

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΟΥΡΥΧΕΙΟΥ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΚΙΟΥΛΕΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, ΑΕΜ:4118

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

Σε όσους με νοιάζουνται

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ	6
1.1 Γεωγραφικά και μορφολογικά στοιχεία λεκάνης Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτομεμαΐδας – Κοζάνης	7
1.2 Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας	11
1.3 Λίμνες περιοχής Αμυνταίου	13
1.4 Περιοχή Αμυνταίου	15
2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	17
2.1 Γεωλογικό υπόβαθρο	18
2.2 Γεωτεκτονική τοποθέτηση περιοχής	18
2.3 Η τεκτονική τάφρος της Δυτικής Μακεδονίας	20
2.4 Τεταρτογενές – Λεκάνη Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη	23
3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	26
3.1 Υδροφόρα συστήματα	27
3.2 Φυσικοχημικές παράμετροι – Ανάλυση μετρήσεων	29
3.2.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	30
3.2.1.1 Σχέση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας – T.D.S.	32
3.2.1.2 Υπολογισμός T.D.S.	33
3.2.2 Ενεργός οξύτητα (pH)	33
3.2.3 Θερμοκρασία νερού	36
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, μου ανατέθηκε η μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων νερών του λιγνιτορυχείου Αμυνταίου Περιφέρειας-Φλωρίνης.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη**, επίκουρο καθηγητή του τομέα Γεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που μου ανέθεσε τη διπλωματική μου εργασία και με βοήθησε στην επιτυχή ολοκλήρωση της, καθώς και τον **κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο** αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την πολύτιμη βοήθεια που πρόσφερε για τη συγκέντρωση των δεδομένων για τη σύνταξη της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Τομέα Ηλεκτρονικής του τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και ιδιαίτερα τον **Κοσμάδακη Ιωάννη** για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία του για την συγκέντρωση και επεξεργασία των δεδομένων για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών του λιγνιτορυχείου Αμυνταίου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη και η επεξεργασία των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων νερών της περιοχής του Αμυνταίου καθώς και η μελέτη και αναφορά στα γεωγραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής. Επίσης γίνεται αναφορά στο Υδρογραφικό Διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας και στα χαρακτηριστικά του, καθώς και αναλυτική περιγραφή των λιμνών της περιοχής του Αμυνταίου.

Σε ότι αφορά τα υδρολογικά δεδομένα, έχουν συγκεντρωθεί μετρήσεις από σταθμούς παρακολούθησης υπογείων νερών, οι οποίοι βρίσκονται στο λιγνιτορυχείο Αμυνταίου. Οι συγκεκριμένοι σταθμοί είναι στην ουσία αντλούμενες γεωτρήσεις και είναι οι **Υ.Α.-110**, με συντεταγμένες $40^{\circ}38.597\ N\ 21^{\circ}38.531\ E$ και **Υ.Α.-300**, με συντεταγμένες $40^{\circ}38.573\ N\ 21^{\circ}37.626\ E$. Οι μετρήσεις αυτές είναι μετρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενεργού οξύτητας (pH), θερμοκρασίας νερού και αέρα. Πιο αναλυτικά περιγράφονται στο 3^ο κεφάλαιο.

Οι μετρήσεις έχουν συλλεχθεί και έχουν επεξεργαστεί σε ηλεκτρονική μορφή με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Office Excel. Επίσης έχει γίνει γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τη χρησιμοποίηση του ίδιου προγράμματος.

1.ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ-ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ-ΚΟΖΑΝΗΣ

Το τμήμα της επιμήκους λεκάνης ξεκινά από το Μοναστήρι (Bitola, F.Y.R.O.M.) και διαμέσου της λεκάνης της Φλώρινας, Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας φτάνει μέχρι την Κοζάνη. Η περιοχή βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στους Νομούς Φλώρινας και Κοζάνης.

Η λεκάνη έχει μήκος περίπου 100km από το βορειότερο τμήμα της μέχρι τα πρόβουνα της Κοζάνης και ένα μέσο πλάτος 15km περίπου. Το μέσο απόλυτο υψόμετρο της είναι περίπου 600m. Η διεύθυνσή της είναι ΒΒΔ-ΝΝΑ, παράλληλη προς τον ορειογραφικό άξονα των Ελληνίδων οροσειρών.

Προς τα δυτικά η λεκάνη ορίζεται από τα ορεινά συγκροτήματα του Βέρνου-Βαρνούντα (με υψηλότερη κορυφή το Βίτσι, 2128m) και του Άσκιου (Σινιάτσικο, 2111m). Στα ανατολικά της ορθώνεται το ορεινό συγκρότημα του Βόρα (Καϊμακτσαλάν, 2524m) και το Βέρμιο (2027m). Μεταξύ του Βόρα και του Βερμίου αναπτύσσεται σε υψόμετρο 600m, η λίμνη Βεγορίτιδα σαν ένα ανεξάρτητο τεκτονικό βύθισμα, περίπου κάθετο προς την κύρια διεύθυνση της μεγάλης επιμήκους λεκάνης.

Η λεκάνη στο σύνολο της δεν εμφανίζεται ενιαία. Εξάρματα και λοφοσειρές την χωρίζουν σε επιμέρους υπολεκάνες. Το πιο χαρακτηριστικό εξάρμα είναι αυτό του Κλειδιού - Ξινού Νερού – Αετού το οποίο χωρίζει το βόρειο τμήμα που καθορίζεται ως λεκάνη Φλώρινας με το νότιο τμήμα που ονομάζεται λεκάνη Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας. Το ύψωμα Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού έχει μέγιστο απόλυτο υψόμετρο 900m.

Άλλα μικρότερης σημασίας εξάρματα είναι της Βεγόρας – Νεάπολης που διαχωρίζει τις μικρότερες υπολεκάνες Πετρών Αμυνταίου από εκείνη της Βεγορίτιδας – Βεγόρας, το ύψωμα Μπορντό που διαχωρίζει τις υπολεκάνες Ολυμπιάδας – Γαλάτειας και Πτολεμαΐδας και το ύψωμα Λακκιάς – Φιλώτα στο κέντρο της λεκάνης (Παυλίδης, 1985).

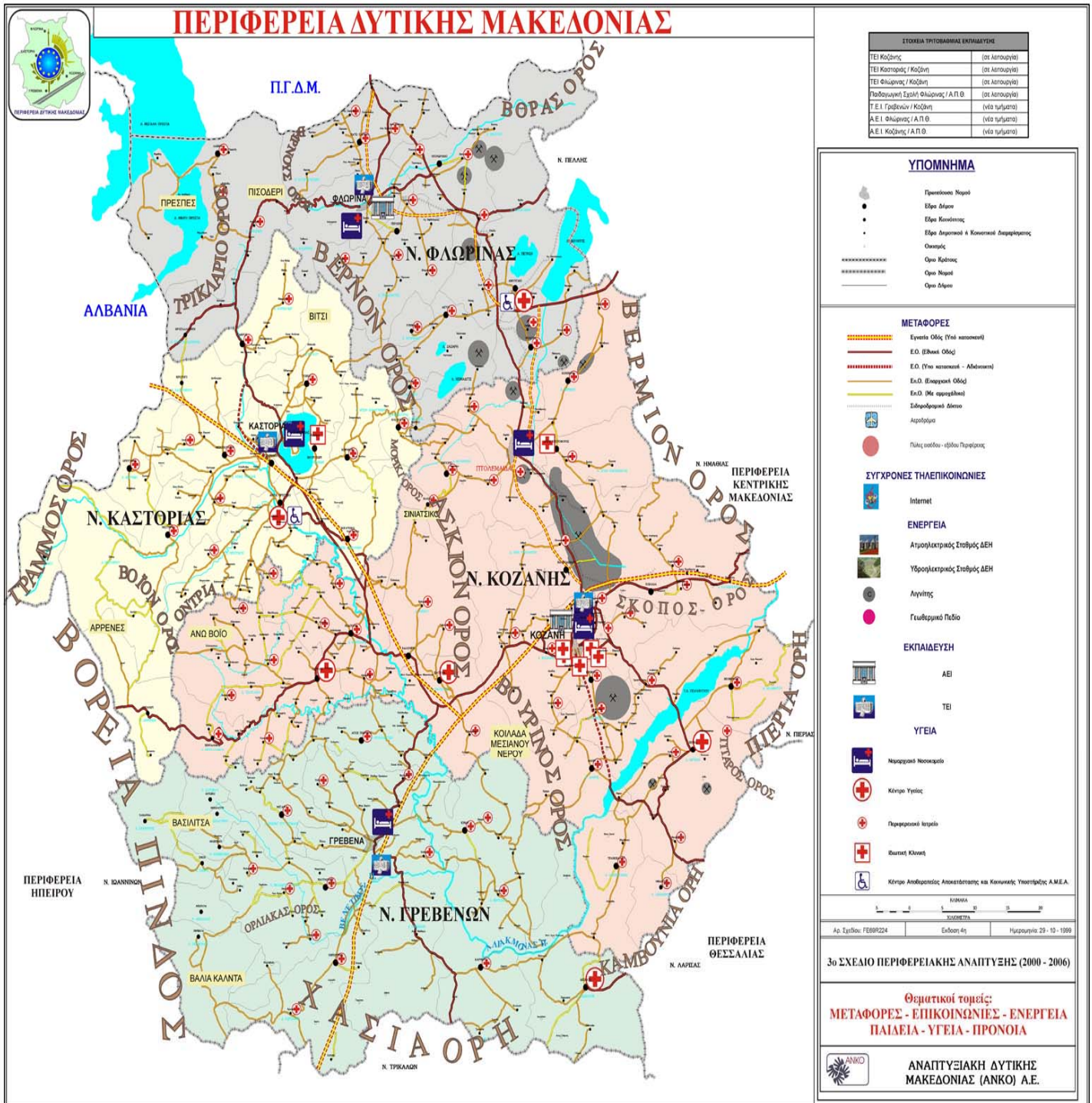
Στην περιοχή υπάρχουν τέσσερις λίμνες: η Βεγορίτιδα, η λίμνη των Πετρών και οι λίμνες Χειμαδίτιδα και Ζάζαρη.



Εικόνα 1. Λεκάνη της Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας με το επιμήκες ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης σχήμα της όπως φαίνεται σε δορυφορική φωτογραφία LANDSAT (Παυλίδης, 1985)



