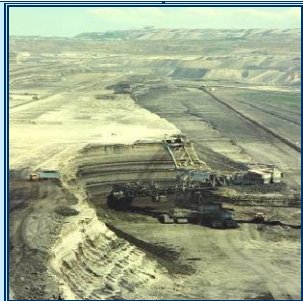




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ
ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ**



Δημητρακοπούλου Στυλιανή



Επιβλέπων: Κυρούσης Ιωάννης
Επικ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.



ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ**

Δημητρακοπούλου Στυλιανή

Επιβλέπων: Κυρούσης Ιωάννης
Επικ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ**

Δημητρακοπούλου Στυλιανή

Επιβλέπων: Κυρούσης Ιωάννης
Επικ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 20/10/2010
Κυρούσης Ιωάννης, Επικ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.,
Ρόζος Δημήτριος, Επικ. Καθηγ. Ε.Μ.Π.,
Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.,

**ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010**

Copyright © Δημητρακοπούλου Στυλιανή, 2010
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων
Μεταλλουργών του ΕΜΠ δεν δηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
Abstract	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Γενικά	4
1.2. Καθορισμός του προβλήματος	5
1.3. Αντικείμενο της μελέτης	9
2. ΘΕΣΗ – ΟΡΙΑ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	12
2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση των ορυχείων της Μεγαλόπολης	12
2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης	13
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	15
3.1 Γενικά στοιχεία για τη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης	15
3.2 Γεωτεκτονικοί σχηματισμοί της λιγνιτοφόρου λεκάνης Μεγαλόπολης	15
3.2.1. Χαρακτηριστικά της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως	15
3.2.2. Χαρακτηριστικά της ζώνης Ωλονού - Πίνδου	16
3.3 Μετατεκτονικά λιμναία ιζήματα της λεκάνης της Μεγαλόπολης	21
4. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	23
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	27
5.1 Εισαγωγή	27
5.2 Υδρολιθολογική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών στην ευρύτερη περιοχή	27
5.2.1. Μη συνεκτικοί σχηματισμοί	28
5.2.2. Αλπικοί – Προαλπικοί σχηματισμοί	30
5.3. Οι καρστικοί υδροφορείς της λεκάνης της Μεγαλόπολης	31
5.3.1. Εισαγωγή	31
5.4 Καθορισμός των ορίων των υδροφορέων	33
5.5 Έκταση των καρστικών υδροφορέων	39
5.6 Εκτίμηση της ποσότητας των υπόγειων υδάτων που κατεισδύουν σε ετήσια βάση (ανανεώσιμα αποθέματα) στον κύριο καρστικό υδροφόρο.	40
5.7 Εκτίμηση των μόνιμων αποθεμάτων	43

5.8 Υδατικό ισοζύγιο του κύριου καρστικού υδροφορέα.....	44
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	45
6.1 Υδατικό ισοζύγιο.....	45
6.1.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	45
6.1.2 Επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης.....	45
6.1.3 Εξάτμιση.....	46
6.1.4 Απολήψεις νερών για διάφορες χρήσεις και διαδικασίες.....	46
6.2 Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου.....	48
7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ	50
7.1 Γενικά.....	50
7.2 Δυνατότητα δημιουργίας λίμνης.....	50
7.2.1 Υπολογισμός χωρητικότητας της λίμνης.....	51
7.2.2 Υπολογισμός απευθείας κατακρημνισμάτων	51
7.2.3 Υπολογισμός επιφανειακών εισροών.....	53
7.2.4 Υπολογισμός υπόγειων εισροών	53
7.2.5 Υπολογισμός εξάτμισης.....	53
7.2.6 Συμπεράσματα.....	54
7.3. Προτεινόμενες λύσεις για επιπλέον τροφοδοσία της λίμνης.....	54
7.4 Δυνατότητα διατήρησης της λίμνης.....	56
7.4.1 Υδατικό ισοζύγιο.....	56
7.4.2 Ποιότητα νερών.....	57
7.4.3 Ευστάθεια πρανών	66
Συμπεράσματα.....	71
Βιβλιογραφία	72

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1-1: Σχηματικό διάγραμμα εκμετάλλευσης και αποστράγγισης ορυχείων. (Πηγή:Δ.Ε.Η. / Τ.Υ.Μ.).....	6
Σχήμα 3-1: Γεωλογική τομή Ορυχείων Μεγαλόπολης (πηγή: ΔΕΗ/ΔΜΑΟΡ).....	18
Σχήμα 4-1: Διακύμανση ετήσιας βροχόπτωσης περιόδου 1971-2009	26
Σχήμα 5-1: Υδρογεωλογικός χάρτης περιοχής Μεγαλόπολης – Δημητσάνας (Απόσπασμα από Γεωτεκτονικό-Υδρογεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ, Τσιφτσής 1986)	29
Σχήμα 7-1: Τελική κατάσταση Ορυχείων Μεγαλόπολης.....	52
Σχήμα 7-2: Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την διαδικασία δημιουργίας χαμηλού pH στις λίμνες των τελικών κενών των ορυχείων (LMBV, 2004)	57
Σχήμα 7-3: Θέσεις δειγματοληψίας στον Αλφειό ποταμό	59

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 -1: Η λίμνη που έχει σχηματιστεί στο ανοιχτό Ορυχείο Αλιβερίου.....	6
Εικόνα 1-2: Άποψη του ορυχείου Restloch Sedlitz κατά τη διάρκεια της δημιουργίας λίμνης.	7
Εικόνα 1-3: Λίμνη στο ορυχείο Sabrodtter, Lausitz.....	8
Εικόνα 2-1: Χάρτης Ελλάδας με το Νομό Αρκαδίας.....	12
Εικόνα 2-2: Γενική άποψη Ορυχείων Μεγαλόπολης.....	13
Εικόνα 3-1: Απόσπασμα από γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Μεγαλόπολη.....	19
Εικόνα 3-2: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Μεγαλόπολης (πηγή: ΙΓΜΕ).....	20
Εικόνα 3-3: Στρωματογραφική στήλη Τεταρτογενών – Νεογενών ιζημάτων (Από Τερζοπούλου Ελ., Λιάκουρα Αικ., 1992).....	22
Εικόνα 7-1: Προβλήματα ποιότητας νερού από την οξείδωση Fe στο ορυχείο Tagebaus Zwenkau (Sachsen).	60
Εικόνα 7-2: Διασπορά CaCO ₃ για την αποκατάσταση του PH στη λίμνη Bernsteinsee του ομώνυμου ορυχείου.....	60
Εικόνα 7-3: Κατολίσθηση 4,5 x 10 ⁶ m ³ που σημειώθηκε τον Μάιο του 1998 στη λίμνη που σχηματίστηκε στο ορυχείο Skado στην περιοχή Lausitz (LMBV 2004).....	67

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1-1: Χρονολογίες ολοκλήρωσης εκμετάλλευσης Ορυχείων ΔΕΗ.....	4
Πίνακας 4-1: Μετεωρολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής Μεγαλόπολης	23
Πίνακας 4-2: Μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για τους σταθμούς Καρύταινας, Ζώνης, Μεγαλόπολης (Α.Η.Σ.) και το σταθμό του ορυχείου του λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης.	24
Πίνακας 5-1: Διακύμανση στάθμης καρστικών υδροφορέων	36
Πίνακας 6-1: Υπερετήσιο υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Αλφειού	46
Πίνακας 6-2: Αντλήσεις από τα ορυχεία από το 2001 – 2004.	47
Πίνακας 7-1: Αναλύσεις νερού περιοχής Μεγαλόπολης.....	62
Πίνακας 7-2: Μηχανικά χαρακτηριστικά σχηματισμών	68
Πίνακας 7-3: Συντελεστής ασφαλείας των πρανών του Ορυχείου Χωρεμίου.....	69
Πίνακας 7-4: Συντελεστής ασφαλείας των πρανών του Ορυχείου Meirama (Delgado, J.L., 2005).....	69

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας λιμνών στα κενά που θα απομείνουν στα ορυχεία Μεγαλόπολης μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

Για τον λόγο αυτό περιγράφονται και αναλύονται οι γεωλογικές, υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης της Μεγαλόπολης. Εκτιμάται η μέση βροχόπτωση και το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης και εξετάζονται διάφορες εναλλακτικές λύσεις για την δημιουργία της λίμνης από υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η δημιουργία λίμνης είναι μια ρεαλιστική λύση, η οποία θα δώσει ένα αισθητικά αποδεκτό και οικολογικά σταθερό αποτέλεσμα. Από την μελέτη αυτή προέκυψε επίσης ότι η ποιότητα των νερών της λίμνης θα είναι ικανοποιητική και η ευστάθεια των πρανών θα βελτιωθεί.

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την ουσιαστική συμβολή ορισμένων ανθρώπων.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κυρούση Ιωάννη για την άψογη συνεργασία μας και την κατανόηση του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Βεργόπουλο Γιώργο, κ. Σκυλίτση Παύλο, κ. Ανδρέου Βλάσση, κ. Βασιλείου Ελένη, κ. Μαρκαντώνη Κώστα για την συνεργασία τους σε διάφορα στάδια της εργασίας.

Ιδιαίτερος ευχαριστώ την κ. Ηλία Γιάννα για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή της.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ χρωστάω στους γονείς μου.

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στον πατέρα μου για τα εμπνευσμένα από την υδρογεωλογία παραμύθια που μου έλεγε όταν ήμουν παιδί και για τις ‘βόλτες’ μας στα ορυχεία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας και διατήρησης μόνιμων ταμιευτήρων νερού στις περιοχές των ορυχείων Κυπαρισσίων, Θωκνίας, Μαραθούσας και Χωρεμίου στη λεκάνη Μεγαλόπολης, κάτω από τις ιδιαίτερες υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης της Μεγαλόπολης ανήκουν στις γεωτεκτονικές ζώνες Ωλονού - Πίνδου και Γαβρόβου – Τριπόλεως που αποτελούνται κυρίως από εναλλαγές ανθρακικών σχηματισμών και φλύσχη.

Τα νεώτερα ιζήματα, λιμναίας προέλευσης, που πληρούν τη λεκάνη, μέσα στα οποία παρεμβάλλονται και τα λιγνιτικά στρώματα, αποτελούνται από μάργες, αργίλους, μαργαϊκές και αμμώδεις αργίλους, άμμους, και κροκαλοπαγή.

Από την έρευνα που έχει προηγηθεί έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη ενός σημαντικού καρστικού υδροφορέα, που επηρεάζει τις εργασίες εκμετάλλευσης του ορυχείου Κυπαρισσίων. Σύμφωνα με σταθμημετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής, η στάθμη του βρίσκεται το 2010 στο +300 - +305 m, ενώ το χαμηλότερο σημείο του δαπέδου των ορυχείων βρίσκεται στα +270 m. Τα ανανεώσιμα αποθέματά του ανέρχονται σε $18-20 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση για την περίοδο 1971-2009 υπολογίστηκε σε 900 mm.

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του ορυχείου η εκμετάλλευση θα έχει ολοκληρωθεί το έτος 2026. Ο όγκος του κενού, που πρέπει να πληρωθεί με νερό για τον σχηματισμό της λίμνης στα ορυχεία Χωρεμίου και Μαραθούσας θα είναι περίπου, είναι $V=364 \times 10^6 \text{ m}^3$. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση ετήσια εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια σε 1500 mm, προκύπτει αδυναμία σχηματισμού λίμνης μόνο από τις απευθείας βροχοπτώσεις. Για αυτό τον λόγο εξετάστηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις, που συνδυάζουν την διοχέτευση νερού από τον Αλφειό και την άντληση νερού από τον καρστικό υδροφορέα. Από τη διερεύνηση αυτή προέκυψε ότι ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση του κενού ανέρχεται σε 6 - 41 χρόνια.

Για την εξέταση της ποιότητας του νερού της λίμνης έγιναν χημικές αναλύσεις στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Από αυτές προέκυψε ότι η ποιότητα του νερού, που θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία και την διατήρηση της λίμνης, είναι πολύ καλή και το ίδιο καλή αναμένεται να είναι και η ποιότητα του νερού της τελικής λίμνης.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι η ευστάθεια των πρανών του τελικού κενού βελτιώνεται με την δημιουργία της λίμνης και εξαρτάται από το ρυθμό πλήρωσης του κενού.

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η δημιουργία της λίμνης στο κενό που θα απομείνει είναι εφικτή, αλλά θα πρέπει να γίνει σε διάστημα 5-7 ετών, για λόγους ποιότητας νερού και βελτίωσης της ευστάθειας των πρανών.

Αυτή η εργασία αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση του θέματος και των προβλημάτων που αναμένεται να αντιμετωπισθούν αλλά είναι προφανές ότι η πλήρης μελέτη του θέματος απαιτεί την διεπιστημονική συνεργασία πολλών ειδικοτήτων όπως Μηχανικών Μεταλλείων, Περιβαντολόγων, Λιμνολόγων, Υδρογεωλόγων, Εδαφοτεχνικών, Αρχιτεκτόνων τοπίου, Οικονομολόγων κλπ.

ABSTRACT

The aim of the present diploma thesis is the investigation of possibility of creation and maintenance of permanent reservoirs of water after the end of the exploitation in open lignite mines. The regions of mines that are investigated are those of Kiparisia, Thoknia, Marathousa, and Choremi in the basin of Megalopolis. This study takes under consideration the particular hydrogeological and climatic conditions that prevail in Greece, since the examination mines are situated in the basin. The geological formations of the basin of Megalopolis belong in the geotectonic zones ‘Olonos – Pindos’ and ‘Gabrobou – Tripoleos’ that are constituted mainly by carbonic rocks and flysch.

The newer sediments, lacustrine origin, that fill the basin, are constituted by lignite layers, marls, clays, marly and sandy clays, sands, and conglomerates. There is one important carstic aquifer that influences the exploitation of the mine of Kiparisia. According to water level measurements that were carried out in the frame of the present work, its level in 2010 varies between +300 - +305 m, while the lower point of the floor of the mines is +270 m. The renewable reserves of this aquifer are $18-20 \times 10^6 \text{ m}^3$ of water. The average annual rainfall for the period 1971-2009 was estimated to be 900 mm.

According to the planning of the mine the exploitation will be completed by 2026. The voids that will be filled with water for the creation of the lake are in the mines Choremi and Marathousa. The volume of the final void is estimated $364 \times 10^6 \text{ m}^3$. Taking into consideration that the average annual evaporation from the surface of the lake is 1500 mm it is obvious that the creation of the lake is not possible through natural flooding. Therefore, various alternative solutions were examined. These include the use of water from Alfios river and the pumping of ground water from the carstic aquifer. According to this investigation the time that is required for the filling of the void ranges between 6 - 41 years.

Chemical analyses were done in order to examine the quality of the water that will be used to fill in the void out of these analyses was concluded that the quality is very good and the same is also expected for the water of the final lake.

The stability of the slopes of the final void will be improved by the creation of the lake and is depended on the rate of the filling of the void.

The conclusion is that the creation of a lake in these voids is a reliable solution, which should be accomplished in 5-7 years in order to guarantee better water quality and improvement of the stability.

This work is a first approach of the problems that are expected to be faced and it is obvious that a complete study of this subject requires an interdisciplinary collaboration of many specialists as Mining Engineers, Enviromental Engineers, Limnologists, Hydrogeologists, Geotechnical Engineers, Landscape Architects, Economists etc.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει ένα έντονο ενδιαφέρον και ευαισθητοποίηση των ατόμων και των κοινωνιών γύρω από θέματα περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν αρχίσει να διερευνώνται σε βάθος οι δυνατότητες και οι προοπτικές αποκατάστασης των χώρων που απομένουν μετά την ολοκλήρωση της μεταλλευτικής δραστηριότητας.

Η ΔΕΗ αναπτύσσει σήμερα μεταλλευτική δραστηριότητα στις περιοχές της Μεγαλόπολης, Πτολεμαΐδας - Κοζάνης, Αμυνταίου και Φλώρινας, ενώ έχει ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση στο Αλιβέρι. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι επιφανειακή εκμετάλλευση με καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιοδρόμους και αποθέτες.

Όπως προβλέπεται, η εκμετάλλευση των λιγνιτικών πεδίων στους χώρους των αντίστοιχων Ορυχείων, θα ολοκληρωθεί στα παρακάτω πεδία τα έτη (Πίνακας 1-1):

Πίνακας 1-1: Χρονολογίες ολοκλήρωσης εκμετάλλευσης Ορυχείων ΔΕΗ

	ΟΡΥΧΕΙΟ	ΕΤΟΣ
1	Θωκνία	*
2	Μαραθούσα	2016
3	Χωρέμι	2026
4	Κυπαρίσσια	2011
5	Αμύνταιο	2023
6	Ν. Πεδίο	2043
7	ΝΔ Πεδίο	2050
8	Μαυροπηγή (ΒΔ Πεδίο)	2037
9	Φλώρινα	;
10	Αλιβέρι	*
* έχει τελειώσει η εκμετάλλευση.		

Μετά το τέλος της εκμετάλλευσης προβλέπεται ότι θα παραμείνουν μεγάλα κενά στους χώρους των αντίστοιχων Ορυχείων, που δεν θα καλυφθούν από τις “εσωτερικές αποθέσεις”. Σύμφωνα με την διεθνή πρακτική, η δημιουργία λιμνών στα κενά που θα απομείνουν μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, αποτελεί την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της δημιουργίας ενός

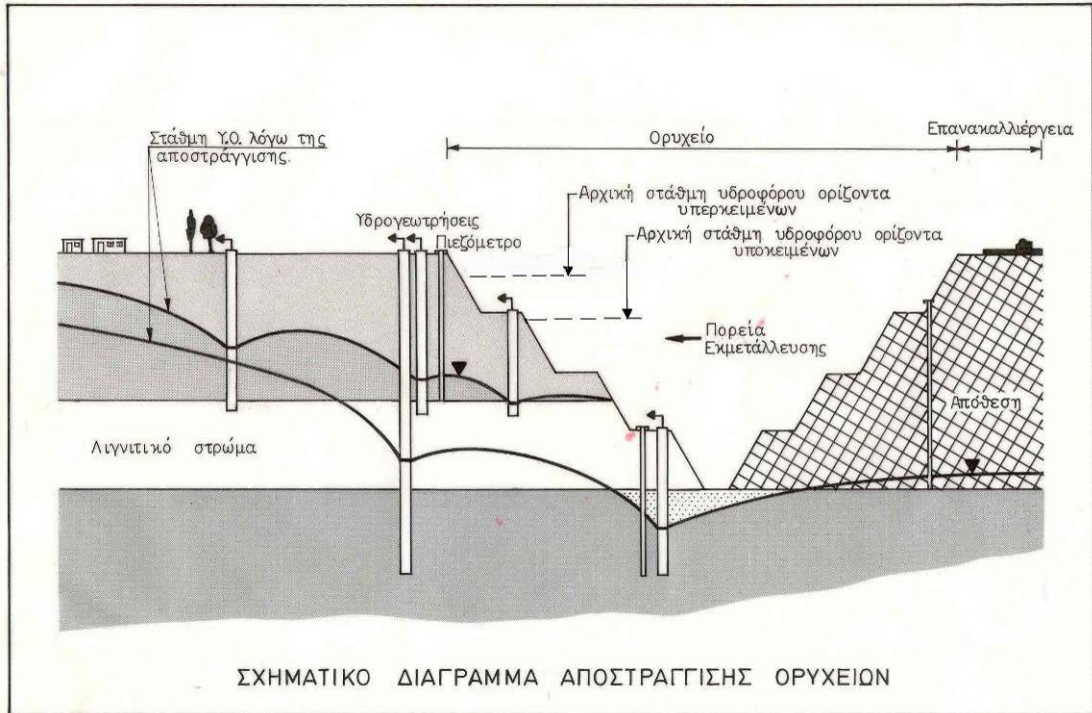
οικολογικά σταθερού αλλά και αισθητικά αποδεκτού τοπίου (LMBV 2004., D. Dimitrakopoulos 1996, Fritz W. 2001).

Επιπλέον σύμφωνα με τους Ahlheim et al. (2004), που μελέτησαν αντίστοιχα θέματα σε δεκάδες ορυχεία στην πρώην Ανατολική Γερμανία, η υλοποίηση μιας τέτοιας λύσης έχει γενικότερη αποδοχή από τους κατοίκους των γύρω περιοχών, διότι δημιουργεί μια ποικιλία στο περιβάλλοντα χώρο και συμβάλει στην αύξηση της οικονομικής αξίας της ευρύτερης περιοχής.

Στη συνέχεια επιχειρείται μία αρχική προσέγγιση στα προβλήματα που αναμένεται να αντιμετωπισθούν κατά τη δημιουργία αλλά εν συνεχεία και τη διατήρηση της λίμνης (ή των λιμνών), στα κενά που θα απομείνουν, μετά το τέλος της εκμετάλλευσης στην περιοχή των ορυχείων Χωρεμίου και Μαραθούσας της Μεγαλόπολης.

1.2. Καθορισμός του προβλήματος

Όπως αναφέρθηκε όλα τα ορυχεία θα αφήσουν πίσω τους μικρά ή μεγάλα κενά μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης. Η ύπαρξη υπόγειων υδροφορέων, που αποκόπτονται από την εκσκαφή, απαιτεί την αποστράγγισή τους και τον υποβιβασμό της στάθμης των υπόγειων νερών (σχ.1-1). Μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης και της εσωτερικής απόθεσης, σταματάει η αποστράγγιση και αρχίζει η άνοδος της στάθμης των υπόγειων νερών, που έχει σαν συνέπεια την διήθηση (εκροή) νερού από τα ανοιχτά πρανά.



Σχήμα 1-1: Σχηματικό διάγραμμα εκμετάλλευσης και αποστράγγισης ορυχείων. (Πηγή: Δ.Ε.Η. / Τ.Υ.Μ.)



Εικόνα 1 -1: Η λίμνη που έχει σχηματιστεί στο ανοιχτό Ορυχείο Αλιβερίου.

Έτσι προκαλείται διάβρωση των πρανών και δημιουργία ασταθειών ή κατολισθήσεων στα πρανή, που εμποδίζουν συνεχώς τη δημιουργία ενός οικολογικά ‘σταθερού τοπίου’ μετά το τέλος της εκμετάλλευσης. Στην εικόνα 1-1 διακρίνεται η λίμνη που έχει σχηματιστεί στο Αλιβέρι, οι κατολισθήσεις στα δυτικά πρανή και οι διαβρώσεις στα ανατολικά, που συνεχίζονται 20 χρόνια μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

Αυτός είναι ο κύριος λόγος που μας οδηγεί στην ανάγκη δημιουργίας μιας λίμνης, η οποία, αφού ολοκληρωθεί ο σχηματισμός της:

- προσφέρει ένα ελκυστικό τοπίο (εικ. 1-2, 1-3)
- δημιουργείται ένας χώρος με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για ανάπτυξη πολιτιστικών και αθλητικών δραστηριοτήτων
- δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη της βιοποικιλότητας
- βελτιώνει τις συνθήκες ευστάθειας
- έχει μεγαλύτερη κοινωνική αποδοχή
- αυξάνει την οικονομική αξία της περιοχής.

Το εγχείρημα όμως αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες κάτω από τις ιδιαίτερες υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο. Τα προβλήματα που αφορούν στις υδρογεωλογικές συνθήκες, συνοψίζονται στην “**έλλειψη υπόγειων και επιφανειακών νερών**”, που θα συμβάλλουν στην δημιουργία και διατήρηση της λίμνης, ενώ όσον αφορά στις κλιματικές συνθήκες, αυτές χαρακτηρίζονται από **χαμηλές βροχοπτώσεις και υψηλή εξάτμιση**, που συνεπάγονται αρνητικό υδατικό ισοζύγιο.



