69
3.7 Το CO ₂ στη λεκάνη της Φλώρινας και η πιθανή προέλευσή του.....	σελ. 70
3.8 Ο αντίκτυπος του CO ₂ στην ποιότητα των υδάτων στην περιοχή της Φλώρινας.....	σελ. 81
3.8.1 Αποτελέσματα αναλύσεων CO ₂	σελ. 81
3.8.2 Υπόγεια Ύδατα.....	σελ. 82
3.8.3 Ποιότητα Υδάτων.....	σελ. 84
3.8.4 Συμπεράσματα.....	σελ. 86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Περίληψη.....	σελ. 94
4.2 Συμπεράσματα.....	σελ. 95

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας με θέμα την “Μελέτη των Θερμομεταλλικών πηγών και του Διοξειδίου του Άνθρακα στην Ηφαιστειογενή περιοχή Αλμωπίας-Φλώρινας”, εντάσσεται στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων που αναπτύσσει ο Τομέας Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τον επιβλέποντα Καθηγητή του τομέα Ορυκτολογίας και Πετρολογίας κ. Κωνσταντίνο Κυριακόπουλο για την δυνατότητα ανάληψης της διπλωματικής εργασίας καθώς επίσης και για την καθοδήγηση και βοήθεια που μας προσέφερε σε κάθε φάση της. Οι καίριες υποδείξεις του και οι παρεμβάσεις του στο κείμενο οδήγησαν στο βέλτιστο αποτέλεσμα.

Η υλοποίηση της εργασίας αυτής περιελάμβανε δύο στάδια. Πρώτο στάδιο ήταν η χαρτογράφηση στην ύπαιθρο όλων των μεταλλικών πηγών της περιοχής και η αντίστοιχη δειγματοληψία νερών από αυτές. Το δεύτερο στάδιο ήταν η επεξεργασία των δειγμάτων αυτών στο εργαστήριο και η θεωρητική τους αξιολόγηση.

Η εργασία υπαίθρου της διπλωματικής αυτής εργασίας πραγματοποιήθηκε κατά το θερινό μήνα Ιούνιο του 2011 στην ηφαιστειογενή περιοχή της Αλμωπίας – Φλώρινας. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Palermo . Θερμές ευχαριστίες εκφράζουμε από τη θέση αυτή στο W. D’Alessandro, διευθυντή του Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Palermo, για την ηθική και υλική βοήθεια που μας προσέφερε.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον συνάδελφο γεωλόγο κ. Καρακατσάνη Στυλιανό για το πολύτιμο υλικό που μας παρείχε και το οποίο συντέλεσε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Τέλος, η υλοποίηση της εργασίας αυτής θα ήταν αδύνατη χωρίς την, πρωτίστως, ηθική συμπαράσταση αλλά και οικονομική βοήθεια των γονιών μας στους οποίους εκφράζουμε τις θερμές μας ευχαριστίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η καταγραφή των θερμομεταλλικών πηγών και γεωτρήσεων στη λεκάνη της Φλώρινας, η οποία αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης νεογενούς λεκάνης που αρχίζει από το Μοναστήρι της Π.Γ.Δ.Μ. (περιοχή Μπίτολα) και φτάνει μέχρι τα όρια της Κοζάνης.

Η συστηματική αυτή καταγραφή της πλειοψηφίας των θερμομεταλλικών πηγών της περιοχής είναι το πρώτο βασικό στάδιο για τη μελέτη των υδρογεωλογικών, γεωθερμικών, υδροχημικών και τεκτονικών συνθηκών της περιοχής. Επίσης, αξιολογήθηκαν τα θερμομεταλλικά νερά σε σχέση με το Ph, τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και την εμφάνιση του ελεύθερου CO₂.

Κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, παρατηρήσαμε την εξής ιδιαιτερότητα: δεν υφίστανται περιοχές οι οποίες να μην περιέχουν έστω και ελάχιστη ποσότητα CO₂ διαλυμένο μέσα στο νερό.

Έτσι λοιπόν προσπαθήσαμε να αιτιολογήσουμε την εκροή του CO₂ και παρατηρήσαμε τη σύνδεσή του με παλαιότερα τεκτονικά γεγονότα, διαπιστώνοντας ότι στα βαθύτερα μέρη του υποβάθρου υπάρχουν ρήγματα ΒΑ-ΝΔ που συνδέονται με το ΒΔ-ΝΑ κύριο ρήγμα της Αλμωπίας.

Η επεξεργασία αυτών των υδροχημικών στοιχείων δεν μας οδηγεί απλώς σε ένα γενικό συμπέρασμα αλλά μας δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης και μελλοντικής εκμετάλλευσης της περιοχής.

1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη Βορειοδυτική Μακεδονία και περικλείεται μεταξύ των συντεταγμένων 40° 42' – 40° 54' ΒΓΠ και 21° 20' – 21° 35' ΑΓΜ. Γεωτεκτονικά ανήκει στην Πελαγονική ενότητα και γεωγραφικά στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας. Αποτελεί τμήμα της νεογενούς λεκάνης Φλώρινας-Αμυνταίου και οριοθετείται από τα χωριά:

- α) Προς Βορρά: Αγία Παρασκευή, Νίκη, Μεσόκαμπος
- β) Προς Ανατολή: Βεύη
- γ) Προς Νότο: Φλάμπουρο, Άνω Υδρούσα
- δ) Προς Δύση: Πολυπόταμος, Άλωνα

Παρά το μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον της περιοχής, έχουν γίνει ελάχιστες προσπάθειες για την μελέτη και αξιοποίησή της. Ελπίζουμε πως η συμβολή μας στην αξιολόγηση και εκμετάλλευση των μεταλλικών της νερών θα είναι σημαντική και ουσιαστική.

Ο εντοπισμός των πιθανών γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ή υψηλής ενθαλπίας μπορεί να επιτευχθεί με την αξιοποίηση των υδροχημικών κριτηρίων, υπολογίζοντας πάντα την τεκτονική της περιοχής. Μελετούμε ακόμη τη χημική καταλληλότητα των νερών, τόσο για αρδευτικούς σκοπούς όσο και για ανθρώπινη κατανάλωση.



Εικόνα 1: Γεωγραφικός χάρτης Αλμοπίας – Φλώρινας (Πηγή: www.inmaps.gr)

1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας, η οποία αποτελεί μέρος της ευρύτερης λεκάνης Φλώρινας-Αμυνταίου, βρίσκεται μεταξύ των ορεινών συγκροτημάτων του Βόρα (ή Καϊμακτσαλάν) Ανατολικά και του Βαρνούντα Δυτικά, με κύριο άξονα ανάπτυξης ΒΒΔ-ΝΝΑ και η προέλευσή της είναι ρηξιγενής (ΚΙΛΙΑΣ, 1980). Γεωτεκτονικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, η οποία αρχίζει από τα σύνορα Ελλάδος - Π.Γ.Δ.Μ. και έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ενώ καταλήγει στην Μ.Ασία.

Στον ευρύτερο χώρο της περιοχής μας συναντώνται τρεις κατηγορίες πετρωμάτων:

1.3.1 Μεταμορφωμένα πετρώματα Βαρνούντα-Βόρα

Τα πετρώματα που συναντώνται στα δύο αυτά ορεινά συγκροτήματα είναι κυρίως τα μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιστώδη. Αυτά αποτελούν δύο παράλληλες ενότητες που διαμορφώθηκαν στις ίδιες συνθήκες στο Αν. Λιθανθρακοφόρο.

Σύμφωνα με μελέτες πετρολογικού χαρακτήρα (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983), ο ορεινός όγκος του Βόρα αποτελείται:

- α) Από τον ορθογνευσιακό πυρήνα που βρίσκεται γύρω από την κορυφή του και συνιστά μια ομοιογενή σχετικά μάζα βιοτιτικών γνευσίων με τυπική εμφάνιση παλαιού γρανιτικού όγκου
- β) Από σειρά ταινιωτών μοσχοβιτικών γνευσίων
- γ) Από σχιστολιθική σειρά με μαρμαρυγιακούς και αμφιβολιτικούς σχιστολίθους
- δ) Από φυλλιτικά πετρώματα που είναι ουσιαστικά η προς τα πάνω ομαλή μετάβαση των σχιστολίθων

Τα πετρώματα αυτά είναι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης (WINKLER, 1974) και πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Έτσι, τα μεν φυλλιτικά ανήκουν στην πρώτη υποφάση της πρασινοσχιστολιθικής φάσης (χαλαζίας-Ab-μοσχοβίτης-χλωρίτης), τα δε σχιστολιθικά και γνευσιακά μεταξύ της δεύτερης και τρίτης υποφάσης (χαλαζίας-Ab-επίδοτο-βιοτίτης και χαλαζίας-Ab-επίδοτο-αλμανδίνης αντίστοιχα) (TURNER–VERHOGEN, 1960; WINKLER, 1967).

Ο ορεινός όγκος του Βαρνούντα αποτελείται από:

- α) Τη σειρά Βίτσι-Νυμφαίου: Ανοικτόχρωμοι (τεφροί ή άσπροι) γνεύσιοι, επίδοτο και δευτερεύοντα μέλη. Οι γνεύσιοι αυτής της σειράς παρουσιάζουν μέσα στην μάζα τους ζώνες μυλονιτίωσης, οπότε και προέρχονται από τεκτονικό μετασχηματισμό παλαιών γρανιτικών πετρωμάτων.
- β) Τη σειρά Κλεισούρας: Αμφιβολιτικά και σχιστολιθικά πετρώματα που εναλλάσσονται. Η σειρά αυτή χαρακτηρίζεται από παλιές ή νέες βασικές και παλιές όξινες διεισδύσεις.

γ) Το γνευσιακό πλουτωνίτη της Καστοριάς: Ελαφρό πράσινο χρώμα με έντονη πορφυριτική υφή και επιζωνική μεταμόρφωση. Η ηλικία του υπολογίζεται στο Αν. Λιθανθρακοφόρο (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983).

δ) Τη σειρά Σιδηροχωρίου: Ημιμεταμορφωμένα μέχρι επιμεταμορφωμένα πετρώματα και οφιολιθικές εμφανίσεις.

ε) Τη σειρά Απόσκεπου: Αρκόζες, κροκαλοπαγή, πηλίτες, φυλλίτες, τοφικά πετρώματα, ασβεστόλιθοι του Μέσου Τριαδικού.

Συνοψίζοντας, η λιθολογική διαδοχή και οι συνθήκες μεταμόρφωσης είναι ίδιες και στις δύο ενότητες, οι οποίες θεωρούνται ηλικίας Προπαλαιοζωικής.

Η μεταμόρφωση των ενοτήτων αυτών έλαβε χώρα σε δύο περιόδους, σύμφωνα με τους MERGIER (1966) και ΚΙΛΙΑ (1980):

α) Η πρώτη, πριν το Αν. Λιθανθρακοφόρο με συνθήκες κάτω-πρασινοσχιστολιθικής φάσης μέχρι άνω αμφιβολιθικής.

β) Η δεύτερη, Αλπική μετά το Αν. Ιουρασικό με συνθήκες άνω-πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

1.3.2 Νεότερα ιζήματα της λεκάνης

Όλη η λεκάνη αποτελείται από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα με τους εξής σχηματισμούς:

1.3.2.1 Νεογενές

Εμφανίζεται στρωματογραφικά και λιθολογικά σε δύο (2) διαφορετικούς σχηματισμούς, τον ανώτερο και τον κατώτερο. Αξιοσημείωτο είναι πως με βάση παλαιοντολογικά δεδομένα έχουμε τους εξής σχηματισμούς:

α) Ανώτερος σχηματισμός: Σκληρός μαργαϊκός ασβεστόλιθος πάχους 3-5m ο οποίος περιέχει απολιθώματα του γένους *Planorbis*. Ο σχηματισμός αυτός είναι διαταραγμένος λόγω των νεογενών τεκτονικών κινήσεων (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951).

β) Κατώτερος σχηματισμός: Χαλαζιακή άμμος με φύλλα μοσχοβίτη και φαιά άργιλο. Μετά τον κατώτερο σχηματισμό παρεμβάλλεται μεταξύ της άμμου και της αργίλου το κοίτασμα του λιγνίτη. Αυτός ο σχηματισμός παρουσιάζει περίπου 40-50m πάχος.

Το Α-ΒΑ τμήμα της λεκάνης χωρίζεται σε τρεις στρωματογραφικούς ορίζοντες, αρχίζοντας από τον παλαιότερο προς το νεότερο (ΜΑΡΑΤΟΣ, 1960):

α. Κροκαλοπαγή βάσεως

β. Αργίλος, μάργα, αργιλούχος άμμος

γ. Μαργαϊκός ασβεστόλιθος (με Planorbis) σε εναλλαγές με αργιλοψαμμιτικές, απολιθωματοφόρες διασταυρώσεις.

Το κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις. Μεταξύ αυτών των σχηματισμών παρεμβάλλονται πλειστοκαινικοί σχηματισμοί οι οποίοι επικάθονται ασύμφωνα στα νεογενή. Ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό αυτής της λεκάνης είναι η ανομοιογένεια του υλικού ιζηματογένεσης. Επομένως, το υλικό δεν ταξινομείται ως προς διάφορα μεγέθη, γεγονός που αποδεικνύει την παραγμένη ιζηματογένεση τόσο από τα ρέοντα νερά όσο και από τη διαδικασία δημιουργίας της (ΜΑΡΑΤΟΣ, 1960).

1.3.2.2 Εμφανίσεις νεογενών σχηματισμών

Αρχίζοντας από το Βορειοανατολικό άκρο της λεκάνης, το Τριτογενές ξεκινά εντός της λεκάνης προς το χωριό Παπαδιά όπου αυτό έχει αποπλυθεί και διαφαίνεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Το ίδιο συμβαίνει και στα Νότια του Ανατολικού τμήματος, όπου οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι επικαλύπτουν τα Τριτογενή και αυτά εισχωρούν Ανατολικά έως το χωριό Κλειδί.

Τριτογενείς ασβεστόλιθοι εμφανίζονται ως υπολείμματα, Βορειοανατολικά του χωριού Βεύη, με λευκοκίτρινο φαιό χρώμα και το συνηθισμένο απολίθωμα της περιοχής, το Planorbis. Οι ίδιοι εμφανίζονται και στο χωριό Κλειδί στο Βορειοανατολικό και ψηλότερο σημείο με υποκείμενα στρώματα φυλλωδών μαργών και υπερκείμενα στρώματα, ψαμμίτες (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951).

Εμφανίσεις των Νεογενών σχηματισμών παρουσιάζονται επίσης και Βορειοδυτικά του χωριού Λακκιά. Αυτές αποτελούνται από μαλακή μάργα, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ του κατώτερου και του ανώτερου σχηματισμού. Προς την Βορειοδυτική περιοχή της λεκάνης, μεταξύ των χωριών Ελεούσα και Μεσόκαμπος, συναντώνται οι νεογενείς αυτοί σχηματισμοί με σύσταση φυλλωδών ψαμμιτικών μαργών λευκού χρώματος (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

Επιπρόσθετα, μεταξύ Μεσόκαμπου και Μεσοχωρίου, φιλοξενούνται μάργες με στρώση καστανόχρωμων, ερυθροκίτρινων ή κίτρινων ψαμμιτών με πάχος 30-50cm, με παρουσία υδροξειδίων σιδήρου και μαγγανίου. Χαλαζιακές κροκάλες και κροκαλοπαγή καλύπτουν την περιοχή από το Μεσοχώρι μέχρι την Μελίτη.

Τέλος, τόσο Ανατολικά από την Μελίκη, δηλαδή Αχλάδα-Σκοπό, όσο και Νότια μέχρι το χωριό Λόφοι, επικρατούν λεπτόκκοκοι κίτρινοι ψαμμίτες.

1.3.2.3 Τεταρτογενές

Καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση της λεκάνης και καλύπτουν μερικώς ή ολικώς τους τριτογενείς σχηματισμούς. Αποτελούνται από αποθέσεις του πλειστοκαίνου και του ολοκαίνου και είναι άμμοι, πηλοί, χαλαζιακές κροκάλες και σπάνια κροκαλοπαγή (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

1.3.2.4 Πλειστόκαινο

Οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί είναι ένα σύνολο αδρομερών χαλαζιακών κροκαλών, κροκαλοπαγών και πηλών. Έχουν συνήθως πάχος 2-5 m. Κάτω από αυτούς συνήθως συναντάται παχύτατο στρώμα ασβεστολιθικής άμμου. Μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων βρίσκονται άφθονα απολιθώματα ποταμολιμναίας φάσης (π.χ. Limneus, Bithynia) (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951).

1.3.2.5 Ολόκαινο

Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις και προσχώσεις ασβεστολιθικού υλικού. Εκεί βρίσκονται ελασματοβράγχια και γαστερόποδα (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951).

1.3.3 Λιγνιτοφόρες εμφανίσεις

Τα κοιτάσματα των λιθανθράκων-λιγνιτών εμφανίζονται πάντα σε περιοχές οι οποίες βυθίστηκαν λόγω των ορογενετικών κινήσεων που έλαβαν χώρα σε διάφορες εποχές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σχηματίστηκαν μεταξύ Ρουμελίου και Σαρματίου. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο μεν λιγνίτης σχηματίστηκε κατά τις ορογενετικές κινήσεις του Τριτογενούς, ενώ οι λιθάνθρακες κατά το Λιθανθρακοφόρο.

Μέσα στα γεωσύγκλινα ή βυθίσματα, τα λιγνιτικά κοιτάσματα έχουν σχεδόν ασήμαντο πάχος σε σχέση με τα άλλα στρώματα από τα οποία αποτελείται η λεκάνη.

Όταν εμφανίζονται επαναλαμβανόμενα αποθέματα λιγνιτών ή λιθανθράκων με ενδιάμεσες ενστρώσεις σχιστολίθων, ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών οδηγείται κανείς στο συμπέρασμα πως ολόκληρη η λεκάνη αποτελεί περιοχή καταβύθισης. Αυτό συμβαίνει στην περιοχή έρευνάς μας και συγκεκριμένα στη λιγνιτοφόρο λεκάνη Αμυνταίου-Βεύης, στον κατώτερο Νεογενή ορίζοντα.

Σε αυτή την περιοχή μεταφέρθηκαν από τα γύρω όρη, μέσω της μεταφορικής ενέργειας των χειμάρων, ιζήματα τα οποία προέκυψαν από την αποσάθρωση των πετρωμάτων τους, με συνέπεια το σχηματισμό των στρωμάτων της λεκάνης.

Όταν η ταχύτητα και η ορμή των νερών είναι μεγάλη σχηματίζονται κροκάλες ενώ αντίθετα, όταν είναι μικρή, σχηματίζονται άργιλοι και λεπτόκοκκοι ψαμμίτες.

Η σχέση που παρουσιάζουν οι λιγνίτες με τα ιζήματα που τους φιλοξενούν είναι ότι οι λιγνίτες σχηματίζονται σε ζώνες ήρεμης και βραδείας ιζηματογένεσης. Με βάση αυτή την παρατήρηση μπορούμε να διακρίνουμε τους λιγνίτες σε δύο κατηγορίες:

- α) Τους αλλόχθονους λιγνίτες, δηλαδή σχηματισμούς φερτών υλικών από διάφορες περιοχές, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ειδικότερα ως ξυλίτες.
- β) Τους αυτόχθονους λιγνίτες, οι οποίοι σχηματίστηκαν τοπικά εξαιτίας μιας τοπικής δασικής βλάστησης.

Περιοχές λιγνιτικών κοιτασμάτων στην περιοχή έρευνας

Περιοχή Αμυνταίου - Βεγόρας

Στη λιγνιτοφόρο λεκάνη της περιοχής αυτής ο λιγνίτης εμφανίζεται τόσο υπόγεια όσο και επιφανειακά. Διασχίζει καθέτως τις Βορειοανατολικές και Νοτιοανατολικές πλευρές του πλειοκαινικού υψώματος Ντόβιγκραντ που βρίσκεται Νότια του Αμυνταίου.

Το κοίτασμα της Βεγόρας παρεμβάλλεται σε συμφωνία μεταξύ των δύο πλειοκαινικών σχηματισμών. Γεωτεκτονικά, δεν είναι διαταραγμένο και ακολουθεί ΒΒΑ κλίση 10ο-15ο και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Το πάχος του κυμαίνεται από 5-12m, ενώ τα υπερκείμενα στρώματά του χαρακτηρίζονται ως οικονομικά εκμεταλλεύσιμα. Είναι σημαντικό ότι σε καμία άλλη περιοχή της προαναφερθείσας λεκάνης δεν υπάρχουν ευοίωνες προοπτικές οικονομικής εκμετάλλευσης των λιγνιτών, καθώς η περιοχή είναι

γεωτεκτονικά καταπονημένη με αποτέλεσμα τα λιγνιτοφόρα κοιτάσματα να βρίσκονται σε διάφορα βάθη μέσα στους πλειοκαινικούς σχηματισμούς (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

Ο λιγνίτης αυτός ανήκει στην κατηγορία των ξυλιτών και περιέχει λιγνίτη σε ποσοστό 35%. Είναι ετερόχθονος λόγω του ότι περιέχει κορμούς δένδρων, κλαριά, φύλλα και άλλα υλικά.

Τα βέβαια αποθέματα υπολογίζονται γύρω στους 3.900.254 τόνους, τα πιθανά γύρω στους 169.400.000 τόνους ενώ τα δυνατά περίπου στους 273.350.000 τόνους. Ωστόσο, οι παραπάνω υπολογισμοί αναφέρονται στην δεκαετία του 1960. Από την χρονολογία αυτή και έπειτα τα αποθέματα μπορεί είτε να μειώθηκαν λόγω εκμετάλλευσης, είτε να αυξήθηκαν λόγω νέων ερευνών (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

Περιοχή Αχλάδας-Βεύης

Τα κοιτάσματα της κατηγορίας αυτής βρίσκονται στην ανατολική πλευρά της λεκάνης.

Στα Βόρεια της Ανατολικής πλευράς της λεκάνης βρίσκονται τα κοιτάσματα λιγνίτη της Αχλάδας, τα οποία διαρρέονται από τον ποταμό Παλαιόραμα, ο οποίος τα χωρίζει σε δύο τμήματα, το Βόρειο και το Νότιο (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

Το Βόρειο τμήμα (τμήμα Σκοπού) παρουσιάζει κλίση ΒΑ-ΝΔ και εκτείνεται προς την ίδια διεύθυνση κλίσης, ενώ το Νότιο (τμήμα Αγ.Χαραλάμπους) έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ μέσα σε πλειοκαινικούς σχηματισμούς. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο τμήμα Σκοπού, όπου το πάχος του κοιτάσματος είναι 17m. Βέβαια, εκμεταλλεύσιμα είναι μόνο τα 12m από αυτά για το λόγο ότι αφήνονται 4-5m σαν δάπεδο και οροφή. Στον Άγιο Χαραλάμπο από παλαιότερους υπολογισμούς πιστεύεται ότι το κοιτάσμα έχει μέσο πάχος γύρω στα 7m.

Τα κοιτάσματα της Αχλάδας ανήκουν και αυτά στην κατηγορία των ξυλιτών, δηλαδή έχουν υποστεί μερική μόνο συνανθράκωση. Είναι και αυτά ετερόχθονα με υλικά που προέρχονται είτε από δάση των νότιων πρανών του όγκου του Βόρα, είτε από τα Βόρεια μέρη του λόφου της Πιπερίτσας.

Τα βέβαια αποθέματα υπολογίζονται γύρω στους 2.250.000 τόνους, τα πιθανά γύρω στους 2.400.000 τόνους, ενώ τα δυνατά περίπου στους 6.000.000 τόνους. Και πάλι, όμως, όπως και στα κοιτάσματα Αμυνταίου-

Βεγόρας, οι υπολογισμοί αυτοί αναφέρονται στη δεκαετία του 1960 (ΓΑΡΔΙΚΑΣ, 1951).

Αναφορικά με τα κοιτάσματα Βεύης, είναι αποδεκτό ότι η λεκάνη που τα φιλοξενεί σχηματίστηκε κατά το Ολιγόκαινο (Σαβική πτύχωση). Η ηλικία των νεογενών ιζημάτων θεωρείται Πλειοκαινική με κύρια ιδιαιτερότητα την ανομοιογένειά τους και την πλευρική μετάβαση από τη μία πετρολογική όψη στην άλλη και μάλιστα στον ίδιο ορίζοντα.

Λόγω της έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής της περιοχής, οι διευθύνσεις ποικίλλουν, οι κλίσεις τους όμως είναι σταθερές σε διεύθυνση BBA 5ο-10ο.

Τα βέβαια αποθέματα υπολογίζονται γύρω στους 5.700.000 τόνους, τα πιθανά γύρω στους 10.000.000 τόνους ενώ τα δυνατά περίπου στους 20.000.000-30.000.000 τόνους. Εδώ όμως, σε αντίθεση με τους λιγνίτες Αμυνταίου-Βεγόρας και τους λιγνίτες Αχλάδας, οι υπολογισμοί αναφέρονται στην δεκαετία του 1980 (Λιγνιτορυχείο Βεύης, 1984).

Οι πολλές μικροπτυχώσεις και τα μικρορήγματα του λιγνίτη καθιστούν αδύνατη την απόληψη των στρωμάτων με πάχος μικρότερο των 0,40m και αυξάνουν το ποσοστό του λιγνίτη που χάνεται με τα στείρα υλικά.

Αναφορικά με τον λιγνίτη της Λυγκιστίδος, ανήκει στην κατηγορία των ξυλιτών αφού ο φυτικός ιστός διατηρείται κατά το μεγαλύτερο μέρος του και η συνανθράκωση έχει ελάχιστα προχωρήσει. Ο τρόπος σχηματισμού του διαφέρει από αυτόν της Αχλάδας και αυτόν της Βεγόρας, καθώς, κατά την εξόρυξή του βρέθηκαν κορμοί δένδρων με ρίζες σε κατακόρυφη θέση και συσσωρεύσεις υλικών ξένων ως προς το περιβάλλον της περιοχής.

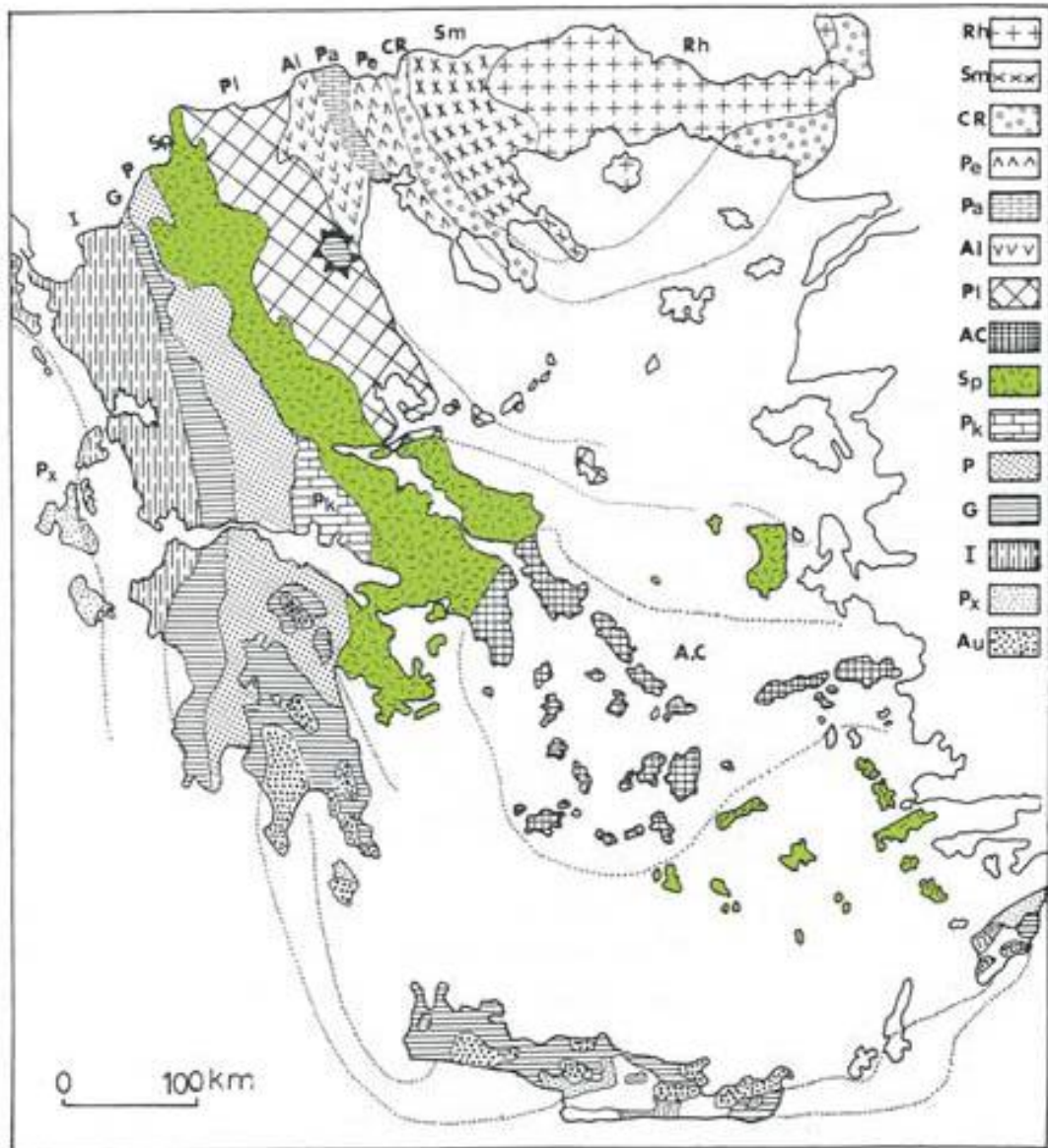
Τα βέβαια αποθέματα υπολογίζονται στους 6.300.000 τόνους, τα πιθανά γύρω στους 24.000.000 τόνους ενώ τα δυνατά γύρω στους 40.000.000 τόνους.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι ανάλογα με την παλαιοτοποθεσία της περιοχής, ο λιγνίτης της Βεύης μπορεί να χαρακτηριστεί και ως αυτόχθονος αλλά και ως ετερόχθονος.

Οφείλουμε, στο τέλος του κεφαλαίου, να αναφέρουμε και μια δική μας παρατήρηση η οποία προήλθε από τη μελέτη που πραγματοποιήσαμε στην περιοχή έρευνας. Σε όλη την έκταση της μελετούμενης περιοχής η

εμφάνιση του CO₂ συνδεόταν άμεσα με τις λιγνιτοφόρες περιοχές, δηλαδή την ύπαρξη ξυλίτη ή τύρφη.

Στη συνέχεια παραθέτουμε χαρακτηριστικές απεικονίσεις της Υποπελαγονικής και Πελαγονικής ενότητας των Ελληνίδων.

