

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΛΙΓΝΙΤΗ.
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ»

ΑΘΗΝΑ 2019

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΥΓΕΡΗΣ ΘΕΜΗΣ





ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ
ΛΙΓΝΙΤΗ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ»**

ΣΥΓΓΡΑΦΗ: ΑΥΓΕΡΗΣ ΘΕΜΗΣ

1114 2013 00009

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Η αποδοχή και η βαθμολόγηση της διπλωματικής εργασίας
ΔΕΝ υποδηλώνει και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα

ΑΘΗΝΑ 2019

Στον Δημήτρη, την Θεοδώρα
και τον Κωνσταντίνο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο της διπλωματικής

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

2.2. Τεκτονική

3. ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ

3.1. Καρστικά υδροφόρα συστήματα

3.2. Υδροφόρα συστήματα χαλαρών ιζημάτων

3.2.1. Υδροφορέας υπερκειμένων

3.2.2. Υδροφορέας υποκειμένων

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

4.1 Γενικά

4.2 Υδατικό Ισοζύγιο

4.2.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, εξατμισοδιαπνοή, περίσσεια νερού

4.2.2 Επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης

4.2.3 Εισροές από την γειτονική υδρολογική λεκάνη του Αλιάκμονα

4.2.4 Απολήψεις νερών για διάφορες χρήσεις και διαδικασίες

4.2.4.A *Αντλήσεις για την προστασία των ορυχείων*

4.2.4.B *Αντληση νερού για την τροφοδοσία του Βιομηχανικού Συγκροτήματος*

4.2.4.Γ *Αντλήσεις νερού από το ρέμα Σουλού για αρδεύσεις*

4.2.4.Δ *Αντλήσεις από γεωτρήσεις για ύδρευση και άρδευση*

5. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

5.1. Κίνδυνος ανύψωσης του δαπέδου (Heaving risk)

5.2. Άνοδος του νερού μέσω ρηγμάτων (Piping risk)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο της διπλωματικής

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι η Μαυροπηγή, η οποία βρίσκεται στην Δυτική Μακεδονία και πιο συγκεκριμένα στον Ν. Κοζάνης.

Έπειτα γεωλογικών και κοιτασματολογικών ερευνών, ανακαλύφθηκαν μεγάλοι υπεδαφικοί όγκοι κοιτασμάτων λιγνίτη τόσο στην περιοχή της Μαυροπηγής όσο και της ευρύτερης περιοχής. Οι όγκοι αυτοί βρίσκονται υπο εκμετάλλευση από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού προς καύση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο λιγνίτης αποτελεί το σημαντικότερο ενεργειακό καύσιμο για την οικονομία της Ελλάδας, ενώ μέσω της καύσης του και από την ημερομηνία ίδρυσης της Επιχείρησης καλύπτεται ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας.

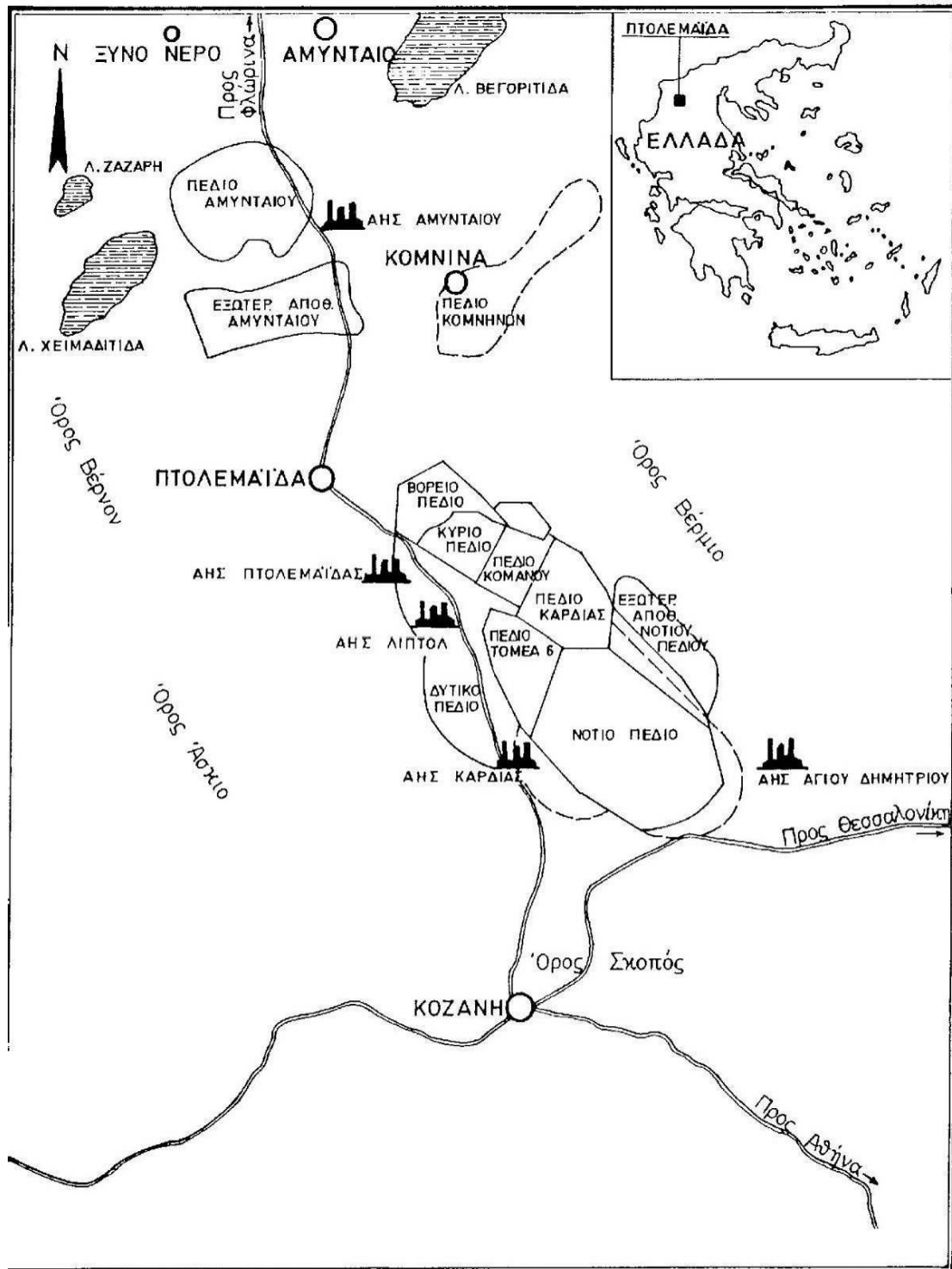
«Σύμφωνα με την ΔΕΗ ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια.»

Στην Δυτική Μακεδονία έχουμε την λειτουργία αρκετών ορυχείων εκσκαφής λιγνίτη καθώς και 6 ατμοηλεκτρικών σταθμών.

Ο λιγνίτης στην περιοχή της Πτολεμαΐδας εκτιμάται ότι σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια 10 εκατ. ετών περίπου και πιστεύεται ότι οι διεργασίες τελείωσαν πριν 1 εκατ. έτη. (Ιστοσελίδα dei.gr, Ορυχεία Πτολεμαΐδας)

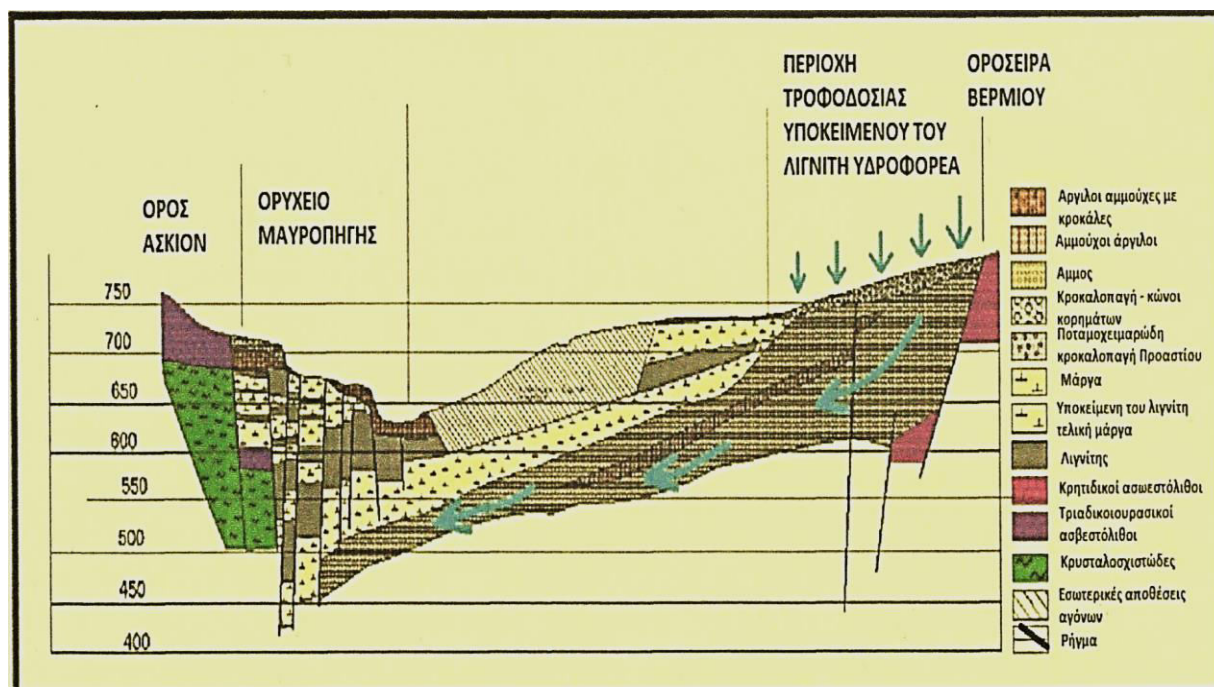
Την εποχή εκείνη η λεκάνη Φλώρινας-Αμυνταίου-Κοζάνης-Πτολεμαΐδας καλύπτονταν από λίμνες και έλη και μέσω των κλιματικών συνθηκών, της μεγάλης βλάστησης και της συγκέντρωσης γαιώδων υλικών ευόνησαν την δημιουργία στρωμάτων λιγνίτη. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε με αποτέλεσμα την εναλλαγή λιγνιτοφόρων στρωμάτων και γαιώδων υλικών με την δημιουργία λιγνιτικών κοιτασμάτων τύπου Zebra.

Το Ορυχείο της Μαυροπηγής εδράζεται στο δυτικό τμήμα της νότιας λεκάνης της Πτολεμαΐδας, στους πρόποδες του όρους Άσκιο.



Εικόνα 1: Ορυχεία και ΑΗΣ της λεκάνης Πτολεμαΐδας (Δ. Δημητρακόπουλος, Υδρογεωλογικές Συνθήκες Ορυχείου Αμυνταίου. Προβλήματα κατά την εκμετάλλευση και αντιμετώπισή τους, Αθήνα 2001, Σελ. 7)

Κατά την εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στα υπερκείμενα και ενδιάμεσα υδροφόρα στρώματα αποκόπτονται και εκτονώνονται στον χώρο της εκσκαφής. Πέραν αυτού οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στο υπόβαθρο είναι πιθανόν να τροφοδοτούν τα χαλαρά ιζήματα, γεγονός που μπορεί να αποβεί εξαιρετικά επικίνδυνο, καθώς σε καθεστώς πίεσης δύναται να εισρεύσουν στον χώρο της εκσκαφής μετά από θραύση του πυθμένα ή των πρανών. Το βαθύτερο τμήμα της εκμετάλλευσης φθάνει σε απόλυτο υψόμετρο περί τα 440 m, ενώ η στάθμη του υπο του λιγνίτη υδροφορέα περίπου σε απόλυτο υψόμετρο 600 m. Με δεδομένο ότι η στάθμη του υδροφορέα των υποκειμένων στρωμάτων είναι ψηλότερα από το απόλυτο υψόμετρο του δαπέδου του ορυχείου, το πρόβλημα έγκειται στον σχεδιασμό μέτρων αποστράγγισης προς αποφυγή εισροής υπόγειων νερών από τον υπό πίεση υδροφορέα στο δάπεδο του ορυχείου Μαυροπηγής.



Εικόνα 2: Υδρογεωλογική Τομή υδροφορέα εξάρματος Κομάνου. Τροφοδοσία από τους πρόποδες του Βερμίου. (Υδρογεωλογική Μελέτη ΤΥΜ/ΔΚΥΟΡ, Φεβρουάριος 2019)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Το κοίτασμα της Μαυροπηγής αναπτύσσεται στα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης Πτολεμαΐδας, η οποία αποτελεί τμήμα ενός εκτεταμένου τεκτονικού βυθίσματος που ανήκει στην Πελαγονική ζώνη.

