



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΛΕΩΝΙΔΑΣ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑΣ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΙΩΝ
ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022



[κενή σελίδα]



ΛΕΩΝΙΔΑΣ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5659

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.



© Λεωνίδας – Παναγιώτης Α. Παναγούλιας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΙΩΝ ΠΟΥ
ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ
Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

© Leonidas – Panagiotis A. Panagoulas, School of Geology, Aristotle University
Dept. of Structural, Historical & Applied Geology
All rights reserved.

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE CAUSES OF LAND
SUBSIDENCES IN THE AMYNTAIO AREA
Bachelor Thesis

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

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



Λέξεις κλειδιά: *Ελλειμματικό ισοζύγιο, Υδροφορέας, Υπεραντλήσεις, Πτώση στάθμης, Συμπίεστικότητα, Καθιζήσεις, Εδαφικές ρωγμές*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο έρευνας της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση των αιτίων των καθιζήσεων – εδαφικών ρωγμών στην περιοχή Αμυνταίου Φλώρινας και συγκεκριμένα στην περιοχή του οικισμού Βαλτόνερων-Φανού-Αναργύρων. Για τον σκοπό αυτόν συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν τα γεωλογικά, υδρολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Οι οικισμοί Βαλτόνερα και Φανός είναι θεμελιωμένοι σε αλλουβιακές αποθέσεις που υπέρκεινται των γεωλογικών στρωμάτων του σχηματισμού Περδίκια. Ο σχηματισμός του Περδίκια, εμφανίζει υψηλές μέσες τιμές του δείκτη συμπίεστικότητας και ως εκ τούτου ο σχηματισμός είναι επιδεκτικός σε φαινόμενα καθιζήσεων σε περιοχές πτώσης στάθμης του υπόγειου νερού.

Στην περιοχή Αμυνταίου λειτούργησε την περίοδο 1993-2020 λιγνιτορυχείο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Μεταξύ των οικισμών και του ορυχείου καταγράφεται σημαντική πτώση στάθμης του υπόγειου νερού, που υπερβαίνει τα 70 μέτρα, μετά την έναρξη των αντλήσεων για την αποστράγγιση του ορυχείου.

Συμπερασματικά προέκυψε ότι η απότομη και μεγάλη πτώση στάθμης του υπόγειου νερού σε συνδυασμό με την επιδεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής στη συμπίεστικότητα είναι το αίτιο των εδαφικών καθιζήσεων και των ρωγμών που εμφανίστηκαν στα κτήρια του οικισμού Βαλτόνερων.

ENGLISH SUMMARY

The main object of the dissertation is to analyze and investigate the causes of land subsidences in the wider area of Amyntaio located near Florina and specifically the villages Valtонера, Fanos, Anargyroi. For this reason, all geological, hydrogeological, and hydrological factors of the area were collected and studied. The settlements of Valtонера and Fanos are based on alluvial deposits that transcend the geological layers of the Perdika formation. The formation of Perdika, shows high average values of the compressibility index, as a result the formation is susceptible to subsidence in areas that water table drops. In the area of Amyntaio, a lignite mine was operated in the period between 1993 and 2020 for the production of electricity. Due to the pumping of the mine for its drainage, there is a significant ground water level drop between the mine and the settlements that in many cases it can reach 70m. It was concluded that the continuous and large scale drop in groundwater level in combination with the susceptibility of geological formations in the area to compression, are the causes of land subsidences and cracks that occurred in the buildings of the settlement Valtонера.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη συγγραφή της προπτυχιακής διπλωματικής αυτής εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου, στο Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Απόστολο και Αντωνία και τους συγγενείς μου για την στήριξη και τα εφόδια που μου παρείχαν σε όλα τα μαθητικά και έπειτα χρόνια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον καθηγητή μου, Κωνσταντίνο Βουδούρη για την ανάθεση της πτυχιακής αυτής εργασίας, την συμβολή του στην ολοκλήρωση της, καθώς και για την γενική καθοδήγηση στα θέματα της σχολής.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές και διδακτικό προσωπικό του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ, για όλες τις πολύτιμες γνώσεις που απέκτησα στα χρόνια φοίτησής μου.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

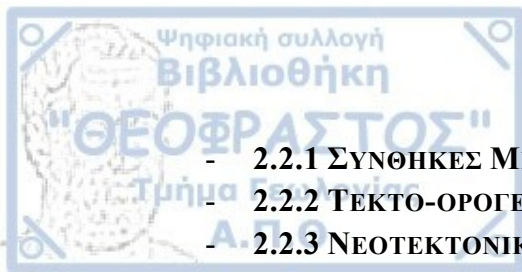
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
----------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	2
1.2 ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ, ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	3
1.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....	4
- 1.3.1	
ΓΕΩΡΓΙΑ.....	4
- 1.3.2	
ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ.....	5
- 1.3.3	
ΑΛΙΕΙΑ.....	5
- 1.3.4	
ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	5
- 1.3.5	
ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ.....	5
1.4 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	6
- 1.4.1 ΧΛΩΡΙΔΑ.....	6
- 1.4.2 ΠΑΝΙΔΑ.....	6
1.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	7
- 1.5.1 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	7
- 1.5.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	8
- 1.5.3 ΟΜΒΡΟΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ.....	9
- 1.5.4 ΆΝΕΜΟΣ.....	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	10
- 2.1.1 ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΕΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	11
- 2.1.2 ΓΝΕΥΣΙΩΜΕΝΟΙ ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΕΣ.....	11
- 2.1.3 ΠΕΡΜΟΤΡΙΑΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ.....	11
- 2.1.4 ΑΝΘΡΑΚΙΚΑΚΑΛΥΜΜΑΤΑ ΤΡΙΑΔΙΚΟΥ – ΙΟΥΡΑΣΙΚΟΥ.....	12
- 2.1.5 ΟΦΕΙΟΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΟΔΑ ΙΖΗΜΑΤΑ.....	12
- 2.1.6 ΕΠΙΚΛΥΣΙΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ.....	12
- 2.1.7 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	13
2.2 ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	16



- 2.2.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	16	
- 2.2.2 ΤΕΚΤΟ-ΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	16	
- 2.2.3 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	17	
2.3 ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΚΑ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	19	
2.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	20	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ		
3.1		
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	22	
3.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	22	
- 3.2.1 ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	24	
- 3.2.2 ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	24	
- 3.2.3 ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	25	
3.3 ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ.....	25	
3.4 ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ..	26	
3.5 ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ.....	27	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ		
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	30	
4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ.....	31	
4.3 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΡΩΓΜΩΣΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	33	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		35
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....		37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		48

Στο πλαίσιο της προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, εκπονήθηκε η παρούσα εργασία με τίτλο «Υδρογεωλογική έρευνα για την διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν καθιζήσεις στην περιοχή Αμυνταίου».

Αρχικά γίνεται αναφορά σε όλους τους γεωλογικούς, υδρολογικούς, σεισμικούς-τεκτονικούς και κλιματικούς παράγοντες που έχουν διαμορφώσει την ευρύτερη περιοχή μελέτης, καθώς και σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη και ευημερία της περιοχής, καθιερώνοντάς την, ως ένα από τα μεγαλύτερα ενεργειακά κέντρα της χώρας. Ιδιαίτερη, έμφαση θα δοθεί στην κατανόηση και ανάπτυξη του φαινομένου των καθιζήσεων, στα αίτια δημιουργίας του, στην άμεση σχέση του φαινομένου με το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής, τις υπεραντλήσεις, την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού, την ποιοτική υποβάθμισή του, και τέλος, τις επιπτώσεις που έχει στο φυσικό περιβάλλον αλλά και στον άνθρωπο.

Οι εδαφικές ρωγμές – καθιζήσεις, είναι φαινόμενο που εμφανίζεται σε πολλές θέσεις ανά τον κόσμο, οι παράγοντες που το επηρεάζουν, είναι κυρίως γεωλογικοί, υδρογεωλογικοί και σε συνδυασμό πολλές φορές με τη μη ορθολογική διαχείριση των υδατικών συστημάτων, δυσχεραίνουν την κατάσταση. Ενδεικτικά, σε παγκόσμια κλίμακα φαινόμενα καθιζήσεων εντοπίζονται, στην πόλη του Μεξικού, Στην περιοχή Hangzhou-Jiaxing-Huzhou, στη Βόρεια Jakarta, στην Αριζόνα, κ.α. Παράλληλα, η εξέλιξη της κοινωνίας και η αύξηση του πληθυσμού έχει αυξήσει τις υδρευτικές – αρδευτικές ανάγκες σε συνδυασμό με την κατασκευή πολλαπλών τεχνικών έργων, ορυχείων και την κλιματική κρίση καθιστούν το πρόβλημα των καθιζήσεων και την αντιμετώπισή του ιδιαίτερα επιτακτική.

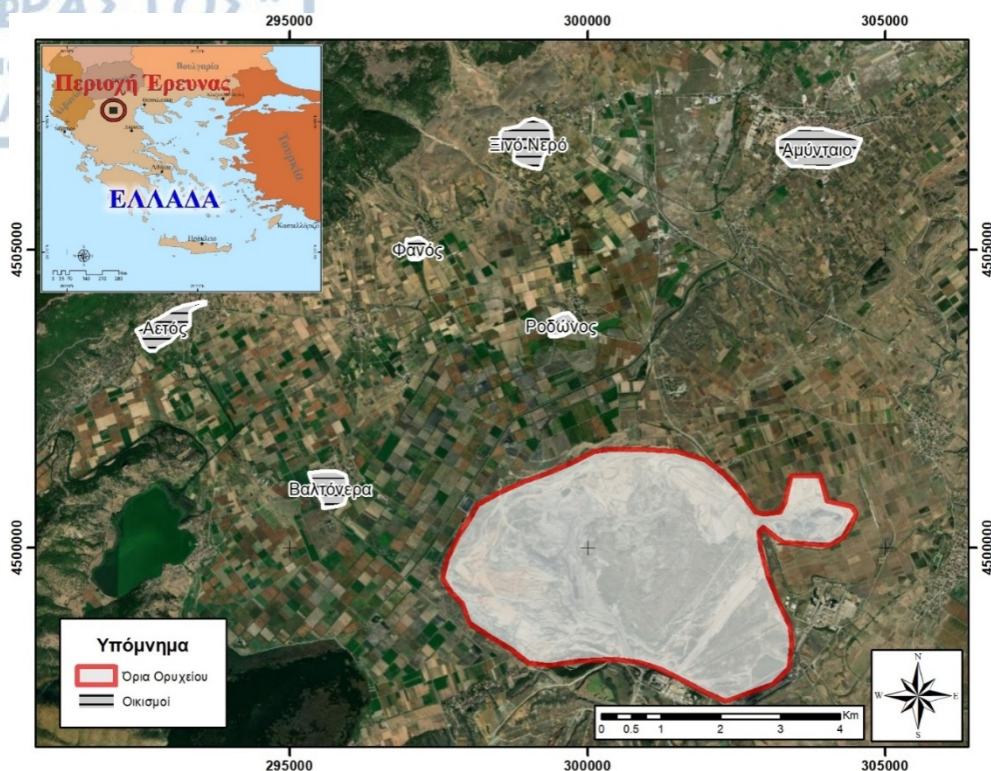
Στην ευρύτερη περιοχή του Αμυνταίου και ιδιαίτερα στα χωριά Βαλτόνερα, Φανός, Ανάργυροι από το 1970 αρχίζουν οι καταγραφές των υδρολογικών συνθηκών με την διάνοιξη πολλών γεωτρήσεων. Η διακύμανση της στάθμης και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ήταν φυσιολογικά με τις αναμενόμενες εποχιακές μεταβολές. Τις τελευταίες δεκαετίες και κυρίως στις αρχές του 2000(έναρξη λειτουργίας λιγνιτωρυχείου στα μέσα της δεκαετίας του 1990) μέχρι περίπου το 2007-2008 παρατηρήθηκαν ασυνήθιστες μεταβολές στις στάθμες των γεωτρήσεων (μεγάλη πτώση) με παράλληλη εμφάνιση καθιζήσεων και εδαφικών ρωγμών που προκλήθηκαν από υπεραντλήσεις υπόγειων υδάτων, επιφέροντας σημαντικά προβλήματα ευστάθειας στα κτήρια της περιοχής και κινδύνους για την ακεραιότητα των κατοίκων. Τα προβλήματα αυτά είναι εμφανή και σήμερα(ίσως με μια μικρή βελτίωση, λόγω διακοπής των υπεραντλήσεων), ενώ για μελλοντικές προβλέψεις και το πώς θα εξελιχτεί το φαινόμενο κρίνεται απαραίτητη περαιτέρω μελέτη.

Κεφάλαιο 1.Περιοχή μελέτης

1.1 Θέση περιοχής

Η περιοχή του Αμυνταίου εντοπίζεται στην Δυτική Μακεδονία κοντά στις λίμνες Πετρών και Βεγορίτιδας σε απόσταση 33 Km από την πόλη της Φλώρινας με περίπου 3.636 κατοίκους και υπάγεται στον Νομό Φλώρινας. Ο νομός έχει πρωτεύουσα την ομώνυμη πόλη, πληθυσμό σύμφωνα με την απογραφή του 2001 περί τους 54.768 κατοίκους και συνολική έκταση 1.924 Km². Η περιοχή συνορεύει στο Βορρά με το κράτος της Βόρειας Μακεδονίας και Δυτικά με την Αλβανία, ενώ στην Ελλάδα με τους νομούς Κοζάνης, Πέλλας και Καστοριάς. Μορφολογικά εμφανίζονται έντονες εναλλαγές μεταξύ ορεινού, ημιορεινού και πεδινού τύπου με τέσσερις κύριους ορεινούς όγκους και μέγιστο υψόμετρο τα 2.524 m, ενώ στα πεδινά τμήματα της λεκάνης, εμφανίζονται έξι φυσικές λίμνες με προστατευόμενη πανίδα και χλωρίδα σύμφωνα με το πρόγραμμα NATURA 2000. Αναλυτικότερα οι ορεινοί αυτοί όγκοι διαρθρώνονται ως εξής: Ο **Βαρνούντας** που ξεκινάει στην πόλη της Φλώρινας και εκτείνεται πέρα των συνόρων με την Βόρεια Μακεδονία ,αποτελεί το φυσικό όριο μεταξύ της λεκάνης της Φλώρινας και των Πρεσπών. Το **Βέρνο** είναι όριο του νομού Φλώρινας με τον νομό Καστοριάς, με το Βίτσι να αποτελεί την ψηλότερη κορυφή και υψόμετρο τα 2.128 m. Ο **Βόρας** ή πιο γνωστός ως Καϊμακτσαλάν, αποτελεί το τρίτο ψηλότερο βουνό της Ελλάδας με την κορυφή του, να εμφανίζει το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής τα 2.524 m, και οριοθετεί τους νομούς Φλώρινας και Πέλλας.

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στις κοινότητες Βαλτόνερων, Αναργύρων ,και Φανού του Δήμου Αμυνταίου, ΝΔ της κομόπολης του Αμυνταίου και ΒΔ της πόλης της Πτολεμαΐδας. Στα Ανατολικά των χωριών Βαλτόνερα και Ανάργυροι λειτουργούσε μέχρι τον Μάιο του 2020 ο ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Αμυνταίου, ενώ ανάμεσα στα χωρία και τον ΑΗΣ υπάρχει μεγάλο λιγνιτωρυχείο, με έντονα προβλήματα ευστάθειας και αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον και την ευρύτερη περιοχή.



Σχήμα 1.1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής Αμυνταίου απεικόνιση GoogleEarth (Βουδούρης κ.ά., 2022).

1.2 Αρχαιολογικά ευρήματα, ιστορική αναδρομή

Από τις αρχαιολογικές έρευνες στην περιοχή έχουν εντοπιστεί σημαντικές προϊστορικές θέσεις, κυρίως γύρω από τις λίμνες της περιοχής (Βεγόρα, Βαλτόνερα, Λιμνοχώρι, Φιλώτας, κ.λπ.). Σύμφωνα με τα ευρήματα πιστοποιείται η ανθρώπινη παρουσία από τη Νεολιθική εποχή, η οποία κυρίως περιορίζεται σε μικρές κοινότητες, με την ασχολία των ανθρώπων να περιλαμβάνει γεωργία, κτηνοτροφία και αλιεία. Ο φυσικός πλούτος της περιοχής αλλά και η γεωγραφική της θέση συνέβαλαν στην εξέλιξη και ευημερία των κατοίκων, και στις επόμενες χιλιετίες, με ιδιαίτερη ανάπτυξη στην εποχή του Χαλκού. Αργότερα, κατά την πρώιμη εποχή του Σιδήρου, από τα ευρήματα γίνεται αντιληπτό, ότι οι ανθρώπινες κοινωνίες της περιοχής, με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη του ανθρώπου εμφανίζουν κάποιο είδος κοινωνικού διαχωρισμού, καθώς στα οργανωμένα νεκροταφεία της εποχής στον Αγ. Παντελεήμονα και τον Αετό, εντοπίζονται ταφές με τιμές και πολύτιμα αντικείμενα. Την περίοδο αυτή οι εντάσεις και ο ανταγωνισμός μεταξύ γειτονικών κοινοτήτων έχει οδηγήσει στην οχύρωση πολλών περιοχών, με την περιοχή να εκτιμάται ότι αποτέλεσε το κέντρο ενός πρώιμου βασιλείου.

Κατά την περίοδο του Φιλίππου του Β' η περιοχή εντάσσεται στο Μακεδονικό κράτος, ενώ στη συνέχεια κατά τα χρόνια του Μεγάλου Αλεξάνδρου, έχει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση της αυτοκρατορίας.

Ιδιαίτερη σημασία φαίνεται πως απέκτησε η περιοχή κατά τον 2^ο αιώνα π.Χ., στις απαρχές της ρωμαϊκής κυριαρχίας, καθώς από νωρίς έγινε αντιληπτή στους ηγεμόνες

η στρατηγική σημασία της θέσης, ως δρόμος για την Δυτική Βαλκανική χερσόνησο. Η σημαντικότητα της περιοχής κατά την περίοδο αυτή επιβεβαιώνεται και από το γεγονός, ότι μέρος της, διασχίζεται από την Εγνατία οδό που σύμφωνα με χάρτες και ευρήματα εντοπίζεται κοντά στην Βεγορίτιδα. Η Εγνατία οδός που εκτείνονταν από την Κωνσταντινούπολη μέχρι την Αδριατική, αποτέλεσε μέσο ανταλλαγής αγαθών και ιδεών, αλλά και δρόμο για τις εκστρατείες της τότε αυτοκρατορίας.

Από τις αρχές του 6^{ου} και στη διάρκεια των επόμενων αιώνων στην περιοχή εμφανίζονται και εξελίσσονται σταδιακά και διάφορα σλαβικά φύλλα που αλληλεπιδρούν με τον ντόπιο πληθυσμό. Από τον 9^ο αιώνα και την ίδρυση του Βουλγαρικού κράτους η περιοχή γίνεται πεδίο εντάσεων και διαμαχών, η εξουσία της, αλλάζει πολλές φορές χέρια, κατά την διάρκεια του 10-11^{ου} αιώνα, μέχρι την τελική προσάρτηση της στην Οθωμανική αυτοκρατορία, στα μέσα του 14^{ου} αιώνα.

Με την πάροδο του χρόνου και την αποδυνάμωση της Τουρκικής κυριαρχίας η περιοχή έγινε για ακόμα μια φορά αντικείμενο διαμάχης, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα Βούλγαροι, Έλληνες και Τούρκοι μάχονται για την επικράτηση στην περιοχή. Τελικά, η περιοχή προσαρτιέται στο τότε ελληνικό κράτος μετά την μάχη του Σόροβιτς (22-24 Οκτωβρίου 1912), κατά τον Α' Βαλκανικό πόλεμο, όπου ο ελληνικός στρατός κατατρόπωσε τον Οθωμανικό.