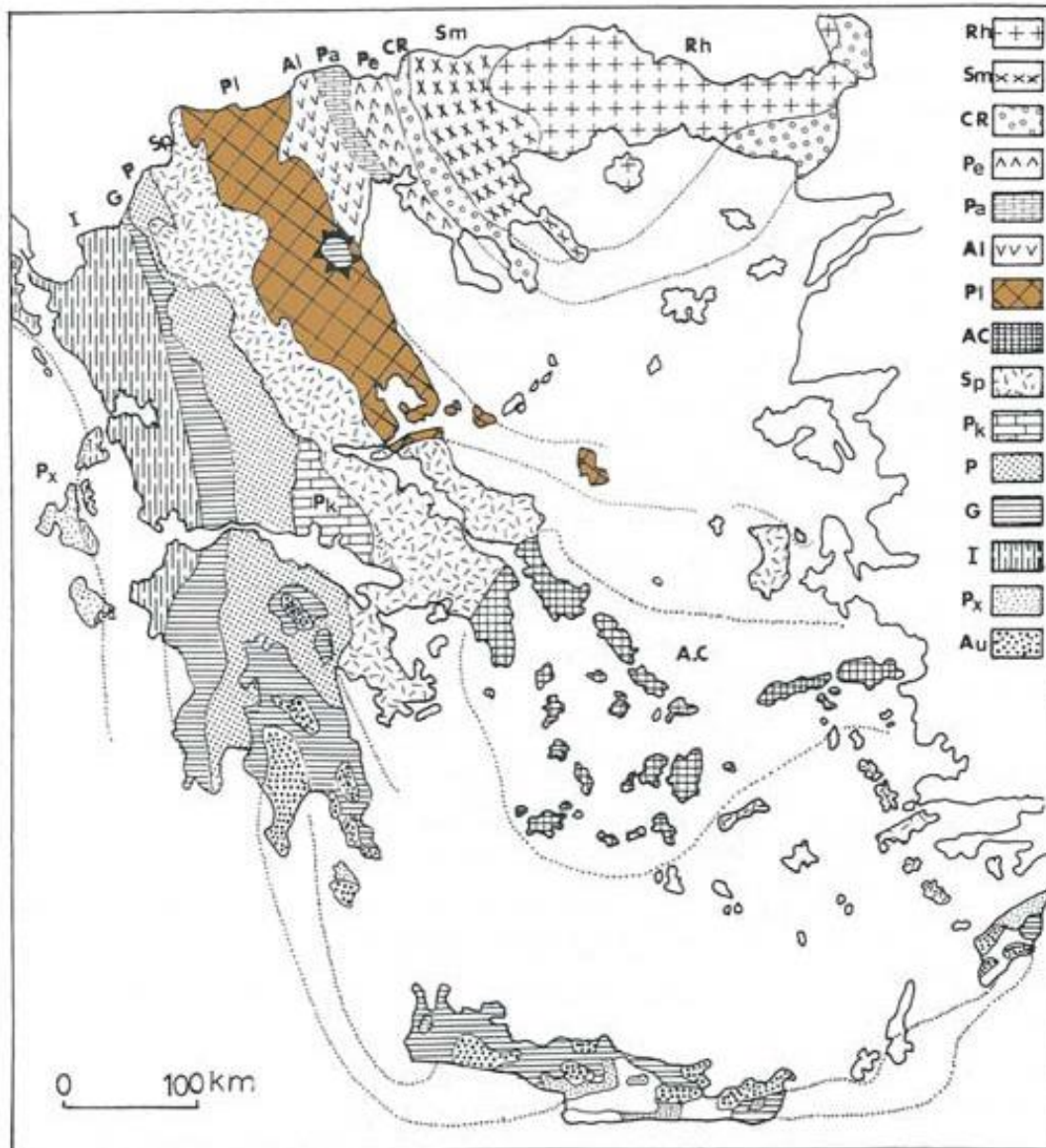


Εικόνα 2: Ενότητα Υποπελαγονική (Πηγή: www.geo.auth.gr/museum/MammalFiles)

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Υποπελαγονικής ενότητας είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Οι οφιόλιθοι της Υποπελαγονικής ενότητας συνιστούν την «εξωτερική οφιολιθική λωρίδα» (ERO) και η ενότητα θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την οφιολιθική συρραφή της παλιάς ωκεάνιας περιοχής δυτικά του πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους. Παλαιογεωγραφικά, η Υποπελαγονική ανταποκρίνεται στην κατωφέρεια της Πελαγονικής προς τον ενιαίο ωκεάνιο χώρο Υποπελαγονικής - Πίνδου.

Στρωματογραφία Υποπελαγονικής: Το προαλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής συνίσταται από τα κάτω Παλαιοζωικά πετρώματα της Πελαγονικής καθώς και ιζηματογενή ή ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας. Οι αλπικοί σχηματισμοί που μετέχουν στην συγκρότηση της ενότητας είναι:

- Τριαδικά ιζήματα: Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, πυριτικοί ή νηρητικοί ασβεστόλιθοι με χαρακτηριστικούς τους κόκκινους, αμμωνιτοφόρους ασβεστολίθους της φάσης Hallstatt και τεφρούς, ωολιθικούς ασβεστολίθους και δολομίτες.
- Πελαγικοί, νηρητικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικού
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση Ιουρασικού: Μαύροι αργιλικοί σχιστόλιθοι, ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, οφιολιθικό σύμπλεγμα
- Λατερίτες, σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα
- Ιζήματα Ανωκρητιδικής επίκλυσης
- Μεταλλικά ιζήματα μολασσικού τύπου



Εικόνα 3: Ενότητα Πελαγονική (Πηγή: www.geo.auth.gr/museum/MammalFiles)

Η Πελαγονική ενότητα αποτελείται από Παλαιοζωικά κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου, μέσα στα οποία διείσδυσαν γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου. Περμοτριάδικά μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ιουρασικού αποτέθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια της ενότητας και πάνω σε αυτά επωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες προερχόμενες από τις εκατέρωθεν ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος.

Δύο μεταμορφώσεις έχουν επηρεάσει τα πετρώματα της πελαγονικής:

α) Ερκύνια αμφιβολιτικής φάσης στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο

β) Πρασινοσχιστολιθικής φάσης Ιουρασικού-Κρητιδικού στα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού-Ιουρασικού.

Στο Άνω Κρητιδικό-Ηώκαινο πραγματοποιείται η οριστική ανάδυση της ενότητας.

Στρωματογραφία Πελαγονικής:

- Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού (κροκαλοπαγή, μάργες, ασβεστόλιθοι, μικρολατυποπαγή φλύσχης)
- Οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα
- Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού νηρητικής φάσης
- Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες
- Γνευσιωμένοι γρανίτες Λιθανθρακοφόρου
- Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (ορθο- και παρα-γενέσιοι, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι)

1.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παραθέτουμε αρχικά τα τεκτονικά γεγονότα, τα οποία συνέβησαν κατά την Αλπική ορογένεση ή παλαιότερα (παλαιά ρηξιγενής τεκτονική) και διαμόρφωσαν το «κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο» της Πελαγονικής, πάνω στο οποίο αποτέθηκαν τα νεότερα ιζήματα.

Τα τεκτονικά αυτά γεγονότα προκάλεσαν ρήγματα, τα οποία σε γενικές γραμμές έχουν εγκάρσια παράταξη ως προς τη γενική διάταξη ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ σχηματισμών. Οπότε, η διεύθυνση των ρηγμάτων αυτών είναι ΒΔ - ΝΑ ή Α - Δ και αναφέρονται σαν εγκάρσια.

Ακολουθεί μια δεύτερη ενότητα (νεότερη ρηξιγενής) η οποία προσπαθεί να μελετήσει τα τεκτονικά γεγονότα πάνω στα νεότερα ιζήματα, τα οποία διαμορφώνουν την υπό μελέτη λεκάνη.

Επιπλέον, όπως αναφέραμε στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο των δύο ενοτήτων, του Βέρνου και του Βόρα, έτσι και σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η αναφορά της παλαιάς ρηξιγενούς τεκτονικής στις δύο ορεινές μάζες.

1.4.1 Παλαιότερη ρηξιγενής τεκτονική του Βόρα

1.4.1.1 Ανατολική πλευρά του Βόρα

Τα κυριότερα ρήγματα, τα οποία κόβουν τα όρια της Πελαγονικής και Αλμωπίας στην ανατολική πλευρά του Βόρα είναι δύο και είναι τα εξής:

α) Το ρήγμα του Κάτω Λουτρακίου: Έχει μήκος περίπου 10 km, διεύθυνση 70ο - 80ο και είναι δεξιόστροφο, οριζόντιας μετατόπισης με αρκετά μεγάλη μετάπτωση. Η ηλικία σχηματισμού του υπολογίζεται σαν Άνω Ιουρασική - Κάτω Κρητιδική (MERCIER, 1968; ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1976-1977), με επαναδραστηριοποιήσεις μέχρι το Τεταρτογενές. Το ρήγμα αυτό οριοθετεί την τεταρτογενή λεκάνη της Αλμωπίας καθώς επίσης λόγω της ισχυρής έντασής του έχει μετατοπίσει το όριο των δύο παραπάνω αναφερόμενων ενοτήτων κατά 2 Km.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να αναφέρουμε τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της Αλμωπίας, τα οποία είναι τα εξής :

Εκτιμάται πως η περιοχή γύρω από το όρος Πάικο και γενικότερα της Μακεδονίας εποίκηθη από τη Νεολιθική εποχή και έπειτα. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία, που υπάρχουν για την περιοχή και τους κατοίκους της, αφορούν τους Άλμωπες και τη χώρα τους Αλμωπία που αντιστοιχεί πιθανόν στην ομώνυμη σημερινή επαρχία.

Η ζώνη της Αλμωπίας βρίσκεται μεταξύ των ζωνών του Πάικου και της Πελαγονικής. Υποδιαιρείται σε γεωτεκτονικές ενότητες οι οποίες στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Αλμωπίας από ανατολικά προς δυτικά είναι οι ενότητες Άνω Γαρεφίου, Πέτερνικ και Λουτρών Πόζαρ. Μια σειρά από εγκάρσια ρήγματα με κατακόρυφη ή και οριζόντια μετατόπιση έχει διαμελίσει το σύστημα των επωθημένων αυτών πετρωμάτων.

Κατά το Πλειόκαινο μεγάλες ηφαιστειακές εκχύσεις οφειλόμενες στις τεκτονικές κινήσεις που διατάραξαν την περιοχή, επικάθισαν και κάλυψαν ένα μεγάλο μέρος των παραπάνω σχηματισμών. Την εποχή αυτή δημιουργήθηκαν τα μεγάλα ηφαίστεια που βρίσκονται στα βόρεια της λεκάνης. Πρόκειται για Τραχειτο-ανδεσιτικές μαγματικές εκχύσεις και αντίστοιχα πυροκλαστικά υλικά. Στα βόρεια της λεκάνης επικρατούν οι εκχύσεις λαβών ενώ στα νότια μεγάλη έκταση καταλαμβάνουν οι τόφοι και άλλα πυροκλαστικά υλικά. Τα πυροκλαστικά αυτά υλικά εναλλάσσονται με λιμναία ιζήματα ενώ οι προσχώσεις έχουν καλύψει τα χαμηλότερα μέρη της λεκάνης.

Οι μεγάλες τεκτονικές διαταραχές του παρελθόντος είχαν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων ηφαιστειών. Η μεταφορά διάπυρων υλικών από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια καθώς και η όλη τεκτονική των επωθήσεων είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας θετικά ανώμαλης γεωθερμικής βαθμίδας και την κυκλοφορία των όμβριων νερών σε βάθος. Η κυκλοφορία αυτή διευκολύνεται από την παρουσία μεγάλων ρηγμάτων τα οποία ευνοούν το σχηματισμό θερμών πηγών. Οι πηγές αυτές είναι πολλές φορές υπό αρτεσιανή πίεση.

Οι κύριες πηγές που εντοπίζονται στην περιοχή είναι:

- συγκρότημα πηγών Πόζαρ, Προμάχων, Άνω Γαρεφίου εντός και εκτός οικισμού
- πηγή Μουτσάρα (βόρεια του συνοικισμού Λουτρακίου στην παρυφή της λεκάνης)
- πηγή Στρέκα Βόδα, 2 Km δυτικότερα της προηγούμενης
- πηγή στη Νέα Ζωή. Περιέχει υδροθειούχο που αναβλύζει από δολερίτες κοντά στον οικισμό Νέας Ζωής
- Πηγή Μαργαρίτα. Πρόκειται για καρστική πηγή κοντά στον οικισμό στην κοίτη του ρέματος
- Θερμές πηγές κοντά στην επαρχιακή οδό Νεοχωρίου - θηριόπετρας σε βαλτώδη έκταση

(Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, <http://www.pella.gr/node/317>)

β) Το ρήγμα Νησίου: Έχει συνολικό μήκος περίπου 10 km και διεύθυνση 120ο και αναφέρεται σαν εγκάρσιο μεταπτωτικό με ηλικία σχηματισμού προ της Ανωκρητιδικής επίκλυσης (MERCIER, 1968). Επιπλέον, με νεότερες έρευνες, το ρήγμα θεωρείται δεξιόστροφο, οριζόντιας μετατόπισης και μεταπτωτικό (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983).

Μεταξύ των δύο προαναφερθέντων ερευνητών υπάρχει συμφωνία στο χρόνο σχηματισμού του ρήγματος, ότι δηλαδή έγινε μετά την Ανωκρητιδική επίκλυση και μάλιστα ο Μουντράκης θεωρεί πως έγινε μετά το τριτογενές, διότι κόβει τα τριτογενή λέπια της Αλμωπίας.

Τέλος, αξιοσημείωτο είναι να αναφέρουμε πως εκτός από αυτά τα δύο μεγάλα εγκάρσια ρήγματα υπάρχουν και πολλά μικρότερα του είδους αυτού, τα οποία προκάλεσαν μικρές οριζόντιες μετατοπίσεις στο όριο των δύο ενοτήτων (Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 2001, <http://geolib.geo.auth.gr/digeo/index.php/bgsg/article/view/4784/4590>).

1.4.1.2 Δυτική πλευρά του Βόρα

Στη Δυτική πλευρά του Βόρα υπάρχουν τα εξής ρήγματα :

α) Αχλάδας – Σκοπού – Παπαδιάς: Έχει μήκος περίπου 8 Km και διεύθυνση 70ο. Είναι εγκάρσιο κανονικό ρήγμα. Η ηλικία σχηματισμού θεωρείται πως είναι προγενέστερη του Νεογενούς (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983). Έτσι, δημιούργησε την ρηξιγενή κοιλάδα με τα λιγνιτοφόρα κοιτάσματα μεταξύ Σκοπού-Παπαδιάς και παρουσίασε επαναδραστηριοποιήσεις στο Τεταρτογενές.

β) Ρέματος Παπαδιάς: Το ρήγμα αυτό ακολουθεί το ομώνυμο ρέμα με διεύθυνση Α-Δ και στη συνέχεια στρέφεται ΝΔ - ΒΑ. Έχει μήκος 7 Km και η ηλικία σχηματισμού του υπολογίζεται από το τέλος Ιουρασικού μέχρι το Τεταρτογενές (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983).

γ) Βεύης – Κέλλης – Λιμνών: Τα ρήγματα αυτά είναι εγκάρσια με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, κυριαρχούν στο Τριαδικό Ιουρασικό κάλυμμα και είναι τα μεγαλύτερα σε μήκος. Δημιούργησαν τις λεκάνες των λιμνών Βεγορίτιδας και Πετρών και αποτελούν μία ομάδα από σχεδόν παράλληλα ρήγματα, όπως του Αγίου Αθανασίου - Κέλλης, Πετρών και του Αγίου Παντελεήμονα. Τα ρήγματα αυτά συνοδεύονται από νοτιοανατολικές μεταπτώσεις. Δεν παρατηρούνται, όμως, σαφείς οριζόντιες μετατοπίσεις.

Ωστόσο, υπάρχουν εξαιρέσεις στις οποίες εμφανίζεται οριζόντια μετατόπιση με δεξιόστροφη φορά. Τέτοια εξαίρεση είναι η περιοχή μεταξύ της Κέλλης και της λίμνης Πετρών. Τέλος, υπάρχουν μικρότερα ρήγματα (γύρω στα 120-150) με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ.

1.4.2 Παλαιότερη ρηξιγενής τεκτονική του Βέρνου

Εδώ κυριαρχούν τρία κυρίως ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ. Είναι τα μεγάλα ρηξιγενή ρήγματα που βρίσκονται στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της μάζας του Βέρνου (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983).

α) Ρήγμα Νυμφαίου - Ξυνού νερού: Έχει μήκος γύρω στα 30 Km και διεύθυνση ΝΔ – ΒΑ (40° – 60°). Είναι κυρίως μεταπτωτικού χαρακτήρα με νοτιοανατολική μετάπτωση και είναι τυπικό κανονικό ρήγμα. Η ηλικία του υπολογίζεται στο μετα - Ιουρασικό. Λόγω της συγκεκριμένης μετάπτωσης σχηματίζεται η ρηξιγενής λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου.

β) Ρήγμα Άνω Υδρούσας - Δροσοπηγής - Βιτσιού: Είναι ένα τυπικό εγκάρσιο ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Είναι κάθετο στα πετρώματα της σειράς Βίτσι - Νυμφαίου και έχει μήκος 8 Km.

γ) Ρήγμα ερειπίων Ελάτιας - Περικοπής: Έχει μήκος 5 Km, με παράταξη ΒΒΑ-ΝΝΔ και με εμφανή μετάπτωση του δυτικού τμήματος του ρήγματος.

Τέλος, εμφανίζονται και μικρότερα ρήγματα εγκάρσιας διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, τα οποία είναι τα εξής :

α) Το κανονικό ρήγμα Μακροχωρίου με παράταξη 70°

β) Το κανονικό ρήγμα μεταξύ Πολυποτάμου -Ατραπού με παράταξη Α-Δ

γ) Το ρήγμα του χωριού Μεταμόρφωσης με παράταξη Α - Δ

δ) Το κανονικό ρήγμα της προεξοχής Περικοπής με παράταξη 60°

Σαν ανάστροφα ρήγματα εφιππεύσεων - επωθήσεων αναφέρονται τα:

α) Κορυφής με παράταξη ΒΔ - ΝΑ

β) Το ρήγμα μεταξύ Τσούκα - Αετοράχης

1.4.3 Νεότερη ρηξιγενής τεκτονική

Αρχικά, αναφέρεται πως το μεγάλο τεκτονικό βύθισμα Φλώρινας - Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας δημιουργήθηκε κατά το Κρητιδικό και Τριτογενές μετά το τέλος εφαπτομενικών ορογενετικών κινήσεων (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951). Πιο συγκεκριμένα, η κύρια τεκτονική τάφρος δημιουργήθηκε μεταξύ Ρουμελίου (Κατώτερο Ολιγόκαινο) και Σαρματίου (Μέσο Μειόκαινο).

Η αρχική δημιουργία της τάφρου (Ολιγόκαινο-Μειόκαινο) συμπίπτει με την τελική παροξυσμική φάση πτυχώσεων της αλπικής ορογένεσης (ΜΑΡΑΤΟΣ, 1968).

Ειδικότερα, ο σχηματισμός της μεγάλης τεκτονικής τάφρου Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας έγινε προς το τέλος της τριτογενούς περιόδου ως συνέπειες μεγάλων διαρρήξεων κρασπεδικών ρηγμάτων (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ – ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, 1972)

Στα ανατολικά, τουλάχιστον, περιθώρια της λεκάνης (Καροχώρι - Ανατολίο - Κομνηνά - Βεγόρα) τα πρώτα λιμναία ιζήματα, που επικάθονται πάνω στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, έχουν ηλικία Άνω

Μειοκαινική - Κάτω Πλειοκαινική (BENIZEΛΟΣ, 1977-1978; ΙΩΑΚΕΙΜ, 1982).

Μετά την απόθεση των νεογενών αυτών ιζημάτων ακολούθησε έντονος τεκτονισμός, ο οποίος κατακερμάτισε την περιοχή και δημιούργησε πλήθος ρηγμάτων.

Το αποτέλεσμα όλων αυτών των μεταπτώσεων, σε συνδυασμό με το φαινόμενο της διάβρωσης, ήταν η διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής και η εμφάνιση των κατώτερων στρωματογραφικών οριζόντων του Νεογενούς.

Η σημερινή γεωμορφολογική εικόνα της περιοχής αποδίδεται σε νεότερες τεκτονικές διαταράξεις, οι οποίες συνέβησαν μετά την απόθεση και των πλειοκαινικών ιζημάτων (ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1951).

Οι μεταπλειοκαινικές αυτές μεταπτώσεις έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ. Συγκεκριμένα, η δημιουργία αυτών των ρηγμάτων τοποθετείται στο τέλος του νεογενούς και στις αρχές του τεταρτογενούς κατά τη διάρκεια των κατακόρυφων ορογενετικών κινήσεων της Βαλλαχικής φάσης, δηλαδή μεταξύ Ρουπελίου - Σαρματίου.

Ο Παπασταματίου (1952) αναφέρει τις ίδιες διευθύνσεις των νεότερων ρηγμάτων (ΒΑ-ΝΔ, ΒΒΑ-ΝΝΔ) και τη δημιουργία τους κατά τις αρχές του Τεταρτογενούς και κατά τη διάρκεια της απόθεσης των παχιών στρωμάτων κροκαλοπαγών και ψαμμιτών. Συνέπεια αυτών ήταν η δημιουργία των ενδιάμεσων υψίπεδων (Horste) και βαθυπέδων (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, 1952; ΜΑΡΑΤΟΣ, 1960, 1968).

Οι ηπειρογενετικές κινήσεις του Τεταρτογενούς κατατεμάχισαν τη λεκάνη, δημιουργώντας ρήγματα ΒΑ-ΝΔ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα μικρότερα ταφροειδή ρήγματα και τα ρηξιγενή εξάρματα (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ – ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, 1972). Επίσης, σημειώνουν ρήγματα στη λεκάνη νεότερης ακόμη ηλικίας Β-Ν και Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης. Όλες οι παραπάνω διευθύνσεις ρηγμάτων παρατηρούνται τόσο στα ιζήματα της λεκάνης όσο και στα πετρώματα του περιθωρίου.

Τέλος, από νεότερες μελέτες, επισημαίνονται ρήγματα που έχουν επηρεάσει και τα Τεταρτογενή ιζήματα. Αυτά είναι πλειοκαινικά ή συνιζηματογενή πλειοκαινικά ρήγματα που επαναδραστηριοποιήθηκαν κατά τις επακόλουθες φάσεις της τεκτονικής εξέλιξης της περιοχής μέχρι

και το πρόσφατο παρελθόν (ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, ΚΩΤΗΣ, ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ, ΜΕΤΑΞΑΣ, 1981).

1.5 ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

1.5.1 Ηφαιστειότητα στον ελλαδικό χώρο

Στον Ελλαδικό χώρο βρίσκεται διεσπαρμένος ένας σημαντικός αριθμός ηφαιστειών Τριτογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων εντοπίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του.

Τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα που ανήκουν στο τόξο του νοτίου Αιγαίου είναι της Νισύρου, Σαντορίνης, Μήλου, Αίγινας, Πόρου, Μεθάνων και Κρομμυωνίας. Τα τέσσερα (4) τελευταία υπάγονται στον ευρύτερο χώρο του Σαρωνικού κόλπου και αποτελούν το βορειοδυτικό τμήμα του αποκαλούμενου ηφαιστειογενούς τόξου του νοτίου Αιγαίου.

Η δημιουργία των παραπάνω ηφαιστειών πιστεύεται ότι οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας του ανατολικού τμήματος της Μεσογείου κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι παροξυσμικές φάσεις της ηφαιστειότητας όπως προσδιορίστηκαν με γεωχρονολογήσεις και ισοτοπικές μετρήσεις στις περιοχές Μακεδονίας και Θράκης ανάγονται στην περίοδο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου. Αντιθέτως, στην περιοχή του νότιου Αιγαίου οι μετά τις τελευταίες αλπικές ορογενετικές πτυχώσεις ηφαιστειακές εκρήξεις, χρονολογούνται από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα (ΣΙΔΕΡΗΣ, 1975)

1.5.2 Ηφαιστειακά πετρώματα Βόρειας Ελλάδας

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης κατανέμεται κυρίως σε δύο μεγάλες περιοχές, στην περιοχή μεταξύ Διποτάμων-Καλότυχου (Ελληνοβουλγαρικά σύνορα βόρεια της Ξάνθης) και την περιοχή Αλεξανδρούπολης.

Η ηφαιστειακή δράση συνδέεται με τη δημιουργία μεγάλων ιζηματογενών λεκανών που αναπτύχθηκαν μέσα στη Μάζα της Ροδόπης καθώς και στα νότια περιθώριά της. Οι λεκάνες αυτές σχηματίστηκαν μετά από μία έντονη ορογενετική δραστηριότητα κατά το Ηώκαινο, η οποία επηρέασε όλες τις Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες. Εκτός από αυτές τις δύο μεγάλες ηφαιστειογενείς περιοχές, μικρά ηφαιστειακά σώματα υπάρχουν κοντά στο χωριό Σούνιο (μεταξύ Ξάνθης -Κομοτηνής).

1.5.2.1 Ηφαιστειακά πετρώματα Σουνίου

Οι ηφαιστειακές εμφανίσεις στην περιοχή Σουνίου βρίσκονται μέσα στην Ηωκαινική - Ολιγοκαινική ιζηματογενή σειρά, η οποία έρχεται σε επαφή με το ανατολικό και βορειοανατολικό τμήμα του πλουτωνίτη της Ξάνθης. Η περιοχή αυτή καταλαμβάνει μια έκταση περίπου 100 Km².

Γενικά, αυτά τα ηφαιστειακά σώματα χαρακτηρίζονται ως κοίτες διότι έχουν διεισδύσει παράλληλα με τη στρώση των ιζηματογενών πετρωμάτων. Μερικά όμως διεισδύουν κάθετα και ασύμφωνα με τη στρώση και χαρακτηρίζονται ως φλέβες. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι 25m, ενώ η μεγαλύτερη διάστασή τους κυμαίνεται από μερικά μέτρα μέχρι 500m.

Η ηλικία τους προσδιορίστηκε σε 34 εκατ. χρόνια (Κάτω Ολιγόκαινο) με τη μέθοδο K-Ar.

Μακροσκοπικά είναι γκρίζα έως σκουρόχρωμα συμπαγή πετρώματα με μεγάλους φαινοκρυστάλλους κερυστίλβης. Έχουν τυπικό πορφυριτικό ιστό με φαινοκρυστάλλους πλαγιокλάστων, κερυστίλβης και κλινοπυροξένου και σε μικρότερο ποσοστό βιοτίτη. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται ως ανδεσίτες, λατιτοανδεσίτες με ορυκτολογική ταξινόμηση ενώ με χημική ταξινόμηση ως βασάλτες και βασαλτικοί ανδεσίτες. Τέλος, έχουν βασική ως ενδιάμεση σύσταση και ανήκουν στην υψηλή σε K ασβεσταλκαλική σειρά.

1.5.2.2. Ηφαιστειακά πετρώματα Αλεξανδρούπολης

Στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης συναντώνται δύο μεγάλες ηφαιστειακές εμφανίσεις που σχηματίστηκαν στις αντίστοιχες ανω-ηωκαινικές ιζηματογενείς λεκάνες Αισύμης – Κίρκης (δυτικά) και Φερρών – Δαδιάς – Σουφλίου (ανατολικά). Τα ιζηματογενή πετρώματα των λεκανών αυτών είναι βασικό κροκαλοπαγές, άργιλλοι, ψαμμίτες, μάργες και νουμμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι. Τα ηφαιστειακά πετρώματα σχηματίζουν δόμους, ροές λάβας, φλέβες και πυροκλαστικά.

Η ηλικία των ηφαιστιτών προσδιορίστηκε σε 24-30 εκατ. χρόνια (Ολιγόκαινο) με τη μέθοδο K-Ar.

Οι πετρογραφικοί τύποι των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Αλεξανδρούπολης είναι βασαλτικοί ανδεσίτες, ανδεσίτες, δακίτες και ρυόλιθοι. Στην περιοχή Αισύμης-Κίρκης (400 Km²) επικρατούν κυρίως ανδεσίτες και δακίτες, οι οποίοι σε αρκετή έκταση είναι αλλοιωμένοι

(προπυλιτωμένοι, σερικιτιωμένοι) ενώ στην περιοχή Φερρών – Δαδιάς – Σουφλίου (450 Km²) επικρατούν κυρίως ρυόλιθοι και σε μικρότερη έκταση ανδεσίτες και δακίτες.

Ο ιστός των πετρωμάτων είναι τυπικός πορφυριτικός με τη θεμελιώδη μάζα να αποτελεί το 40-80% του πετρώματος. Οι βασαλτικοί ανδεσίτες και ανδεσίτες έχουν μικροκρυσταλλική και εν μέρει υαλώδη θεμελιώδη μάζα ενώ οι ρυόλιθοι, οι δακίτες και μερικοί ανδεσίτες εμφανίζουν συχνά περλιτική υφή.

Οι φαινοκρύσταλλοι στους βασαλτικούς ανδεσίτες και οι ανδεσίτες αποτελούνται κυρίως από ζωνώδες πλαγιόκλαστο (An90-50), ενώ ως φεμικά ορυκτά υπάρχουν αυγίτης και υπερσθενής ή κεροστίλβη και βιοτίτης. Στους δακίτες οι φαινοκρύσταλλοι είναι ζωνώδες πλαγιόκλαστο (An80-40) ενώ σε μικρότερες ποσότητες υπάρχουν χαλαζίας, σανίδινο, κεροστίλβη και βιοτίτης. Τέλος, στους ρυόλιθους οι φαινοκρύσταλλοι είναι ζωνώδες πλαγιόκλαστο (An60-20), χαλαζίας, σανίδινο και βιοτίτης. Ως εποσιώδη ορυκτά υπάρχουν μαγνητίτης, απατίτης, τιτανίτης και ζιρκόνιο.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα της Αλεξανδρούπολης έχουν ενδιάμεση έως όξινη σύσταση και ανήκουν στην ασβεσταλκαλική έως υψηλή σε Κ ασβεσταλκαλική σειρά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΝΕΡΑ

2.1 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά, μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 340 και 420 του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια σχεδόν όλο τον χρόνο.

Λεπτομερέστερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι, από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας.

Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, γεγονός που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο, η οποία διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή, η οποία διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβρη.

Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσο όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5 – 10° C στις παραθαλάσσιες περιοχές, από 0 – 5° C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές.

Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και

το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα «Αλκυονίδες ημέρες».

Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου απ' ό,τι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα.

Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει, εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου, όταν η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29°C μέχρι 35°C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετησίες) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο.

Η Άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το Φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα μέχρι τα μέσα του Δεκεμβρίου.