Οι σχηματισμοί της περιοχή μελέτης είναι οι σχηματισμοί που συγκροτούν τις παρυφές και το υπόβαθρο της λεκάνης και τα χαλαρά ιζήματα.

Τα παλαιότερα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης είναι τα κρυσταλλοσχιστώδη, η επιφανειακή εμφάνιση των οποίων είναι ηλικίας μεγαλύτερης του Τριαδικού (Κεφάλας, Σπ., κ.α., Προσομοίωση Υπόγειας Ροής μέσω μαθηματικού μοντέλου και σχεδιασμός αποστράγγισης ορυχείου Μαυροπηγής 1987).

Κατά το **Τριαδικό**, μετά από επίκληση, έχουμε απόθεση των ασβεστόλιθων του Τριαδικού, οι οποίοι συγκροτούν το Νότιο Άσκιο, με εξαίρεση την εμφάνιση των κρυσταλλοσχιστωδών στο ύψος της Μαυροπηγής.

Μεταξύ **Ανώτερου Ιουρασικού και Κατώτερου Κρητιδικού** και με συνεχή απόθεση της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης λαμβάνει χώρα η έκχυση και επώθηση των οφιολίθων πάνω στα ανθρακικά καλύμματα. Στη λεκάνη Πτολεμαΐδας εμφανίζονται σχιστοκερατόλιθοι με παρεμβολές οφιολίθων στο Δυτικά και στο Βέρμιο Ανατολικά.

Κατά το **Κρητιδικό** λαμβάνει χώρα νέα επίκληση της θάλασσας που συνοδεύεται από απόθεση κροκαλοπαγούς επίκλησης και ασβεστόλιθων. Οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι συναντώνται στο κεντρικό Βέρμιο.

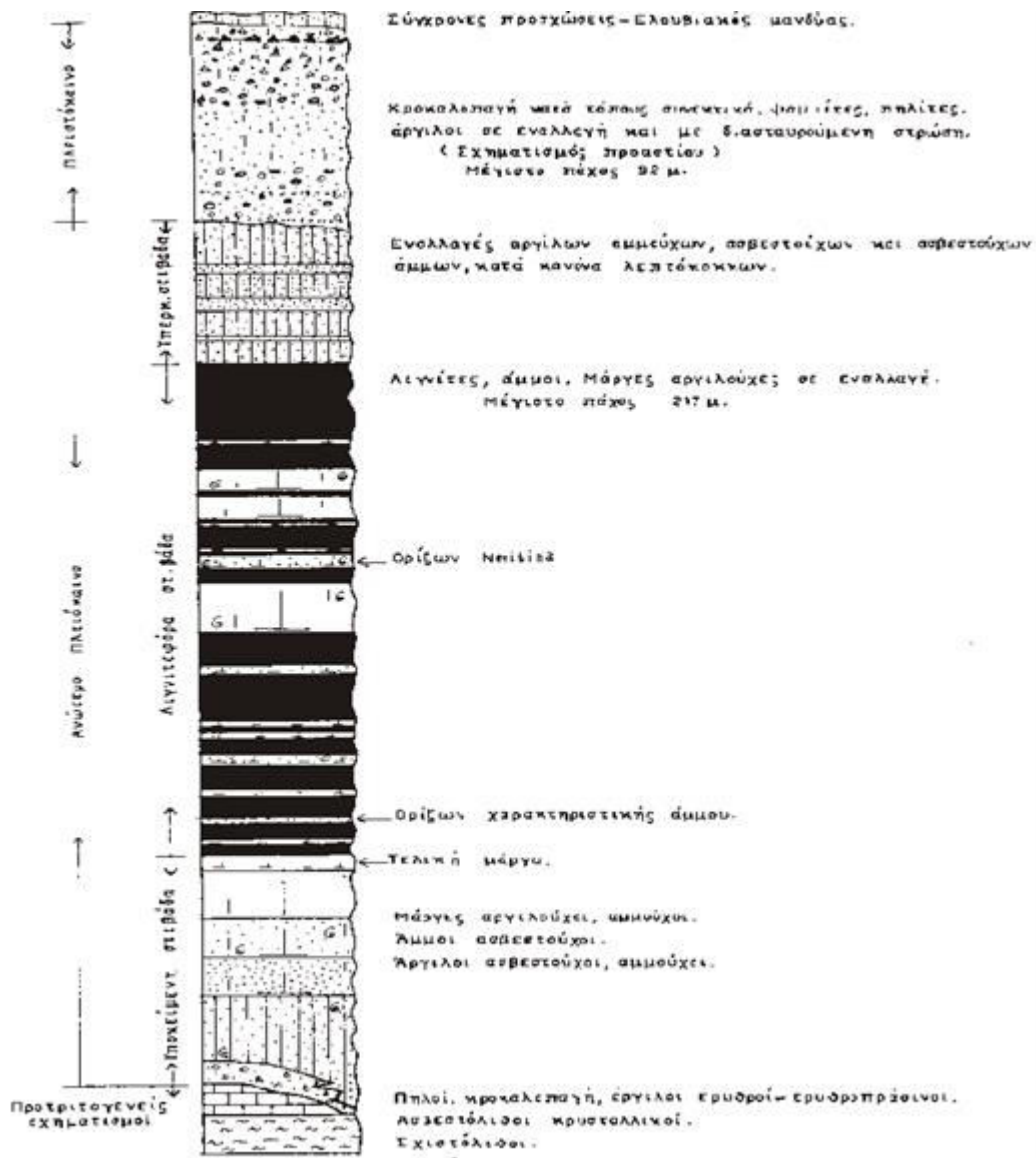
Κατά το **Τριτογενές** έλαβε χώρα η τελική ηπειρωτική σύγκρουση η οποία συνοδεύτηκε από τρεις φάσεις πτυχώσεων. Η τελευταία από αυτές, η οποία σημειώθηκε κατά το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο, δημιούργησε μεγάλα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, και μέσω της δράσης αυτών είχαμε την δημιουργία της λεκάνης.

Μετά τη δημιουργία της η λεκάνη κατακλύσθηκε από νερά εντός των οποίων άρχισε η απόθεση ιζημάτων. Τα υποκείμενα της λιγνιτοφόρου σειράς ιζήματα συνίστανται από αργίλους, μάργες, άμμους και κροκαλοπαγή. Η λίμνη μετατράπηκε σε έλος, γεγονός που ευνόησε την ανάπτυξη χλωρίδας. Η ενανθράκωση αυτής της χλωρίδας οδήγησε στην δημιουργία του **Πλειοκαινικής ηλικίας** λιγνίτη της λεκάνης. Η συνάρτηση της ταχύτητας ιζηματογένεσης από παράγοντες όπως αυτός των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας του νερού, εκτός βέβαια από τον σταθερό παράγοντα της γεωλογικής σύστασης των περιθωρίων, είχε ως αποτέλεσμα την συχνή εναλλαγή στρωμάτων λιγνίτη και στείρων. Τα τελευταία αποτελούνται κυρίως από μάργες και δευτερευόντως από αργίλους, άμμους και κροκαλοπαγή.

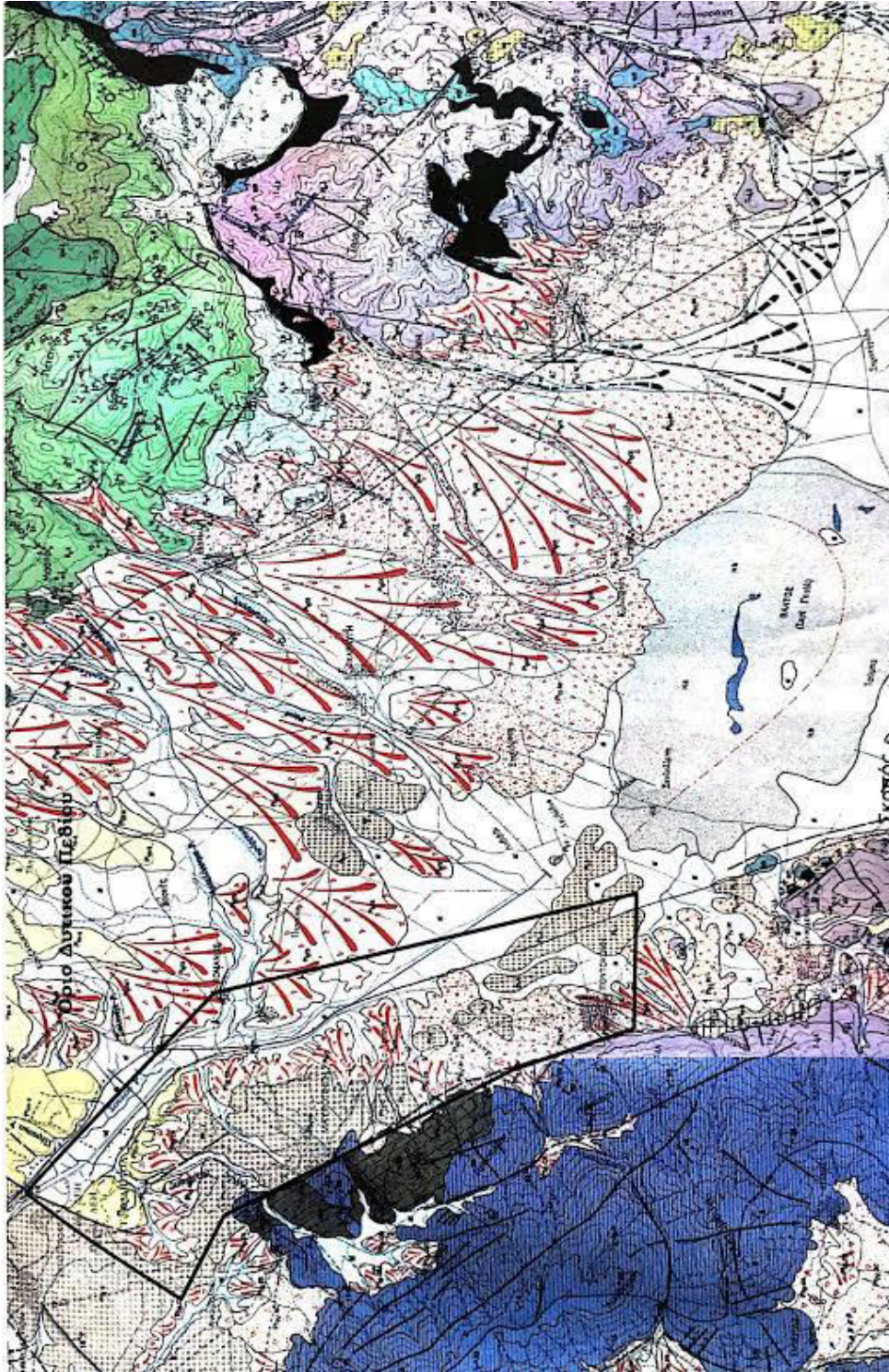
Της λιγνιτοφόρου σειράς επίκειται, σε συμφωνία, η επονομαζόμενη σειρά πρασινότεφρων αργιλομαργαϊκών αποθέσεων, η οποία αποτελείται από εναλλαγές ισχυρών αμμούχων αργίλων, αργιλούχων μάργων και άμμων.

Ασύμφωνα ακολουθεί η ποταμολιμναία φάση των άμμων, αργίλων και αμμούχων μαργών με λίγους ψαμμίτες.

Ακολουθούν τα **Τεταρτογενούς ηλικίας** χειμαρρολιμναία ιζήματα τα οποία εμφανίζονται σε εναλλαγές ερυθρών αργίλων και κροκαλοπαγών. Ένας άλλος σχηματισμός, Πλειστοκαινικής ηλικίας, είναι τα κροκαλοπαγή του Προαστίου, τα οποία συναντώνται στα όρια του Ορυχείου Μαυροπηγής και Προαστίου. Πρόκειται για χειμάρριες αποθέσεις χαλαρών κροκαλοπαγών, άμμων και ψαμμιτών.



Εικόνα 3: Στρωματογραφική στήλη της περιοχής (Σπ. Κεφάλας, Ι. Διαμαντή - Ξηροπούλου, 1987 Προσομοίωση Υπόγειας Ροής μέσω μαθηματικού μοντέλου και σχεδιασμός αποστράγγισης ορυχείου Μαυροπηγής)



Εικόνα 4: Γεωλογικός Χάρτης λεκάνης Πτολεμαΐδας(Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)

2.2. Τεκτονική

Μεταξύ **Μέσου και Ανώτερου Μειόκαινου**, αναπτύχθηκε στην περιοχή ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο. Αποτέλεσμα της δράσης του είναι η δημιουργία ενός τεκτονικού βυθίσματος, το οποίο ξεκινάει από το Μοναστήρι και φθάνει έως την Κοζάνη. Η διεύθυνση των κρασπεδικών ρηγμάτων είναι ΒΔ – ΝΑ (Κεφάλας, Σπ., Διαμαντής, Ι. & Ξηροπούλου, Ι., 1987).