Χάρτης 1. Τοπογραφικός Χάρτης Δυτικής Μακεδονίας



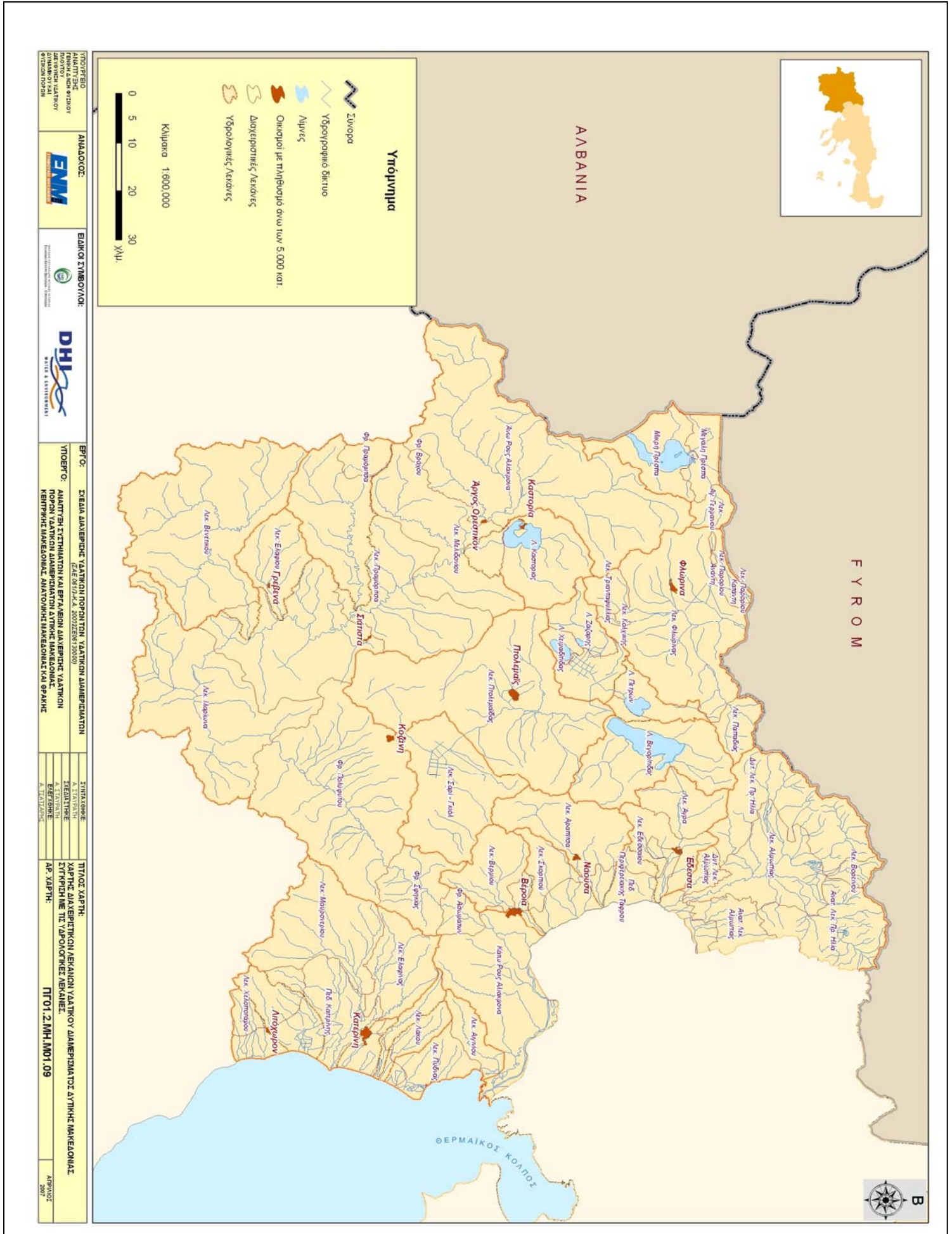
Χάρτης 2. Χάρτης Δυτικής Μακεδονίας – ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ (Σαφής προσδιορισμός των Ορεινών Συγκροτημάτων)

(ΑΝΚΟ,2010)

1.2 ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Το Υδατικό Διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας περιλαμβάνει την περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας, πλην μικρού μέρους της, σημαντικό μέρος της περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και ένα μικρό μέρος της περιφέρειας Θεσσαλίας. Έχει έκταση 13624 Km² και είναι το μεγαλύτερο σε έκταση σε όλη τη χώρα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1997 <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/en/>). Το Υδατικό Διαμέρισμα της Δυτικής Μακεδονίας εμφανίζει επάρκεια σε νερό και μάλιστα από τις πηγές Αραβύσσου και τον ποταμό Αλιάκμονα μεταφέρονται ποσότητες νερού για την ύδρευση της Θεσσαλονίκης και περιλαμβάνει τη λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα, την κλειστή λεκάνη Μαυρονερίου, την κλειστή λεκάνη Πρεσπών, τη λεκάνη Χελοπόταμου, καθώς και τις λεκάνες των παραλιακών ρεμάτων. Μέρος των αναγκών σε νερό καλύπτονται στο υδατικό διαμέρισμα από τις διακρατικές λίμνες Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1997).

Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας στηρίζει την οικονομία του κυρίως στη γεωργία και την κτηνοτροφία, ενώ τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αρκετά αξιόλογη βιομηχανική ανάπτυξη. Η μορφολογία του υδατικού διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από ισχυρό ανάγλυφο, με μικρές πεδινές εκτάσεις. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής εκτιμάται σε 638 mm. Η τάση των ετήσιων κατακρημνίσεων στο υδατικό διαμέρισμα, παρουσιάζεται ελαφρώς πτωτική, της τάξης του -0.12% (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/en/>). Όσον αφορά την εποχική κατανομή των βροχοπτώσεων, παρατηρούνται χειμερινές βροχοπτώσεις που αντιστοιχούν σε ποσοστό μικρότερο του 75% των συνολικών ετήσιων (Υπουργείο Ανάπτυξης, 1997). Με βάση την έκταση του διαμερίσματος και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, ο συνολικός ετήσιος όγκος βροχής του διαμερίσματος εκτιμάται σε 8692 hm³. Τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα, ενώ οι λεκάνες απορροής του υδατικού διαμερίσματος παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες κλίσεις.



1.3 ΛΙΜΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Λίμνη Βεγορίτιδα

Η λίμνη Βεγορίτιδα ή Οστρόβου διοικητικά ανήκει στους νομούς Πέλλας και Φλώρινας και στους Δήμους Αμυνταίου, Φιλώτα και Βεγορίτιδας. Περιβάλλεται από τα βουνά Βέρνου, Βόρας και Βέρμιο και αποτελεί το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτισας και Πετρών, των οποίων δέχεται τα νερά μέσα από σύστημα διωρύγων και σήραγγας. Η έκταση της Βεγορίτιδος είναι τα 70 Km² και το μέγιστο βάθος τα 46m.



Εικόνα 2. Λίμνη Βεγορίτιδα

Λίμνη των Πετρών

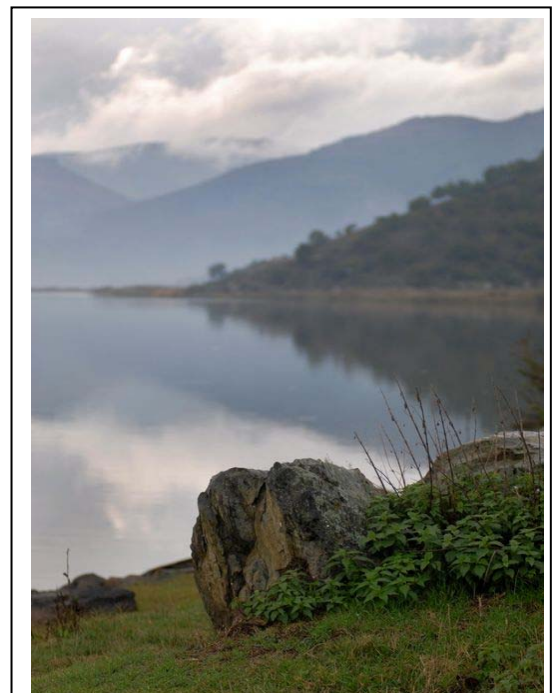
Η λίμνη των Πετρών είναι σχετικά ρηχή με μέγιστο βάθος 3,5m. Βρίσκεται στα Νοτιοδυτικά της λίμνης Βεγορίτιδος, με την οποία συνδέεται μέσω διώρυγας και σήραγγας και καταλαμβάνει έκταση 16 Km².



Εικόνα 3. Λίμνη των Πετρών

Λίμνη Ζάζαρη

Η λίμνη Ζάζαρη, στις όχθες της οποίας βρίσκεται ο παραλίμνιος οικισμός του Λιμνοχωρίου του Δήμου Αετού, έχει έκταση 2 Km², μέγιστο βάθος 2m και βρίσκεται σε υψόμετρο 602m. Τροφοδοτείται με νερό από το ποτάμι του Σκλήθρου, αλλά και από υπόγειες πηγές, ενώ στη συνέχεια τροφοδοτεί με τη σειρά της τη λίμνη Χειμαδίτιδα. Μία λωρίδα γης χωρίζει τις δύο λίμνες μόνο που η Ζάζαρη είναι 9 μέτρα ψηλότερα από τη Χειμαδίτιδα, γι αυτό και το νερό κατεβαίνει από τη μία λίμνη στην άλλη που είναι και 5 φορές μεγαλύτερη σε μέγεθος.



Εικόνα 4. Λίμνη Ζάζαρη

Λίμνη Χειμαδίτιδα

Η Χειμαδίτιδα χωρίζεται από τη Ζάζαρη από μια λωρίδα γης 2 χιλιομέτρων, ανήκει και αυτή στο Δήμο Αετού, έχει έκταση 10 Km², μέγιστο βάθος 4.5m και βρίσκεται σε υψόμετρο 593m.



Εικόνα 5. Λίμνη Χειμαδίτιδα



Εικόνα 6. Πανοραμική Εικόνα των λιμνών, Google Earth®

1.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Το Αμύνταιο είναι πόλη του Νομού Φλώρινας σε απόσταση 41 χιλιομέτρων από την πόλη της Φλώρινας. Υπάγεται διοικητικά στον ομώνυμο δήμο Αμυνταίου και σύμφωνα με την απογραφή του 2001 διαθέτει πληθυσμό 3.636 κατοίκων. Σημαντικότερα μνημεία ο προϊστορικός οικισμός Αγίου Παντελεήμονα, η ελληνιστική πόλη των Πετρών, τα βυζαντινά και μεταβυζαντινά μνημεία. Οι λίμνες Βεγορίτιδα και Πετρών αποτελούν σημαντικούς υδροβιότοπους, ενώ έχουν αναπτυχθεί σημαντικές υποδομές εναλλακτικού τουρισμού. Η περιοχή χαρακτηρίζεται επίσης από τα επισκέψιμα οινοποιεία της, ενώ στο ομώνυμο Δημοτικό Διαμέρισμα εμφιαλώνεται το μεταλλικό νερό Ξινό Νερό.

Ο Δήμος Αμυνταίου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού Φλώρινας και έχει συνολική έκταση 240.141 στρέμματα. Η περιοχή του Δήμου χαρακτηρίζεται ως ορεινή – ημιορεινή με εξαίρεση τα αγροκτήματα του Αμυνταίου και του Ροδώνα, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο πεδινά.

Ο συνολικός πληθυσμός του Δήμου Αμυνταίου είναι, σύμφωνα με στοιχεία της απογραφής του 2001, 8.378 κάτοικοι. Υπολογίζεται κατά εκτίμηση ότι οι μόνιμοι



Χάρτης 4. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής Αμυνταίου

κάτοικοι σήμερα ξεπερνούν τις 10.000 και ο πληθυσμός κατά την περίοδο αιχμής (καλοκαίρι) ανέρχεται περίπου σε 12.500 κατοίκους.

Πιο συγκεκριμένα στη περιοχή του Αμυνταίου:

- Εντοπίζεται η σημαντικότερη αγροτική περιοχή του Ν. Φλώρινας αφού σε αυτή καλλιεργούνται δεκάδες χιλιάδες στρέμματα με ροδάκινα, μήλα, σιτηρά, σπαράγγια, καλαμπόκια, πατάτες, πιπεριές, και αμπέλια.
- Βρίσκεται ο μεγαλύτερος αμπελώνας της Βορείου Ελλάδας (8.500 στρέμματα) με Ζώνη παραγωγής οίνων Ονομασίας Προέλευσης Ανωτέρας Ποιότητας.
- Δραστηριοποιούνται 18 οινοποιητικές εταιρείες με παραγωγή 2.500.000 lt/yr και εξαγωγική δραστηριότητα σε 40 χώρες.
- Σημειώνεται αξιοσημείωτη αγροτουριστική δραστηριότητα με δεκάδες ξενώνες, υψηλή επισκεψιμότητα και παροχή τουριστικών υπηρεσιών υψηλής ποιότητας.
- Εντοπίζεται δίκτυο Natura 2000, την προστασία της βιοποικιλότητας της χλωρίδας και της πανίδας.
- Βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά κέντρα στον κόσμο.

Συγκεκριμένα σε ακτίνα 12Km από την πόλη του Αμυνταίου εντοπίζονται:

Τέσσερα Λιγνιτορυχεία

-Αμυνταίου – Φιλώτα

-Βεγόρας

-Βεύης

-Κλειδιού

Δύο σταθμοί ΑΗΣ

-Αμυνταίου – Φιλώτας (2*3000 MW)

2.ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η λιγνιτογένεση σημειώνεται στον Ελληνικό χώρο από το Ηώκαινο μέχρι το Κατώτερο Πλειστόκαινο (Κουκουζας & Κουκουζας 1995; Κουκουζας et al, 1997, Αναστόπουλος και Κούκουζας 1972).