2.1.2 Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Φλώρινας

Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (ΛΙΒΑΔΑΣ, 1997; ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗΣ, 1997) το κλίμα της Δυτικής Μακεδονίας, όπου βρίσκεται η υπό μελέτη περιοχή, είναι ενδιάμεσο ή μεταξύ μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος.

Σύμφωνα με την κατάταξη κατά Koeppen, στη Δυτική Μακεδονία επικρατεί κλίμα μεσόθερμο, με τάση κατανομής της βροχής σε όλο τον χρόνο.

Εξάλλου, με βάση την ταξινόμηση κατά Thornthwaite (ΚΑΡΡΑΣ, 1973) το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ημίγρο με απόκλιση από το υγρό και μέτρια έλλειψη νερού κατά το θέρος.

Στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένα μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή της Φλώρινας, τα οποία θα μας φανούν χρήσιμα για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες που επιδρούν πάνω στις ορεινές μάζες της περιοχής και τα αποτελέσματά τους (Πίνακας 1).

2.1.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Εξαιτίας της υψομετρικής (βρίσκεται σε υψόμετρο 650m) και γεωγραφικής της θέσης είναι ευνόητο η περιοχή της Φλώρινας να δέχεται πολύ περισσότερα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα από τις περιοχές που βρίσκονται στα ανατολικά και νότια της καθώς τόσο το ορεινό συγκρότημα της Πίνδου όσο και τα όρη Βέρνον, Ασκιά κ.τ.λ αποτελούν γεωμορφολογικό και κλιματικό όριο. Έτσι η περιοχή χαρακτηρίζεται από μεγάλη συχνότητα και ένταση βροχών.

Η εξήγηση σχετικά με αυτή την παρατήρηση είναι ότι τα ορεινά αυτά συγκροτήματα αποτελούν ένα φυσικό φράγμα, το οποίο εξαναγκάζει σε ανοδική κίνηση τους υγρούς Δ – ΝΔ ανέμους με αποτέλεσμα αυτοί να ψύχονται και να δίνουν βροχές στη ΒΔ Ελλάδα.

Πίνακας 1: Παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας, υγρασίας, υετού, έντασης ανέμων και επικρατούσας διεύθυνσης ανέμων του Μετεωρολογικού Σταθμού Φλώρινας

Μήνες	T (°C)	RH (%)	Υετός (mm)	Ένταση ανέμων σε κόμβους	Επικρατούσα διεύθυνση ανέμων
Ιανουάριος	0,50	82,10	57,60	2,50	Δ
Φεβρουάριος	2,70	78,10	52,30	3,30	Β
Μάρτιος	6,70	70,90	57,90	4,10	Δ
Απρίλιος	11,60	64,00	57,90	4,60	Δ
Μάρτιος	16,80	63,40	58,90	4,80	Δ
Ιούνιος	21,00	59,80	37,30	4,80	Δ
Ιούλιος	23,10	57,40	34,00	4,60	Β
Αύγουστος	22,50	58,30	31,00	4,30	Β
Σεπτέμβριος	18,40	63,90	41,10	3,50	Δ
Οκτώβριος	12,60	72,10	62,10	3,40	Β
Νοέμβριος	7,00	78,70	69,40	3,20	Β
Δεκέμβριος	2,20	81,80	86,20	2,50	ΝΔ
Σύνολο	12,09	69,21			
Μέσος όρος			645,70	3,80	

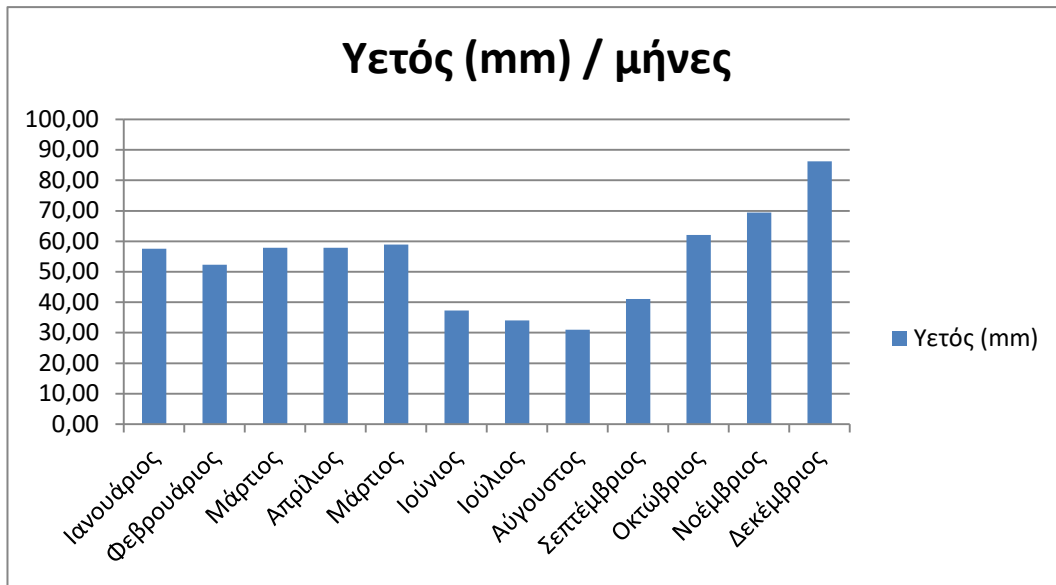
Φλώρινα
(1961-1997)

φ= 40°
48'

h=
689,0
m

λ=
21°25'

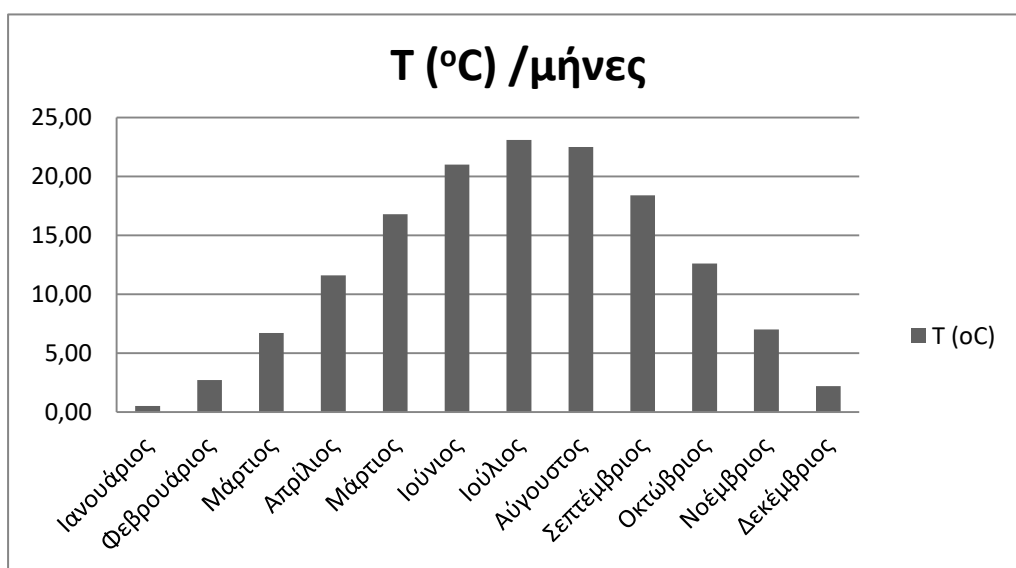
Βάσει του ανωτέρω πίνακα δημιουργήσαμε τα κάτωθι γραφήματα:



Εικόνα 4: Μεταβολή Υετού ανά μήνα

Από το ανωτέρω γράφημα επιβεβαιώνεται ο κανόνας ότι ο μεγαλύτερος όγκος βροχής εμφανίζεται τους χειμερινούς μήνες και μικρότερος τους καλοκαιρινούς.

Με βάση λοιπόν την βροχομετρική ταξινόμηση, κατατάσσουμε την περιοχή μας σε περιοχή τύπου Γ, τριπλή κύμανση (ΚΑΡΑΠΠΕΡΗΣ, 1974). Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή, αυτός ο τύπος περιοχής ανταποκρίνεται σε σταθμούς που βρίσκονται βορειότερα του παραλλήλου των 39° και ονομάζεται Μεταβατικός Μεσογειακός ή Μεσοευρωπαϊκός.



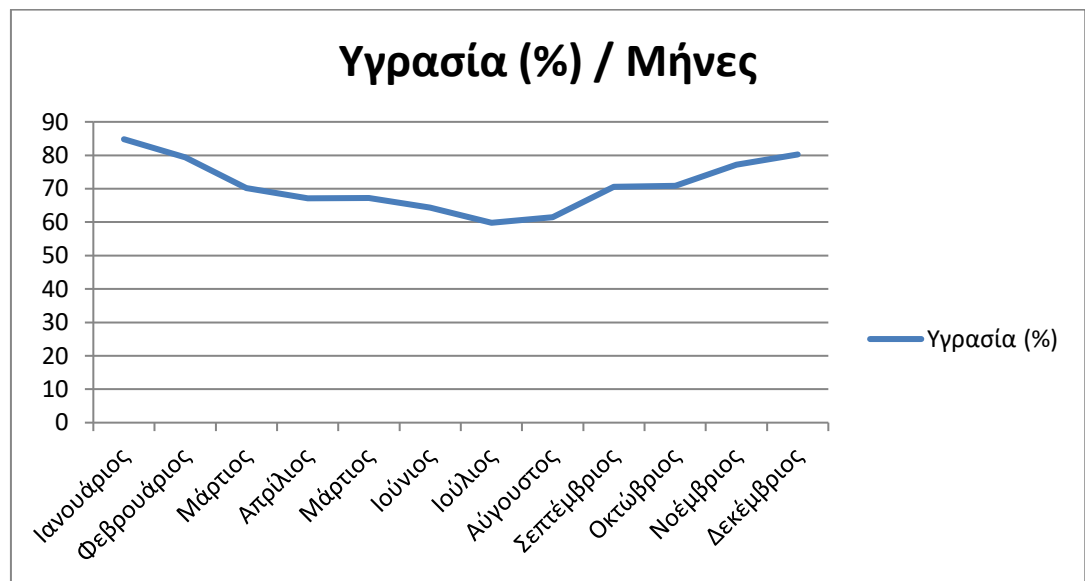
Εικόνα 5: Θερμοκρασία ανά μήνες

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι κατά την περίοδο 1961 – 1997 η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν 12,09°C. Επίσης, η μέση ετήσια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων παρέμεινε σταθερή, το οποίο σημαίνει ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες πάνω από την περιοχή δεν είχαν μεταβληθεί και κατά συνέπεια η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν υφίσταντο.

Σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις διαδραματίζουν οι υδρατμοί στον αέρα, οι οποίοι αποτελούν πηγή τροφοδοσίας των κατακρημνισμάτων και παράγοντα της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής.

Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η σχετική υγρασία του αέρα ασκεί σημαντική επίδραση στην πορεία του υδρολογικού κύκλου (LINSLEY, 1946; ΜΑΣΤΟΡΗΣ, 1968).

Ωστόσο, ο Μπαλαφούτης (1977) αναφέρει ότι η σχετική υγρασία του αέρα δεν εκφράζει την συγκέντρωση της συνολικής ποσότητας των υδρατμών, όπως εσφαλμένα γνωρίζαμε, αλλά το μέγεθος κορεσμού του αέρα και η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα.



Εικόνα 6: Υγρασία ανά μήνες

Από το σχεδιάγραμμα παρατηρούμε ότι:

α) Η σχετική υγρασία του αέρα στην περιοχή που μελετάμε παρουσιάζει απλή ετήσια κύμανση με το μέγιστο στον μήνα Ιανουάριο και ελάχιστο στον μήνα Ιούλιο.

β) Η σχετική υγρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη μέση θερμοκρασία του αέρα.

Καταλήγουμε, επομένως, στο συμπέρασμα ότι από την άνοιξη και μέσα στο θέρος η σχετική υγρασία παρουσιάζει έντονη προοδευτική πτώση εξαιτίας της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του αέρα κατά την ίδια περίοδο.

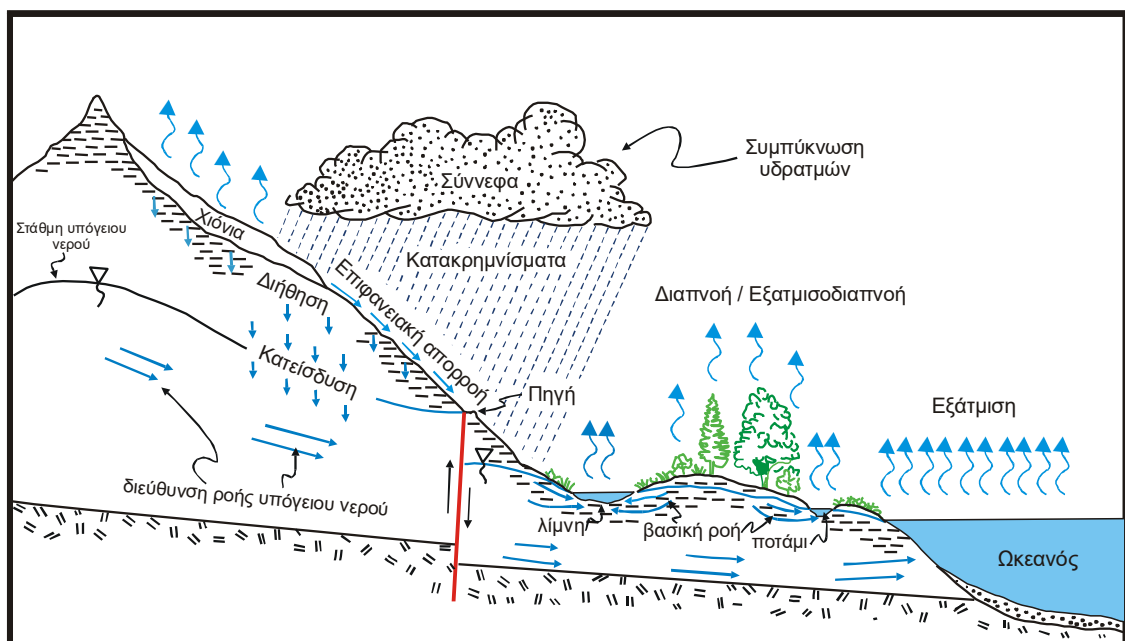
2.2 ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ – ΙΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

2.2.1 Κύκλος του νερού και πηγές

Το νερό, το οποίο είναι πηγή ζωής και δημιουργίας, απαντάται στην ατμόσφαιρα, στην επιφάνεια της γης αλλά και κάτω από αυτήν. Υπάρχει μια ατέρμονη διαδικασία μετάβασης και επιστροφής του νερού των θαλασσών και των ωκεανών στην ατμόσφαιρα και στο υπέδαφος και η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως «κύκλος του νερού». Η εξάτμιση, η διαπνοή, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η κατείσδυση είναι οι βασικές συνιστώσες του κύκλου του νερού (εικ.4).

Με την κατείσδυση συνδέονται τα υπόγεια νερά. Είναι τα νερά εκείνα που απαντούν μέσα στα «υδροπερατά» πετρώματα και που δημιουργούν τους «υδροφόρους ορίζοντες». Είναι αυτά τα νερά που επιστρέφοντας στην επιφάνεια της γης τροφοδοτούν τις πηγές.

Επομένως, πηγές είναι οι φυσικές εφορτίσεις του υπόγειου νερού.

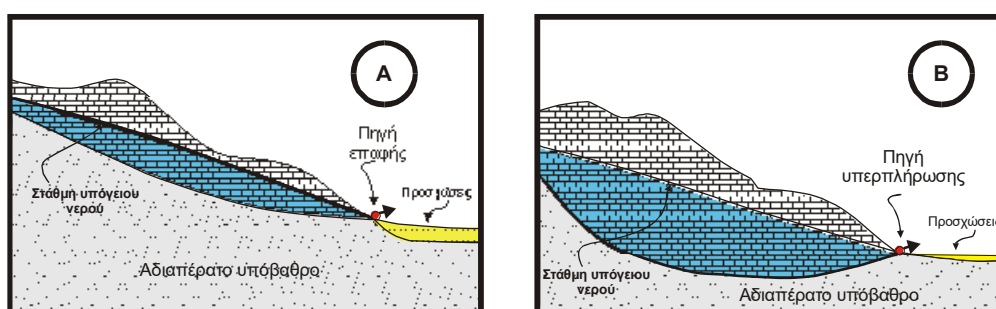


Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου του νερού (Πηγή: ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, 2001)

2.2.2 Ταξινομήσεις των πηγών

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η ταξινόμηση των πηγών. Μερικά από αυτά είναι:

- α) ο μηχανισμός λειτουργίας των πηγών
 - β) η θερμοκρασία του νερού των πηγών
 - γ) η χημική σύσταση του νερού των πηγών
 - δ) οι θεραπευτικές ιδιότητες του νερού κ.ά.
- Με βάση το μηχανισμό λειτουργίας τους οι πηγές διακρίνονται σε πηγές επαφής (εικ.5A) και πηγές υπερπλήρωσης (εικ.5B).
 - Με βάση τη θερμοκρασία του νερού τους, μια ταξινόμηση (THURNER, 1967) διακρίνει τις πηγές σε:
 - α) απλές ψυχρές πηγές ή ακρατοπηγές (με θερμοκρασία ίση ή μικρότερη από 20°C),
 - β) απλές θερμές πηγές ή ακροτοθέρμες (όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει σταθερά τους 20°C),
 - γ) θερμές πηγές με θερμοκρασία σταθερά μεγαλύτερη των 25°C.
 - Με βάση τη χημική τους σύσταση τα νερά των πηγών, σύμφωνα με μία ταξινόμηση (LETOURNEUR–MICHEL, 1971) διακρίνονται σε: α) οξυανθρακικά (νατριούχα, ασβεστούχα ή μικτά), β) χλωριονατριούχα, γ) θειικά και δ) θειούχα. Μια άλλη διάκριση κάνει λόγο για μεταλλικές πηγές.
 - Με βάση τις θεραπευτικές τους ιδιότητες κάποιες πηγές μπορούν να χαρακτηριστούν ως ιαματικές πηγές.



Εικόνα 8: Α) πηγή επαφής, Β) πηγή υπερπλήρωσης (Πηγή: ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, 2001)

2.2.3 Χαρακτηριστικά των θερμομεταλλικών – ιαματικών πηγών

Ως θερμομεταλλικές πηγές χαρακτηρίζονται οι πηγές οι οποίες εκφορτίζουν θερμομεταλλικά νερά.

Θερμομεταλλικά είναι τα νερά που έχουν φυσική θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία του τόπου στον οποίον αναβλύζουν ή γενικότερα του υπεδάφους στο οποίο βρίσκονται και, των οποίων η περιεκτικότητα σε διαλυμένα συστατικά και αέρια είναι μεγαλύτερη από εκείνη των κοινών πόσιμων νερών ή περιέχουν σπάνια δραστικά στοιχεία που δεν περιέχονται στα κοινά νερά (ΔΩΡΙΚΟΣ,1984).

Τα θερμά νερά έχουν φυσική θερμοκρασία κατά 2°C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία του αέρα της περιοχής που εκδηλώνονται οι πηγές. Επειδή στον ελληνικό χώρο ως μέση θερμοκρασία λαμβάνονται οι 18°C, ως θερμά νερά θεωρούνται εκείνα που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από 20°C.

Μεταλλικά νερά ονομάζονται τα νερά, ψυχρά ή θερμά, τα οποία περιέχουν διαλυμένα στερεά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1g/Kg (ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

Σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό, μεταλλικά νερά θεωρούνται τα νερά που περιέχουν ένα από τα συστατικά του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) σε συγκεντρώσεις ίσες ή μεγαλύτερες από τις αναφερόμενες (ΔΩΡΙΚΟΣ,1984).

Ως ιαματικές πηγές χαρακτηρίζονται οι πηγές εκείνες των οποίων τα νερά, λόγω των φυσικών ή χημικών του ιδιοτήτων, έχουν θεραπευτικές ιδιότητες, οι οποίες αποδεικνύονται με επιστημονικό τρόπο. Τα νερά αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως για λουτροθεραπεία και ποσιμοθεραπεία ενώ οι ατμοί χρησιμοποιούνται για αναπνευσιοθεραπεία ή πρόκληση εφίδρωσης (ΔΩΡΙΚΟΣ,1984).

Πίνακας 2: Κατώτερες συγκεντρώσεις των συστατικών μεταλλικών νερών (Πηγή: ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)	1000 mg/L
Ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	250 mg/L
Λίθιο	1 mg/L
Στρόντιο	10 mg/L

Βάριο	5 mg/L
Σίδηρος	10 mg/L
Βρώμιο	5 mg/L
Ιώδιο	1 mg/L
Φθόριο	2 mg/L
Υδροαρσενικό ιόν	1,3 mg/L
Μεταρσενικώδες οξύ	1 mg/L
Ολικό θείο	1 mg/L
Μεταβορικό οξύ	5 mg/L
Υδροανθρακικά ή ανθρακικά αλκάλια (ως NaHCO ₃)	340 mg/L
Ραδιενέργεια	1,28 mμc

Ο καθορισμός ενός νερού ως μεταλλικού ή ιαματικού γίνεται με βάση νομοθετικά μέτρα βασισμένα σε επιστημονικά κριτήρια αλλά, αρκετές φορές, με βάση εμπορικά «μέτρα και σταθμά».

2.2.3.1 Προέλευση των θερμομεταλλικών νερών

Προέλευση της θερμότητας

Η προέλευση της θερμότητας των θερμομεταλλικών νερών μπορεί να οφείλεται σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω αιτίες:

- α) γηγενή θερμότητα
- β) χημικές αντιδράσεις
- γ) παρουσία θερμών ή υπέρθερμων υδρατμών
- δ) ραδιενέργεια
- ε) παρουσία νεαρού νερού

Συνήθως τα θερμομεταλλικά νερά αποκτούν τις υψηλές τους θερμοκρασίες εξ αιτίας της γηγενούς θερμότητας.

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία των υπόγειων νερών για βάθη μέχρι τα 20 μέτρα επηρεάζεται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές του αέρα. Μετά το βάθος των 20 μέτρων η θερμοκρασία των νερών ελέγχεται από την γεωθερμική βαθμίδα. Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει μια σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του υπεδάφους καθώς αυξάνεται το βάθος από

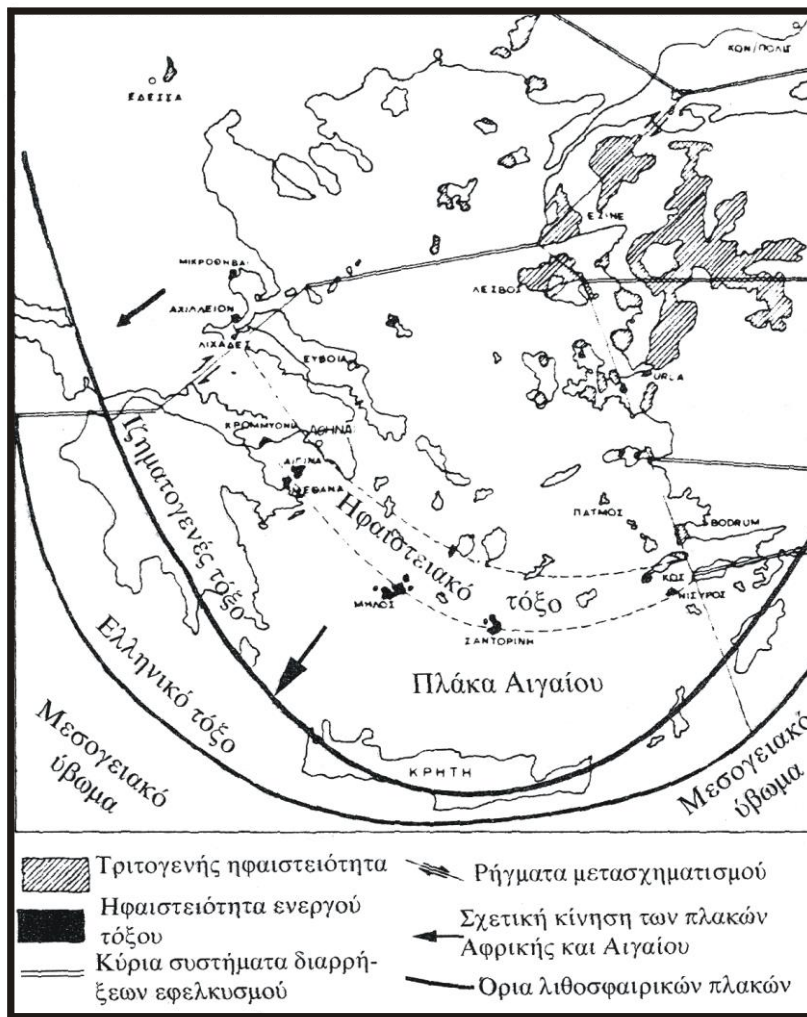
την επιφάνεια της γης. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας ανά μέτρο μεταβολής του βάθους ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα.

Στα ανώτερα στρώματα του γήινου φλοιού η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι ένας βαθμός Κελσίου (1°C) για κάθε τριάντα-τριάντα-τρία (30-33) μέτρα μεταβολής του βάθους, ή κατά προσέγγιση 30°C για κάθε 1000 μέτρα βάθους. Επομένως, με δεδομένο ότι το νερό βράζει στους 100°C , νερό σε υγρή κατάσταση συναντάται μέχρι το βάθος των 3.000 μέτρων. Καθώς είναι αποδεδειγμένο ότι η θερμοκρασία βρασμού εξαρτάται και από την πίεση, νερό σε υγρή κατάσταση μπορεί να βρεθεί μέχρι τα 12 Km βάθος εάν μέχρι το βάθος αυτό υπάρχουν υδροπερατά πετρώματα.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο κρίσιμος συνδυασμός πίεσης και θερμοκρασίας στον οποίο μπορεί να παραμένει το νερό σε υγρή κατάσταση είναι: $P=217,5$ ατμόσφαιρες και $T=365^{\circ}\text{C}$ (ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984).

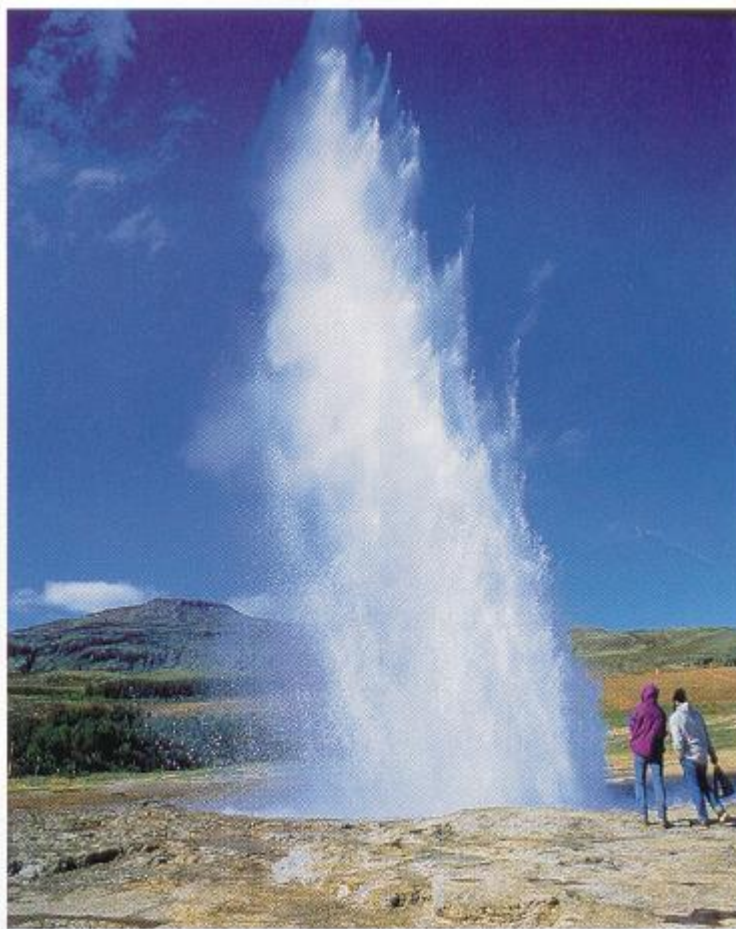
Η γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια της γης. Σε διάφορες περιοχές παρατηρούνται οι λεγόμενες γεωθερμικές ανωμαλίες. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται αυξημένη θερμική ροή με αποτέλεσμα η γεωθερμική βαθμίδα να είναι υψηλότερη από τη μέση τιμή. Οι περιοχές αυτές συνδέονται κυρίως με τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών και μάλιστα με όρια υποβύθισης λιθοσφαιρικών πλακών κοντά στα οποία δημιουργούνται τα ηφαιστειακά τόξα. Στις περιοχές αυτές αναπτύσσονται γεωθερμικά πεδία με ή χωρίς την παρουσία γεωθερμικών ρευστών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- α) παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- β) θέρμανση χώρων (κατοικιών – θερμοκηπίων)
- γ) παραγωγή πόσιμου νερού
- δ) υδροθεραπεία και τουριστική εκμετάλλευση
- ε) εκτροφεία οστράκων φυκών κ.ά.



Εικόνα 9: Τεκτονικές πλάκες στο χώρο του Αιγαίου και τα διάφορα ηφαιστειακά κέντρα (Πηγή: ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

Η Ελλάδα βρίσκεται στα όρια σύγκρουσης των λιθσφαιρικών πλακών Ευρασίας και Αφρικής. Καθώς παρουσιάζει παλαιότερα αλλά και νεότερα ενεργά ηφαιστειακά τόξα άρα και ηφαιστειακά κέντρα (εικ.6), σε πολλές περιοχές του ελλαδικού χώρου παρουσιάζονται γεωθερμικές ανωμαλίες, πολλές από τις οποίες συνδέονται και με την εμφάνιση θερμομεταλλικών πηγών. Σε άλλες περιοχές του κόσμου, όπως στην Ισλανδία και τη Νέα Ζηλανδία, η παρουσία γεωθερμικών πεδίων και γεωθερμικών ρευστών εκδηλώνεται στην επιφάνεια του εδάφους με τους θερμοπίδακες (geyser), οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζουν μια αξιοζήλευτη συνέπεια στην περιοδικότητα της επανεκδήλωσής τους (εικ.7).



Εικόνα 10: Θερμοπίδακας geyser στην Ισλανδία που εκτινάσσει το νερό σε ύψος 20 έως 30 μέτρα, κάθε λίγα λεπτά (Πηγή: ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

Προέλευση του νερού των θερμομεταλλικών πηγών

Τα νερά των θερμομεταλλικών πηγών μπορεί να έχουν την παρακάτω προέλευση:

α) Μετεωρική: πρόκειται για τα απλά μετεωρικά επιφανειακά νερά που κατείσδυσαν, πέρασαν από ρωγμές ή διακλάσεις των πετρωμάτων και η κυκλοφορία τους έγινε κάτω από τους νόμους της βαρύτητας και των τριχοειδών φαινομένων. Κατά τη διαδρομή τους τα νερά διαλύουν διάφορα ορυκτά και έτσι εμπλουτίζονται σε συστατικά, ενώ η θερμοκρασία τους αυξάνεται λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας.