Στο βύθισμα που δημιουργήθηκε εισρεύσανε τα πρώτα χερσοποτάμια ιζήματα και στην συνέχεια αναπτύχθηκε μία εκτεταμένη λίμνη, η οποία απετέλεσε το χώρο ιζηματογένεσης λεπτόκοκκων ιζημάτων. Η δράση του ελκυστικού πεδίου τάσεων συνεχίστηκε και κατά το Πλειόκαινο, την περίοδο δηλαδή της λιγνιτογένεσης, και υπό την επίδρασή του τα ιζήματα ρηγματώθηκαν.

Η ανάπτυξη ενός δεύτερου εφελκυστικού πεδίου από το **Ανώτατο Πλειόκαινο και κατώτερο Τεταρτογενές** επαναδραστηριοποίησε τα παλαιά ρήγματα και δημιούργησε καινούργια, ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, με αποτέλεσμα τον κατακερματισμό της λεκάνης καθώς και την δημιουργία εξαρμάτων και βυθισμάτων, ένα από τα οποία είναι η λεκάνη Πτολεμαΐδας στα δυτικά περιθώρια της οποίας εντοπίζεται το Δυτικό Πεδίο.

Μετά τον διαχωρισμό τους κάθε μία από τις επιμέρους λεκάνες ακολούθησε, κατά την διάρκεια του **Τεταρτογενούς**, σχεδόν ξεχωριστή ιζηματολογική εξέλιξη η οποία επηρεάστηκε από το μέγεθος των ανοδικών και καθοδικών κινήσεων που έλαβαν χώρα στις επιμέρους λεκάνες, από τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα των ορεινών μαζών που περιέβαλαν κάθε μία από τις λεκάνες και τέλος από τις υδρολογικές, υδρογεωλογικές και τοπικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν στις επιμέρους περιοχές.

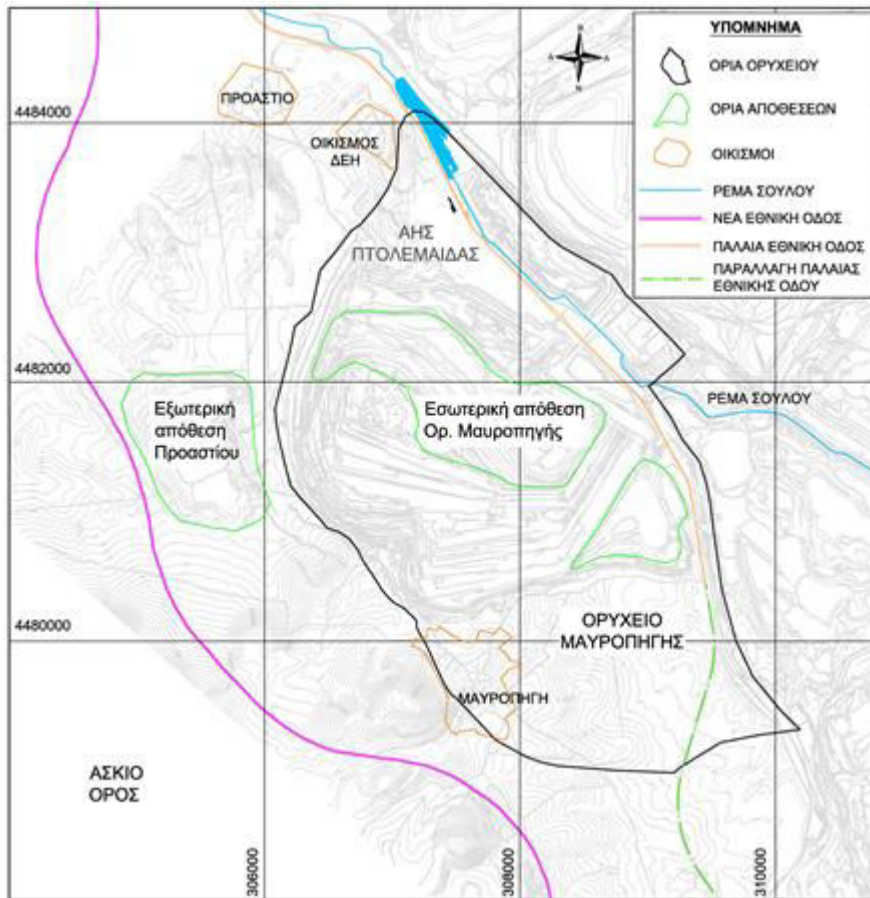
Κατά το **Τεταρτογενές** πολλές περιοχές καλύφθηκαν με χερσαία ιζήματα και πλευρικά ριπίδια ενώ παράλληλα τα ρήγματα εξακολουθούσαν να λειτουργούν μέχρι και το **Ανώτερο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο**. Τέλος, με την επίδραση της διάβρωσης, ολοκληρώθηκαν οι διεργασίες που έδωσαν την σημερινή εικόνα της περιοχής.

Κατά την τελευταία εφελκυστική περίοδο (**Αν. Πλειόκαινο – Κατ. Τεταρτογενές**) μετά και την ενεργοποίηση των παλαιών ρηγμάτων στο Ορυχείο Μαυροπηγής έγινε τμήση των κύριων ρηγμάτων που η διεύθυνσή τους είναι ΒΔ-ΝΑ:

- Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού υπήρξε η έντονη τεκτονική διεργασία, με συνέπεια την δημιουργία του μεγάλου ρήγματος στο βορειοδυτικό τμήμα του ορυχείου που διαχωρίζει την κοιτασματολογική ενότητα από εκείνη του προαστίου, με τεκτονικό άλμα μεγαλύτερο των 100m (*Ρήγμα Προαστίου*).

Εκτός όμως από το μεγάλο τεκτονικό ρήγμα του Προαστίου, υπήρξαν και τοπικές τεκτονικές διεγέρσεις εντός του Ορυχείου της Μαυροπηγής. Μία από αυτές τις τοπικές τεκτονικές διεργασίες με αντίστοιχα ρήγματα δημιούργησε

και το επονομαζόμενο «βαθύ τμήμα» εντός του Ορυχείου για το οποίο απαιτείται ειδικός τρόπος εκμετάλλευσης.



Εικόνα 5: Ορυχείο Μαυροπηγής (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)

3. ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ

Στην ευρύτερη περιοχή του Ορυχείου πιστοποιείται η ύπαρξη των παρακάτω υδροφόρων συστημάτων:

3.1. Καρστικά υδροφόρα συστήματα

Στην περιοχή του Βερμίου και του Ασκίου διαμορφώνεται η Νότια καρστική ενότητα με πιεζομετρική επιφάνεια σε απόλυτο υψόμετρο +280 m. Συνεπώς δεν επηρεάζει την εκμετάλλευση, που φθάνει σε απόλυτο υψόμετρο +420.

Καρστική υδροφορία στην περιοχή αναπτύσσεται τόσο στους Τριαδικούς όσο και στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Ωστόσο οι απόψεις που έχουν εκφραστεί από τους διάφορους ερευνητές, αναφορικά με την διαμόρφωση και την έκταση των καρστικών υδρογεωλογικών ενοτήτων καθώς και με τις κατευθύνσεις ροής και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τους, είναι αλληλοσυγκρουόμενες.

Κάποιες από αυτές τις απόψεις έχουν ως εξής:

- Κατά την BGR και ΙΓΜΕ (Groba E. at al, Hydrogeological investigations for the water supply of Ptolemais Region 1985, σελ. 57) στους Τριαδικούς ασβεστόλιθους του Βερμίου, αναπτύσσονται δύο μεγάλα καρστικά συστήματα σχεδόν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Τα συστήματα αυτά είναι:

-το Βόρειο καρστικό υδροφόρο σύστημα με την πιεζομετρική του επιφάνεια να διαμορφώνεται στο απόλυτο υψόμετρο των 525 μέτρων περίπου,

-και το Νότιο καρστικό υδροφόρο με την πιεζομετρική του επιφάνεια να διαμορφώνεται, το έτος 1985, περίπου στο απόλυτο υψόμετρο των 280 μέτρων.

Η εκφόρτιση του συστήματος γίνεται, κυρίως, στις πηγές των Ανατολικών ορίων του Βερμίου, στην επαφή της Πελαγονικής ζώνης με την ζώνη Αξιού, η οποία λειτουργεί σαν φράγμα στην κίνηση του νερού. Τέτοιες πηγές, για το Βόρειο σύστημα, είναι της Νάουσας και του Τριπόταμου (Groba E. at al, Hydrogeological investigations for the water supply of Ptolemais Region 1985 1985, σελ. 5), για δε το Νότιο οι πηγές της Νεράιδας. Οι τελευταίες βρίσκονται στην οριακή ζώνη μεταξύ Τριαδικό-Ιουρασικών ασβεστόλιθων και παλαιοζωικού υπόβαθρου στο υψόμετρο των 250 μέτρων. Το καρστικό υδροφόρο σύστημα του Βερμίου τροφοδοτείται κατευθείαν από τα

κατακρημνίσματα και το ύψος τροφοδοσίας ανέρχεται στα $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος (Groba E. et al, 1985, σελ.5). Η καρστική υδροφορία του Ασκίου στα Δυτικά περιθώρια της λεκάνης μελετήθηκε ελάχιστα. Σύμφωνα με τους ερευνητές που αναφέρονται πιο πάνω η καρστική υδροφορία του νοτίου Ασκίου είναι αυτή του Νοτίου καρστικού υδροφόρου συστήματος του Βερμίου.

- Κατά τον Παπακωσταντίνου (Δημητρακόπουλος, Υδρογεωλογικές Συνθήκες Ορυχείου Αμυνταίου. Προβλήματα κατά την εκμετάλλευση και αντιμετώπισή τους, Αθήνα 2001,σελ. 85) οι υδρογεωλογικές ενότητες είναι οι εξής τέσσερις:

- υδρογεωλογική ενότητα νοτίου Βερμίου με περιοχές του Ασκίου η οποία εκφορτίζεται στις πηγές της Νεράϊδας,

- υδρογεωλογική ενότητα των ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών του ανατολικού Βερμίου, που εκφορτίζεται στις πηγές του ανατολικού Βερμίου,

- υδρογεωλογική ενότητα βορείου Βερμίου με τμήμα του νότιου Βόρρα, η οποία εκφορτίζεται στις πηγές Νησίου,

- υδρογεωλογική ενότητα δυτικού και βορειοδυτικού Βερμίου η οποία συνδέεται με τη Βεγορίτιδα.

Πέραν των παραπάνω και άλλοι ερευνητές έχουν μελετήσει την περιοχή και έχουν εκφράσει διαφορετικές απόψεις. Γενικά, οι απόψεις που αφορούν στην έκτασή, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, τις κατευθύνσεις ροής και το ισοζύγιο του βαθέως καρστικού συστήματος της περιοχής καθώς και στο ισοζύγιο της λίμνης, που είναι υδραυλικά συνδεδεμένη με τον καρστικό υδροφορέα, είναι αλληλοσυγκρουόμενες.

Τέλος, αναφορικά με την υψηλή καρστική υδροφορία της ευρύτερης περιοχής σημειώνεται ότι καρστικοί επικρεμάμενοι υδροφορείς, περιορισμένης έκτασης και δυναμικού, αναπτύσσονται στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι εμφανίζονται, υπό μορφή "καπέλων", στην περιοχή νότια της λεκάνης. Κάποιοι από αυτούς έχουν ήδη εξαντληθεί.

3.2. Υδροφόρα συστήματα χαλαρών ιζημάτων

Από τις ερευνητικές εργασίες και μελέτες που έχουν εκπονηθεί για την ευρύτερη περιοχή προκύπτει ότι στα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης, αναπτύσσεται υδροφορία στους παρακάτω σχηματισμούς: (Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ, 2000 , Α φάση, Τεύχος 6, σελ. 2):

1. Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων της λεκάνης.
2. Στα υπερκείμενα ιζήματα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας.
3. Στα υποκείμενα ιζήματα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας.

Στα υπερκείμενα ιζήματα το υδροφόρο σύστημα αναπτύσσεται στα υπερκείμενα της λιγνιτικής στοιβάδας Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, αποτελείται από επάλληλους, διασυνδεδεμένους υδραυλικά, υδροφορείς και εμφανίζεται ενιαίος σε όλη του την έκταση. Η στάθμη του κυμαίνεται από το απόλυτο υψόμετρο των 730 μέτρων, στις παρυφές της λεκάνης, στο απόλυτο υψόμετρο των 585 μέτρων στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης (Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ, 2000, Α φάση, Τεύχος 6, σελ. 4).