Μετά την Μικρασιατική καταστροφή το 1922 στην περιοχή εγκαθίστανται οι κάτοικοι του Πόντου και η περιοχή γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη. Στην ευημερία της περιοχής κομβικό ρόλο έχουν οι λίμνες, τα εύφορα εδάφη, αλλά και η προϋπάρχουσα σιδηροδρομική γραμμή που συμβάλλει στη διακίνηση των αγαθών, μετατρέποντας το λεκανοπέδιο σε εμπορικό κέντρο της Δυτικής Μακεδονίας.

1.3 Χρήσεις γης, οικονομία

1.3.1 Γεωργία

Στην περιοχή επικρατούν οι αροτραίες καλλιέργειες, με κυρίαρχα τα σιτηρά κυρίως σιτάρι και κριθάρι, ενώ σε μικρότερο ποσοστό καλαμπόκι, ηλιόσποροι, τα ζαχαρότευτλα και η μηδική. Εκτός όμως από τα παραπάνω στην έκταση του δήμου Αμυνταίου η ποικιλία των καλλιεργειών είναι ευρεία, καθώς μερικές από τις κοινότητες έχουν δικά τους προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα στο Βαρικό επικρατούν οι βέργες και τα φασόλια, κοντά στη λίμνη Βεγόρα τα σπαράγγια, τα κρεμμύδια στις Πέτρες, στην περιοχή του Αετού οι πιπεριές, ενώ στο Σκλήθρο οι πατάτες.

Ειδικότερα η περιοχή φημίζεται για τις αμπελοκαλλιέργειες της, τέτοιου είδους καλλιέργειες συναντώνται σε ζώνη ενδιάμεσα στις λίμνες Πετρών και Βεγορίτιδα, με τον διαχωρισμό σε τρεις υποζώνες με σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η πρώτη περιοχή κοντά στις όχθες της λίμνης Πετρών και σε χαμηλό υψόμετρο είναι κατάλληλη για την παραγωγή λευκών και ροζέ οίνων. Σε ενδιάμεσο υψόμετρο η περιοχή θεωρείται ικανή να φιλοξενήσει καλλιέργειες οίνου παντός τύπου, ενώ στα

υψηλότερα σημεία σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη με κλίσεις, ενδείκνυται για την παραγωγή ερυθρών οίνων άριστης ποιότητας.

Τα χαρακτηριστικά των προϊόντων αλλά και η μοναδική γεύση τους, έχει πιστοποιήσει την περιοχή ως ζώνη ονομασίας προέλευσης ανώτερης ποιότητας κρασιού Αμυνταίου (Ο.Π.Α.Π). Η κύρια ποικιλία της περιοχής είναι το Ξινόμαυρο.

1.3.2 Κτηνοτροφία

Εκτός, από την γεωργία και την αμπελουργία σημαντικός παράγοντας της τοπικής οικονομίας είναι και η κτηνοτροφία η οποία επικεντρώνεται στην εκτροφή βοοειδών, ενώ σημαντικός είναι και ο αριθμός των προβάτων και των αιγών, που συναντώνται κυρίως στους ορεινούς οικισμούς της ευρύτερης περιοχής. Το μεγαλύτερο ποσοστό γάλακτος που παράγεται στην περιοχή προέρχεται από τα βοοειδή, ενώ σημαντική είναι η ποσότητα πρόβειου και κατσικίσιου γάλακτος. Τέλος, είναι σημαντικό να τονισθεί ότι στην περιοχή εδρεύει η γαλακτοβιομηχανία ΦΑΓΕ.

1.3.3 Αλιεία

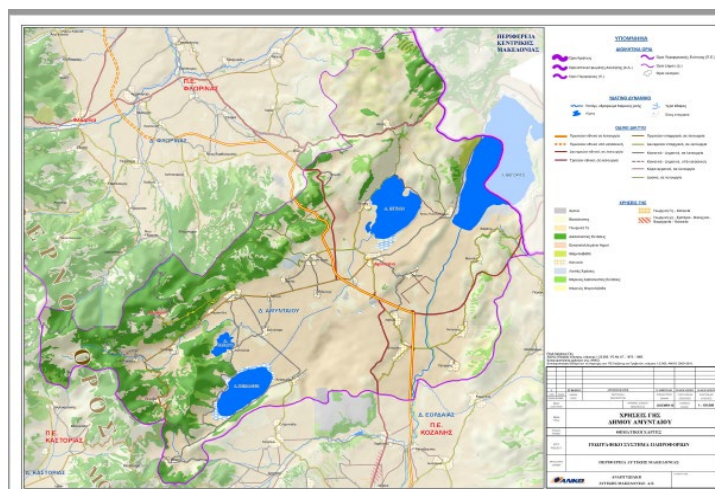
Αν και το ψάρεμα σε προγενέστερες περιόδους αποτέλεσε σημαντική ενασχόληση των κατοίκων των παραλίμνιων περιοχών, με ιδιαίτερη ανάπτυξη στους οικισμούς του Αγ. Παντελεήμονα και Πετρών, στην σημερινή εποχή αποτελεί ξεπερασμένη ενασχόληση, καθώς ο αριθμός των ψαριών έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό, εμποδίζοντας τους νέους να το ακολουθήσουν ως κύριο επάγγελμα. Πλέον οι περισσότεροι ψαράδες είναι μεγάλης ηλικίας και το ψάρεμα αποτελεί συμπληρωματικό εισόδημα. Από τα ψάρια σημαντικότερο στην περιοχή θεωρείται το γριβάδι.

1.3.4 Ενέργεια

Η εξορυκτική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε τις περασμένες δεκαετίες στον δήμο Αμυνταίου, είχε σκοπό την αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων που εντοπίζονται κατά μήκος της τεκτονικής τάφρου Μοναστηρίου – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας – Σερβίων, κοίτασμα που υπολογίζεται κοντά στους 450 εκατομμύρια τόνους. Στην περιοχή δραστηριοποιούνταν μέχρι πρότινος (Μάιος του 2020) μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την ονομασία ΑΗΣ Αμυνταίου – Φιλώτα. Η εξορυκτική δραστηριότητα και η λειτουργία των μονάδων της ΔΕΗ, δημιούργησε νέες θέσεις εργασίας για τους κατοίκους, οικιστική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής αλλά και δυσμενής επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Με βάση το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος, ΕΣΕΚ, με στόχο την απολιγνιτοποίηση της χώρας μέχρι το 2028 η περιοχή έχει εισέλθει σε μεταβατικό στάδιο, με τη σταδιακή διακοπή της λειτουργίας των μονάδων και των ορυχείων. Τέλος, να σημειωθεί ότι, στην περιοχή λειτουργεί μονάδα τηλεθέρμανσης.

1.3.5 Τουρισμός

Στα πλαίσια του εναλλακτικού τουρισμού που άνθισε τα τελευταία 15 με 20 χρόνια στην Ελλάδα, ιδιαίτερη ήταν και η τουριστική ανάπτυξη της περιοχής με επίκεντρο το Νυμφαίο. Για την κάλυψη των αναγκών των επισκεπτών, έχουν δημιουργηθεί ορειβατικά, πεζοπορικά και περιπατητικά μονοπάτια και χώροι αναψυχής. Παράλληλα όλοι οι παραδοσιακοί οικισμοί της γύρω περιοχής δέχονται σημαντικό ποσοστό επισκεπτών, εξαιτίας της πλεονεκτικής θέσης τους, να συνδυάζουν τόσο το ορεινό-ημιορεινό τοπίο με την πεδιάδα και τις λίμνες. Στον Δήμο Αμυνταίου υπάρχουν διαθέσιμες παραπάνω από 400 κλίνες, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν πολλοί χώροι εστίασης, σωματεία παραγωγής και πώλησης τοπικών προϊόντων, οινοποιεία, αλλά και η μη κερδοσκοπική οργάνωση προστασίας άγριων ζώων ΑΡΚΤΟΥΡΟΣ.



Σχήμα 1.2: Χάρτης χρήσεων γης Δήμου Αμυνταίου (ANKO, 2013).

1.4 Φυσικό περιβάλλον

1.4.1 Χλωρίδα

Με βάση το σχέδιο NATURA 2000 για τις λίμνες της περιοχής, έχει καταγραφεί σημαντικός αριθμός ειδών και υποειδών που ξεπερνούν τις 664 ομάδες, αριθμός που υποδηλώνει σημαντική ποικιλομορφία. Τα είδη χαρακτηρίζονται κυρίως Μεσογειακά σε ποσοστό περίπου 33%, σε ποσοστό 26,7% αποτελούνται από Ευρασιατικά, ενώ σημαντικό μέρος καταλαμβάνουν ενδημικά και σπάνια είδη. Όσον αφορά τα δάση του Δήμου Αμυνταίου, στα όρη Βέρνο και Βόρας κυριαρχούν η βελανιδιά, η οξιά, η καστανιά, το πεύκο, οι λειμώνες, οι αλκαλικοί τυρφώνες, βοσκοτόπια και αλπικά λιβάδια.

1.4.2 Πανίδα

Η πανίδα της ευρύτερης περιοχής του δήμου Αμυνταίου εμφανίζει μεγάλη ποικιλία και ενδιαφέρον, καθώς πολλά από τα είδη που συναντώνται στην περιοχή βρίσκονται υπό εξαφάνιση. Πιο συγκεκριμένα, από τα θηλαστικά στην περιοχή έχουν

καταγραφεί τα εξής ο Σκαντζόχοιρος, ο Λαγόγυρος, ο Λύκος, η Αλεπού, η Αρκούδα, η Νυφίτσα, το Κουνάβι, ο Ασβός, η Βίδρα και η Αγριόγατα. Ανάμεσα στα πτηνά της περιοχής ξεχωρίζουν η Λαγγόνα και η Νανόχηνα, καθώς η περιοχή αποτελεί μία από τις τρεις θέσεις αναπαραγωγής των πτηνών αυτών σε ολόκληρη την Ευρώπη και έχει τεθεί υπό προστασία.

1.5 Κλιματικά στοιχεία

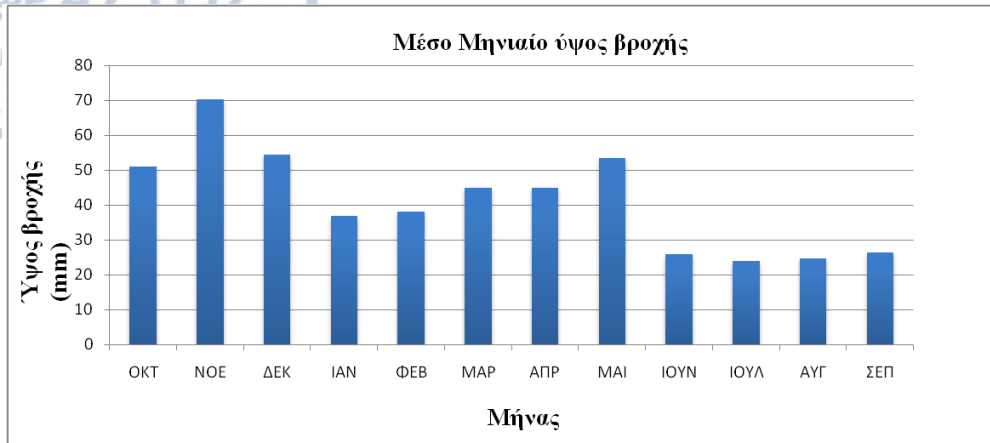
1.5.1 Βροχόπτωση

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό κλίμα. Τον χειμώνα κυριαρχούν χαμηλές θερμοκρασίες, που συνοδεύονται από έντονα καιρικά φαινόμενα και χιονοπτώσεις. Το φθινόπωρο επικρατούν οι βροχοπτώσεις, ενώ τα καλοκαίρια είναι ζεστά στις χαμηλές σε υψόμετρο περιοχές, με την θερμοκρασία να μειώνεται προς τις ανώτερα υψομετρικά περιοχές. Γενικότερα, ο νομός της Φλώρινας έχει το ψυχρότερο κλίμα στην Ελλάδα, λόγω της ηπειρωτικής θέσης της, και του υψομέτρου, η περιοχή έχει μέση θερμοκρασία 12 °C, η μέγιστη καταγραφή θερμοκρασίας αγγίζει τους 40,8 °C και η ελάχιστη τους -32 °C.

Για τη μελέτη των κλιματικών στοιχείων πάρθηκαν δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό Λιμνοχωρίου, η χρονοσειρά περιλαμβάνει τα έτη από το 1959 ως το 2002. Αναλυτικά, τα δεδομένα της βροχόπτωσης παρουσιάζονται στο **σχήμα 1.5.1** και στο **σχήμα 1.5.2**. Από τις παρατηρήσεις προκύπτει ότι ο Νοέμβριος είναι ο πιο βροχερός μήνας με μέση τιμή περίπου 70mm, ενώ ο μήνας με τις λιγότερες βροχές είναι ο Ιούλιος με περίπου 24mm βροχής.



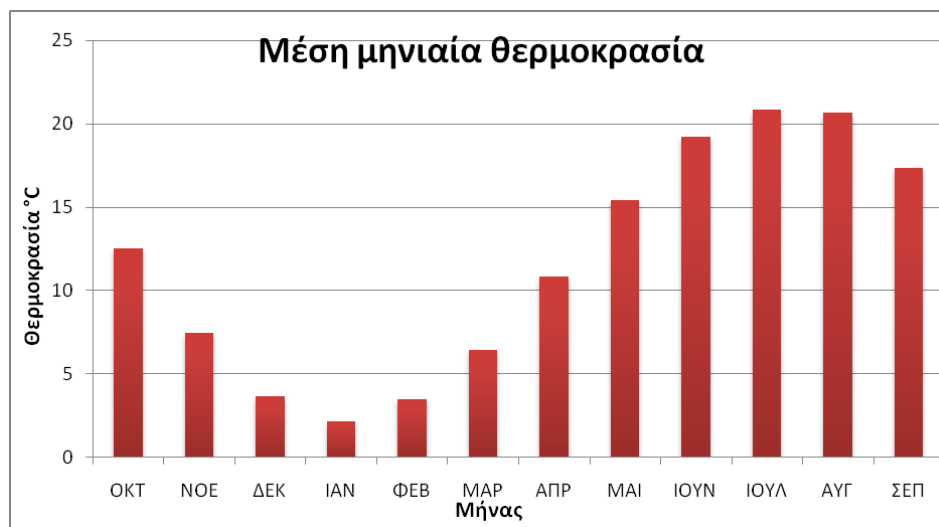
Σχήμα 1.3 (Διάγραμμα μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, για το Λιμνοχώρι, κατά το διάστημα 1959-2002)



Σχήμα 1.4(Διάγραμμα μέσου μηνιαίου ύψους βροχής για το Λιμνοχώρι).

1.5.2 Θερμοκρασία

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από 1963 ως 2002, παρουσιάζονται στο **σχήμα 1.5** με βάση τα στοιχεία προκύπτει ότι ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 20,87°C, ενώ αντίστοιχα, ο Ιανουάριος αποτελεί τον ψυχρότερο μήνα με μέση θερμοκρασία περίπου 2°C.

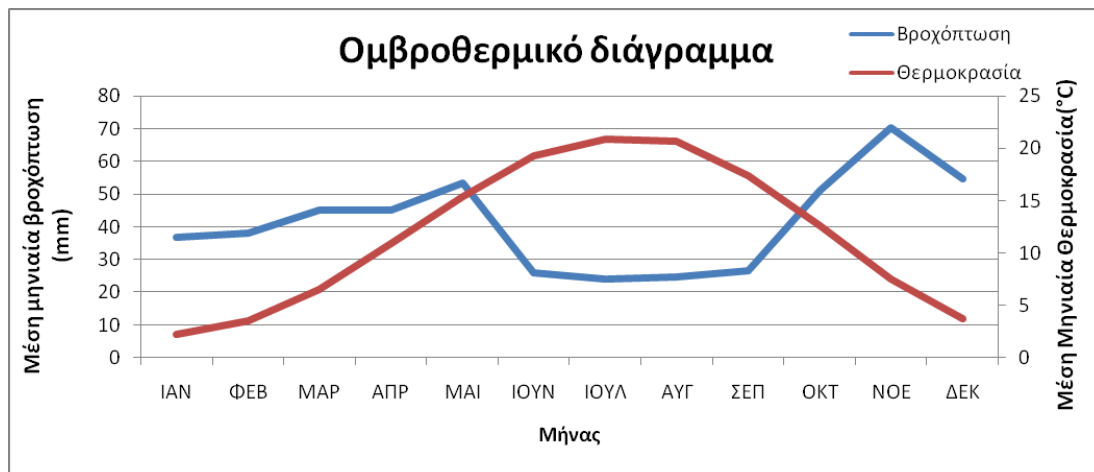


Σχήμα 1.5 (Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για το Λιμνοχώρι).

1.5.3 Ομβροθερμικό διάγραμμα

Το ομβροθερμικό διάγραμμα **σχήμα 1.6** δείχνει τον συσχετισμό της βροχόπτωσης σε mm και της θερμοκρασίας σε °C, οι οποίες αποτυπώνονται σαν δύο καμπύλες, η κλίμακα στον δεξί άξονα είναι διπλάσια για την καλύτερη κατανομή των δεδομένων. Με βάση τη δομή του διαγράμματος μπορεί να χαρακτηριστεί το κλίμα μιας

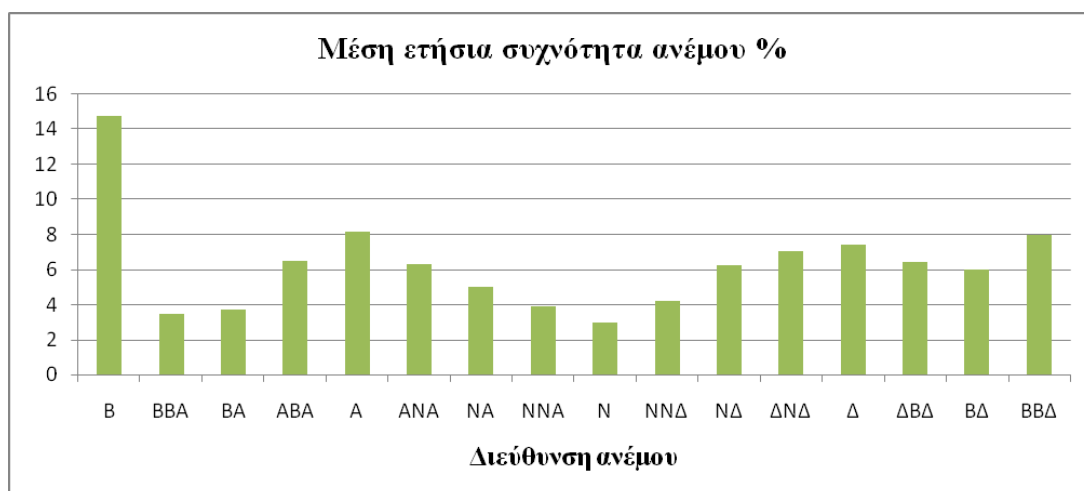
περιοχής, καθώς το διάγραμμα αποτελεί βιοκλιματικό δείκτη. Αν η καμπύλη της θερμοκρασίας υπερβαίνει την καμπύλη της βροχόπτωσης τότε η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται ξηρή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση υγρή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει ότι η ξηρή περίοδος εντοπίζεται στο διάστημα από Μάιο μέχρι μέσα Σεπτέμβρη, ενώ η υγρή περίοδος ξεκινάει περίπου από τον Οκτώβριο και τελειώνει μέσα Απρίλη, συμπίπτει δηλαδή με το υδρολογικό έτος της χώρας.