Στη συνέχεια, μέσα από τις διακλάσεις ή τα ρήγματα, ανέρχονται στην επιφάνεια υποβοηθούμενα από την δράση των αερίων και ατμών νερού. Αυτός ο τρόπος δημιουργίας θερμομεταλλικών νερών είναι αναμφίβολα ο πιο συχνός.

Για τα θερμομεταλλικά νερά μετεωρικής προέλευσης, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 35°-40°C.

β) Ενδογενής (μαγματική ή ηφαιστειακή): πολλές φορές η κυκλοφορία των νερών με μετεωρική προέλευση δε μπορεί να ερμηνεύσει τις υψηλές θερμοκρασίες και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά. Για το λόγο αυτό είναι δυνατό να θεωρήσουμε μια προέλευση των νερών αυτών από μεγάλο βάθος. Πρόκειται για τα ενδογενή νερά ή νερά Juvenile.

Μαγματική προέλευση: με την κρυστάλλωση του μάγματος ελευθερώνονται πτητικά συστατικά που διαφεύγουν. Αυτά αποτελούνται από H₂ και υδρατμούς, που συνοδεύονται από φθόριο, χλώριο, θείο, άνθρακα, φώσφορο και βόριο. Έχει αποδειχθεί ότι από 1 km³ γρανίτη ελευθερώνονται 26 εκατομμύρια τόνοι νερού. 1 Kg γρανίτη παράγει με την κρυστάλλωσή του 10 gr νερού. Μία μαγματική διείδυση στα 1000 m περιέχει 5% κ.β. και με την απόψυξη, σιγά-σιγά μπορεί να δώσει, στη διάρκεια ενός εκατομμυρίου ετών, ποσότητα 23,8 λίτρα ανά λεπτό και ανά Km² (ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984).

Τα θερμομεταλλικά νερά ενδογενούς προέλευσης έχουν χημική σύσταση ανεξάρτητα από το πέτρωμα στο οποίο εμφανίζονται. Επίσης, περιέχουν ορυκτολογικά συστατικά ανάλογα προς το μάγμα το οποίο προήλθαν.

Ηφαιστειακή προέλευση: Τα ενδογενή νερά μπορούν να προέρχονται από στερεοποίηση λαβών και από υδρατμούς, η προέλευση των οποίων οφείλεται στην ηφαιστειακή δράση. Οι υδρατμοί αυτοί συνοδεύονται από ανθρακικά αέρια.

Η υπόθεση της ηφαιστειακής προέλευσης των νερών είχε αντικρουσθεί για τον λόγο ότι τα ηφαίστεια δεν παράγουν νερό.

γ) Μικτή: Συνήθως τα θερμομεταλλικά νερά προέρχονται από νερά της βροχής που κατεισδύουν στο υπέδαφος, τα οποία αφού ζεσταθούν (είτε εξαιτίας της γεωθερμικής βαθμίδας είτε εξαιτίας της παρουσίας σε κάποιο βάθος ενός μαγματικού θαλάμου ή ηφαιστειακού σώματος) και αφού διαμορφώσουν την μεταλλικότητά τους διαλύοντας διάφορα συστατικά των πετρωμάτων, επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης δια μέσου μεγάλων ρηξιγενών ζωνών.

Θερμομεταλλικά νερά όμως δημιουργούνται και με την απελευθέρωση H₂O κατά τη διαδικασία κρυστάλλωσης του μάγματος. Πρόκειται για νερά που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλη περιεκτικότητα σε CO₂. Τα νερά αυτά ονομάζονται και «νεαρά νερά». Σύμφωνα με τον

Gautier ένα (1) γραμμάριο γρανίτη πυρούμενο σε θερμοκρασία 500-600 °C αποδίδει δέκα (10) γραμμάρια ύδατος. Έτσι δύναται να υπολογιστεί ότι από ένα (1) κυβικό μέτρο γρανίτου προέρχονται είκοσι έξι (26) κιλά νερού και από ένα (1) κυβικό χιλιόμετρο εικοσιπέντε-τριάντα (25-30) εκατομμύρια τόνοι νερού και σημαντικός όγκος αερίων υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακος, αζώτου και σπάνιων αερίων. Δεν είναι βέβαια σπάνιες οι περιπτώσεις όπου τα μετεωρικά νερά αναμιγνύονται με ενδογενούς προέλευσης νερά.

2.2.3.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θερμομεταλλικών νερών

Το νερό κάθε θερμομεταλλικής πηγής χαρακτηρίζεται από ορισμένα φυσικοχημικά συστατικά. Για να μελετηθούν αυτά είναι απαραίτητο να εξεταστούν η γεωχημεία, τα αέρια, η θερμοκρασία, η ραδιενέργεια, οι φυσικοχημικές παράμετροι, τα χημικά συστατικά καθώς και οι αποθέσεις.

Χημικά συστατικά

Τα θερμομεταλλικά νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα που δίνονται με την μορφή ιόντων. Μεταξύ των ανιόντων διακρίνονται τα: Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , I^- , F^- , ενώ από τα κατιόντα διακρίνονται τα: Na^+ , K^+ , Li^+ , Mg^{++} , Fe^{++} , Ba^{++} , Sr^{++} , Al^{+++} , NH_4^+ .

Από τα μη ηλεκτρολυτικά συστατικά διακρίνουμε το HBO_2 που είναι άφθονο σε πηγές geyser και το H_2SiO_2 που εμφανίζεται συχνά σε πηγές υψηλής θερμοκρασίας.

Η προέλευση των αλάτων των θερμομεταλλικών νερών μπορεί να είναι εξωγενής ή ενδογενής και συγκεκριμένα:

α) Η εξωγενής προέλευση είναι δυνατόν να οφείλεται σε απόπλυση και διάλυση εδαφών και πετρωμάτων τα οποία περιέχουν ευδιάλυτα συστατικά ή σε ανταλλαγή βάσεων ιδιαίτερα όταν το νερό διέρχεται από αργίλους.

β) Η ενδογενής προέλευση συνδέεται με υδρατμούς οι οποίοι παράγονται στο βάθος του γήινου φλοιού από μαγματικά και ηφαιστειακά φαινόμενα, διαλύουν και παρασύρουν ενδογενή στοιχεία, όπως π.χ. το F το οποίο έχει αποκλειστικά ενδογενή προέλευση και τα Cl, J, Br, SO_4 , H_2S τα οποία μπορεί να έχουν και εξωγενή προέλευση.

Τα αέρια και ο ρόλος τους

Τα θερμομεταλλικά νερά περιέχουν, εκτός από υδρατμούς και αέρια, διαλυμένα ή ελεύθερα.

Η προέλευση των αερίων μπορεί να είναι είτε εξωγενής (π.χ. χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις αφήνουν ελεύθερο CO₂ και H₂S), είτε, κατά κύριο λόγο, ενδογενής, συνδεδεμένη με ηφαιστειακές ή μαγματικές δραστηριότητες.

Τα πιο συνηθισμένα αέρια είναι: CO₂, N, H₂S, CH₄, O, και λιγότερο συχνά εμφανίζονται ευγενή αέρια.

Τα αέρια έχουν την τάση να απελευθερώνονται στιγμιαία στους αγωγούς λόγω πτώσης της πίεσης, οπότε αποδίδουν στιγμιαίο αέριο, όπως στις ατμίδες.

Τα πρώτα αέρια που απελευθερώνονται είναι το CO₂ και τα οξείδια του N. Το CO₂ είναι το πιο άφθονο και το πιο συχνά απαντώμενο. Πολλές φορές η συγκέντρωση ανέρχεται σε 3000 mg/L, οπότε σχηματίζει πηγές αερίου CO₂ (π.χ. Νιγρίτα Φλώρινας).

Τα αέρια εκτός από τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο και στη δυναμική των θερμομεταλλικών νερών καθώς επιδρούν στην πυκνότητά τους και επομένως στο βάρος τους.

Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των θερμομεταλλικών νερών. Με την άνοδο της θερμοκρασίας αυξάνεται η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων. Μία πηγή λέγεται θερμή όταν το νερό έχει θερμοκρασία 5°-6° C υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος από όπου εμφανίζεται.

Η γεωθερμική βαθμίδα ποικίλει για τους διάφορους γεωτεκτονικούς χώρους και σχηματισμούς (ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ, 1976). Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω οι τιμές της γεωθερμικής βαθμίδας σε διάφορες περιοχές του στερεού φλοιού της γης (κατά RITTMAN NIGGLI και BORCHERT):

- 360 m: κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό
- 60 – 50 m: κάτω από τον Ατλαντικό ωκεανό
- 50 – 30 m: κάτω από τον Ειρηνικό
- 30 – 15 m: κάτω από οροσειρές με διεισδύσεις πλουτωνιτών

- 30 – 10m: σε περιοχές νεώτερης ηφαιστειότητας
- 10 m: σε περιοχές ενεργής ηφαιστειότητας

Η θερμοκρασία των νερών σε βάθος 3.000 m είναι 100° κελσίου. Το νερό, όμως, κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια ψύχεται επομένως η εμφάνιση μίας θερμής πηγής προϋποθέτει πολύ γρήγορη άνοδο του υπόγειου θερμού νερού.

Η θερμότητα που αποδίδεται με την υγροποίηση των ατμών του νερού είναι 20 calories για πίεση 1 atm. Επομένως, 1 Kg ατμών νερού που υγροποιείται σε βάθος 200 m κάτω από πίεση 20 atm ελευθερώνει 457,9 calories και παράγει νερό προερχόμενο από την υγροποίηση των ατμών θερμοκρασίας 211°C.

Επίσης, είναι δυνατόν το νερό να απορροφήσει θερμότητα από διάφορες αντιδράσεις (χημικές, ραδιενεργές, φυσικοχημικές) σε μικρές όμως ποσότητες.

Η ραδιενέργεια

Τα περισσότερα θερμομεταλλικά νερά είναι ραδιενεργά. Η ραδιενέργεια αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στις θεραπευτικές ιδιότητες των νερών. Η ραδιενέργεια μπορεί να είναι μόνιμη ή προσωρινή.

Πολλά από τα πετρώματα του γήινου φλοιού είναι ραδιενεργά. Τα πυριγενή και ιδιαίτερα οι γρανίτες είναι οι πιο πλούσιοι σε ραδιενέργεια. Τα μεταλλικά νερά που περνούν από τα πετρώματα αυτά παραλαμβάνουν ραδιενεργά στοιχεία και καθίστανται ραδιενεργά.

Φυσικοχημικές παράμετροι

Οι σημαντικότερες παράμετροι των θερμομεταλλικών πηγών είναι: pH, αγωγιμότητα, σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS), δυναμικό οξειδοαναγωγής, πυκνότητα, οσμή, γεύση και χρώμα.

Αποθέσεις

Τα θερμομεταλλικά νερά όταν φτάσουν στην επιφάνεια της γης υφίστανται σημαντικές μεταβολές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Πολλές από τις διαλυμένες ή αιωρούμενες ουσίες καθιζάνουν και δημιουργούν ιζηματογενείς αποθέσεις στις περιοχές εκροής των θερμομεταλλικών νερών. Οι κύριες αιτίες απόθεσης των υλικών αυτών είναι η ψύξη του νερού, η απότομη μεταβολή της πίεσης των αερίων, η

οξειδωση των διαλυμένων αλάτων, η αναγωγική δράση των μικροοργανισμών και διάφορα βιολογικά φαινόμενα.

Οι αποθέσεις των θερμομεταλλικών πηγών μπορεί να είναι α) στερεές αποθέσεις (άλατα ασβεστίου, τόφφοι, τραβερτίνες, γύψος, οπάλιος χαλκηδόνιο και χαλαζίας ή θειούχες ενώσεις του χαλκού, μολύβδου, υδραργύρου κ.ά.) και β) αποθέσεις ιλύος (κυρίως λάσπη από κόκκινα οξείδια του Fe, ανθρακικά άλατα του Mg, οξείδια του Al, SiO₂ κ.ά.).

2.2.4 Κύριοι παράγοντες των θερμομεταλλικών πηγών

Οι θερμομεταλλικές πηγές παρουσιάζουν αρκετά συχνά μεταβολές τόσο στην παροχή τους όσο και στο χημισμό, τη θερμοκρασία και την πίεσή τους. Συνήθως οι μεταβολές αυτές είναι παροδικές και μικρής διάρκειας και μπορεί να οφείλονται σε:

- μεταβολές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων
- ανάμειξη του νερού της πηγής με υπόγειο νερό άλλου χημισμού και θερμοκρασίας
- μεταβολή των δρόμων κυκλοφορίας των νερών
- μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης
- μεταβολές της πίεσης των αερίων (ιδιαίτερα του CO₂)
- σεισμικές δονήσεις
- αυξήσεις των απολήψεων
- εξάντληση των προς διάλυση υλικών
- διάφορες δραστηριότητες όπως πρόκληση εκρήξεων, εκτέλεση γεωτρήσεων, υποβιβασμός της στάθμης γειτονικών υδροφόρων που επικοινωνούν πλευρικά με τις πηγές κ.ά.

2.2.5 Ταξινόμηση των θερμομεταλλικών νερών

Η ταξινόμηση των θερμομεταλλικών νερών μπορεί να γίνει με διάφορα κριτήρια. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά επομένως η ταξινόμηση έγινε βάση της χημικής σύστασης και της θερμοκρασίας τους.

2.2.5.1 Ταξινόμηση με βάση τη χημική σύσταση

α) Δισανθρακικά ή όξινα ανθρακικά ή ανθρακούχα: Πρόκειται για νερά πλούσια σε ελεύθερο CO₂ και φτωχά σε SO₄. Αυτά, όπως αναφέρει ο K.Holl (1970), πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 1000 mg CO₂/Kg. και ονομάζονται ανθρακούχα. Διακρίνονται, όμως, ανάλογα με την συγκέντρωση των ιόντων, τόσο για τα ανιόντα όσο και για τα κατιόντα.

β) Χλωριούχα νερά: α) Νάτριο – χλωριούχα νερά, β) Ασβέστιο – χλωριούχα νερά, γ) Μαγνήσιο – χλωριούχα νερά.

γ) Όξινα ανθρακικά: α) Νάτριο – όξινα ανθρακικά νερά, β) Ασβέστιο – ανθρακικά νερά, γ) Μαγνήσιο – όξινα ανθρακικά νερά.

δ) Θειούχα θερμομεταλλικά νερά: Χαρακτηρίζονται κυρίως από την παρουσία θειούχων ενώσεων και H_2S ελεύθερου ή δεσμευμένου. Η θερμοκρασία τους είναι γενικά υψηλή. Διακρίνονται σε: α) Θείο – Νατριούχα νερά, β) Θείο – Μαγνησιούχα νερά, γ) Θείο – Ασβεστιούχα νερά, δ) Θείο – Αλουμινούχα νερά.

ε) Θειϊκά θερμομεταλλικά νερά: Χαρακτηρίζονται από υψηλή συγκέντρωση ιόντων θειϊκής ρίζας και γενικά είναι πλούσια σε κατιόντα Na και K.

2.2.5.2 Ταξινόμηση των νερών σύμφωνα με τη θερμοκρασία τους

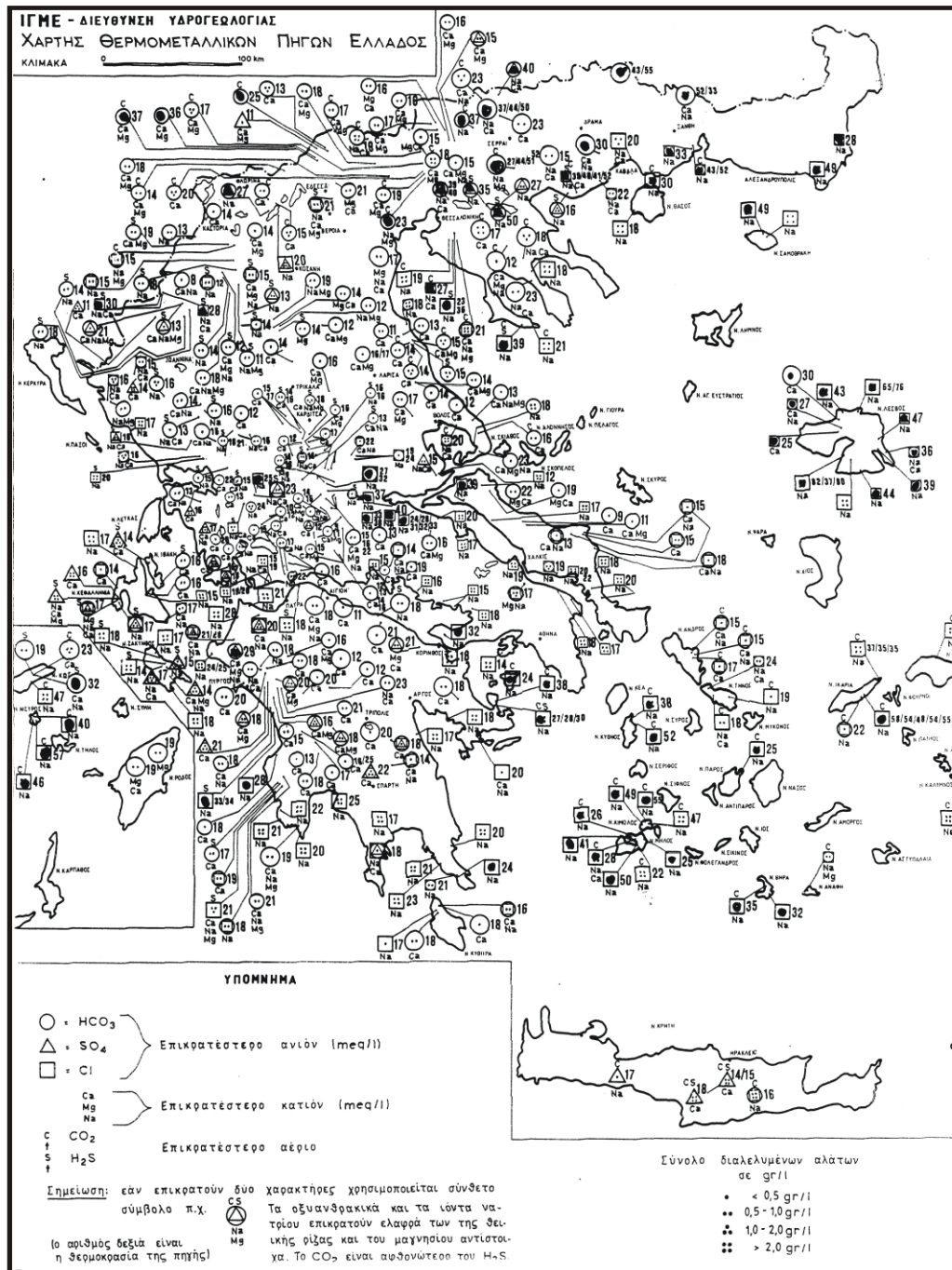
Η θερμοκρασία στα θερμομεταλλικά νερά κυμαίνεται από 20° – $100^{\circ}C$. Τα νερά που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από $100^{\circ}C$ αποτελούν ιδιαίτερες κατηγορίες (π.χ. γκέυζερ).

Σύμφωνα, λοιπόν, με την θερμοκρασία τους τα νερά διακρίνονται σε:

- α) Υπέρθερμα, όταν η θερμοκρασία τους βρίσκεται μεταξύ 50° – $100^{\circ}C$
- β) Μεσόθερμα, όταν η θερμοκρασία τους είναι μεταξύ 35° – $50^{\circ}C$
- γ) Υπόθερμα, όταν η θερμοκρασία είναι μεταξύ 20° – $35^{\circ}C$
- δ) Ψυχρά, όταν η θερμοκρασία τους είναι κάτω των $20^{\circ}C$.

2.2.6 Θερμομεταλλικές πηγές της Ελλάδας

Όπως έχει προαναφερθεί, η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας ευνοεί την εκδήλωση πολυάριθμων θερμομεταλλικών πηγών (εικ.11).



Εικόνα 11: Χάρτης θερμομεταλλικών πηγών της Ελλάδας (Πηγή: ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

Πολλές από τις θερμομεταλλικές πηγές αναβλύζουν σε παράκτιες περιοχές και σε γραφικά τοπία τα οποία συνδυάζουν βουνό και θάλασσα. Επίσης, λόγω της προνομιάχου τοποθεσίας τους και των άριστων κλιματικών συνθηκών έχουν δημιουργηθεί όχι μόνο κέντρα υδροθεραπείας αλλά και παραθερισμού, στα οποία παρέχεται η δυνατότητα της χρήσης των θαλάσσιων λουτρών και άλλων μέσων ψυχαγωγίας, καθώς επίσης και τόποι σωματικής και πνευματικής ανάπαυσης.

Οι θερμομεταλλικές πηγές του ελλαδικού χώρου ξεπερνούν τις 750 και γεωγραφικά κατανέμονται ως εξής: Στερεά Ελλάδα 156 πηγές, Θεσσαλία 57, Ήπειρος 56, Μακεδονία 115, Θράκη 25, Πελοπόννησος 114 και νησιωτική Ελλάδα 229.

Από την πολιτεία 76 πηγές έχουν αναγνωριστεί ως ιαματικές πηγές εκ των οποίων οι 15 είναι τουριστικής σημασίας και οι υπόλοιπες 61 τοπικής.

Μερικές από τις σημαντικότερες θερμομεταλλικές πηγές της Ελλάδας και η μέγιστη θερμοκρασία τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Οι σημαντικότερες θερμομεταλλικές πηγές της Ελλάδας (Πηγή: ΔΩΡΙΚΟΣ, 1984)

α/α	Όνομα ή γεωγραφική θέση πηγής	Θερμοκρασία (σε °C)
1	Αιδηψός	83
2	Πολυχνίτου (Λέσβος)	87
3	Αγ. Ιωάννου (Χίος)	69
4	Κεράμου	67
5	Σιδηρόκαστρου	45.4
6	Ηφαίστου (Λήμνου)	44
7	Φερρών	48.5
8	Σμοκόβου	40
9	Υπάτης	33
10	Δράνιας (Καίτης)	21
11	Κρεμαστών	32
12	Κυλλήνης	25.5
13	Καϊάφα	36.6
14	Λουτρακίου	31
15	Μεθάνων	41
16	Καμένων Βούρλων	20
17	Πλατυστόμου	36
18	Βουλιαγμένης	27

19	Θέρμων (Αιγίνης)	28
20	Καβάσιλων	30
21	Κακάβου (Κύθνου)	52.5
22	Θερμοπυλών	32
23	Ψαροθέρμων (Σαμοθράκης)	55
24	Ικαρίας	70
25	Αθέρμων (Θήρα)	32
26	Λέντα (Κρήτη)	22.5
27	Λαγκαδά	41
28	Σέδες	35

2.2.7 Ρύπανση-Μόλυνση και ζώνες προστασίας θερμομεταλλικών πηγών

Η έννοια της ρύπανσης συνδέεται με την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι εκείνη η οποία καθορίζει και την καταλληλότητα του νερού για συγκεκριμένη χρήση. Η δε ποιότητα είναι συνάρτηση των φυσικών, χημικών, μικροβιολογικών και ραδιενεργών χαρακτηριστικών του νερού.

Η ρύπανση ή μόλυνση του υπόγειου νερού γενικά και των θερμομεταλλικών πηγών ειδικά συνδέεται με:

- α) Φυσικές διαδικασίες και μηχανισμούς με τους οποίους το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται ή αποβάλλει άλατα
- β) Ποιοτικούς χαρακτήρες (φυσικούς, χημικούς, βιολογικούς) του υπόγειου νερού και κατατάξεις του
- γ) Οριακές περιεκτικότητες του υπόγειου νερού σε ουσίες (χημικές, ραδιενεργές, βιολογικές) ή σε μικροοργανισμούς μέχρι τις οποίες αυτό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τη χρήση
- δ) Διάγνωση του βαθμού ρύπανσης.

Στην Ελλάδα το όργανο που είναι θεσμοθετημένο για την ευθύνη προστασίας των ανακηρυγμένων ιαματικών πηγών είναι ο ΕΟΤ (1996). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία απαγορεύονται οι περισσότερες δραστηριότητες σε απόσταση 1.000 μέτρων από την ανακηρυγμένη ιαματική πηγή.

Επιβάλλεται, όμως, ο καθορισμός ζωνών προστασίας τόσο της ποιότητας όσο και της ποσότητας των ιαματικών πηγών. Είναι προφανές ότι αυτές θα πρέπει να είναι διαφορετικές για κάθε πηγή. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: η κατηγορία στην οποία ανήκουν οι πηγές, η φύση του υπεδάφους στην περιοχή ανάβλυσης ή υδροληψίας, το είδος της υδροληψίας, το είδος της πηγής, η παρουσία αερίων στο νερό, η θερμοκρασία του, η περιοχή και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής κ.ά.

2.2.8 Η σχέση των μεταλλικών πηγών με τη νεότερη τεκτονική

Τα θερμομεταλλικά νερά στην περιοχή μελέτης θεωρούμε ότι συνδέονται με την νεότερη τεκτονική αυτού του χώρου.

Κατά το τέλος του Τριτογενούς και την έναρξη του Τεταρτογενούς εκδηλώθηκε στον Ελληνικό χώρο μία ηφαιστειακή δραστηριότητα η οποία οφειλόταν στην επαναδραστηριοποίηση των εγκάρσιων ΒΔ – ΝΔ ρηγμάτων εξαιτίας των εκτεταμένων εφελκυστικών τάσεων που έδρασαν τόσο στην Αλμωπία όσο και σε ολόκληρο το Βόρειο – Ελλαδικό χώρο.

Οι εφελκυστικές αυτές τάσεις είναι δύο ειδών:

α) Οι ΒΑ–ΝΔ, πιθανόν Πλειστοκαινικές ή προ-Πλειστοκαινικές

β) ΒΒΔ – ΝΝΑ Πλειστοκαινοκές

Αυτές δημιουργούν αφενός μεν το βύθισμα της λεκάνης της Αλμωπίας, αφετέρου την παράλληλη και σύγχρονη προς αυτή λεκάνη της Φλώρινας.

Οι πρώτες εφελκυστικές τάσεις, δηλαδή ΒΑ – ΝΔ, δημιουργούν τα ΒΔ – ΝΑ ρήγματα τα οποία «κόβουν» προ – Πλειοκαινικά ιζήματα στη λεκάνη της Φλώρινας, ενώ οι δεύτερες, ΒΒΔ – ΝΝΑ, δημιουργούν τα ΒΑ – ΝΔ ρήγματα που είναι Πλειοκαινικής ηλικίας (ΜΑΡΑΤΟΣ, 1960). Στην ίδια διαπίστωση των ΒΑ – ΝΔ ρηγμάτων σε ένα βάθος γύρω στα 130m, με άλμα περίπου 10m κατέληξε και η παρούσα έρευνα.

Αυτά είναι αποτελέσματα των εφελκυστικών τάσεων ΒΒΔ – ΝΝΑ και ανήκουν στη ζώνη παραλλήλων ρηγμάτων μετάπτωσης ΒΑ – ΝΔ, την οποία βρίσκουμε τόσο στην Αλμωπία όσο και στην λεκάνη της Φλώρινας, όπου μάλιστα βρίσκουμε και όλες τις εμφανίσεις του CO₂.

Συνεπώς, θα ήταν πάρα πολύ εύκολη μία διείσδυση CO₂ από το ηφαίστειο της Αλμωπίας μέσα στη ζώνη αυτή και εκδήλωση, στη συνέχεια, στη λεκάνη της Φλώρινας.

Με την αξιολόγηση των δεδομένων των χημικών αναλύσεων προέκυψε ότι τα νερά που έχουν CO₂ που αναβράζει είναι διευθετημένα κατά μήκος της προαναφερθείσας ζώνης ρηγμάτων, δηλαδή κατά ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση. Με βάση τη χημική τους σύσταση, κατατάσσονται στα Mg – Ca – Na δισανθρακικά νερά.

Μία τέτοια σύσταση νερού συνδέεται αφενός με την ηφαιστειακή Τριτογενή και Τεταρτογενή δραστηριότητα (ΓΚΙΩΝΗ – ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, 1983) αφετέρου με ηφαιστειακά πετρώματα βασικής σύστασης ή όταν είναι Na – Δισανθρακικά από όξινα ηφαιστειακά (LITTLETON, 1957).

Συνεπώς, τα νερά που είναι διευθετημένα κατά την ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση βρίσκονται πάνω σε μία πρόσφατα επαναδραστηριοποιημένη ηφαιστειακή ζώνη λόγω τεκτονικών δράσεων.

2.2.9 Πιθανές θέσεις εκμετάλλευσης μεταλλικών νερών

2.2.9.1 Ψυχρά μεταλλικά νερά

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε τα μεταλλικά νερά, τα οποία πληρούν τις συνθήκες εκμετάλλευσής τους.

Ως «μεταλλικό νερό» χαρακτηρίζεται ένα νερό το οποίο είναι μικροβιολογικά κατάλληλο, υπόγειας προέλευσης και υπόκειται σε εκμετάλλευση από μία ή περισσότερες φυσικές εξόδους μίας πηγής ή τεχνητές μετά από γεώτρηση ή άλλα τεχνητά έργα και είναι πλούσιο σε μέταλλα (Άρθρο 9, παράγραφος 2 του υπ. αρθ. 433 Π.Δ.).

Αυτό το νερό πρέπει να πληρεί ορισμένους όρους, οι οποίοι αναφέρονται στα χαρακτηριστικά του και διακρίνονται σε: α) Φυσικά, β) Χημικά και γ) Μικροβιακά.

α) Ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά το μεταλλικό νερό πρέπει να είναι εύγεστο, να μην παρουσιάζει θολερότητα (διαυγές), να είναι άχρωμο, άοσμο και η θερμοκρασία του να έχει ανώτατο όριο 15°C, να κυμαίνεται δηλαδή μεταξύ των τιμών 10° – 14° .

Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών καθορίζονται ως εξής (Φ.Ε.Κ. 1968):

Θολερότητα : Πέντε μονάδες

Χρώμα : Πέντε μονάδες

Οριακός αριθμός δομής : Τρεις μονάδες

β) Από χημικής πλευράς, το μεταλλικό νερό δεν πρέπει να περιέχει ξένες ουσίες ή ιόντα πέρα από ορισμένα όρια, τα οποία είναι επικίνδυνα για την υγεία των καταναλωτών. Αυτό ισχύει και για τα πόσιμα νερά.

Τα όρια των ιόντων μιας χημικής ανάλυσης είναι τελείως σχετικά και διαφέρουν από ερευνητή σε ερευνητή. Ωστόσο, για τη χώρα μας ο καθορισμός αυτός γίνεται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, βάσει του Φ.Ε.Κ. (1968) και δίνονται στους πίνακες (4) και (5) .