Το σύστημα αυτό τροφοδοτείται από την ζώνη κροκαλοπαγών και αμμοχάλικων των κώνων κορημάτων κατά μήκος των νοτιοδυτικών παρυφών του Βερμίου (Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ, 2000, Α φάση, Τεύχος 6, σελ. 8). Στα πλαίσια της παραπάνω μελέτης εκφράζεται με επιφύλαξη, λόγω ελλείψεως στοιχείων, η άποψη ότι μία δεύτερη ζώνη τροφοδοσίας του υδροφορέα αναπτύσσεται στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς της περιοχής Ποντοκώμης-Μαυροδενδρίου στα Δυτικά κράσπεδα της λεκάνης.

Επίσης η ζώνη των κροκαλοπαγών στις παρυφές του Ασκίου, στην περιοχή της κοινότητας της Μαυροπηγής, καθώς και ο περιορισμένης έκτασης, υπερκείμενος των κρυσταλλοσχιστωδών, ασβεστολιθικός όγκος στην ίδια περιοχή αποτελούν ζώνη τροφοδοσίας του παραπάνω υδροφορέα.

Η υδροφορία του συστήματος δεν συνδέεται με κανένα τρόπο με τα καρστικά νερά των ορεινών όγκων που περιβάλλουν την λεκάνη (Γ. Λουλούδης, Υδρογεωλογικές συνθήκες Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίου Πτολεμαΐδας, προβλήματα υπόγειων νερών και αντιμετώπισή τους κατά την εκμετάλλευση Αθήνα 1991, σελ. 241). Με την άποψη αυτή συντάσσεται το σύνολο των ερευνητών με εξαίρεση τον Ι. Μελαδιώτη σύμφωνα με τον οποίο (Ι.

Μελαδιώτης, 1996, σελ. 47) η τροφοδοσία των εκμεταλλεύσιμων υδροφόρων συστημάτων της λεκάνης Σαριγκιόλ, δηλαδή των υδροφόρων στα χαλαρά ιζημάτα της λεκάνης, πραγματοποιείται κυρίως από πλευρικές διηθήσεις υπόγειων νερών των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Βερμίου και του Ασκίου, μέσω των ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης εφελκυστικών ρηγμάτων και του δικτύου των καρστικών αγωγών και ρηγματώσεων.

Η άποψη αυτή δεν τεκμηριώνεται επαρκώς δεδομένου ότι η υδροστατική στάθμη στους Τριαδικούς ασβεστόλιθους βρίσκεται πολύ βαθύτερα από αυτή των ιζημάτων της λεκάνης.

Στα υποκείμενα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας αναπτύσσεται ένα υδροφόρο σύστημα η ύπαρξη του οποίου, νότια του ορυχείου Καρδιάς, ελλείπει βαθιών γεωτρήσεων δεν έχει επιβεβαιωθεί και το οποίο, γενικά, έχει μελετηθεί ελάχιστα. Ο υδροφορέας είναι υπό πίεση και η πιεζομετρική του επιφάνεια διαμορφώνεται, περίπου, στο απόλυτο υψόμετρο των 600 μέτρων. Η τροφοδοσία του υδροφορέα φαίνεται να γίνεται από τα κράσπεδα της λεκάνης (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001, σελ.57).

Οριοθέτηση Υδροφορέων

Γενικά

Η ειδική υδρογεωλογική μελέτη πρέπει να απαντήσει σε μία σειρά ζητημάτων το πρώτο από τα οποία είναι η οριοθέτηση των υπόγειων υδροφορέων.

Της αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφορείς στα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης αλλά και της περιβάλλοντες ορεινούς ασβεστολιθικούς όγκους. Η καρστική υδροφορία δεν συνδέεται με την υδροφορία των χαλαρών ιζημάτων και συνεπώς δεν επηρεάζεται από την εκμετάλλευση των ορυχείων. Ωστόσο η ΔΕΗ, για ερευνητικούς σκοπούς, έχει κατασκευάσει μία σειρά υδρογεωτρήσεων τόσο της τριαδικούς όσο και της κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Από σταθμημετρήσεις που γίνανε τον Σεπτέμβριο του 2004 προέκυψε ότι η πιεζομετρική επιφάνεια της κρητιδικούς ασβεστόλιθους, στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης και συγκεκριμένα νότια της κοινότητας της Σπηλιάς βρίσκεται περίπου στο απόλυτο υψόμετρο των 750 μέτρων. Την ίδια περίοδο η πιεζομετρική επιφάνεια του βαθέως καρστικού συστήματος στην περιοχή των ορυχείων και συγκεκριμένα στο ύψος της κοινότητας Μαυροδενδρίου είναι στο απόλυτο υψόμετρο των 300 μέτρων. Τονίζεται ότι σύμφωνα με τον πιεζομετρικό χάρτη που συντάχθηκε το 1985 από της Groba E. at al η πιεζομετρική επιφάνεια στην παραπάνω περιοχή ήταν στο ίδιο υψόμετρο.

Στα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης, στα οποία συγκαταλέγεται και ο εξορυσσόμενος λιγνίτης, αναπτύσσονται δύο υδροφόρα συστήματα. Το πρώτο από αυτά αναπτύσσεται στα υπερκείμενα της λιγνιτικής στοιβάδας νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα τα οποία συγκροτούν τον υδροφορέα υπερκειμένων. Το δεύτερο υδροφόρο σύστημα, ο υδροφορέας υποκειμένων, αναπτύσσεται της υποκειμένους του λιγνίτη σχηματισμούς. Της παραγράφους που ακολουθούν δίνονται τα όρια των υδροφορέων που αναπτύσσονται στα χαλαρά ιζήματα. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι στην περιοχή μελέτης έχουν γίνει ήδη τρεις μελέτες αποστράγγισης ορυχείων στα πλαίσια των οποίων έχουν καταστρωθεί μαθηματικά υδρογεωλογικά μοντέλα.

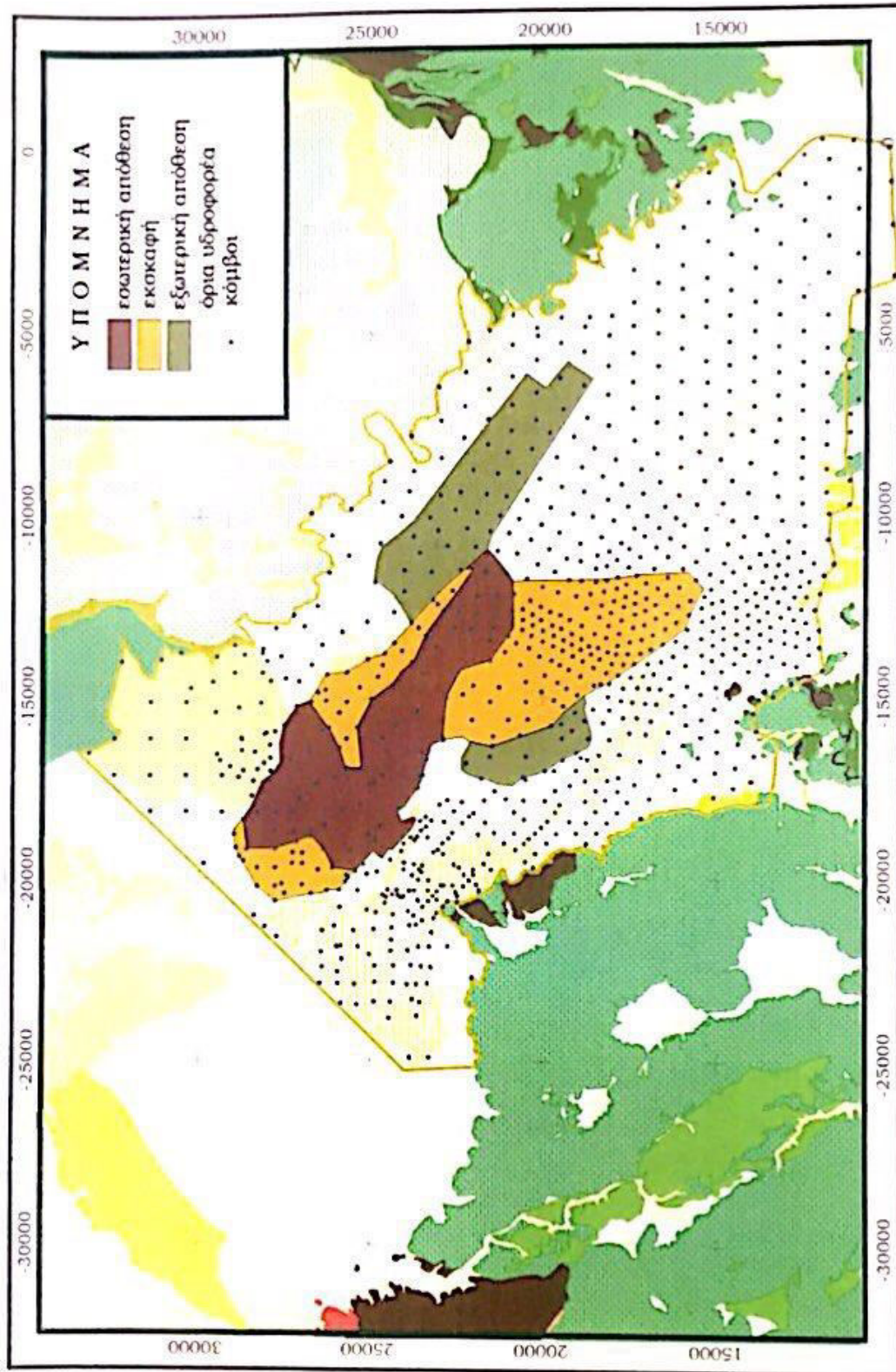
Η πρώτη από αυτές με αντικείμενο την προστασία του Νοτίου Πεδίου από τον κίνδυνο εισροής νερών προερχόμενων από τον υδροφορέα υπερκειμένων είναι διδακτορική διατριβή και εκπονήθηκε το 1991 από τον κ. Γ. Λουλούδη (Υδρογεωλογικές συνθήκες Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίου Πτολεμαΐδας, προβλήματα υπόγειων νερών και αντιμετώπισή της κατά την εκμετάλλευση Αθήνα 1991). Η δεύτερη αφορά της στην αποστράγγιση του Νοτίου Πεδίου και έγινε από την ΔΕΗ σε συνεργασία με τον Γερμανικό οίκο Rheinbraun Engineering . Στα πλαίσια της της μελέτης έγινε προσομοίωση του υδροφορέα υπερκειμένων. Ο υδροφορέας υποκειμένων δεν δημιούργησε και δεν αναμένεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην εκμετάλλευση καθώς αφενός μεν βρίσκεται σε σημαντικό βάθος κάτω από τα δάπεδα του ορυχείου, αφετέρου δε διότι μεταξύ λιγνίτη και υδροφορέα παρεμβάλλεται στρώμα μάργας ικανοποιητικού πάχους. Η Τρίτη μελέτη αφορά το ορυχείο της Μαυροπηγής

και έγινε, και πάλι, σε συνεργασία με την Rheinbraun Engineering και με χρήση του προγράμματος της εταιρείας GW3D, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην προσομοίωση του Νοτίου Πεδίου (Groundwater modelling of the South lignite field, West Macedonia, Greece). Το ορυχείο της Μαυροπηγής είναι της πρόποδες του Άσκιου στα όρια της κοινότητας της Μαυροπηγής και στην μελέτη αποστράγγισης προσομοιώθηκαν τόσο ο υδροφορέας υπερκειμένων όσο και ο υδροφορέας υποκειμένων. Το νότιο όριο της περιοχής προσομοίωσης στην μελέτη αποστράγγισης του ορυχείου της Μαυροπηγής συμπίπτει με το Βόρειο όριο του μοντέλου του Νοτίου Πεδίου. Το βόρειο όριο του μοντέλου της Μαυροπηγής συμπίπτει με το όριο της περιοχής η οποία αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Συνεπώς, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα υπερκειμένων στο σύνολο της περιοχής ενδιαφέροντος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα υποκειμένων στο βόρειο τμήμα της περιοχής έχουν προσδιορισθεί στα πλαίσια προηγούμενων μελετών που έχουν εκπονηθεί από την ΔΕΗ σε συνεργασία με την Rheinbraun Engineering.