Εικόνα 1-2: Άποψη του ορυχείου Restloch Sedlitz κατά τη διάρκεια της δημιουργίας λίμνης
Fotograf: Radke, Peter (von Fa. agreement für LMBV) : 2009



Εικόνα 1-3: Λίμνη στο ορυχείο Sabrodt, Lausitz
Fotograf: Radke, Peter für LMBV Juni 2010

1.3. Αντικείμενο της μελέτης

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας μόνιμων ταμιευτήρων νερού (λίμνες, δίκτυο τάφρων κ.τ.λ.) στις περιοχές των ορυχείων της λεκάνης Μεγαλόπολης, με σκοπό την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων και την μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Με τον όρο “λιγνιτωρυχείο Μεγαλόπολης” θεωρείται το σύνολο των ορυχείων της λεκάνης Μεγαλόπολης, δηλαδή τα ορυχεία Θωκνίας, Χωρεμίου, Μαραθούσας και Κυπαρισσίων.

Οι ιδιαίτερες υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο, όπως αυτές περιγράφηκαν στην παράγραφο 1.2, έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση μιας σειράς πιθανών προβλημάτων όπως η επάρκεια του νερού για την τροφοδοσία, η ποιότητα του νερού και η ευστάθεια των πρανών, που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Ο όγκος της λίμνης που αναμένεται να δημιουργηθεί είναι τεράστιος (σε σύγκριση με τις λίμνες του Ελλαδικού χώρου). Οι περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές συνέπειες ενός τέτοιου εγχειρήματος είναι ακόμη αβέβαιες. Αν και μπορούν να γίνουν ορισμένες εκτιμήσεις για τις αναμενόμενες επιπτώσεις με βάση την διεθνή εμπειρία, η τελική κατάσταση δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια (Padilla F. et al. 2007). Στα πλαίσια αυτά η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην αρχική διερεύνηση των θεμάτων που άπτονται του υδατικού ισοζυγίου, των υδρολογικών συνθηκών, της ποιότητας του νερού και των θεμάτων ευστάθειας. Η πλήρης μελέτη του θέματος απαιτεί την διεπιστημονική συνεργασία πολλών ειδικοτήτων όπως Μηχανικών Μεταλλείων, Περιβαντολόγων, Λιμνολόγων, Υδρογεωλόγων, Εδαφοτεχνικών, Αρχιτεκτόνων τοπίου, Οικονομολόγων κλπ.

Τα προβλήματα που καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Pendás F. Et al. 2007, Delgado J.L. 2004, Fritz W. and Benthous F.C. 2000, Fritz W. 2001, Padilla F. et al. 2007, Schultze M., 2010) κατά την διαδικασία της αποκατάστασης ενός ορυχείου, και ειδικότερα της αποκατάστασης των φυσικών υδατικών συστημάτων και της δημιουργίας λιμνών στα κενά που θα απομείνουν μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, είναι σε γενικές γραμμές τα παρακάτω:

- **Ρυθμός γεμίσματος της λίμνης**

Η δημιουργία λιμνών μπορεί να απαιτήσει 30-50 χρόνια, γεγονός που δυσχεραίνει τις συνθήκες ευστάθειας. Σύμφωνα με την διεθνή πρακτική απαιτείται μείωση του χρόνου αυτού σε 3-5 χρόνια, ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες ευστάθειας.

- **Ποιότητα των νερών**

Ποια θα είναι η ποιότητα των νερών που θα συγκεντρωθούν και πως θα επηρεαστεί η ποιότητα των νερών των υπόγειων υδροφορέων ή των επιφανειακών αποδεκτών με τους οποίους θα υπάρχει ενδεχομένως υδραυλική επικοινωνία.

- **Τερματισμός της αποστράγγισης**

Ο τερματισμός της αποστράγγισης θα έχει σαν συνέπεια την άνοδο της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και την εμφάνιση (διήθηση) νερών στα πρανή, που προφανώς θα επηρεάσει την ευστάθειά τους.

- **Διάβρωση των πρανών**

Τα υπόγεια νερά που θα εκρέουν αλλά και τα επιφανειακά νερά που θα ρέουν πάνω στα πρανή (εκσκαφής και αποθέσεων) θα δημιουργούν διαβρώσεις των πρανών.

- **Επίδραση του κυματισμού και της διακύμανσης της στάθμης της λίμνης.**

Η λίμνη που προβλέπεται να δημιουργηθεί θα έχει έκταση που θα φθάνει τα 5-8 km². Ο κυματισμός, που θα δημιουργείται, αλλά και η αυξομείωση της στάθμης (υγρή-ξηρά περίοδος), που αναμένεται να είναι της τάξης των 10 m, θα διαβρώνουν τα πρανή και θα μεταβάλλουν και το καθεστώς των τάσεων.

- **Μακροχρόνια ευστάθεια πρανών. Φορέας ευθύνης**

Τα πρανή πρέπει να μελετηθούν σε σχέση με την μακροχρόνια ευστάθειά τους. Στην σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ο συντελεστής ασφάλειας, που λαμβάνεται υπόψη σε αυτές τις περιπτώσεις φθάνει το 1,3-1,5 (ενώ κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης είναι πολύ μικρότερος και φθάνει οριακά το 1). Παράλληλα πρέπει να διευκρινιστούν θέματα όπως: ποιος θα έχει την ευθύνη συντήρησης των πρανών ή του χώρου, (όταν παρουσιάζονται π.χ. αστάθειες) μετά την ολοκλήρωση της αποκατάστασης.

Προκειμένου να μελετηθούν τα θέματα αυτά, απαιτείται καταρχήν διερεύνηση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και υδρολογικών συνθηκών.

Ειδικότερα η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια:

Γεωλογικά στοιχεία (κεφ. 3).

Υδρολογικά στοιχεία (κεφ. 4). Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε συλλογή και επεξεργασία των βροχομετρικών στοιχείων από 4 σταθμούς.

Υδρογεωλογικά στοιχεία, που περιλαμβάνει την οριοθέτηση των υπόγειων υδροφορέων και την εκτίμηση της ποσότητας των υπογείων υδάτων (κεφ.5).

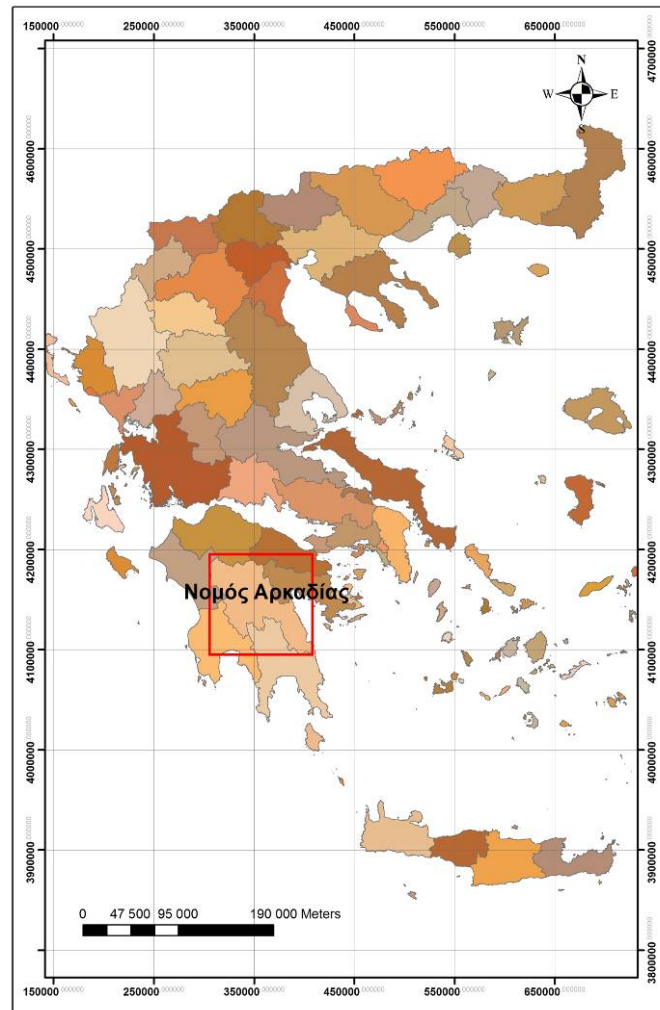
Υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης του Αλφειού, που περιλαμβάνει την βροχόπτωση, την κατείσδυση, την εξατμισοδιαπνοή, καθώς και την άντληση νερού από τις γεωτρήσεις αποστράγγισης των ορυχείων και τις αντλούμενες ποσότητες ομβρίων υδάτων από τα δάπεδα των ορυχείων (κεφ.6).

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας μόνιμων ταμιευτήρων στην περιοχή των Ορυχείων που περιλαμβάνει το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης και διερευνήθηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για την πλήρωση του κενού των Ορυχείων. Επίσης έγινε συλλογή 9 δειγμάτων νερού και επεξεργασία των αποτελεσμάτων, όπως και αναλύσεις ευστάθειας των πρανών με τα προγράμματα ClaraW και SlopeW (κεφ.7). Τέλος, έγιναν επισκέψεις σε διάφορα Ορυχεία στη Μεγαλόπολη, στο Αλιβέρι και στην Ισπανία (Ορυχείο El Ostion o Las Carmenes και μεταλλείο σιδήρου Gallarta), προκειμένου να διερευνηθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται σε κάθε περιοχή που έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και να αποκτηθεί η σχετική εμπειρία για το θέμα της διπλωματικής (βλ. σχετικό φωτογραφικό υλικό στο Παράρτημα).

2. ΘΕΣΗ – ΟΡΙΑ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση των ορυχείων της Μεγαλόπολης

Τα ορυχεία της Μεγαλόπολης ανήκουν διοικητικά στο νομό Αρκαδίας (Εικόνα 2-1).



Εικόνα 2-1: Χάρτης Ελλάδας με το Νομό Αρκαδίας

Το οροπέδιο της Μεγαλόπολης μέσου υψομέτρου 300-500 m (Εικόνα 2-2) περιορίζεται προς βορρά από το όρος Μαίναλο, προς το νότο από το όρος Ταΰγετος, προς τα δυτικά από τα βουνά Λύκαιο και Τενάδιο και προς τα ανατολικά από χαμηλότερους ορεινούς όγκους. Στο νότιο τμήμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης υπάρχουν μορφολογικές επεκτάσεις του ορεινού όγκου του Πάρνωννα.



Εικόνα 2-2: Γενική άποψη Ορυχείων Μεγαλόπολης

Η λεκάνη αποστραγγίζεται από το υδρολογικό σύστημα του ποταμού Αλφειού και των παραποτάμων του, οι οποίοι και αποστράγγισαν την λεκάνη κατά την Τεταρτογενή γεωλογική περίοδο αφού νωρίτερα (Πλειόκαινο) αυτή είχε μετατραπεί σε λίμνη. Η αποστράγγιση της λεκάνης πραγματοποιήθηκε όταν ο Αλφειός διάνοιξε το στενό φαράγγι κοντά στην Καρύταινα (16 km βόρεια της Μεγαλόπολης). Στο βυθό της λίμνης αυτής και των παραπλεύρων ελών σχηματίστηκαν αρχικά στρώματα τύρφης και με συνεχόμενη ενανθράκωση των φυτικών λειψάνων σχηματίστηκαν οι σημερινοί γαιώδεις λιγνίτες.

2.2 Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί νεοτεκτονικό ρηξιγενές βύθισμα που διαμορφώθηκε κατά στάδια.

Η λεκάνη, όπως προαναφέρθηκε, περιβάλλεται από τα όρη Μαίναλο προς Βορρά, Ταΰγετο προς Νότο, Λύκαιο και Τετράδιο προς τα δυτικά. **Η επιφάνειά της είναι περίπου 200 km²** και παρουσιάζεται **σχετικώς επίπεδη** με υψόμετρα από 340m έως 450m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με μέσο υψόμετρο 410 m, ενώ η υψομετρική διαφορά από τους γύρω λόφους κυμαίνεται μεταξύ 200-400m.

Η περιοχή γύρω από τη Μεγαλόπολη χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές μορφολογικές κλίσεις (0-0,5%). Υψηλές κλίσεις παρατηρούνται, φυσικά σήμερα, στους χώρους των ορυχείων αλλά και σε άλλες περιοχές (στο χωριό Μακρύσιο στα ανατολικά, στα δυτικά της Απιδίτσας, βόρεια προς την Καρύταινα και νότια από τη Γέφυρα προς το Λεοντάρι).

Η φυσική αποστράγγιση της λεκάνης γίνεται από τον Αλφειό και τους παραποτάμους του με κυριότερους τους Ελισσώνα, Ξερίλα, Γουδάνη και Λαγκάδα. Ο Αλφειός αποστραγγίζει τα νερά μιας περιοχής συνολικής έκτασης 636 km². Πηγάζει από τα νοτιοανατολικά όρια της λεκάνης από υψόμετρο 383m, ανατολικά του υψώματος Λεονταρίου, και διασχίζει κατά μήκος τη λεκάνη κοντά στο δυτικό όριό της. Διέρχεται, έτσι, από την Καρύταινα δια μέσου στενής κοιλάδας σε υψόμετρο 322 m. Παρουσιάζεται, δηλαδή, μία υψομετρική πτώση της τάξεως των 60 m, για μήκος ποταμού 22 km.

Η γεωμορφολογία γενικά της περιοχής, υφίσταται σημαντικές αλλαγές λόγω των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων των ορυχείων

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γενικά στοιχεία για τη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης

Οι περιβάλλοντες τη λεκάνη της Μεγαλόπολης ορεινοί όγκοι περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών που ανήκουν στις γεωτεκτονικές ζώνες Ωλονού – Πίνδου και Γαβρόβου - Τριπόλεως. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν κατά κύριο λόγο το υπόβαθρο των Πλειοκαινικών ιζημάτων της λεκάνης, μέσα στα οποία αποτέθηκαν κάποια περίοδο και τα λιγνιτικά κοιτάσματα που εκμεταλλεύεται η ΔΕΗ.

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί τεκτονικό βύθισμα που εξελίχθηκε κατά το στάδιο εφελκυσμού του Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου, ακολουθώντας την Ηωκαινική φάση συμπίεσης των αλπικών πτυχώσεων. Μέσα στο τεκτονικό αυτό βύθισμα αποτέθηκαν μεταγενέστερα ιζήματα ποτάμιας και λιμναίας φάσης, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούσαν κάθε φορά στην περιοχή.

Μέσα στη λίμνη και τα έλη απετίθοντο φυτικά λείψανα, που οι συνθήκες ταφής τους ήταν κατάλληλες για τη δημιουργία λιγνιτικών κοιτασμάτων (αναερόβιο περιβάλλον, θερμοκρασίες και πιέσεις κατάλληλες κ.τ.λ., με ποσοστό ενανθράκωσης τέτοιο που να δημιουργήσει το γνωστό σε μας, λιγνιτικό κοιτάσμα της Μεγαλόπολης).

3.2 Γεωτεκτονικοί σχηματισμοί της λιγνιτοφόρου λεκάνης Μεγαλόπολης.

Συνοπτικά στην περιοχή συναντώνται το προαλπικό υπόβαθρο και οι σχηματισμοί των ζωνών Γαβρόβου – Τριπόλεως και Ωλονού – Πίνδου με την δεύτερη να είναι επωθημένη στην πρώτη. Η γεωλογία της περιοχής της Μεγαλόπολης παρουσιάζεται στην εικόνα 3-1 (απόσπασμα από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ) ενώ στην εικόνα 3-2 φαίνεται η στρωματογραφική κολώνα της περιοχής (Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ-φύλλο Μεγαλόπολη-1:50.000).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της κάθε γεωτεκτονικής ενότητας.

3.2.1. Χαρακτηριστικά της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως.

Η Ενότητα Γαβρόβου -Τρίπολης αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και φλύσχη. Έχει μεγάλη εξάπλωση στην περιοχή και συναντάται στην ορεινή περιοχή των βόρειων,

βορειανατολικών, ανατολικών, νοτιοανατολικών και νότιων παρυφών και λεκάνης της Μεγαλόπολης. Οι ασβεστόλιθοι είναι άστρωτοι, παχυστρωματώδεις και το πάχος τους μπορεί να υπερβαίνει τα 1000 m. Στη βάση της σειράς, η οποία σύμφωνα με τον O.Gold υπέρκειται (με συμφωνία στρωμάτων) του ημιμεταμορφωμένου υποβάθρου, αναπτύσσεται ορίζοντας συνεκτικού κροκαλοπαγούς επίκλυσης πάχους 5-20 m.

Η αργιλοψαμμιτική σειρά του φλύσχη έχει αποθεθεί ασύμφωνα επάνω σε παλιά καρστική επιφάνεια των ασβεστολίθων της ζώνης Γαβρόβου - Τριπόλεως. Μέσα στο φλύσχη παρατηρήθηκαν ενστρώσεις πελαγικών ασβεστολίθων και κερατολίθων. Ο φλύσχη, που πρακτικά θεωρείται αδιαπέρατος σχηματισμός, αποτελείται κυρίως από ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Το πάχος της σειράς στην περιοχή μελέτης υπολογίζεται ότι είναι περίπου 500m.

Οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης που αποτελούν τους βαθύτερους υδροφόρους σχηματισμούς, δεν φαίνεται να επηρεάζουν τα ορυχεία αφού δεν έρχονται σε άμεση επαφή με τις εργασίες εκμετάλλευσης.

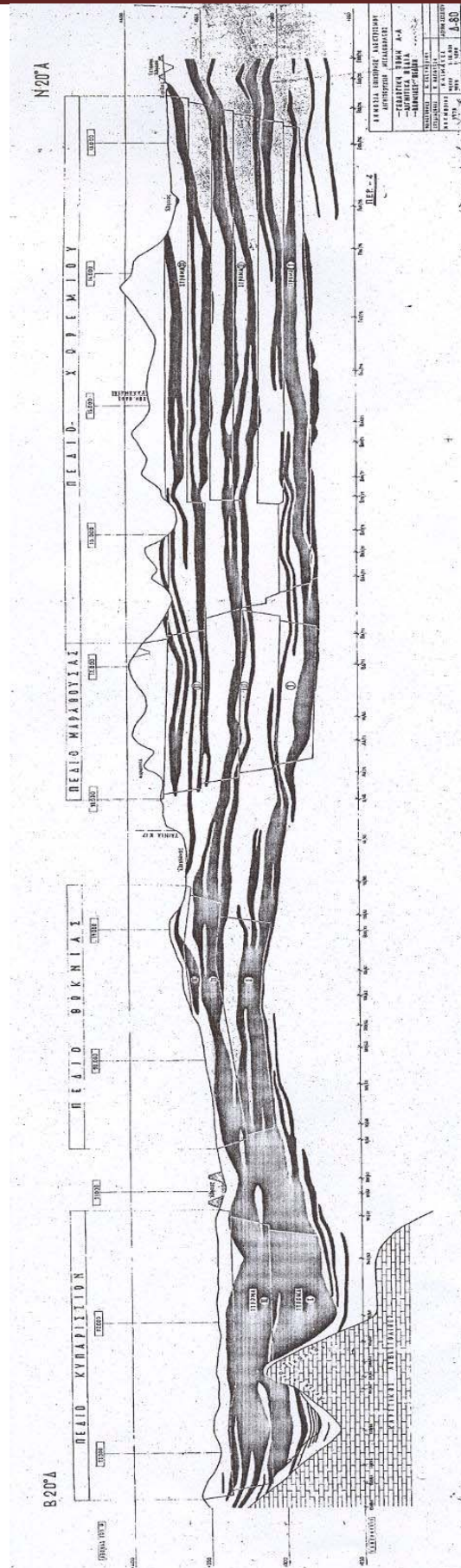
3.2.2. Χαρακτηριστικά της ζώνης Ωλονού - Πίνδου.

Η ενότητα Ωλονού - Πίνδου αποτελείται από εναλλαγές ασβεστολιθικών – κλαστικών σχηματισμών (φλύσχη). Η ενότητα αυτή συναντάται κυρίως στις δυτικές και βόρειες παρυφές της λεκάνης και μόνο σε ορισμένες θέσεις στις ανατολικές παρυφές. Στην περιοχή της μελέτης δεν συναντάμε ολόκληρη την στρωματογραφική κολώνα της Πίνδου αλλά τμήμα αυτής από το Κατ. Κρητιδικό έως το Ηώκαινο. Στην περιοχή έρευνας, η ζώνη Ωλονού – Πίνδου αρχίζει με στρώματα του πρώτου φλύσχη κάτω Κρητιδικής έως Τουρωνίου ηλικίας. Η σημασία της παρουσίας του φλύσχη στην περιοχή, από υδρογεωλογικής απόψεως, είναι σαφώς μεγάλη αφού αποτελεί φραγμό στην κίνηση των υπογείων νερών και στο διαχωρισμό του υδροφόρου ορίζοντα σε επιμέρους υδροφορείς. Επάνω από τον φλύσχη συναντάμε τους ασβεστόλιθους (το πάχος των οποίων είναι περίπου 150-200m) οι οποίοι μεταβαίνουν μέσω μαργαϊκών σχηματισμών στον 2^ο φλύσχη της ζώνης της Πίνδου (εικόνα 3-2).