Σχήμα 1.6 (Ομβροθερμικό διάγραμμα)

1.5.4 Άνεμος

Με βάση κλιματικά στοιχεία από το 2003 μέχρι το 2017 από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αμυνταίου, και το τις εκατό διάγραμμα της μέσης ετήσιας συχνότητας ανέμου σχήμα 1.7, προκύπτει ότι η κύρια διεύθυνση του ανέμου στην περιοχή, είναι ο Βορράς.

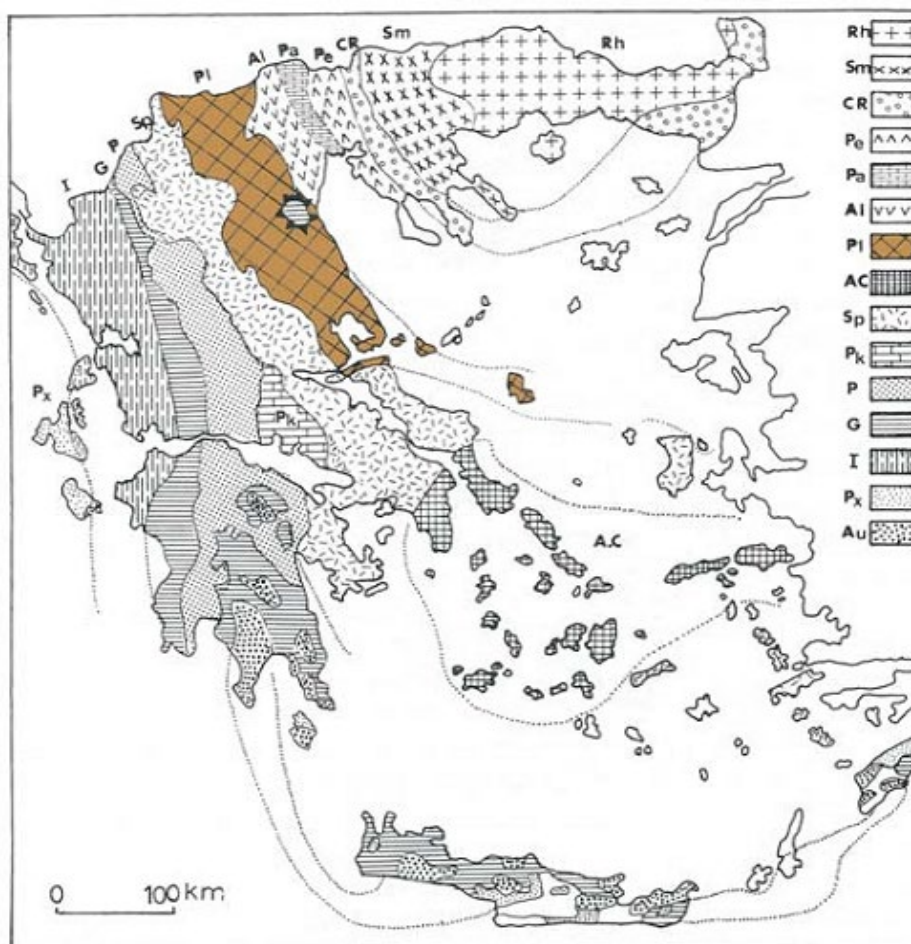


Σχήμα Π5(Διάγραμμα μέσης ετήσιας συχνότητας ανέμου ανά διεύθυνση)

Κεφάλαιο 2. Γεωλογία και τεκτονική

2.1 Γεωλογία

Η περιοχή μελέτης γεωτεκτονικά τοποθετείται στην Πελαγονική ζώνη (Σχήμα 2.1), η οποία με την σειρά της τοποθετείται στις εσωτερικές ελληνίδες με γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και εκτείνεται ως ζώνη που ξεκινάει από την Β.Μακεδωνία εμφανίζεται στα βουνά Βόρα, Βαρνούντα, Βέρνου, Ολύμπου, Πηλίου, Όρθυς φτάνει μέχρι την Β.Εύβοια και κάμπτεται προς τις Σποράδες, ενώ περιλαμβάνει και τα νησιά Σκιάθο και Σκόπελο. Η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από πλήθος πετρωμάτων που περιλαμβάνει το κρυσταλοσχιστώδες υπόβαθρο, γενεσιωμένους γρανίτες, ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα επικλυσιογενή ιζήματα του Άνω Κρητιδικού (Μουντράκης, κ.α).



Σχήμα 2.1: Σχήμα των Γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκίονας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983).

2.1.1 Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο αποτελεί το κύριο στοιχείο της ζώνης αυτής με ευρεία εξάπλωση σε όλο το μήκος της. Σε πολλές περιοχές το υπόβαθρο αυτό εμφανίζεται ως σύνολο διαφορετικών πετρωμάτων με μορφή τεκτονικών λεπιών. Τα διαφορετικά αυτά πετρώματα αποτελούν κρυσταλλοσχιστώδεις ενότητες ενός κοινού υποβάθρου με την δημιουργία τους, να τοποθετείται κατά το Παλαιοζωικό υπό παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες. Οι ενότητες αυτές από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα τμήματα είναι:

- Γνεύσιοι βιοτιτικοί οφθαλμοειδείς ορθό-προέλευσης
- Μιγματιτικοί γνευσιοι
- Ταινιωτοί γνεύσιοι, μοσχοβιτικοί παρά- προέλευσης
- Αμφιβολιτικοί- βιοτιτικοί σχιστόλιθοι
- Γρανατούχοι διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι
- Εναλλαγές διμαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, με μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και επιδοτιτικοί σχιστόλιθοι με παρεμβολές απλιτογενευσίων.

Κατά το Παλαιοζωικό- Άνω Λιθανθρακοφόρου το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, υπέστη μια πρώτη μεταμόρφωση σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης.

2.1.2 Γνευσιωμένοι πλουτωνίτες

Σε πολλές περιοχές της Πελαγονικής ζώνης εντοπίζονται μεγάλοι πλουτωνικοί όγκοι, οι όγκοι αυτοί αποτελούνται από παρόμοιας σύστασης γρανίτες και χαλαζιακούς μονζονίτες με μεγάλους κρυστάλλους αστρίων. Οι γρανίτες αυτοί αποτελούν διεισδύσεις στο υπόβαθρο και συνοδεύονται από μεταμόρφωση επαφής στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, με ηλικία που εκτιμήθηκε στο Άνω Λιθανθρακοφόρο. Οι γρανίτες χαρακτηρίζονται γνευσιωμένοι καθώς υπέστησαν την αλπική μεταμόρφωση του Άνω Ιουρασικού- Κάτω Κρητιδικού, σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Τέλος, η Πελαγονική εμφανίζει ζώνες μυλονιτώσεως εξαιτίας των μεγάλων τεκτονικών κινήσεων που δέχτηκε.

2.1.3 Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους πλουτωνίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, αποτέθηκε μετακλαστική ακολουθία, μέσα στην οποία εμφανίζονται ηφαιστειακά υλικά, όξινης και ηφαιστειακές λάβες και ηφαιστειακοί τόφοι. Η μετα-ηφαιστειοϊζηματογενής αυτή ακολουθία, που αποτέθηκε κατά το Πέρμιο- Κάτω Τριαδικό μεταμορφώθηκε στη διάρκεια του Άνω Ιουρασικού- Κάτω Κρητιδικού σε χαμηλές πρασινοσχιστολιθικές συνθήκες. Συγκεκριμένα τα πετρώματα της Περμοτριάδικης ακολουθίας είναι: φυλλίτες, μετά-πελίτες, μετά-αρκόζες, χλωριτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι, μετά-ψαμμίτες, χαλαζιακά μετά κροκαλοπαγή, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, μετά-ρυόλιθοι, μετά βασάλτες και μετά τόφοι.

2.1.4 Ανθρακικά κάλυμματα Τριαδικού – Ιουρασικού

Το κυριότερο τμήμα της Αλπικής ορογένεσης της Πελαγονικής ζώνης αποτελείται από ηφαιστειακά, ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού – Ιουρασικού και αντιπροσωπεύει ιζηματογένεση ηπειρωτικής πλατφόρμας. Στην πραγματικότητα το ανθρακικό κάλυμμα αποτελείται από δύο χωριστά κάλυμματα που αποτέθηκαν στο δυτικό και ανατολικό όριο της ζώνης. Το δυτικό κάλυμμα θεωρείται αυτόχθονο, με την απόθεση του να ξεκινάει στο Μέσο Τριαδικό και να συνεχίζει στο Άνω Ιουρασικό, πάνω στα Περμοτριάδικα κλαστικά ιζήματα. Αποτελείται από ασβεστόλιθους ανακρυσταλλωμένους με πάχος περίπου 600-800m. Το κάλυμμα του ανατολικού περιθωρίου, αποτέθηκε προς τη ζώνη Αλμωπίας και επωθήθηκε αργότερα, προς τα δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Αποτελείται από μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, δολομίτες και σιπολίνες.

2.1.5 Οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα

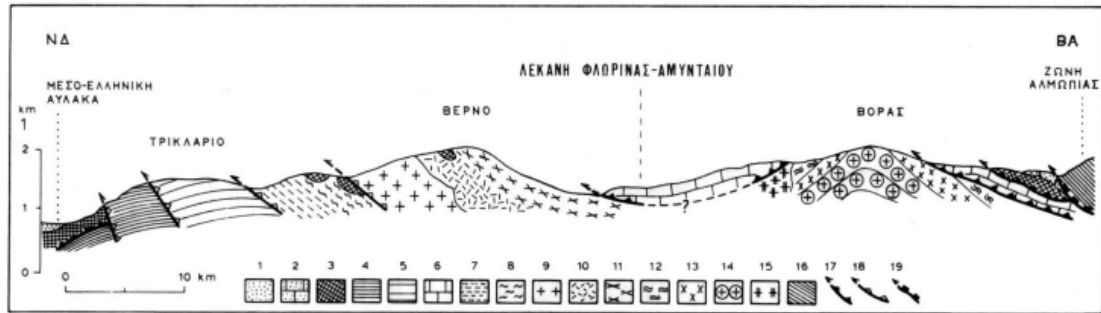
Στα δύο περιθώρια της Πελαγονικής και σε ορισμένες περιπτώσεις, στο εσωτερικό της, εμφανίζονται μεγάλες οφειολιθικές μάζες. Οι οφειόλιθοι αυτοί χαρακτηρίζονται ως αλλόχθονοι και προέρχονται από τις δύο ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξιού και Υποπελαγονικής. Στην περιοχή της Κοζάνης εμφανίζεται ο επονομαζόμενος διάυλος της Κοζάνης, που αποτελεί μεγάλη οφειολιθική μάζα η οποία επωθήθηκε πάνω στην Πελαγονική, με κύρια εμφάνιση στο βουνό Βούρινος.

Τα συνοδά ιζήματα είναι ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα, ενώ εμφανίζονται και τεκτονικά οφειολιθικά μείγματα (melanges), εξαιτίας της ανάμειξης ανθρακικών τεμαχίων με τους οφειόλιθους.

2.1.6 Επικλυσιογενή ιζήματα

Τα ιζήματα της Άνω Κρητιδικής επίκλυσης τοποθετήθηκαν με ασυμφωνία, κυρίως επάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα Τριαδικοϊουρασικής απόθεσης ή στους οφειόλιθους και τα συνοδά ιζήματα. Συγκεκριμένα, η Μέσω-Άνω Κρητιδική επίκλυση χαρακτηρίζεται από κάτω προς τα πάνω από τους εξής σχηματισμούς:

- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ηλικίας Κενομανίου–Τουρωνίου.
- Ασβεστόλιθοι Μικρολατυποπαγείς Σαντωνίου –Καμπανίου
- Ασβεστόλιθοι συμπαγείς με απολιθώματα Orbitoides, ηλικίας Μαιστριχτίου
- Φλύσχης αρχικά ασβεστιτικός, που μεταβάλλεται σε ασβεστοπηλινικό-ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλινικό- κροκαλοπαγή, ηλικίας Άνω Μαιστριχτίου - Παλαιοκαίνου.



Σχήμα 2.2: Σχηματικοί γεωλογική τομή Βορείας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα και Βέρνου. 1) μολάσσης Μεσοελληνικής αύλακας, 2) Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα, 3) οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα, 4) ιζήματα Υποπελαγονικής ζώνης, 5) ανθρακικό κάλυμμα Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, 6) ανθρακικό κάλυμμα Ανατολικού Πελαγονικού περιθωρίου, 7 και 8) μετακλαστικά ιζήματα Περμοτριάδικου, 9) γνευσιωμένος γρανίτης, 10 και 11) κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βέρνου, 12-15) κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βόρα, 16) λέπια Αλμωπίας, 17) επωθήσεις Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, 18) επωθήσεις – επιπτεύσεις Τριτογενούς, 19) επώθηση ζώνης Αλμωπίας (κατά Μουντράκη 1983).

2.1.6 Γεωλογία περιοχής έρευνας

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας και είναι γνωστή για τα λιγνιτικά της κοιτάσματα. Τα Κοιτάσματα αυτά Νεογενούς ηλικίας χωρίζονται σε δύο ορίζοντες. Ο βαθύτερος ορίζοντας, εμφανίζει λιγνιτοφορία με τη μορφή ξυλίτη, ενώ παράλληλα υπάρχουν λεπτόκκοκες άμμοι και αμμούχοι άργιλοι. Ο πιο ρηχός ορίζοντας, αποτελείται από εμφανίσεις λεπτόκοκκων άμμων, με εναλλαγές αμμούχων και ασβεστούχων αργίλων, παρουσία αργιλούχων μαργών και ανθρακούχων αργίλων, ενώ η λιγνιτοφορία που εντοπίζεται είναι μορφής γιαώδους λιγνίτη. Τα Νεογενή ιζήματα της λεκάνης αποτελούνται κυρίως από μάργες, αργίλους, άμμους, περικλείουν το κοίτασμα, και μαζί τους, συναντώνται ποταμοχεμμάριες ή χερσαίες αποθέσεις. Τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν ασύμφωνα πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες και ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Διακρίνονται δύο σειρές, η κατώτερη που αποτελείται από τον σχηματισμό βάσης και Βεγόρας και την ανώτερη που την αποτελεί ο σχηματισμός της Πτολεμαΐδας.

Για τον σχηματισμό βάσης, χαρακτηριστικό είναι το αρχικό γνευσιακό κροκαλοπαγές που συνεχίζει με ερυθρά – ερυθροκίτρινα κροκαλοπαγή με αργιλούχο συνδετικό υλικό. Στον σχηματισμό Βεγόρας συναντάται η λιγνιτοφορία τύπου ξυλίτη η οποία αποτελείται από πράσινη άμμο, εναλλαγές λιγνιτοφόρων στρωμάτων, άμμου και μάργας, από τεφρές μάργες και τέλος από κίτρινες αμμόδεις μάργες με παρουσία απολιθωμάτων.

Στον σχηματισμό της Πτολεμαΐδας, διακρίνονται τρεις λιγνιτοφόροι ορίζοντες, ο κατώτερος, ο ενδιάμεσος στείρος και ο ανώτερος ορίζοντας. Ο σχηματισμός αυτός συνίσταται από εναλλαγές υλικών όπως είναι: η άργιλος, η μάργα, η άμμος αλλά και από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Γενικότερα η λιθολογία της λεκάνης διαφοροποιείται, ενώ το στρώμα λιγνίτη που συναντάται, έχει πάχος που κυμαίνεται από 20m έως 140m.

Οι αποθέσεις του Τεταρτογενούς, είναι ασύμφωνες με τα υποκείμενα Πλειοκαινικά στρώματα, λόγω τεκτονικής δράσης. Πρόκειται, για ιζήματα ποταμοχειμάρριας, χερσαίας και λιμνοδελταϊκής προέλευσης.

Αναλυτικότερα, οι σχηματισμοί που συναντάμε στην περιοχή με βάση απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη φύλλο Πτολεμαΐδα του Ι.Γ.Μ.Ε (Σχήμα 2.3), και κλίμακα 1:50.000 από τους βαθύτερους προς τους νεότερους είναι:

Κρυσταλλικό υπόβαθρο

- Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (Pz.sch), ηλικίας Παλαιοζωικού ή παλαιότεροι. Ησειρά αποτελείται από εναλλαγές αμφιβολιτικών, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτινιτών. Επιπλέον, παρατηρούνται διμαρμαρυγιακοί γρανατούχοι σχιστόλιθοι και βιοτιτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακές ενστρώσεις, καθώς και ορίζοντες γνευσίων.
- Γνεύσιοι (Pz.gn), ηλικίας Παλαιοζωικού ή παλαιότεροι. Σε εναλλαγές με βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, εν παρουσία οφθαλμογνεύσιων.

Πελαγονικό Καλύμμα

- Ασβεστόλιθοι κρυσταλλικοί και μάρμαρα (Tm-Ji.mr), Μέσου Τριαδικού – Κατώτερου Ιουρασικού. Χρωματική διακύμανση από λευκά έως υπόλευκα, συμπαγής μορφή, εμφανίζουν παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών μαρμάρων.

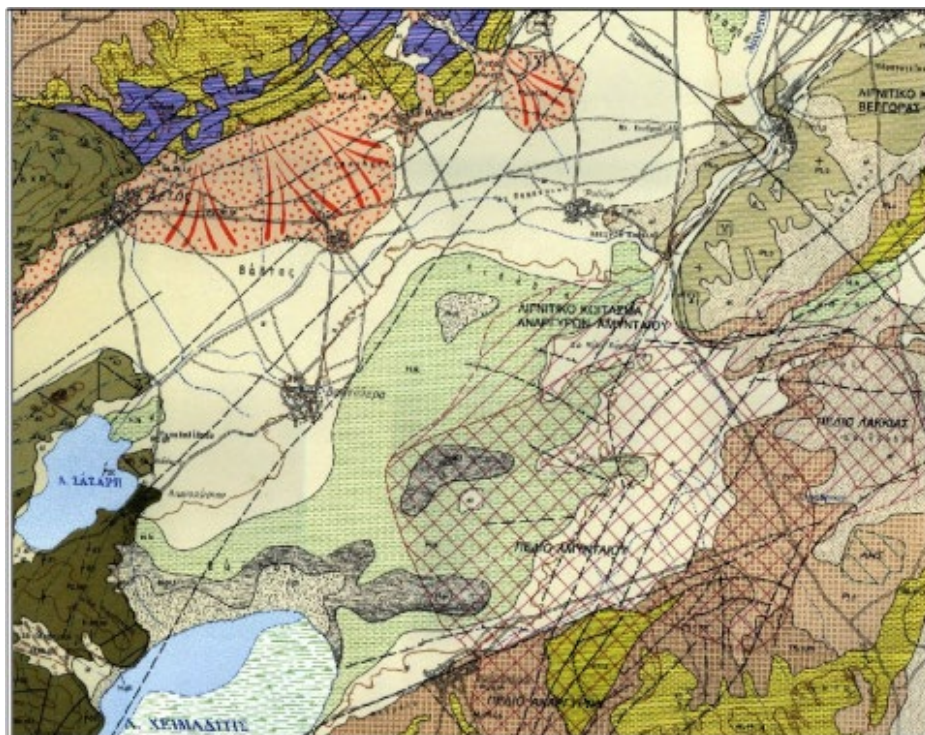
Νεογενές

- Λιγνιτοφόρος Σχηματισμός Κομνηνών (Ms Pl.l,s), Ανώτερου Μειόκαινου - Κατώτερου Πλειόκαινου. Αποτελείται από Λιμνοποτάμιες, ελώδεις και ποτάμιες αποθέσεις. Το επάνω τμήματα της σειράς του σχηματισμού, αποτελείται από αργίλο και άμμο με ενστρώσεις ψαμιμιτών και ιλυολίθων. Βαθύτερα υπάρχουν στρώματα ιλύος και παρεμβολές αργίλων, άμμων και μαργών. Τα ενδιάμεσα τμήματα σχηματίζονται από εναλλαγές λιγνίτη, άμμου, αργίλου, ιλύος και σπανίως μάργας.