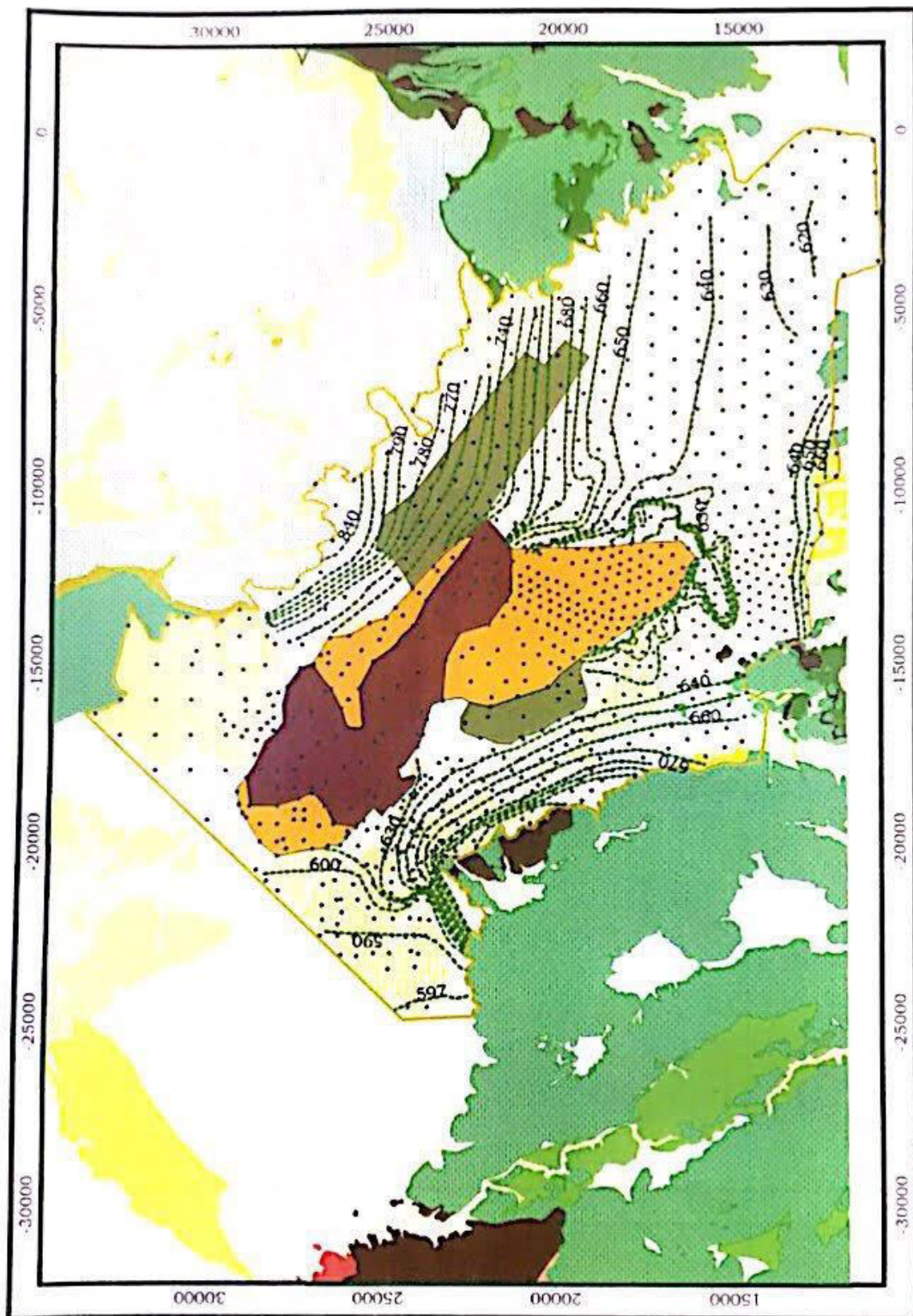
3.2.1. Υδροφορέας υπερκειμένων

Για την προσομοίωση του υδροφορέα υπερκειμένων συντάχθηκαν συνολικά 29 γεωλογικές τομές οι οποίες καλύπτουν όλη την έκταση της λεκάνης από το Βέρμιο έως το Άσκιο. Οι 18 από αυτές συντάχθηκαν στα πλαίσια της μελέτης αποστράγγισης του Νοτίου Πεδίου και οι υπόλοιπες στα πλαίσια της μελέτης του ορυχείου της Μαυροπηγής. Δεδομένου ότι στο Νότιο Πεδίο ο υδροφορέας υποκειμένων δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα, καθώς μεταξύ λιγνιτικής στοιβάδας και χαλαρών υδροφόρων σχηματισμών παρεμβάλλεται στρώμα μάργας ικανοποιητικού πάχους, της 18 πρώτες τομές σχεδιάστηκαν μόνο οι υπερκείμενοι σχηματισμοί και η λιγνιτική στοιβάδα. Οι υδροφορείς αποτελούνται από επάλληλους, υδραυλικά διασυνδεδεμένους υδροφορείς αλλά θεωρείται ότι αυτοί εμφανίζονται ενιαίοι, σε όλη της την έκταση και την σε βάθος ανάπτυξη.

Ο αρχικός σχεδιασμός των γεωλογικών τομών έγινε με το μεταλλευτικό πακέτο METAL του οποίου ο σχεδιασμός έγινε από μισθωτούς της ΔΕΗ. Ως πρωτογενή δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν οι αναλυτικές περιγραφές μεγάλου αριθμού κοιτασματολογικών γεωτρήσεων.



Εικόνα 6: Όρια Υδροφόρα Υπερκείμενων (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)



Εικόνα 7: Πιεζομετρικός Χάρτης Υδροφορέα Υπερκείμενων – Σεπτέμβριος 2003(Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)

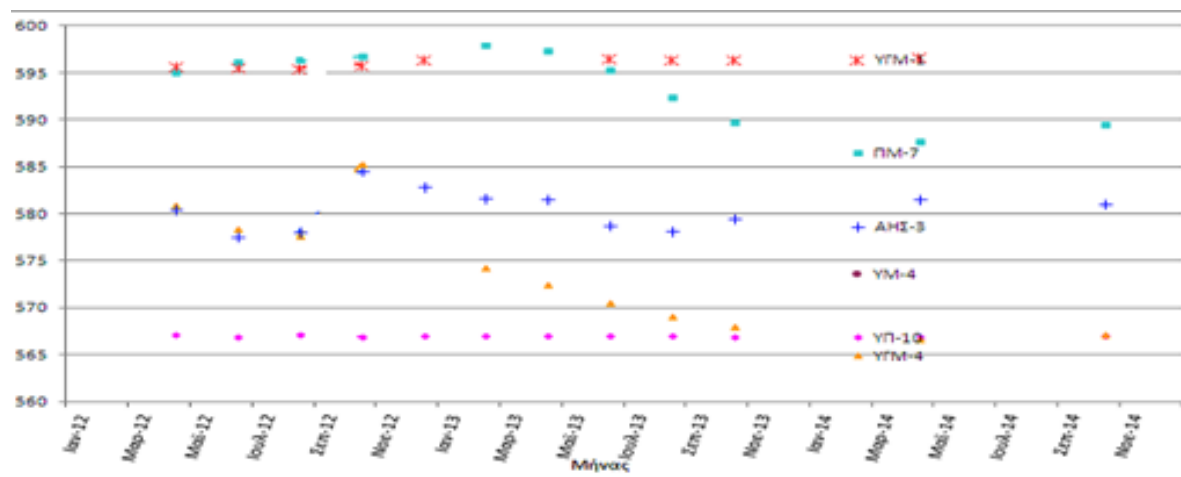
3.2.2. Υδροφορέας υποκειμένων

Στα υποκείμενα τώρα στρώματα υπάρχει η ανάπτυξη υδροφόρου συστήματος, η οποία έχει επιβεβαιωθεί στον χώρο του ορυχείου Μαυροπηγής και Καρδιάς.

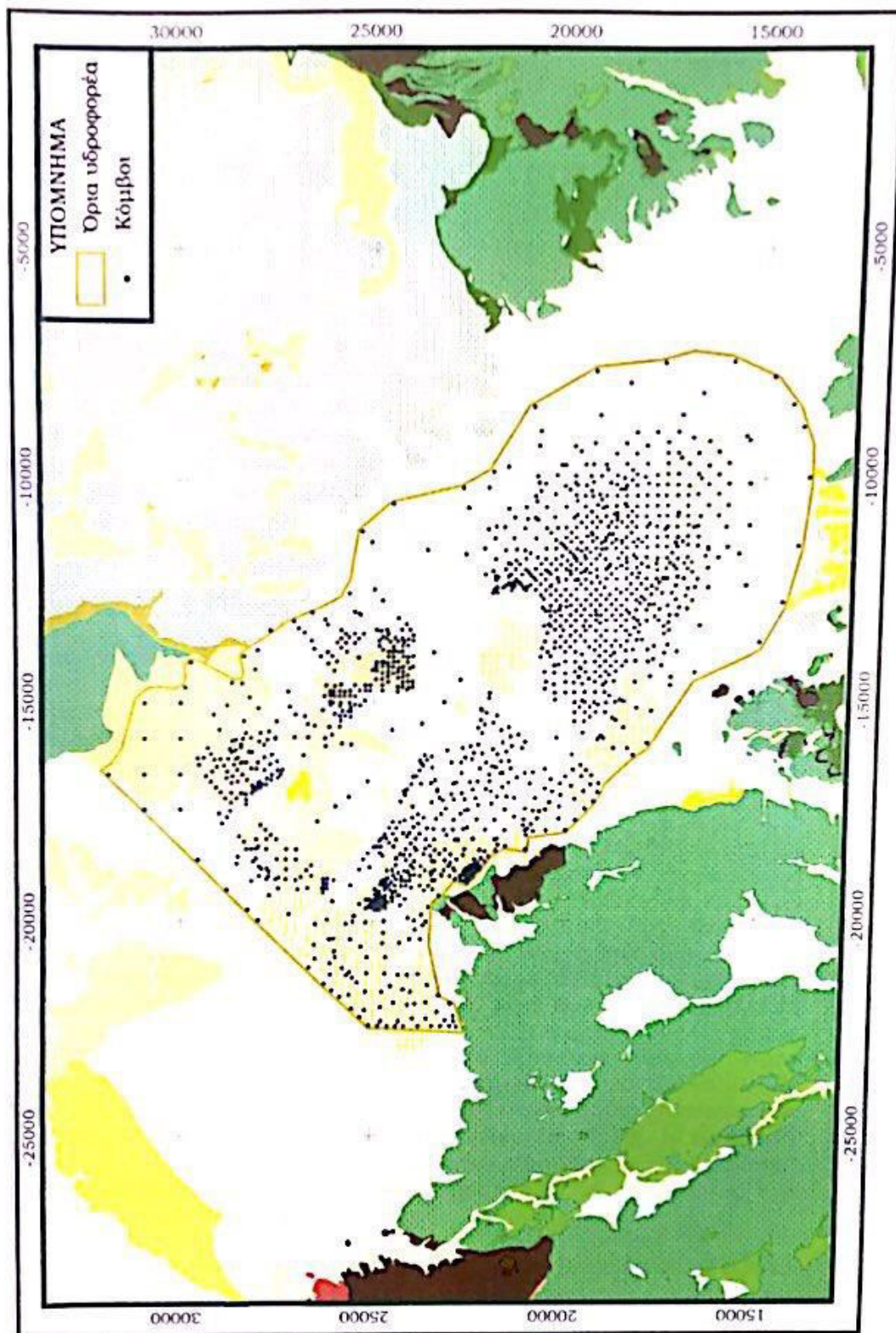
Η πιεζομετρική του επιφάνεια βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 600 m στην περιοχή της Μαυροπηγής, ως τα 550m στην περιοχή του ΑΗΣ Καρδιάς. Ο υδροφορέας είναι υπό πίεση, λόγω της ύπαρξης αδιαπέρατων σχηματισμών στην οροφή του, που αποτελούνται από την τελική μάργα και τα λιγνιτικά στρώματα. Η διαπερατότητα της τελικής μάργας είναι $k= 10^{-6}$ - 10^{-7} m/s (Intergeo, 2009).

Η βασική κατεύθυνση ροής στην περιοχή του ορυχείου Μαυροπηγής είναι από Νότιο νοτιοδυτικά προς Βόρεια βορειοανατολικά, με μέση κλίση 2,5% στο Νοτιοδυτικό τμήμα και 0,25% στο Βορειοανατολικό τμήμα του ορυχείου.

Η διακύμανση της στάθμης των υποκειμένων τα τελευταία χρόνια κυμαίνεται από 0-5 m ετησίως όπως φαίνεται στο παρακάτω υδρογράφημα.



Διακύμανση στάθμης υδρογεωτρήσεων στον υποκείμενο του λιγνίτη υδροφορέα (Γ. Λουλούδης, Υδρογεωλογικές συνθήκες Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίου Πτολεμαΐδας, προβλήματα υπόγειων νερών και αντιμετώπισή τους κατά την εκμετάλλευση Αθήνα 1991)



Εικόνα 8: Όρια Υδροφόρα Υποκείμενων (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)



Εικόνα 9: Πιεζομετρικός Χάρτης Υδροφορέα Υποκείμενων (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

4.1 Γενικά

Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής έχει γίνει στα πλαίσια διαφόρων μελετών. Εκπονήθηκαν δύο ερευνητικά έργα με αντικείμενο την περιοχή ανάπτυξης των ορυχείων Πτολεμαΐδας. Στο ένα από αυτά, με τίτλο “ΕΛΙΜΕΙΑ - Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού”, ανάδοχος ήταν η ΔΕΗ και ολοκληρώθηκε το 1999.