Στους Παλαιογενείς σχηματισμούς (Ηώκαινο – Ολιγόκαινο) ανήκουν κατά κανόνα κοιτάσματα παράκτιων λεκανών π.χ. Αλεξανδρούπολης, Πενταλόφου (Ν. Κοζάνης), των Γρεβενών κ.α.. Μέσα σε θαλάσσια ιζήματα παρεμβάλλονται λιμναίες και τελματικές αποθέσεις, από τις οποίες (τελματικές) προέκυψαν φακοειδή στρώματα λιγνίτη καλής ποιότητας.

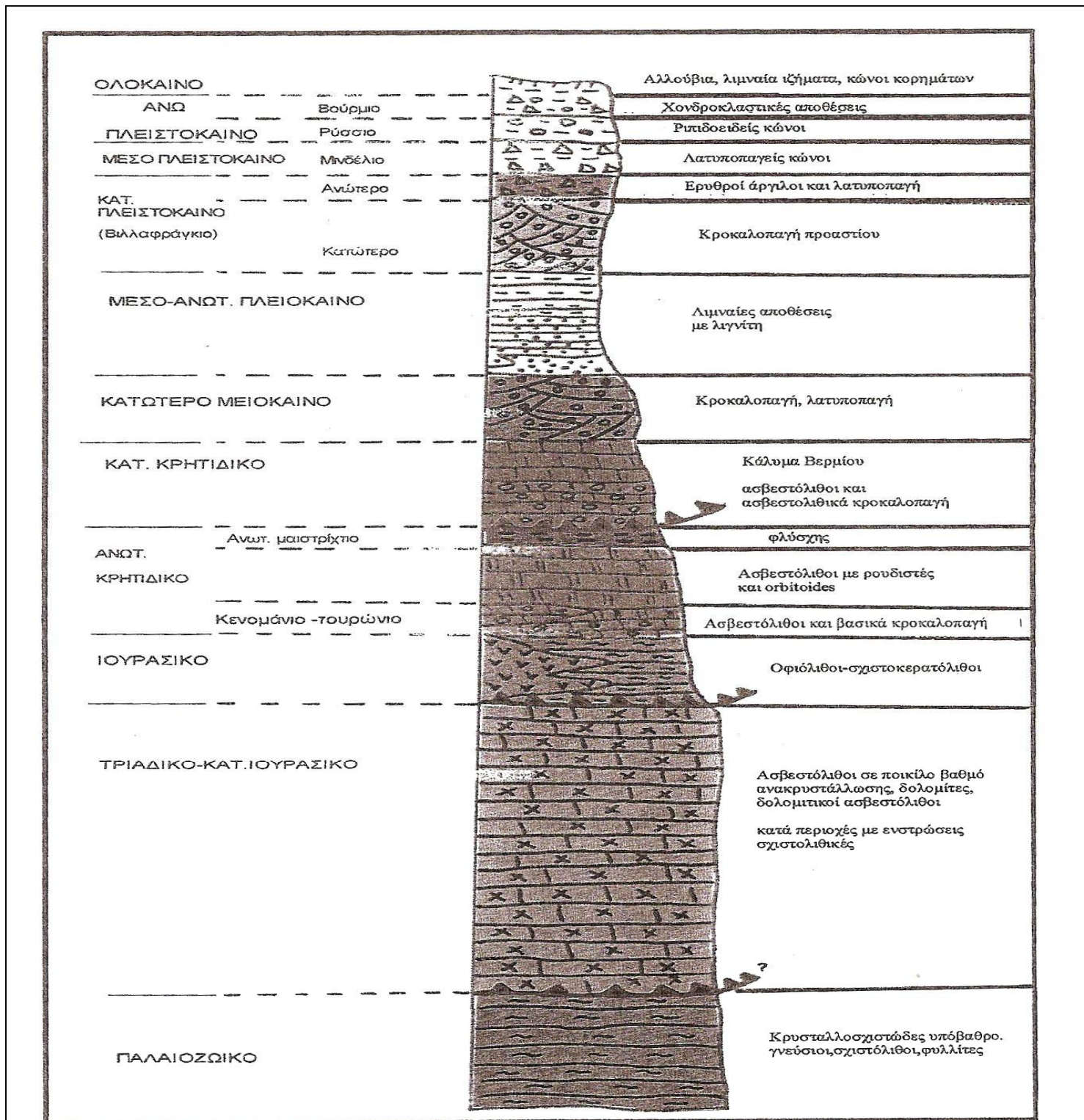
Κατά το Νεογενές και το Πλειστόκαινο σχηματίστηκαν τα περισσότερα και σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας. Αυτές οι περίοδοι συνδέονται με έντονη μεταλπική και ρηξιγενή τεκτονική ταφρογένεση. Δημιουργούνται πολυάριθμες ηπειρωτικές λεκάνες, που είτε δεν έχουν καμία επικοινωνία με τη θάλασσα (ενδοηπειρωτικές) είτε επικοινωνούν παροδικά μόνο κατά τη διάρκεια της εξέλιξης τους με αυτά (περιηπειρωτικές). Στις ηπειρωτικές λεκάνες πληρούνται οι προϋποθέσεις για το σχηματισμό εκτεταμένων κατω-τυρφώνων και τη διατήρηση της ταφρογένεσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα να προκύψουν λιγνιτικά στρώματα με σχετικά μεγάλη εξάπλωση και πάχος όπως αυτά της Πτολεμαΐδας και της Φλώρινας (Παυλίδης, 1985).

2.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

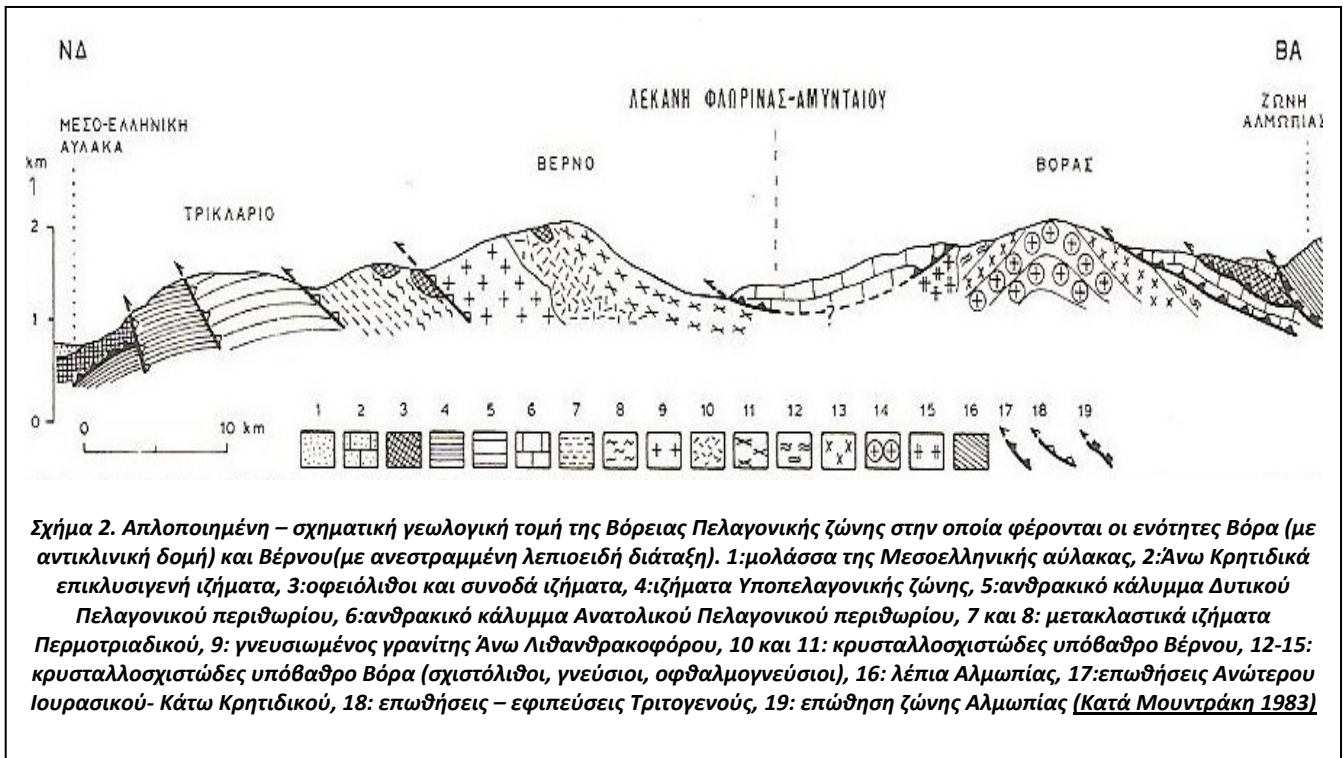
Σύμφωνα με τον Παυλίδη (1985) η μελετούμενη περιοχή τοποθετείται στον ευρύτερο χώρο της Πελαγονικής Γεωλογικής Ζώνης, η οποία βασικά συγκροτείται από Παλαιοζωϊκά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που συνιστούν μια συμπαγή μάζα, καθώς επίσης και από Μεσοζωϊκό κάλυμμα.

Η Πελαγονική εκτείνεται σαν μια επιμήκης ζώνη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης που αρχίζει

από τη Νότια Σερβία και δια μέσου της Μακεδονίας – Θεσσαλίας, δηλαδή των ορεινών συγκροτημάτων Βόρα, Βαρνούντου, Βέρνου, Άσκιου, Πιερίων, Πηλίου, Ανατολικής Όρθης, φτάνει μέχρι την Βόρειο Εύβοια και τα νησιά Σκιάθο και Σκόπελο, τμήματα των οποίων ανήκουν στη ζώνη αυτή.



Σχήμα 1. Στρωματογραφική Στήλη της Πελαγονικής ζώνης βασισμένη στη στρωματογραφική στήλη του φύλλου Πύργος (1:50.000) του Ι.Γ.Μ.Ε. (Brunn H., 1982)



2.3 Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Η λιγνιτοφόρα λεκάνη Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης – Σερβίων – Ελασσόνας αποτελεί τμήμα της τεκτονικής τάφρου μήκους >120km που εκτείνεται από το Μοναστήρι (Bitola, F.Y.R.O.M.) μέχρι την Ελασσόνα, νότια του Αλιάκμονα ποταμού.

Ο άξονας της τάφρου έχει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, παράλληλη με τον άξονα των Ελληνίδων.

Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική Ζώνη. Η τάφρος δημιουργήθηκε από τη ρηξιγενή τεκτονική του Νεογενούς. Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο επικράτησαν εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, που δημιούργησαν τα κύρια βύθισμα με ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές εφελκυστικές τάσεις ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης χώρισαν το αρχικό βύθισμα σε επιμέρους λεκάνες, που οριοθετούνται από ΒΑ-ΝΔ ρήγματα. Σχηματίστηκαν έτσι οι λεκάνες Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας, Κοζάνης – Σέρβιων και Ελασσόνας (Παυλίδης, 1985).

Η λεκάνη Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης αναπτύσσεται κατά μήκος ενός προϋπάρχοντος συγκλίνου ανάμεσα στο μεγάλο αντίκλινο των οροσειρών Βόρα και

Βερμίου προς τα ανατολικά και των οροσειρών Βέρου και Άσκιου στα δυτικά (Παυλίδης, 1985).

Ο Βετούλης (1951) αναφέρει ότι η λεκάνη δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια της Κρητιδικής και Τριτογενούς περιόδου μετά το τέλος των εφαιπτομενικών κινήσεων.

Ο Αναστόπουλος και Κούκουζας (1972), Koukouzas et al (1979) τοποθετούν το σχηματισμό της τεκτονικής τάφρου στο τέλος της Τριτογενούς περιόδου και πιστεύουν ότι η δημιουργία της ήταν συνέπεια μεγάλων διαρρήξεων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης (κρασπεδικά ρήγματα)

Επίσης έχει διατυπωθεί μια διαμετρικώς αντίθετη άποψη για το σχηματισμό της λεκάνης από τους Γερμανούς γεωλόγους Timm, Groba και Krucks (1983), η οποία υποστηρίζει την ατεκτονική δημιουργία της λεκάνης. Σύμφωνα με την άποψη αυτή κατά τη χημική αποσάθρωση του μεσοζωϊκού ασβεστολιθικού καλύμματος σχηματίζονταν κενοί χώροι μεγάλων διαστάσεων μέσα σε ανθρακικά πετρώματα (ασβεστολιθικά καρστ). Με τη δράση της βαρύτητας δημιουργήθηκαν καθιζήσεις με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ρήγματα (ατεκτονικά), τάφροι και οι επακόλουθες δομές χωρίς ουσιαστικά την επίδραση τυπικών τεκτονικών δυνάμεων ή γεγονότων.