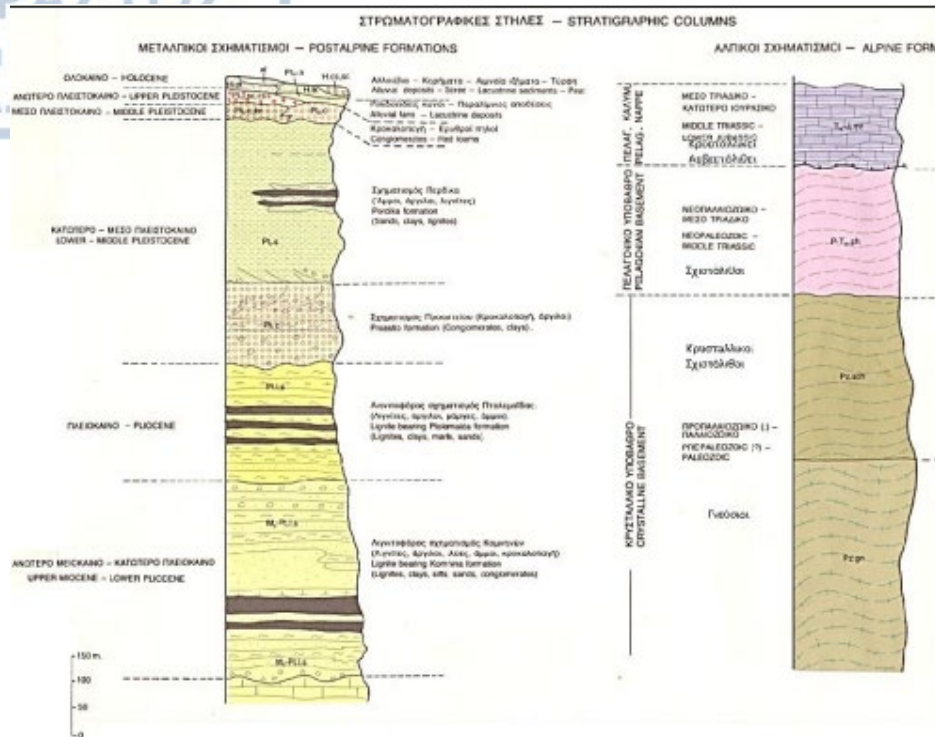
Τεταρτογενές

- Σχηματισμός Προαστείου (Pti.c), Κατώτερου - Μέσου Πλειστοκαίνου. Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις πολύμεικτων κροκαλοπαγών με φακούς αμμούχων αργίλων. Εμφάνιση στρωμάτων με ερυθρούς πηλούς και αργιλούχους άμμους ερυθροκίτρινου χρώματος, στους κατώτερους κυρίως ορίζοντες.
- Σχηματισμός Περδίκκα (Pti.s), Κατώτερου - Μέσου Πλειστοκαίνου, αποτελούμενος από ενστρώσεις άμμων, σε εναλλαγές με αμμούχους αργίλους και ενδιάμεσες στρώσεις μη συνεκτικών υλικών,

- Χαλαρά κροκαλοπαγή και ερυθροί πηλοί (Pt,c.lm), Μέσου Πλειστοκαίνου. ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις αποτελούμενες από συνεχόμενες εναλλαγές ερυθροκαστανών αμμούχων αργίλων, χαλαρών κροκαλοπαγών, ερυθρών πηλών και σπανίως αργιλούχων άμμων.
- Παλαιά πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων και αλλουβιακά ριπίδια (Ptiv.sc.cs), Ανωτέρου Πλειστοκαίνου, από γωνιώδεις κλάσματα διαφορετικού μεγέθους και σύστασης.
- Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων και σύγχρονα πλευρικά κορήματα (H.cs.sc), Ολοκαινικής ηλικίας.
- Πρόσφατες λιμναίες αποθέσεις (H.lk), Ολοκαινικής ηλικίας, από λεπτόκοκκες άμμους, αμμούχους – ασβεστούχες αργίλους, ασβεστολιθική και οργανική ιλύς, αλλουβιακές αποθέσεις (al), αποτελούμενες από άμμους, αμμούχες αργίλους, χαλίκια και σύγχρονος τυρφώνας (pt).



Σχήμα 2.3: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Πτολεμαΐδα).



Σχήμα 2.4:Στρωματογραφική στήλη της περιοχής μελέτης με βάση τον χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε.

2.2 Μεταμόρφωση-Τεκτονική

2.2.1 Συνθήκες Μεταμόρφωσης

Στην Πελαγονική ζώνη εντοπίζονται δύο φάσεις μεταμόρφωσης. Η πρώτη, συνέβη στο Παλαιοζωικό, και επηρέασε το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο σε συνθήκες κάτω πρασινοσχιστολιθικής έως και άνω αμφιβολιτικής φάσης. Η δεύτερη, συνέβη στο Ανώτερο Ιουρασικό- Κάτω Κρητιδικό σε πρασινοσχιστολιθικές συνθήκες , επηρεάζοντας το ήδη μεταμορφωμένο υπόβαθρο (ανάδρομη μεταμόρφωση), τους Γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, τις Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες και τα ανθρακικά καλύμματα Τριαδικοϊουρασικής ηλικίας. Τέλος,σε ορισμένες θέσεις παρατηρείται μεταμόρφωση γλαυκοφανιτικής φάσης.

2.2.2 Τεκτο-ορογενετική εξέλιξη

Τα πετρώματα ο υποβάθρου της Πελαγονικής, έχουν δεχτεί τρεις παραμορφωτικές φάσεις.

1^η φάση, Ερκύνιας ηλικίας

Η πρώτη παραμόρφωση που δέχτηκε το υπόβαθρο, τοποθετείται στο Άνω Λιθανθρακοφόρο, είναι συµμεταμορφική με την πρώτη φάση μεταμόρφωσης σε αμφιβολιτικές συνθήκες και συνέβαλλε στη δημιουργία ισοκλινών πτυχών με αξονική διεύθυνση 155° – 160°. Κατά την περίοδο αυτή, σχηματίζεται και η κύρια φύλλωση των πετρωμάτων του υποβάθρου με τη μορφή σχιστότητας S1, παράλληλη στα επίπεδα των πτυχών.

2^η φάση, ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικό

Κατά την περίοδο αυτή, συμβαίνει η καταστροφή των ωκεάνιων περιοχών εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Η τεκτονική δράση είχε ως αποτέλεσμα τον τεμαχισμό των πετρωμάτων και την επώθηση των οφειολιθικών μαζών στο ηπειρωτικό τέμαχος της Πελαγονικής. Στο Άνω Ιουρασικό, επωθήθηκαν οι οφειόλιθοι της ζώνης Αξιού στο Ανατολικό όριο της Πελαγονικής, κυρίως πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα, με κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ και συνοδεύτηκε από μια φάση πτυχώσεων (JE1), σχηματίζοντας πτυχές υποϊσοκλινείς μέχρι και ισοκλινείς, αξονικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, συνοδευόμενες από σχιστότητα S2. Με την τεκτονική δράση της περιόδου αυτής, προκύπτει ότι το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο έχει δεχτεί δυο παραμορφωτικές τάσεις, ενώ τα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού και Τριαδικοϊουρασικού έχουν δεχτεί μόνο μία.

3^η φάση, Τριτογενούς ηλικίας

Στο Τριτογενές και πριν το Μέσο Ηώκαινο συνέβη η ανάδυση της Πελαγονικής ζώνης, εξαιτίας της σύγκρουσης της Απουλίας πλάκας με την Ευρασία. Κατά την διάρκεια του Τριτογενούς, υπήρξαν δύο παραμορφωτικές τάσεις με τον σχηματισμό πτυχών, η πρώτη (CT1), με πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, αξονικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και η δεύτερη (CT2), με την δημιουργία πτυχών κλειστών-ανοιχτών και γενικής αξονικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Γενικότερα, η συνεχής συμπιεστική παραμόρφωση του Τριτογενούς συνέβαλε, στη δημιουργία σημαντικών δομών και στις λεπίψεις της Πελαγονικής, που λαμβάνουν χώρα την περίοδο αυτή, και συνεχίζονται στο Ανώτερο Ηώκαινο και το κατώτατο Ολιγόκαινο, με την τελική (CT3) παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή είχε ως αποτέλεσμα, τον σχηματισμό πτυχών τύπου Knick, με αξονική διεύθυνση Β-Ν, καθώς και την επώθηση των λεπίων από Ανατολή προς Δύση. Η λεπίωση σε αρκετές περιπτώσεις, έχει προκαλέσει την αναστροφή των πετρωμάτων, όπως συμβαίνει σε περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας.

2.2.3 Νεοτεκτονική εξέλιξη

Από το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα, η τεκτονική παραμόρφωση είναι εφελκυστική. Η εφελκυστική τεκτονική συνέβαλε στην κατάρρευση του ορογενούς με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης και την δημιουργία τεκτονικών παραθύρων, όπως του Ολύμπου.

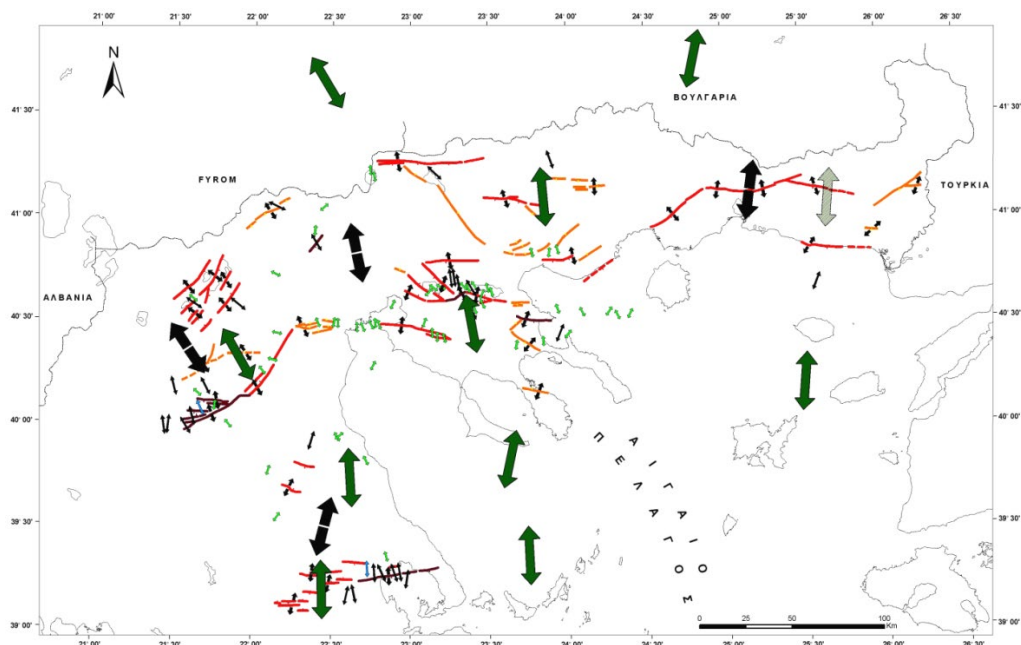
Η αρχική λεκάνη Φλώρινας – Πτολεμαΐδας, με κύρια διεύθυνση αυτή των Ελληνίδων ΒΔ-ΝΑ, σχηματίστηκε μετά το τέλος της αλπικής παραμόρφωσης, από την δράση εφελκυστικών ρηγμάτων με γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, που βύθισαν την ευρύτερη περιοχή. Κατά το Τεταρτογενές η λεκάνη τεμαχίζεται από νεότερα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ, ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης σχηματίζοντας μικρότερα βυθίσματα και εξάρματα. Η περιοχή Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού, αποτελεί εξάρμα και χωρίζει την λεκάνη Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας, σε Λεκάνη Φλώρινας στα Βόρεια και λεκάνη Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας στα Νότια, σε διεύθυνση σχεδόν κάθετη με την αρχική. Οι δύο υπολεκάνες με την βύθιση τους, πληρώνονται με

χερσαίες, ποταμοχειμάρειες και λιμναίες αποθέσεις, ηλικίας Πλειόκαινου – Πλειστόκαινου πάχους περίπου 500m, οι οποίες είναι λιγνιτοφόρες. Αποτέλεσμα της βύθισης αυτής είναι και ο σχηματισμός των λιμνών της περιοχής.

Στο **Σχήμα 2.5** φαίνονται τα νεοτεκτονικά ρήγματα του Βόρειου ελληνικού χώρου. Στην περιοχή εντοπίζονται έξι κύρια ενεργά ρήγματα, γενικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, τα οποία είναι :

- Ρήγμα Νυμφαίου - Ξινού Νερού - Πετρών
- Ρήγμα Βεγορίτιδας - Αγ. Παντελεήμονα
- Ρήγμα Περαιάς - Μανιακίου
- Ρήγμα Χειμαδίτιδας - Αναργύρων
- Ρήγμα Εμπορίου - Περδίκας
- Ρήγμα Καρυοχωρίου – Προαστίου.

Σημαντικότερο για την περιοχή μελέτης είναι αυτό, της Χειμαδίτιδας – Αναργύρων. Αποτελεί κανονικό ρήγμα, και εντοπίζεται στο νότιο περιθώριο της λίμνης Χειμαδίτιδας, έχει διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και κλίση περίπου 60°. Η λίμνη αποτελεί προϊόν δράσης του ρήγματος κατά το Τεταρτογενές, ως βύθισμα μέσα στην ευρύτερη λεκάνη. Τα λιγνιτικά κοιτάσματα Αναργύρων και Απόφυσης κόβονται από το ρήγμα, με βάση τους ορίζοντες αυτούς, το άλμα του ρήγματος υπολογίζεται στα 130m.



Σχήμα 2.5:Πεδίο τάσεων από το συνδυασμό νεοτεκτονικών (μαύρα βέλη) και σεισμολογικών (πράσινα βέλη) πληροφοριών και νεοτεκτονικά ρήγματα του Β. Ελληνικού χώρου (Mountrakisetal, 2006). Τα μικρά βέλη αντιστοιχούν σε τοπικές παρατηρήσεις ενώ τα μεγάλα βέλη στο μέσο πεδίο τάσεων της κάθε περιοχής.

2.3 Εδαφολογικά- Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

Στην περιοχή επικρατεί ο ανώτερος σχηματισμός Πέρδικα που αποτελείται από ενστρώσεις λεπτόκοκκης άμμου ή αργιλοϊλιώδους άμμου σε εναλλαγές με μάργες και αμμώδεις αργίλους. Σε ορισμένες θέσεις εμφανίζονται φακοειδείς ενστρώσεις κροκαλοπαγών, ενώ με βάση γεωτρήσεις της ΔΕΗ, στο Δυτικό πρηνές ο σχηματισμός εμφανίζεται με την μορφή αργιλικών ενστρώσεων με παρεμβλλόμενες στρώσεις λεπτόκοκκης άμμου και χάλικες σε περιορισμένες θέσεις. Τέλος, εντοπίστηκαν κροκαλοπαγή και καστανή τύρφη σε μικρά βάθη.

Με βάση τη λιθολογία σε μικρά βάθη επικρατούν χονδρόκοκκες φάσεις με μικρό βαθμό συνεκτικότητας, ενώ στους βαθύτερους ορίζοντες επικρατούν πιο λεπτομερή υλικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η ιλύς και η άργιλος συναντώνται σε αξιόλογο ποσοστό σε όλα τα εδαφικά υλικά του σχηματισμού (για τις αργιλοϊλυώδεις άμμους η ιλύς συμμετέχει σε ποσοστό 16-31% και η άργιλος 6-10%, ενώ στις αμμώδεις αργιλοϊλίες η ιλύς 36-81% και η άργιλος 10-48%). Τα όρια υδαρότητας υπολογίστηκαν LL περίπου 36% για τις αργιλοϊλυώδεις άμμους και 23% - 54% για τις αμμώδεις αργιλοϊλίες, αντίστοιχα και το PL (όριο πλαστικότητας) μετρήθηκε από 16% έως 47% (Loupasakis, 2020).

Παρόμοια για τον υποκείμενο σχηματισμό Προαστίου διαπιστώθηκε ότι αποτελείται από ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις που αποτέθηκαν επάνω σε νεογενείς σχηματισμούς και συνίστανται από : κροκαλοπαγή, αργιλώδεις άμμους, άμμους με χάλικες και αργίλους. Στα ενδιάμεσα στρώματα εμφανίζονται λεπτές στρώσεις τύρφης και λιγνίτη. Σε γεωτρήσεις της ΔΕΗ παρατηρήθηκε έντονη ανομοιογένεια του σχηματισμού καθώς διαπιστώθηκαν εναλλαγές αδρόκοκκων υλικών (κροκαλοπαγή με ενστρώσεις ψαμμίτη ή ψαμμιτοκροκαλοπαγή, άμμοι με χάλικες και λεπτές κροκάλες) και λεπτόκοκκων (αμμώδεις άργιλοι ή άργιλοι) με προφανή διαφορά στο βαθμό συνεκτικότητας. Τα λεπτόκοκκα υλικά έχουν σημαντικά ποσοστά συμμετοχής, και σε αυτόν τον σχηματισμό καθώς σε δείγματα αργιλοϊλυωδών άμμων με χάλικες (η ιλύς κατέχει ποσοστό που κυμαίνεται από 12% έως 38% και η άργιλος από 3% έως 12%, ενώ το ποσοστό φθάνει μέχρι 85% στα δείγματα αμμοδών αργιλοϊλίων).

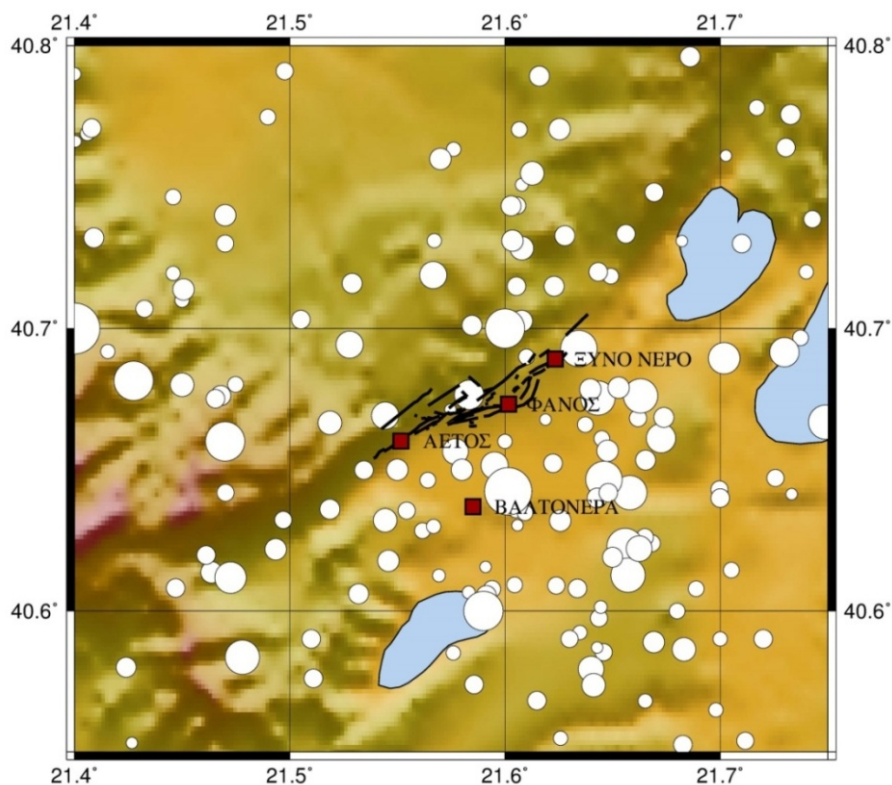
Επιπλέον, για την περιοχή ενδιαφέροντος το χωριό Βαλτόνερα βρίσκεται πάνω σε σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις που επικάθονται των Τεταρτογενών σχηματισμών. Το χωριό Φανός είναι θεμελιωμένο σε πρηνές μικρής κλίσης αποτελούμενο από παλιά συνεκτικά κορήματα.