Πιο πρόσφατο είναι το δεύτερο ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο “Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης”. Η μελέτη εκπονήθηκε από τον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. και ολοκληρώθηκε το 2000. Σημειωτέον ότι ο προαναφερόμενος Τομέας του Ε.Μ.Π. ήταν ένας από τους τέσσερις συνεργαζόμενους με την Δ.Ε.Η. φορείς για την εκπόνηση του ΕΛΙΜΕΙΑ.

Για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι του ισοζυγίου του δεύτερου, και πιο πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος, φυσικά, επικαιροποιημένες.

Πριν την παρουσίαση και την αναλυτική περιγραφή των επί μέρους παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου είναι σκόπιμο να αναφερθούν κάποιες, από υδρολογική άποψη, ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η λεκάνη και οι οποίες είναι οι εξής:

- Η λεκάνη Σαριγκιόλ δηλαδή το Νότιο και μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής ανάπτυξης των ορυχείων μέχρι το 1954 αποτελούσε κλειστή υδρολογική λεκάνη. Το 1954 με την διάνοιξη τεχνητής τάφρου, του Σουλού, απέκτησε έξοδο απορροής προς τα βορειοδυτικά.
- Η λεκάνη υφίσταται έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις τόσο από τις εκσκαφές των ορυχείων όσο και από τις αντλήσεις που γίνονται για την προστασία τους από τα νερά. Τα νερά της αποστράγγισης απορρίπτονται στο ρέμα Σουλού από όπου ένα μέρος αντλείται για άρδευση, ένα μέρος διηθείται

από την κοίτη του Σουλού, ένα μέρος εξατμίζεται και το υπόλοιπο απορρέει επιφανειακά για να καταλήξει στη Βεγορίτιδα λίμνη.

- Η λεκάνη εμπλουτίζεται με μεταφορά νερού από την γειτονική υδρολογική λεκάνη του Αλιάκμονα και συγκεκριμένα από την λίμνη Πολυφύτου. Η μεταφορά νερού γίνεται για την κάλυψη των αναγκών σε νερό των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών .

Συνεπώς για την διαμόρφωση των παραμέτρων της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, οι οποίες είναι χωροχρονικά μεταβαλλόμενες και επομένως κάνουν την εκτίμηση του ισοζυγίου δυσχερέστερη.

4.2 Υδατικό ισοζύγιο

Το ισοζύγιο μιας λεκάνης καθορίζεται από την παρακάτω σχέση η οποία έχει προσαρμοσθεί στις ειδικές συνθήκες της λεκάνης.

$$P = R + I1 + I2 + E + dw$$

όπου:

P είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R είναι η επιφανειακή απορροή και οι απολήψεις

I1 είναι η κατείσδυση και οι επιστροφές αρδεύσεων

I2 είναι οι εισροές από άλλη λεκάνη

dw είναι η μεταβολή του όγκου του αποθηκευμένου νερού

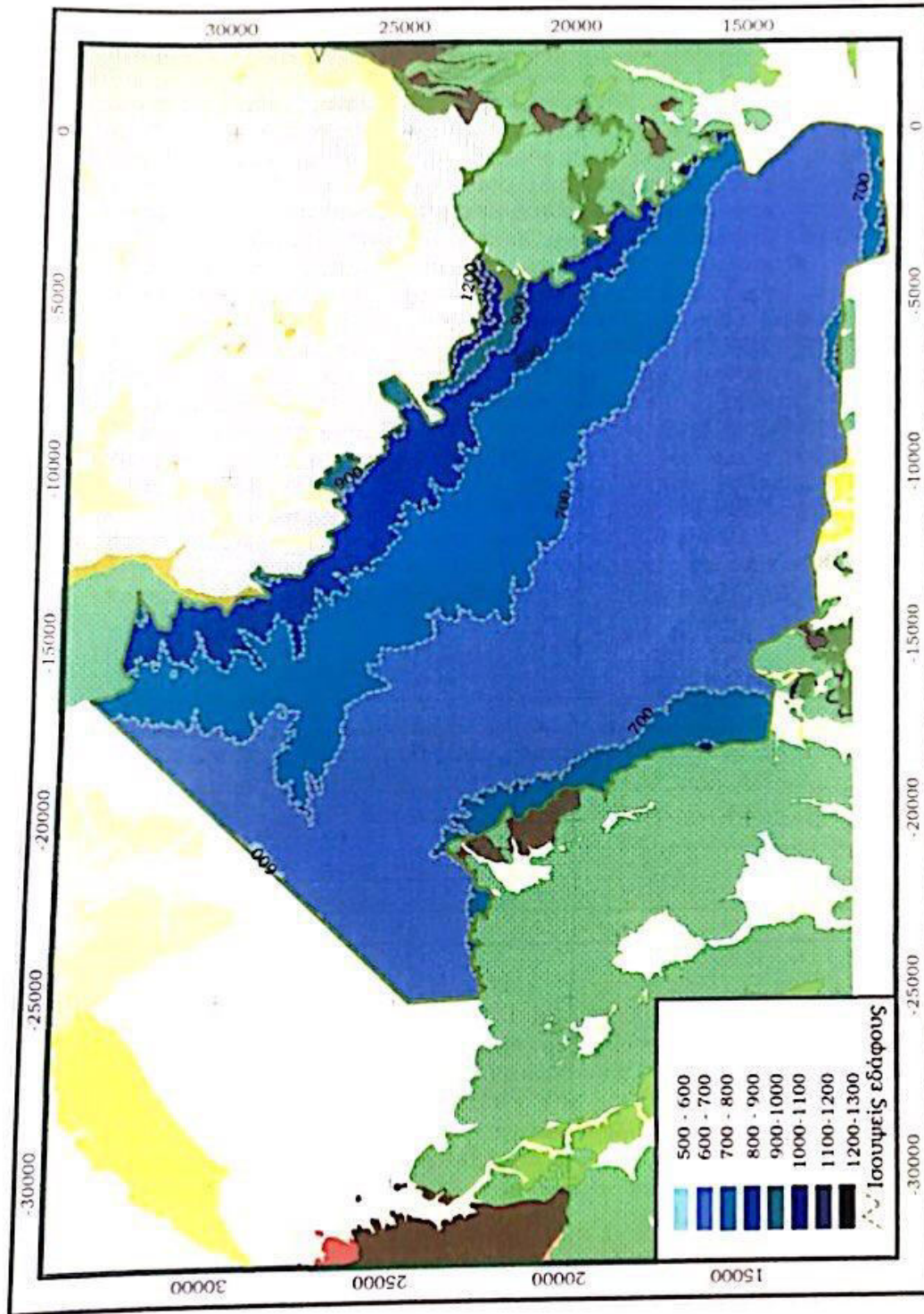
4.2.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, εξατμισοδιαπνοή, περίσσεια νερού (κατείσδυση + επιφανειακή απορροή).

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης» έγινε η επεξεργασία των δεδομένων, μιας σχετικά μακράς σειράς ετών, 10 μετεωρολογικών σταθμών εγκατεστημένων στην υδρολογική λεκάνη της Βεγορίτιδας, τμήμα της οποίας είναι η περιοχή ενδιαφέροντος. Η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα είναι από το έτος 1970 έως το 1997 για τους επτά από τους δέκα σταθμούς και από το 1962 έως το 1997 για τους υπόλοιπους τρεις. Από την επεξεργασία λοιπόν των δεδομένων προέκυψε η παρακάτω σχέση (Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης, 1999, Τεύχος

III, σελ. 3) η οποία συνδέει το ύψος των βροχοπτώσεων με το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους:

$$Y = 372,96 + 0,284 H$$

Επιπλέον ο συντελεστής της εξατμισοδιαπνοής που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της ίδιας μελέτης ανέρχεται στο 75,4% (Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης, 1999, Τεύχος 6. σελ. 20). Με αυτά τα δεδομένα υπολογίσθηκε το ύψος και ο όγκος των βροχοπτώσεων και της εξατμισοδιαπνοής ανά υψομετρική ζώνη. Στο επόμενο σχήμα εμφανίζονται οι υψομετρικές ζώνες:



Εικόνα 10: Όγκος των βροχοπτώσεων και της εξατμισοδιαπνοής ανά υψομετρική ζώνη (Σ. Τσουφλίδου, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας. Ε.Μ.Π. Αθήνα 2001)

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι στους υπολογισμούς δεν συμπεριλήφθηκαν οι παρακείμενοι ασβεστολιθικοί όγκοι καθώς το νερό που κατεισδύει σε αυτούς τροφοδοτεί το βαθύ καρστικό υδροφόρο σύστημα του

Νότιου Βερμίου, του Σκοπού και του Ασκίου και δεν συμμετέχει στην τροφοδοσία των υδροφορέων που αναπτύσσονται στους χαλαρούς, υπερεκείμενους και υποκείμενους της λιγνιτικής στοιβάδας, σχηματισμούς. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ασβεστόλιθοι είναι έντονα καρστικοποιημένοι και επομένως, ο συντελεστής κατείδυσης είναι εξαιρετικά υψηλός και ο συντελεστής επιφανειακής απορροής είναι πολύ χαμηλός.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ΕΛΙΜΕΙΑ (Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού, 1999, Τεύχος 9, Παράρτημα σελ. 5) προέκυψε ότι οι επιφανειακές απορροές ελάχιστα συμμετέχουν στην διαμόρφωση του υδατικού ισοζυγίου των χαλαρών σχηματισμών καθώς το μεγαλύτερο μέρος τους κατεισδύει στους έντονα καρστικοποιημένους ασβεστολίθους πριν οι χείμαρροι εξέλθουν από την ορεινή ζώνη. Το ίδιο ισχύει για το βόρειο τμήμα του Σκοπού και το νότιο Άσκιο με αποτέλεσμα τα νερά να οδηγούνται, τελικά, εκτός της λεκάνης στις πηγές της Νεράιδας, όπου εκτονώνεται ο βαθύς καρστικός υδροφόρας.

Πίνακας 1: Υπερετήσιο υδατικό ισοζύγιο

Υψομετρικές Ζώνες	Έκταση (km ²)	Βροχόπτωση (mm)	Εξατμισοδιαπνοή (mm)	Όγκος Βροχοπτώσεων χ10 ⁶ m ³	Απορροή+Κατείδυση (mm)	Όγκος απορροής+κατείδυσης χ10 ⁶ m ³
500-600	3,82	529,16	398,99	2,02	130,17	0,50
600-700	161,06	557,56	420,40	89,80	137,16	22,09
700-800	77,58	585,96	441,81	45,46	144,15	11,18
800-900	27,73	614,36	463,23	17,03	151,13	4,19
900-1000	4,46	642,76	484,64	2,87	158,12	0,70
Σύνολο	271,21			157,18		38,67

Συμπερασματικά, σε μια έκταση 271 km² η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται ότι είναι 157*10⁶ m³ και η περίσσεια νερού, δηλαδή το άθροισμα της απορροής και της κατείδυσης, υπολογίζεται ότι είναι 38,67* 10⁶ m³. Συνεπώς ο συντελεστής της περίσσειας νερού ανέρχεται στο 24,6%. Η διαφορά των δύο μεγεθών, δηλαδή τα 118,51 *10⁶ m³, συνιστούν την εξατμισοδιαπνοή. Δηλαδή τα νερά που μπαίνουν από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην λεκάνη κατά την διάρκεια ενός μέσου έτους είναι 38,7*10⁶ m³.

4.2.2 Επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης

Η έκταση των 271 m² η οποία δέχεται μέση ετήσια βροχόπτωση 38,67*10⁶ m³ αποστραγγίζεται με το ρέμα Σουλού περίπου στο ύψος του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Συστηματικές όμως υδρομετρήσεις στο Σουλού που γίνανε από το Ι.Γ.Μ.Ε. και την Δ.Ε.Η. γίνανε σε μία θέση στο ύψος του Κομάνου η οποία αποστραγγίζει 210 km².