Όπως αναφέρθηκε σύμφωνα με τον Παυλίδη (1985), η ηλικία για την αρχική δημιουργία του βυθίσματος θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν πιο πιθανή εκείνη του Μέσου – Ανώτερου Μειόκαινου.

Κατόπιν η εξέλιξη του Βυθίσματος ακολούθησε τα παρακάτω στάδια:

1. Συνέπεια του εκτεταμένου εφελκυστικού πεδίου του Μέσου – Ανώτερου Μειόκαινου το οποίο συνεχίστηκε και κατά το Πλειστόκαινο, ήταν ο σχηματισμός και η διερεύνηση του αρχικού τεκτονικού βυθίσματος, το οποίο δέχτηκε τα πρώτα χερσοποτάμια ιζήματα.
2. Στο βύθισμα αυτό αναπτύχθηκε λίμνη, που είχε σαν συνέπεια να σχηματιστούν τα πρώτα λεπτόκοκκα ιζήματα (άμμοι, μάργες, ξυλίτες, αργιλλόμαργες). Κατά τη διάρκεια αυτής της εφελκυστικής φάσης του Πλειόκαινου τα ιζήματα αυτά δέχθηκαν την επίδραση της και ρηγματώθηκαν.
3. Κατά το Πλειόκαινο συμπληρώθηκε η λιμναία ιζηματογένεση (μάργες, άργιλλοι, λιγνίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Από τα παραπάνω ιζήματα συνάγεται ότι το βάθος της λίμνης ήταν μεταβαλλόμενο εποχιακά και οι

πηγές τροφοδοσίας του υλικού ήταν τόσο τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα των δυτικών περιθωρίων της λεκάνης, όσο και τα ανθρακικά των ανατολικών περιθωρίων.

4. Από το Ανώτερο και ιδιαίτερα από το Κατώτερο Τεταρτογενές άρχισε ένας νέος νεότερος εφελκυστικός, διαπιστωμένος σε όλη του την έκταση του Αιγαίου, ο οποίος έφερε μεγάλη τεκτονική αναστάτωση στην περιοχή. Δραστηριοποιήθηκαν ξανά τα μεγάλα προϋπάρχοντα ρήγματα, κύρια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, τεμάχη (blocks) βυθίστηκαν ακόμα περισσότερο, αλλά ανυψώθηκαν και καινούργια βυθίσματα και εξάρματα γημιουργήθηκαν.
5. Κατά το Τεταρτογενές οι λίμνες περιορίστηκαν σημαντικά και χερσαία ιζήματα και τα πλευρικά ριπίδια κάλυψαν πολλές περιοχές. Τα ρήγματα επίσης λειτούργησαν μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο. Η σημερινή εικόνα της περιοχής διαμορφώθηκε με τη βοήθεια των φαινομένων διάβρωσης που ολοκλήρωσαν τις διεργασίες.

Οι Νεογενείς αποθέσεις των παραπάνω λεκανών διακρίνονται σε τρεις σειρές:

- Την κατώτερη σειρά
- Τη μεσαία σειρά (σχηματισμός Πτολεμαΐδας)
- Την ανώτερη σειρά

Η κατώτερη σειρά αποτελείται στη βάση της από ένα γνευσιακό κροκαλοπαγές, το οποίο μεταβαίνει προς τα πάνω σε μάργες, αμμώδεις μάργες, άμμους, ιλύες, αργίλλους και λιγνίτες. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν ποτάμιο, ποταμολιμναίο και τοπικά τελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Άνω Μειοκαινική μέχρι κάτω Πλειοκαινική.

Ο μεσαίος σχηματισμός χαρακτηρίζεται από μεγάλο πάχους στρώματα λιγνιτών, που εναλλάσσονται με στρώματα αργίλων, ιλύων, αμμώδων αργίλων και μαργών. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν κυρίως λιμναίο και λιμνοτελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Πλειοκαινική.

Ο ανώτερος σχηματισμός αποτελείται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το πάχος τους δεν είναι σταθερό, αλλά κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Τα ιζήματα κάθονται ασύμφωνα πάνω στα Πλειοκαινικά στρώματα. Η αιτία

της ασυμφωνίας είναι ο τεκτονισμός του Ανωτέρου Πλειόκαινου – Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Τα ιζήματα είναι κύρια ποτάμια (άμμοι και κροκάλες), ενώ τοπικά απατώνται άργιλοι και μάργες και μικρού πάχους λιγνιτικά στρώματα.

2.4 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ – ΛΕΚΑΝΗ ΦΛΩΡΙΝΑ-ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ-ΚΟΖΑΝΗ

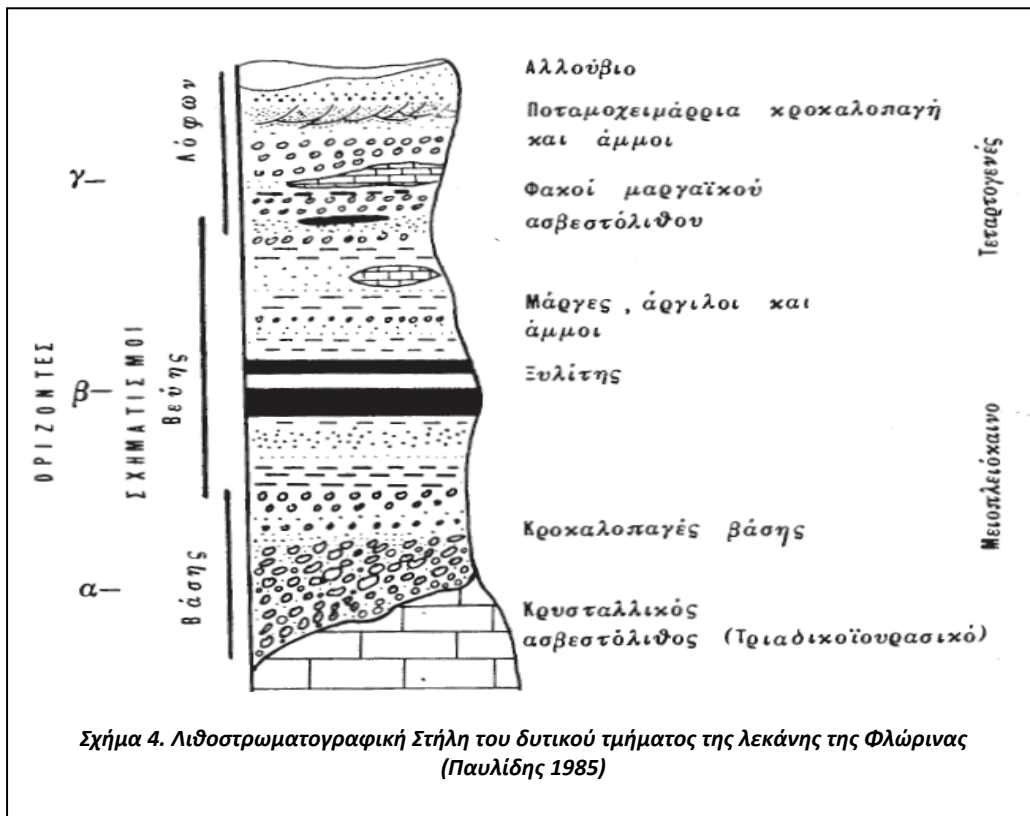
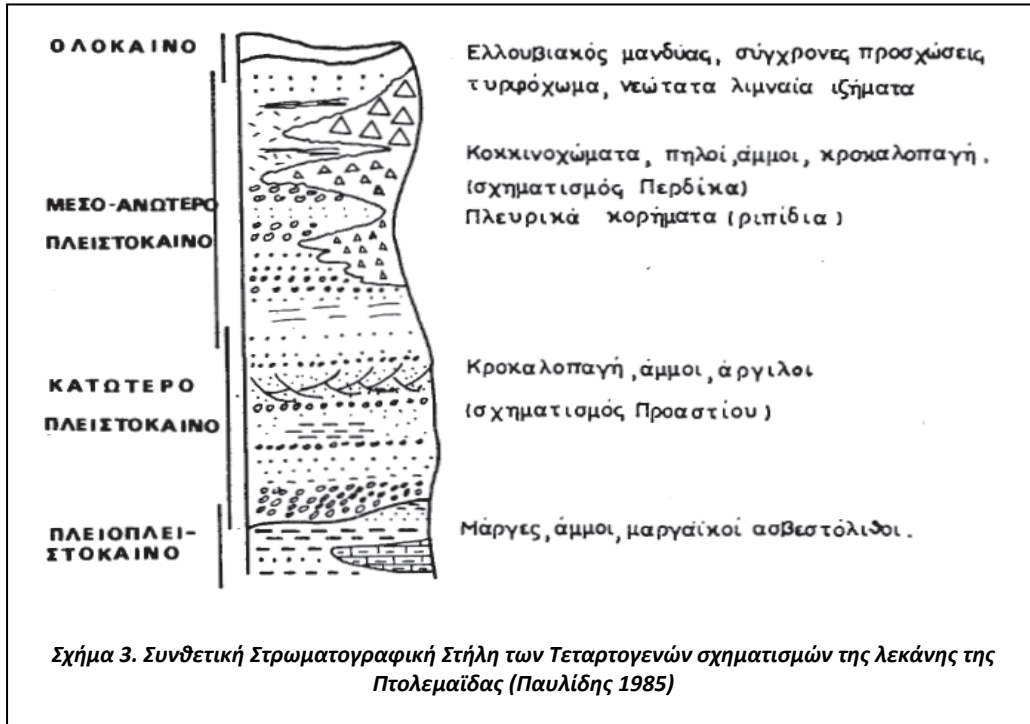
Στο σύνολο της σχεδόν ολόκληρη η επιφάνεια της λεκάνης καλύπτεται από τις τεταρτογενείς αποθέσεις, το πάχος των οποίων δεν είναι σταθερό αλλά κυμαίνεται από μερικά μέχρι εκατοντάδες μέτρα στις περιοχές προσφάτων βυθισμάτων. Τα ιζήματα αυτά κάθονται ασύμφωνα πάνω στα πλειοκαινικά ιζήματα. Αιτίες αυτής της ασυμφωνίας είναι ο τεκτονισμός του Ανώτατου Πλειόκαινου – Κατώτερου Πλειστοκαίνου και η αλλαγή των κλιματικών και άλλων περιβαλλοντικών συνθηκών. Από άποψη ηλικίας οι αποθέσεις αυτές εκτείνονται από τα κατώτατο Πλειστόκαινο μέχρι και το Ολόκαινο. Η προέλευση τους είναι λιμνοδελαταϊκή, ποταμοχειμάρια, και χερσαία (Παυλίδης 1985).