Τέλος, ο σχηματισμός Πέρδικα, εμφανίζει μεγάλη συμπιεστότητα, ενδεικτικά: 0,16 για την αργιλοϊλιώδη άμμο και 0,27 για την αμμώδη αργιλοϊλυώδη φάση (Τζαμπόγλου & Λουπασάκης, 2017). Επιπλέον οι πρόσφατες λιμναίες αποθέσεις και η τύρφη εμφανίζουν δείκτες συμπιεστότητας 0,19 και 1,7 αντίστοιχα. Ενώ, ο σχηματισμός Προαστίου εμφανίζει χαμηλές τιμές συμπιεστότητας: 0,16 για την αμμώδη αργιλοϊλ και τη φάση της αργιλοϊλυώδους άμμου. Συμπεραίνεται ότι οι αμμούχες αργιλοϊλυώδεις φάσεις και οι αργιλικές ενστρώσεις είναι επιδεκτικοί σε

φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων σε περιπτώσεις υπεραντλήσεων και πτώσης στάθμης του υπόγειου νερού (Βουδούρης, 2021).

2.4 Σεισμικότητα περιοχής μελέτης

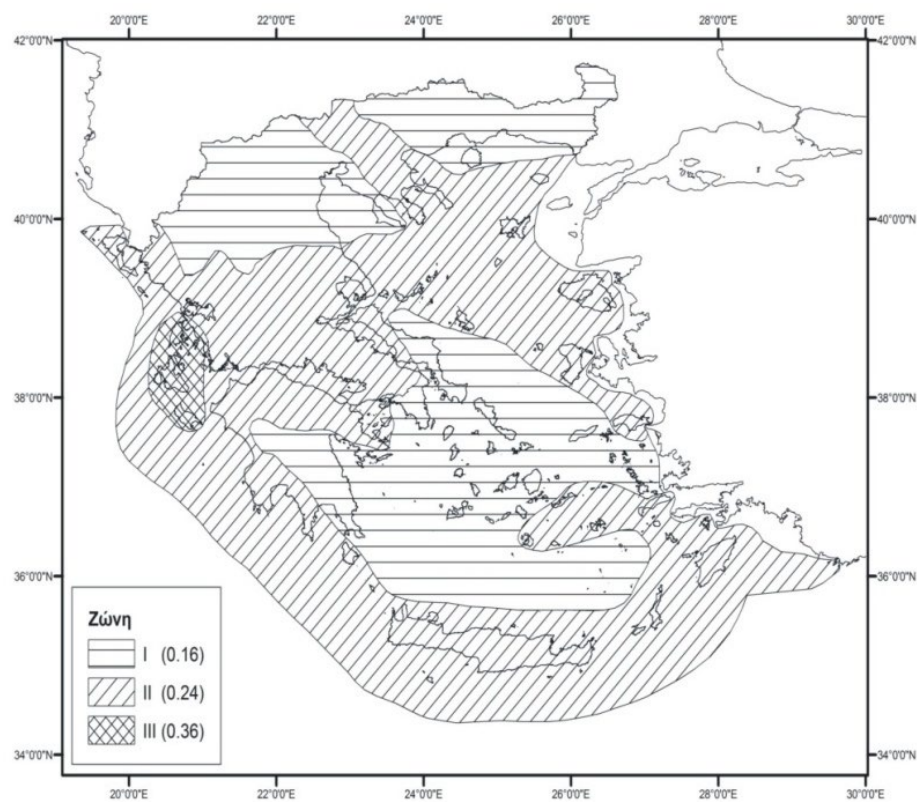
Με βάση τους καταγεγραμμένους σεισμούς για την ευρύτερη περιοχή του Αμυνταίου συμπεριλαμβανομένων των οικισμών Αναργύρων, Βαλτόνερα, Φανός δεν έχει καταγραφεί σεισμός με μέγεθος $M > 6$, υπάρχουν όμως όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν την περιοχή τεκτονικά ενεργή. Με βάση τα δεδομένα η περιοχή εμφανίζει μικροσεισμικότητα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ σε συμφωνία με το ενεργό πεδίο των τάσεων και των νεοτεκτονικών ρηγμάτων, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το **Σχήμα 2.6**, με τους σεισμούς, να είναι συχνότεροι, στα νότια του ενεργού ρήγματος, στη βόρεια πλευρά της λίμνης Βεγορίτιδας. Γενικότερα, έχουν καταγραφεί σεισμοί μεγέθους από 4 έως 4,7 Richter, με βάθος από 1 έως 40km (Τσάπανος, 2009, από Σούλιος κ.ά., 2009), ενώ συνήθως το εστιακό βάθος είναι μικρό (περίπου 10-15 km).



Σχήμα 2.6: Δεδομένα σεισμικότητας (1900-2014) στην περιοχή της λεκάνης Αμυνταίου. Με συνεχείς γραμμές παρουσιάζονται τα ίχνη των νεοτεκτονικών ρηγμάτων που έχουν χαρτογραφηθεί στην περιοχή (Τσούρλος κ.ά., 2015).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, ΕΑΚ 2000, και την τροποποίησή του, το έτος 2003 (απόφαση Δ17α/141/3/ΦΝ275, ΦΕΚ 1154/12-08-2003), η περιοχή μελέτης ανήκει στη Ζώνη Ι σεισμικής επικινδυνότητας (**ζώνη χαμηλής σεισμικότητας**), δηλαδή της μικρότερης σεισμικής δραστηριότητας στον

Ελληνικό χώρο (Σχ. 2.7). Ο συντελεστής σεισμικού σχεδιασμού είναι $\alpha=0,16 \cdot g$ (όπου: g = επιτάχυνση βαρύτητας= $9,81 \text{ cm/s}^2$).

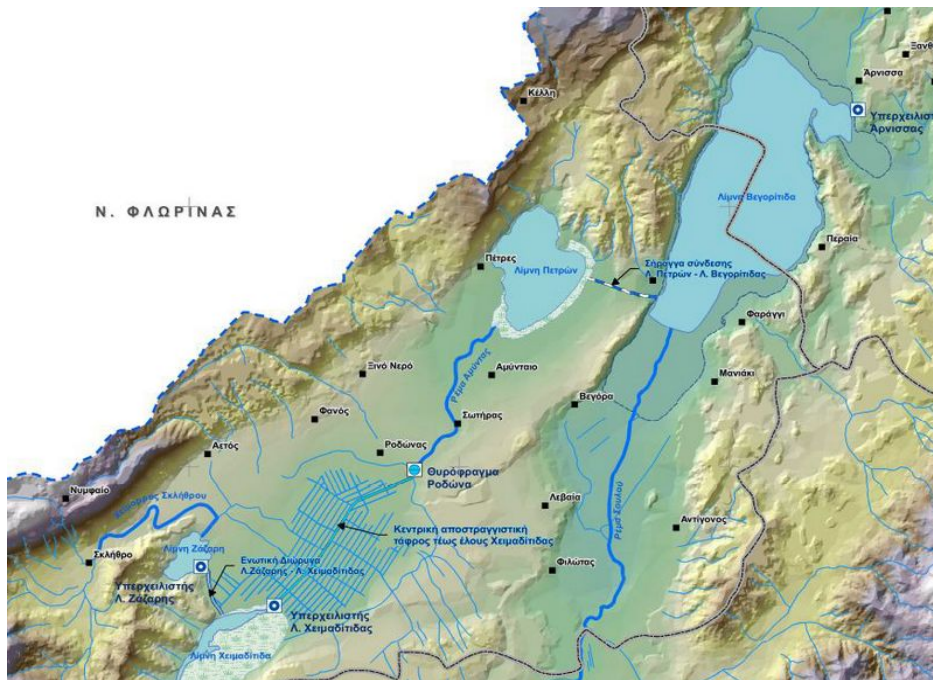


Σχήμα 2.7: Οι τρεις ζώνες (I, II, III) σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου (ΕΑΚ, 2000).

Κεφάλαιο 3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

3.1 Υδρογεωλογία

Η περιοχή κατατάσσεται στο 9^ο υδατικό διαμέρισμα της χώρας στη Δυτική Μακεδονία (βλ. παράρτημα **Σχήμα Π1**), με βάση τον Ν. 1739/87. Σύμφωνα με το (ΦΕΚ 1383/Β/02-09-2010) για τον Καθορισμό των Λεκανών Απορροής Ποταμών της Χώρας και Ορισμού των Αρμόδιων Περιφερειών για τη Διαχείριση και Προστασία τους, η περιοχή έρευνας ανήκει στην λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα. Η λεκάνη αυτή, χωρίζεται σε τέσσερις υπολεκάνες με την περιοχή μελέτης να οριοθετείται, στην υπολεκάνη Πτολεμαΐδας (έκταση περίπου 2114 Km²), η οποία με την σειρά της, χωρίζεται με βάση το υδατικό δυναμικό σε μικρότερες λεκάνες. Οι ορεινοί όγκοι που περιβάλλουν την περιοχή αποστραγγίζονται στις τέσσερις λίμνες της περιοχής, οι οποίες επικοινωνούν υδραυλικά μεταξύ τους, μέσω τάφρων, ρεμάτων και σηράγγων. Οι λίμνες Βεγορίτιδα, Πετρών, Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα καλύπτουν έκταση περίπου 95 Km², με την Βεγορίτιδα να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος, με έκταση 70 Km².



Σχήμα 3.1 Απόσπασμα «ΧΑΡΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ & ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ» στον οποίον φαίνεται η υδρολογική σύνδεση των λιμνών (πηγή: amyntaio.gr)

3.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών.

Με βάση το φύλλο Πτολεμαΐδα, **Σχήμα 2.3**, η στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής, συνοπτικά είναι:

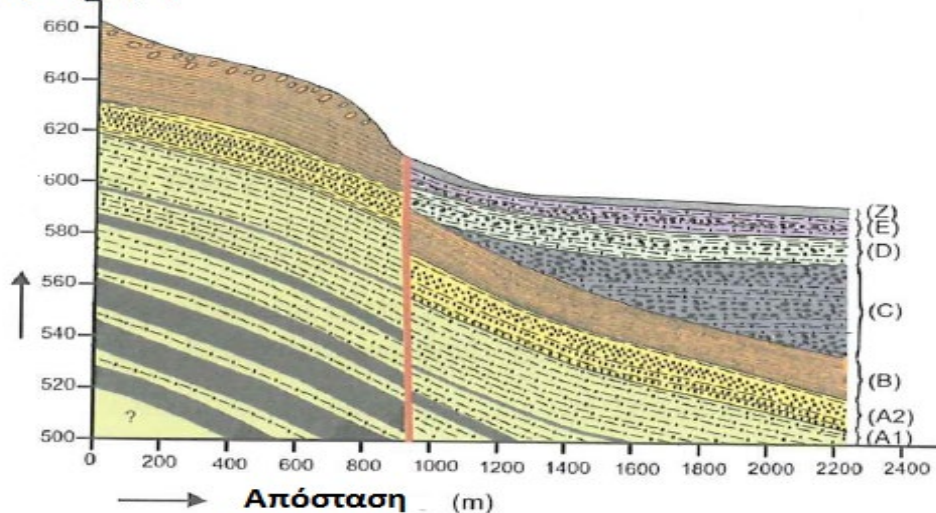
- Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (Pz.sch), ηλικίας Παλαιοζωικού.
- Γνεύσιοι (Pz.gn), ηλικίας Παλαιοζωικού.

- Ασβεστόλιθοι κρυσταλλικοί και μάρμαρα (Tm-Ji.mr), Μέσου Τριαδικού – Κατώτερου Ιουρασικού.
- Λιγνιτοφόρος Σχηματισμός Κομνηνών (Ms Pl.l,s), Ανώτερου Μειόκαινου - Κατώτερου Πλειόκαινου.

Σύμφωνα με τον Σούλιο (2009), στο ορυχείο του Αμυνταίου συναντάμε, την εξής στρωματογραφική διάρθρωση (**Σχήμα 3.2**).

- ❖ A1: Μάργες και λιγνιτικά στρώματα, Πλειοκαινικής ηλικίας.
- ❖ A2: αργίλο-μαργαϊκό στρώμα πάχους 15-20 m, ανώτερου Πλειόκαινου.
- ❖ B: Αργίλλοι, ερυθροστρώματα με ή χωρίς κροκάλες και χάλικες, κατώτερου-μέσου Πλειστόκαινου, πάχους 15-30 m.
- ❖ C: Εναλλαγές στρωμάτων άμμου και αργιλομαργών, ανώτερου Πλειστόκαινου, πάχους 20-30 m.
- ❖ D: Στρώματα πηλού, αργίλου, αργιλομαργών με λεπτά στρώματα άμμου, ανώτερου Πλειστόκαινου, πάχους 10-15 m.
- ❖ E: Εναλλαγές πηλών, αργίλων, αργιλομαργών και λεπτόκοκκης άμμου, ανώτερου Πλειστόκαινου-Ολόκαινου, πάχους 10-15 m.
- ❖ Z: Εδαφικό κάλυμμα λιμναίας ή χερσαίας προέλευσης, που υποδηλώνει μεταβολή της παρακείμενης λίμνης, πάχους 0,20-0,60 m.
- Σχηματισμός Προαστείου (Pt.i.c), Κατώτερου - Μέσου Πλειστοκαίνου..
- Σχηματισμός Περδίκκα (Pt.i.s), Κατώτερου - Μέσου Πλειστοκαίνου
- Χαλαρά κροκαλοπαγή και ερυθροί πηλοί (Pt,c.lm), Μέσου Πλειστοκαίνου.
- Παλαιά πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων και αλλουβιακά ριπίδια (Ptiv.sc.cs), Ανωτέρου Πλειστοκαίνου,
- Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (H.cs.sc), Ολοκαινικής ηλικίας.
- Σχετικά πρόσφατες λιμναίες αποθέσεις, ηλικίας Ολοκαίνου (H.lk),
- Σύγχρονος τυρφώνας (pt).
- Αλλούβιες αποθέσεις (al),

υψόμετρο (m)



Σχήμα 3.2: Γεωλογική τομή της περιοχής Βαλτόνερων-Ανάργυρων σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Soulisetal., 2011).

Γενικότερα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν, να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες με βάση την περατότητά τους. Πιο συγκεκριμένα οι σχηματισμοί, χαρακτηρίζονται ως περατοί, ημιπερατοί και αδιαπέρατοι, κάτι που καθορίζεται άμεσα από την λιθολογία, την κοκκομετρία, τον βαθμό διαγένεσης και τεκτονισμού του σχηματισμού. Για τους κοκκώδεις σχηματισμούς η περατότητα, επηρεάζεται από το πρωτογενές πορώδες, την κοκκομετρία, τη διαγένεση και τον προσανατολισμό των κόκκων, ενώ για τους μη κοκκώδεις σχηματισμούς από το δευτερογενές πορώδες. Για την περιοχή μελέτης ισχύει:

3.2.1 Υδροπερατοί σχηματισμοί

Υδροπερατοί χαρακτηρίζονται οι σχηματισμοί: των σύγχρονων αλλουβιακών αποθέσεων (al), των σύγχρονων κώνων κορημάτων και τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα (H.cs.sc), ο σχηματισμός παλαιών πλευρικών κορημάτων, οι κώνοι κορημάτων και τα αλλουβιακά ριπίδια (Ptiv.sc.cs), ο σχηματισμός των κροκαλοπαγών και των ερυθρών πηλών (Pt,c.lm), ο σχηματισμός κροκαλοπαγών και άμμου, ο σχηματισμός Προαστείου και ο σχηματισμός των Ασβεστόλιθων Τριαδικού – Ιουρασικού, εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους. Επιπλέον, οι ποταμοχειμάρειες αποθέσεις άμμου, που συναντώνται σε εναλλαγές με άργιλο είναι περατές, ενώ περατές θεωρούνται και οι πρόσφατες αποθέσεις, αποτελούμενες από άμμους, πηλούς, αργίλους και χαλίκια εμφανίζοντας σημαντική υδροφορία. Ο πιο πρόσφατος αυτός σχηματισμός, δεν έχει υποστεί διαγένεση, ενώ εμφανίζει μεγάλη συμπίεστικότητα με αποτέλεσμα να είναι επιρρεπής σε καθιζήσεις.

3.2.2 Ημιπερατοί σχηματισμοί

Σε αυτή τη κατηγορία, κατατάσσονται οι πρόσφατες λιμναίες αποθέσεις και οι εναλλαγές άμμου και αργίλου, ποταμολιμναίας προέλευσης, του σχηματισμού Περγίκα.

3.2.3 Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν, το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, οι γενεύσιοι καθώς και οι σχηματισμοί που εμφανίζουν στρώματα μαργών και αργίλων. Επιπλέον, αδιαπέρατοι θεωρούνται οι λιγνιτοφόροι ορίζοντες.

3.3 Υπόγειοι υδροφορείς

Ορισμένα από τα στρώματα της περιοχής παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Σύμφωνα με τον Βουδούρη (2021), το πλέον υδροφόρο στρώμα αναπτύσσεται εντός των εναλλαγών στρωμάτων άμμου και αργιλομαργών, ανώτερου Πλειστόκαινου-Ολόκαινου (στρώμα C, Σχήμα 3.2), εξαιτίας όμως των αδιαπέρατων υπερκείμενων σχηματισμών το στρώμα αυτό δεν εμπλουτίζεται. Επιπλέον, υδροφορία παρουσιάζουν και τα ανώτερα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης (Στρώμα E), αποτελούμενα από άμμους, πηλούς, αργίλους και αργιλομάργες. Στο στρώμα D, η υδροφορία εντοπίζεται στα σημεία εκείνα που υπάρχουν λεπτές ενστρώσεις άμμου. Τέλος, στους βαθύτερους ασβεστόλιθους, αναπτύσσεται υδροφόρο σύστημα σχηματίζοντας καρστικό υδροφορέα.