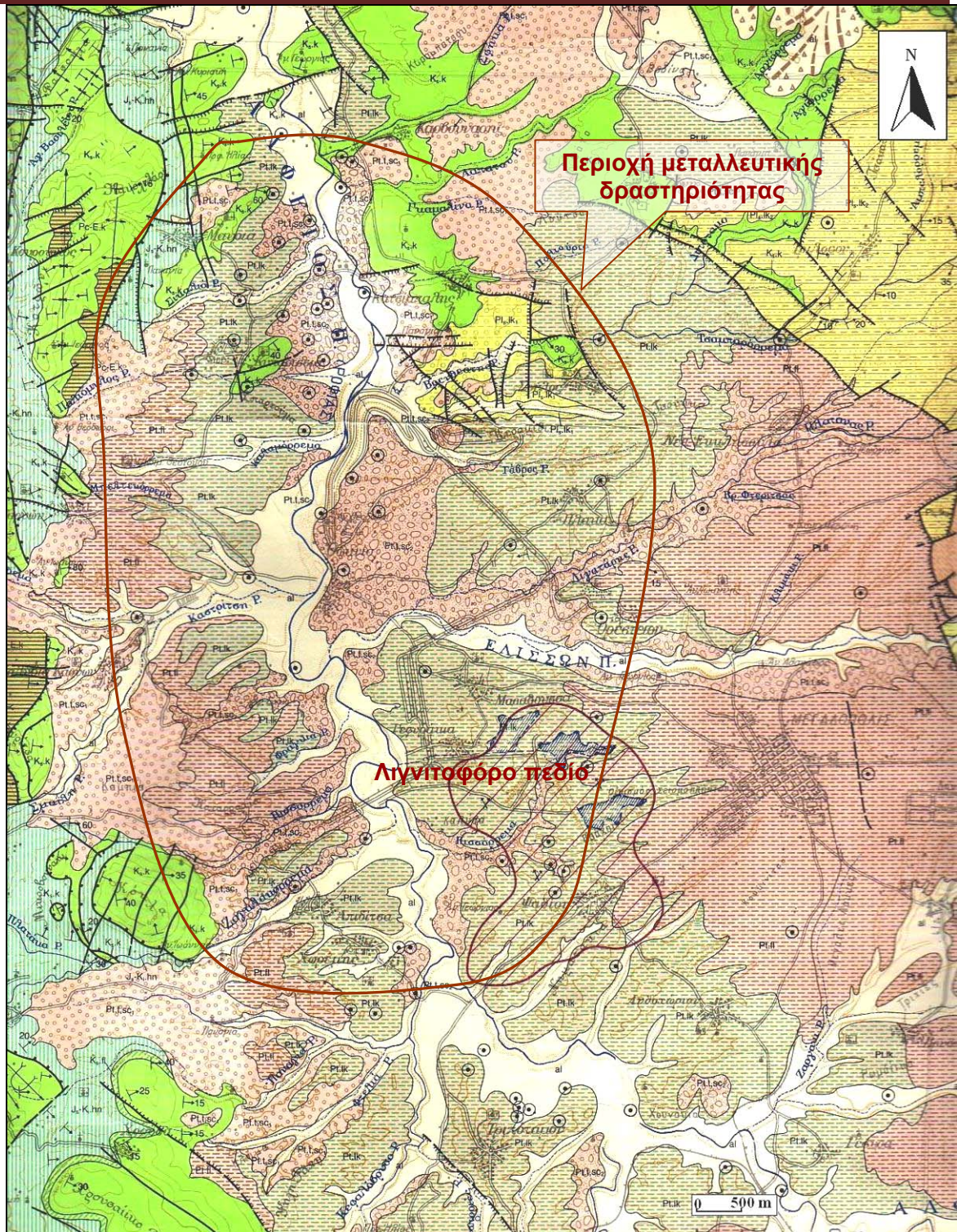
Λόγω των εναλλαγών των ασβεστολίθων (διαπερατοί) με τους κλαστικούς σχηματισμούς (αδιαπέρατοι) παρουσιάζεται σημαντική υδροφορία μέσα στους ασβεστόλιθους της Πίνδου. Σε αυτό το γεγονός οφείλεται και η εμφάνιση πολλαπλών καρστικών υδροφόρων συστημάτων τα οποία είτε επικοινωνούν μεταξύ τους, είτε είναι ανεξάρτητα. Οι ασβεστόλιθοι της ζώνης Ωλονού – Πίνδου που ανήκουν στο Άνω Κρητιδικό είναι πολύ διαδεδομένοι στην περιοχή μελέτης και αποτελούν το πιο σημαντικό πέτρωμα από υδρογεωλογική άποψη, αφού αποτελούν το υπόβαθρο και τα περιθώρια του Ορυχείου Κυπαρισσιών. Στοιχεία από τη σχετική γεωτρητική έρευνα έχουν δείξει ότι τα στρώματα αυτά έχουν υποστεί έντονη καρστικοποίηση κάτι το οποίο είναι εξίσου σημαντικό αφού τα καρστικά έγκοιλα, εκτός από τη μεγάλη υδρογεωλογική τους

σημασία, συμβάλλουν επίσης στη δημιουργία καταστροφικών φαινομένων (επιφανειακά βυθίσματα).

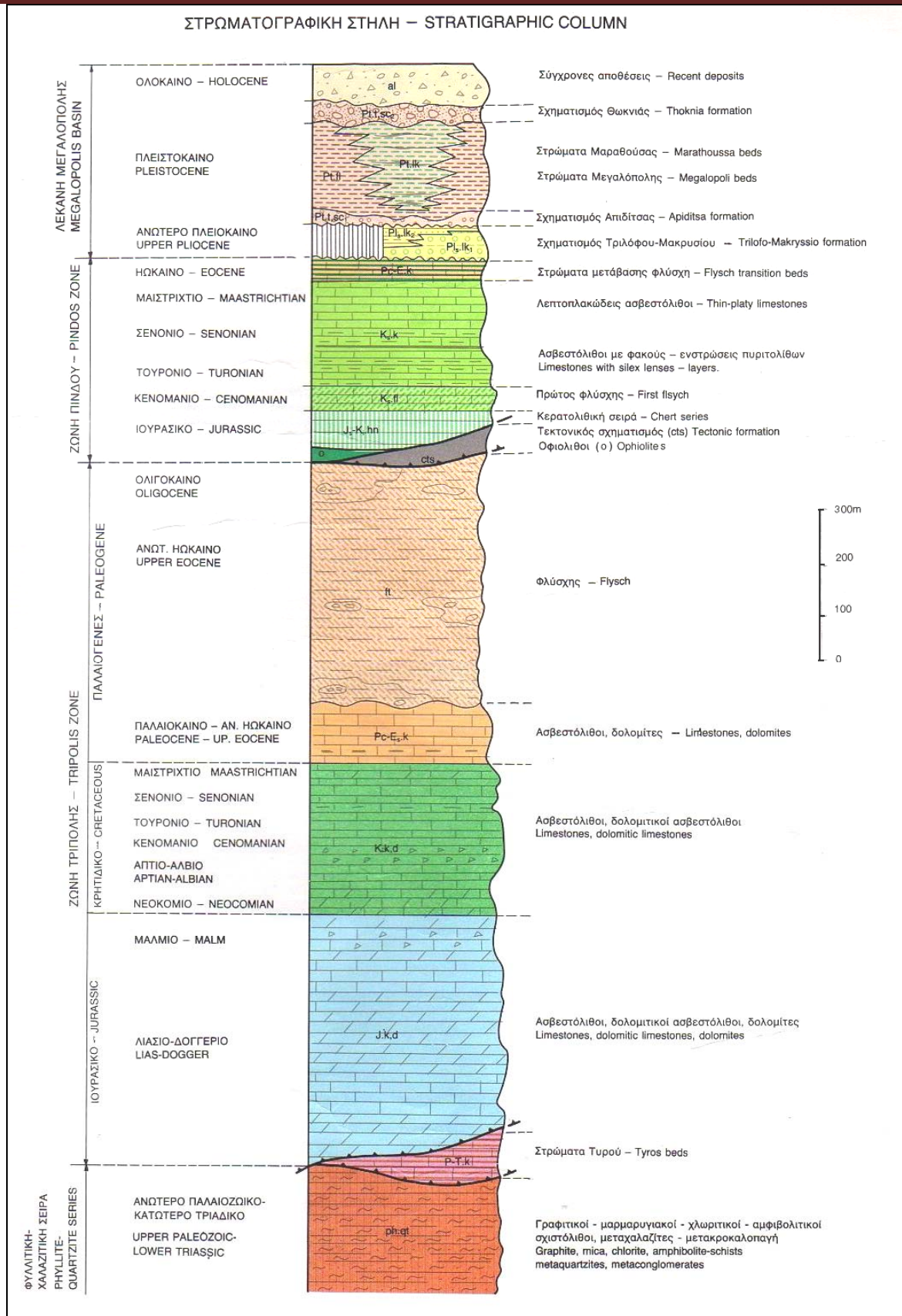
Πάνω από την ζώνη της Πίνδου, στα υλικά που πλήρωσαν τη λεκάνη, έχουμε την εμφάνιση νεογενών σχηματισμών που περιλαμβάνουν μάργες, αργίλους, κροκαλοπαγή, λιγνιτικά στρώματα, τα οποία είναι θεωρητικά αδιαπέρατοι ή μικρής διαπερατότητας σχηματισμοί, πράγμα που έχει επιβεβαιωθεί και από τις γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή.



Σχήμα 3-1: Γεωλογική τομή Ορυχείων Μεγαλόπολης (πηγή: ΔΕΗ/ΔΜΑΟΡ)



Εικόνα 3-1: Απόσπασμα από γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Μεγαλόπολη



Εικόνα 3-2: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Μεγαλόπολης (πηγή: ΙΓΜΕ)

3.3 Μετατεκτονικά λιμναία ιζήματα της λεκάνης της Μεγαλόπολης

Τα νεώτερα ιζήματα λιμναίας προέλευσης που πληρούν την κυρίως λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελούνται από μάργες, αργίλους, μαργαϊκές και αμμώδεις αργίλους, άμμους και τέλος χαλαρά έως συνεκτικά συνάγματα (κροκαλοπαγή). Το συνολικό μέγιστο πάχος αυτών υπερβαίνει τα 200 m αλλά καμία φυσική τομή των ιζημάτων της λεκάνης δεν υφίσταται στο εσωτερικό της. Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση των ιζημάτων από τα παλαιότερα προς τα νεώτερα απεικονίζεται στο σχετικό σκαρίφημα που ακολουθεί στην εικόνα 3-3. (Από Τερζοπούλου Ελ., Λιάκουρα Αικ., 1992). Ενώ τα σημαντικότερα είναι:

ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

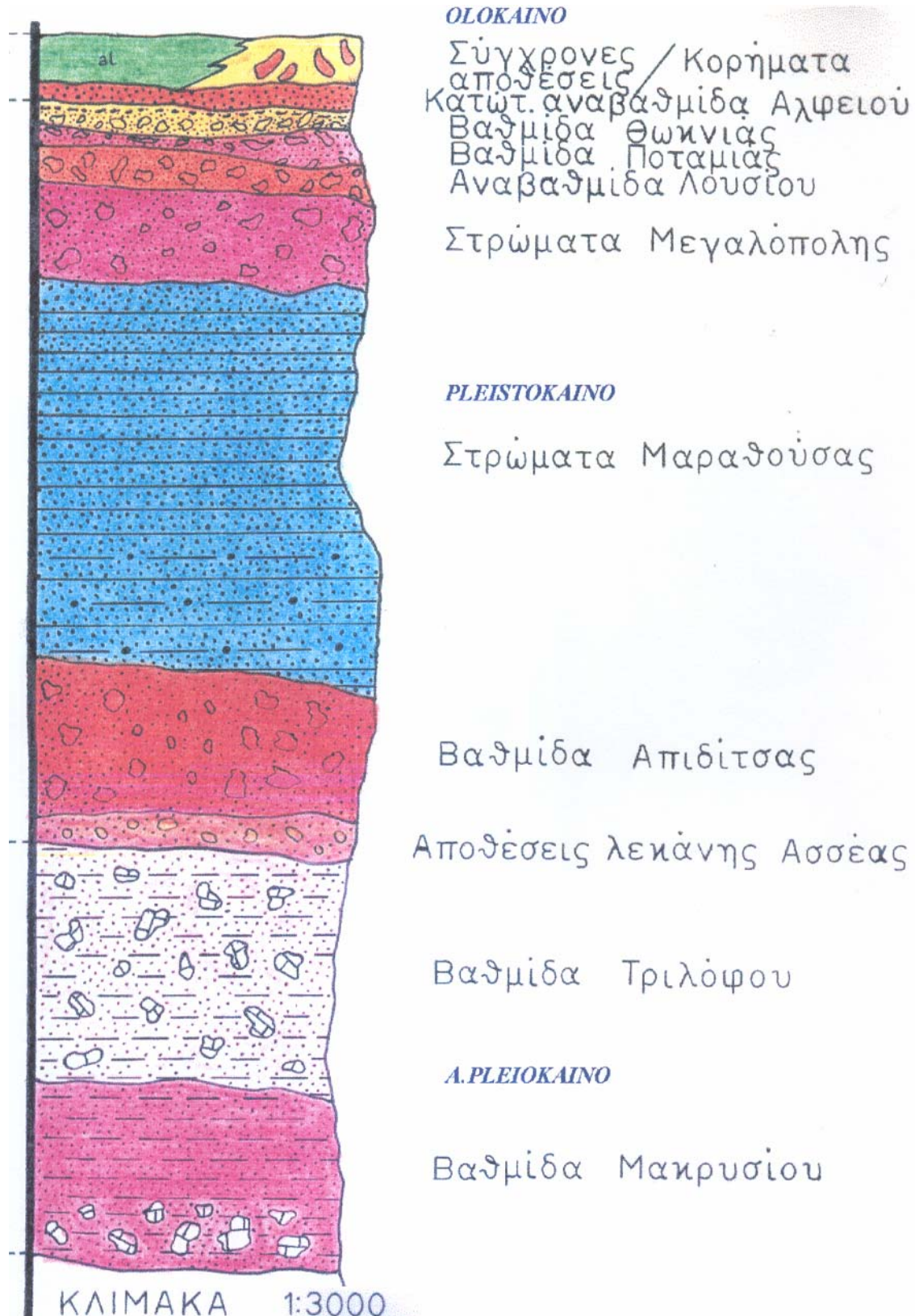
➤ *Βαθμίδα Μακροσίου*

Περιλαμβάνει τα αρχαιότερα στρώματα των ιζημάτων της λεκάνης, που είναι κυρίως άργιλοι, μάργες λιμναίας φάσης στις οποίες παρεμβάλλονται **λιγνιτικά** στρώματα μικρού πάχους (0,2-1m) και παρεμβολές κροκαλοπαγών. Το συνολικό τους πάχος είναι 100 m.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

➤ *Βαθμίδα Χωρεμίου*

Στρώματα Μαραθούσας: Αποτελούνται από λιμναίες φάσεις στο κεντρικό τμήμα και από ποτάμιας φάσης αποθέσεις στα περιφερειακά τμήματά τους. Τα λιμναία στρώματα συνίστανται από εναλλαγές μαργών, χουμωδών αργίλων, ιλύος και λιγνίτη. Μεταξύ των οικισμών Χωρέμι και Θωκνία παρουσιάζονται **τρεις διαφορετικοί λιγνιτοφόροι οριζόντες** ενώ στην υπολεκάνη των Κυπαρισσίων παρατηρούνται και οι τρεις αλλά μόνο ο ένας (ο ανώτερος) έχει σημαντικό πάχος. Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 200m.



Εικόνα 3-3: Στρωματογραφική στήλη Τεταρτογενών – Νεογενών ιζημάτων (Από Τερζοπούλου Ελ., Λιάκουρα Αικ., 1992)

4. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης, εκτιμήθηκε από τον συντάκτη της πρώτης σχετικής μελέτης (O. Gold, 1962), στα 998 mm για την ακρίβεια για την περίοδο 1954 – 1962. Με βάση την τιμή αυτή έγιναν από τον ίδιο οι υπολογισμοί των ανανεώσιμων αποθεμάτων του καρστικού υδροφορέα των Κυπαρισσίων. (κεφ.5).

Παρ' όλα αυτά, επειδή προστέθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής νέες σειρές υδρολογικών τιμών κι από άλλους μετεωρολογικούς σταθμούς, θεωρήθηκε σκόπιμο να αναθεωρηθούν οι αρχικές εκτιμήσεις των υδρολογικών μεγεθών.

Έτσι, υπολογίστηκαν νέες μέσες τιμές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με βάση κυρίως στοιχεία από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Καρύταινας, Ζώνης και ΑΗΣ Μεγαλόπολης και ορυχείου Μεγαλόπολης τα στοιχεία των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 4-1 που ακολουθεί:

Πίνακας 4-1: Μετεωρολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής Μεγαλόπολης

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΝΟΜΟΣ - ΕΠΑΡΧΙΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΦΟΡΕΑΣ
Καρύταινα	Αρκαδίας – Γορτυνία	22° 02'	37° 29'	490m	Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
Ζώνη	Αρκαδίας – Γορτυνία	22° 07'	37° 28'	510m	Δ.Ε.Η.
ΑΗΣ Μεγαλόπολης	Αρκαδίας – Γορτυνία	22° 08'	37° 23'	430m	Δ.Ε.Η.
Ορυχείο	Αρκαδίας – Γορτυνία				Δ.Ε.Η.

Επιπλέον των παραπάνω τριών σταθμών χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία που δόθηκαν από το λιγνιτικό κέντρο Μεγαλόπολης και προέρχονται από σταθμό εγκατεστημένο μέσα στο ορυχείο.

Για την κοινή περίοδο 1976 – 1991 που καλύπτουν όλοι οι σταθμοί, από την επεξεργασία που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, προκύπτει ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 919mm για τον σταθμό της Καρύταινας, 944mm Ζώνης, 899mm για τον σταθμό Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης και 837mm για τον σταθμό του ορυχείου.

Πίνακας 4-2: Μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για τους σταθμούς Καρύταινας, Ζώνης, Μεγαλόπολης (Α.Η.Σ.) και το σταθμό του ορυχείου του λιγνιτικού κέντρου Μεγαλόπολης.

ΣΤΑΘΜΟΣ / ΕΤΟΣ	ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ	ΖΩΝΗ	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (ΔΗΣ)	ΟΡΥΧΕΙΟ
1971	884,7	871,6	827,5	-
1972	847,6	792,9	777,8	-
1973	919,3	884,3	849,3	-
1974	945,1	729,8	735,8	-
1975	987,8	901,7	811,1	-
1976	1007,7	913	930,3	814,3
1977	619,3	655,4	567,4	525,6
1978	1167,6	1253,7	1083,1	987,4
1979	1138	1402	1247	1117,5
1980	1145	1242	1136,5	922,6
1981	944	1118	1036,3	892,8
1982	1058,3	899,6	1046,8	871,3
1983	869,6	594,6	753	742,9
1984	897	865	946,5	868,8
1985	824,9	967,5	753,3	742,4
1986	992,3	1026,5	941,9	972,4
1987	1180,35	1095,4	909	953,5
1988	1070,5	923,5	981	969
1989	456	557,6	499,6	462,8
1990	605	785,3	785,8	843,2
1991	727	810	760	704
1992	-	-	580	636,7
1993	-	-	729	803,7
1994	-	-	826	867,2
1995	-	-	843	989,9
1996	-	-	1256	1241,4
1997	-	-	831	828
1998	-	-	698	722,7
1999	-	-	1154	1153,7
2000	-	-	691	776
2001	-	-	926	952
2002	-	-	1110	1053
2003	-	-	1049	1012
2004	-	-	402	682
2005				1125
2006				581
2007				720
2008				551
2009				1109
Μ.Ο. (mm)	918,4	918,05	866,9	858,9
Μ.Ο. 1976-1991	918,9	944,3	898,6	836,9

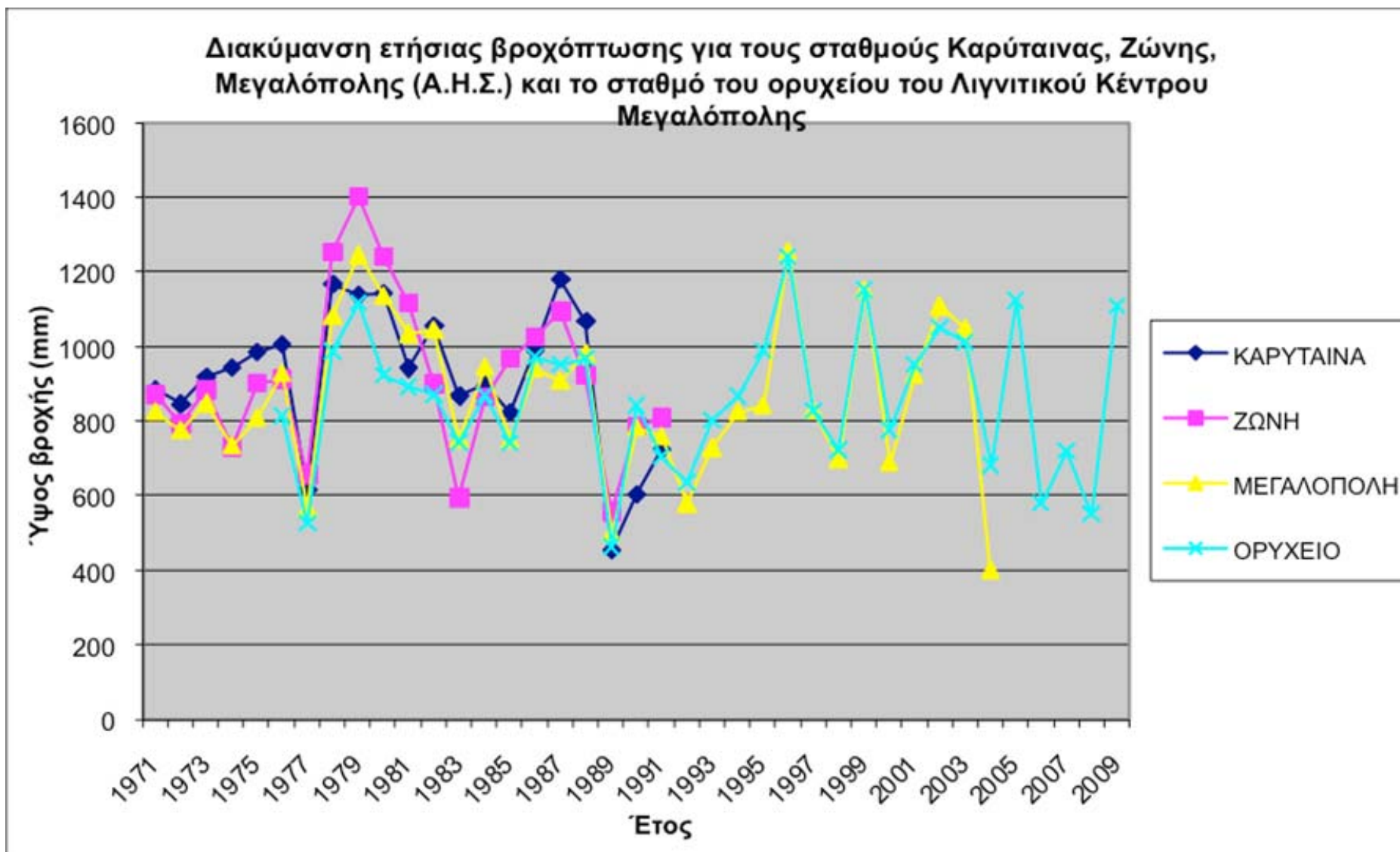
Στο σχήμα 4.1, που ακολουθεί, φαίνεται η πορεία της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για το σταθμό Α.Η.Σ. Μεγαλόπολης για μία περίοδο 20 και πλέον ετών. Τα αντίστοιχα δεδομένα των σταθμών παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4-2.

Από την μελέτη του παραπάνω πίνακα και των αντίστοιχων διαγραμμάτων μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Υψηλές βροχοπτώσεις παρατηρούνται κατά τις περιόδους 1978-80, 1986-88 και 2002-2003. Οι σημαντικότερες από αυτές ήταν των ετών 1978-80 και 1986-88 οι οποίες ήταν παρατεταμένες, ενώ το 1996 ξεπέρασαν τα 1200mm ετησίου ύψους βροχής.
- Περίοδοι μειωμένων βροχοπτώσεων αντίστοιχα, εμφανίζονται κατά τα έτη 1977, 1983, 1989, 1992, 2000 και 2008, με σημαντικότερη αυτή του 1989 οπότε η τιμή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ήταν εξαιρετικά μειωμένη αφού έπεσε κάτω από τα 500mm.
- Η απότομη πτώση στάθμης του καρστικού υδροφόρου που παρατηρήθηκε μετά το 1990 οφείλεται πιθανότατα στην παρατεταμένη περίοδο μειωμένων βροχοπτώσεων κατά τα έτη 1989-1993.
- Ο πλέον υγρός μήνας είναι ο Νοέμβριος όπως συνήθως παρατηρείται στον Ελληνικό χώρο. Ακολουθεί ο Δεκέμβριος και μετά ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Ξηρότερος μήνας βρέθηκε ότι είναι ο Ιούνιος ενώ ακολουθούν οι Ιούλιος και Αύγουστος.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση που μας δίνουν τα παραπάνω στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης για την τελευταία τριαντακονταετία είναι περίπου 900 mm.

Η τιμή των 900 mm, λοιπόν θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τους σχετικούς υπολογισμούς του υδατικού ισοζυγίου.



Σχήμα 4-1: Διακύμανση ετήσιας βροχόπτωσης περιόδου 1971-2009

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην λεκάνη Μεγαλόπολης.