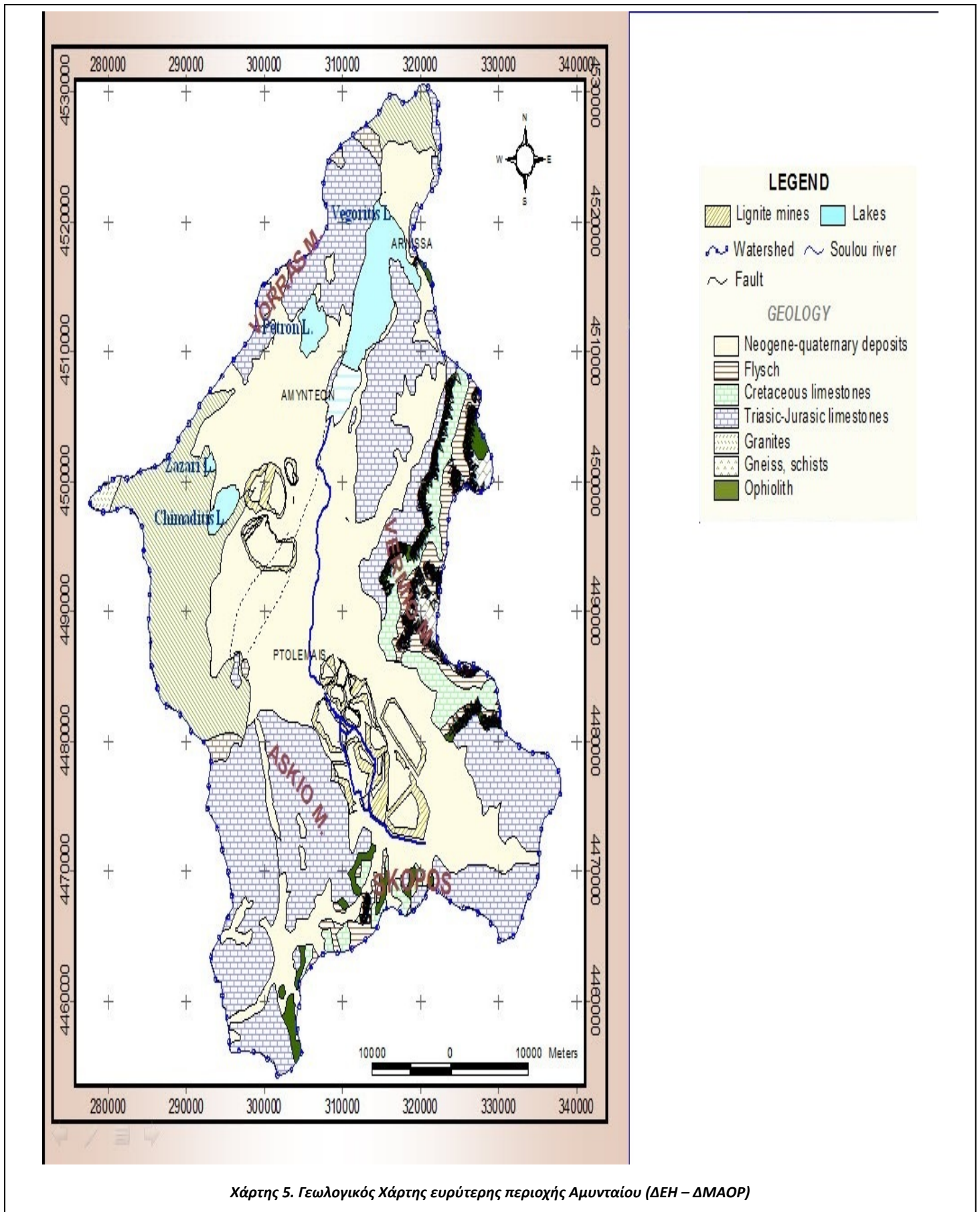
Τα εκτεταμένα κροκαλοπαγή της λεκάνης παλαιότερα ηλικίας που έχουν λιμνοδελαταϊκή προέλευση, αποτελούν σύμφωνα με το κλασικό μοντέλο ιζηματογένεσης την τελευταία φάση της λιμναίας ιζηματογένεσης. Οι υπόλοιπες τεταρτογενείς αποθέσεις έχουν ηπειρωτική προέλευση (ποταμοχειμάρια, καθαρά χερσαία, πλευρικά ριπίδια και λατυποπαγή). Για το σχηματισμό τους επέδρασαν κλιματικοί και τεκτονικοί παράγοντες. Έτσι μπορούν να διακριθούν αποθέσεις που οφείλουν τη γένεση τους σε καθαρά κλιματικούς παράγοντες και σε καθαρά τεκτονικούς. Μεταξύ αυτών υπάρχουν όλοι οι ενδιάμεσοι τύποι (Παυλίδης 1985).

Η μορφολογία των πρανών, το είδος των πετρωμάτων και ο βαθμός τεκτονισμού, έπαιξαν ρόλο στη δημιουργία εκτεταμένων πλευρικών κορημάτων. Η διάβρωση ήταν κατά κανόνα μηχανική με αποτέλεσμα να επικρατούν γωνιώδεις λατύπες. Επιπλέον, το κόκκινο χρώμα των χερσαίων αποθέσεων μαρτυρεί ότι η κύρια πηγή τροφοδοσίας αυτών των σχηματισμών ήταν οι περιβάλλοντες ασβεστολιθικοί όγκοι (Παυλίδης 1985).

Η χρονολόγηση των αποθέσεων γίνεται έμμεσα και στηρίζεται κυρίως σε

κλιματικούς παράγοντες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της δημιουργίας τους. Οι εναλλαγές των παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων του Μέσου – Ανώτερου Τεταρτογενούς είναι οι καθοριστικοί παράγοντες που καθορίζουν την ηλικίας τους (Παυλίδης 1985).





Χάρτης 5. Γεωλογικός Χάρτης ευρύτερης περιοχής Αμυνταίου (ΔΕΗ - ΔΜΑΟΡ)

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1 ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η υδρολογική λεκάνη Χειμαδίτιδας Πετρών, στην οποία ανήκει και το λιγνιτορυχείο Αμυνταίου έχει έκταση 355 Km². Χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα σύνθετες υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες λόγω της συνύπαρξης της εκμετάλλευσης του λιγνιτορυχείου Αμυνταίου και των τριών λιμνών της Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών. Οι λίμνες αυτές είναι υδραυλικά συνδεδεμένες μεταξύ τους, αλλά στη συνέχεια και με τη λίμνη Βεγορίτιδα με μία τεχνητή καλυμμένη τάφρο (Εικόνα 6), αποτελώντας ένα ενιαίο αλλά και ευαίσθητο υδατικό σύστημα. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 790 m.

Στην ευύτερη περιοχή του Ορυχείου Αμυνταίου αναπτύσσονται τρία κύρια υδροφόρα συστήματα.

1. Στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης και ειδικότερα στα υπερκείμενα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας. Ο υδροφορέας αυτός θεωρήθηκε ενιαίος σε όλη την έκταση της λεκάνης, αν και αποτελείται από εναλλαγές περατών, ημιπερατών, και αδιαπέρατων στρωμάτων κατά περιοχές. Το σύστημα αυτό εξεταζόμενο μακροσκοπικά στην κλίμακα της λεκάνης, εμφανίζει την ίδια υδραυλική συμπεριφορά και πιεζομετρία λόγω της αποσφήνωσης των γεωλογικών σχηματισμών και της ύπαρξης πολυάριθμων ρηγμάτων, που φέρουν σε υδραυλική επικοινωνία τα διάφορα υδροφόρα στρώματα.
2. Ο υδροφορέας που αναπτύσσεται στο καρστικό υπόβαθρο του ορυχείου Αμυνταίου που επεκτείνεται μέχρι τη λίμνη Βεγορίτιδα και τη λίμνη Περδίκια και επικοινωνεί υδραυλικά με το καρστικό σύστημα του κεντρικού-νοτίου Βόρρα.
3. Στο ορεινό συγκρότημα του Αετού – Ξινού Νερού υπάρχει ένας τρίτος, καρστικός υδροφορέας, ο οποίος εκδηλώνεται με τις πηγές υπερπλήρωσης της περιοχής Ξινού Νερού σε υψόμετρο +620 m. Ο υδροφορέας αυτός δεν έχει άμεση σχέση με το ορυχείο αλλά από πιεζομετρικές μετρήσεις και υδροχημικές αναλύσεις διαπιστώθηκε ότι τροφοδοτεί τον υδροφορέα των νεογενών ιζημάτων της λεκάνης που υπέρκειται της λιγνιτικής σειράς.

Από τους υδροφορείς αυτούς κύρια επίδραση στο ορυχείο του Αμυνταίου ασκεί το υδροφόρο σύστημα των νεογενών ιζημάτων. Η κύρια τροφοδοσία του συγκεκριμένου υπόγειου υδροφορέα γίνεται από τις βροχοπτώσεις μέσω της κατείσδυσης. Η μεταβιβαητικότητα του υδροφορέα προσδιορίστηκε από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων 43 δοκιμαστικών αντλήσεων που εκτελέστηκαν σε αντίστοιχες υδρογεωτρήσεις. Η τιμή της μεταβιβασιμότητας T κυμαίνεται από $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ έως $2,1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ και η τιμή του συντελεστή αποθηκευτικότητας S από 1,2% έως 12% για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και $8,1 \times 10^{-3}$ έως 1×10^{-5} στα υπό πίεση.

3.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκπόνηση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έχουν παρθεί από τους Σταθμούς παρακολούθησης υπογείων νερών που είναι εγκατεστημένοι στο λιγνιτορυχείο Αμυνταίου της ΔΕΗ. Οι σταθμοί αυτοί είναι οι **Υ.Α.-110**, με συντεταγμένες $40^{\circ}38.597\ N$ $21^{\circ}38.531\ E$ και **Υ.Α.-300**, με συντεταγμένες $40^{\circ}38.573\ N$ $21^{\circ}37.626\ E$ και παίρνονται μετρήσεις ανά μία ώρα από τα υπόγεια νερά τα οποία τροφοδοτούν το ρέμα Σουλού, το οποίο είναι το κυριότερο ρέμα της λίμνης Βεγορίτιδας – αποστραγγίζει τη λεκάνη της Βεγορίτιδας. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις έχουν παρθεί από τις 1-1-2011 0:59:50 έως τις 28-5-2011 9:59:50 και περιέχουν μετρήσεις **Αγωγιμότητας ($\mu S/cm$)**, **Ενεργού οξύτητας (pH)**, **Θερμοκρασίας νερού ($^{\circ}C$)**. Ουσιαστικά οι συγκεκριμένοι σταθμοί είναι αντλούμενες γεωτρήσεις, αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις γίνονται σε δοχείο στην επιφάνεια του εδάφους, διότι λόγω της ύπαρξης αντλίας στην γεώτρηση δεν είναι δυνατή η εμβάπτιση αισθητηρίων σε αυτήν.

Εικόνα 7. Λιγνιτορυχείο Αμυνταίου και στίγματα Σταθμών παρακολούθησης υπογείων νερών (Google Earth)