Στους πίνακες αυτούς γίνεται και συσχέτιση μεταξύ μεταλλικού και πόσιμου νερού, βάσει της παραπάνω διάταξης. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν και κριτήρια για την εκμετάλλευση και αξιοποίηση πηγών με παρόμοια σύσταση.

Πίνακας 4: Παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων τα οποία πρέπει να χαρακτηρίζουν το «πόσιμο» νερό.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ/ΕΝΩΣΕΙΣ	ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΟΡΙΑ ΣΕ Mg / lit
Άργυρος (ως Ag)	0,05
Αρσενικό (ως As)	0,05
Απορρυπαντικά	0,5
Βάριο (ως Br)	1
Σύνολο διαλυμένων στερεών	500
Θειικά (ως Bx)	250
Κάδμιο (ως Cd)	0,05
Κυανιούχα (ως CN)	0,01
Μαγγάνιο (ως Mn)	0,1
Μαγνήσιο (ως Mg)	50
Μόλυβδος (ως Pb)	0,1
Νιτρικά (ως NO ₃)	50

pH	από 7,0 - 8,5
Σελήνιο (ως Se)	0,05
Σίδηρος (ως Fe)	0,1
Ολική σκληρότητα	5,6 - 28 γερμανικούς βαθμούς
Φθοριούχα (ως F)	1,5
Χαλκός (ως Cu)	1
Χλωριούχα (ως Cl)	350
Χρώμιο (ως Cr)	0,05
Ψευδάργυρος (ως Zn)	5

Πίνακας 5: Αναφέρονται οι περιεκτικότητες των χημικών ενώσεων και στοιχείων που αντιστοιχούν σε διάφορες κατηγορίες θερμομεταλλικών νερών.

ΟΥΣΙΕΣ/ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ
Χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα	< 500 mg / lit
Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα	< 50 mg / lit
Οξυανθρακικό	> 600 mg / lit HSO ₃ άλατα
Θεικά	> 200 mg / lit SO ₄
Χλωριούχα	< 20 mg / lit Cl
Ασβεστούχα	> 150 mg / lit Ca
Μαγνησιούχα	> 50 mg / lit Mg
Φθοριούχα	> 1 mg / lit F
Σιδηριούχα	> 1 mg / lit Fe
Όξινα	> 250 mg / lit ελεύθερο CO ₂
Νατριούχα	> 250 mg / lit Na
Ph	3 - 6,5
Ολική σκληρότητα	έως και 30 γερμανικούς βαθμούς

Οποιαδήποτε εκμετάλλευση ή αξιοποίηση πηγών γίνεται βάσει των παραπάνω προδιαγραφών για τις αντίστοιχες κατηγορίες νερών.

γ) Ως προς τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά τόσο των μεταλλικών όσο και των πόσιμων νερών ισχύουν τα ίδια κριτήρια.

Επομένως, αυτά πρέπει να είναι απαλλαγμένα από παράσιτα και παθογόνους μικροοργανισμούς, δηλαδή δεν πρέπει να παρουσιάζουν αποικίες επιζώντων μικροβίων κοπρανώδους μόλυνσης.

Παραδείγματα είναι :

- Απουσία κωλοβακτηριδίων (E.Coli) και άλλων κωλοβακτηριδίων σε 250 mg / lit σε 37°C και 44,5°C αντίστοιχα
- Απουσία θειοαναγωγικών αναεροβίων μικροβίων σε 50 mg / lit
- Απουσία εντεροκόκκων σε 250 mg / lit και
- Απουσία πυοκυανικής ψευδομονάδας σε 250 mg / lit.

Επιπλέον, στις μικροβιολογικές εξετάσεις θα πρέπει ακόμη να προσδιορίζονται και οι παρακάτω χημικές ουσίες που αποτελούν δείκτες πιθανής ρύπανσης του νερού:

- Ελεύθερη (NH₃)
- Νιτρώδη (NO₂)
- Νιτρικά (NO₃)
- Άζωτο λευκοματοειδών
- Συνολικό άζωτο
- Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο
- Σύνολο οργανικών ουσιών (ανώτερο ανεκτό όριο 0,002 gr / lit)

Πρέπει, επίσης, να αναφερθεί πως τα νερά που περιέχουν και σε ελάχιστο ποσοστό NO₂ άλατα είναι μολυσμένα από σηπόμενες αζωτούχες ουσίες ή από άλλες αιτίες (λιπάσματα).

Παρακάτω παραθέτουμε φωτογραφίες από πηγές τις οποίες επισκεφθήκαμε κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησής μας αλλά και τα όργανα με τα οποία γίνεται η δειγματοληψία.



Εικόνα 12: Αναβράζουσα «όξινη πηγή» λόγω διαφυγής διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην περιοχή Ιτέα. Βάθος γεώτρησης περίπου 100 μέτρα και στάθμη νερού στα 60 μέτρα. Θερμοκρασία νερού $T=15,3^\circ \text{C}$ και $\text{pH}=5,65$. $C=1.094\text{Mc}$ (αγωγιμότητα) και $\text{EH}=191,2$.



Εικόνα 13: Επιφανειακή πηγή πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα στην περιοχή μελέτης Αριδαία. Θερμοκρασία νερού $T=34$ C, $pH=6,60$, $H=50$ dH (σκληρότητα).



Εικόνα 14: Διαδικασία δειγματοληψίας από νερό πηγής για αναλύσεις στο εργαστήριο.

Σε περίπτωση που κάποιος ενδιαφέρεται για την εκμετάλλευση κάποιων πηγών, θα ήταν ωφέλιμο να κάνει μια συστηματική μελέτη για την πηγή προτού ξεκινήσει να την πραγματοποιεί.

2.2.9.2 Θερμά μεταλλικά νερά

Στην κατηγορία αυτή, παρά την προσπάθειά μας κατά τη διάρκεια των χαρτογραφήσεων, ήταν αδύνατο να εντοπίσουμε θερμά νερά καθώς η περιοχή της Φλώρινας και, ειδικότερα η λεκάνη της, δεν παρουσιάζει ικανοποιητικές συνθήκες εμφάνισης γεωθερμικών πεδίων υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας.

Παρόλα αυτά, εντοπίσαμε μία θερμή πηγή, 1,5 Km από το χωριό Άνω Καλλινίων. Η πηγή αυτή παρουσιάζει θερμοκρασία 19° C, pH = 5,9 και αρκετή ποσότητα Fe (9,2 mg/lit). Σε αυτή την περίπτωση πιστεύουμε ότι η αυξημένη ποσότητα του σιδήρου οφείλεται στις μεταλλικές της σωληνώσεις.

Πρόκειται για μία πηγή, η οποία είναι δυνατό να εκμεταλλευτεί και να αξιοποιηθεί κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο (θερμοκήπια κλπ.). Θεωρούμε ότι θα ήταν σκόπιμο από τον ιδιοκτήτη της, τον Δήμο ή τον κρατικό φορέα να γίνει μια βαθύτερη και ουσιώδης μελέτη της γύρω περιοχής για την ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ CO₂

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ CO₂

Αρχικά, θα αναφερθούμε στην αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα σε υπόγειους γεωλογικούς ταμιευτήρες. Γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες αποθήκευσης του CO₂ σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς. Δίδονται αναφορικά οι τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι τρόποι μεταφοράς του στους χώρους αποθήκευσης. Στη συνέχεια εξετάζονται οι τεχνολογίες αποθήκευσης σε πιθανούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Αναφέρονται τα σημαντικότερα ερευνητικά προγράμματα που βρίσκονται σε εξέλιξη παγκοσμίως καθώς και τα ερευνητικά προγράμματα στα οποία συμμετέχει η Ελλάδα. Τέλος διατυπώνεται η σημασία της διεργασίας αυτής και ο σημαντικός ρόλος που μπορεί να αποκτήσει για την μείωση των εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Οι εκπομπές CO₂ θεωρείται ότι αποτελούν το βασικότερο ανθρωπογενές αέριο θερμοκηπίου με σημαντική συμβολή στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατ' επέκταση των κλιματικών αλλαγών που αυτή επιφέρει.

Από την άλλη μεριά, ο ενεργειακός τομέας και συγκεκριμένα ο τομέας ηλεκτροπαραγωγής είναι η κύρια πηγή εκπομπών CO₂. Υπολογίζεται ότι το 30% των συνολικών εκπομπών CO₂ οφείλεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Ο ενεργειακός τομέας εξακολουθεί να είναι ισχυρά εξαρτώμενος από τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό αέριο) παρά τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την υποκατάσταση τους από άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας με μηδενικές εκπομπές CO₂ π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκτιμάται ότι το 85% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως καλύπτεται από τα ορυκτά καύσιμα. Στην Ελλάδα ο τομέας παραγωγής ενέργειας παράγει σχεδόν το 50% των συνολικών εκπομπών CO₂.

Η παγκόσμια κοινότητα έχει δεσμευτεί μέσω της σύμβασης-πλαίσιο για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC) να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO₂ στα επίπεδα του 1990 και μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% έως την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (IPCC 2001, www.ipcc.ch).

Η ιδέα της δέσμευσης του CO₂ και αποθήκευσής του σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς όπως ταμιευτήρες πετρελαίου ή φυσικού

αερίου με βελτιωμένη ανάκτηση του κοιτάσματος (Enhanced Oil Recovery) ή υποθαλάσσια θα μπορούσε να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση για μηδενικές εκπομπές CO₂ σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Αντίστοιχη τεχνολογία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στη περιοχή Sleipner της Βόρειας Θάλασσας όπου γίνεται εμπλουτισμός του φυσικού αερίου με διαχωρισμό του CO₂. Στη συνέχεια το CO₂ συμπιέζεται και αποθηκεύεται σε γεωλογικό σχηματισμό 1.000m κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Το έργο μπήκε σε εφαρμογή το 1996 και από τότε έχουν αποθηκευτεί επιτυχώς 80 εκ. τόνοι CO₂. Επίσης, στις ΗΠΑ στην ανθρακική μονάδα Warrior Run 150 τόνοι CO₂ απομονώνονται ημερησίως σε στήλες απορρόφησης μονοαιθανολαμίνης (MEA) και χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία.

3.2 ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ CO₂

3.2.1 Τεχνολογίες Δέσμευσης

Οι τεχνολογίες δέσμευσης CO₂ διακρίνονται ανάλογα με το στάδιο της διεργασίας στο οποίο απομονώνεται το CO₂. Συνεπώς κατά Odenberger και Svensson (2003) διακρίνονται σε:

α) Τεχνολογίες δέσμευσης μετά την καύση: το CO₂ διαχωρίζεται από ένα αέριο μίγμα αζώτου N₂ και O₂. Η πρακτική που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο διαχωρισμός με χημική απορρόφηση με χρήση αμυνών σε στήλες απορρόφησης - αναγέννησης. Άλλες πρακτικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (διαχωρισμός με μεμβράνες) βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους,

β) Τεχνολογίες δέσμευσης πριν από την καύση: σε αυτή την περίπτωση το CO₂ απομονώνεται από αέριο μίγμα πλούσιο σε H₂ προϊόν εξαέρωσης άνθρακα ή αναμόρφωσης φυσικού αερίου σε υψηλή πίεση (15-40 bar). Η επικρατέστερη τεχνική είναι ο διαχωρισμός από το κυρίως ρεύμα με διάφορες εναλλακτικές όπως φυσική απορρόφηση, απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης κτλ.

γ) Καύση με υψηλή συγκέντρωση O₂/CO₂: η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο διαχωρισμό του N₂ από τον αέρα καύσης και στην καύση με O₂ αντί για αέρα έχοντας ως αποτέλεσμα καυσαέριο που αποτελείται από CO₂ και H₂O.

δ) Καινοτόμες εφαρμογές: σημαντική προσπάθεια καταβάλλεται στην ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών δέσμευσης CO₂ όπως η καύση με τον μηχανισμό χημικής ανάδρασης (Chemical Looping Combustion), η οποία στηρίζεται στην χρήση οξειδίων διαφόρων μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται ως φορείς οξυγόνου και μεταφέρουν οξυγόνο από τον αέρα καύσης στο καύσιμο.

3.2.2 Τεχνολογίες μεταφοράς

Για την μεταφορά του CO₂ από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους ταμιευτήρες αποθήκευσης υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά συστήματα (ODENBERGER-SVENSSON, 2003):

α) μεταφορά με φορτηγά μεγάλης χωρητικότητας: η πιο κοινή εναλλακτική λύση για μεταφορά προϊόντων με βάρος λιγότερο των πέντε τόνων εξαιτίας της αξιοπιστίας, της προσαρμογής και της ευελιξίας που παρέχει ο τρόπος αυτός,

β) με τρένα: ειδικά προσαρμοσμένα βαγόνια μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες CO₂ σε μεγάλες αποστάσεις,

γ) με βυτιοφόρα πλοία: κατάλληλος τρόπος για θαλάσσια μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Το μεγάλο πλεονέκτημα εδώ είναι η οικονομική αποδοτικότητα αφού έτσι μπορούν να μεταφερθούν πολύ μεγάλες (38000-78000m³) ποσότητες CO₂,

δ) με αγωγούς: με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται CO₂ από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Από πολλούς εμπειρογνώμονες θεωρείται ως η πιο αποδοτική, οικονομικά, τεχνολογία για συνεχή μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων CO₂. Κατά την μεταφορά σε αγωγούς πρέπει να πληρούνται οι απαιτούμενες προδιαγραφές όπως: P=152 bar, σημείο δρόσου -40°C, καθώς και οι περιεκτικότητες σε N₂, O₂ και Ar να είναι < 300 ppmv, < 40 ppmv και < 10 ppmv αντίστοιχα. Το CO₂ πρέπει να βρίσκεται σε υγρή ή σε υπερκρίσιμη κατάσταση (P>7.38 MPa και T>-60°C) κατά την μεταφορά του. Οι λόγοι για τους οποίους η στερεά ή αέρια κατάσταση δεν είναι κατάλληλη οφείλονται στο ότι στη στερεά κατάσταση χρειάζεται μεγαλύτερη ενέργεια για την μεταφορά του ενώ στην αέρια κατάσταση το CO₂ έχει πάρα πολύ χαμηλή πυκνότητα.

3.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ CO₂

Εισαγωγή CO₂ σε ταμιευτήρες πετρελαίου για την βελτίωση της ανάκτησης του έλαβε χώρα για πρώτη φορά την δεκαετία του 1970 στις Η.Π.Α. Οι πιο σημαντικοί γεωλογικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης είναι (A TROP, GALE, 2004):

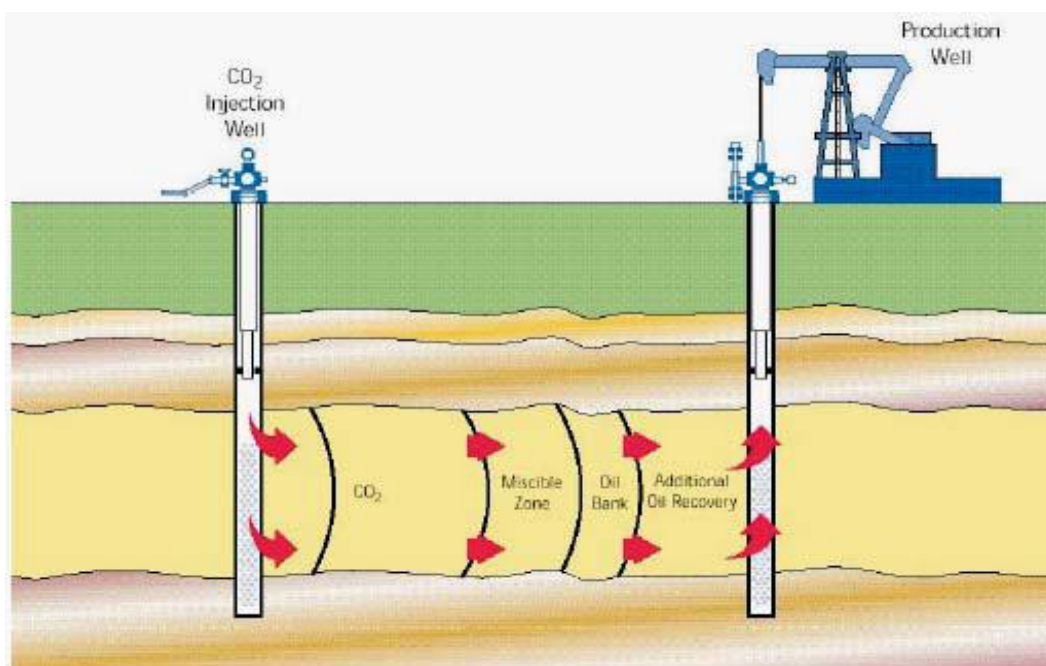
- α) αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου (EOR)
- β) αποθήκευση σε ταμιευτήρες πετρελαίου / φυσικού αερίου που ήδη έχουν εκκενωθεί και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους
- γ) αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα (ECBMR)
- δ) αποθήκευση σε ωκεανούς μέσω αγωγού ή μέσω βυτιοφόρου πλοίου
- ε) αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης (mineralization)

Οι ταμιευτήρες αποθήκευσης CO₂ θα πρέπει να διαθέτουν μεγάλη χωρητικότητα ενώ παράλληλα θα πρέπει να παρέχουν και ένα αποδεδειγμένα ασφαλές και σίγουρο περιβάλλον αποθήκευσης. Η ιδέα της υπόγειας αποθήκευσης σε ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου ενισχύεται από το πλεονέκτημα της γνωστής γεωλογικής μορφολογίας αφού ήδη έχουν γίνει γεωτεχνικές μελέτες γι' αυτούς. Συνήθως αποτελούνται από πορώδη πετρώματα, έχουν σχήμα θόλου και περικλείονται από τέτοια πετρώματα τα οποία απαγορεύουν την μετακίνηση του αερίου σε οποιαδήποτε κατεύθυνση έτσι ώστε να μην υπάρχει διαρροή προς την ατμόσφαιρα (A TROP – GALE, 2004).

Η χωρητικότητα αυτών των ταμιευτήρων παγκοσμίως έχει εκτιμηθεί με κατάλληλες προσομοιώσεις από διάφορα ινστιτούτα και επιστημονικά εργαστήρια. Έτσι, υπολογίστηκε η χωρητικότητα για τους υδροφόρους ορίζοντες περίπου στους 400 - 10000 Gt CO₂, για τους ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου περίπου στους 473 -1152 Gt CO₂, ενώ για τα στρώματα κοιτασμάτων μη εξορυγμένου γαιάνθρακα περίπου στους 5 - 267 Gt CO₂ (A TROP - GALE, 2004). Παράλληλα, οι εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα παγκοσμίως υπολογίζονται, γύρω στους 24 Gt τον χρόνο ενώ έχουν αυξανόμενη τάση.

3.3.1 Αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου (EOR)

Η τεχνική της βελτιωμένης ανάκτησης πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery) χρησιμοποιείται σε ταμιευτήρες οι οποίοι έχουν σχεδόν εκκενωθεί ή σε ταμιευτήρες πετρελαίου υψηλού ιξώδους (A TROP, GALE, 2004). Αυτή η τεχνική έχει την δυνατότητα όχι μόνο να αυξάνει την ανάκτηση του πετρελαίου αλλά να αποθηκεύει στον ταμιευτήρα και την ποσότητα του CO₂ που χρησιμοποιείται (Εικόνα 11).



Εικόνα 15: Σχηματική παρουσίαση και βελτιωμένη ανάκτηση πετρελαίου χρησιμοποιώντας CO₂ (Πηγή: Statoil)

Πρόκειται για εισαγωγή του CO₂ σε υπερκρίσιμη κατάσταση ($P > 7.38$ MPa και $T > -60^{\circ}\text{C}$) σε ενεργούς ταμιευτήρες η οποία προκαλεί αύξηση της κινητικότητας του πετρελαίου και έχει ως αποτέλεσμα την πιο εύκολη ανάκτηση του (A TROP - GALE, 2004).

Ένα ποσοστό του εισαγόμενου CO₂ θα ανακτηθεί μαζί με το πετρέλαιο, θα διαχωριστεί απ' αυτό με την κατάλληλη διεργασία και θα εισαχθεί και πάλι στον ταμιευτήρα. Υπάρχουν διεργασίες EOR όπου το CO₂ μπορεί να είναι αναμίξιμο ή όχι. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την πίεση με την οποία το CO₂ θα εισαχθεί στον ταμιευτήρα.

Στην πρώτη περίπτωση το CO₂ αναμιγνύεται με το ακατέργαστο πετρέλαιο, το αναγκάζει να διογκωθεί και μειώνει το ιξώδες του ενώ παράλληλα αυξάνει ή διατηρεί την πίεση του ταμιευτήρα. Ο συνδυασμός

αυτός επιτρέπει το πετρέλαιο να κυκλοφορήσει πιο ελεύθερα προς τον αγωγό απ' όπου και θα γίνει η ανάκτηση του.

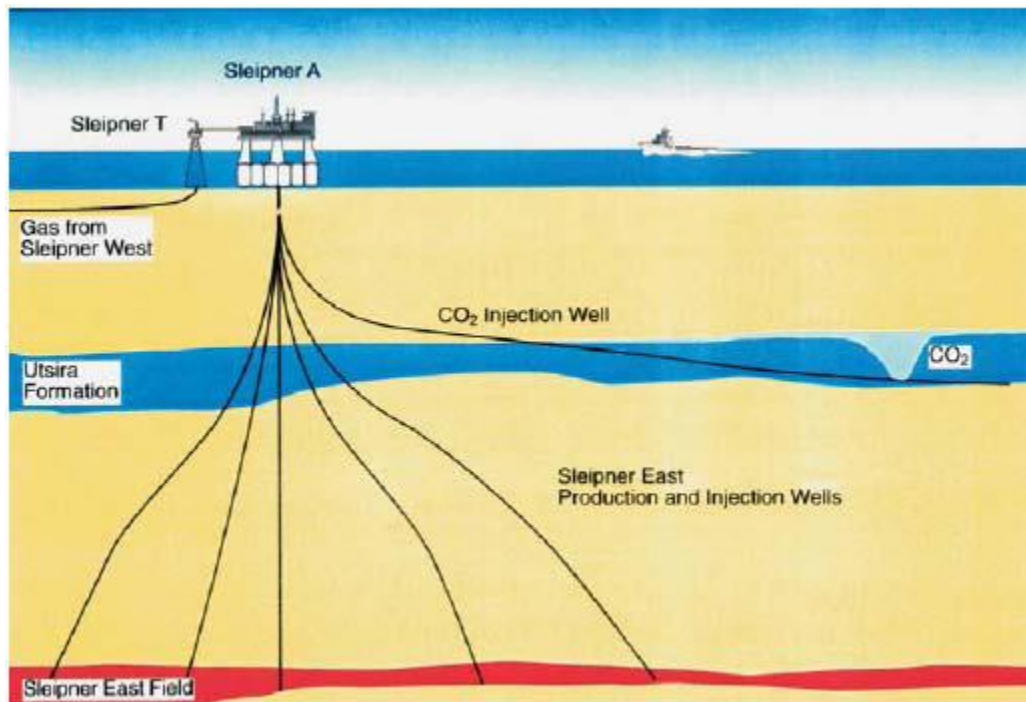
Στην δεύτερη περίπτωση το πεπιεσμένο CO₂ που εισάγεται, χρησιμοποιείται για να αυξήσει την πίεση του ταμιευτήρα στα αρχικά του στάδια και να παρασύρει το ακατέργαστο πετρέλαιο προς τον αγωγό ώστε να ανακτηθεί με μεγαλύτερη ευκολία. Με τη μέθοδο αυτή (CO₂ EOR) η οποία ονομάζεται «τριτογενής εξόρυξη», μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή του πετρελαίου κατά προσέγγιση 10% με 15% (A TROP - GALE, 2004).

3.3.2. Αποθήκευση σε κενούς ταμιευτήρες πετρελαίου / φυσικού αερίου και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους

Οι ταμιευτήρες πετρελαίου ή φυσικού αερίου που ήδη έχουν εκκενωθεί παρουσιάζονται ως η πιο ελπιδοφόρα επιλογή αποθήκευσης στο προσεχές μέλλον. Αυτό γιατί οι ταμιευτήρες αυτοί έχουν αποδείξει την ικανότητα τους να διατηρούν υγρά ή αέρια σε υψηλές πιέσεις για μεγάλα διαστήματα χρόνου. Εντούτοις, τα περισσότερα από τα φρεάτια θα έπρεπε να ανοιχτούν πάλι με νέες γεωτρήσεις.

Επίσης, η πραγματική ικανότητα είναι αβέβαιη λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στον ταμιευτήρα που μπορεί να έχουν εμφανιστεί λόγω εισβολής αλατούχου νερού ή λόγω της γεωδομικής αλλαγής.

Από την άλλη πλευρά, οι αλατούχοι υδροφόροι ορίζοντες έχουν τη μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης του CO₂, αφού οι ταμιευτήρες αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι και έχουν την μεγαλύτερη χωρητικότητα (Εικόνα 12).



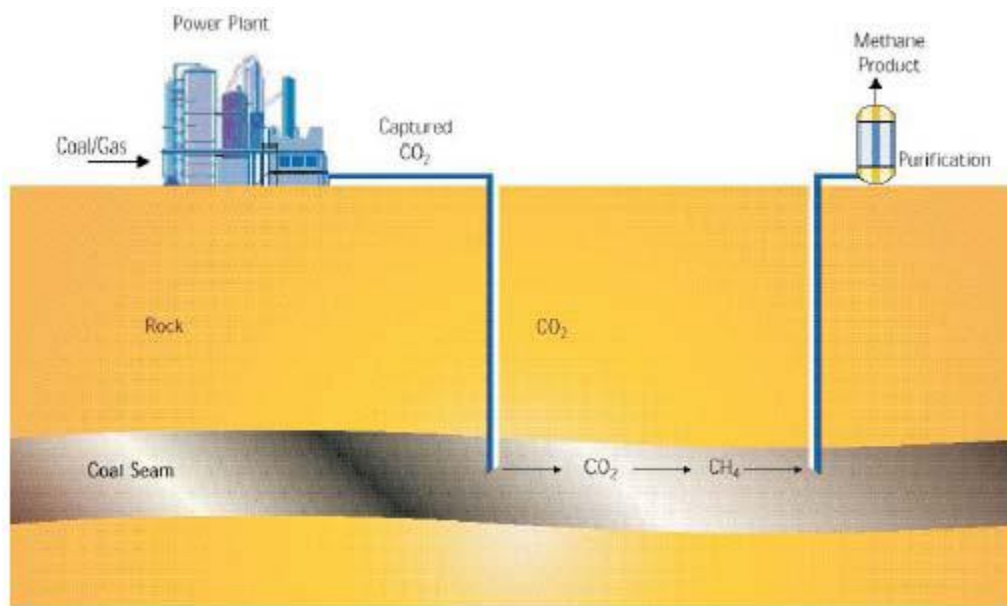
Εικόνα 16: Εισαγωγή CO₂ στον αλατούχο υδροφόρο ορίζοντα μεγάλου βάθους Utsira (Πηγή: Statoil)

3.3.3 Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάθρακα (ECBMR)

Το CO₂ εισάγεται σε κοιτάσματα άνθρακα, απορροφάται στις επιφάνειες των στρωμάτων άνθρακα ελευθερώνοντας μεθάνιο το οποίο μπορεί έπειτα να ανακτηθεί σαν ελεύθερο αέριο.

Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι τα κοιτάσματα αυτά μπορούν να αποθηκεύσουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες CO₂ από τον ισοδύναμο όγκο ενός συμβατικού ταμειυτήρα λόγω του ότι ο άνθρακας έχει μεγαλύτερες περιοχές επιφάνειας (A TROP-GALE, 2004). Υπάρχουν δύο τέτοια προγράμματα (Enhanced Coal-bed Methane Recovery) στο βορειοδυτικό Μεξικό και στο νοτιοδυτικό Κολοράντο των Η.Π.Α. (Εικόνα 13).

Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την μελέτη των προγραμμάτων αυτών χρησιμοποιείται για να ελέγξει και να προτυποποιήσει τους μηχανισμούς αποθήκευσης του CO₂ σε τέτοιους ταμειυτήρες, όπως επίσης και να αξιολογηθεί η δυνατότητα αποθήκευσης σε άλλες λεκάνες τέτοιου είδους.



Εικόνα 17: Τεχνολογία ECBMR χρησιμοποιώντας CO₂ (Πηγή: Statoil)

3.3.4 Αποθήκευση σε ωκεανούς

Το CO₂ είναι διαλυμένο στο νερό των ωκεανών, ενώ οι ωκεανοί και απορροφούν αλλά και εκπέμπουν CO₂ μέσω φυσικών διαδικασιών. Το CO₂ μπορεί να εισαχθεί μέσω μίας συσκευής διάχυσης σε βάθη 1.000 έως 2.000 m. Από τα βάθη αυτά, το εισαγόμενο νέφος σταγονιδίων του CO₂ ανέρχεται προς την επιφάνεια και διαλύεται στο νερό προτού φτάσει σε βάθος 500m όπου τα σταγονίδια παίρνουν πλέον μορφή φυσαλίδων οι οποίες θα φτάσουν στην επιφάνεια.

Πειράματα σε εργαστήρια έχουν δείξει ότι μία ταινία ένυδρων ουσιών (hydrate film) μπορεί διαμορφωθεί γύρω από τα σταγονίδια του CO₂ καθιστώντας τα βαρύτερα από το νερό της θάλασσας με αποτέλεσμα να τα ωθεί στον πυθμένα (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIAKIS, RIGAKIS, 1999).

Έτσι το CO₂ μπορεί να εισαχθεί σε βάθη μεγαλύτερα από 3.000m, οπότε σε αυτή την περίπτωση το υγρό CO₂ θα γίνει βαρύτερο από το νερό της θάλασσας και θα βυθιστεί στον πυθμένα δημιουργώντας μία λίμνη, όπου και θα παραμείνει.

Η αποθήκευση στους ωκεανούς είναι ακόμη σε αρχικά στάδια ανάπτυξης σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες. Οι ωκεανοί έχουν βέβαια τεράστια χωρητικότητα για την απομόνωση του CO₂, αλλά το επιστημονικό επίπεδο κατανόησης της τεχνολογίας αυτής για να την υποστηρίξουν σαν

την πιο σημαντική εναλλακτική λύση, δεν είναι διαθέσιμο τουλάχιστον μέχρι σήμερα.

3.3.5. Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης

Μία νέα πολλά υποσχόμενη μέθοδος με την οποία το CO₂ αποθηκεύεται υπό μορφή ανθρακικών ορυκτών. Η αντίδραση του CO₂ με οξείδια ώστε να σχηματιστούν ανθρακικά ορυκτά όπως μαγνησίτης ή ασβεστίτης είναι εξώθερμη.

Πετρώματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ορυκτοποίηση του CO₂ είναι υπερβασικά πετρώματα πλούσια σε Mg όπως δουνίτες, περιδοτίτες και σερπεντινίτες.

Τέτοιες αντιδράσεις εμφανίζονται στα γεωλογικά χρονικά διαστήματα (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIADIS, RIGAKIS, 1999). Οι μελέτες επικεντρώνονται ώστε να επιταχυνθεί το φυσικό ποσοστό αντίδρασης με αποτέλεσμα να μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη η αποθήκευση CO₂ ως στερεό ορυκτό ανθρακικό άλας. Τα ανθρακικά άλατα είναι σταθερά θερμοδυναμικά και δεν μπορούν να απελευθερώσουν τις ποσότητες του CO₂.

Υπάρχει η επιχειρηματολογία ότι η αποθήκευση του CO₂ στα ορυκτά είναι πιθανή και ασφαλέστερη από άλλες τεχνολογίες σε υπόγειους ταμιευτήρες ή σε ωκεανούς. Τα οξείδια ασβεστίου και μαγνησίου τα οποία απαιτούνται για τη διαμόρφωση των σταθερών ορυκτών ανθρακικών αλάτων είναι διαθέσιμα στη φύση σε μεγάλες ποσότητες (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIADIS, RIGAKIS, 1999).

3.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ CO₂

3.4.1 Το πρόγραμμα WEYBURN (EOR)

Η περιοχή των κοιτασμάτων πετρελαίου στο Weyburn καλύπτει πάνω από 70 τετραγωνικά μίλια στο νοτιοανατολικό Saskatchewan και είναι ένας από τους μεγαλύτερους ταμιευτήρες ακατέργαστου πετρελαίου στον Καναδά (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIADIS, RIGAKIS, 1999). Περιέχουν περίπου 1,4 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου.

Η παραγωγή αποτελείται αρχικά από ακατέργαστο πετρέλαιο μέσης βαρύτητας με χαμηλή αναλογία φυσικού αερίου - πετρελαίου. Χρησιμοποιείται η τεχνική της βελτιωμένης ανάκτησης πετρελαίου (EOR) όπου CO₂ εισάγεται στον ταμιευτήρα με αποτέλεσμα να διαστέλλει και να ωθεί το πετρέλαιο στις οπές παραγωγής αυξάνοντας έτσι την παραγωγικότητα.

Το πρόγραμμα Weyburn θα συμβάλλει στην κατανόηση των διαδικασιών με τις οποίες απομονώνεται το CO₂.

3.4.2. Το πρόγραμμα SACS (αποθήκευση σε υδροφόρο ορίζοντα)

Το πρόγραμμα Sleipner είναι παγκοσμίως το πρώτο σε εμπορικό επίπεδο που χρησιμοποιείται η αποθήκευση του CO₂ για τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου.

Το CO₂ είναι ένα ανεπιθύμητο υποπροϊόν από την παραγωγή φυσικού αερίου στο δυτικό Sleipner. Το CO₂ εισάγεται σε αλατούχο υδροφόρο ορίζοντα στο σχηματισμό Utsira και σε βάθος 800m κάτω από τον πυθμένα της Βόρειας Θάλασσας. Ένα ειδικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του φυσικού αερίου από το δυτικό Sleipner είναι το υψηλό περιεχόμενο του CO₂ (περίπου 9%). Η περιεκτικότητα σε CO₂ έπρεπε να μειωθεί σε 2,5% προτού το φυσικό αέριο μπορέσει να μεταπωληθεί. Περίπου 1 εκ. τόνοι CO₂ αφαιρούνται ετησίως από το φυσικό αέριο και εισάγονται έπειτα στον γεωλογικό σχηματισμό Utsira (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIADIS, RIGAKIS, 1999).

3.4.3 Το πρόγραμμα SNOHVIT (υποθαλάσσια αποθήκευση CO₂)

Το πρόγραμμα Snohvit είναι το δεύτερο μεγαλύτερο πρόγραμμα υποθαλάσσιας αποθήκευσης CO₂ παγκοσμίως. Αντί της απελευθέρωσης του στην ατμόσφαιρα, το CO₂ που παράγεται με το φυσικό αέριο μπορεί να αποθηκευτεί 2.600m κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Το φυσικό αέριο από το κοίτασμα αυτό περιέχει 5-8% CO₂ που πρέπει να μειωθεί λιγότερο από 50 ppmv. Το CO₂ διαχωρίζεται από το φυσικό αέριο με χρήση αμινών (MEA) σε στήλες απορρόφησης-αναγέννησης (KONTOPOULOS, FOKIANOU, ZELILIDIS, ALEXIADIS, RIGAKIS, 1999).

3.4.4 Συμμετοχή της Ελλάδας σε ερευνητικά προγράμματα αποθήκευσης CO₂

3.4.4.1 Γεωλογική αποθήκευση του CO₂ – Το πρόγραμμα GESTCO

Με το πρόγραμμα αξιολογείται εάν η γεωλογική αποθήκευση του CO₂ μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη μέθοδο για εφαρμογή ευρείας κλίμακας. Διερευνήθηκε η δυνατότητα τεσσάρων κυρίων τύπων αποθήκευσης σε επιλεγμένες περιοχές (Δανία, Γερμανία, Γαλλία, Ελλάδα, Ολλανδία, Βέλγιο, Νορβηγία και Ηνωμένο Βασίλειο) (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 1990-2002):

- α) σε χερσαία / παράκτια αλατούχα υδροφόρα στρώματα με ή χωρίς παράπλευρο σφράγισμα
- β) σε γεωθερμικούς ταμιευτήρες χαμηλής ενθαλπίας
- γ) σε κοιτάσματα άνθρακα μεγάλου βάθους που περιέχουν μεθάνιο και σε εγκαταλειμμένα ορυχεία άνθρακα ή άλατος
- δ) σε εξαντλημένους ή σχεδόν εξαντλημένους γεωλογικούς σχηματισμούς υδρογονανθράκων

3.4.4.2 Το πρόγραμμα NASCENT

Το πρόγραμμα στοχεύει στην αντιμετώπιση των βασικών ζητημάτων που συνδέονται με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂ συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας μακροπρόθεσμα, την σταθερότητα της υπόγειας αποθήκευσης καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μία πιθανή διαρροή κάποιου υπόγειου ταμιευτήρα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 1990-2002).

Υπάρχουν αρκετές περιοχές που περιέχουν φυσικές συσσωρεύσεις CO₂ στην Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιταλία, Γερμανία και Γαλλία. Συγκεκριμένα, ο ορίζοντας CO₂ στη Φλώρινα είναι κοντά στα σύνορα με την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας.

Πρόκειται για CO₂ ορίζοντα χαμηλής πίεσης (10 bar) και υψηλής συγκέντρωσης σε CO₂ (>99.5%) διαλυμένο στο νερό. Ο ορίζοντας του CO₂ βρίσκεται σε ποτάμιες αποθέσεις του Μειόκαινου (Miocene fluvial sandstone) ανάμεσα σε στρώματα λιγνίτη σε βάθη μεταξύ 180 και 260m. Το CO₂ μπορεί να έχει διαμορφωθεί από την αλλαγή και την μετανάστευση των ασβεστόλιθων μέσω ρηγμάτων στα τριτογενή ιζήματα. Αρμόδια

μπορεί να είναι ίσως και η ηφαιστιογενή δραστηριότητα 25Km ανατολικά στη λεκάνη της Αλμωπίας. Εκεί υπάρχουν εγκαταστάσεις με ετήσια παραγωγή 20.000 – 30.000 τόνους CO₂. Η παραγωγή επιτυγχάνεται με απλό φυσικό διαχωρισμό αερίου – νερού στο φρεάτιο παραγωγής (ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 1990-2002).

3.5 ΠΙΘΑΝΟΙ ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι πιθανοί χώροι στην Ελλάδα όπως μελετήθηκαν και στο ερευνητικό πρόγραμμα GESTCO που προαναφέρθηκε παραπάνω, είναι οι ταμιευτήρες στην περιοχή του Πρίνου με χωρητικότητα 17 Mt, καθώς και ορισμένοι υδροφόροι ορίζοντες όπως στην Αλεξάνδρεια και στον Λουδία με χωρητικότητα 2,2Gt.

Επίσης εκτιμάται ότι πιθανό χώρο αποθήκευσης του CO₂ μπορεί να αποτελέσει και η Μεσοελληνική αύλακα αφού σύμφωνα με μελέτες υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης υδρογονανθράκων.

3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ CO₂

Οι τεχνολογίες απομόνωσης CO₂ αποτελούν κρίσιμο σημείο για την εξέλιξη των σταθμών παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων με μηδενικές εκπομπές.

Είναι απαραίτητο οι ερευνητικές προσπάθειες να επικεντρωθούν στην αντιμετώπιση των βασικών ζητημάτων που συνδέονται με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂ συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας , την σταθερότητα της υπόγειας αποθήκευσης καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μία πιθανή διαρροή κάποιου υπόγειου ταμιευτήρα.. Είναι προφανές ότι το περιβαλλοντικό αυτό πρόβλημα δεν αφορά μόνο το παρόν αλλά και τις μελλοντικές γενιές. Επιπλέον έχει σημαντικές κοινωνικές, οικονομικές, πολιτικές και ηθικές πτυχές.

Πρόκειται, λοιπόν, για εξαιρετικά πολύπλοκο και παγκόσμιο ζήτημα και γι αυτό απαιτεί συντονισμένη δράση σε διεθνές επίπεδο.

3.7 ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂) ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΚΑΙ Η ΠΙΘΑΝΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ

Στην παράγραφο των λιγνιτοφόρων εμφανίσεων αναφέραμε την παρατήρηση μας από τη μελέτη υπαίθρου που κάναμε, στις θερμομεταλλικές πηγές, σχετικά με την παρουσία του CO₂ που συνδεόταν μέσα στα νερά που βρίσκονταν, με κάποια μικρή ή μεγάλη εμφάνιση ξυλίτη ή τύρφης που παρουσιάζονταν στα υποκείμενα στρώματα.

Η μελέτη του φαινομένου αυτού παρατηρείται για πρώτη φορά στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της παρούσας μελέτης, συνεπώς δεν υπάρχει σχετική εκτεταμένη βιβλιογραφία. Εξαίρεση αποτελεί μία αναφορά του Μαράτου (1972) κατά τη διεξαγωγή ερευνητικών γεωτρήσεων από μέρος του Ι.Γ.Μ.Ε.

Σε γεώτρηση βόρεια του χωριού Αρμενοχωρίου συναντήθηκαν οι πρώτες εκδηλώσεις του CO₂, το οποίο παρέσυρε και νερό με πίεση προς τα πάνω. Το νερό αυτό κατά την εκροή του πάνω στην επιφάνεια του εδάφους εγκατέλειπε επιφλοίωμα μωνίτη. Πλησίον των συνόρων συναντήθηκαν οι πιο έντονες και βίαιες εκδηλώσεις (ΜΑΡΑΤΟΣ, 1972).

Το βάθος συνάντησης του CO₂ ήταν διαφορετικό σε κάθε γεώτρηση, καθώς επίσης ήταν διαφορετικός και ο λιθολογικός ορίζοντας εντός του οποίου αναβρέθηκε. Συναντήθηκε μέσα σε μάργες, άργιλο, άμμο, κροκαλοπαγή καθώς και μέσα σε ξυλίτη.

Αναφέρεται επίσης ότι επισημάνθηκαν φυσικές εκροές στα χωριά Μεσοχώρι, Άγιο Βαρθολομαίο, Παπαγιάννης, Ιτέα, Αρμενοχώρι και Ξυνό νερό.

Κατά τη χαρτογράφησή μας πιστοποιήσαμε τις οπές φυσικών εκροών τόσο στα ίδια χωριά που αναφέρει ο Μαράτος (1972) όσο και σε νέα όπως Φλάμπουρο, Αμμοχώρι, Μελίτη.

Χαρακτηριστική είναι μία φυσική εκροή CO₂ σε απόσταση 1,5 Km από το κέντρο της Φλώρινας και επί της οδού Φλώρινας - Αρμενοχωρίου πριν φτάσουμε στο παραπάνω χωριό κατά τη ΒΒΔ διεύθυνση. Το έδαφος γύρω από την οπή είναι τελείως άγονο σε μία ακτίνα 2-3m.

Παραθέτονται φωτογραφίες στην περιοχή έρευνας.



Εικόνα 17: Νεκρό πτηνό λόγω εκροής CO₂ στην περιοχή της Φλώρινας



Εικόνα 18: Ειδικό όργανο για την επιτόπου μέτρηση εκροής του CO₂ (τύπος URAGER POLYTRON IR)

Είναι υπεύθυνο για την μέτρηση της χρονικής αύξησης σε συγκέντρωση CO₂. Η διαδικασία έχει ως εξής: γίνονται μετρήσεις ανά 10 δευτερόλεπτα και για συνολική διάρκεια δύο λεπτών στην εκάστοτε θέση.



Εικόνα 19: Όργανα μέτρησης εκροής CO₂ σε θέση δειγματοληψίας



Εικόνα 20: Μέτρηση εκροής CO₂ στην περιοχή μελέτης από βάθος 60 εκατοστά εντός του εδάφους



Εικόνα 21: Περιοχή μελέτης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του CO₂

Κατά τη διάρκεια του θέρους, στο έδαφος αυτό λόγω της ξηρασίας που επικρατεί ακούγεται ένας ξερός γδούπος όταν αυτό κρουστεί με σφυρί. Κατά τη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών, όμως, συγκεντρώνονται γύρω από τις οπές λιμνάζοντα νερά και παρατηρείται εκροή φυσαλίδων.

Έτσι, λοιπόν ο Μαράτος (1972) μας δίνει την ακόλουθη χημική σύσταση για το CO₂:

$$\text{CO}_2 = 99,3 \%$$

$$\text{O}_2 + \text{N}_2 = 0,6 \%$$

$$\text{H}_2\text{S} = 0,1 \%$$

Οι προαναφερθείσες εμφανίσεις τοποθετούνταν πάνω σε μία λωρίδα παράλληλη της ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης, δηλαδή της διεύθυνσης αυτής κατά την οποία τα προ-πλειοκαινικά ρήγματα σχημάτισαν το βύθισμα της Φλώρινας.

Η συνολική έκταση της εμφάνισης αυτής είναι 250 Km², όπου το μήκος της λωρίδας είναι γύρω στα 25 Km και το πλάτος της γύρω στα 10 Km.

Για τη γέννηση του CO₂ ο Μαράτος (1972) δέχεται την ηφαιστειακή προέλευση από το ηφαίστειο της Αλμωπίας. Ειδικότερα, θεωρεί ότι κατά

την ατμιδική φάση της ηφαιστειακής δραστηριότητας της Αλμωπίας, εκχύθηκαν λάβες που φτάνουν μέχρι το σημερινό υψόμετρο των 2.000m.

Επειδή η ρηξιγενής λεκάνη της Φλώρινας βρίσκεται σε ένα υψόμετρο 700 m περίπου και καλύπτεται από ιζήματα πάχους 800 έως 1000m, το CO₂ βρίσκοντας διέξοδο από τα ρήγματα που φτάνουν το βάθος των 1000 m από τη σημερινή επιφάνεια, ανέρχεται στα επιφανειακά στρώματα των ιζημάτων, όπου και τα εντοπίζουμε.

Τη συγκεκριμένη άποψη αποδέχεται και η παρούσα μελέτη κατά το μεγαλύτερο ποσοστό προσθέτοντας όμως τη δράση των λιγνιτών ή ακόμα και τη δράση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Αναλυτικότερα, κάτωθι παρατίθενται κατά σειρά σπουδαιότητας οι εξής απόψεις :

α) Κατά το Άνω Πλειόκαινο γίνεται η ηφαιστειακή έκρηξη (MERCIER – SAVVAGE 1955). Η λάβα που εκχύθηκε με αυτές τις εκρήξεις μπορεί να έφθασε μέχρι και την περιοχή μας, δηλαδή τη λεκάνη της Φλώρινας. Κατά το Σολδάτο είναι τραχειτικής σύστασης που σκεπάζεται στη συνέχεια από τεταρτογενείς σχηματισμούς. Το CO₂ διεισδύει διαμέσου της ζώνης των παράλληλων ρηγμάτων ΒΑ- ΝΔ .

Αυτό προέρχεται αφ' ενός μεν από την τάση των τραχειτικών πετρωμάτων να πέφτουν σε λευκιτικά απελευθερώνοντας CO₂ αφετέρου δε από το ίδιο το ηφαίστειο σαν ηφαιστειακό αέριο. Η τελευταία περίπτωση θεωρείται πιθανότερη, διότι κατά την ανάλυση του αερίου CO₂ από το Μαράτο (1960) αποδείχθηκε ότι εκτός από αυτό το ίδιο κύριο στοιχείο που καταλαμβάνει 99,3 % υπάρχουν ακόμη και O₂ + N₂ = 0,6 % και H₂S = 0,1% . Η χημική ανάλυση δείχνει στοιχεία ή ενώσεις που παράγονται από τις ηφαιστειακές εκρήξεις π.χ. H₂S , N₂ κλπ.

β) Οι πηγές και οι γεωτρήσεις που παρουσιάζουν το CO₂ σε αναβράζουσα κατάσταση παρατηρούμε πως διευθετούνται κατά μήκος της ζώνης ρηγμάτων ΒΑ – ΝΔ καθιστώντας έτσι πολύ εύκολη την επικοινωνία της Αλμωπίας με τη λεκάνη της Φλώρινας, φυσικά σε βάθος μεγαλύτερο των 100m. Οι εμφανίσεις αυτές των νερών δεν παρουσιάζουν πολλά HCO₃ ιόντα, όπως αντίθετα παρουσιάζουν αυτές που είναι διευθετημένες κατά τη διεύθυνση Β – Ν ή ΒΒΑ.

γ) Όλα τα νερά που βρίσκονται στη ΒΑ – ΝΔ ζώνη είναι ανθρακούχα ή Mg – Ca – Na – Δισανθρακικά και οι εμφανίσεις τους συνδέονται με τριτογενείς και τεταρτογενείς ηφαιστειακές δραστηριοποιήσεις.

δ) Το νερό των ηφαιστειακών πετρωμάτων τείνει να γίνει ή γίνεται Ca – Mg – δισανθρακικό ή στην περίπτωση των όξινων ηφαιστειακών Na – δισανθρακικό με μεγάλη ποσότητα Si (LITTLETON, 1957) .

Για να μπορέσουμε να τεκμηριώσουμε τις ανωτέρω θέσεις σχετικά με την προέλευση του CO₂ από την Αλμωπία, υποθέσαμε ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα (παλαιοζωικά ή και παλαιότερα) εξαιτίας των τεκτονικών φάσεων που έδρασαν στην περιοχή είναι πολυτεκτονισμένα και το κύριο ρήγμα (ΒΑ–ΝΔ) που επηρεάζει τη μορφολογία της Αλμωπίας δεν αποκλείεται να έχει κόψει και τα βαθύτερα μέλη αυτής της μάζας (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983). Βέβαια, η άποψη αυτή προϋποθέτει πως η επικοινωνία μεταξύ των δύο λεκανών γίνεται σε πολύ μεγάλο βάθος.

Με βάση τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του CO₂ προέρχεται από το ηφαίστειο της Αλμωπίας χωρίς βέβαια να ξεχνάμε ότι σε αυτό προστίθεται και το CO₂ που προέρχεται από τις λιγνιτοφόρες εμφανίσεις κατά το στάδιο μετατροπής του.

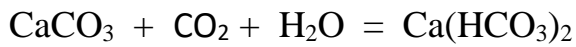
Στην άποψη μας αυτή συγκλίνουμε και από το γεγονός πως θα έπρεπε στα αέρια που βρίσκουμε να υπάρχει σε μεγάλο ποσοστό μεθάνιο (CH₄).

Από την υπαίθρια εργασία μας δεν αντιληφθήκαμε αλλά ούτε και πληροφορηθήκαμε από κατοίκους της περιοχής, ότι σε κάποια περιοχή υπάρχει αυτόματη εκροή υδρογονανθράκων με τη χαρακτηριστική μυρωδιά παρά μόνο στην περιοχή του χωριού Μεσοχώρι, που βρέθηκε ύστερα από βαθιές γεωτρήσεις.

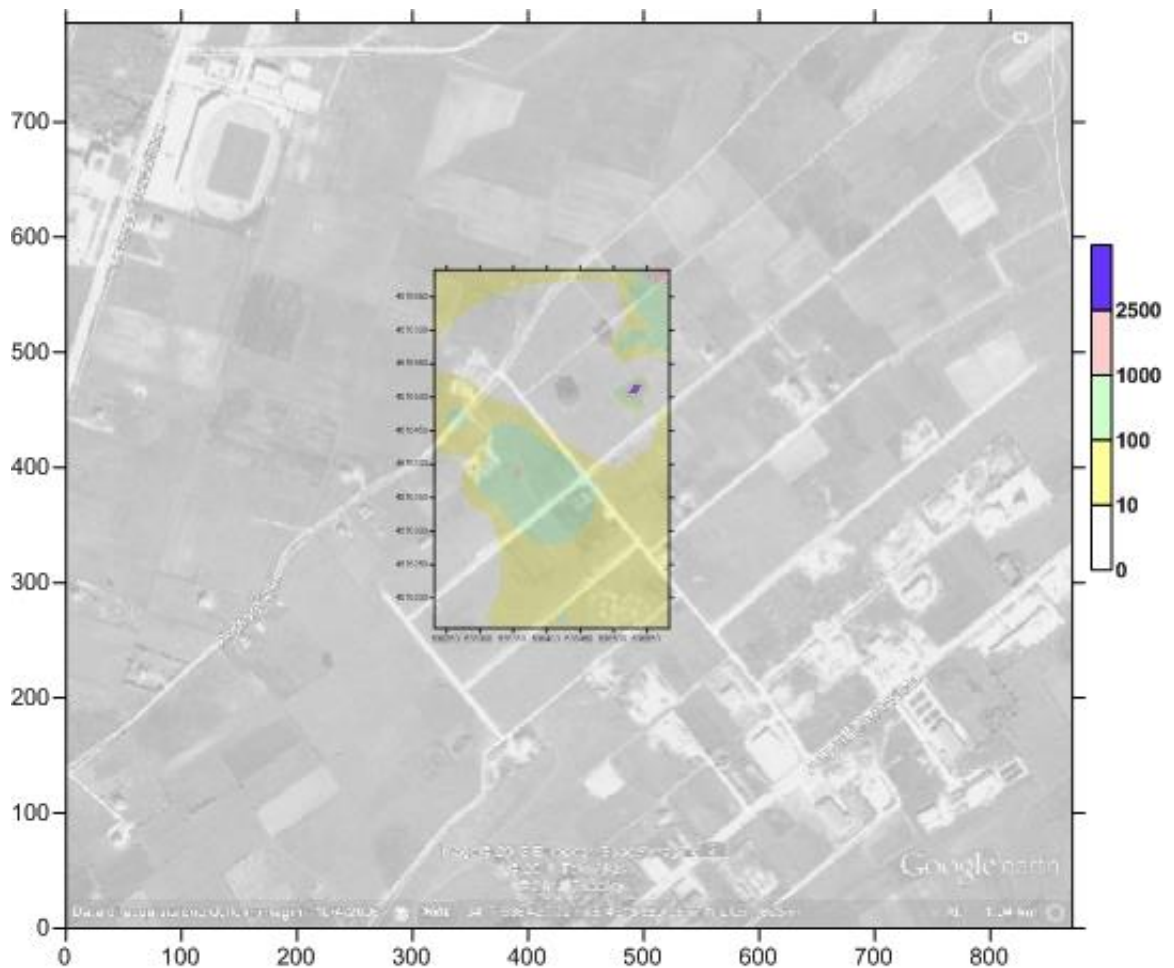
Φυσικά επειδή το CO₂ υπερτερεί απέναντι στα άλλα αέρια (μεθάνιο, προπάνιο, άζωτο κλπ.) μέσα στους λιγνίτες και επειδή όλη η περιοχή της λεκάνης της Φλώρινας κατέρχεται από κοιτάσματα λιγνιτών, για το λόγο αυτό η μεγάλη ποσότητα CO₂ που εκδηλώνεται στην περιοχή οφείλεται στους λιγνίτες.

Τέλος, όσον αφορά στην άποψη ότι το CO₂ προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα πιστεύουμε ότι αυτό συμβαίνει σε μερικές μικρότερες περιοχές της λεκάνης της Φλώρινας.

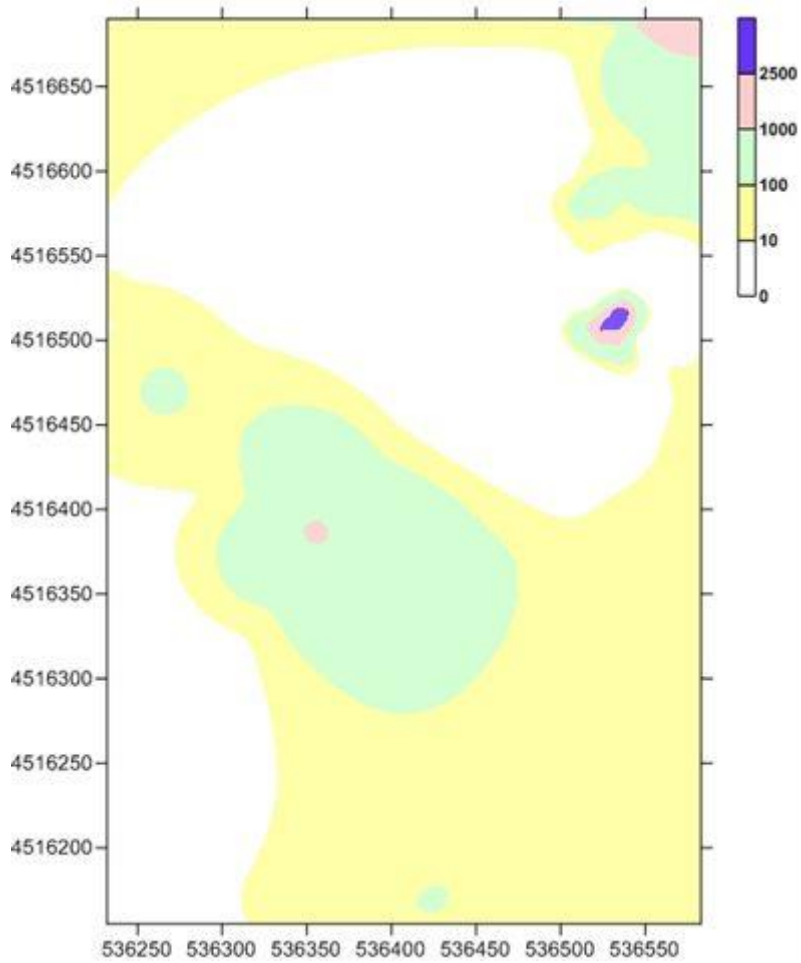
Στην περίπτωση αυτή, πιστεύουμε ότι το CO₂ είναι δυνατόν να προήλθε από το Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα του Βόρα με την επίδραση του βρόχινου νερού κατά την αντίδραση (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1983):



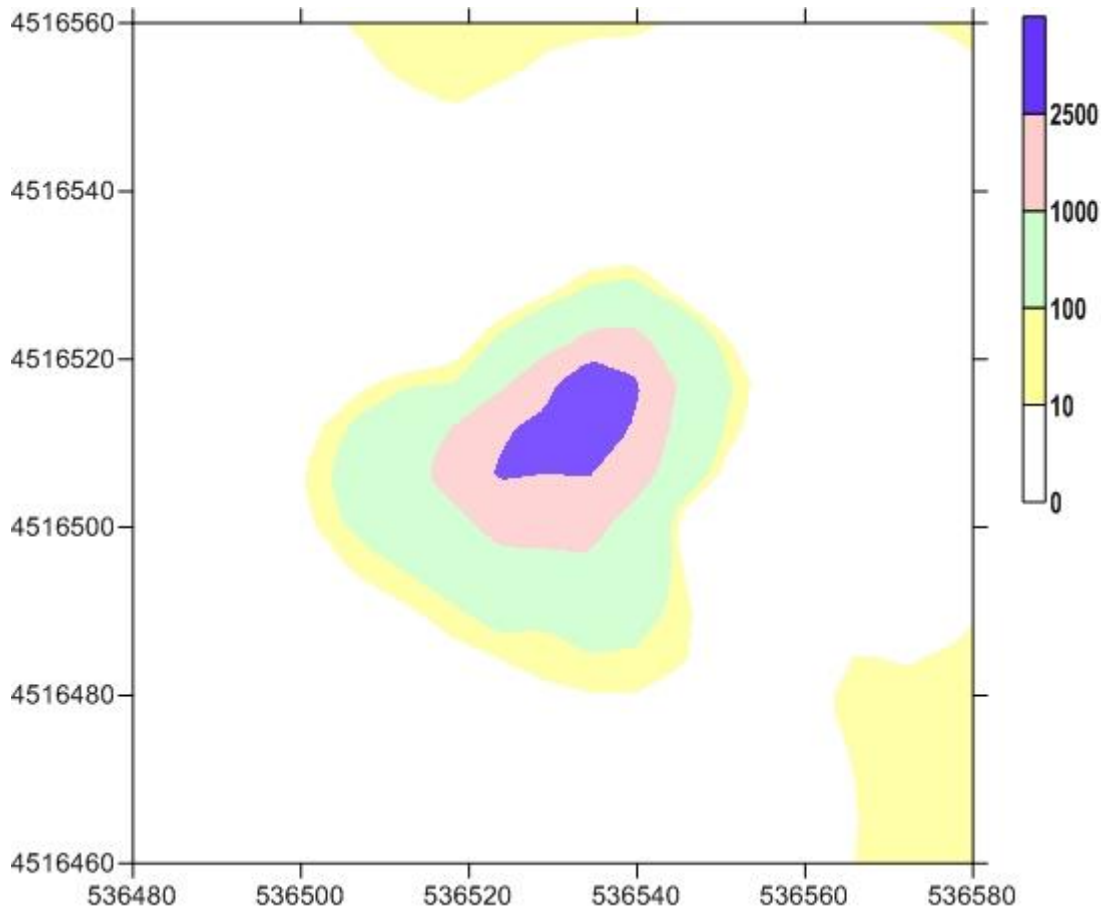
Μετά την αντίδραση αυτή, το διαλυμένο πλέον CO₂ μέσα στο νερό, κυλά στα βαθύτερα στρώματα μέσω ρωγμών και ρηγμάτων όπου λόγω της θερμοκρασίας (γεωθερμική βαθμίδα) ελαττώνεται η διαλυτική του ικανότητα και εμφανίζεται σαν αέριο.