Επομένως, υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν, οι θέσεις εκείνες στις οποίες συναντώνται οι χαλαροί σχηματισμοί της λεκάνης, που χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Υποκείμενη σειρά (ενστρώσεις άμμου μέσα σε αργιλικά και μαργαϊκά στρώματα, ενώ στην βάση της παρατηρούνται λιμναίες μάργες, ιλύς και άργιλος)
- Λιγνιτοφόρα σειρά (τυπικά αδιαπέρατη)
- Υπερκείμενη σειρά (αποθέσεις λεπτών άμμων και εναλλαγές, αμμούχων αργίλων και μαργών), στο σχηματισμό αυτό, αναπτύσσονται υδροφόρα στρώματα που βρίσκονται σε επικοινωνία

Αναλυτικότερα, εξαιτίας του υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει η υπερκείμενη σειρά, με βάση παλαιότερες υδρογεωλογικές έρευνες, οι υδροφόροι ορίζοντες χωρίζονται, ως εξής:

- Ανώτερος υδροφορέας, της υπερκείμενης σειράς, ο οποίος αποτελείται από πηλούς, άμμους και αμμοχάλικα.
- Κατώτερος υδροφορέας, της υπερκείμενης σειράς, ο οποίος αποτελείται από λεπτόκοκκες άμμους και αμμοχάλικα.
- Ανώτερος υδροφορέας, της υποκείμενης σειράς, αποτελούμενος από άμμους με παρεμβολές ιλύος και αργίλου.

- Κατώτερος υδροφορέας, της υποκείμενης σειράς, αποτελούμενος από στρώματα λεπτόκοκκης άμμου και αργίλου με παρεμβολές αμμοχάλικου και οργανικής ιλύος.

Τέλος, στην περιοχή εμφανίζεται καρστικό υδροφόρο σύστημα εξαιτίας της καρστικοποίησης του ασβεστόλιθου. Στην ευρύτερη λεκάνη Πτολεμαΐδας και κυρίως στο ορυχείο του Αμυνταίου, εμφανίζονται καρστικά υδροφόρα συστήματα στα Τριαδικά – Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα. Πιο συγκεκριμένα, για τον υδροφόρο στα ανθρακικά πετρώματα του ορυχείου, επιφανειακά εκδηλώνεται στην λίμνη Βεγορίτιδα, ενώ στο υπόγειο τμήμα του συστήματος αυτού, η ροή πραγματοποιείται με κατεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ.

Στη λεκάνη Πτολεμαΐδας, όπως και σε τμήμα του υποβάθρου του ορυχείου Αμυνταίου αναπτύσσονται τα καρστικοποιημένα τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά πετρώματα, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία. Οι απόψεις που έχουν εκφραστεί αναφορικά με τη διαμόρφωση και την έκταση των καρστικών αυτών υδρογεωλογικών ενότητων, καθώς και με τις κατευθύνσεις ροής και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τους, διαφέρουν σημαντικά. Σημαντικό πρόβλημα παρουσιάζει η ροή προς τη λίμνη την τελευταία δεκαετία εξαιτίας της μεγάλης πτώσης στάθμης που παρουσιάζει το σύστημα αυτό.

Επιπλέον, με βάση το Διαχειριστικό Σχέδιο του υδατικού διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας οι υπόγειοι υδροφορείς ανήκουν στοκοκκώδες σύστημα Αμυνταίου – Φλώρινας. Από δοκιμαστικές αντλήσεις του ΙΓΜΕ (Στάμος & Γιαννουλόπουλος, 2010), η υδραυλική αγωγιμότητα (υδροπερατότητα) του σχηματισμού Περδίκας κυμαίνεται μεταξύ $3,4 \times 10^{-5}$ και $3,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ για τη φάση της αργίλο-ιλυούχας άμμου και μεταξύ $8,5 \times 10^{-8}$ και $1,4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ για τη φάση της αμμόδους αργιλοϊλύος.

Ο υδροφορέας έχει πάχος περίπου 120m, ενώ η τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων γίνεται με πλευρική τροφοδοσία από τους ορεινούς όγκους ΒΔ/κά, την κατείσδυση νερού της βροχόπτωσης, με διήθηση νερού από τα υδρορεύματα και αρδευτικά κανάλια της περιοχής, καθώς και με εμπλουτισμό από τις επιστροφές νερού των αρδεύσεων.

3.4 Καθεστώς εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

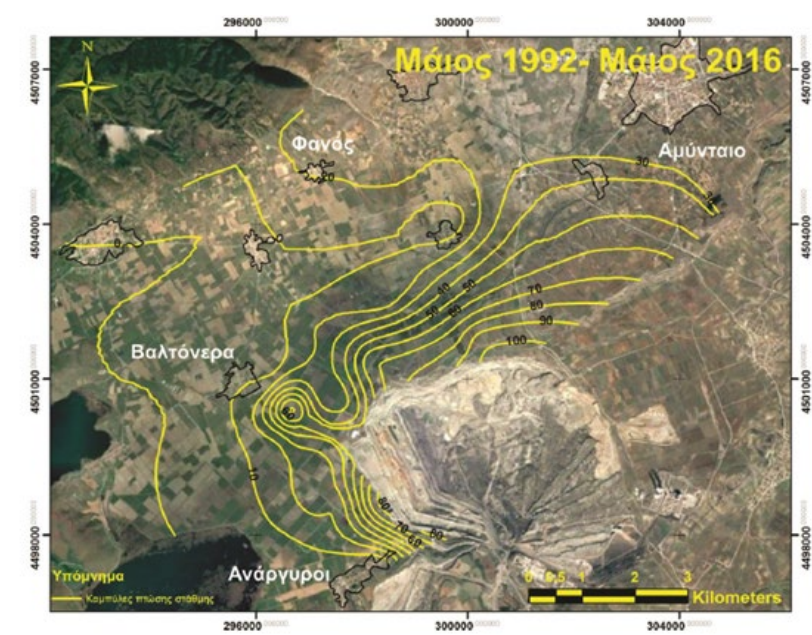
Από το 1970 ξεκινάει η εκμετάλλευση του υδροφορέα με την ανόρυξη πολλών γεωτρήσεων, για την κάλυψη αναγκών ύδρευσης και άρδευσης και την ανθρώπινη παρέμβαση στις λίμνες της περιοχής. Στις αρχές του 1990, και με την αρχή λειτουργίας των ορυχείων, ανοίχτηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία πολλές γεωτρήσεις για λογαριασμό της ΔΕΗ, με σκοπό την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού, για την εκμετάλλευση των λιγνιτοφόρων κοιτασμάτων. Σύμφωνα με τον (Κουμαντάκης, 2010), η ποσότητα αντλούμενου νερού ήταν περίπου 10-15 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, ενώ μέρος του αντλούμενου νερού μέσω των αποστραγγιστικών τάφρων χρησιμοποιείται για άρδευση.

Σύμφωνα με την αρμόδια υπηρεσία, το υπόγειο υδροφόρο σύστημα της περιοχής, έχει χαρακτηριστεί ως κακής ποσοτικής κατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, η ετήσια τροφοδοσία, του υδροφορέα για όλη τη λεκάνη Αμυνταίου, υπολογίστηκε περίπου στα $35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$, ενώ η άντληση για τις ανάγκες άρδευσης, ύδρευσης, και για τις εκμεταλλευτικές δραστηριότητες του λιγνίτη, ανέρχονται στα $35,36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Επομένως, συμπεραίνεται ότι, στην περιοχή οι αντλήσεις σε ετήσια βάση είναι μεγαλύτερες από τα ανανεώσιμα αποθέματα του υδροφορέα, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του.

3.5 Στάθμη υπόγειων νερών

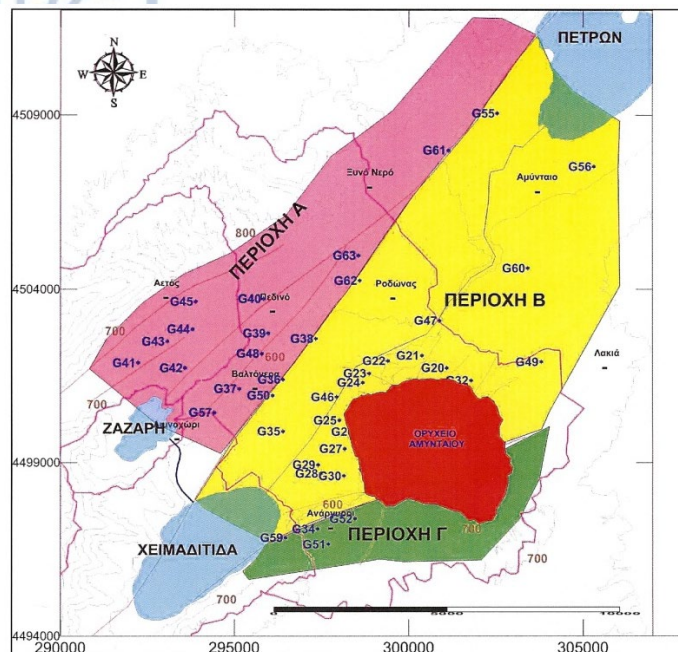
Στην περιοχή, λειτουργούν περίπου 243 νόμιμες γεωτρήσεις, με την μέση παροχή τους, προσεγγιστικά να είναι $35 \text{ m}^3/\text{h}$ και το ύψος της κεφαλής, στα 600m από το επίπεδο της θάλασσας.

Με βάση τον πιεζομετρικό χάρτη (Σχήμα 3.3) παρατηρείται ότι, στην περιοχή η μέγιστη πτώση στάθμης, εντοπίζεται γύρω από το ορυχείο με την πτώση να υπολογίζεται στα 70m–100m εξαιτίας των υπεραντλήσεων. Σημαντικό είναι το πρόβλημα και στα όρια του οικισμού Βαλτόνερα, με την πτώση να αγγίζει τα 20m. Η κατάσταση εξομαλύνεται σε αποστάσεις μακριά από το ορυχείο, με την πτώση στάθμης να μηδενίζεται θεωρητικά σε άπειρη απόσταση (Tzampoglou & Loupasakis, 2018).



Σχήμα 3.3: Χάρτης καμπυλών ίσης πτώσης στάθμης του υπόγειου νερού μεταξύ των ετών Μάιος 1992 και Μάιος 2016 (Tzampoglou & Loupasakis, 2018).

Σύμφωνα με την διδακτορική διατριβή του Γκουντούλα (2012), η περιοχή χωρίστηκε σε τρεις περιοχές, με βάση μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά της.



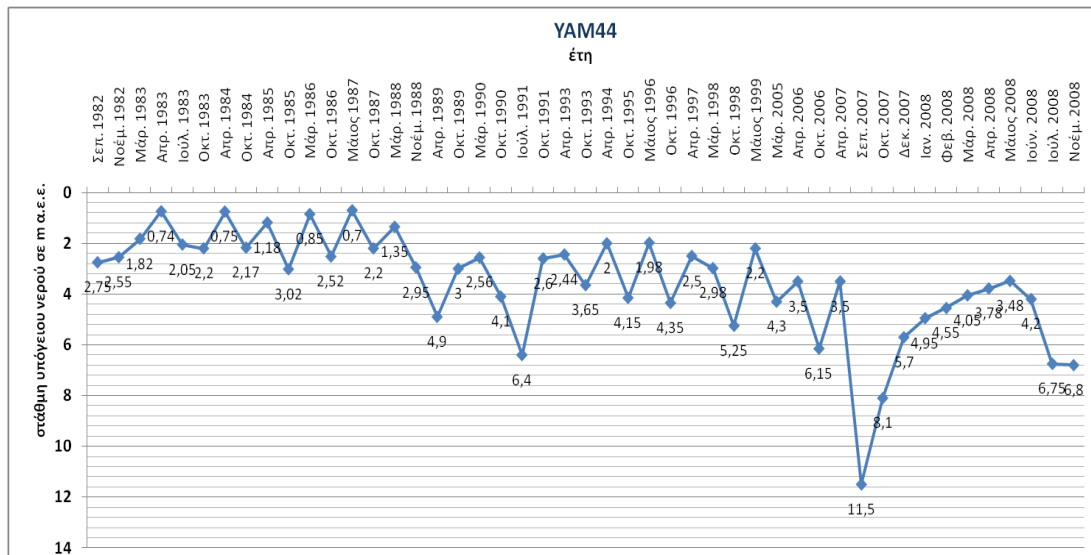
Σχήμα 3.4: Διαίρεση της περιοχής έρευνας στις τρεις (3) επιμέρους περιοχές με βάση τα μορφοτεκτονικά τους χαρακτηριστικά. Με μαύρες διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα ρήγματα Χειμαδίτιδας - Πετρώων και Χειμαδίτιδας - Αναργύρων (Γκουντούλας, 2012).

Η περιοχή Α, οριοθετείται στα δυτικά - βορειοδυτικά του ρήγματος Χειμαδίτιδας - Πετρώων, παρουσιάζει ελλειμματικό ισοζύγιο εξαιτίας των αντλήσεων, με μικρά διαστήματα ανάκαμψης. Η πτώση στάθμης είναι σχετικά μικρή 1m-4m, ενώ το πλεονέκτημα της θέσης αυτής είναι ότι, βρίσκεται στα όρια της λεκάνης όπου συμβαίνει ο εμπλουτισμός και μακριά από το ορυχείο. Οι γεωτρήσεις **YAM44** (Σχήμα 3.5) και **YAM45**, βρίσκονται μέσα στην περιοχή αυτή, και με βάση το Σχήμα παρουσιάζουν φυσιολογική εποχική διακύμανση μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου, με εξαίρεση το έτος 2007, που η στάθμη έπεσε σημαντικά εξαιτίας ξηρασίας στην ευρύτερη περιοχή.

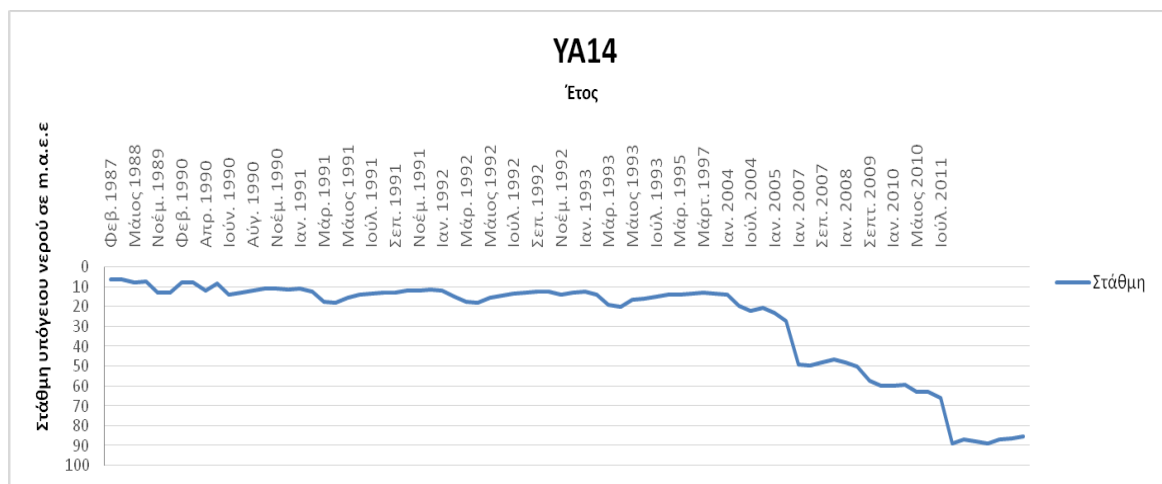
Στην περιοχή Β, η οποία τοποθετείται μεταξύ των ρηγμάτων Χειμαδίτιδας - Πετρώων και Χειμαδίτιδας - Αναργύρων, κοντά στο ορυχείο Αμυνταίου, παρατηρείται πολύ μεγάλη πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, σε αναλογία με την απόσταση από αυτό. Γενικότερα, η περιοχή αυτή εμφάνιζε πτώση εξαιτίας των αρδευτικών αναγκών και σε παλαιότερες περιόδους, από το 1993 και την έναρξη λειτουργίας του ορυχείου, η κατάσταση επιδεινώθηκε με την πτώση να αγγίζει τα 50m. Χαρακτηριστικές για την θέση αυτή, είναι οι γεωτρήσεις **YAM36**, **YAM38**, **YA14** (Σχήμα 3.6), στις οποίες παρατηρείται 30m, 20m, και 83m, αντίστοιχα στην περίοδο λειτουργίας τους.

Σύμφωνα με τον Γκουντούλα (2012), η ροή του νερού στην περιοχή, κατά την περίοδο 1987-1992 είχε κατεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, ενώ την τελευταία δεκαετία, η ροή του νερού στα βορειοανατολικά του ορυχείου, παρουσιάζει κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ. Επιπλέον, με βάση πιεζομετρικούς χάρτες γίνεται αντιληπτό, ότι το ορυχείο λειτουργεί ως θέση αποστράγγισης όλων των υδάτων της γύρω περιοχής.

Η περιοχή Γ, που εντοπίζεται στα νότια – νοτιοανατολικά του ρήγματος Χειματίτιδας – Αναργύρων, εμφανίζεται ως η πλέον καλύτερη θέση με βάση την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων της περιοχής, καθώς οι αντλήσεις σε πολλές περιπτώσεις είναι μικρότερες από τις ποσότητες εμπλουτισμού, του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης.



Σχήμα 3.5: Διακύμανση της στάθμης του υδροφορέα στην γεώτρηση YAM44 (Βουδούρης, 2021).



Σχήμα 3.6: Διακύμανση της στάθμης του υδροφορέα στην γεώτρηση YA14 (Βουδούρης, 2021).

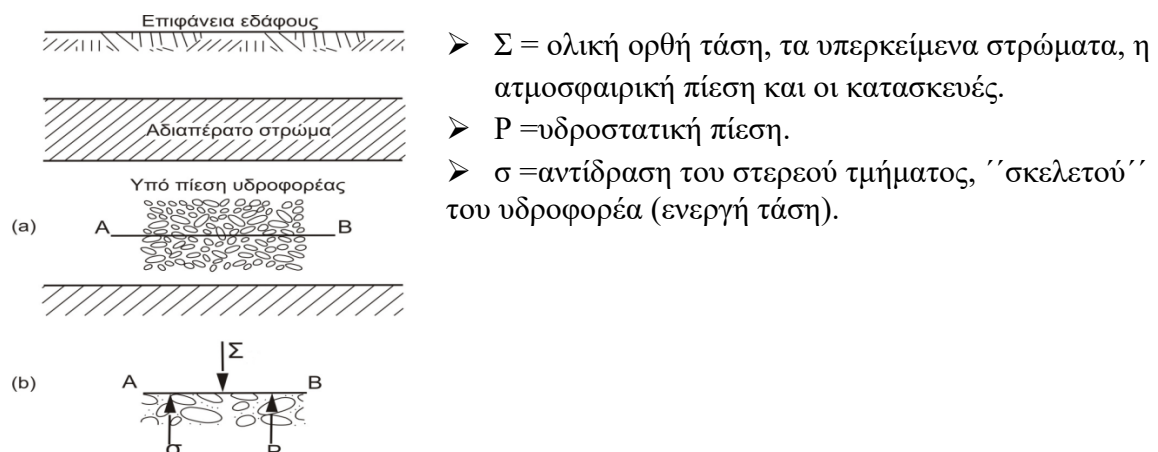
Κεφάλαιο 4. Εδαφικές καθιζήσεις

4.1 Ορισμός

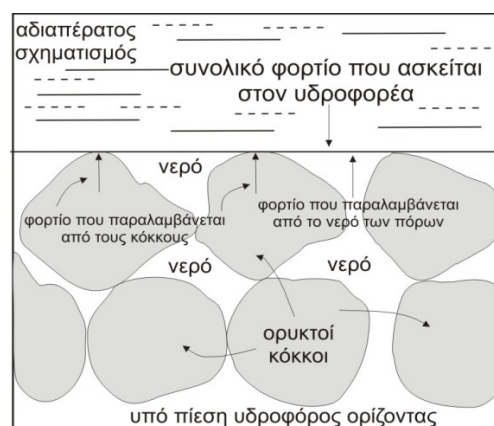
Με τον όρο καθίζηση, περιγράφεται το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται κατακόρυφη υποχώρηση του εδάφους και είναι άμεσο αντίκτυπο της ανακατανομής των κόκκων του εδάφους, της ελάττωσης του δείκτη πόρων και τέλος, της διαφυγής του νερού των πόρων στο σημείο της φόρτισης. Πολλές περιπτώσεις καθιζήσεων, έχουν ως αίτιο την υπεράντληση των υδροφορέων και τις μεγάλες πτώσεις στάθμης που προκύπτουν, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργού τάσης με ταυτόχρονη μείωση της πίεσης των πόρων, που οδηγούν τελικά στην εδαφική υποχώρηση.