3.2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

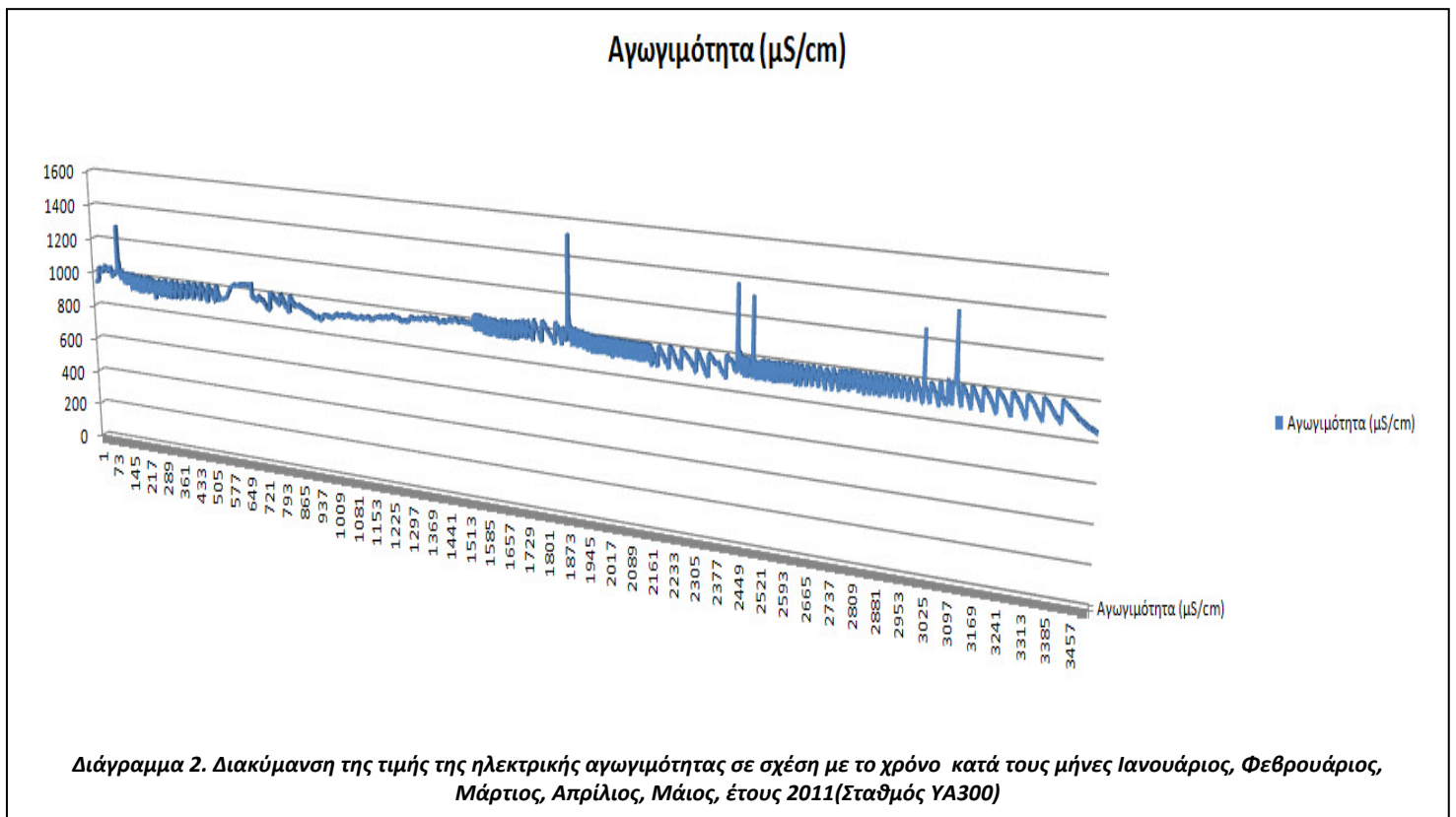
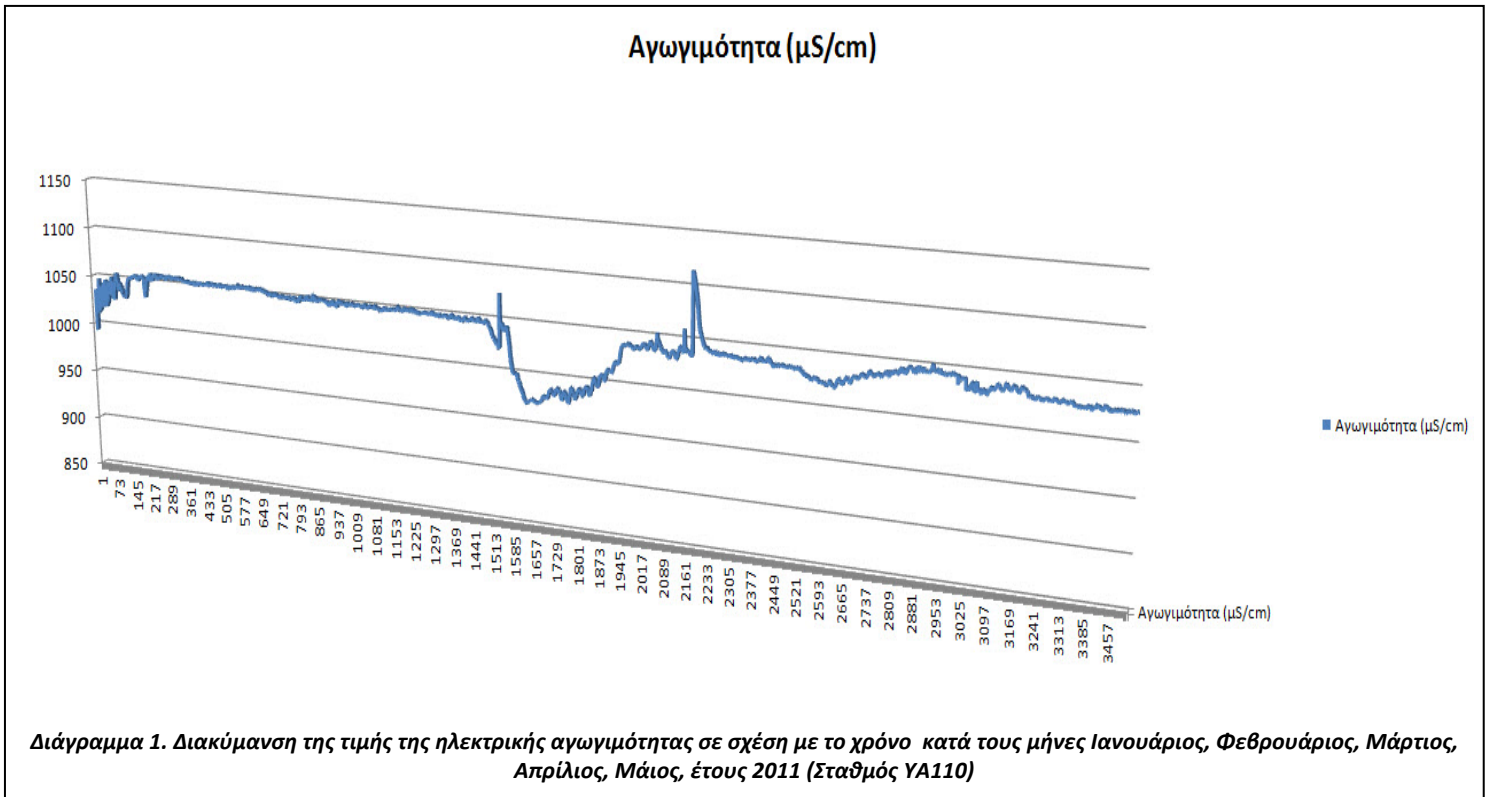
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος είναι μια μαθηματική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αγωγιμότητα G είναι το ρεύμα I προς τη διαφορά δυναμικού E που εφαρμόζεται σε δυο ηλεκτρόδια μέσα σε ένα διάλυμα. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, την κινητικότητά τους, τη συγκέντρωσή τους, τη θερμοκρασία και το ιζώδες του διαλύματος, καθώς και το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, με την οποία γίνεται η μέτρηση. Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο υγρό. Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν δίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετριέται σε $\mu S/cm$ και είναι το αντίστροφο της αντίστασης. Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το Siemens/cm (S/cm), με υποδιαιρέσεις: το microSiemens/cm ($\mu S/cm$) ίσο με $10^{-6} S/cm$ και το milliSiemens/cm (mS/cm) ίσο με $10^{-3} S/cm$. ($1 mS/cm = 1000 \mu S/cm$)

Στις συνήθεις περιπτώσεις των υπογείων νερών παίρνει τιμές $140 \mu S/cm$ έως $1100 \mu S/cm$. Τα ελαφρά νερά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα έως $400 \mu S/cm$ ενώ τα βαρεια νερά πάνω από $900 \mu S/cm$. Τα υφάλμυρα νερά έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα συνήθως πάνω από $2000 - 3000 \mu S/cm$ έως και $30000 \mu S/cm$.

Στα υπόγεια νερά των υδροφόρων στρωμάτων η ηλεκτρική αγωγιμότητα χρονικά μεταβάλλεται στα ρηχά λίγο, στα βαθιά ελάχιστα έως καθόλου, ενώ χωρικά μπορεί να μεταβάλλεται έως πολύ έντονα επηρεαζόμενη από τη γεωλογική σύσταση και ιδίως από την υφαλμύρωση, ή τα διάφορα κατάλοιπα. Γενικά η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία του νερού (περίπου 2% ανά $1^\circ C$).

Στο σταθμό YA110 οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από $969.7 - 1113.6 \mu S/cm$, ενώ στο σταθμό YA300 από $856.2 - 1527 \mu S/cm$. Γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν τιμές που είναι μεγαλύτερες από τη μέση τιμή αγωγιμότητας των υπογείων νερών, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, οι οποίες ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν

προβλήματα υγείας. Παρακάτω υπάρχουν διαγράμματα διακύμανσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το χρόνο, κατά τη διάρκεια των μηνών Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου, Μαρτίου, Απριλίου, Μαΐου.



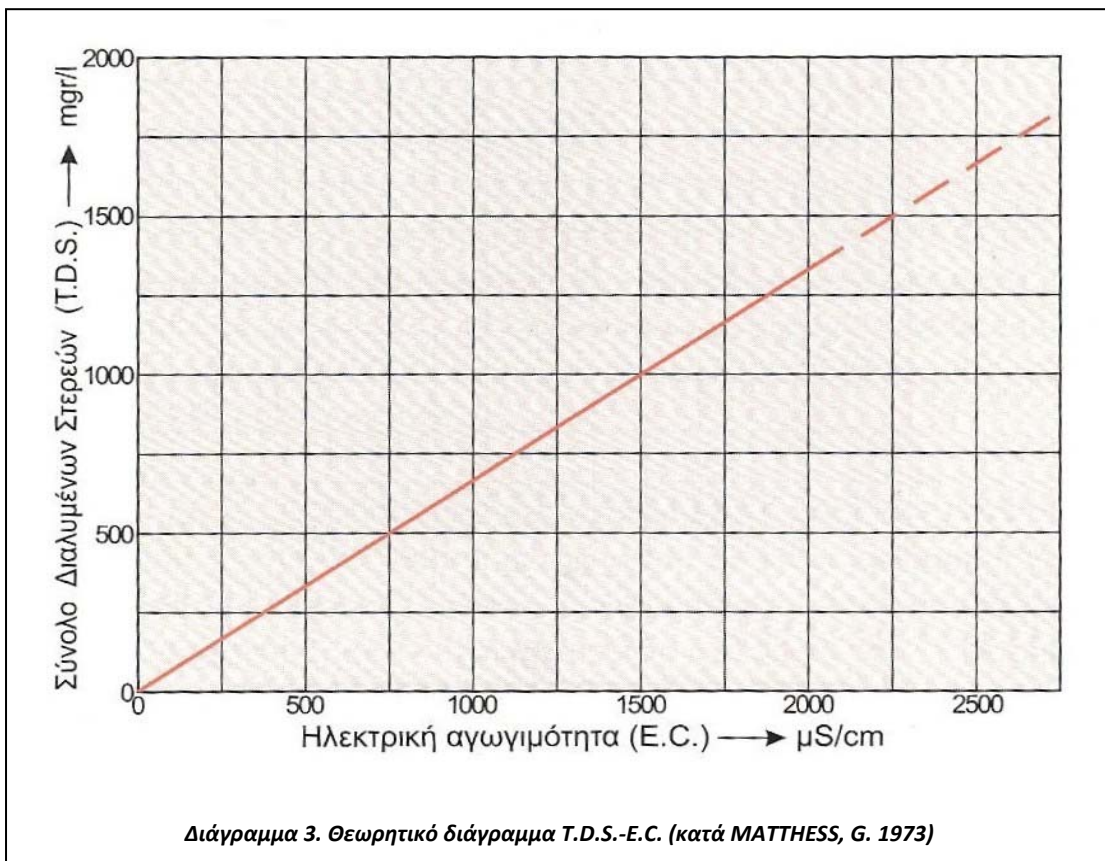
3.2.1.1. ΣΧΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ – T.D.S.

Το T.D.S. (Total Dissolved Solids) εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κolloειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή το T.D.S. αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα με τις σχέσεις:

$$T.D.S. \text{ (ppm)} \sim A \times (EC) \text{ (}\mu\text{S/cm)} \text{ και } T.D.S. \text{ (meq/L)} \sim 0.01 (EC) \text{ (}\mu\text{S/cm)}$$

Ο συντελεστής A παίρνει τις τιμές μεταξύ 0.54- 0.96 (συνήθως δε μεταξύ 0.55-0.76) Σε πολλά ελληνικά και ξενόγλωσσα συγγράμματα αναφέρεται ως $A=0.65$. Κατά τον MATTHESS, G. (1973) αν πολλαπλασιάσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα (σε $\mu\text{S/cm}$) επί 0.65 θα βρούμε την τιμή του T.D.S. σε (mg/L)

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1000 mg/L το νερό είναι **γλυκό** (fresh), μεταξύ 1000-10000 mg/L θεωρείται **υφάλμυρο** (brackish), μεταξύ 10000-100000 mg/L **αλμυρό** (salt or saline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100000 mg/L **υπεραλμυρό** (brine).



3.2.1.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ T.D.S.

Όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο, κατά τον MATTHESS, G. (1973), αν πολλαπλασιάσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα (σε $\mu\text{S}/\text{cm}$) επί 0.65 θα βρούμε την τιμή του T.D.S. σε (mg/L).