Επίσης γίνεται διάκριση των σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητά τους, αξιολογούνται οι υδροφορείς που αναπτύσσονται τόσο στα χαλαρά όσο και στα συνεκτικά ιζήματα και γίνεται προσδιορισμός των πλέον σημαντικών υδροφορέων, που ενδεχομένως θα επηρεάσουν το σχηματισμό της λίμνης ή των λιμνών.

Στη συνέχεια θα προσδιοριστούν τα όρια, οι περιοχές τροφοδοσίας και οι υδραυλικές παράμετροι των πλέον σημαντικών από αυτούς.

5.2 Υδρολιθολογική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών στην ευρύτερη περιοχή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται ο βαθμός και ο τύπος της υδροπερατότητας κάθε σχηματισμού και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στους ανθρακικούς σχηματισμούς (δηλαδή τους Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της Πίνδου και τους αντίστοιχους της ζώνης Τριπόλεως) διότι αυτοί εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας (ορυχείο).

Τα πετρώματα που αποτελούν την λεκάνη και τις παρυφές της μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

Η πρώτη περιλαμβάνει τους κοκκώδεις σχηματισμούς που υπάρχουν στη λεκάνη.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους αλπικούς και προ-αλπικούς σχηματισμούς των ζωνών Πίνδου και Τριπόλεως και την φυλλιτική – χαλαζιτική σειρά. Η κατηγορία αυτή μπορεί να υποστεί περαιτέρω διαχωρισμό σε 2 υποκατηγορίες δηλ. στα υψηλής υδροπερατότητας καρστικά πετρώματα και στους υπόλοιπους αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Μια πρώτη διάκριση των σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητα γίνεται στον υδρογεωλογικό χάρτη του Σχήματος 5-1 της επόμενης σελίδας (απόσπασμα από το χάρτη του

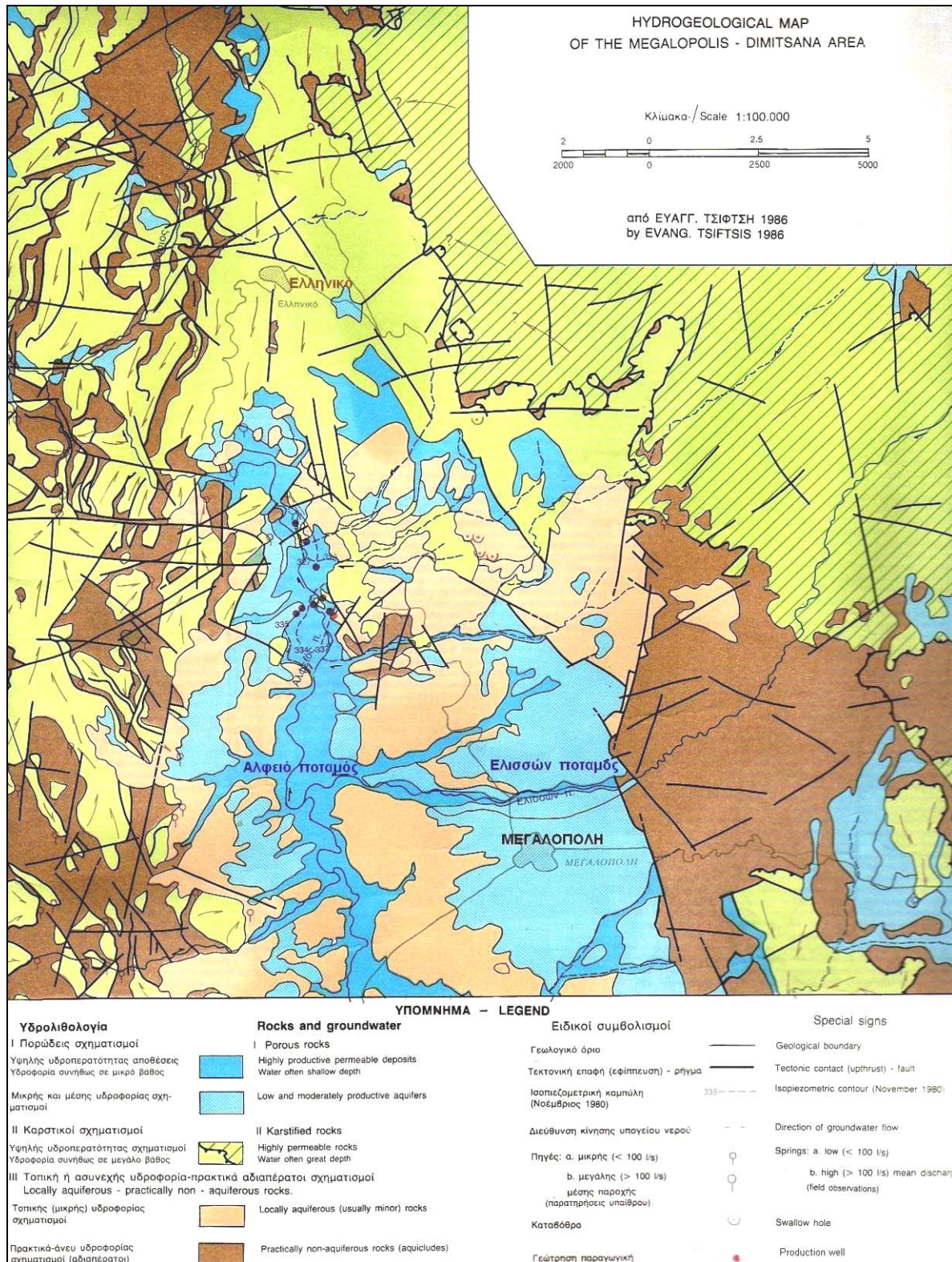
Ι.Γ.Μ.Ε. υπό Τσιφτσή Ε. 1986). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες βασισμένες στην υδροπερατότητα (πορώδη ή καρστικοποιημένα).

Οι δυο πρώτες κατηγορίες αναφέρονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς που γέμισαν την λεκάνη και χωρίστηκαν σύμφωνα με το βαθμό υδροπερατότητας σε πολύ και λίγο έως μέτρια παραγωγικούς υδροφορείς. Οι επόμενες τρεις κατηγορίες αφορούν αλπικούς-προαλπικούς σχηματισμούς. Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τους υψηλής υδροπερατότητας καρστικούς σχηματισμούς της περιοχής. Η τέταρτη κατηγορία περιγράφει συνεκτικούς σχηματισμούς στους οποίους έχουν αναπτυχθεί μόνο μικροί υδροφορείς συνήθως μικρής έκτασης ή μικροί διακεκομμένοι υδροφορείς. Η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει τους σχηματισμούς που πρακτικά δεν έχουν υδροφορία.

5.2.1. Μη συνεκτικοί σχηματισμοί

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους αλλουβιακούς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούνται γενικά από αμμούχα - αργιλικά με διασκορπισμένους χάλικες και κροκάλες, είναι υδροπερατοί μόνο σε περιορισμένη έκταση εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας αργιλικών υλικών, με αποτέλεσμα χαμηλή τοπικά υδροπερατότητα. Οι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε αρκετά μέρη μέσα στους σχηματισμούς αυτούς είναι γενικά χαμηλής παραγωγικής ικανότητας.

Άλλοι σχηματισμοί της πρώτης κατηγορίας είναι οι κώνοι κορημάτων οι οποίοι αποτελούνται από ασβεστολιθικούς χάλικες και τοπικά άργιλο και παρουσιάζουν πάντα αυξημένο βαθμό υδροπερατότητας, ενώ τα πλευρικά κορήματα παρόμοιας λιθολογίας είναι συνήθως λιγότερο υδροπερατά. Δεν αναπτύσσονται υδροφορείς σε σχηματισμούς γιατί υπέρκεινται των υδροπερατών ανθρακικών πετρωμάτων, με αποτέλεσμα το νερό να κατεισδύει σε χαμηλότερα στρώματα.



Σχήμα 5-1: Υδρογεωλογικός χάρτης περιοχής Μεγαλόπολης – Δημητσάνας (Απόσπασμα από Γεωτεκτονικό-Υδρογεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ, Τσιφτσής 1986)

Τα χονδρόκοκκα υλικά των αναβαθμίδων των ποταμών, που αποτελούνται από μη συνεκτικά έως ελάχιστους χάλικες με συμμετοχή και άλλων κλαστικών υλικών ποικίλου μεγέθους και προέλευσης (άμμο και άργιλο), προσδίδουν γενικά στους σχηματισμούς αυτούς ικανοποιητική υδροπερατότητα.. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, η αυξημένη αναλογία αργιλικού υλικού, προερχόμενη από την αποσύνθεση των θραυσμάτων ψαμμίτη των παλαιότερων υλικών των αναβαθμίδων, μειώνει την υδροπερατότητα αυτών.

Τα στρώματα ποτάμιας φάσης της Μεγαλόπολης, αποτελούμενα από άργιλο, άμμο, ιλύ, χάλικες ή ελαφρά συνεκτικό κροκαλοπαγές στο κέντρο της λεκάνης, ή από άμμο και άργιλο ανάμεικτα με κροκάλες και χάλικες στις παρυφές της λεκάνης εμφανίζουν καλύτερη υδροπερατότητα. Τα πηγάδια που έχουν ορυχθεί μέσα σε αυτούς είναι μικρής μέχρι μέτριας παραγωγικότητας.

Τα λιμναία στρώματα της Μαραθούσας, της Απιδίτσας, της βαθμίδας Τριλόφου και της βαθμίδας Μακρυσίου αποτελούμενα από άργιλο, αργίλους αμμούχες, μάργες και λιγνίτη αποτελούν στο σύνολό τους αδιαπέρατο σχηματισμό, με συντελεστή υδροπερατότητας $K=10^{-6} - 10^{-9}$ m/sec, όπως προέκυψε από σχετικές δοκιμές (Intergeo, 2000). Επομένως δεν αναμένεται εισροή νερού από τους σχηματισμούς αυτούς στα ανοιχτά πρηνή του κενού που θα απομείνει μετά το τέλος της εκμετάλλευσης. Αλλωστε ούτε σήμερα παρατηρείται εισροή νερού στα ανοιχτά πρηνή του ορυχείου. Επιπλέον στους οικισμούς γύρω από τα ορυχεία δεν υπάρχουν αρδευτικές ή υδρευτικές υδρογεωτρήσεις στους σχηματισμούς αυτούς γεγονός το οποίο θα αποτελούσε ένδειξη κάποιας αξιοσημείωτης υδροπερατότητας.

Πρέπει όμως να γίνει γενικά κατανοητό ότι οι μεταβολές στη λιθολογική σύσταση των περισσότερων γεωλογικών σχηματισμών, που υπάρχουν στη λεκάνη της Μεγαλόπολης, έχει σαν αποτέλεσμα ευρεία διακύμανση της υδροπερατότητας. Το ποσοστό των αργιλικών είναι γενικά υψηλό και παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στον καθορισμό του βαθμού υδροπερατότητάς τους στο χώρο.

5.2.2. Αλπικοί – Προαλπικοί σχηματισμοί

Γενικά

Η υδροπερατότητα των υδροφορέων των ανθρακικών πετρωμάτων οφείλεται στην καρστικοποίηση, η οποία δημιουργεί ανώμαλη κατανομή της υδροπερατότητας.

Η καρστικοποίηση εμφανίζεται σαν αποτέλεσμα της διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων κοντά στην επιφάνεια από το νερό το οποίο ρέει δια μέσου αυτών. Ο ρυθμός διάλυσης επηρεάζεται κυρίως από την ποσότητα του νερού που κυκλοφορεί, από τη συγκέντρωση του

διαλυμένου CO₂, την πίεση και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την επίδραση τεκτονικών διεργασιών καθώς επίσης και από τη σύνθεση των ανθρακικών πετρωμάτων (Χατζηπαναγιώτου Κ., 1997). Από παρατηρήσεις έχει δειχθεί πως, κατά μέσο όρο, η ταχύτητα της διάλυσης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων ανέρχεται σε 1cm/έτος.

Η κυκλοφορία του νερού και η διαλυτική δράση (δηλαδή η καρστικοποίηση) τείνει να είναι μεγαλύτερη στο ανώτερο τμήμα της ζώνης κορεσμού και ελαττώνεται όσο αυξάνεται το βάθος. Με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου, το βάθος της καρστικοποίησης αυξάνεται μέχρι να φθάσει στο επίπεδο βάσης (το επίπεδο δηλαδή που ελέγχεται από τη θάλασσα), ή σε μια επιφάνεια επαφής με υποκείμενο αδιαπέρατο σχηματισμό.

Σύμφωνα με τον Burdon (1965) η διάλυση και η διεύρυνση των καρστικών ανοιγμάτων από την κυκλοφορία του νερού, ακολουθούν δυο κύριες διευθύνσεις, μία κάθετη πάνω από την επιφάνεια κορεσμού και μία σχεδόν οριζόντια ακριβώς κάτω από αυτή. Όταν το νερό εμπλουτίζεται σε διαλυμένα ιόντα HCO₃⁻¹, είναι πιθανόν να συμβεί καταβύθιση ανθρακικών ιόντων (CO₃⁻²), κάτω από κατάλληλες συνθήκες με αποτέλεσμα το σχηματισμό ασβεστίτη με καλοσχηματισμένους κρυστάλλους μέσα σε ρωγμές (συνήθως σε αυτές που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο του νερού). Στην επιφάνεια του πετρώματος δημιουργείται ερυθρογή (terra-rossa) από την αποσύνθεση και διάβρωσή του (υψηλή συμμετοχή Fe⁺²). Αν και αυτή μαζί με τα υπόλοιπα αδιάλυτα υλικά αποτελούν μόνο το 2% του αυτόχθονου πετρώματος, αποτελούν παρ' όλα αυτά αποτελεσματική δευτερογενή πλήρωση των διακλάσεων και των ρωγμών των καρστικοποιημένων ανθρακικών εμφανίσεων.

5.3. Οι καρστικοί υδροφορείς της λεκάνης της Μεγαλόπολης

5.3.1. Εισαγωγή

Οι κύριοι καρστικοί υδροφορείς που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεγαλόπολης είναι οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου και τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης.

Ένα μεγάλο μέρος της περιοχής αποτελείται από Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης της Πίνδου, οι οποίοι είτε επίκεινται του πρώτου φλύσχη της ίδιας ζώνης, είτε έχουν επωθηθεί κατά θέσεις πάνω στον φλύσχη της ζώνης της Τρίπολη. Ο φλύσχος και των δύο ζωνών αποτελεί πρακτικά στεγανό σχηματισμό. Αυτή η τεκτονική έχει οδηγήσει στην

ανάπτυξη πολλαπλών ξεχωριστών καρστικών υδροφορέων μέσα και γύρω από τη λεκάνη (Τσιφτσής, 1986).

Στο δυτικό μέρος της λεκάνης, οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι σχηματίζουν επωθημένα λέπια με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ανεξάρτητοι καρστικοί υδροφορείς, οι οποίοι εκφορτίζονται μέσω καρστικών πηγών.

Στο βόρειο και βορειοανατολικό μέρος της λεκάνης, η υφιστάμενη υδρογεωλογική κατάσταση που προκύπτει από την τεκτονική δομή της περιοχής είναι πολύπλοκη. Μέρος του νερού των Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων εκρέει μέσω ενός μικρού αριθμού καρστικών πηγών, που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, ενώ το υπόλοιπο κατεισδύει σ' ένα χαμηλότερο σύστημα καρστικών υδροφορέων που έχει αναπτυχθεί στα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης.

Τέλος, στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης, τμήματα του Πινδικού καλύμματος είναι επωθημένα πάνω στο στεγανό φλύσχη της Τρίπολης και εκφορτίζονται μέσω ανεξάρτητων πηγών (Δημητρούκας Ν., 2003).

Τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης παρουσιάζονται στην επιφάνεια στο βόρειο, ανατολικό και νότιο μέρος της λεκάνης και σχηματίζουν ένα σύστημα καρστικών υδροφορέων βαθύτερων από αυτά που έχουν αναπτυχθεί στους Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης της Πίνδου.

Αυτό το βαθύτερο σύστημα υδροφορέων εκφορτίζεται μέσω ενός μικρού αριθμού πηγών μεγάλης παροχής, όπως υποθαλάσσιες και παράκτιες, που βρίσκονται γύρω από την πόλη του Άργους, καθώς και από τις πηγές «Άγιος Φλώρος» και «Πήδημα», οι οποίες βρίσκονται στα βόρεια, βορειοανατολικά της Καλαμάτας. Μέρος των ανθρακικών πετρωμάτων της υπό μελέτη περιοχής, πρέπει να εκφορτίζεται μέσω πηγών υψηλής παροχής που βρίσκονται στον πυθμένα της κοιλάδας του «Λούσιου» στα βόρεια της λεκάνης.

Όσον αφορά πηγές μικρής παροχής, μόνο μία εκρέει από τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης. Αυτή βρίσκεται 300m δυτικά – νοτιοδυτικά του χωριού «Καράτουλας», στην επαφή μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων της ζώνης της Τρίπολης και των στρωμάτων του Τυρού.

Η μελέτη της υδρολογίας των ανθρακικών πετρωμάτων της ζώνης Τρίπολης ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, επειδή οι υδροφορείς που αναπτύσσονται σ' αυτά δεν επηρεάζουν την τοπική υδρολογία του πεδίου των Κυπαρισσίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένας ορίζοντας φλύσχη μεγάλου πάχους της ζώνης της Τρίπολης απλώνεται μεταξύ τους (Τσιφτσής, 1986, Εικ.3.2).

Οι πηγές που εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης είναι είτε πηγές επαφής οι οποίες εκρέουν από την επαφή μεταξύ των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και του υποκείμενου πρώτου φλύσχη είτε πηγές υπερχειλίσεως που βρίσκονται στην επαφή μεταξύ των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και του πρώτου φλύσχη σε περιοχές όπου ο τελευταίος έχει επιπεύσει τον πρώτο. Ο δεύτερος τύπος πηγών εμφανίζεται επίσης σε πολλές περιπτώσεις στην επαφή των ασβεστολίθων με τα επιφανειακά ιζήματα της λεκάνης. Τέλος, οι πηγές που βρίσκονται στην κοιλάδα του ποταμού Λούσιου είναι πηγές υπερχείλισης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ειδικότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι της ζώνης Πίνδου, οι οποίοι σχηματίζουν τα περιθώρια και το υπόβαθρο των Ορυχείων της Μεγαλόπολης.

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί επηρεάζουν άμεσα τις εργασίες εκμετάλλευσης και θα εξεταστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.

5.4 Καθορισμός των ορίων των υδροφορέων

Στην ευρύτερη περιοχή των Ορυχείων της Μεγαλόπολης είχε διαπιστωθεί κατ'αρχήν (O. GOLD, 1962) η ύπαρξη ενός σημαντικού υδροφορέα, που αναπτύσσεται στους καρστικοποιημένους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του υποβάθρου των ορυχείων, καλυπτόμενοι από πλειοκαινικές αποθέσεις ποικίλου πάχους. Η πιεζομετρική επιφάνεια του καρστικού υδροφορέα παλιότερα έφτανε στην περιοχή του ορυχείου μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, σε υψόμετρο +330- +340m (O.GOLD, 1962). Σήμερα, σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια της εργασίας αυτής τον Μάιο και τον Ιούνιο του 2010, βρίσκεται σε υψόμετρο 300-305 m περίπου.

Νεότερη μελέτη (Ευάγγ. Τσιφτσής, 1984) υποστήριζε την ύπαρξη περισσότερων του ενός υδροφορέων στην ίδια λεκάνη.

Στην κατεύθυνση αυτή και με βάση νεώτερα δεδομένα από γεωτρήσεις και σταθμημετρήσεις προέκυψε (Δ.Δημητρακόπουλος 1993) ότι στα **δυτικά** ο καρστικός υδροφορέας περιορίζεται από τα στρώματα φλύσχη που διέρχονται μεταξύ των γεωτρήσεων 275/62, 357/63, 374/63, 383/63 (περιοχή χωριού Κυπαρίσσια) και των γεωτρήσεων 368/63, ΥΚ12/91 και ΥΚ13/91 που βρίσκονται ανατολικότερα (σχήμα 5-2). Επίσης, η περιοχή των γεωτρήσεων 376/63, Φ8/72 και Φ10/72 δεν έχει σχέση με τον κύριο καρστικό ορίζοντα αφού και πάλι απομονώνεται από στρώματα φλύσχη.

Στα **νότια**, το όριο του καρστικού υδροφορέα των Κυπαρισσίων που τέθηκε από τον O. Gold πρέπει στην πράξη να βρίσκεται σε κάποιο ρήγμα που εμποδίζει την επικοινωνία των καρστικών αγωγών, ενώ παράλληλα το μεγάλο πάχος των υπερκείμενων χαλαρών σχηματισμών ενεργεί πρακτικά σαν αδιαπέρατο όριο, αφού φέρνει σε επαφή καρστικούς σχηματισμούς με χαλαρά ιζήματα πρακτικά αδιαπέρατα. Εκτιμάται ότι το ρήγμα αυτό βρίσκεται στη Θωκνία, έχει διεύθυνση Α – Δ και σχηματίζει τον παραπόταμο του Αλφειού, Ελισσώνα. Η τοποθέτηση του ορίου αυτού δεν επηρεάζει σημαντικά τον υπολογισμό του εμβαδού των επιφανειακών ασβεστολιθικών εμφανίσεων μέσω των οποίων θεωρείται ότι λαμβάνει χώρα η κύρια τροφοδοσία του καρστ.