Αναλυτικότερα, οι τάσεις που ασκούνται σε ένα κορεσμένο υδροφόρο στρώμα, δίνονται από την παρακάτω σχέση. Με το γράμμα Σ , συμβολίζεται η ολική τάση που δέχεται το στρώμα, από τα υπερκείμενα στρώματα, τις κατασκευές και την ατμοσφαιρική πίεση (Σχήμα 4.1). Η ολική αυτή τάση ισοσταθμίζεται από την υδροστατική πίεση P , δηλαδή την πίεση του νερού των πόρων και την ενεργή τάση σ , του εδαφικού "σκελετού" του υδροφορέα.

$$\Sigma = P + \sigma$$



Σχήμα 4.1: Αποτύπωση των τάσεων του υδροφορέα (Βουδούρης, 2021).



Σχήμα 4.2: Η αλληλεπίδραση μεταξύ ολικής τάσης, υδροστατικής πίεσης και ενεργούς τάσης (Βουδούρης, 2021).

Αν θεωρήσουμε σταθερή την ολική τάση που ασκείται στο υδροφόρο στρώμα, τότε σε περιπτώσεις άντλησης και πτώσης της στάθμης, προκαλείται μείωση της υδροστατικής πίεσης και με βάση την παραπάνω εξίσωση, προκύπτει ότι για την διατήρηση της ισορροπίας αυξάνεται η ενεργή τάση προκαλώντας συμπίεση του υδροφορέα.

Με βάση τον νόμο των (Domenico&Schwartz, 1990), που δίνει την καθίζηση ΔD υδροφορέα πάχους D , εξαιτίας της μεταβολής της υδροστατικής πίεσης ΔP , σε περιπτώσεις υπεράντλησης.

$$\Delta D = \Delta P(S/\gamma - \beta Dn)$$

Όπου:

- S = Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας.
- γ = Το ειδικό βάρος του νερού.
- β = Ο συντελεστής συμπιεστότητας του νερού.
- n = Το πορώδες.

Όταν η υδροστατική πίεση μειώνεται εξαιτίας άντλήσεων και παρατηρείται πτώση της στάθμης του υδροφορέα, με σταθερή την ολική τάση, τότε επίκειται η αύξηση της ενεργούς τάσης, με αποτέλεσμα την αναδιάταξη των κοκών του εδάφους και την συμπίεση των υδροφόρων στρωμάτων, εξαιτίας της μείωσης του πορώδους με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων καθίζησης.

Σε περιπτώσεις ανομοιογένειας του υπόγειου υδροφορέα είναι πιθανή, η δημιουργία ρωγμών σε θέσεις όπου αλλάζει η λιθολογία (διαφορική καθίζηση).

Τέλος, να σημειωθεί ότι εκτός από τις υπεραντλήσεις φαινόμενα καθιζήσεων εμφανίζονται και σε περιπτώσεις υδροσυμπύκνωσης, συρρίκνωσης λόγω αφυδάτωσης οργανικών εδαφών (τύρφης), αλλά και από οξειδώσεις κοιτασμάτων λιγνίτη όταν αυτά βρίσκονται στην ακόρεστη ζώνη και προκληθεί μείωση της στάθμης του υδροφόρου, σε παράκτιες περιοχές κατά την στερεοποίηση βαθύτερων στρωμάτων, αλλά και κατά την διάνοιξη ορυχείων, λατομείων, μεταλλείων και κατασκευή διάφορων τεχνητών έργων που μπορεί να προκαλέσουν πτώση στάθμης.

4.2 Χαρακτηριστικά καθίζησης

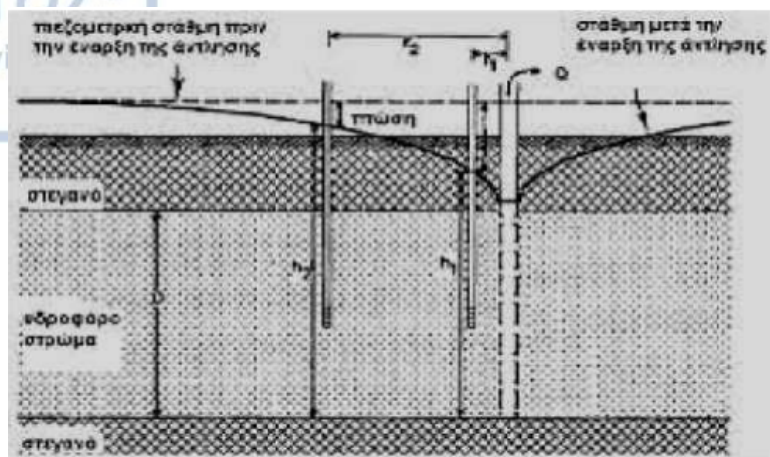
Γενικότερα, ο τρόπος, η έκταση, το που θα εκδηλωθεί η καθίζηση και αν θα υπάρξουν εδαφικές ρωγμές είναι άμεσα συνδεδεμένα με την γεωλογία της ευρύτερης περιοχής, τις μηχανικές ιδιότητες του υδροφορέα αλλά και το καθεστώς εκμετάλλευσής του. **Επομένως, ο τρόπος και η εκδήλωση του φαινομένου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.**

Όπως, έχει αναφερθεί το φαινόμενο των καθιζήσεων συνδέεται άμεσα με την πτώση στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και τον ρυθμό με τον οποίο συμβαίνει αυτό. Η μείωση της στάθμης κατά την διάρκεια άντλησης, γίνεται

αντιληπτή με τον κώνο πτώσης στάθμης, ο κώνος δείχνει την μορφή με την οποία γίνεται η πτώση. Ο κώνος επεκτείνεται τόσο σε βάθος όσο και πλευρικά, με την ελάττωση να είναι έντονη κοντά και γύρω στην γεώτρηση και να μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτή (Σχήμα 4.3). Η απόσταση στην οποία εμφανίζεται η πτώση στάθμης και μέχρι την οποία επεκτείνεται ο κώνος πτώσης στάθμης, καθορίζει και την ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης.

Με βάση τα παραπάνω μία καθίζηση έχει τις εξής ιδιότητες:

- Επειδή η πτώση στάθμης δεν είναι η ίδια για όλο τον υδροφορέα, αλλά καθορίζεται από τον κώνο πτώσης στάθμης, έτσι και οι ενεργές τάσεις δεν θα είναι ομοιόμορφες, προκαλώντας τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφη κίνηση των υδροστρωματογραφικών ενοτήτων. Η διεύθυνση της κίνησης αυτής καθορίζει την μορφή του φαινομένου, καθώς σε κατακόρυφες μετακινήσεις προκύπτουν εδαφικές καθιζήσεις, ενώ σε οριζόντιες μετακινήσεις προκύπτουν ρωγμές και διαρρήξεις (διαφορική καθίζηση).
- Απαιτείται χρόνος t από την στιγμή της μέγιστης πτώσης στάθμης μέχρι την εμφάνιση καθιζήσεων. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται κυρίως από τα λιθολογικά, μηχανικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφορέα, από την αντλούμενη ποσότητα νερού και από το βάθος του υποβάθρου.
- Με βάση την κοκκομετρία, αν οι σχηματισμοί είναι ομοιογενείς με μεγάλη ελαστικότητα, τότε το φαινόμενο των καθιζήσεων εμφανίζεται περιορισμένο με μικρές υποχωρήσεις και απουσία ρωγμών. Αντίθετα, σε περιπτώσεις ανομοιογένειας των σχηματισμών με μικρό μέτρο ελαστικότητας και έντονη πτώση στάθμης είναι συχνή η παρουσία των καθιζήσεων με εμφάνιση ρωγμών, προκαλώντας υλικές ζημιές σε σπίτια και υποδομές.
- Σχηματισμοί χαλαρών ιζηματογενών αποθέσεων εν παρουσία επάλληλων υδροφόρων οριζόντων, με καθόλου ή μικρό βαθμό διαγένεσης, είναι επιρρεπείς στην εμφάνιση του φαινομένου.
- Κατά τα αρχικά στάδια των αντλήσεων, όταν η πτώση στάθμης είναι περιορισμένη τόσο σε βάθος όσο και στην περιοχή γύρω από τη γεώτρηση, οι καθιζήσεις εμφανίζονται απομονωμένες, όσο όμως συνεχίζεται η εκμετάλλευση του υδροφορέα και οι πτώσεις στάθμης ενωθούν σε έναν ενιαίο εκτεταμένο κώνο πτώσης στάθμης, τότε και οι διαφορετικές περιοχές καθιζήσεων αρχίζουν και επικοινωνούν δημιουργώντας εδαφικές υποχωρήσεις σε μεγαλύτερη κλίμακα που επεκτείνονται στην ευρύτερη περιοχή.



Σχήμα 4.3: Πτώση στάθμης σε υπο πίεση υδροφορέα (Βουδούρης 2011)

4.3 Καθιζήσεις και ρωγμώσεις στην περιοχή μελέτης

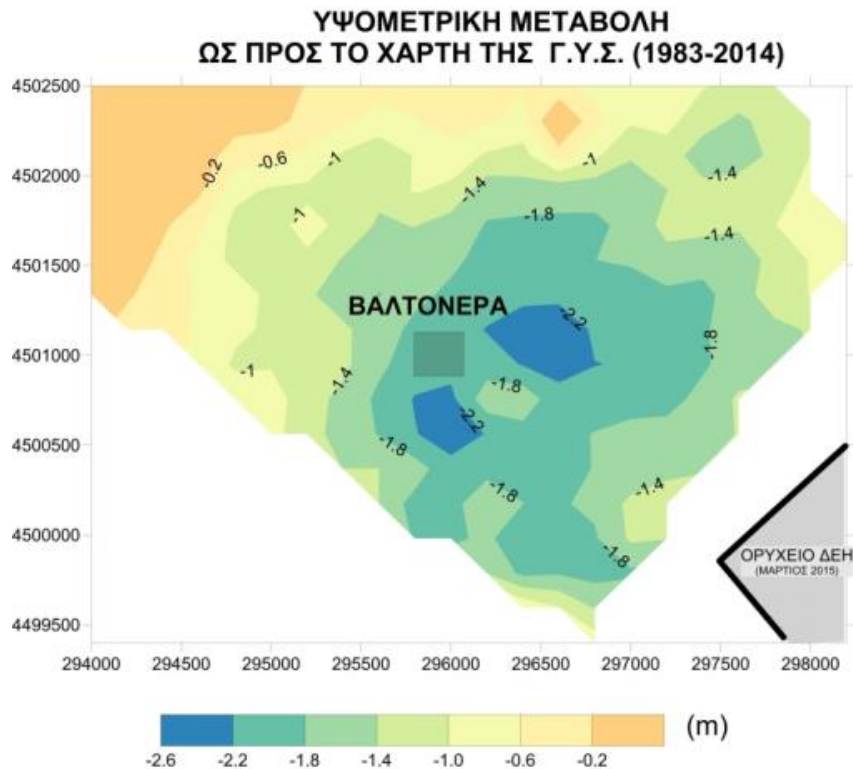
Στην ευρύτερη περιοχή του Αμυνταίου και κυρίως στα γύρω χωριά, υπάρχουν όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, όλες εκείνες οι συνθήκες (γεωλογικές, υδρογεωλογικές, κλιματικές, τεκτονικές) που συνδυαστικά με το καθεστώς εκμετάλλευσης του υδροφορέα θα μπορούσαν να δώσουν εδαφικές καθιζήσεις. Πιο συγκεκριμένα στους οικισμούς Βαλτόνερα, Ανάργυροι και Φανός, τις τελευταίες δεκαετίες το φαινόμενο των εδαφικών καθιζήσεων είναι έντονο και συνδιάζεται σε πολλές περιπτώσεις με την παρουσία ρωγμώσεων και διαρρήξεων στο έδαφος και σε υποδομές.

Η εξέλιξη του φαινομένου αρχίζει στις αρχές του 2000 όπου παρατηρούνται οι πρώτες ρωγμώσεις σε υποδόμες και εδαφικές καθιζήσεις, στον οικισμό Βαλτόνερα αρχικά σε ήπια μορφή με έντονότερα προβλήματα από το 2007 και μετά, με την κύρια εδαφική διάρρηξη να διασχίζει το χωριό, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (βλ. παράρτημα Σχήμα Π5), η οποία συμπίπτει με τις διευθύνσεις των κύριων ρηγμάτων της περιοχής. Σύμφωνα με την έρευνα του ΙΓΜΕ (Στάμος & Γιαννουλόπουλος, 2010), η κύρια ζώνη διάρρηξης έχει πλάτος 15-20m, ενώ μετρήθηκε επιτόπου καθ' ύψος μετακίνηση 25 cm σε δάπεδο οικίας.

Στον οικισμό Ανάργυροι όπου λόγω της έντασης του φαινομένου και μετά την κατολίσθηση στο ορυχείο της περιοχής έγινε απαλλοτρίωση του οικισμού τον Ιούνιο του 2017, οι πρώτες εδαφικές διαρρήξεις παρουσιάζονται το 2001 και μέχρι το 2007 γίνονται δυσμενέστερες δημιουργώντας προβλήματα στατικότητας σε πολλά κτήρια. Τέλος, προβλήματα ρωγμώσεων εντοπίζονται και σε άλλους οικισμούς της ευρύτερης περιοχής (Φανός, Ροδόνας, Πεδινό). Φωτογραφίες της επί τόπου επίσκεψης παραθέτονται στο φωτογραφικό παράρτημα.

Τέλος, με βάση την τοπογραφική έρευνα του Τσούρλου κ.ά. (2015), εντοπίστηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα υψόμετρα στις περιοχές ανάμεσα στο ορυχείο και τα Βαλτόνερα, που συνδέθηκαν άμεσα με τις ρωγμώσεις της περιοχής (Σχήμα 4.4). Επιπλέον, στη γεωφυσική έρευνα που διενεργήθηκε στην περιοχή, διαπιστώθηκε ότι

οι επιφανειακές ρωγμώσεις συνδέονται με βάση τις ηλεκτρικές τομογραφίες (βλ. παράρτημα Σχήμα Π6) με ασυνέχειες του υπεδάφους (πιθανά ρήγματα) και με περιοχές πλευρικής λιθολογικής διαφοροποίησης.



Σχήμα 4.4:Χάρτης υψομετρικών μεταβολών στην περιοχή των Βαλτόνερων σε σχέση με τον χάρτη της Γ.Υ.Σ.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

Οι καθιζήσεις (εδαφικές υποχωρήσεις, landsubsidence) προκύπτουν ως συνδυασμός πολλών παραγόντων όπως η λιθολογία, οι μηχανικές ιδιότητες, ο βαθμός διαγένεσης, οι κλιματικοί παράγοντες αλλά κυρίως ο τρόπος εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων. Σε περιπτώσεις υπεράντλησης το φαινόμενο εμφανίζεται έντονα, καθώς η πτώση στάθμης οδηγεί σε ανακατανομή των τάσεων του υπεδάφους και αύξηση της ενεργού τάσης (αύξηση συμπίεστότητας) που οδηγεί σε καθιζήσεις. Ο τρόπος με τον οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Τα χωριά Βαλτόνερα, Φανός, Ανάργυροι του Δήμου Αμυνταίου είναι δομημένα σε αλλουβιακές αποθέσεις ποτάμιας κυρίως προέλευσης, υπερκείμενα στον σχηματισμό Περδίκας, ο οποίος λόγω της συμπίεστότητας που εμφανίζει, είναι επιδεκτικός σε φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων.

Από το 1970 και τις πρώτες υδρογεωτρήσεις στην περιοχή παρατηρείται μια εποχική διακύμανση της υπόγειας στάθμης του υδροφορέα. Από τις αρχές του 1990 και τη λειτουργία του ορυχείου είναι εμφανής η διαχρονική πτώση στάθμης με το φαινόμενο να γίνεται εντονότερο στις αρχές του 2000. Παρατηρείται, τις τελευταίες δεκαετίες μεγάλη πτώση στάθμης στις περιοχές γύρω από το ορυχείο σε έναν μέσο όρο περίπου 30m– 70m. Στην περιοχή λειτουργούν αρκετές γεωτρήσεις για τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών.

Το ισοζύγιο της λεκάνης Αμυνταίου είναι ελλειμματικό, ενώ το υπόγειο υδροφόρο σύστημα της περιοχής χαρακτηρίζεται κακής ποιοτικής κατάστασης.

Σημαντική είναι η αλλαγή της πιεζομετρίας της περιοχής καθώς από παρατηρήσεις του 2008 και 2011 διαπιστώθηκε ότι η ροή γίνεται ΝΑ, προς το ορυχείο της περιοχής, ενώ η φυσιολογική ροή ήταν προς τη λίμνη Βεγορίτιδα.

Με βάση την γεωφυσική μελέτη (Τσούρλος, κ.ά., 2015) διαπιστώθηκε ότι οι ρωγμές στον οικισμό Βαλτόνερα συνδέονται άμεσα με λιθολογικές ασυνέχειες και πιθανά ρήγματα. Οι ρωγμές αυτές αποτελούν σημεία εκδήλωσης του διαφορικού βαθμού μετατόπισης των υλικών. Ενώ, η πτώση στάθμης σε συνδυασμό με τα πλευρικά άλματα αρκετών μέτρων που εντοπίστηκαν, δικαιολογεί τις μεγάλες επιφανειακά υψομετρικές διαφοροποιήσεις.

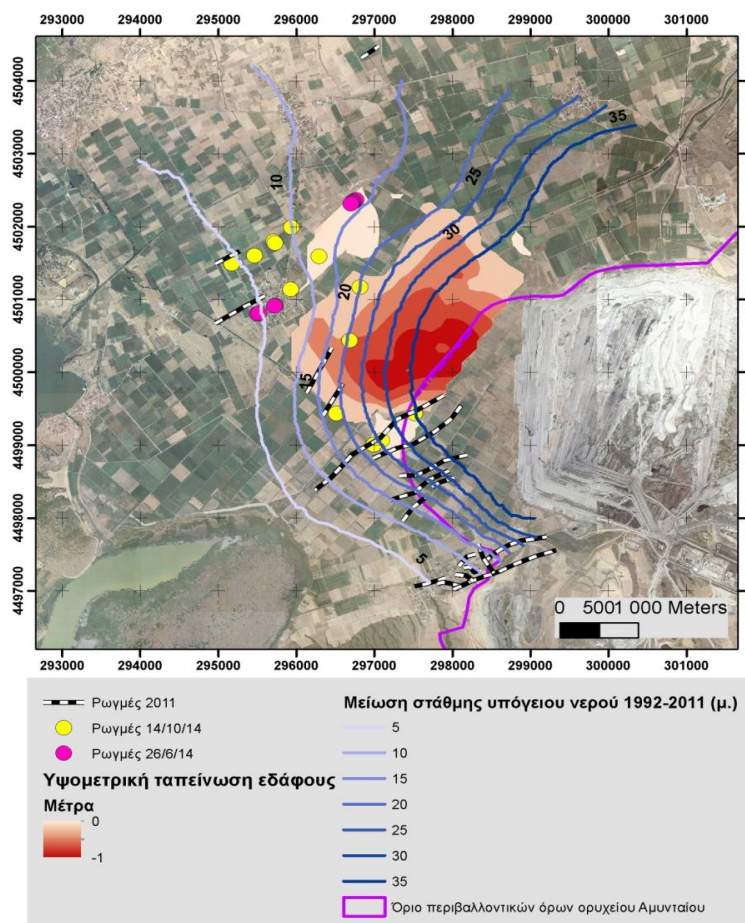
Τα ρήγματα της περιοχής έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, αποτέλεσμα της εφελκυστικής τεκτονικής στην Ελλάδα κατά το Τεταρτογενές. Η ευρύτερη περιοχή ανήκει σε ζώνη χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας, ζώνη Ι, με μικρή παραμόρφωση. Οι σεισμοί της περιοχής είναι μικρού μεγέθους και επομένως τα ρήγματα δεν είναι δυνατόν να έχουν επιφανειακή εκδήλωση. Η σεισμικότητα δεν παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές από το 1988 και μετά.