Στον **Σταθμό YA110** έχει μετρηθεί ελάχιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας 969.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μέγιστη 1113.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$

$$969.7 \times 0.65 = 629.005 \text{ (mg/L)}$$

$$1113.6 \times 0.65 = 723,84 \text{ (mg/L)}$$

Στον **Σταθμό YA300** έχει μετρηθεί ελάχιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας 856.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μέγιστη 1527 $\mu\text{S}/\text{cm}$

$$856.2 \times 0.65 = 556.53 \text{ (mg/L)}$$

$$1527 \times 0.65 = 992.55 \text{ (mg/L)}$$

Οι τιμές του T.D.S. που υπολογίστηκαν κυμαίνονται μεταξύ 0-1000 (mg/L), οπότε το νερό χαρακτηρίζεται ως **γλυκό** (fresh).

3.2.2. ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ (pH)

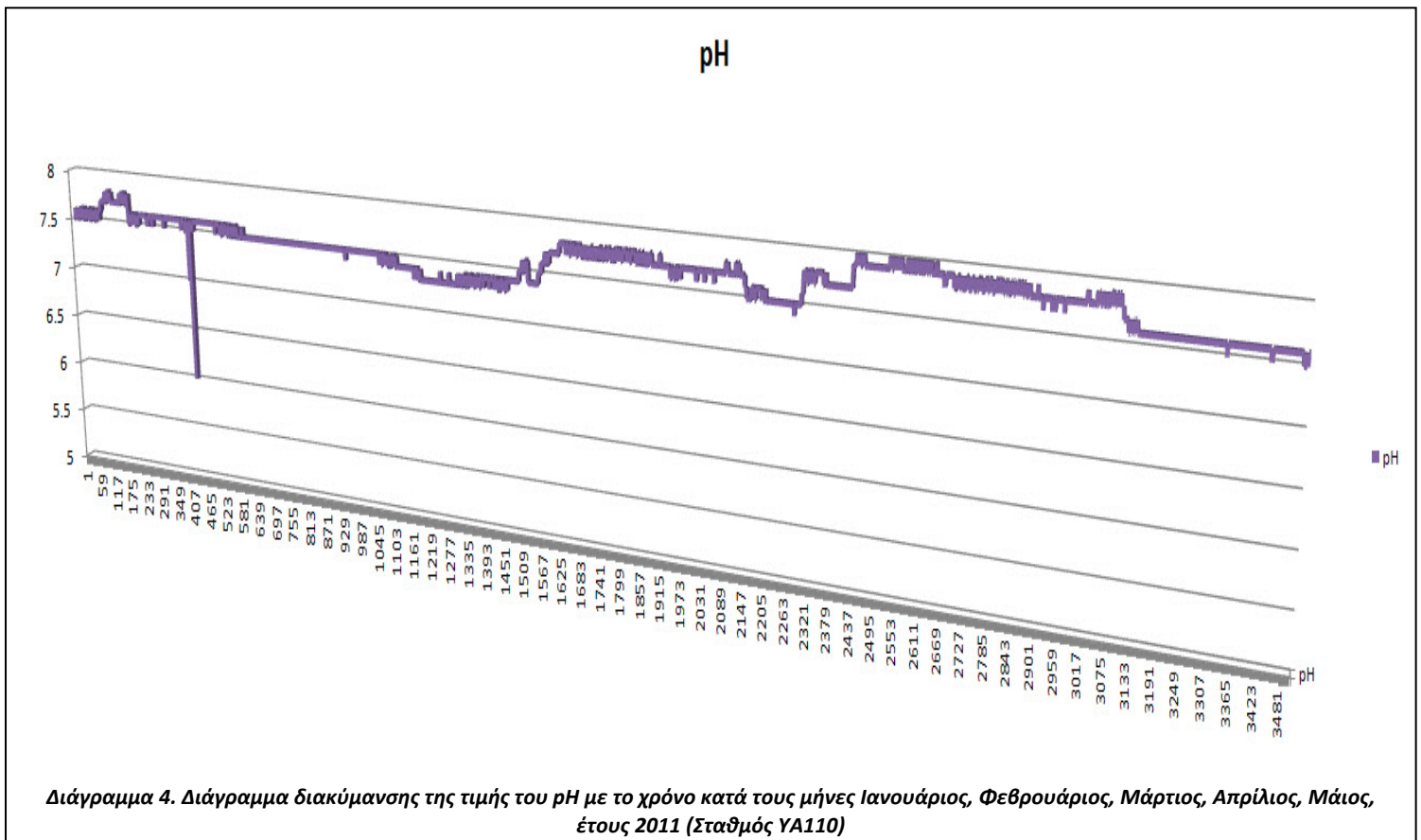
Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλαδή με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Το pH του υπογείου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή το pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από pHs κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το CaCO_3 . Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το CaCO_3 .

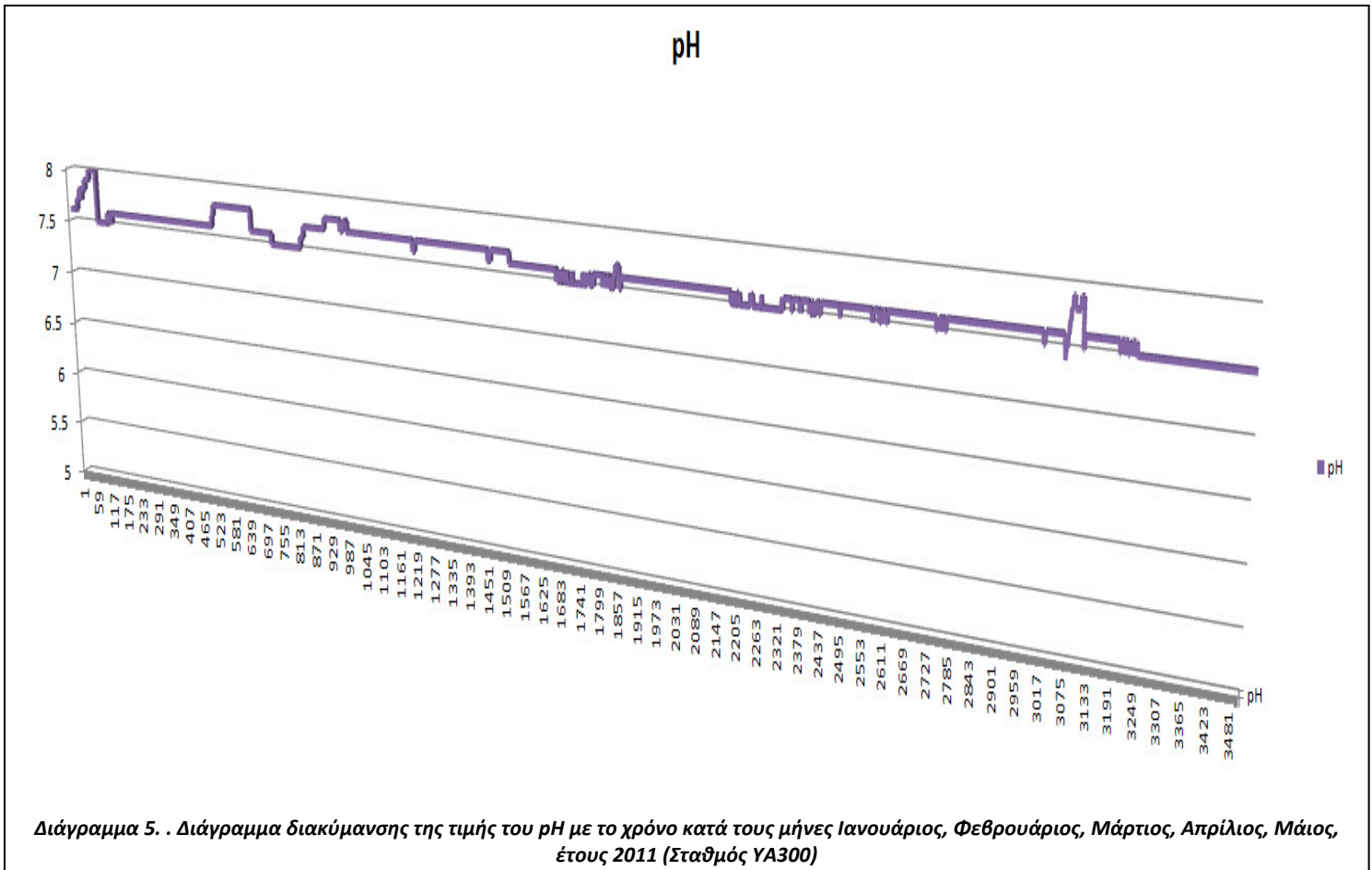
Όταν:

- pH=7 το φυσικό νερό ως διάλυμα είναι **ουδέτερο**
- pH>7 το φυσικό νερό ως διάλυμα είναι **αλκαλικό**
- pH<7 το φυσικό νερό ως διάλυμα είναι **όξινο**

Είναι αυτονόητο ότι τα υπόγεια νερά, ως φυσικά νερά (δηλ. μη χημικώς καθαρά), ανάλογα με την πετρολογική σύσταση των σχηματισμών μέσα στους υδροφορείς στους οποίους φιλοξενούνται και ρέουν, μπορεί να είναι όξινα ή αλκαλικά ή ουδέτερα.

Ανάλογα με τη γεωλογική σύσταση των φιλοξενούντων σχηματισμών, μπορούμε να έχουμε υπόγεια νερά με κλιμακούμενο pH: από **υπεραλκαλικά** (pH έως 11) έως **υπερόξινα** (pH 4.5-5). Στα παρακάτω διαγράμματα διακρίνεται η διακύμανση του pH με τη πάροδο του χρόνου. (Άξονας χ – μετρήσεις με τη πάροδο του χρόνου, Άξονας ψ κλίμακα pH).