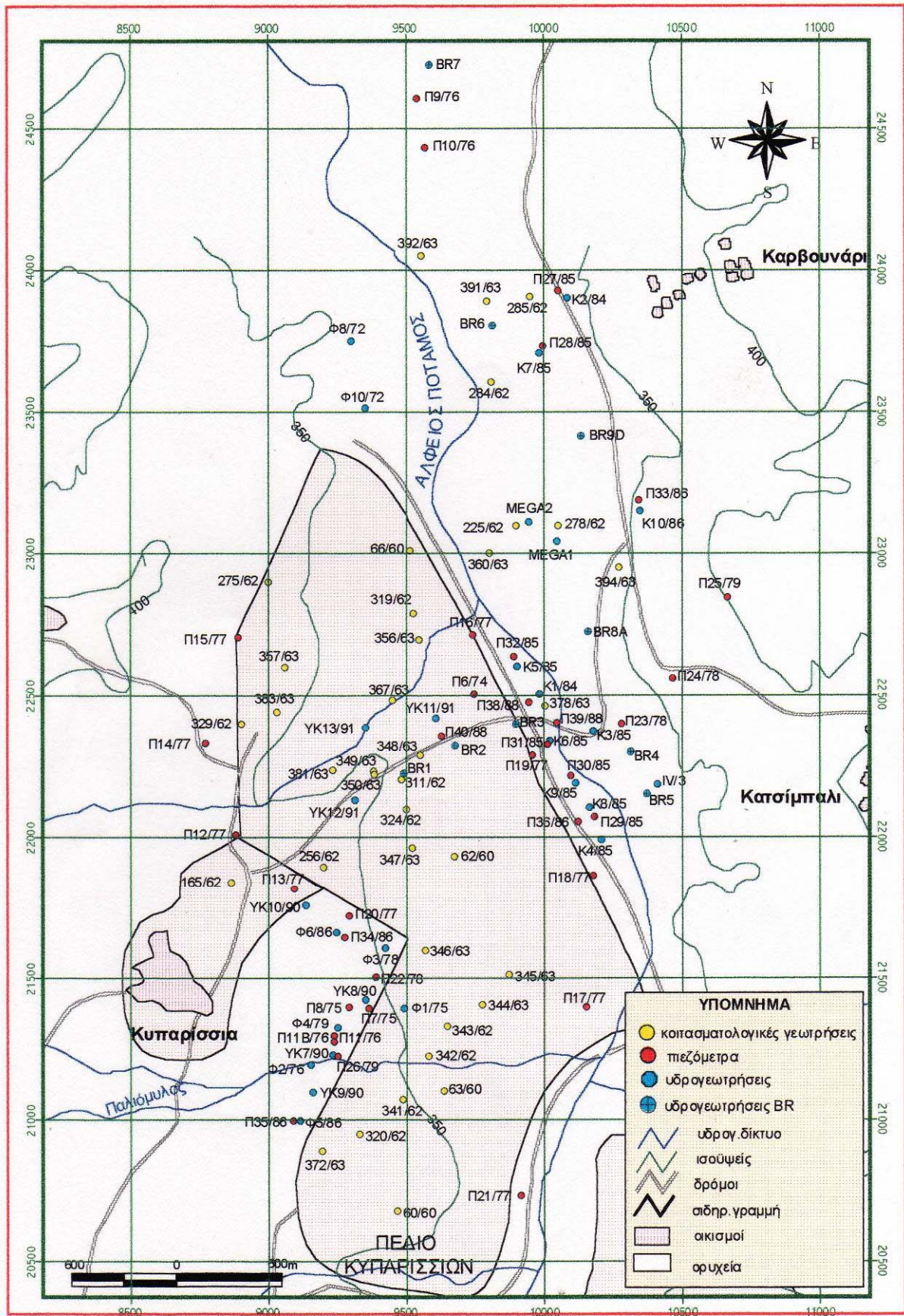
Στα **βόρεια**, η περιοχή των γεωτρήσεων Βγ6 και Βγ7 αποδείχτηκε ότι αποτελεί έναν ξεχωριστό υδροφορέα (ο οποίος αναφέρεται στην συνέχεια σαν Βόρειος υδροφορέας), ο οποίος δεν έχει καμία υδραυλική επικοινωνία με τον κύριο καρστικό υδροφόρο ορίζοντα (και αν ακόμα έχει, αυτή είναι πολύ μικρή). Οι γεωτρήσεις αυτές δεν ακολουθούν τη γενικότερη πτώση της στάθμης, ενώ έχουν διαφορετικά υδραυλικά χαρακτηριστικά και χημική σύσταση (Τερζοπούλου Ελ., Λιάκουρα Αικ., 1992, Δημητρακόπουλος Δ., Κουμαντάκης, Ι., 1995, Δημητρούκας Ν., 2003).

Στα **ανατολικά**, η ύπαρξη ενός εκτεταμένου στρώματος φλύσχη στη ζώνη Καράτουλα – Στεμνίτσα (ΙΓΜΕ, 1998, Τσιφτσής Ε., 1986) αποκλείει σαφώς την επικοινωνία με τις ανατολικότερα ευρισκόμενες ασβεστολιθικές μάζες.

Οι εμφανίσεις του πρώτου φλύσχη της ζώνης Ωλονού – Πίνδου στην περιοχή ΝΔ και ΒΔ του χωριού Καράτουλα, στα χωριά Παυλιά, Ψάρι, Άνω Καλύβια και Ελληνικό υποδηλώνουν ότι υπάρχει μια συνέχεια στην υπεδαφική επέκταση του φλύσχη, η οποία και δημιουργεί ένα φράγμα στην υδραυλική επικοινωνία του κυρίως καρστικού υδροφορέα με τους ασβεστόλιθους μεταξύ των χωριών Ελληνικό και Στεμνίτσα.

Οπωσδήποτε όμως, οι μόνες πιθανές περιοχές από τις οποίες υπόγειο νερό κινείται προς το πεδίο των Κυπαρισσίων φαίνεται να είναι αυτές που απλώνονται στο βόρειο και βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπου υπάρχουν εκτενείς εμφανίσεις Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων (βλ. γεωλογικό και Πιεζομετρικό χάρτη Παράρτημα).

Πρόσφατες εργασίες (Δ. Δημητρακόπουλος, Ι. Κουμαντάκης, 1995, Δημητρούκας Ν., 2003) αναφέρονται στην ύπαρξη τριών καρστικών υδροφορέων στην **άμεση** περιοχή των ορυχείων. Στη συνέχεια δίδονται στοιχεία που αφορούν τα όρια και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά όπως προκύπτουν από τις εργασίες αυτές (βλ. σχ. 5-4).



Σχήμα 5-2: Θέσεις γεωτρήσεων και πιεζομέτρων ευρύτερης περιοχής Κυπαρισσίων (Πηγή: Ν.Δημητρούκας, 2003)

α. ο κύριος (1^{ος}) καρστικός υδροφορέας:

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, ο υδροφορέας αυτός καλύπτει το κεντρικό και νότιο τμήμα του ορυχείου Κυπαρισσίων. (περιοχή γεωτρήσεων ΥΚ11, ΥΚ12, ΥΚ13, ΒR1, ΒR2, ΒR3)

Έχει εντοπισθεί επίσης στα δυτικά του ορυχείου των Κυπαρισσίων, κοντά στο ομώνυμο χωριό (περιοχή γεωτρήσεων ΥΚ7, ΥΚ8, ΥΚ9).

Στα ανατολικά του ορυχείου εκτείνεται κάτω από τον Αλφειό και φθάνει τουλάχιστον μέχρι τις γεωτρήσεις Κ2, Κ10, Κ7 και Π25 στα ΒΑ και Ανατολικά.

Το δευτερογενές πορώδες του καρστικού υδροφορέα υπολογίστηκε σε 0,6 - 1%.

Η υδαταγωγιμότητα στην κεντρική και ανατολική περιοχή του ορυχείου (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, ΒR3) είναι πολύ μεγάλη, της τάξεως του 10^{-1} έως 10^{-2} m²/sec, ενώ δυτικότερα μειώνεται (7×10^{-3} m²/sec στην Βr1).

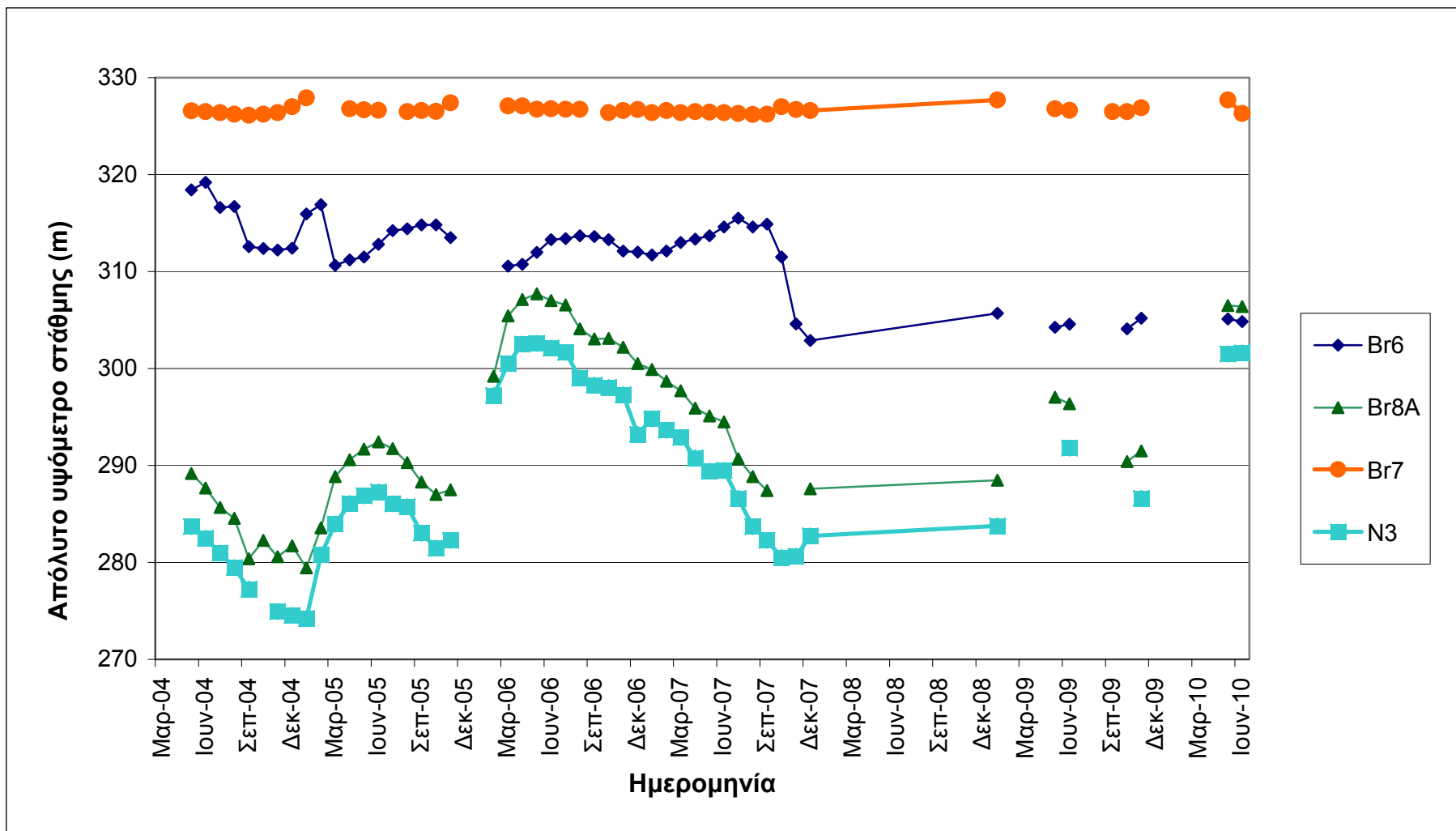
Η πιεζομετρική επιφάνεια του καρστικού υδροφορέα που αρχικά εθεωρείτο ενιαίος, παλαιότερα (1963) έφθανε στην περιοχή του ορυχείου μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, σε υψόμετρο μέχρι +330 - 340 m (Ο. GOLD, 1963). Το 1992 βρίσκοταν περίπου στο **+300 m** και το 2003 στο +280 - +285m περίπου, (Δημητρούκας Ν., 2003).

Σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής το 2009 και το 2010 και συμπληρώθηκαν με στοιχεία της Δ.Ε.Η. η στάθμη του σήμερα (Ιούνιος 2010) βρίσκεται περίπου στα 300-305 m (βλ. σχ. 5-3).

Πίνακας 5-1: Διακύμανση στάθμης καρστικών υδροφορέων

	Κύριος Υδροφορέας			Βόρειος Υδροφορέας	
	N3K	K1	Br8A	Br6	Br7
Ιανουάριος 2009	283,78	284,8	288,48	305,7	327,7
Ιούνιος 2009	291,78	292,8	296,36	304,57	326,64
Ιανουάριος 2010	291	292	296	306	328,2
Μάρτιος 2010	299	300	300,5	306	327
Ιούνιος 2010	301,5	303	306,5	305	326,3

Ο υδροφορέας αυτός είναι αυτός ο οποίος επηρεάζει τις εργασίες εκμετάλλευσης και για τον λόγο αυτό η στάθμη του έπρεπε να υποβιβαστεί.



Σχήμα 5-3: Διακύμανση στάθμης καρστικών υδροφορέων Κυπαρισσίων

β. 2^{ος} καρστικός υδροφορέας (βόρειος υδροφορέας):

Στην περιοχή γύρω από τις γεωτρήσεις BR6 - BR7 στα βόρεια του ορυχείου, αναπτύσσεται (αντίθετα από τις παλαιότερες απόψεις, Georgen 1976) ένας ανεξάρτητος μικρότερος καρστικός υδροφορέας, που απομονώνεται από τον κύριο υδροφορέα, μέσω υπόγειων διαφραγματικών παρεμβολών φλύσχη.

Η ύπαρξη του υδροφορέα αυτού προκύπτει σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Δ. Δημητρακόπουλος, Ι. Κουμαντάκης, 1995, Δημητρούκας, Ν., 2003):

1. Από την διαφορετική χημική σύσταση του νερού των γεωτρήσεων BR6, BR7 σε σχέση με δείγματα των άλλων γεωτρήσεων της σειράς BR και της σειράς N, που ανήκουν στον κύριο καρστικό υδροφορέα (βλ. πίνακα 5-2).
2. Από την μεγάλη διαφορά στάθμης και την διαφορετική διακύμανση (βλ. Σχ.5.3 και διάγραμμα μεταβολής στάθμης, παράρτημα) μεταξύ των Br6, Br7 και των υπολοίπων υδρογεωτρήσεων της σειράς BR1 έως BR9, της σειράς N και της σειράς K που ανήκουν στον κύριο υδροφορέα.

Η διαφορά στάθμης επιβεβαιώθηκε από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Η στάθμη του υδροφορέα αυτού σήμερα βρίσκεται στο +306 έως +326 m περίπου (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5-2: Χημική σύσταση καρστικών υδροφορέων

	Κύριος Υδροφορέας		Βόρειος Υδροφορέας	
	N3K	N6	Br6	Br7
PH	7, 8	7,7	8,1	8,0
TDS (mg/l)	220	270	330	310
Ανθρακική σκληρότητα (ppm CaCO ₃)	79	100	175	220
HCO ₃	96	122	213	268

Το όριο μεταξύ των δύο υδροφορέων βρίσκεται μεταξύ των γεωτρήσεων BR6 και K2/84, K7/85, προς τα ανατολικά. Πιθανότατα είναι ο φλύσχη Πίνδου που έχει εντοπισθεί στις γεωτρήσεις 360/63 και 284/62 (Σχήματα 5-2 και 5-4, γεωλογικό και Πιεζομετρικό χάρτη Παράρτημα).

Δεν έχουν προσδιοριστεί τα όρια και η έκταση του υδροφορέα αυτού. Είναι όμως πιθανόν τα νότια όριά του να φθάνουν μέχρι τα βόρεια όρια του ορυχείου Κυπαρισσίων.

Ο υδροφορέας αυτός δεν φαίνεται να επηρεάζει **άμεσα** τις εργασίες εκμετάλλευσης.

γ. 3^{ος} καρστικός υδροφορέας (Δυτικός υδροφορέας):

Στην βιβλιογραφία για το ορυχείο Κυπαρισσίων είχε αναφερθεί (σχ. 5-4) η ύπαρξη και συνέχεια μιας υπεδαφικής εμφάνισης φλύσχη, περίπου κατά μήκος των δυτικών πρανών του ορυχείου Κυπαρισσίων (Δημητρούκας, Ν., 2003, Παπαγεωργίου Ν., 1994)

Η ύπαρξη του φλύσχη αυτού επιβεβαιώνεται από τις γεωτρήσεις και από τις επιφανειακές εμφανίσεις αυτού στα δυτικά του ορυχείου.

Ο φλύσχης αυτός αποτελεί το δυτικό όριο του κύριου καρστικού υδροφορέα και αποτελεί στεγανό διάφραγμα μεταξύ αυτού και του δυτικού καρστικού υδροφορέα.

Εκτιμάται ότι στον υδροφορέα αυτόν έχουν ορυχθεί τα πιεζόμετρα Π15, Π13 και η υδρογεώτρηση του χωριού Μαυριά και η ΥΚ10. Τα πιεζόμετρα όμως είναι αποφραγμένα (βουλωμένα) και απαιτείται καθαρισμός τους για να είναι δυνατή η αξιόπιστη μέτρηση. Η στάθμη του κυμαίνεται περίπου στο +320m (βλ. Πιεζομετρικό χάρτη, παράρτημα).

5.5 Έκταση των καρστικών υδροφορέων

Σύμφωνα με την προηγηθείσα ανάλυση ο υδροφορέας ο οποίος επηρεάζει τις εργασίες εκμετάλλευσης των ορυχείων Μεγαλόπολης, είναι ο κύριος καρστικός υδροφορέας που βρίσκεται στο υπόβαθρο και τα περιθώρια του ορυχείου Κυπαρισσίων.

Στον υδροφορέα αυτόν έχουν ορυχθεί οι γεωτρήσεις της ΔΕΗ που εξυπηρετούν διπλό σκοπό αφού από αυτές αντλούνται οι αναγκαίες ποσότητες για την υδροδότηση του ΑΗΣ, ενώ παράλληλα ο υποβιβασμός της στάθμης που επιτυγχάνεται είναι αναγκαίος για την ασφαλή εξόρυξη του λιγνίτη.

Επομένως στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον κύριο καρστικό υδροφορέα.

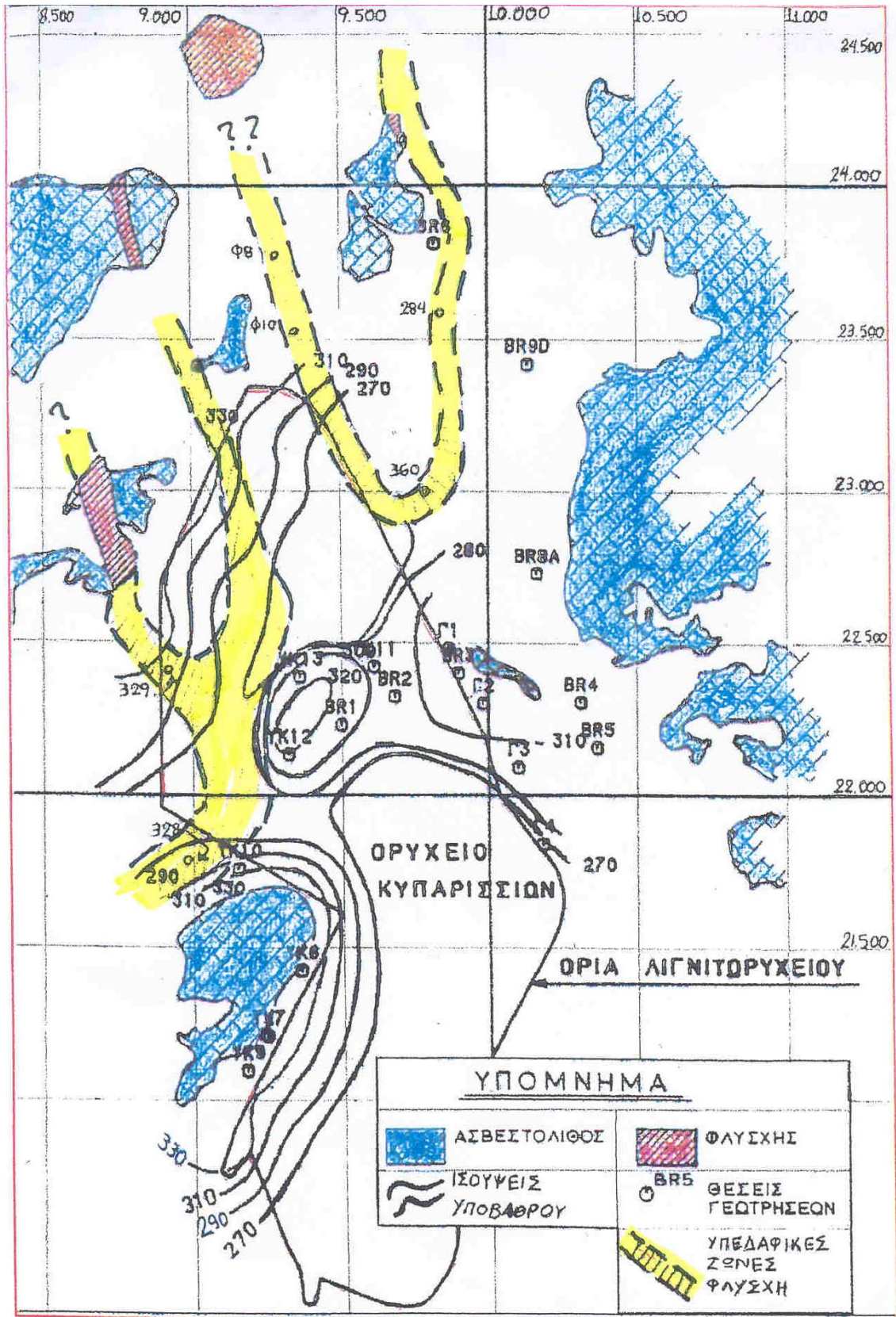
Η έκταση της επιφανειακής εμφάνισης του κύριου καρστικού σχηματισμού, που δέχεται άμεσα τα νερά των βροχοπτώσεων είναι 48 Km², ενώ η συνολική έκταση του ασβεστολιθικού σχηματισμού στην περίπτωση που περιλαμβάνει και το υπεδαφικό τμήμα του, που έχει εντοπισθεί από γεωτρήσεις ανέρχεται σε 140 Km².

Στην αρχική μελέτη GOERGEN (σελ. 17, τομ.5) όπως και στη μελέτη GOLD αναφέρεται ότι η συνολική έκταση του καρστικοποιημένου ασβεστολιθικού σχηματισμού είναι 170 Km²

Στη συνέχεια της μελέτης λαμβάνεται υπόψη για τους υπολογισμούς ότι η συνολική έκταση είναι 140 km² από τα οποία τα 48 km² είναι στην επιφάνεια.

5.6 Εκτίμηση της ποσότητας των υπόγειων υδάτων που κατεισδύουν σε ετήσια βάση (ανανεώσιμα αποθέματα) στον κύριο καρστικό υδροφορέα.

- Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής: Εκτιμάται το υδατικό ισοζύγιο από την παροχή του συνόλου των πηγών που εκφορτίζουν τον υδροφορέα βόρεια των Κυπαρισσίων. Η συνολική παροχή υπολογίσθηκε για το υδρολογικό έτος 1962-1963 σε $31 \times 10^6 \text{m}^3$ (GOERGEN 1962).



Σχήμα 5-4: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής Ορυχείου Κυπαρισσίων (πηγή: Δ. Δημητρακόπουλος 1993)

Η αντίστοιχη βροχόπτωση είναι για το έτος 1962-1963 1.534 mm. Είναι προφανές ότι η κατείδυση και κατά συνέπεια απορροή των πηγών το αντίστοιχο διάστημα 1962-1963 θα εμφανίζεται αυξημένη, αφού αυξημένη σημαντικά ήταν και η βροχόπτωση.

Παίρνοντας υπόψη μας την πραγματική βροχόπτωση της περιόδου 1962-1963 έχουμε :

επιφάνεια καρστικών σχηματισμών 48 Km^2 ή $48.000.000 \text{ m}^2$

κατείδυση $1.534 \text{ mm} \times 0,45 = 690 \text{ mm}$ (θεωρώντας κατείδυση 45%)

όγκος νερού που κατεισδύει $0.613 \times 48.000.000 \times 10^6 \text{ m}^3 = 33,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ που προσεγγίζει πολύ τα $31 \times 10^6 \text{ m}^3$ που υπολογίσθηκαν πιο πάνω.

Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή ο συντελεστής κατείδυσης στους επιφανειακά αναπτυσσόμενους καρστικούς σχηματισμούς υπολογίζεται 45%.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός αυτός αναφέρεται σε ένα υδρολογικό έτος με εξαιρετικά μεγάλη βροχόπτωση (1.534 mm).