Στην περιοχή εντοπίζεται σημαντικό το πρόβλημα των εδαφικών καθιζήσεων και ρωγμών με εμφανίσεις σε αρκετούς από τους γύρω οικισμούς, ενδεικτικά:

Βαλτόνερα, Ανάργυροι, Φανός, Ροδόνας. Οι πρώτες παρατηρήσεις του φαινομένου έγιναν στις αρχές του 2000, ενώ μέχρι το 2007 η κατάσταση είχε επιδεινωθεί. Η κύρια εδαφική διάρρηξη στο χωρίο Βαλτόνερα, έχει διεύθυνση ΒΑ- ΝΔ, ίδια με τα ρήγματα της περιοχής. Υλικές ζημιές σε δρόμους, κτήρια και υποδομές, σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων συχνά είναι τα προβλήματα διαρροής των υπόγειων σωλήνων ύδρευσης λόγω σπασίματος.

Εντοπίζεται σημαντική υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο ορυχείο και τον οικισμό Βαλτόνερα πράγμα που επαληθεύεται από της παρατηρήσεις και συγκρίσεις των τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ, όπου διαφαίνεται μείωση του υψομέτρου σε μερικά σημεία έως 2mσε διάρκεια τριάντα χρόνων, ενώ για τα τελευταία δέκα έτη διαπιστώνεται υψομετρική βύθιση σε σημεία μέτρησης από 0,07m έως 0,30m (Τσούρλος, κ.ά., 2015).

Συμπερασματικά, οι ρωγμές και οι καθιζήσεις στον οικισμό Βαλτόνερα σχετίζονται άμεσα με τον κώνου πτώσης στάθμης από τις υπεραντλήσεις του ορυχείου του Αμυνταίου. Παράλληλα, στην ίδια θέση εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες εδαφικές υποχωρήσεις που αυξάνονται όσο κινούμαστε από τον οικισμό προς τα όρια του ορυχείου (Σχήμα 5.1).

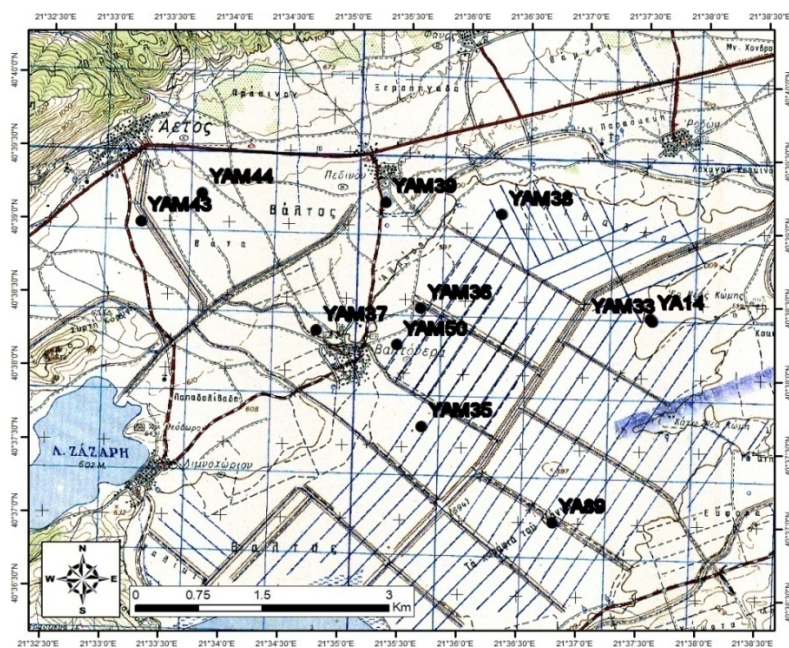


Σχήμα 5.1: Πτώση στάθμης και σχετική υψομετρική ταπείνωση του εδάφους, καθώς και οι χαρτογραφημένες ρωγμές για την περιοχή των Βαλτόνερων (Τσούρλος κ.ά., 2015).

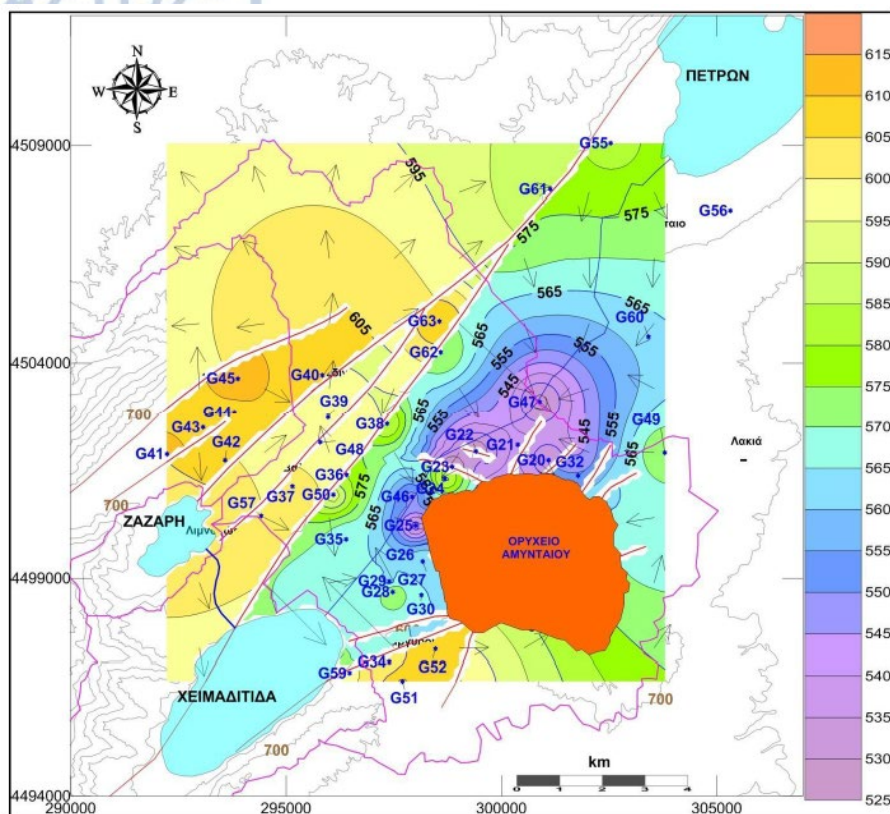
Παράρτημα



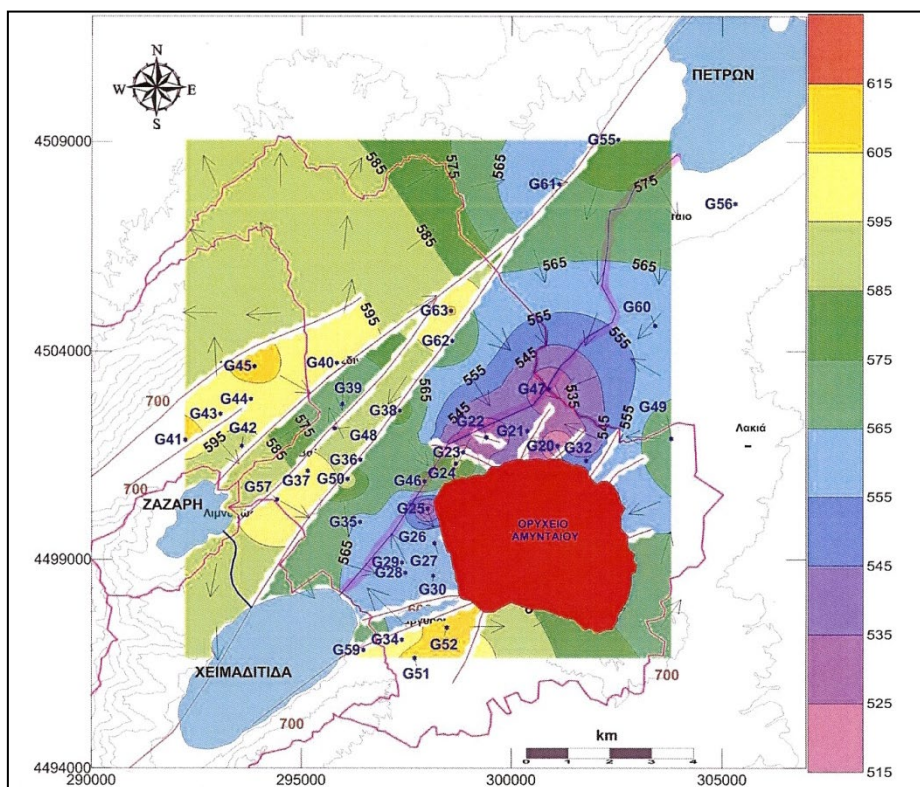
Σχήμα Π1 (Υδατικά Διαμερίσματα και λεκάνες απορροής της χώρας) (ΦΕΚ 1383/Β/02- 09-2010)



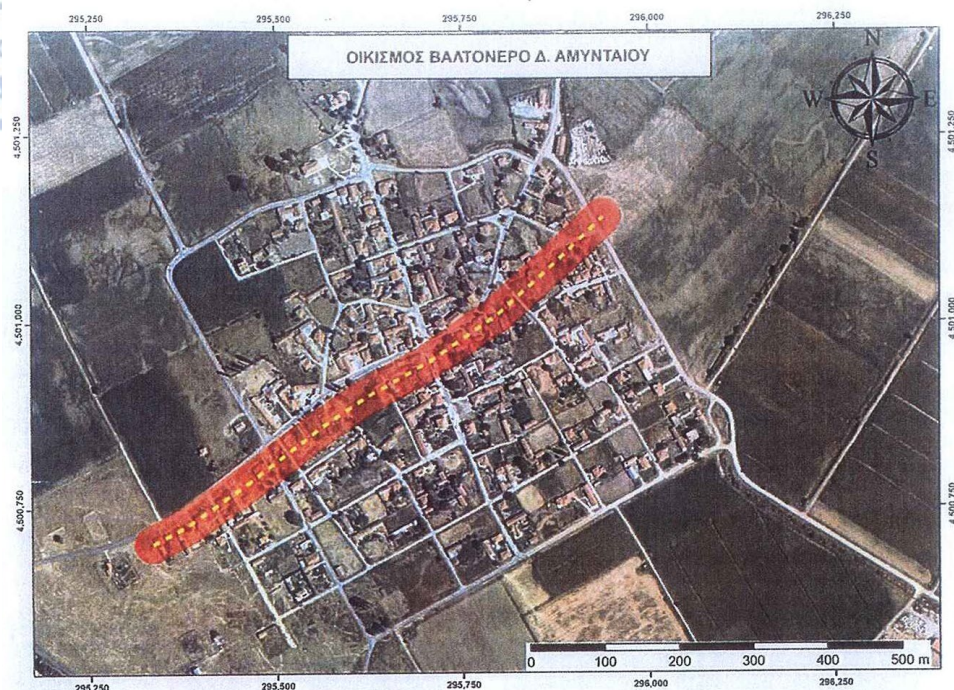
Σχήμα Π2 (Οι θέσεις των γεωτρήσεων αποτυπωμένες σε χάρτη του Google Earth) (Βουδούρης 2021).



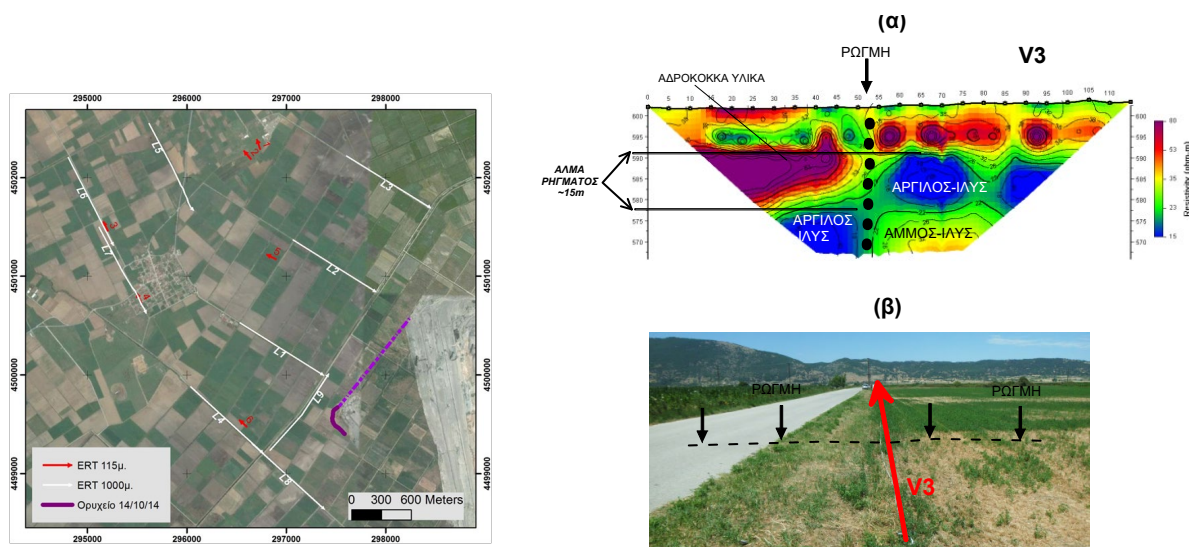
Σχήμα Π3 (Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή έρευνας την περίοδο Απριλίου 2011)
(Γκουντούλας Κ. 2012).



Σχήμα Π4 (Ισοπιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή έρευνας την περίοδο Σεπτεμβρίου 2011)
(Γκουντούλας Κ. 2012).



Σχήμα Π5 (Χάρτης του οικισμού Βαλτόνερα, όπου φαίνεται η κύρια εδαφική διάρρηξη (Λέκκας, 2017).



Σχήμα Π6 (Χάρτης με τις θέσεις των γεωφυσικών μετρήσεων(αριστερά). Χαρακτηριστική εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας όπου φαίνεται το άλμα της πλευρικής μετάβασης των υλικών εκατέρωθεν του ρήγματος (δεξιά)) (Τσουρόλος,κ.α,2015).



Φωτογραφία 1. Μετατόπιση σκέλους εξώπορτας στο χωριό Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 2. Επιδιορθωμένες ρωγμές σε οικία στον οικισμό Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 3. Ρωγμές σε οικία στον οικισμό Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 4. Αποκόλληση πατώματος και ζημιές σε σωληνώσεις οικίας, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 5. Επισκευασμένες ρωγμές σε εξωτερικό οικίας, Βαλτόνερα



Φωτογραφία 6. Εδαφική καθίζηση στον οικισμό Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 7. Ρώγμωση σε εξωτερικό τοίχο σε οικία, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 8. Κλίση τοιχίου και εδάφους, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 9. Εδαφική καθίζηση στον οικισμό Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 10. Ρωγμές σε πεζοδρόμιο, Βαλτόνερα



Φωτογραφία 11. Κατάρρευση αποθήκης, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 12. Ρωγμώσεις σε αποθήκη, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 13. Ρωγμώσεις σε οικία, Βαλτόνερα.



Φωτογραφία 14. Ρώγμωση στον δρόμο, οικισμός Ανάργυροι.



Φωτογραφία 15. Το ορυχείο των Αναργύρων μετά την κατολίσθηση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Loupasakis, K. (2020): Contradictive mining–induced geocatastrophic events at open pitcoal mines: the case of Amintaio coal mine, West Macedonia, Greece. Natural Arabian Journal of Geosciences 13:582, 1-12.
- Loupasakis, K., Angelitsa, V., Rozos, D., Spanou, N. (2014): Mining geohazards-land subsidence caused by the dewatering of opencast coal mines: The case study of the Amyntaio coal mine, Florina, Greece. Natural Hazards 70, 675–691.
- Soulios, G., Tsapanos, Th., Voudouris, K., Kaklis, T., Mattas, Ch., Sotiriadis, M. (2011): Ruptures on surface and buildings due to land subsidence in Anargyroi village (Florina Prefecture, Macedonia). Advances in the research of aquatic environment (Eds: Lambrakis, N., Stournaras, G., Katsanou, K.), Springer. Proc. of 9th International Conference on Hydrogeology, Kalavrita, October 5-8, 2011. Vol. 2, 505-512.
- Tzampoglou, P., Loupasakis, C. (2018): Evaluating geological and geotechnical data for the study of land subsidence phenomena at the perimeter of the Amyntaio coalmine, Greece. International Journal of Mining Science and Technology 28, 601–612.
- Βουδούρης, Κ. (2021). Τεχνική Υδρογεωλογία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης, Κ. (2017). Εκμετάλλευση και Διαχείριση Υπόγειου Νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης, Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γκουντούλας, Κ. (2012): Διερεύνηση των μηχανισμών λειτουργίας των λιμνών Χειμαδίτιδας και Ζάζαρης της λεκάνης Αμυνταίου του Νομού Φλωρίνης από υδρογεωλογική και περιβαλλοντική άποψη. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Δημητρακόπουλος, Δ., Κουμαντάκης, Ι. (2017): Υδροδυναμικό καθεστώς λεκάνης Αμυνταίου: Επιπτώσεις των λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Πρακτικά 11^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα 2017, Τόμος 1, 101-112.
- ΙΓΜΕ (Πάσχος, Π., Νικολάου, Ν., Στάμος, Α.) (2018): Έκθεση τεχνικογεωλογικής αναγνώρισης κατολισθητικών φαινομένων στις Τ.Κ. Βαλτόνερων, Πεδινού, Ροδόνα και Φανού του Δήμου Αμυνταίου. Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση.



- Μουντράκης Δ., 1985, "Γεωλογία της Ελλάδας", University Studio Press, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Σπ. (1985): Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Σούλιος, Γ. (επιστημονικός υπεύθυνος) και ομάδα ερευνητών (2009): Μελέτη διερεύνησης των αιτιών που προκαλούν ρήγματα στην περιοχή Αναργύρων, Νομού Φλώρινας. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- Τζαμπόγλου, Π., Λουπασάκης, Κ. (2017): Σύγχρονα δεδομένα πιεζομετρίας στην υπολεκάνη του Αμυνταίου και η σχέση τους με την εξέλιξη των φαινομένων των εδαφικών υποχωρήσεων. Πρακτικά 11^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα 2017, Τόμος 1, 457-466.
- Τσούρλος, Π. (επιστημονικός υπεύθυνος) και ομάδα ερευνητών (2015): Έρευνα και προτάσεις για την εμφάνιση ρωγμών στην Τοπική Κοινότητα Βαλτονέρων του Δ. Αμυνταίου Π.Ε. Φλώρινας. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- <https://florina.pdm.gov.gr>
- <https://www.amyntaio.gr/istoria>