Η επεξεργασία των μετρήσεων του Ι.Γ.Μ.Ε., οι οποίες καλύπτουν την περίοδο 1984-1994, έγινε στα πλαίσια του ΕΛΙΜΕΙΑ και σύμφωνα με αυτή, στη συγκεκριμένη θέση, η επιφανειακή απορροή κυμαίνεται μεταξύ 11-15.000.000 m³ το έτος. Στα πλαίσια του ΕΛΙΜΕΙΑ γίνανε μετρήσεις στην ίδια θέση και το ύψος της επιφανειακής απορροής υπολογίστηκε ότι το 1997 ήτανε 14,2 *10⁶ m³ και το 1998 10,639 *10⁶ m³

Σύμφωνα με μία εκτίμηση που έγινε από τον Τομέα Περιβάλλοντος του Λ.Κ.Δ.Μ και βασίσθηκε σε ογκομέτρηση που έγινε, αφού διαμορφώθηκε κατάλληλα η διατομή, σε μία θέση στο ύψος του Βιομηχανικού Συγκροτήματος πριν τη λίμνη του Σουλού, η επιφανειακή απορροή στη συγκεκριμένη θέση εκτιμάται ότι ανέρχεται περίπου στο ύψος των 27 *10⁶. Η εκτίμηση αυτή θεωρείται λογική και είναι σε συμφωνία με τις τιμές τις απορροής που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Συγκεκριμένα στο ύψος του Κομάνου το έτος 1997 ή επιφανειακή απορροή ήτανε 14,2*10⁶ m³. Σε αυτό το μέγεθος τα νερά της αποστράγγισης του Νοτίου Πεδίου και του Τομέα 6 συμμετέχουν με 7,7*10⁶ m³ ενώ το 2003 είναι διπλάσια. Επιπλέον στο υπόλοιπο της διαδρομής του Σουλού έως την συγκεκριμένη διατομή, προστίθενται τα επιφανειακά νερά από το ορυχείο Κομάνου και από το Βόρειο Πεδίο καθώς και τα απόνερα του Βιομηχανικού Συγκροτήματος. Με βάση αυτή την απορροή λοιπόν, στη συνέχεια, θα γίνει η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου.

4.2.3 Εισροές από την γειτονική υδρολογική λεκάνη του Αλιάκμονα

Η λεκάνη εμπλουτίζεται με νερό, μεταφερόμενο με αγωγό, από την λίμνη του Πολυφύτου για την κάλυψη των αναγκών σε νερό των ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και Καρδιάς. Οι ποσότητες που μεταφέρονται έχουν ως εξής:

- 25-29*10⁶ m³ ετησίως για τις ανάγκες του Αγίου Δημητρίου και
- 19-20* 10⁶ m³ ετησίως για τις ανάγκες της Καρδιάς.

Ένα μέρος αυτών των ποσοτήτων, μετά από χρήση, απορρίπτεται στο Σουλού. Οι ποσότητες αυτές έχουν ως εξής:

- Από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, μετά την λειτουργία και της πέμπτης μονάδας το 1997, απορρίπτονται ετησίως 8-9*10⁶ m³. Συγκεκριμένα το 2003 ο ΑΗΣ τροφοδοτήθηκε με 29.117.485 m³

από το Πολύφυτο και τα απόνερά του ήταν 8.934.490 m³. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ο ΑΗΣ τροφοδοτείται με νερό και από μία παρακείμενη γεώτρηση σε ποσότητες που κυμαίνονται μεταξύ των 160 και 180.000 m³ ετησίως. Η ποσότητα αυτή είναι αμελητέα και για την προσέγγιση που γίνεται για την εκτίμηση του ισοζυγίου ο συνυπολογισμός της είναι άνευ νοήματος.

- Σύμφωνα με στοιχεία του ΑΗΣ Καρδιάς ο σταθμός απορρίπτει στο Σουλού 3,8-4,3* 10⁶ m³ νερού ανά έτος.

4.2.4 Απολήψεις νερών για διάφορες χρήσεις και διαδικασίες.

Οι χρήσεις και διαδικασίες είναι οι εξής:

- Άντληση νερού για την προστασία των ορυχείων. Οι αντλήσεις γίνονται είτε από αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, οι οποίες κατασκευάζονται περιμετρικά της εκσκαφής με στόχο την ταπείνωση της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφορέα, είτε από αντλιοστάσια στα οποία συγκεντρώνονται τα επιφανειακά νερά από τα δάπεδα των ορυχείων. Στην περιοχή των ορυχείων Πτολεμαΐδας αποστράγγιση γίνεται στα υπερκείμενα του Νοτίου Πεδίου και του Τομέα 6. Ωστόσο από όλα τα ορυχεία γίνεται άντληση επιφανειακών νερών από τα αντλιοστάσια Σε κάθε περίπτωση τα αντλούμενα νερά απορρίπτονται κατευθείαν στο Σουλού.
- Άντληση νερού για την τροφοδοσία του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και του Βιομηχανικού Συγκροτήματος της ΔΕΗ. Το Βιομηχανικό Συγκρότημα το οποίο βρίσκεται κοντά στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας περιλαμβάνει το εργοστάσιο λιγνιτοπλίνθων, Μηχανουργεία, Χημείο, γραφεία κ.τ.λ..

- Αντλήσεις κατευθείαν από το Σουλού για γεωργική χρήση.
- Αντλήσεις από γεωτρήσεις για ύδρευση και άρδευση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινισθεί ότι στην διαμόρφωση του ισοζυγίου δεν λαμβάνονται υπόψη οι καταναλώσεις νερού από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας το ισοζύγιο του οποίου έχει ως εξής:

Ο ΑΗΣ καταναλώνει για τις ανάγκες του 7.000.000 από την λίμνη Σουλού και 3.500.000 m³ από γεωτρήσεις οι οποίες βρίσκονται εκτός της μελετώμενης έκτασης των 271km³ και απορρίπτει στο Σουλού 4.000.000 m³. Ωστόσο τόσο οι απολήψεις όσο και οι επιστροφές στο Σουλού γίνονται μετά την συγκεκριμένη διατομή στην οποία εκτιμώνται οι απορροές της λεκάνης.

4. 2. 4. Α Αντλήσεις για την προστασία των ορυχείων

Αντλήσεις υπόγειων νερών από υδρογεωτρήσεις με στόχο την προστασία των ορυχείων γίνονται στον υδροφορέα υπερκειμένων του Νοτίου Πεδίου και του Τομέα 6.

Στο Νότιο Πεδίο, η εκμετάλλευση του οποίου ξεκίνησε το 1979, οι αντλούμενες ποσότητες υπόγειου νερού κυμαίνονται ευρύτατα σε συνάρτηση με την πρόοδο ανάπτυξης της εκμετάλλευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 1996 αντλήθηκαν περίπου 3.000.000 m³, ενώ το 2003 αντλήθηκαν 11.315.000 m³. Τα αμέσως επόμενα έτη εκτιμάται ότι θα αντλούνται ανάλογες ποσότητες.

Στο ορυχείο υπάρχουν δύο αντλιοστάσια από τα οποία αντλούνται και απορρίπτονται στο Σουλού 4.000.000 m³ έως 5.000.000 m³ νερού ετησίως. Το 2003 αντλήθηκαν 4.214.000 m³.

Στον Τομέα 6 το 2003 αντλήθηκαν 2.414.591 m³. Τα επιφανειακά νερά που αντλούνται από τα δάπεδα των ορυχείων κυμαίνονται μεταξύ 1.000.000 m³ και 3.000.000. Το 2003 αντλήθηκαν 2.620.700 m³.

Από το αντλιοστάσιο του ορυχείου του Κομάνου αντλήθηκαν 1.692.000 m³ και από το Βόρειο Πεδίο 111.150 m³.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ποσότητες που αντλήθηκαν από τα ορυχεία και απορρίφθηκαν στο Σουλού το 2003.

Πίνακας: Αντλήσεις από τα ορυχεία το 2003

ΟΡΥΧΕΙΟ	Αντλιοστάσια (m ³)	Αποστράγγιση υπόγειων υδροφορέων (m ³)	Σύνολο (m ³)
ΝΟΤΙΟ	4.214.000	11.315.000	15.529.000
ΤΟΜΕΑΣ 6	2.620.700	2.414.591	5.035.291
ΚΟΜΑΝΟΣ	1.692.000		1.692.000
ΒΟΡΕΙΟ	111.150		111.150
Σύνολο	8.637.850	13.729.591	22.367.441

4.2.4.Β Αντληση νερού για την τροφοδοσία του Βιομηχανικού Συγκροτήματος

Το Βιομηχανικά Συγκρότημα καλύπτει τις ανάγκες του σε νερό από 5 υδρογεωτρήσεις στον υδροφορέα υποκειμένων ο οποίος στην περιοχή γύρω από το Βιομηχανικό Συγκρότημα, βρίσκεται, σε σύγκριση με την υπόλοιπη λεκάνη, σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια και είναι εκμεταλλεύσιμος. Οι αντλούμενες ποσότητες νερού ανέρχονται στα 1.600.000 m³ το έτος. Οι απορριπτόμενες ποσότητες στο Σουλού ανέρχονται περίπου στο 1.300.000 m³ ετησίως.

4.2.4.Γ Αντλήσεις νερού από το ρέμα Σουλού για αρδεύσεις

Όπως διαπιστώθηκε κατά την έρευνα από 30 περίπου θέσεις κατά μήκος του ρέματος Σουλού αντλούνται από γεωργούς ποσότητες νερών οι οποίες δεν καταγράφονται. Εκτιμάται ότι το 1997 αντλήθηκαν κατευθείαν από το Σουλού 5.000.000 m³ και διατέθηκαν για άρδευση και άλλα τόσα εμπλούτισαν, με διήθηση, τον υδροφόρο ορίζοντα («Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης», 1999, Α Φάση. Τεύχος 6, σελ. 24).

Οι παραπάνω ποσότητες αφορούν την περιοχή μελέτης προαναφερόμενου Ερευνητικού Έργου η οποία είναι μικρότερη, κατά 60 km³, από την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας. Ωστόσο αναφορικά με τις ποσότητες που διατίθενται για άρδευση εκτιμάται όχι αυτές δεν μεταβάλλονται σημαντικά διότι το Σουλού σε όλο το υπόλοιπο μήκος του, μέχρι την έξοδο του από την περιοχή μελέτης, διασχίζει κυρίως περιοχές εκσκαφών και αποθέσεων.

Επίσης, άλλα 5.000.000 m³ εκτιμάται ότι διηθούνται και εμπλουτίζουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Ο κύριος όγκος αυτών των διηθήσεων οφείλεται στο γεγονός ότι το Σουλού, για τις ανάγκες της εκμετάλλευσης, εξετράπη της πορείας του και η νέα κοίτη βρίσκεται σε ιζηματογενή χονδρόκοκκο υλικά τα οποία δεν υπέστησαν διαγένεση («Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού», 1999, Τεύχος Επιφανειακές απορροές-Υδρομετρήσεις, σελ. 6). Το τμήμα της εκτροπής βρίσκεται στην περιοχή του ΑΗΣ Καρδιάς και για το υπόλοιπο της διαδρομής του Σουλού θεωρείται ότι οι διηθήσεις δεν είναι σημαντικές.

4.2.4.Δ Αντλήσεις από γεωτρήσεις για ύδρευση και άρδευση

Από την έρευνα που έγινε στα πλαίσια του ΕΛΙΜΕΙΑ προέκυψε ότι το 1997 στη λεκάνη του Νοτίου Πεδίου καταγράφηκαν 320 υδρογεωτρήσεις από τις οποίες αντλήθηκαν 30.000.000 m³ υπόγειου νερού και διατέθηκαν 7.000.000 m³ για ύδρευση και τα υπόλοιπα για άρδευση. Συνεπώς για άρδευση διατίθενται συνολικά 28.000.000 m³ από τα οποία τα 5.00.000 m³ προέρχονται από το Σουλού και τα υπόλοιπα από υδρογεωτρήσεις. Ένα μικρό ποσοστό, περίπου 5%, του νερού που διατίθεται για άρδευση παραμένει στην λεκάνη ως επιστροφές αρδεύσεων.

Εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου

Το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης διαμορφώνεται ως εξής:

Εισροές:

Σε μία έκταση 271 km² το ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων ανέρχεται στα 157*10⁶ m³. Από αυτή την ποσότητα παραμένουν στη λεκάνη τα 38,7*10⁶ m³. Τα υπόλοιπα επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα ως εξατμισοδιαπνοή. Επιπλέον η λεκάνη τροφοδοτείται κάθε χρόνο με 50*10⁶ m³ νερού από την γειτονική υδρολογική λεκάνη. Οι ποσότητες αυτές χρησιμοποιούνται ως ψυκτικό νερό στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς του Αγίου Δημητρίου και της Καρδιάς. Το 30% περίπου αυτής της ποσότητας, απορρίπτεται μετά από χρήση στο Σουλού και ουσιαστικά εμπλουτίζει τη λεκάνη.

Εκροές:

Από το Σουλού απορρέουν περί τα 27-30*10⁶ m³ νερού .

Για άρδευση και ύδρευση διατίθενται περί τα 30*10⁶ m³ νερού προερχόμενου από γεωτρήσεις. Άλλα 5*10⁶ m³ διατίθενται για άρδευση με απολήψεις νερού κατευθείαν από το Σουλού. Περί το 1,5*10⁶ m³ νερού παραμένει στην λεκάνη ως επιστροφές αρδεύσεων.