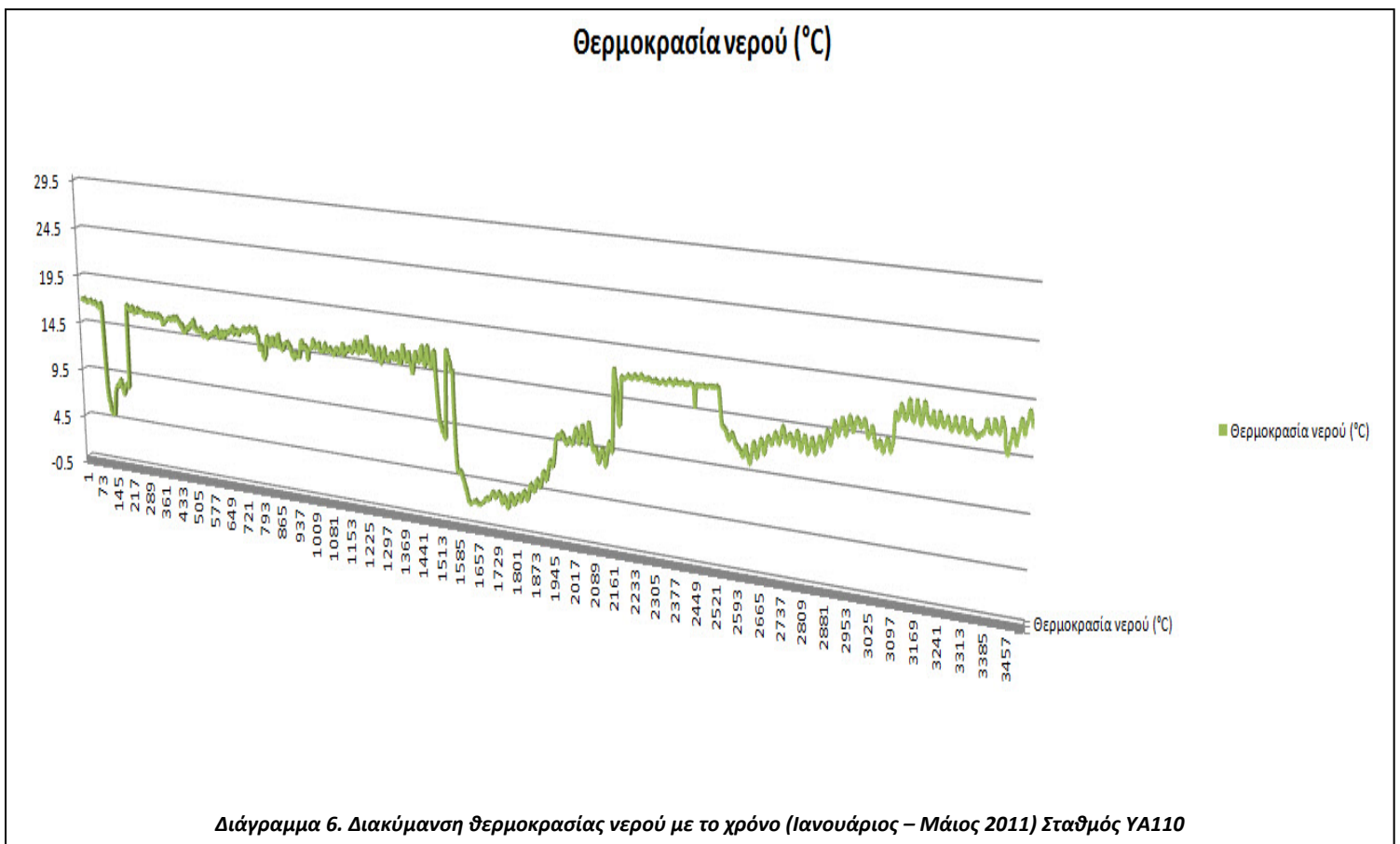


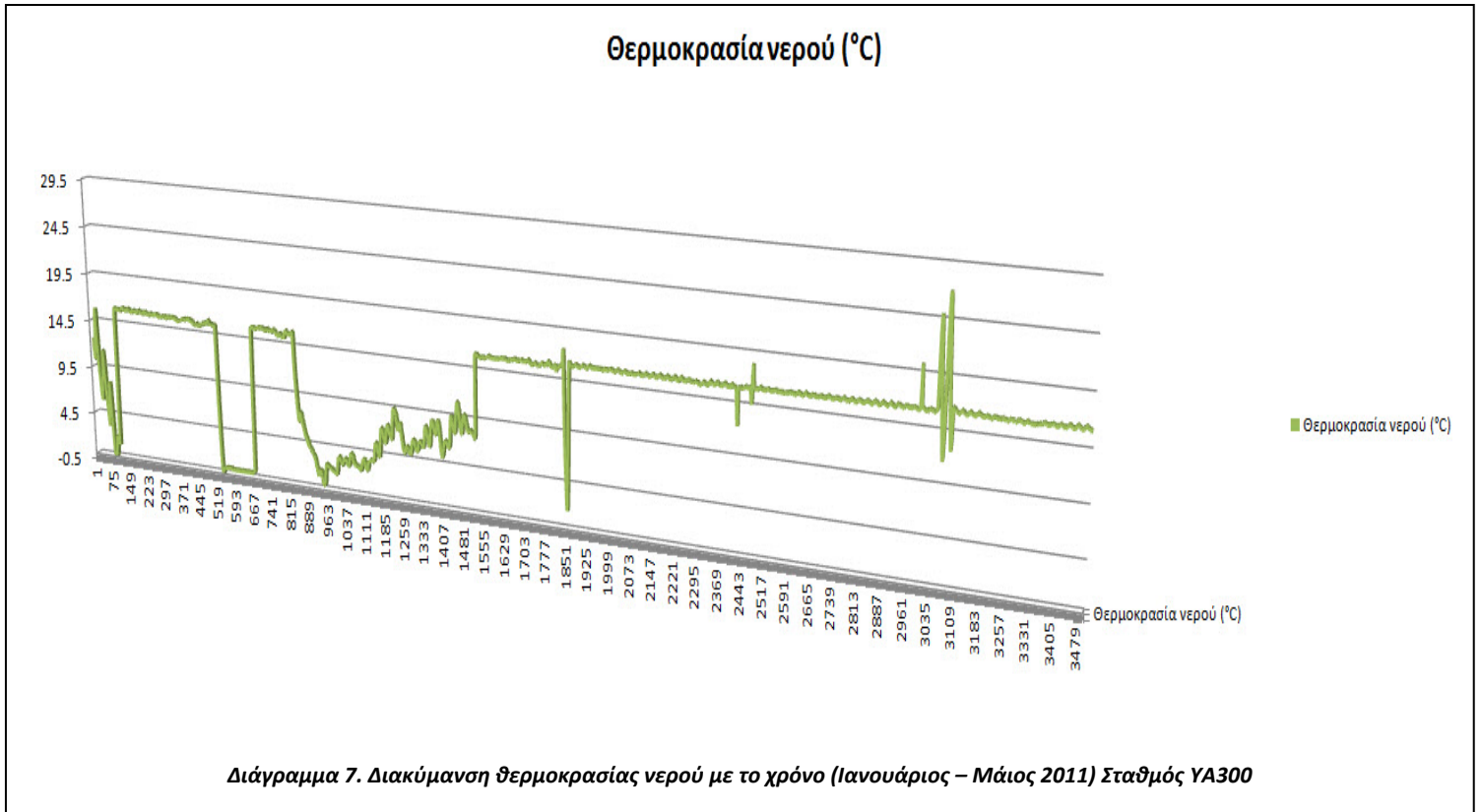
Από το διάγραμμα 4 προκύπτει ότι οι τιμές του pH στο σταθμό YA110 εμφανίζουν μια σταθερότητα και κυμαίνονται από 6 έως 8, με μια μέση τιμή 7. Ομοίως από το διάγραμμα 5 προκύπτει ότι οι τιμές του pH εμφανίζουν μια σταθερότητα και κυμαίνονται από 7.4 έως 8 με μια μέση τιμή 7.7.

3.2.3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ

Η θερμοκρασία των υπογείων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπογείου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπογείου νερού επηρεάζεται από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα. Γενικά το νερό των βαθιών γεωτρήσεων είναι πιο ζεστό από το νερό των αβαθών γεωτρήσεων.

Η τιμή της θερμοκρασίας του νερού που έχει μετρηθεί στο **Σταθμό YA110** κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο κυμαίνεται μεταξύ 1.9°C και 18.7°C . Αντίστοιχα στον **Σταθμό YA300** μεταξύ -0.1°C και 27°C . Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού κατά την ίδια περίοδο (Ιανουάριος – Μάιος). Η μέση θερμοκρασία του νερού κατά την περίοδο αυτή στο **Σταθμό YA110** είναι 10.3°C και στο **Σταθμό YA300** 13.45°C .





ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή εξετάσθηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών της περιοχής Αμυνταίου. Τα υδρολογικά δεδομένα έχουν συγκεντρωθεί από μετρήσεις σε σταθμούς παρακολούθησης υπογείων νερών, ο οποίοι βρίσκονται στο λιγνιτορυχείο Αμυνταίου. Οι μετρήσεις αυτές είναι ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενεργού οξύτητας (pH), θερμοκρασίας νερού. Επίσης από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει υπολογιστεί και το T.D.S. (Total Dissolved Solids). Οι μετρήσεις έχουν παρθεί από δύο σταθμούς παρακολούθησης, τον **Υ.Α.-110** και τον **Υ.Α.-300**.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Οι μετρήσεις από τους σταθμούς παρακολούθησης έδειξαν ότι:

- Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού που έχουν μετρηθεί στο σταθμό ΥΑ110 κυμαίνονται από $969.7 \mu S/cm$ έως και $1113.6 \mu S/cm$ με μέση τιμή $1041.65 \mu S/cm$. Οι αντίστοιχες μετρήσεις από το σταθμό ΥΑ300 έχουν δείξει ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από $856.2 \mu S/cm$ έως και $1527 \mu S/cm$ με μέση τιμή $1191.6 \mu S/cm$. Δηλαδή βγαίνει το συμπέρασμα, ότι στα συγκεκριμένα υπόγεια νερά υπάρχουν αυξημένες ποσότητες αλάτων και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως **βαρεία** νερά.
- Από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο σταθμό παρακολούθησης ΥΑ110, έχει υπολογιστεί ότι το T.D.S. των υπογείων νερών κυμαίνεται από $629.005 mg/L$ έως και $723.84 mg/L$ με ένα μέσο όρο $676.4225 mg/L$. Από τις αντίστοιχες μετρήσεις από το σταθμό ΥΑ300, το T.D.S. κυμαίνεται από $556.53 mg/L$ έως και $992.55 mg/L$ με ένα μέσο όρο $774.54 mg/L$. Οπότε το νερό χαρακτηρίζεται ως **γλυκό** (fresh).
- Από τις μετρήσεις που έχουν γίνει στο σταθμό ΥΑ110, η ενεργός οξύτητα των υπογείων νερών κυμαίνεται από $6 - 8$ με μια μέση τιμή 7 και αντίστοιχα από το σταθμό ΥΑ300 $7.4 - 8$ με μια μέση τιμή 7.7 . Τα υπόγεια νερά θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως **ελαφρά αλκαλικά**.
- Οι τιμές της θερμοκρασίας του νερού που έχουν μετρηθεί στο σταθμό ΥΑ110 κυμαίνονται μεταξύ $1.9^{\circ}C$ και $18.7^{\circ}C$, με μέση τιμή $10.3^{\circ}C$. Αντίστοιχα στον σταθμό ΥΑ300 μεταξύ $-0.1^{\circ}C$ και $27^{\circ}C$, με μέση τιμή $13.45^{\circ}C$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Χ., ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ.Ν., (1970): Οι Λιγνίτες του Νοτίου τμήματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα

ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι.Χ., ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ.Ν., (1972): Γεωλογική και Κοιτασματολογική μελέτη Νοτίου τμήματος λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα

ΒΕΤΟΥΛΗΣ (1951): Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου – Βεγόρας. Υπουργείο Συντονισμού, Υπηρεσία Ερευνών Υπεδάφους

ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ: Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια Νερά & Περιβάλλον, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ. Θεσσαλονίκη

ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Δ., ΔΡ: Υδατικό ισοζύγιο υδρολογικής λεκάνης Βεγορίτιδος σε σχέση με την δραστηριότητα της ΔΕΗ - ΔΕΗ-ΔΜΑΟΡ

ΘΕΟΔΩΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ: Περιβαλλοντικές πιέσεις στο λεκανοπέδιο Αμυνταίου από Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς και Ορυχεία. *ΠΡΟΣΥΝΕΔΡΙΑΚΗ ΕΚΔΗΛΩΣΗ – ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ*

ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, Ν., ΚΩΤΗΣ, Β., ΠΛΟΥΜΙΔΗΣ, Μ., ΜΕΤΑΞΑΣ, Α. (1979): Γεωλογική – Κοιτασματολογική μελέτη λιγνιτικού κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου Ι.Γ.Μ.Ε.

ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, C., ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, N. (1995): Coals of Earth. Distribution, quality, and reserves. European Coal Geology. Geological Society of London, Special Publication, No 82. 171-180. London

ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ, N. (1997): Rare earth elements in volcanic glass. A case study from Trachilas perlite deposit, Greece. *Chemie Der Erde.* 57, 351-362.

MATTHESS, G. (1973): «Die Beschaffenheit des Grundwassers». – Εκδόσεις Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 324 p.

ΜΗΣΙΑΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (2009): Υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής Αμυνταίου – Αετού. Κοζάνη

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ: Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio Press

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ: Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου Ελληνικού χώρου, Τμήμα εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΣΠΥΡΟΣ Β. (1985) - Διδακτορική Διατριβή: Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ.Μακεδονία), Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

ΣΟΥΛΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Χ.: Γενική Υδρογεωλογία - Τέταρτος Τόμος, University Studio Press

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΕΗ Α.Ε. – Βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, <http://www.dei.gr/>

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ – Χάρτης διαχειριστικών λεκανών υδατικού Διαμερίσματος
Δυτικής Μακεδονίας.

[http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

[08%29Diavoulefsi diahiristikon %20ypan/%2808-08-](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

[08%29Diavoulefsi diahiristikon YPAN/diavouleusi 1.htm](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

[http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

[08%29Diavoulefsi diahiristikon %20ypan/%2808-08-](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

[08%29Diavoulefsi diahiristikon YPAN/diavouleusi 1.htm](http://www.ypan.gr/docs/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20ypan/%2808-08-08%29Diavoulefsi%20diahiristikon%20YPAN/diavouleusi%201.htm)

WIKIPEDIA - <http://www.wikipedia.org> : Βικιπαίδεια, μία διεθνής, ελεύθερου περιεχομένου, εξελισσόμενη δια συνεργασίας εγκυκλοπαίδεια.