- Ο υπολογισμός αυτός επαναλαμβάνεται για την περίοδο 1989-1992, που παρατηρήθηκε μια έντονη πτώση στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Όπως όμως αναλύθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, οι βροχοπτώσεις την αντίστοιχη περίοδο δεν εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση από το μέσο όρο της τελευταίας 20ετίας που είναι 900 mm. Στον καρστικό ορίζοντα κατεισδύουν μέσω των επιφανειακά αναπτυσσομένων ασβεστολίθων οι παρακάτω ποσότητες νερού:

Μέση βροχόπτωση	800 mm
Κατείδυση	45%
Έκταση ασβεστόλιθου	$48.000.000 \text{ m}^2$
όγκος νερού που κατεισδύει	$0,4 \times 0,9 \text{ m} \times 48.000.000 = 19,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού

Με δεδομένο ότι η απορροή μέσω των πηγών το αντίστοιχο διάστημα έχει σχεδόν μηδενιστεί, η παρατηρούμενη πτώση στάθμης οφείλεται κυρίως στην αύξηση των αντλήσεων στα 18-20 $\times 10^6 \text{ m}^3$ νερού το χρόνο την περίοδο αυτή και επιβεβαιώνει ότι την εκτίμηση της κατείδυσης (45%) αλλά και των ανανεώσιμων ποσοτήτων νερού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ποσότητα του νερού που κατεισδύει σε ετήσια βάση στον κύριο υδροφορέα, λόγω των βροχοπτώσεων (ανανεώσιμα αποθέματα), εξαρτάται από το ύψος των κατακρημνισμάτων και ανέρχεται σε:

Μέση βροχόπτωση (mm)	800	900	1000	1500
Όγκος νερού που κατεισδύει $m^3 \times 10^6$	17,3	19,5	21,60	32,40

5.7 Εκτίμηση των μόνιμων αποθεμάτων

Για την εκτίμηση των μόνιμων αποθεμάτων νερού στον κύριο καρστικό υδροφορέα απαιτείται η γνώση του πορώδους.

Το δευτερογενές πορώδες των καρστικών σχηματισμών σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία ανέρχεται στην Ελλάδα σε 1,5 – 2% (Παρνασσός 1.5%, D. BURDON, 1963). Για τους καρστικούς ασβεστολίθους που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή Κυπαρισσίων η μέση τιμή πορώδους έχει εκτιμηθεί σε $n = 0.6 - 0.7\%$ (Δ. Δημητρακόπουλος 1993 κεφ. 5.6 σελ. 33).

Οι καρστικοί ασβεστόλιθοι αναπτύσσονται όπως έχει αναφερθεί από το χωριό Καρατούλα στα ανατολικά μέχρι το χωριό Ελληνικό βόρεια, κατά μήκος της γραμμής εμφάνισης του φλύσχη. Στα δυτικά επίσης φθάνουν μέχρι την εμφάνιση του αντίστοιχου στρώματος φλύσχη στα δυτικά όρια του ορυχείου, ενώ στα νότια θεωρούμε ότι φθάνει μέχρι την Μεγαλόπολη.

Η έκταση του ασβεστολιθικού αυτού σχηματισμού φθάνει τα 140 Km^2 .

Επομένως ο όγκος του περιεχομένου νερού, (μόνιμα αποθέματα) ανά m πτώσης στάθμης, είναι :

$$\begin{aligned} \text{Έκταση} & 140 \text{ Km}^2 = 140.000.000 \text{ m}^2 \\ \text{πορώδες} & 0.6 - 0.7\% \\ \text{όγκος νερού} & 140.000.000 \times 0.006 = 840.000 \text{ m}^3 \\ & 0,84 - 0,98 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ανά m πτώσης στάθμης} \end{aligned}$$

Επίσης λαμβάνεται υπόψη το πορώδες του ασβεστολίθου 5% που είναι υπερβολικό, αν και στην ίδια μελέτη αναφέρεται το πορώδες που έχει μετρηθεί στον Ελληνικό χώρο, είναι 1,5-

2% με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε υπερεκτίμηση του όγκου του περιεχομένου νερού, όπως αποδείχτηκε άλλωστε από τη μέχρι σήμερα διακύμανση της στάθμης του κύριου υδροφορέα.

5.8 Υδατικό ισοζύγιο του κύριου καρστικού υδροφορέα.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε

- ✓ Η μέση βροχόπτωση ανέρχεται σε 900 mm/έτος
- ✓ Η μέση κατεισδυση εκτιμήθηκε σε 45%
- ✓ Η ποσότητα του νερού που κατεισδύει σε ετήσια βάση στον κύριο υδροφορέα, λόγω των βροχοπτώσεων (ανανεώσιμα αποθέματα), εξαρτάται από το ύψος των κατακρημνισμάτων και ανέρχεται σε:

Μέση βροχόπτωση (mm)	800	900	1000	1500
Όγκος νερού που κατεισδύει $m^3 \times 10^6$	17,3	19,5	21,60	32,40

- ✓ Τα μόνιμα αποθέματα είναι 840.000-980.000 m^3 νερού/ανά μέτρο πτώσης στάθμης
- ✓ Η αντλούμενη ποσότητα νερού για την κάλυψη των αναγκών υδροδότησης των ΑΗΣ της περιοχής ανέρχεται σε 18 – 20 x 10⁶ m^3 ετησίως.

Σημειώνεται ότι η άντληση αυτή εξυπηρετεί παράλληλα και την ανάγκη των ορυχείων για ασφαλή εξόρυξη του λιγνίτη και διατήρηση της στάθμης στα σημερινά επίπεδα.

Πράγματι, η αντλούμενη ποσότητα του νερού, των 18-20 x 10⁶ m^3 ετησίως, αντιστοιχεί στα ανανεώσιμα αποθέματα για βροχόπτωση 900–1000 mm ετησίως και αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός του ότι είναι δυνατή η διατήρηση της στάθμης στα σημερινά επίπεδα χωρίς επιπλέον άντληση από την πλευρά των ορυχείων.

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

6.1 Υδατικό ισοζύγιο

Το ισοζύγιο μιας λεκάνης καθορίζεται από την παρακάτω σχέση: $P = R + I + E$

όπου: P είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R είναι η επιφανειακή απορροή και οι απολήψεις

I είναι η κατείσδυση

E είναι η εξατμισοδιαπνοή

Στη συνέχεια γίνεται εκτίμηση των συντελεστών του υδατικού ισοζυγίου στην λεκάνη της Μεγαλόπολης.

6.1.1 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Αρχικά έγινε η επεξεργασία των δεδομένων, μιας μακράς σειράς ετών, 4 μετεωρολογικών σταθμών (Ζώνης, Καρύταινας, Ορυχείου, ΑΗΣ Μεγαλόπολης) εγκατεστημένων στην υδρολογική λεκάνη της Μεγαλόπολης, τμήμα της οποίας είναι η περιοχή ενδιαφέροντος. Η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα, είναι από το έτος 1971 έως το 1991 για την Ζώνη και την Καρύταινα, από το 1971 έως σήμερα για τον σταθμό του ορυχείου και από το 1976 έως το 2004 για τον σταθμό του ΑΗΣ Μεγαλόπολης.

Από την επεξεργασία λοιπόν των δεδομένων προέκυψε ότι η **μέση ετήσια βροχόπτωση** των τελευταίων 35 χρόνων είναι περίπου **900 mm** (βλ. κεφ.4). Άρα, σε μια έκταση 1000 km², που αντιστοιχεί στην λεκάνη απορροής του Αλφειού ποταμού μέχρι την Καρύταινα, η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται ότι είναι 900 x 10⁶ m³.

6.1.2 Επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης.

Η έκταση των 1000 km² δέχεται μέση ετήσια βροχόπτωση 900 x 10⁶ m³ και αποστραγγίζεται με τον Αλφειό ποταμό. Η έκταση αυτή περιλαμβάνει το τμήμα από την αρχή της υδρολογικής λεκάνης του Αλφειού μέχρι την έξοδο του από τα ορυχεία στο ύψος της Καρύταινας.

Ύστερα από επεξεργασία των μετρήσεων, που πραγματοποίησε η ΔΑΥΕ, οι οποίες καλύπτουν την περίοδο 1961-1976 και 1980-2001, υπολογίστηκε στην Καρύταινα η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή, που είναι περίπου $210 \times 10^6 \text{ m}^3$ και αντιστοιχεί στο 23% των βροχοπτώσεων.

Παρατηρείται μία τάση μείωσης της επιφανειακής απορροής η οποία δεν μπορεί να αποδοθεί μόνο στις αντλήσεις για την υδροδότηση του ΑΗΣ, σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία από άλλες λεκάνες στον Ελληνικό χώρο. Η αύξηση των καλλιεργούμενων (αρδευόμενων) εκτάσεων είναι ένας επίσης σημαντικός παράγοντας.

6.1.3 Εξατμισοδιαπνοή

Η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή από εδαφική επιφάνεια ανέρχεται στα **750 mm** (που αντιστοιχεί σε όγκο νερού $750 \times 10^6 \text{ m}^3$), όπως την υπολόγισε ο Κασσιός στην «Ειδική μελέτη οργάνωσης τεχνητού υγροτόπου Αγ. Γεωργίου Μεγαλόπολης» (1995). Η εκτίμηση αυτή όμως δεν είναι πλήρης, γιατί η περιοχή της μελέτης μας καλύπτεται σε ένα πολύ μεγάλο τμήμα της και από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς στους οποίους ο συντελεστής κατείδυσης είναι περίπου 40% (BURDON D.J.). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μόνο στην ευρύτερη περιοχή του ορυχείου Κυπαρισσίων η έκταση των ασβεστολιθικών σχηματισμών είναι περίπου 50 Km^2 . Επομένως, λόγω της ύπαρξης των ασβεστολίθων η κατείδυση αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και συγχρόνως μειώνεται η εξάτμιση. Για τον λόγο αυτό θεωρώντας ότι η ποσότητα του νερού που αποτελεί άθροισμα της απορροής και της κατείδυσης είναι τουλάχιστον $210 \times 10^6 \text{ m}^3$, η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται έμμεσα σε 690mm ή 77% (Πίνακας 6-1).

Πίνακας 6-1: Υπερετήσιο υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Αλφειού

Έκταση (km ²)	Βροχόπτωση (mm)	Εξατμισοδιαπνοή (mm)	Όγκος βροχοπτώσεων ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Απορροή+Κατείδυση(mm)	Όγκος απορροής + κατείδυσης($\times 10^6 \text{ m}^3$)
1000	900	690	900	210	210
Ποσοστό:	100	77		23	

6.1.4 Απολήψεις νερών για διάφορες χρήσεις και διαδικασίες

α) Αντληση νερού για την τροφοδοσία των ΑΗΣ.

Για την υδροδότηση των ΑΗΣ αντλούνται περίπου στα 20-21.000.000 m³ το χρόνο. Από την ποσότητα αυτή το 65-70% εξατμίζεται και το υπόλοιπο 30-35% (6.000.000 m³/year - 7.000.000 m³/year) απορρίπτεται μετά την ψυκτική διαδικασία στον Αλφειό.

β) Αντλήσεις για την υδροδότηση του ΑΗΣ και την προστασία των ορυχείων.

Οι αντλήσεις γίνονται είτε από αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, με στόχο την διατήρηση της πιεζομετρικής στάθμης του καρστικού υδροφορέα στα σημερινά της επίπεδα, είτε από αντλιοστάσια, στα οποία συγκεντρώνονται τα επιφανειακά νερά από τα δάπεδα των ορυχείων.

Αντλήσεις υπόγειων νερών από υδρογεωτρήσεις με στόχο την προστασία των ορυχείων γίνονται μόνο στον καρστικό υδροφορέα του ορυχείου Κυπαρισσίων. Επίσης από το σύνολο των ορυχείων αντλούνται και απορρίπτονται στον Αλφειό περίπου 8.000.000 m³ ετησίως. Από τον υδροφορέα αυτό αντλήθηκαν περίπου 3-4.000.000 m³ ετησίως την περίοδο 2003-4, επιπλέον της ποσότητας που αντλήθηκε από τον ΑΗΣ (20-21 x 10⁶ m³).

Στον πίνακα 6-2 που ακολουθεί δίνονται οι ποσότητες που αντλήθηκαν από τα ορυχεία κατά τα έτη 2001-2004.

Πίνακας 6-2: Αντλήσεις από τα ορυχεία από το 2001 – 2004.

ΕΤΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (ΚΑΡΣΤΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ
2001	20.500.000	9.300.000	29.800.000
2002	21.000.000	6.696.000	27.696.000
2003	25.000.000	8.000.000	33.000.000
2004	24.200.000	8.000.000	32.200.000

Στην περιοχή των ορυχείων της Μεγαλόπολης αντλούνται κάποιες μικρές ποσότητες από τους υπερκείμενους του λιγνίτη σχηματισμούς που όμως θεωρούνται αμελητέες. Στους σχηματισμούς αυτούς που δεν παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία (βλ. κεφ.5), αποστράγγιση γίνεται μόνο τοπικά και περιστασιακά, για σχετικά περιορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. μερικούς μήνες έως 1-2 χρόνια το μέγιστο), από λίγες γεωτρήσεις και σε ορισμένες περιοχές (π.χ. τμήμα των δυτικών πρανών του ορυχείου Χωρεμίου) με στόχο κυρίως την βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας.

Σε κάθε περίπτωση τα αντλούμενα νερά απορρίπτονται κατευθείαν στον Αλφειό ποταμό, που θα κατέληγαν όμως ούτως ή άλλως μέσω της φυσικής διαδικασίας. Οι ποσότητες αυτές του νερού είναι επίσης συνυπολογισμένες στην απορροή του Αλφειού στην θέση της Καρύταινας.

γ) Αντληση νερού για άρδευση – ύδρευση.

Οι αρδευόμενες εκτάσεις από τις γεωτρήσεις της ΔΕΗ είναι περίπου 1000 στρέμματα δηλαδή οι αντλούμενες ποσότητες είναι πολύ μικρές για τον σκοπό αυτό. Εκτιμάται ότι η αντλούμενη ποσότητα είναι περίπου 1.000.000 m³ ετησίως.

Όσον αφορά τις ποσότητες νερού που αντλούνται για την υδροδότηση των γύρω χωριών Μαυριά, Κυπαρίσσια, Θωκνία κ.λ.π. είναι περίπου 700.000 m³, που θεωρείται επίσης πολύ μικρή ποσότητα.

Σημειώνεται ότι μέχρι πρόσφατα η Μεγαλόπολη υδροδοτείτο από δύο γεωτρήσεις στον καρστικό υδροφορέα, από τις οποίες σήμερα καλύπτει μερικώς τις ανάγκες της. Η αντλούμενη ποσότητα ανέρχεται περίπου σε 1.000.000 m³ σύμφωνα με στοιχεία του δήμου Μεγαλόπολης.

6.2 Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου

Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης διαμορφώνεται ως εξής:

Εισροές - Εκροές:

Σε μία έκταση 1000 km² η ετήσια ποσότητα των κατακρημνισμάτων ανέρχεται στα 900 x 10⁶ m³. Από αυτή την ποσότητα εξατμίζονται τα 690 x 10⁶ m³ ετησίως και παραμένουν στη λεκάνη και τελικά απορρέουν περίπου 210 x 10⁶ m³. Τα νερά των αντλιοστασίων, που είναι περίπου 8.000.000 m³ και απορρίπτονται στον Αλφειό, θα κατέληγαν ούτως ή άλλως σ' αυτόν μέσω της φυσικής διαδικασίας επομένως δεν επηρεάζουν το υδατικό ισοζύγιο.

Για την υδροδότηση των ΑΗΣ και των ορυχείων αντλούνται κάθε χρόνο περίπου 20-21 x 10⁶ m³ νερού από τον καρστικό υδροφορέα, εκ των οποίων τα 7 x 10⁶ m³ νερού απορρίπτονται στον Αλφειό ποταμό μετά την ψυκτική διαδικασία των ΑΗΣ και ουσιαστικά λαμβάνονται ως επιστροφές.

Για την προστασία των ορυχείων περιστασιακά (μόνο το 2003, 2004) αντλήθηκαν $\sim 3-4 \times 10^6$ m³ νερού, τα οποία επίσης απορρίφθηκαν στον Αλφειό. Στο μέλλον δεν προβλέπεται να υπάρξουν άλλες αντλήσεις για την προστασία των ορυχείων.

Για άρδευση και ύδρευση διατίθενται μέσω των γεωτρήσεων περίπου 3.000.000 m³ ετησίως. Από την λεκάνη καταναλώνονται τελικά περίπου $16-17 \times 10^6$ m³ ετησίως (ΑΗΣ και αρδεύσεις), αφού τα υπόλοιπα επανέρχονται στην λεκάνη.

Η ποσότητα αυτή δεν επηρεάζει ουσιαστικά το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης, αφού αποτελεί το 2% των βροχοπτώσεων και το 7% της ετήσιας απορροής.

Το υδατικό ισοζύγιο είναι θετικό κατά 200×10^6 m³ ετησίως (μ.ο), τα οποία απορρέουν μέσω του Αλφειού από την Καρύταινα.

7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ

7.1 Γενικά

Οι εργασίες εκμετάλλευσης του λιγνίτη στην λεκάνη Μεγαλόπολης, ξεκίνησαν με την εκμετάλλευση του πεδίου Θωκνίας το 1971 και απέδωσαν μέχρι σήμερα 302 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη. Η εκμετάλλευση του λιγνιτωρυχείου προβλέπεται να ολοκληρωθεί το 2026 (Λεοντίδης - Ρούμπος 2004).

Η εικόνα που παρουσιάζουν τα ορυχεία σήμερα δίνεται στο σχέδιο Α1. Το ορυχείο Θωκνίας έχει εξοφληθεί, ενώ συνεχίζεται η εκμετάλλευση στο ορυχείο Κυπαρισσίων, Μαραθούσας και Χωρεμίου.

Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της ΔΕΗ (Λεοντίδης - Ρούμπος, 2005) με την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης των ορυχείων της Μεγαλόπολης (2026) θα έχουν διακινηθεί $1540 \times 10^6 \text{ m}^3$ με αντίστοιχη παραγωγή $553 \times 10^6 \text{ tn}$ λιγνίτη.

Μία εκσκαφή αυτού του μεγέθους είναι προφανές ότι θα επιφέρει αλλαγές στο υδρολογικό σύστημα, οι οποίες, δεν είναι απαραίτητα στο σύνολό τους αρνητικές. Στην μεταλιγνιτική εποχή το υδατικό καθεστώς της περιοχής θα είναι διαφορετικό τόσο σε επίπεδο υπόγειων όσο και κυρίως επιφανειακών νερών.

Η τελική εικόνα που θα παρουσιάζουν τα ορυχεία το έτος 2026 παρουσιάζεται στο σχέδιο 7.1. Το ορυχείο Κυπαρισσίων θα έχει καλυφθεί πλήρως με άγονα υλικά και θα έχει ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση, η εσωτερική απόθεση στο ορυχείο Χωρεμίου και θα έχει διαμορφωθεί το τελικό κενό, το οποίο θα είναι οι αποδέκτης των επιφανειακών απορροών για την δημιουργία του μόνιμου ταμιευτήρα (λίμνης). Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται η διερεύνηση της δυνατότητας δημιουργίας της λίμνης, που θα σχηματιστεί στα τελικά κενά των ορυχείων Χωρεμίου και Μαραθούσας, που θα είναι ενωμένα.

7.2 Δυνατότητα δημιουργίας λίμνης

7.2.1 Υπολογισμός χωρητικότητας της λίμνης

Στην περιοχή μελέτης θα παραμείνουν δύο κενά.

Το μεγαλύτερο είναι του ορυχείου Χωρεμίου, που τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά έχουν περίπου ως εξής: περίμετρος 14,6 Km, έκταση στο επίπεδο της ανώτερης στάθμης της λίμνης 6,54 Km², έκταση πυθμένα 4,51 Km², έκταση μέσης επιφάνειας 5,53 Km², και μέγιστο βάθος περίπου 55 m. Το δεύτερο κενό είναι του ορυχείου Μαραθούσας με τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά: περίμετρος 5,4 Km, έκταση στο επίπεδο της ανώτερης στάθμης της λίμνης 2,18 Km², έκταση πυθμένα 1,81 Km², έκταση μέσης επιφάνειας 2 Km² και μέγιστο βάθος περίπου 30m.

Τα τελικά κενά των δύο αυτών ορυχείων θα αποτελούν έναν ενιαίο χώρο στον οποίο θα σχηματιστεί η λίμνη περιμέτρου 20 Km, έκτασης στο επίπεδο της ανώτερης στάθμης της λίμνης 8,72 Km², έκτασης πυθμένα 6,32 Km², έκταση μέσης επιφάνειας 7,53 Km² και μέγιστο βάθος περίπου 55 m (σχ. 7-1).

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της λίμνης λαμβάνουμε σαν βάθος κάθε τμήματος της λίμνης, το μέγιστο βάθος και σαν επιφάνεια, την μέση επιφάνεια της κάθε λίμνης: [(επιφάνεια τελικής στάθμης + επιφάνεια πυθμένα)/2].

Άρα υπολογίζουμε την χωρητικότητα του Χωρεμίου :

$$V_{\text{ΧΩΡ}} = E \times h = 5,53 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 55\text{m} = 304 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ που είναι } 304 \times 10^6 \text{ m}^3$$

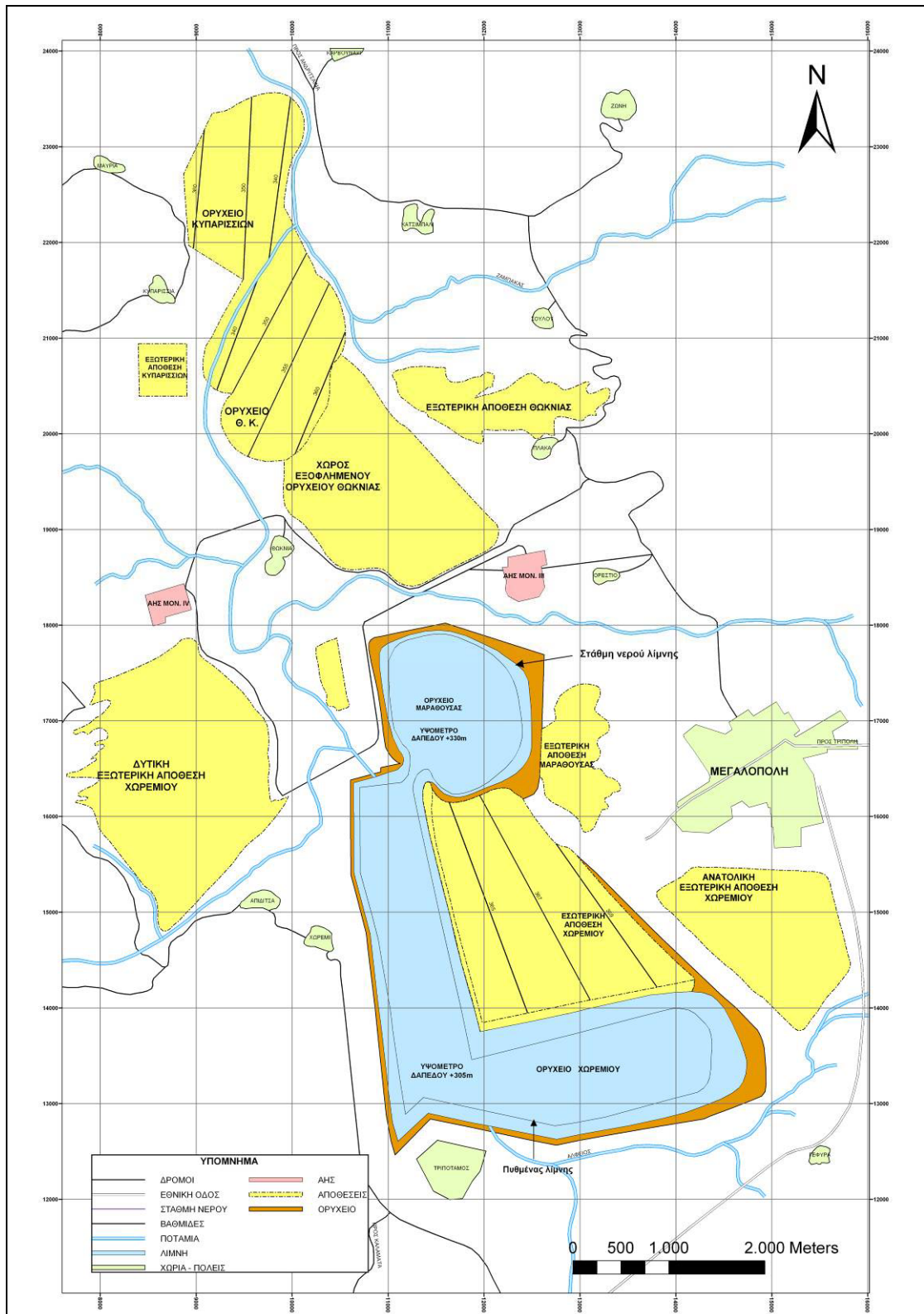
$$\text{και της Μαραθούσας: } V_{\text{ΜΑΡ}} = E \times h = (2 \times 10^6 \text{ m}^2) \times 30\text{m} = 60 \times 10^6.$$

Επομένως ο τελικός όγκος που πρέπει να πληρωθεί με νερό για τον σχηματισμό της τελικής λίμνης είναι $V_{\Lambda} = 364 \times 10^6 \text{ m}^3$.