Δηλαδή η λεκάνη εμπλουτίζεται με περί τα 55*10⁶ m³ νερού το χρόνο και οι καταναλώσεις νερού ανέρχονται στα 65*10⁶ m³.

Συνεπώς η λεκάνη βρίσκεται σε καθεστώς αρνητικού ισοζυγίου κατά 10*10⁶ m³ δηλαδή μειώνονται τα μόνιμα αποθέματα των υπόγειων ταμιευτήρων και συγκεκριμένα του υδροφορέα υπερκειμένων ο οποίος υφίσταται υπερεκμετάλλευση.

5. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Στη μελέτη της RWE (Voigt, J. & Swarchenberg, T., Groundwater model for Manorigi mine. Report for DEI, 2004) υπολογίζεται ότι θα έπρεπε να επιτευχθεί ο υποβιβασμός της στάθμης του υδροφορέα υποκειμένων στο απόλυτο υψόμετρο +440

Για το λόγο αυτό προβλεπόταν αρχικά η κατασκευή 30 υδρογεωτρήσεων, που θα αποστράγγιζαν και τους δύο υδροφορείς (υποκειμένων και υπερκειμένων), οι οποίες στη συνέχεια θα αυξανόταν στις 80. Ο σχεδιασμός αυτός της αποστράγγισης στηρίχθηκε στον αρχικό σχεδιασμό της εκμετάλλευσης του έτους 2003.

Τα αποστραγγιστικά μέτρα που προτείνονταν από την μελέτη της RWE ήταν υπερεκτιμημένα για τους εξής λόγους:

- Τα διαθέσιμα στοιχεία ήταν λίγα, ασαφή και είχαν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.
- Οι εκτιμήσεις των μέτρων αποστράγγισης έγιναν από την πλευρά της ασφαλείας για το δυσμενέστερο σενάριο για την προστασία του ορυχείου.

5.1. Κίνδυνος ανύψωσης του δαπέδου (Heaving risk)

Όπως προαναφέρθηκε ο υδροφορέας των υποκειμένων στρωμάτων βρίσκεται υπό πίεση με την πιεζομετρική επιφάνεια να διαμορφώνεται στο απόλυτο υψόμετρο 590-600 m περίπου.

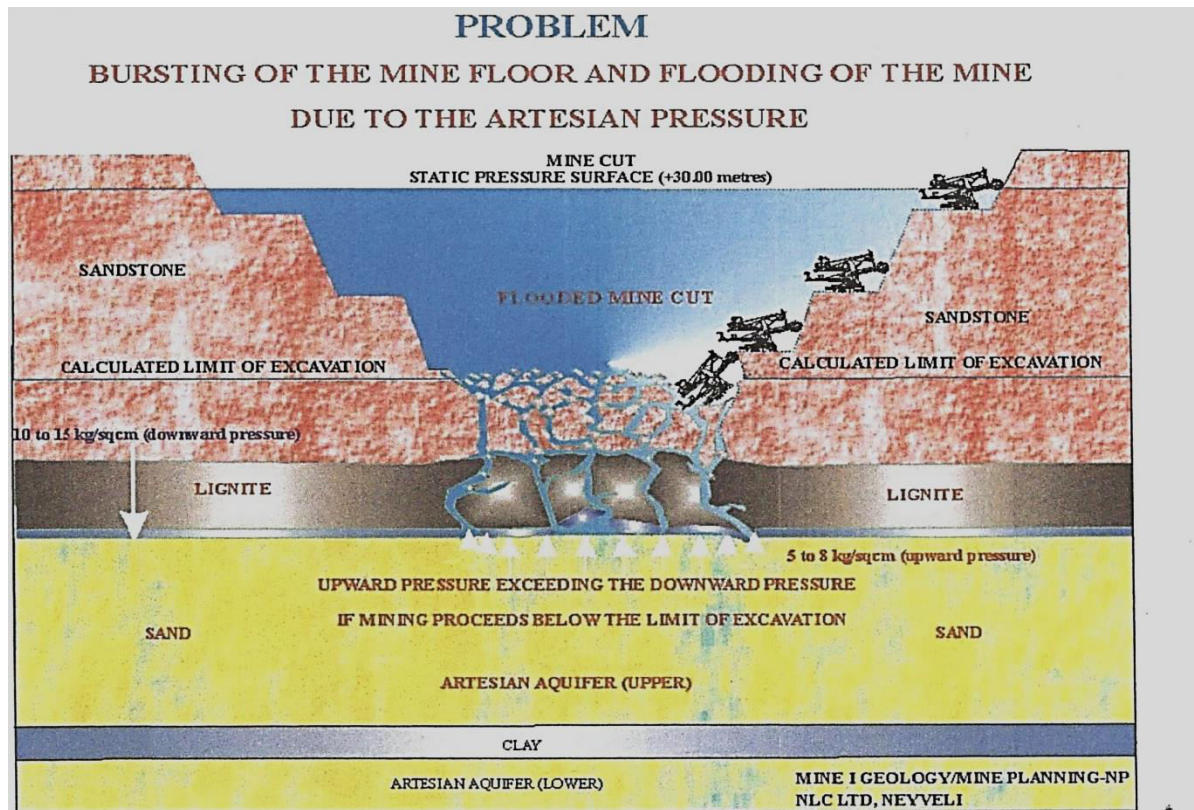
Τα τελικά δάπεδα του ορυχείου όμως θα διαμορφωθούν στο 440 m («Μελέτη εκμετάλλευσης βυθισμένης περιοχής πεδίου Μαυροπηγής» Κοσμίδης Ιορδ., 2017) το 2021 και συνεπώς η πιεζομετρική επιφάνεια του υδροφορέα, θα είναι περί τα 150 m ψηλότερα από το δάπεδο.

Διερευνήθηκε κατά πόσο το πάχος της υποκείμενης μάργας, που είναι αδιαπέρατη Intergo (2009), είναι ικανό να αντισταθμίσει τις πιέσεις (~15 atm) σε όλη την έκταση του ορυχείου. Από τη διερεύνηση αυτή προέκυψε ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ανύψωσης δαπέδου (Heaving) στην σημερινή και τελική στάθμη εργασιών. Άλλωστε δεν έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής πουθενά ανύψωση δαπέδου ή διάρρηξη αυτού.

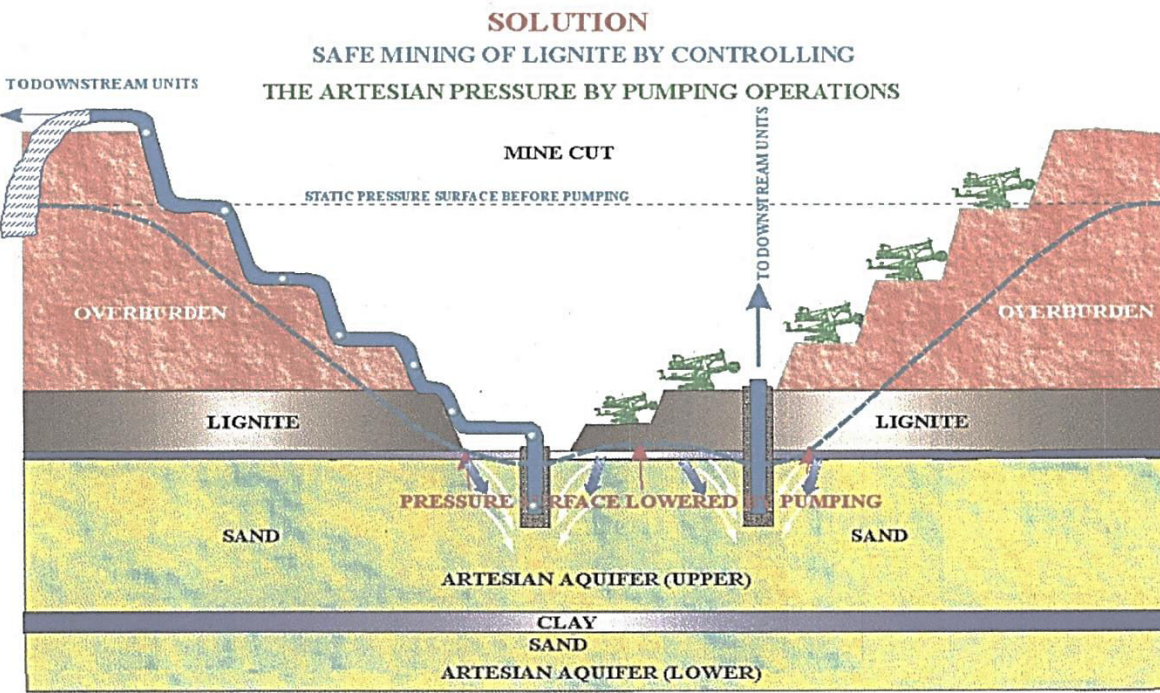
4.2. Άνοδος του νερού μέσω ρηγμάτων (Piping risk)

Το φαινόμενο ανόδου του νερού, του υποκείμενου του λιγνίτη υπό πίεση υδροφορέα, διαμέσου ρηγμάτων και υδροφόρων ζωνών είναι γνωστό διεθνώς και έχει παρατηρηθεί π.χ. σε ορυχεία στη Γερμανία. Στο ορυχείο Μαυροπηγής παρουσιάστηκε επίσης σε 2 κοιτασματολογικές γεωτρήσεις, την 210/108Α και την 210/98Α οι οποίες διάτρησαν την τελικά μάργα και εμφάνισαν αρτεσιανό νερό, η μεν πρώτη περίπου $10\text{-}20\text{ m}^3/\text{h}$ και η δεύτερη περίπου $5\text{ m}^3/\text{h}$. Εμφανίστηκε επίσης αρτεσιανισμός σε υδρογεώτρηση μέσα στο χώρο της εκσκαφής (ΥΜ-5), η οποία καλύφθηκε από την εσωτερική απόθεση. Συνεπώς ο κίνδυνος αυτός είναι υπαρκτός.

Για να εξασφαλισθεί ότι δεν υπάρχει δυνατότητα ανόδου του υπόγειου νερού μέσα από την υδροπερατή ζώνη του ρήγματος στο δάπεδο της εκσκαφής θα πρέπει η διαφορά στάθμης υπόγειου νερού – υψομέτρου δαπέδου εκμετάλλευσης να είναι μικρότερη του τριπλάσιου του πάχους του υδροφορέα, που λαμβάνεται $\sim 10\text{ m}$, (Τολίκας Δ., Υπόγεια Υδραυλική, 2005).



Εικόνα 11: Αναπαράσταση του προβλήματος εκτόνωσης πιέσεων αρτεσιανού υδροφορέα στην επιφάνεια του χώρου εργασιών ορυχείου (Mining Science and Technology, China 2011)



Εικόνα 12: Αναπαράσταση επίλυσης προβλήματος με εκτόνωση πίεσης αρτεσιανού υδροφορέα μέσω αντλήσεων (Mining Science and Technology, China 2011)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ **Κεφάλας, Σπ., κ.α.**, Προσομοίωση Υπόγειας Ροής μέσω μαθηματικού μοντέλου και σχεδιασμός αποστράγγισης ορυχείου Μαυροπηγής, 1987
- ❖ **Δ. Δημητρακόπουλος**, Υδρογεωλογικές Συνθήκες Ορυχείου Αμυνταίου. Προβλήματα κατά την εκμετάλλευση και αντιμετώπισή τους, Αθήνα 2001
- ❖ **ΤΥΜ/ΔΚΥΟΡ**, Υδρογεωλογική Μελέτη, Φεβρουάριος 2019
- ❖ **Σ. Τσουφλίδου**, Υδρογεωλογικές και υδροδυναμικές συνθήκες ορυχείου Μαυροπηγής, Πτολεμαΐδας, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2001
- ❖ **Groba E. at al**, Hydrogeological investigations for the water supply of Ptolemais Region, 1985
- ❖ **Δ.Ε.Η.**, Εκτίμηση και Διαχείριση Υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ, Α φάση, Τεύχος 6, 2000
- ❖ **Γ. Λουλούδης**, Υδρογεωλογικές συνθήκες Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίου Πτολεμαΐδας, προβλήματα υπόγειων νερών και αντιμετώπισή τους κατά την εκμετάλλευση, Αθήνα, 1991
- ❖ **Rheinbraun Engineering**, Groundwater modelling of the South lignite field, West Macedonia, Greece
- ❖ **Δ.Ε.Η.**, Εκτίμηση και διαχείριση υδατικών πόρων λεκάνης Σαριγκιόλ Ν. Κοζάνης, 1999, Τεύχος III
- ❖ **Δ.Ε.Η.**, Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού, 1999, Τεύχος 9
- ❖ **Voigt, J. & Swarchenberg, T.**, Groundwater model for Mavropigi mine. Report for DEI, 2004
- ❖ **Ι. Κοσμίδης**, Μελέτη εκμετάλλευσης βυθισμένης περιοχής πεδίου Μαυροπηγής, 2017