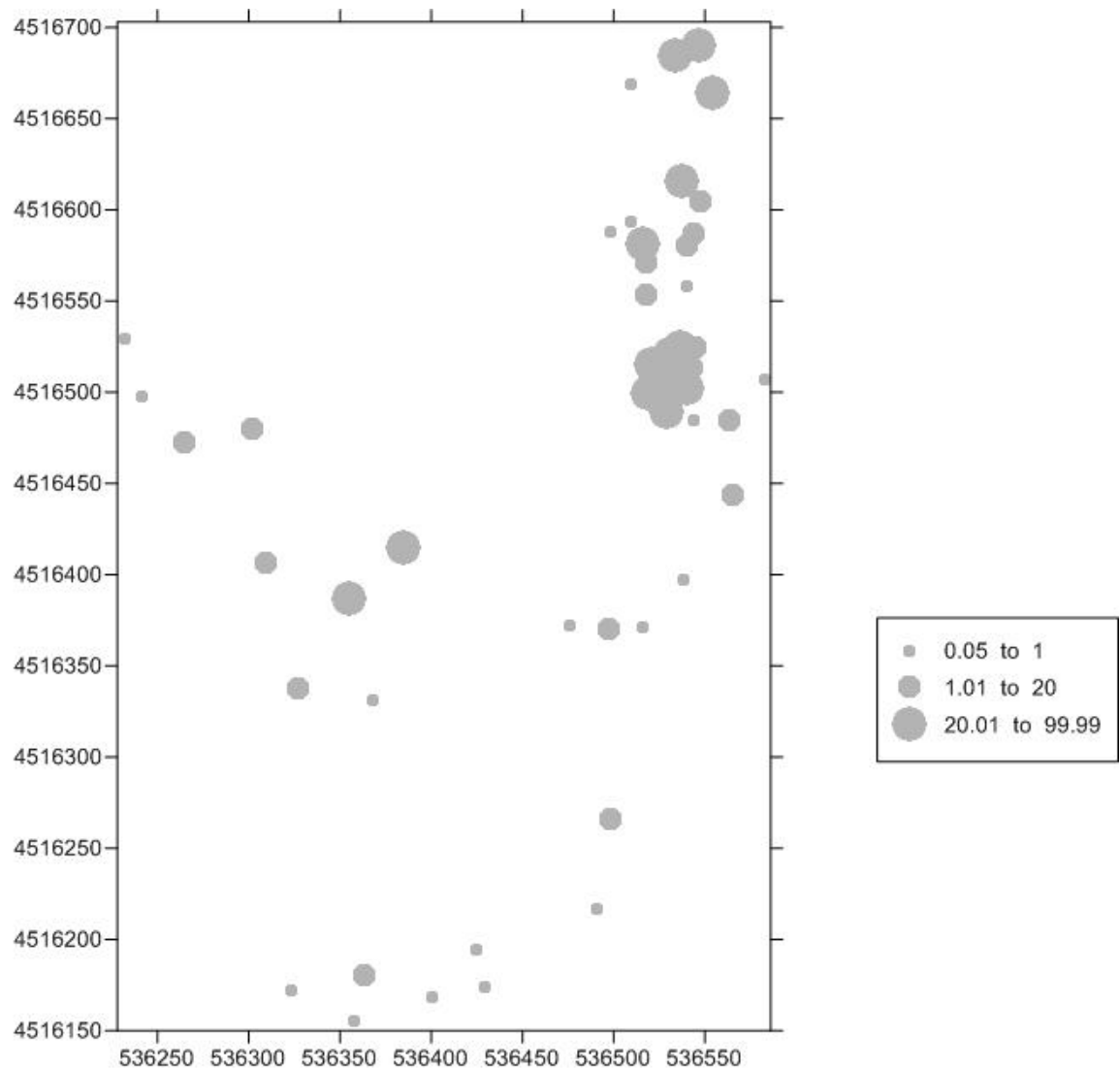
Εικόνα 22: Χάρτης περιοχής έρευνας (Δορυφορική λήψη). Παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις CO₂. Με έντονο χρώμα φαίνονται οι περιοχές με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις



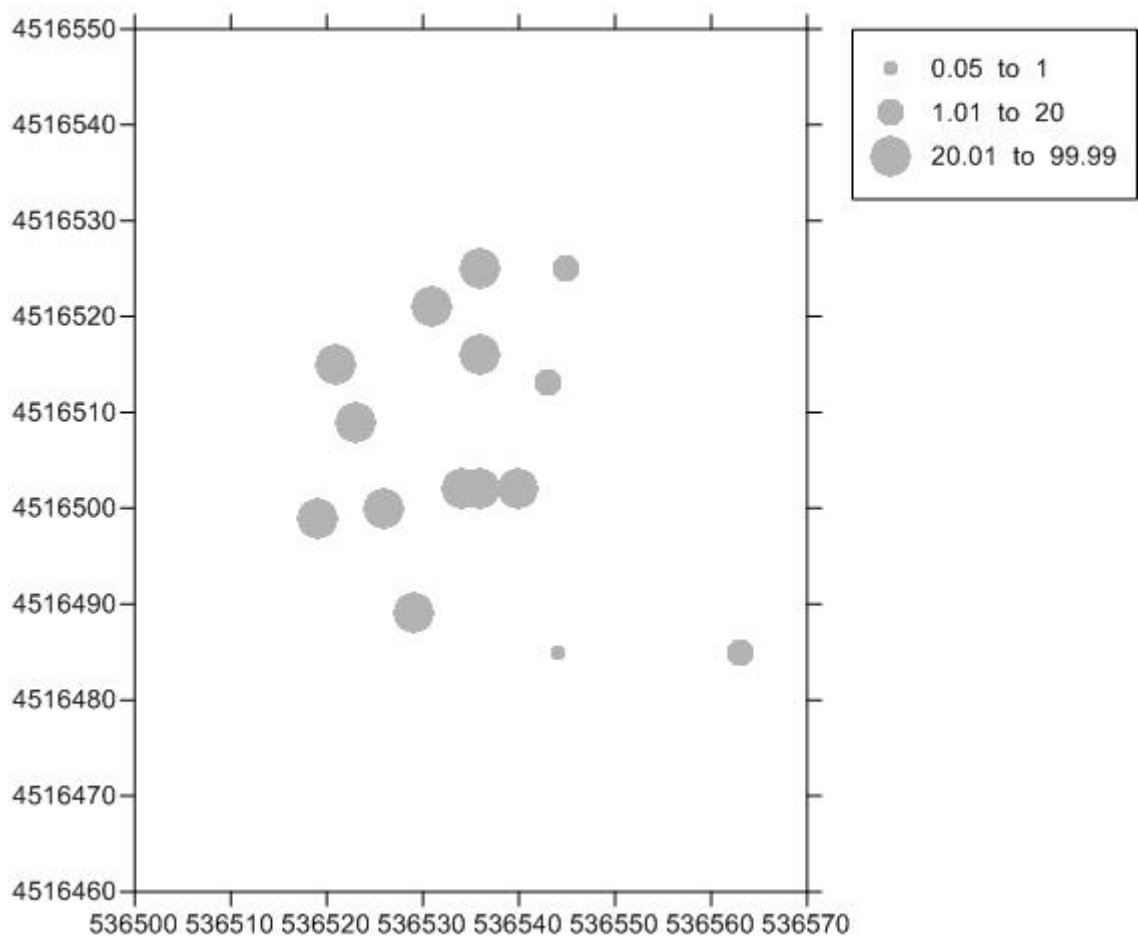
Εικόνα 23: Χάρτης κατανομής της εκροής του CO₂ (g/m²/μέρα) σε ολόκληρη την περιοχή



Εικόνα 24: Χάρτης κατανομής της εκροής του CO₂ (σε g/m²/μέρα): μεγεθυμένη εικόνα της περιοχής μεγαλύτερης εκροής. Το εκτιμώμενο συνολικό CO₂ που ανέρχεται στην περιοχή μεγαλύτερης εκροής είναι περίπου 2 t ανά μέρα.



Εικόνα 25: Χάρτης κατανομής της συγκέντρωσης CO₂ (σε % vol): ολόκληρη περιοχή



Εικόνα 26: Χάρτης κατανομής της συγκέντρωσης CO₂ (σε % vol): μεγεθυμένη εικόνα της περιοχής μεγαλύτερης εκροής.

3.8 Ο αντίκτυπος του CO₂ στην ποιότητα των υδάτων στην περιοχή της Φλώρινας

3.8.1 Αποτελέσματα αναλύσεων με βάση το CO₂

Όλα τα αέρια που μελετήθηκαν εμφανίζουν CO₂ σε ποσοστό τουλάχιστον 90%. Το υπόλοιπο 10% αποτελείται από O₂ (<100 ppm έως 6,7%), N₂ (<600 ppm έως 28,5%) και CH₄ (<22 ppm έως 1,3%) ενώ το He εμφανίζει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (0,3-66 ppm) και το H₂ 29-60 ppm.

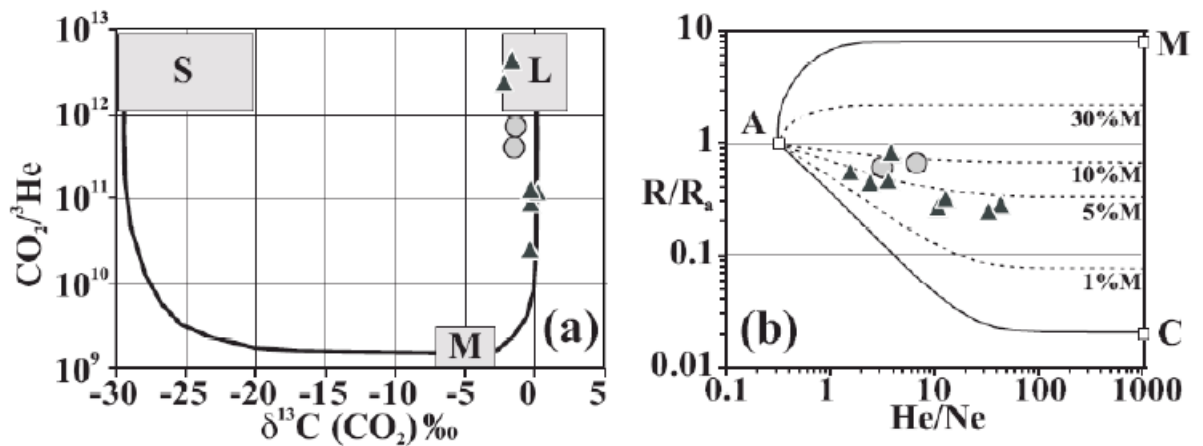
Οι συγκεντρώσεις του N₂ και CH₄ εκτείνονται σχεδόν σε τρεις τάξεις μεγέθους και οι σχετικές αναλογίες τους είναι σταθερές, σε αντίθεση με τις αναλογίες He/CO₂, N₂/CO₂ και CH₄/CO₂ που είναι εξαιρετικά μεταβλητές. Ένα τέτοιο μοντέλο δείχνει ότι οι διαδικασίες που εμπλουτίζουν ή καταστρέφουν CO₂ στα μείγματα αερίων, ρυθμίζουν κυρίως την συνολική σύνθεσή τους. He, N₂ και CH₄ έχουν παρόμοια διαλυτότητα στο νερό, η οποία είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του CO₂.

Λόγω του γεγονότος ότι κατά τη διάρκεια της πορείας τους προς την επιφάνεια, τα αέρια αυτά αλληλεπιδρούν με πολλούς υδροφόρους, οι διαφορές μεταξύ της διαλυτότητας του CO₂ και των άλλων αερίων είναι υπεύθυνες για την σύνθεση της μεταβλητότητας του δείγματος αερίων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Χημική και ισοτοπική σύσταση των αερίων δειγμάτων της Φλώρινας

sample	date	He ppm	H ₂ ppm	O ₂ ppm	N ₂ ppm	CH ₄ ppm	CO ₂ ppm	δ ¹³ C ‰	R/Ra	He/Ne
Air Liquide	3-03-2007	3.3	34	600	4000	524	989900	-1.6	0.61	2.7
Air Liquide	1-06-2008	1.7	60	130	3100	353	992400	-1.5	0.66	5.9
Air Liquide	28-04-2010	< 5	29	2500	5900	85	989900	-1.6	n.d.	n.d.
Itea	4-03-2007	31	< 5	1400	41100	576	949400	-0.3	0.28	41.2
Giatsovo	4-03-2007	22	< 5	24700	111800	4117	842800	0.3	0.27	9.8
Marina	4-03-2007	25	< 5	4600	35400	1657	949400	-0.3	0.24	31.1
Papagiannis	1-06-2008	< 5	< 5	67100	285000	106	636900	-1.7	n.d.	n.d.
Kampos	1-06-2008	0.4	< 5	130	600	22	993300	-1.7	0.46	3.1
Sarri	27-04-2010	0.6	< 5	4000	15800	44	970500	-2.3	0.55	1.3
Sarri	21-09-2010	0.3	< 5	143	729	38	997900	n.d.	0.82	3.4
Tropeouchos	28-04-2010	66	< 5	100	64800	12900	900000	-0.4	0.44	2.1
Tropeouchos	21-09-2010	65	< 5	100	59200	13400	921700	n.d.	0.32	11.7

Η ισοτοπική σύνθεση του CO₂ και C κυμαίνεται μεταξύ -2,3 έως 0,03%, ενώ η αντίστοιχη ισοτοπική σύνθεση του He κυμαίνεται από 0,24 έως 0,82 R/Ra (εικόνα 27). Τόσο η ισοτοπική σύνθεση του C, όσο και του He μας δείχνει ότι η επικρατούσα προέλευση των αερίων είναι από τον φλοιό με μία μικρή αλλά σημαντική συμβολή του μανδύα 10%. Αυτή η συμβολή του μανδύα αποδίδεται στην ηφαιστειακή δραστηριότητα του βουνού Βόρας κατά το Τεταρτογενές.



Εικόνα 27a: Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν θερμομεταλλικές πηγές ενώ αντίστοιχα τα τρίγωνα άλλα πηγάδια. Τα ακραία μέλη αποτελούνται από ιζήματα (S), MORB-μανδύα (M) και ασβεστολίθους (L).

Εικόνα 27b: A, M και C παριστάνουν τρία (3) πιθανά ακραία μέλη. A= Ατμοσφαιρικός αέρας, M= MORB-μανδύας και C= Κρούστα. Οι συνεχείς γραμμές δείχνουν την ανάμειξη μεταξύ A και των ακραίων μελών C και M, ενώ οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν την ανάμειξη μεταξύ A και των διαφόρων μειγμάτων των C και M.

3.8.2 Υπόγεια ύδατα

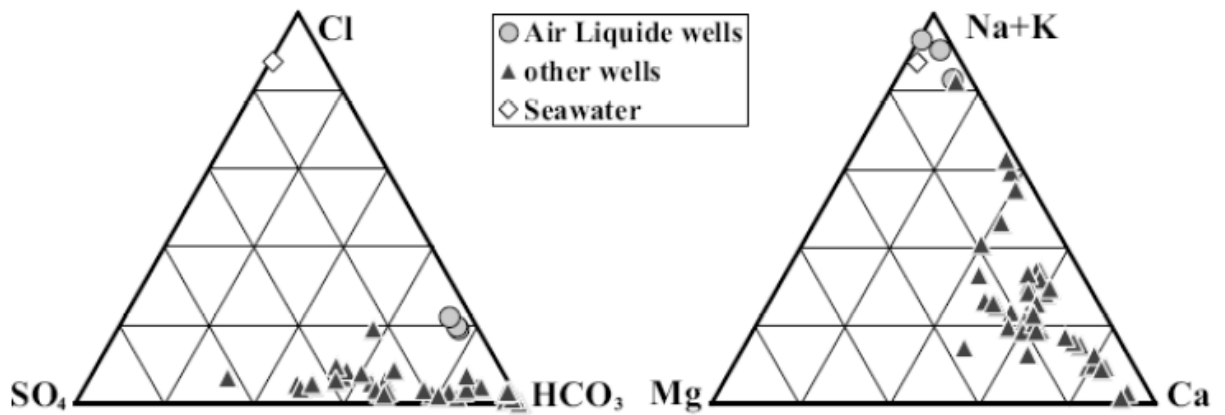
Τα αναλυθέντα δείγματα των υπογείων υδάτων μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο ομάδες:

A. Αυτά που συλλέγονται από θερμομεταλλικά πηγάδια (Air Liquid wells), τα οποία ανήκουν σε περίπου 300 μέτρα βάθος αρτεσιανών οριζόντων.

B. Αυτά που συλλέγονται από ρηγά (<130 μέτρα) πηγάδια.

Η πρώτη ομάδα εμφανίζει τιμές pH στο εύρος 6,10 - 6,48, μέτριο αλατούχο περιεχόμενο (TDS=6,6 - 10,6 gr/l) και έχει μία ομοιόμορφη σύνθεση Na-HCO₃.

Η άλλη ομάδα διαθέτει ένα ευρύ φάσμα τιμών pH (5,2-7,4), χαμηλότερο αλατούχο περιεχόμενο (ως επί το πλείστον <1 gr/l) και σχεδόν όλα τα δείγματα έχουν σύνθεση Ca-HCO₃.



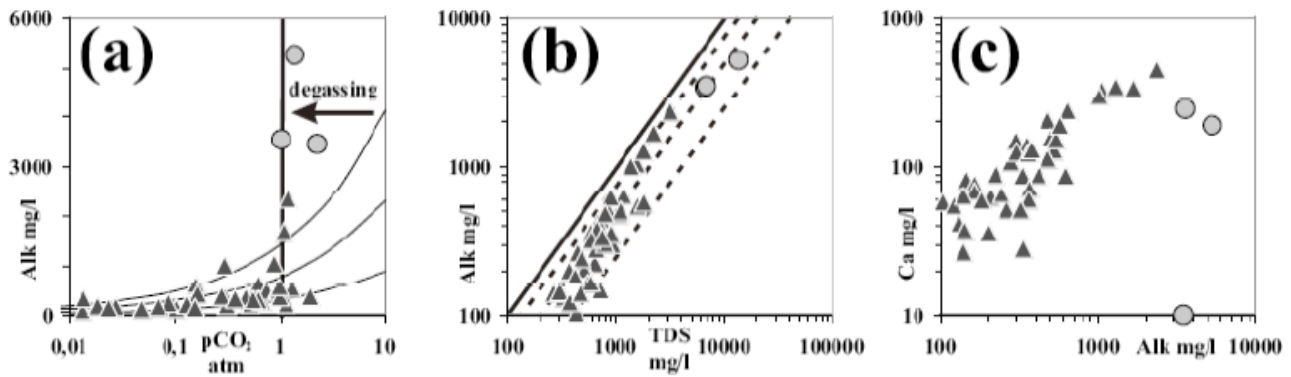
Εικόνα 28: Τριγωνικές αναπαραστάσεις των κύριων ανιόντων και κατιόντων των δειγμάτων των υπογειών υδάτων Φλώρινας (σε mg/l).

Η σημασία της γεωγονικής διάλυσης του CO_2 στους υδροφόρους ορίζοντες της Φλώρινας υπογραμμίζεται από το μερικές φορές πολύ υψηλό θεωρητικό εύρος πιέσεων (εικόνα 29a) που υπερβαίνει πάντα εκείνες της ατμόσφαιρας και του εδάφους.

Οι τιμές που υπολογίζονται για τα θερμομεταλλικά πηγάδια δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικές γιατί τα νερά συλλέγονται σε βάθος και μετά από διαχωρισμό νερού/αερίου. Τα δεδομένα από την εταιρία Air Liquid δείχνουν ότι η πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής είναι μεγαλύτερη από 20 atm έτσι ώστε η pCO_2 να είναι κοντά σε αυτή τη τιμή.

Η μεγάλη ποσότητα του CO_2 που διαλύεται στους υδροφόρους ορίζοντες της Φλώρινας υπογραμμίζεται περαιτέρω από το γεγονός ότι το HCO_3 αντιπροσωπεύει μερικές φορές έως και το 75% του TDS (εικόνα 29b), μειώνει το pH των υδάτων και ενισχύει την ανταγωνιστικότητα σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα. Η εικόνα 29c δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ Ca και HCO_3 .

Τα παραδείγματα από τα θερμομεταλλικά πηγάδια αποκλείουν σημαντικά από τους ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό χάνοντας CO_2 στη διαδρομή προς την επιφάνεια, γίνεται υπέρκορο από ιζήματα ανθρακικών ορυκτών.



Εικόνα 29α: Σχέση μεταξύ $p\text{CO}_2$ και Αλκαλικότητας. Οι καμπύλες αντιπροσωπεύουν τις τιμές ισορροπίας σε θερμοκρασίες μεταξύ $25 - 100^\circ \text{C}$.

Εικόνα 29β: Αλκαλικότητα – TDS (δυναμικό οικόπεδο). Η έντονη γραμμή αντιπροσωπεύει την αναλογία 1/1 ενώ οι διακεκομμένες τα 0,75, 0,5 και 0,25 TDS.

Εικόνα 29γ: Αλκαλικότητα – Ca (δυναμικό οικόπεδο)

3.8.3 Ποιότητα υπόγειων υδάτων

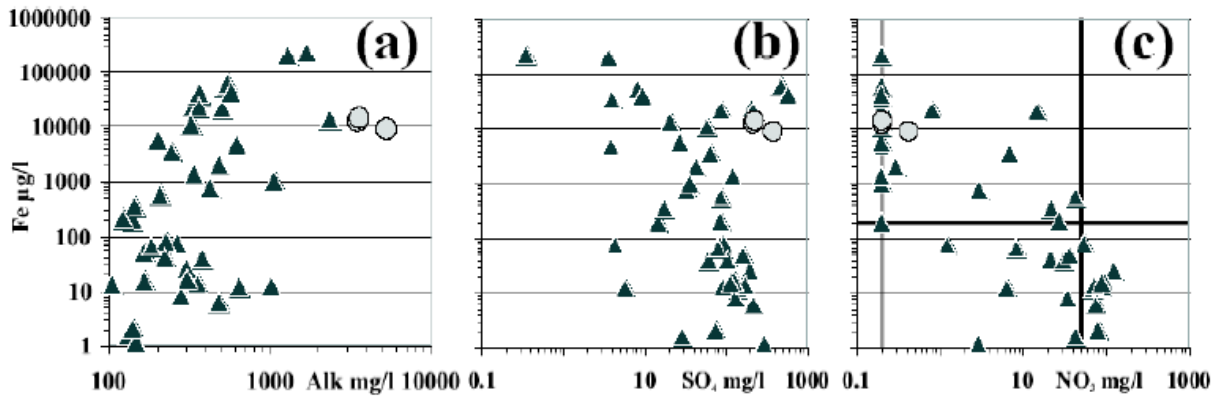
Οι διεργασίες εντός των υδροφόρων οριζόντων της Φλόρινας ενισχύονται από το άφθονο διαλυμένο CO_2 , το οποίο επηρεάζει επίσης τα αναλυόμενα ιχνοστοιχεία.

Μερικά από αυτά φθάνουν σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (πχ. Al έως $1,3 \text{ mg/l}$, B έως $4,5 \text{ mg/l}$, Fe έως 226 mg/l , Mn έως 4 mg/l). Για πολλά από αυτά τα στοιχεία οι πολύ χαμηλές τιμές pH επιτεύχθηκαν στο πλαίσιο της αισθητά αυξημένης διαλυτότητάς τους.

Οι εξαιρετικά υψηλές τιμές σιδήρου (Fe) πιθανώς προέρχονται από την διάλυση της άμορφης ή κρυσταλλικής υδροξειδιακής φάσης. Η θετική συσχέτιση μεταξύ Fe και HCO_3 υποστηρίζει τη διάλυση του CO_2 με γνώμονα την Fe-ούχα φάση (εικόνα 30a).

Αντίθετα, η οξείδωση και διάλυση των Fe-θειούχων, η οποία είναι μερικές φορές υπεύθυνη για την πολύ υψηλή συγκέντρωση Fe, θα μπορούσε να αποκλειστεί από την αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ Fe και SO_4 (εικόνα 30b).

Πιθανώς, μόνο τα δείγματα από θερμομεταλλικά και μερικά άλλα πηγάδια που προέρχονται από πολύ βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες μπορούν να αντλήσουν Fe και SO_4 . Μία σαφής αντίστροφη σχέση μπορεί να εξεταστεί από το Fe- NO_3 οικόπεδο (εικόνα 30c). Αυτό μπορεί να σχετίζεται τόσο από την διαφορετική καταγωγή τους, όσο και από την διαφορετική οξειδοαναγωγική τους συμπεριφορά.



Εικόνα 30a: Fe – HCO₃ (διάγραμμα θετικής συσχέτισης)

Εικόνα 30b: Fe – SO₄ (διάγραμμα αντίστροφης συσχέτισης)

Εικόνα 30c: Fe – NO₃ (διάγραμμα αντίστροφης συσχέτισης)

Η έντονη γραμμή υποδηλώνει το όριο ανίχνευσης για NO₃

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Χημική σύσταση των δειγμάτων υπογείων υδάτων Φλώρινας. AL = Air Liquid Πηγάδια (Θερμομεταλλικά πηγάδια), O = Άλλα πηγάδια, DWL = Πόσιμο νερό στα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, n.exc = Αριθμός δειγμάτων που υπερέβησαν το DWL.

		T °C	pH	TDS mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Alk mg/l	F mg/l	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l
AL	min	22.4	6.10	6570	1570	76	87	10	877	<0.2	211	3470	0.1	7.0	1.2	54600	49
	max	28.3	6.48	10600	2780	132	119	246	1620	0.4	374	5270	0.2	18	7.7	92400	156
O	min	8.8	5.20	267	5.1	0.6	8.0	27	3.8	<0.2	0.3	104	0.1	<0.1	0.1	9.0	4.5
	max	28.5	7.40	3200	288	59	159	452	77	123	583	2350	4.9	1260	9.3	4500	796
	median	14.2	6.04	687	24	4.1	20	89	13	6.5	80	332	0.4	6.6	0.7	62	72
	DWL		6.50		200					250	50	250	1.5	200	10	1000	300
	n. exc.		31		1					0	9	3	5	4	0	4	2
		Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Mo µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Rb µg/l	Se µg/l	Sr µg/l	U µg/l	V µg/l	Zn µg/l
AL	min	<0.05	0.9	<0.05	<0.1	9200	5390	56	<0.1	4.1	<0.01	565	<0.05	3220	0.51	0.9	7.3
	max	<0.05	1.7	0.38	1.1	14400	9120	522	0.9	6.6	<0.01	718	0.13	3700	0.77	2.1	100
O	min	<0.05	0.1	<0.05	<0.1	1.2	1.4	0.4	<0.1	0.2	<0.01	0.1	<0.05	179	<0.05	<0.1	0.7
	max	0.36	22	5.79	36	227000	716	3970	13	53	1.30	55	4.93	4650	7.41	4.3	915
	median	0.14	1.4	0.36	0.8	359	13	423	0.4	3.9	0.07	4.6	0.48	373	0.71	0.8	14
	DWL	5		50	2000	200		50		20	10		10		1400		3000
n. exc.	0		0	0	23		27		8	0		0		0			

Ο πίνακας υπογραμμίζει το γεγονός ότι πολλά δείγματα υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μία ή δύο παραμέτρους. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα είδη που αναλύθηκαν (Πίνακας 7), σημειώνουμε ότι μερικά δείγματα υπερβαίνουν τα όρια του πόσιμου νερού και για άλλες παραμέτρους (πχ. Na, SO₄, F, Al, B, Ba, Mn και Ni) και ότι μόνο τέσσερα (4) δείγματα είναι συμβατά με τα όρια αυτά. Αν εξαιρέσουμε το NO₃, οι περισσότερες από τις τιμές αποδίδονται στις υψηλές τιμές του CO₂.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις Ni, Zn και σε κάποιο βαθμό του Fe, εξηγούνται από την διάλυση των κόνων πτώσεως των υδροφόρων οριζόντων.

Τέλος, η ανάμειξη θερμομεταλλικών (τύπου Air Liquid) υπόγειων υδάτων είναι πιθανόν υπεύθυνη για τις υψηλές περιεκτικότητες που μερικές φορές εμφανίζουν τα Na και B.

3.8.4 Συμπεράσματα

Η περιοχή της Φλώρινας χαρακτηρίζεται από την εκροή σημαντικών ποσοτήτων CO₂ που πιθανόν σχετίζεται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα του Τεταρτογενούς. Το CO₂ προέρχεται κυρίως από πηγές του φλοιού αλλά υπάρχει επίσης και μία μικρή συμβολή του ανώτερου μανδύα (10%).

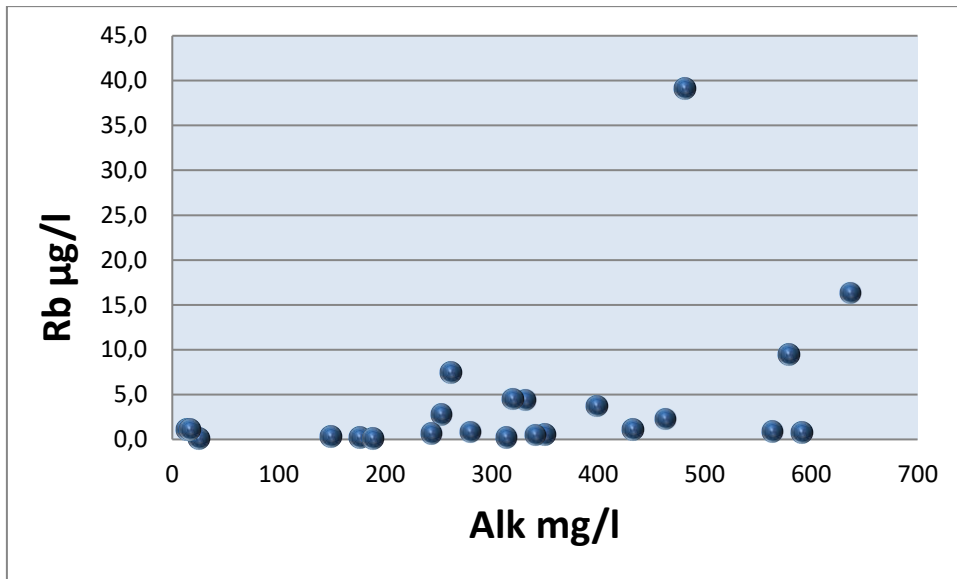
Αυτή η ισχυρά ανοδική εκροή του σχεδόν καθαρού CO₂ μπορεί να εντοπιστεί σε βιομηχανικούς εκμεταλλεύσιμους ταμειυτήρες φυσικού αερίου, σε υψηλής περιεκτικότητας υπόγειων υδάτων σε pCO₂ και σε επιφανειακές εκδηλώσεις αερίου.

Όμως οι αυξημένες εκπομπές CO₂ μπορεί να έχουν και επιβλαβή επίδραση στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Εξαιτίας της αυξημένης επιθετικότητας των εκπομπών CO₂, τα ύδατα υπερβαίνουν τα όρια της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για πόσιμο νερό σε πολλές παραμέτρους (πχ. pH, Na, SO₄, F, Al, Ba, Fe, Mn, Ni).