7.2.2 Υπολογισμός απευθείας κατακρημνισμάτων

Για να υπολογίζουμε την ποσότητα νερού που θα εισχωρήσει στην λίμνη από τα κατακρημνίσματα, σαν τιμή επιφάνειας θεωρούμε την μέγιστη επιφάνεια της.

Γνωρίζοντας το εμβαδόν της επιφάνειας και το ύψος βροχής σε ετήσια βάση (900mm, βλ. κεφ.4), υπολογίζουμε τον όγκο του νερού που θα εισέρχεται σε ετήσια βάση στους κενούς χώρους των ορυχείων. Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι τα απευθείας κατακρημνίσματα είναι $V_{\text{BP}} = 7,85 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.



Σχήμα 7-1: Τελική κατάσταση Ορυχείων Μεγαλόπολης

7.2.3 Υπολογισμός επιφανειακών εισροών

Από την Δ.Ε.Η. δεν μου δόθηκαν λεπτομερείς τοπογραφικοί χάρτες ώστε να γίνει υπολογισμός της επιφάνειας του εδάφους που απορρέει προς το τελικό κενό που θα απομείνει. Για το λόγο αυτό έγινε εκτίμηση της επιφάνειας αυτής μετά από την επίσκεψη της περιοχής. Η επιφάνεια εκτιμάται ότι είναι περίπου 5 km². Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας παίρνω ως συντελεστή αποροής 30% λαμβάνοντας υπόψιν ότι μεγάλο τμήμα της επιφάνειας αποτελείται από αποθέσεις οι οποίες :

Α) έχουν συμπυκνωθεί από την κυκλοφορία χωματογενικών μηχανημάτων (φορτηγά, προωθητές κ.τ.λ.)

Β) έχουν μεγάλες κλίσεις

Γ) αποτελούνται κυρίως από αργιλομαργαϊκά υλικά

Έτσι δεν ευνοούν την κατείσδυση αλλά αλλά αντιθέτως αυξάνουν την επιφανειακή απορροή. Επομένως ο όγκος του νερού που απορρέει προς την λίμνη θα είναι $0,30 \times 0,9 \times 5 \times 10^6 = 1,35 \times 10^6 \text{ m}^3$

7.2.4 Υπολογισμός υπόγειων εισροών

Όπως αναφέρθηκε στα κεφάλαια της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας τα υπερκείμενα των λιγνιτικών στρωμάτων αποτελούνται από αργύλους και μάργες που είναι πρακτικά αδιαπέρατα υλικά (βλέπε κεφάλαιο 2.5.1). Το ίδιο συμβαίνει και με τα λιγνιτικά στρώματα. Κατά τις επισκέψεις μου στο ορυχείο Μεγαλόπολης την περίοδο Μάιος – Ιούνιος 2009 και 2010 δεν διαπιστώθηκε καμία εκροή νερού από τα ανοιχτά πρηνή των ορυχείων Κυπαρισσίων, Χωρεμίου και Μαραθούσας. Επομένως δεν αναμένονται υπόγειες εισροές προς το κενό που θα απομείνει μετά το τέλος της εκμετάλλευσης.

7.2.5 Υπολογισμός εξάτμισης

Σύμφωνα με τον Κ. Κασσιό (1995), η μέση ετήσια εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια στην περιοχή της Μεγαλόπολης για την χρονική περίοδο 1970-1995 ήταν 1467,7 mm (~1500 mm). Η εξάτμιση θα υπολογιστεί για την μέση επιφάνεια της λίμνης ($7,53 \times 10^6 \text{ m}^2$) και για την μέγιστη επιφάνειά της ($8,72 \times 10^6 \text{ m}^2$) σε ετήσια βάση.

$$E_{\xi_{\mu.επ.}} = 7,53 \times 10^6 \times 1,5 \rightarrow E_{\xi} = 11,3 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος.}$$

$$E_{\xi_{\muεγ.επ.}} = 8,72 \times 10^6 \times 1,5 \rightarrow E_{\xi} = 13,08 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος.}$$

7.2.6 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε όμως ότι η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια της λίμνης ($11,3 - 13,1 \times 10^6$), είναι μεγαλύτερη από αυτή που δέχεται από τα κατακρημνίσματα και τις επιφανειακές εισροές ($V_{\text{εισρ.}} = 9,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$).

Επομένως γίνεται σαφές ότι δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί αλλά ούτε και να διατηρηθεί η λίμνη στο κενό που θα απομείνει αν δεν υπάρχει και άλλη πηγή τροφοδοσίας εκτός από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

7.3. Προτεινόμενες λύσεις για επιπλέον τροφοδοσία της λίμνης

Για ένα δημιουργηθεί η λίμνη δεν είναι αρκετή η φυσική τροφοδοσία μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Από τους μέχρι τώρα υπολογισμούς (βροχόπτωση, μέγιστη και μέση εξάτμιση) προέκυψε ότι τα παρακάτω ισοζύγια που είναι αρνητικά:

Για την μέση εξάτμιση $V_{\text{BP-ΕΞ}} = -2,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (**1^ο ισοζύγιο**) κατά την διάρκεια πλήρωσης της λίμνης.

Για την μέγιστη εξάτμιση $V_{\text{BP-ΕΞ}} = -3,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (**2^ο ισοζύγιο**) κατά την πλήρωση της λίμνης, για την διατήρησή της.

Για τον λόγο αυτό πρέπει να δοθούν λύσεις ώστε να είναι εφικτή τόσο η δημιουργία της λίμνης όσο και η διατήρησή της. Στη συνέχεια για τους υπολογισμούς θα ληφθεί υπ' όψιν ότι το ισοζύγιο είναι αρνητικό κατά $3,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

1^η Λύση: Τεχνητή εκτροπή μόνο της ποσότητας νερού από τον Αλφειό ποταμό που είναι απαραίτητη ώστε να διατηρείται η οικολογική παροχή.

Μία λύση που μπορεί να υλοποιηθεί είναι να γίνει μερική εκτροπή του Αλφειού ποταμού. Για λόγους όμως περιβαλλοντικούς και σύμφωνα με τις απαιτούμενες προϋποθέσεις που έχουν τεθεί από την **νομοθεσία** δεν προβλέπεται να διοχετευθεί όλο το νερό του ποταμού στη λίμνη, αλλά μόνο το 1/3 της μέσης θερινής παροχής του. Τα υπόλοιπα 2/3 της παροχής θα συνεχίσουν την κανονική ροή του ποταμού μέχρι την εκβολή του στον Κυπαρισσιακό κόλπο ώστε να διατηρείται η οικολογική παροχή. Μετά την πλήρωση της λίμνης μέχρι το φυσικό έδαφος, το νερό του Αλφειού ποταμού που θα εισέρχεται στην τεχνητή λίμνη, θα συνεχίσει την κανονική του ροή.

Υπολογισμός ποσότητας νερού που εισέρχεται από τον Αλφειό ποταμό στη λίμνη.

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω προϋποθέσεις η μέση μηνιαία θερινή παροχή του ποταμού (σύμφωνα με μετρήσεις μηνιαίων παροχών κατά τα έτη 1961-2001 στο σταθμό της Καρύταινας, ΔΑΥΕ) είναι γύρω στα $3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Επομένως το $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, θα εισέρχεται κάθε μήνα προς τον χώρο της λίμνης και τα υπόλοιπα $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ θα συνεχίσουν την κανονική ροή του ποταμού αποτελώντας την οικολογική παροχή. Σε αυτή την περίπτωση ο ετήσιος όγκος νερού που μπορεί να διοχετευθεί από τον ποταμό στη λίμνη είναι $12 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Άρα αν λάβουμε υπόψη μας το 1^ο ισοζύγιο μπορούμε να υπολογίσουμε ποια θα είναι η ποσότητα του νερού που παραμένει στη λίμνη. Το συνολικό ισοζύγιο (εισροές-εκροές) είναι $9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ άρα για να δημιουργηθεί η λίμνη που είναι συνολικής χωρητικότητας $364 \times 10^6 \text{ m}^3$ χρειάζονται γύρω στα **41 χρόνια**.

2^η Λύση: Εισροή ποσότητας νερού από τον Αλφειό ποταμό ώστε να διατηρείται η οικολογική παροχή και ποσότητας νερού από τον καρστικό υδροφορέα των Κυπαρισσίων.

Από την ανάλυση της προηγούμενης περίπτωσης προέκυψε ότι η λίμνη θα σχηματιστεί σε 41 χρόνια. Επειδή όμως το χρονικό αυτό διάστημα θεωρείται αρκετά μεγάλο, πρέπει να δοθούν επιπλέον δυνατότητες γρηγορότερης δημιουργίας της λίμνης.

Από το 2010 έως το 2016 περίπου εξοφλείται το ορυχείο Κυπαρισσίων, θα σταματήσουν να λειτουργούν οι δύο από τις τέσσερις μονάδες των ΑΗΣ και επομένως οι αντλήσεις θα μειωθούν κατά πολύ. Άρα σταδιακά θα αρχίσει να ανεβαίνει η στάθμη του υπόγειου νερού, ώστε να επανέλθει στα επίπεδα που ήταν πριν την έναρξη των εργασιών στα ορυχεία. Επειδή λοιπόν οι αντλήσεις θα μειωθούν σε μεγάλο βαθμό, είναι δυνατόν να γίνεται άντληση κάποιων ποσοτήτων νερού από τον καρστικό υδροφορέα και μεταφορά του μέσω αντλιών στο χώρο της λίμνης. Αν υποθέσουμε ότι η ποσότητα αυτή που θα αντλείται είναι γύρω στα $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ και λαμβάνοντας υπόψη ότι θα έχουμε εισροή και από τον Αλφειό ποταμό που σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς είναι $9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ θα έχουμε συνολικές εισροές που θα είναι περίπου $19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Άρα για να δημιουργηθεί η λίμνη που θα είναι συνολικής χωρητικότητας $364 \times 10^6 \text{ m}^3$ χρειάζονται γύρω στα **19 χρόνια**.

3^η Λύση: Εισροή στην λίμνη του 30% της συνολικής ετήσιας παροχής του Αλφειού

Η συνολική απορροή του Αλφειού είναι γύρω στα $210 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Σε αντίστοιχη περίπτωση στην Ισπανία για την δημιουργία της Meirama Pit Lake γίνεται εκτροπή του 31,2% της ετήσιας παροχής του Rio Barces (Delgado J. 2005). Αν γίνει τεχνητή εκτροπή του ποταμού, ώστε να εισχωρεί στην λίμνη το 30% της συνολικής απορροής, τότε η τροφοδοσία από τον Αλφειό θα είναι περίπου $63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Αν υπολογίσουμε και τις απώλειες από το 1^ο ισοζύγιο, τότε θα έχουμε συνολικές εισροές περίπου $60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Επομένως για να γεμίσει η λίμνη απαιτούνται περίπου **6 χρόνια**.

Αν συνδυαστεί με την άντληση κάποιων ποσοτήτων νερού από τον καρστικό υδροφορέα της τάξεως των $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ τότε ο απαιτούμενος χρόνος μειώνεται σε **5 χρόνια** περίπου. Ο χρόνος αυτός συμβαδίζει με την διεθνή πρακτική, που απαιτεί μείωση του χρόνου γεμίματος της λίμνης σε 3-5 χρόνια (Fritz W. Benthous F., 2000), ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες ευστάθειας και να μειωθούν τα προβλήματα ποιότητας νερού.

Αυτά ισχύουν με τις εξής προϋποθέσεις:

- Δεν θα υπάρχουν διαφυγές προς υπόγειους υδροφορείς, που φαίνεται να ισχύει διότι το δάπεδο και τα πρανή αποτελούνται από μαργαϊκά και αργιλικά υλικά που θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατα ($K=10^{-6}-10^{-9} \text{ m/sec}$) (Intergeo, 2000).
- Δεν θα υπάρχουν αντλήσεις από την λίμνη για άλλες χρήσεις (π.χ. εκτεταμένες αρδεύσεις).

7.4 Δυνατότητα διατήρησης της λίμνης

7.4.1 Υδατικό ισοζύγιο

Με βάση το ισοζύγιο που αναλύθηκε προηγουμένως, είναι φανερό ότι από την στιγμή που θα ολοκληρωθεί η πλήρωση της λίμνης, η διοχέτευση του Αλφειού σ' αυτήν θα συμβάλλει στην χωρίς πρόβλημα διατήρησή της.

Ο Αλφειός θα ανανεώνει το νερό της λίμνης και θα την διατηρεί σε σταθερή στάθμη και με ποιότητα πολύ καλή, αντίστοιχη του Αλφειού. Το υδατικό ισοζύγιο του Αλφειού δεν θα επηρεάζεται αφού το νερό θα εισρέει και θα εξέρχεται από την λίμνη, χωρίς να υπάρχουν απώλειες (πέραν της εξάτμισης). Εκτιμάται ότι δεν θα υπάρξει διήθηση προς τα χαμηλότερα στρώματα από τα πρανή και το δάπεδο των ορυχείων διότι αποτελούνται από σχετικά αδιαπέρατα υλικά, όπως ανφέρθηκε. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι δεν έχει διαπιστωθεί κάποια εισροή νερού είτε από τον Αλφειό είτε από τον καρστικό υδροφορέα προς το ορυχείο παρ'όλο ότι υπό σειρά ετών το δάπεδο και οι βαθμίδες εκμετάλλευσης βρίσκονται χαμηλότερα.

Υψόμετρο δαπέδου ορυχείου: ~ +270 m

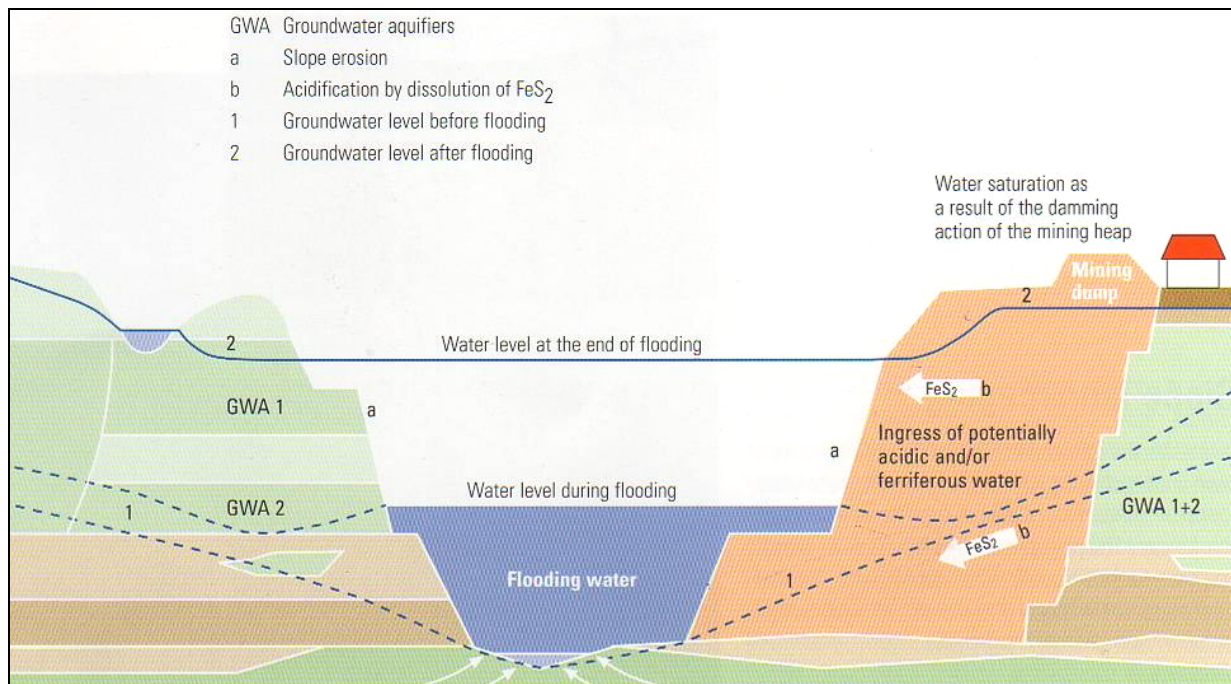
Υψόμετρο καρστικού υδροφορέα: ~ +290 m έως ~ +310 m

Υψόμετρο Αλφειού: ~ +340 m έως ~ +350 m

Αν οι μελλοντικές εργασίες εκμετάλλευσης των ορυχείων, πραγματοποιηθούν εντός του χρονοδιαγράμματος που μας δόθηκε (κεφ.7) τότε η εκμετάλλευση θα ολοκληρωθεί το 2026. οπότε θα μπορεί να αρχίσει η δημιουργία της λίμνης.

7.4.2 Ποιότητα νερών

Κατά την δημιουργία των λιμνών στα κενά των εκμεταλλεύσεων αντιμετωπίζονται διάφορα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα των νερών. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται περιπτώσεις όπου στις λίμνες που δημιουργούνται σε κενά ορυχείων το pH φτάνει το 4,2 στην Ισπανία (Delgado, J.L., 2005) και το 2,5 – 3,5 στην Ανατολική Γερμανία (Wichter L. 2007, εικ.7-1, 7-2). Αυτό οφείλεται στην οξείδωση του FeS_2 που περιέχεται στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μετά την επαφή του με τον ατμοσφαιρικό αέρα, όταν οι σχηματισμοί αυτοί εκσκάπτονται και μεταφέρονται στις αποθέσεις (Σχ. 7-2).



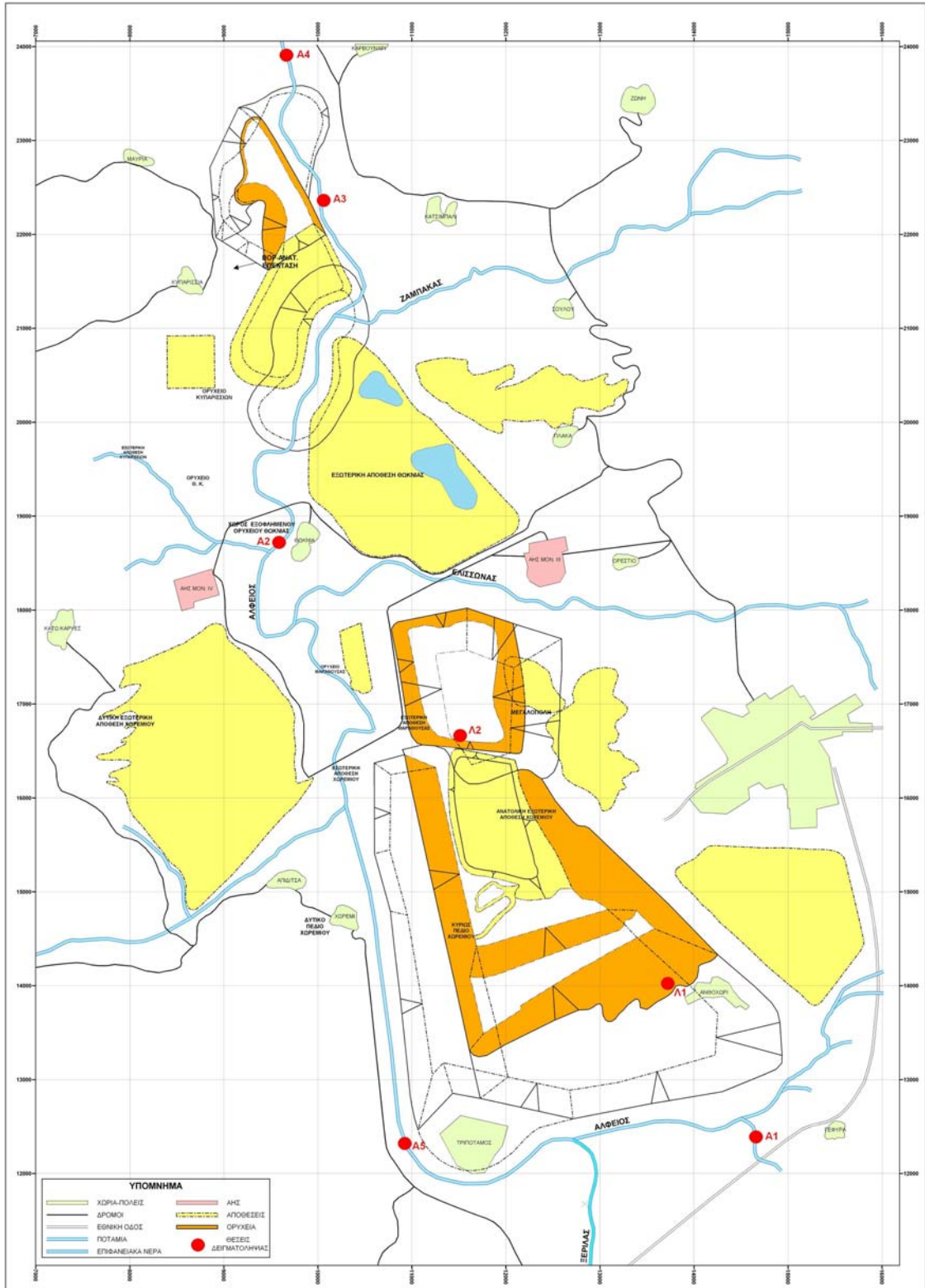
Σχήμα 7-2: Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την διαδικασία δημιουργίας χαμηλού pH στις λίμνες των τελικών κενών των ορυχείων (LMBV, 2004)

Παράλληλα υπάρχει πιθανότητα απόπλυσης επιβλαβών στοιχείων από τα υλικά των αποθέσεων προς την λίμνη μέσω του νερού που θα κατεισδύει από τις βροχοπτώσεις (LMBV 2004, Schultze M. et al. 2009). Επομένως κρίνεται σημαντική η διερεύνηση της ποιότητας

του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία της λίμνης αλλά και η τελική ποιότητα του νερού της λίμνης.

Για τη διερεύνηση της ποιότητας του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία της λίμνης, πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής 7 δειγματοληψίες (σχ. 7-3) και αναλύσεις που έγιναν στα εργαστήρια της ΔΕΗ στο ΚΔΕΠ και στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας-Υδρογεωλογίας της σχολής ΜΜΜ του ΕΜΠ.