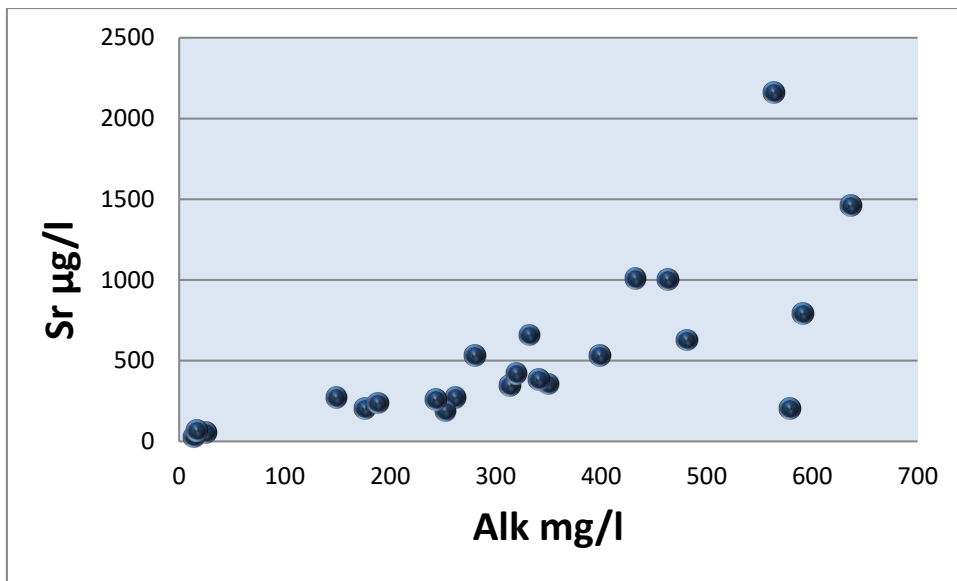
Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις δεδομένες επιπτώσεις γεωργικών δραστηριοτήτων οι οποίες είναι αναγνωρίσιμες από την αυξημένη παρουσία NO₃, το περιεχόμενο μόνο μερικών δειγμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση.

Στις μελλοντικές εξελίξεις των προγραμμάτων CCS στην ιζηματογενή λεκάνη της Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Σερβίων πρέπει να ληφθεί προσεκτικά υπόψη η πιθανή επιδείνωση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων λόγω διαρροών του CO₂ στις δεξαμενές αποθήκευσης.

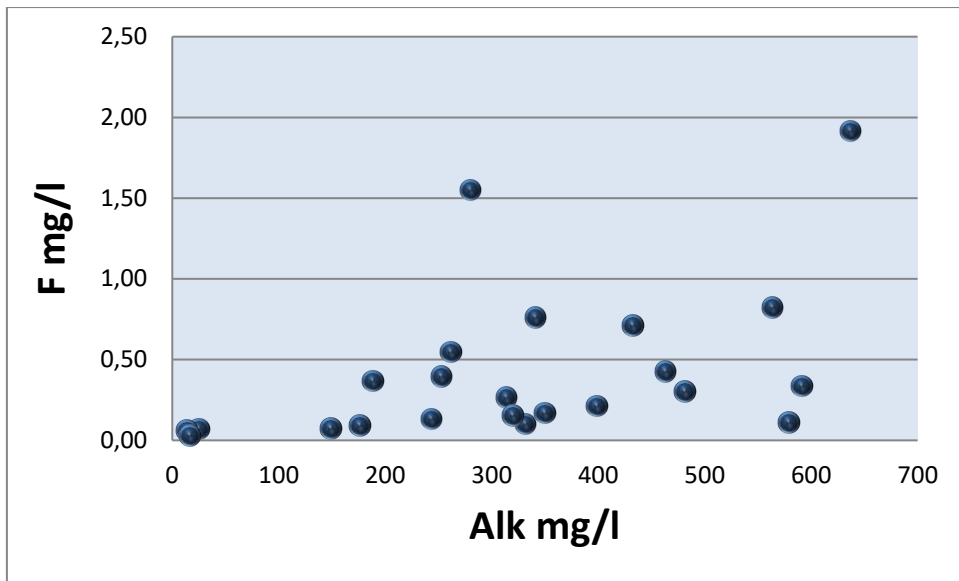
Στη συνέχεια παραθέτουμε διαγράμματα αναλογιών των χημικών στοιχείων προερχόμενα από τις αναλύσεις των δειγμάτων νερού των θερμομεταλλικών πηγών που μελετήθηκαν, στις εξής περιοχές: Γιάτσοβο, Τροπεούχος, Δροσερό, Ξυνό Νερό, Πύργος, Στάδιο Αμμοχωρίου, Μαρίνα, Ιτέα, Χάμσας, Ξυνό Αχλάδι, Μεσοχώρι, Ανάληψη, Προφήτης Ηλίας, Στρανάτα, Βίγλα.



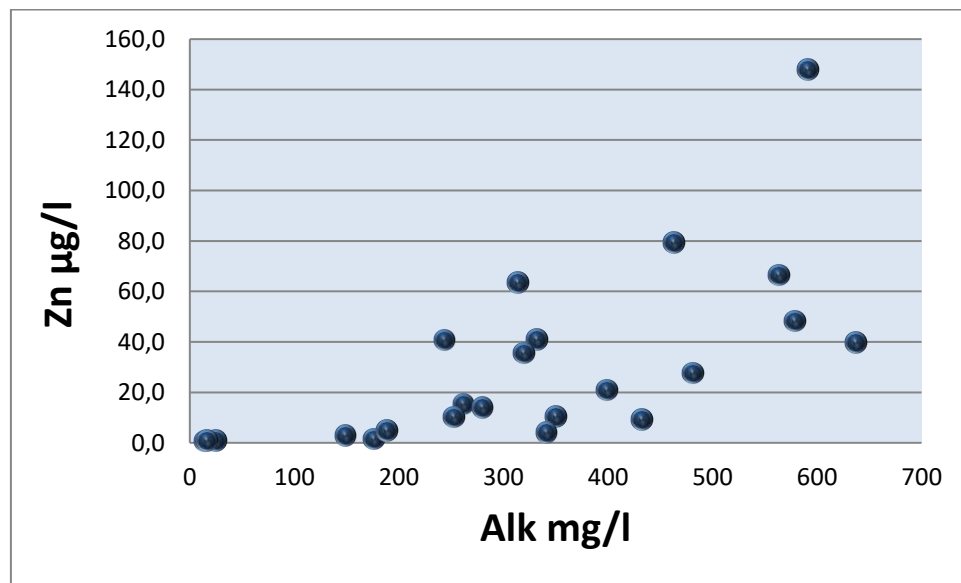
Εικόνα 31: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Rb (µg/l)



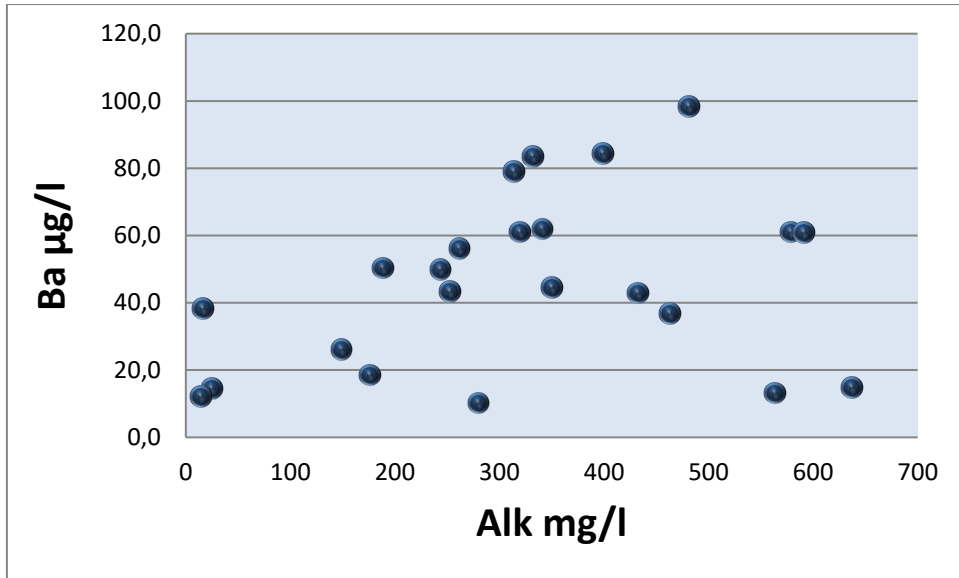
Εικόνα 32: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Sr (µg/l)



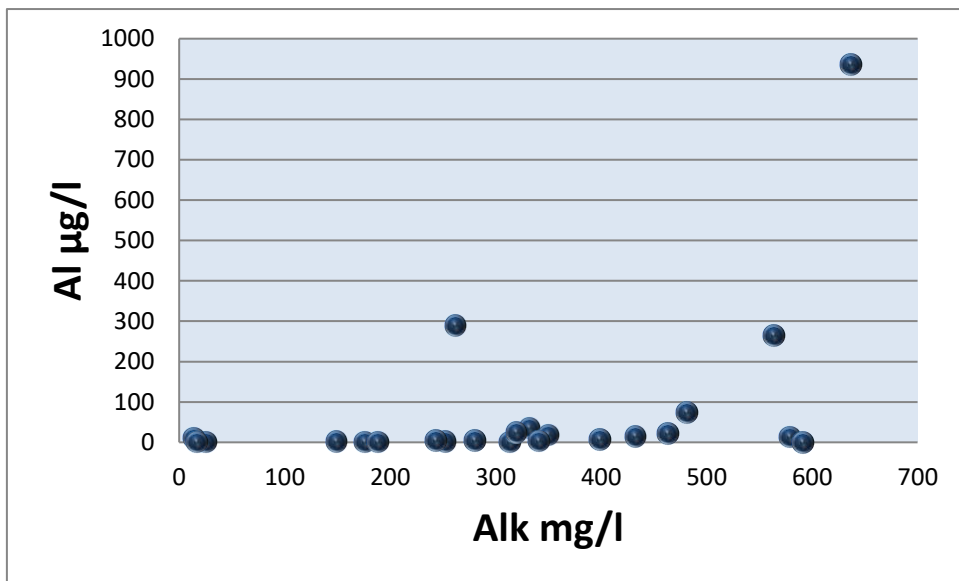
Εικόνα 33: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και F (mg/l)



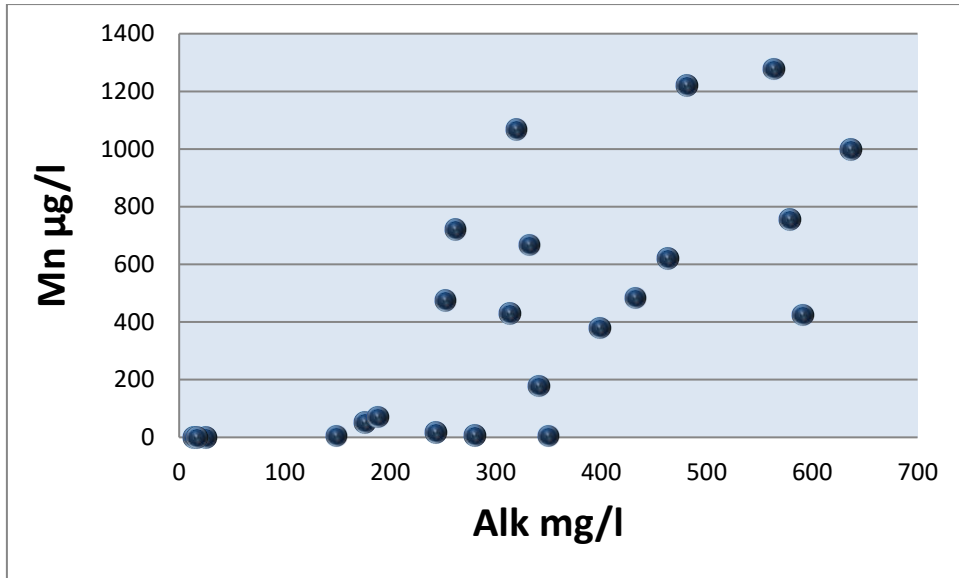
Εικόνα 34: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Zn (µg/l)



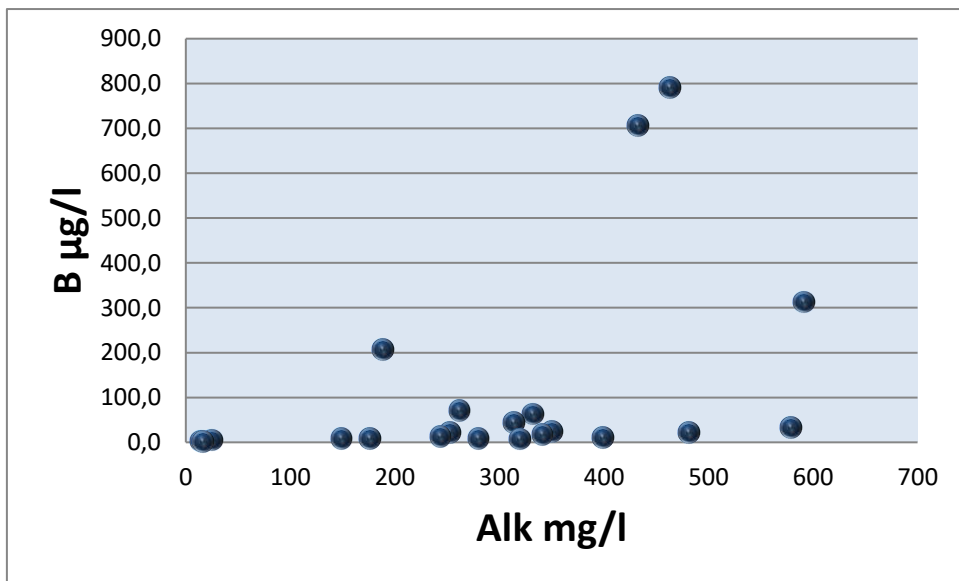
Εικόνα 35: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Ba (µg/l)



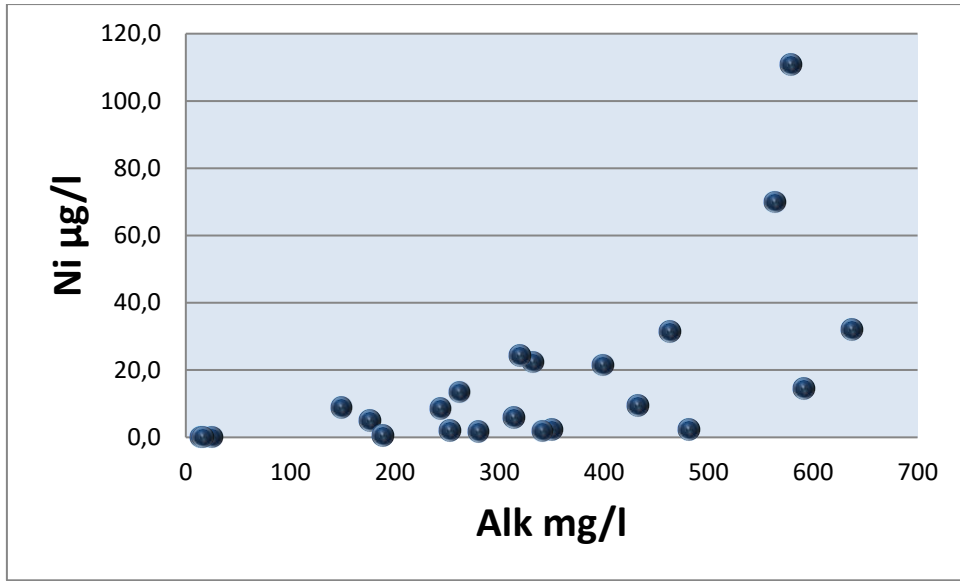
Εικόνα 36: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Al (µg/l)



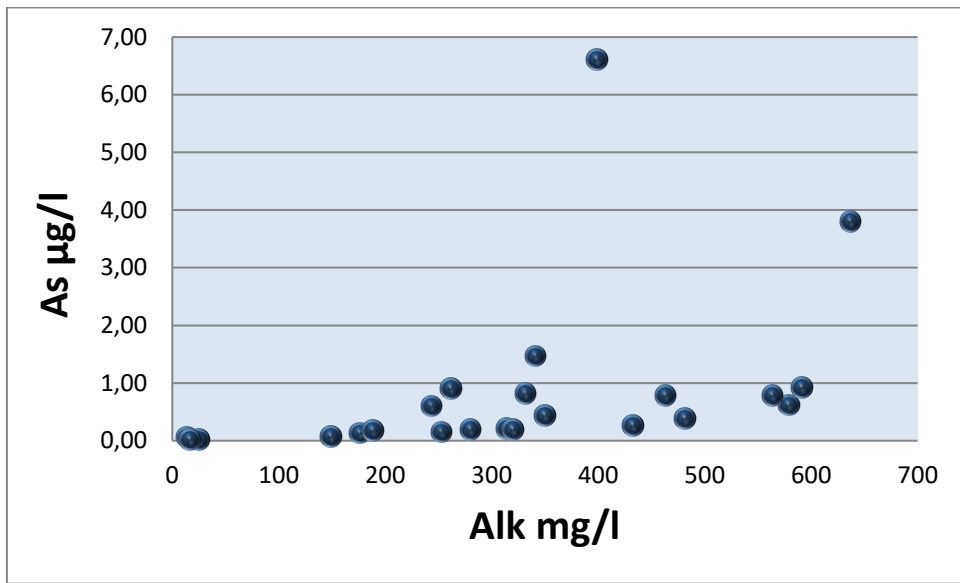
Εικόνα 37: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Mn (µg/l)



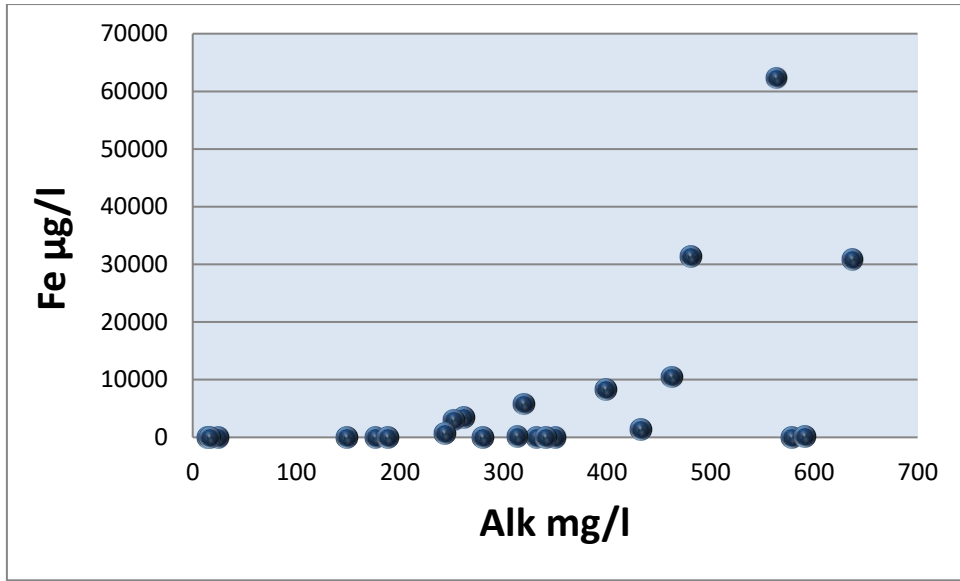
Εικόνα 38: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και B (µg/l)



Εικόνα 39: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Ni (µg/l)



Εικόνα 40: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και As (µg/l)



Εικόνα 41: Αναλογία συγκέντρωσης Alk (mg/l) και Fe (µg/l)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λεκάνη της Φλώρινας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Σε αυτή την περιοχή επικρατούν κυρίως τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία αποτελούν και το υπόβαθρο της λεκάνης. Η ζώνη αυτή έχει υποστεί στις προαλπικές, απλικές και μεταλπικές πτυχώσεις, οι οποίες είχαν σαν αποτέλεσμα τον μετασχηματισμό του υποβάθρου.

Κατά το Τριτογενές ή και ακόμα κατά το Τεταρτογενές, προκαλούνται εφελκιστικές τάσεις οι οποίες διαρρηγνύουν το Βόρειο Ελλαδικό χώρο με αποτέλεσμα να σχηματίζονται σε αυτόν διάφορες λεκάνες που καλύπτονται με νεογενή ιζήματα. Αυτή η εικόνα σχηματισμού αντιστοιχεί στην λεκάνη της Φλώρινας.

Επαναδραστηριοποίηση των ηφαιστειών της Αλμωπίας διοχετεύει το παραγόμενο αέριο μέσω των ΒΑ – ΝΔ ρηγμάτων που συνδέουν τις δύο περιοχές.

Οι συχνές βροχοπτώσεις διαμορφώνουν την μορφολογία της περιοχής της Φλώρινας δίνοντάς της έντονο ανάγλυφο. Ιδιαίτερα αποσαθρώνονται και διαλύονται οι ασβεστόλιθοι.

Με την εργασία αυτή προσπαθήσαμε να ερμηνεύσουμε την προέλευση των μεταλλικών νερών της περιοχής και να συνδέσουμε την ύπαρξή τους με την επαναδραστηριοποίηση της ηφαιστειότητας της Αλμωπίας.

Βρήκαμε την προέλευση του CO₂ στην πεδιάδα υδροχλωρικά και νεοτεκτονικά.

Συνδέσαμε την εμφάνιση των μεταλλικών νερών με ζώνη ρηγμάτων ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης.

Δώσαμε θέσεις και προτείναμε τρόπους εκμετάλλευσης των μεταλλικών νερών και επίσης αναφερθήκαμε στην ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου.

Κατατάξαμε το κλίμα της Φλώρινας (λεκάνη Φλώρινας) σε ποικίλες κατηγορίες ανάλογα με τα διάφορα χαρακτηριστικά του.

Τέλος, αξιολογήσαμε τα νερά ανάλογα με την ποιότητά τους και ειδικότερα με τα στοιχεία που επικρατούν.

4.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εργασία αυτή, η οποία πραγματοποιήθηκε στην νεογενή λεκάνη της Φλώρινας, καταλήξαμε σε ορισμένα συμπεράσματα, με συνέπεια να κατανοούμε και να διαπιστώνουμε προβλήματα τα οποία προέρχονται τόσο από την ανθρώπινη δραστηριότητα όσο και από την νεοτεκτονική της περιοχής:

- Πιστεύουμε ότι το CO₂ που εμφανίζεται στην λεκάνη, προέρχεται από το ηφαίστειο της Αλμωπίας, μέσα από ένα ΒΑ – ΝΔ Πλειστοκαινοκό ρήγμα το οποίο αρχίζει από την Αλμωπία και φτάνει μέχρι την λεκάνη της Φλώρινας, καθώς και από πλήθος άλλων μικρότερων ρηγμάτων με την ίδια διεύθυνση.
- Τα μεταλλικά νερά που εξετάσαμε διακρίνονται σε Ca–Mg– δισανθρακικά ή Na–Ca–Mg– δισανθρακικά και είναι διευθετημένα σε μία ζώνη ρηγμάτων ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης, που συμπίπτει με το κύριο Πλειστοκαινικό ρήγμα ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης.
- Τα δολομιτικά Mg – ούχα, Ca – ούχα νερά που είναι διευθετημένα Β–Ν ή ΒΒΑ θεωρούμε ότι προέρχονται από το ανθρακικό μεσοζωικό κάλλυμα, που τουλάχιστον δε βρίσκουμε στην Πελαγονική παρά μόνο υπολείμματα.
- Το νερό των ψυχρών μεταλλικών πηγών (ουδέτερα έως ελαφρά αλκαλικά), το οποίο βρίσκεται στα Δυτικά περιθώρια της λεκάνης, προέρχεται από το όρος Βαρνούντα και έχει μετεωρική προέλευση.
- Στα βαθύτερα στρώματα της λεκάνης υπάρχουν ρήγματα ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης που παρουσιάζουν άλμα 10m.
- Εξετάζοντας το SAR, διαπιστώσαμε ότι τα νερά είναι εξαιρετικής ποιότητας για αρδευτικούς, τουλάχιστον, σκοπούς.
- Διαπιστώσαμε μάλιστα πως ορισμένες από τις υπάρχουσες πηγές είναι ιδανικές για εμφιαλώσεις αεριούχων αναψυκτικών.
- Ορισμένα από τα νερά της περιοχής έχουν NO₂ άλατα που είναι ακατάλληλα για πόση. Έχουν μολυνθεί από σήψη οργανικών ουσιών ή από πιθανή υπερχρήση λιπασμάτων.

- Τέλος, διαπιστώσαμε την ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας έξω από το χωριό Καλλινίκη, με την εμφάνιση μιας γεώτρησης, η οποία παρουσιάζει νερό με θερμοκρασία 19°C.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΑΪΛΑΣ, Μ., ΓΑΛΑΝΗΣ, Δ., ΚΑΛΟΓΙΑΝΝΗΣ, Δ.: Γεωθερμία (έρευνα – χρήσεις) – η συμβολή της νεοτεκτονικής στην γεωθερμική μελέτη της λεκάνης της Αλμωπίας – Διπλωματική εργασία, Θεσ/νίκη 1984.

ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ, Π.Π.: Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς, Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Θεσ/νίκης, Θεσ/νίκη 1983.

ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ, Π.Π.: Η τεχνική των υδρογεωτρήσεων, Θεσ/νίκη 1980.

ΒΕΤΟΥΛΗΣ, Δ.: Η Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου – Βεγόρας, ΙΓΕΥ, Γεωλ. Αναγ. Νο14, Αθήνα 1951.

ΒΟΡΕΑΔΗΣ, Γ.: Κοιτασματολογία, Ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Τόμος ΙΙ, Αθήνα 1960.

ΓΑΡΔΙΚΑΣ, ΧΡ.: Λιγνιτοφόρα κοιτάσματα Λυγκιστίδος (Βεύης), ΙΓΕΥ, Γεωλ. Αναγ. Νο2, Αθήνα 1951.

ΓΚΙΩΝΗ-ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, Γ.: Απογραφή θερμομεταλλικών πηγών Ελλάδας, Αιγαίο Πέλαγος Ι, ΙΓΜΕ, Αθήνα 1983.

DAVIS, N.S. – DEWIEST, D.M.R.: Hydrogeology John wiley and sons inc., New York, London-Sydney 1966.

ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ.: Εφαρμοσμένη Γεωλογία, Τόμος Ι Υδρογεωλογία, Παν/μιο Θεσ/νίκης, Θεσ/νίκη 1983.

ΔΟΡΙΚΟΣ, Σ.: Θερμομεταλλικές πηγές της χώρας, Υπουργείο Ενέργειας και φυσικών πόρων, Διεύθυνση Υδατικού δυναμικού και φυσικών πόρων, Αθήνα 1984.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ.: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ, 2^η έκδοση, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος 2001

ΚΑΡΡΑΣ, Γ.: Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδας κατά Thornthwaite, Διατριβή επί Διδακτορία, Αθήνα 1973, 200 σελίδες.

ΚΙΛΛΙΑΣ, Α.: Γεωλογική και τεκτονική μελέτη της περιοχής του Ανατολικού Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία), Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Θεσ/νίκης, Θεσ/νίκη 1980, 271 σελίδες.

LEGRAND, Chemical character of water in the igneous and metamorphic rocks of North Carolina, *Ecom. Geol.* V.53(1958), p.p. 178-189.

ΛΙΒΑΔΑΣ, Γ.: Το κλίμα της Ελλάδας, Βιβλίο 5, Θεσ/νίκη 1976.

LINSLEY, R.- KOHLER, M. – PAVLHUS, J.: *Applied Hydrology*, Mr. Graw Hill Book company, Inc. New York (1949), 676p.

LITTLETON, R.T. – GROSTHWAITE, E.G.: *Ground water geology of the Bruntan – Grand View area, Owyhel Country Idaho, V.S.Geol. Survey Water Supply*, 1957, Paper 1460 – D. pp. 147-198.

ΜΑΡΑΤΟΣ, Γ.: *Γεωλογία Ελλάδας*, Γεωτ. Γραφείο ΓΕΜΕΛΕΡ, Αθήνα 1972.

ΜΑΡΑΤΟΣ, Γ.: *Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου – Βεύης – Φλωρίνης*, ΙΓΕΥ, *Γεωλ. Αναγ.* No 29, Αθήνα 1960.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η.Δ. – ΣΙΔΕΡΗΣ, Ι.ΧΡ.: *Γεωγραφία Γ' Γυμνασίου*, Εκδόσεως 1983, Ο.Ε.Β.Δ.

ΜΑΣΤΟΡΗΣ, Κ.: *Υδρογεωλογική έρευνα εις την ασβεστολιθική περιοχή Νοτίου Γκιώνας*, ΙΓΕΥ, Τόμος XII, No 3, Αθήνα 1963, σελ. 257-395.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Μ.Δ.: *Η γεωλογική δομή της Β.Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών ελληνίδων*, *Πραγματεία για υφηγεσία*, Θεσ/νίκη 1983.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Μ.Δ.: *Μαθήματα γεωλογίας της Ελλάδας*, Θεσ/νίκη 1983.

ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗ, Σ.Χ.: *Συμβολή εις την μελέτη του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης*, *Διατριβή επί Διδακτορία*, Θεσ/νίκη 1977, σελ.121.

ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ, Λ.: *Σημειώσεις κοιτασματολογίας*, Θεσ/νίκη.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ, Μ.Γ.: *Κοιτασματολογία I*, Αθήνα 1976.

ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ.Β. : *Εκτενής τεκτονική της Βορειοδυτικής Μακεδονίας* 1987

ΣΑΠΟΥΝΤΖΗΣ, Σ.Η.: *Πετρογένεση πυριγενών πετρωμάτων*, Θεσ/νίκη 1980.

ΣΑΧΣΑΜΑΝΟΓΛΟΥ, Χ.: Ορεινός όγκος του Ολύμπου ως πηγή θερμάνσεως της κατωτέρας τροπόσφαιρας, Διατριβή επί διδακτορία, Θεσ/νίκη 1977, σελ.149.

SCHNEIDER, H.E. – VENIZELOS, E.: Jungtertiäre pilantenfund aus dem Becken von vegora in west Nazedonieu (Griecheland) Erste Mitteilug, Ann. Mus. Goulandris L, 1973, pp. 245-249.

ΣΟΛΔΑΤΟΣ, Κ.: Σημειώσεις πετρογραφίας, Θεσ/νίκη.

ΣΟΛΔΑΤΟΣ, Κ.: Οι ηφαιστίτες της Αλμωπίας, Διατριβή επί Διδακτορία, Θεσ/νίκη 1955.

ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ, Λ.: Φυσική Γεωγραφία, Θεσ/νίκη 1978.

TODD,D.: Ground water hydrology, John Wiley and Sons, Inc.USA 1967.

FLOCAS, A.A. – GILES, B.D. – ANGOURIDAKIS, E.V.: On the estimation of annual values of air conditions over Greece 1983