Για την ανάλυση του NO_3^- και SO_4^{2-} χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο DR2010 του εργαστηρίου. Η ανάλυση για K^+ και Na^+ έγινε με φλογοφωτόμετρο και η ανάλυση των Cl^- , HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} . Οι μέτρησεις της αγωγιμότητας και του pH και έγιναν με φορητό αγωγιμόμετρο και πεχάμετρο αντίστοιχα.



Σχήμα 7-3: Θέσεις δειγματοληψίας στον Αλφειό ποταμό



Εικόνα 7-1: Προβλήματα ποιότητας νερού από την οξείδωση Fe στο ορυχείο Tagebaus Zwenkau (Sachsen).

Fotograf: Radke, Peter (LMBV) 2008



Εικόνα 7-2: Διασπορά CaCO_3 για την αποκατάσταση του PH στη λίμνη Bernsteinsee του ομόνυμου ορυχείου

Fotograf: Radke, Peter (LMBV) 2009

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δίδονται στον επόμενο πίνακα. Σύμφωνα με αυτά, αλλά και με στοιχεία ερευνών που έχει πραγματοποιήσει η ΔΕΗ, η ποιότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Το pH των δειγμάτων του Αλφειού ποταμού αλλά και των καρστικών υδροφορέων είναι σε γενικές γραμμές πάνω από 7 δηλαδή είναι αλκαλικά νερά, γεγονός που συμβάλλει στην δέσμευση των SO_4^{-2} η παρουσία των οποίων οφείλεται στη σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε S των λιγνιτικών στρωμάτων της περιοχής. Στα ίδια δείγματα η περιεκτικότητα σε SO_4^{-2} είναι μικρότερη από 74 ppm (βλ. Πίνακα 7-1).

Η ποιότητα του νερού από τα δύο επιφανειακά αντλιοστάσια Λ1 και Λ2 μπορεί να θεωρηθεί ενδεικτική της ποιότητας του νερού της λίμνης που θα δημιουργηθεί. Το pH είναι 7,4 και 7,5 αντίστοιχα και δεν φαίνεται να παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα με εξαίρεση το δείγμα από το αντλιοστάσιο Λ2 όπου τα SO_4^{-2} φτάνουν τα 974 ppm (βλ. Πίνακα 7-1). Παρ'όλα αυτά αναμένεται ότι η ποιότητα του νερού της λίμνης θα είναι ουσιαστικά αντίστοιχη με την ποιότητα του νερού του Αλφειού και του καρστικού υδροφορέα, δεδομένου ότι η αραίωση που θα υποστούν τα νερά των αντλιοστασίων θα είναι τεράστια (της τάξεως του 1/100).

Από την έρευνα που έγινε, δεν υπάρχουν όρια ποιότητας για την απόρριψη νερών στον Αλφειό ποταμό. Για σύγκριση όμως αναφέρεται ότι στην Ισπανία επιτρέπεται η απόρριψη νερών από το ορυχείο Meirama με $\text{SO}_4^{-2} < 2000$ ppm (βλ. Πίνακα 7-2, Delgado, J.L., 2005). Η αυξημένη αυτή περιεκτικότητα σε SO_4^{-2} στην περίπτωση των ορυχείων της Μεγαλόπολης, πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι η δειγματοληψία έγινε καλοκαιρινή περίοδο που η εξάτμιση είναι αυξημένη και δεν υπάρχει ανανέωση του νερού των αντλιοστασίων. Αντίστοιχα όπως προκύπτει από το ίδιο άρθρο η περιεκτικότητα και των άλλων στοιχείων βρίσκεται μέσα σε αποδεκτά όρια και επομένως μπορούν να απορριφθούν στον Αλφειό.

Πίνακας 7-1: Αναλύσεις νερού περιοχής Μεγαλόπολης

Αρ. Δειγμ.	A1	A1	A5	A5	BR6	BR7	BR8	Λ1	Λ2
Θέση Δειγμ/ψίας	Αλφειός- Γέφυρα	Αλφειός- Γέφυρα	Αλφειός- Τριπόταμος	Αλφειός- Τριπ/μος	Βόρειος υδρ/ρέας	Βόρειος υδρ/ρέας	Κύριος υδρ/ρεας	Χορέμι PN6	Μαραθούσα αντλιοστάσιο
ΧΕGSA	334918	334918	330928	330928	329982	329982	330309	333420	4137460
ΥΕGSA	4135992	4135992	4136811	4136811	4147961	4147961	4146872	331920	4140820
Ημερ. Δειγμ/ψίας	23/12/05	13/3/06	23/12/05	13/3/06	3/4/04	20/10/05	20/10/05	07/10	07/10
pH	7,8	8,2	8,3	8	8,1	8,1	7,65	7,5	7,4
EC μS/cm	550	460	530	480	538	490	380	2640	535
TDS mg/l	340	260	310	310	330	310	230	2596	561
Alkalinity ppm CaCO3	251	204	184	161		224	175	515	298
Total Hardness ppm CaCO3	325,8	242,6	231,7	249,5		221,8	274,8	1579	284
Carb.Hard ness ppm CaCO3	251	204	184	161	224	175	100		
Non- Carb. Hardness ppm CaCO3	74,8	38,6	47,7	88,5		46,8	50,8		
Ca ppm	112	84,3	6,4	81,8	75	75	82	441	96
Mg ppm	11,2	7,79	16	11		8,39	17	116	11
Na ppm	11,3	8,06	36,5	11,9		8,85	5,85	172	25
K ppm	1	1,13	4,83	1,46		1,33	0,68	6	1
HCO ₃ ppm	306	249	224	196	273	213	125	628	364
CO ₃ ppm		0	0	0		0	0		
SO ₄ ppm	28	22	38	74	17,5	16,1	32,6	974	37
Cl ppm	13,3	10,8	34,6	12,2		8,6	9,4	47	18
NO ₃ ppm	0,35	2,4	7,3	11,4		4,2	2,7	208	10
NO ₂ ppm	<0,5	0,5	0,5	0,5		0,7	0,7		
F ppm	<0,5	0,1	0,5	0,1		0,2	0,2		
PO ₄ ppm	<1	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3		
SiO ₂ ppm	8,62	7,83	0,34	7,4		14,6	10,7		
Fe ppb	<5	5	45,4	62,8	15	5	18		
Mn ppb	8,4	6,4	2	2	<5	22,8	50,6		
As ppb	<0,2	0,2	0,27	0,25	<20	0,2	0,2		
Ni ppb	<10	10	10	10	<10	10	10		
Cd ppb	<2	2	2	2	<2	2	2		

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Cr ppb	<5	5	5	5	<10	5	5		
Pb ppb	<10	10	10	10	<20	10	10		
Cu ppb	<2	5	5	5	10	5	5		
Zn ppb	7,2	2	48,1	2	5,3	2	10,6		
Hg ppb	<0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5		
Al ppb	14,4	20	20	130	23	20	20		
Ba ppb	54,8	35,5	38,6	27,5	21	65,3	30,7		
Se ppb	<0,5	10	10	10		10	10		
Si		3,66	0,16	3,46		3,86	2,82		
Sr ppm		0,28	0,36	0,32		0,34	0,35		
NH4+ ppm									
CN ppb									
Mo ppb	<10	10	10	10	<10	10	11,3		
V ppb	<5	5	5	5		5	5		
BOD5 mg/O2/l									
COD mg/O2/l	<15	16	34	15		15	15		
Co		5	5	5		5	5		
Sb		10	10	10		10	10		
Sn		10	10	10		10	10		
Tl		10	10	10		10	10		
Bi		10	10	10		10	10		
Be		2	2	2		2	2		
B ppb			134			42	23		
DOC ppm		1,96	8,26	7,17		0,73	3,48		

Πίνακας 7-2: Προβλεπόμενη ποιότητα νερού και όρια απόρριψης Meirama pit lake (Delgado, J.L., 2005)

Parámetros	Unidad	Caso medio	Caso peor	Caso mejor	Limite de detección ^a	Parámetros de calidad del agua de vertido
pH	s.u.	6,2	4,2	7,1	-	5.5 to 9.5
Redox	mV	547	620	513	-	-
Alcalinidad	mg/L (CaCO ₃)	2	0	5	-	-
Cloruros	mg/L	48	33	36	-	2000,0
Sulfatos	mg/L	31	98	17	-	2000,0
Calcio	mg/L	15	19	10	-	-
Magnesio	mg/L	6,2	5,0	4,4	-	-
Potasio	mg/L	2,0	26	1,8	-	-
Sodio	mg/L	17	14	14	-	-
Nitratos	mg/L	2,4	0,28	2,8	0,05	-
Aluminio	mg/L	0,020	1,25	0,048	1	1
Arsénico	mg/L	<0,001	0,001	< 0,001	0,004	0,5
Bario	mg/L	0,05	0,02	0,08	1	20,0
Boro	mg/L	0,97	0,97	0,97	1	2,0
Cadmio	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1
Cromo	mg/L	0,19	0,19	0,19	0,2	2,0
Cobalto	mg/L	0,11	0,12	0,11	0,1	-
Cobre	mg/L	0,07	0,10	0,09	0,1	0,2
Hierro	mg/L	0,01	2,6	< 0,01	0,1	2,0
Plomo	mg/L	0,15	0,17	0,17	0,2	0,2
Manganeseo	mg/L	0,38	1,0	0,12	0,05	2,0
Mercurio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,004	0,05
Nikel	mg/L	0,17	0,15	0,21	0,1	2
Uranio	mg/L	0,0002	0,0007	0,0003	-	-
Zinc	mg/L	0,09	0,17	0,06	0,025	3,0

Όπως έχει αναφερθεί για το γέμισμα του κενού που θα απομείνει μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, θα χρησιμοποιηθεί κυρίως το νερό του Αλφειού ποταμού. Οι αναλύσεις από τα σημεία A1 και A5 του Αλφειού, που βρίσκονται πριν από τις εγκαταστάσεις της ΔΕΗ και την πόλη της Μεγαλόπολης, δείχνουν νερό πολύ καλής ποιότητας, η οποία δεν πρόκειται να μεταβληθεί ουσιαστικά από την επαφή του νερού της λίμνης που θα δημιουργηθεί με τα τελικά πρνή του Ορυχείου. Αυτό οφείλεται σε τρεις λόγους:

- Στη συνεχή ανανέωση του νερού της λίμνης από τον Αλφειό.
- Στην αραίωση του νερού των αντλιοστασίων και των υπόγειων νερών από τον τεράστιο όγκο που θα εισρέει από τον Αλφειό.
- Στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν σε μεγάλη περιεκτικότητα ανεπιθύμητες ή ρυπαντικές ουσίες στα λιγνιτικά στρώματα και τα υπερκείμενα άγονα υλικά.

Τέλος οι αναλύσεις του νερού των καρστικών υδροφορέων (από τις υδρογεωτρήσεις BR6 και BR8), που πιθανόν να χρησιμοποιηθούν επίσης για το γέμισμα της λίμνης, δείχνουν νερό πολύ καλής ποιότητας, που είναι κατάλληλο ακόμη και για πόσιμο.

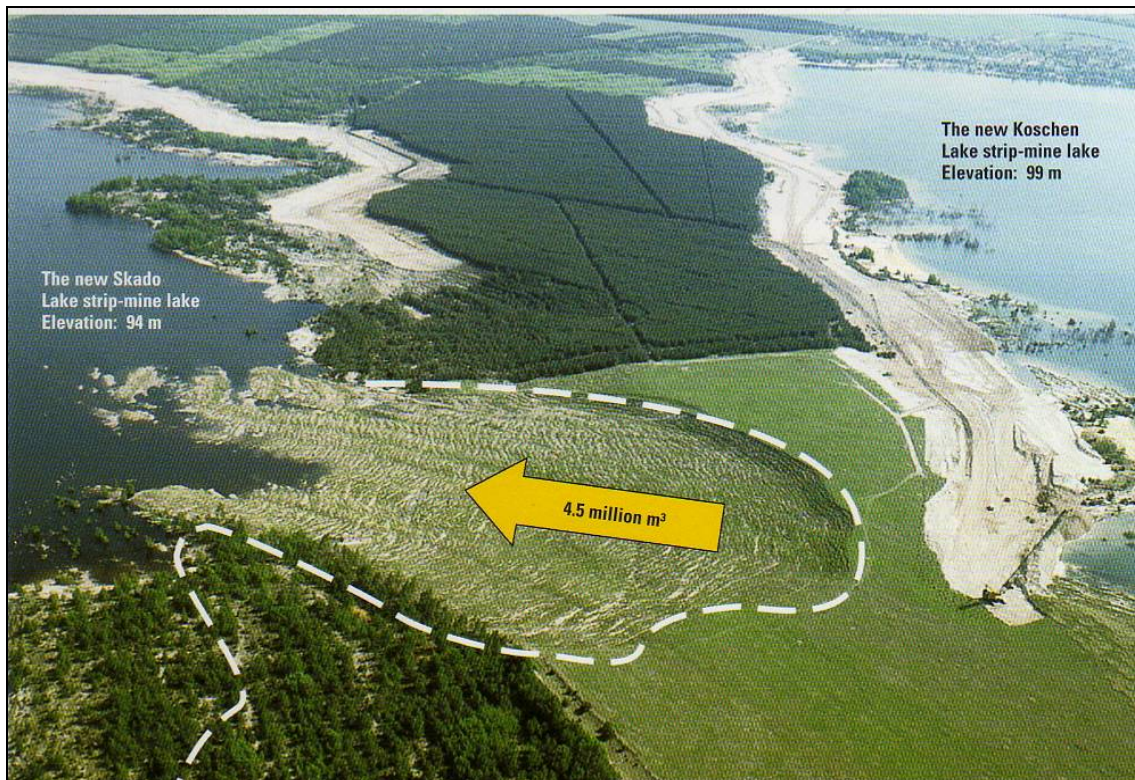
Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ειδικά προβλήματα ποιότητας νερού στις λίμνες που δημιουργούνται στα κενά των εκμεταλλεύσεων λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών (μεγάλο βάθος που φτάνει τα 250 m, σχετικά απότομα πρανή) των λιμνών αυτών. Για το λόγο αυτό απαιτούνται ειδικές λιμνολογικές μελέτες και χρήση ειδικών προγραμμάτων όπως το MELEF, HIDRAFEM, FREECORE και PHREEQC (Padilla F. et al. 2007, Delgado J.L. 2005, Schultze M. 2009) για την πρόβλεψη της ποιότητας του νερού της λίμνης που θα δημιουργηθεί. Κάτι τέτοιο όμως εκφεύγει από τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

7.4.3 Ευστάθεια πρανών

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή τα πρανή πρέπει να μελετηθούν σε σχέση με την μακροχρόνια ευστάθειά τους, η οποία εξαρτάται από το ρυθμό γεμίματος της λίμνης, τον κυματισμό, τη διακύμανση της στάθμης, γεωλογικές συνθήκες κ.α. Στην σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ο συντελεστής ασφάλειας, που λαμβάνεται υπόψη σε αυτές τις περιπτώσεις φθάνει το 1.3-1.5 (ενώ κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης είναι πολύ μικρότερος και φθάνει οριακά το 1).

Για το σχεδιασμό των λιμνών σε δεκάδες επιφανειακά ορυχεία της Κεντρικής και Ανατολικής Γερμανίας τα πρανή εκσκαφής σχεδιάζονται με κλίση 1/3 έως 1/15 και τα πρανή των αποθέσεων με κλίση 1/10 έως 1/30 (LMBV 2004, σελ.7). Για την εξασφάλιση της ευστάθειας των πρανών των αποθέσεων, πέρα από την μείωση της κλίσης, η μόνη δυνατή εναλλακτική λύση θεωρείται η ταχεία πλήρωση των υπό δημιουργία λιμνών με νερό – λαμβάνοντας υπόψιν τα υδατικά αποθέματα της περιοχής. (LMBV 2004, σελ.11). Παρ' όλα αυτά έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις κατολισθήσεων (Εικ. 7-3) παρά τα μέτρα που λαμβάνονται, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι είναι ένα θέμα που απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Άλλωστε όπως έχει αναφερθεί το θέμα της αποκατάστασης των μεταλλευτικών χώρων, μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, άρχισε να απασχολεί ιδιαίτερα τις μεταλλευτικές εταιρίες, την κοινωνία και την επιστημονική κοινότητα τις δύο τελευταίες δεκαετίες.

Η δημιουργία λιμνών μπορεί να απαιτήσει 30-50 χρόνια γεγονός που δυσχεραίνει τις συνθήκες ευστάθειας. Με τη μείωση του χρόνου αυτού σε 5 χρόνια, όπως προβλέπεται στην 3^η λύση, βελτιώνονται οι συνθήκες ευστάθειας (Fritz W. και Benthous 2000, Fritz W., Tropp P., Meltzer A. 2001, Delgado J. L. 2005), αλλά και η ποιότητα του νερού, αφού αποφεύγεται η οξείδωση του S λόγω της μακρόχρονης επαφής με τον ατμοσφαιρικό αέρα. (Fritz W. και Benthous, F., 2000, LMBV 2004).



Εικόνα 7-3: Κατολίσθηση $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ που σημειώθηκε τον Μάιο του 1998 στη λίμνη που σχηματίστηκε στο ορυχείο Skado στην περιοχή Lausitz (LMBV 2004)

Για την μελέτη του θέματος αυτού πραγματοποιήσα διάφορες δοκιμές κατά την διάρκεια του προγράμματος Erasmus στο πανεπιστήμιο Technische Universität Wien, όπου χρησιμοποίησα το λογισμικό CLARA W. Οι δοκιμές αυτές έγιναν θεωρώντας δύο μόνο στρώματα υπερκείμενα και λιγνίτη, προκειμένου να διερευνηθεί σε προκαταρτικό στάδιο ποιά βαθμίδα είχε το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας, ώστε να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό της λίμνης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχοι υπολογισμοί σε συνεργασία με την ΔΕΗ (κ. Βλ. Ανδρέου) με το λογισμικό SLOPE/W. Στις δοκιμές αυτές εξετάστηκε η ευστάθεια των τελικών πρανών της λίμνης σε τέσσερις διαφορετικές συνθήκες: Χωρίς την δημιουργία λίμνης, με την δημιουργία λίμνης όπου το επίπεδο του νερού φτάνει τα 15, 20, 35 και 50 m αντίστοιχα. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν, δόθηκαν από τη ΔΕΗ και αναφέρονται στη συνέχεια:

Υπερκείμενα: Ειδικό βάρος=1,8-2, γωνία τριβής $\varphi=15-30^\circ$ και συνοχή $c=0$ (για λόγους ασφαλείας των υπολογισμών)

Λιγνιτικά στρώματα και ενδιάμεσα: Ειδικό βάρος 1,2-1,3, γωνία τριβής $\varphi=15-25^\circ$ με εξαίρεση δύο στρώματα αργιλικά χαμηλής αντοχής για τα οποία θεωρήθηκε $\varphi=8-9^\circ$ και συνοχή $c=0$.

Αποθέσεις: Ειδικό βάρος 1,5, γωνία τριβής $\varphi=15^\circ$ και συνοχή $c=0$

Πίνακας 7-2: Μηχανικά χαρακτηριστικά σχηματισμών

	Ειδικό βάρος (προέκυψε από δοκιμές) (gr/cm ³)	Γωνία τριβής (φ) (προέκυψε από δοκιμές)	Συνοχή που προέκυψε από δοκιμές (kN/m ²)	Συνοχή που λήφθηκε υπόψη (kN/m ²)
Υπερκείμενα	1,8-2	15 - 30°	0,9-7,5	0
Λιγνιτικά στρώματα	1,2-1,3	15-25°	5-10	0
Ενδιάμεσα *	1,2-1,3	8 - 9°	0,9-2	0
Αποθέσεις	1,5	15	-	0

*Τα ενδιάμεσα στρώματα είναι άγωνα υλικά μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων, τα οποία αποτελούνται κυρίως από αργιλικά και μαργαϊκά υλικά.

Η συνοχή c όπως έχει βρεθεί από εδαφοτεχνικές δοκιμές που έγιναν σε ορισμένες γεωτρήσεις έχει τις εξής τιμές:

Για τα δύο ασθενή αργιλικά στρώματα στα ενδιάμεσα άγωνα υλικά $c=0,9-2$ kN/m². Για τα άλλα στρώματα των υπερκειμένων και ενδιάμεσων (μαργαϊκά, αργιλικά, αργιλοαμμώδη) $c=0,9-7,5$ kN/m² και για τα λιγνιτικά στρώματα $c=5-10$ kN/m². Παρ'όλα αυτά στους υπολογισμούς για λόγους ασφαλείας λαμβάνουμε $c=0$. Αυτό γίνεται διότι:

α) Οι δοκιμές έχουν γίνει σε μικρό αριθμό δειγμάτων, σε γεωτρήσεις που απέχουν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους (π.χ. 500-1000 m) και δεν είναι δυνατόν να είναι αντιπροσωπευτικές για πρηνή μήκους 2-4 Km.

β) Η ελάχιστη τιμή $c=0,9$ kN/m² δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι παρέχει επαρκή ασφάλεια.

γ) Μια πιθανή αστοχία του πρηνούς μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες και τεράστιο κόστος οικονομικό ή σε ανθρώπινες ζωές. Άλλωστε, στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφέρονται περιπτώσεις όπου έχουν συμβεί κατολισθήσεις σε τελικά πρηνή λιμνών, τα οποία ήταν φαινομενικά σταθερά (Fritz W., Benthous F., 2000).

Στο παράρτημα δίνονται ενδεικτικά κάποια διαγράμματα και αντιπροσωπευτικοί υπολογισμοί από αυτούς που πραγματοποιήθηκαν. Από την επεξεργασία που έγινε προκύπτει ότι ο συντελεστής ασφαλείας του πρηνούς βελτιώνεται με την αύξηση του επιπέδου του νερού στην λίμνη από 1,03 σε 1,31 με 15 m νερό, 1,37 με 20 m νερό, 1,64 με 35 m νερό και τελικά σε 2,00 με 50 m νερό (βλ. πίνακα 7-3).

Πίνακας 7-3: Συντελεστής ασφαλείας των πρανών του Ορυχείου Χωρεμίου

	Συντελεστής ασφαλείας
Χωρίς νερό	1,03
Με 15 m νερό	1,31
Με 20 m νερό	1,37
Με 35 m νερό	1,64
Με 50 m νερό	2,00

Σε αντίστοιχα συμπεράσματα έχουν φτάσει και άλλες μελέτες, όπως προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα 7-4:

Πίνακας 7-4: Συντελεστής ασφαλείας των πρανών του Ορυχείου Meirama (Delgado, J.L., 2005)

	Without buttress	With buttress
Final without water	0,9	1,1
Final with 70m water	1,16	1,24
Final with 100m water	1,22	1,31
Final with 150m water	1,36	1,45

Οι λίμνες που προβλέπεται να δημιουργηθούν θα έχουν έκταση που θα φθάνει συνολικά τα 8,7 km². Ο κυματισμός, που θα δημιουργείται, αλλά και η αυξομείωση της στάθμης (υγρή-ξηρά περίοδος), που αναμένεται να είναι της τάξης των 10 m, θα διαβρώνουν τα πρανή.

Τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν για τον περιορισμό της πιθανότητας μετακίνησης μαζών, έχουν να κάνουν με τη μείωση της κλίσης των πρανών κυρίως στη ζώνη που αναμένεται να εισέρχονται και αποσύρονται τα νερά λόγω των εποχικών αυξομειώσεων της στάθμης κάθε λίμνης. Όπως αναφέρθηκε, στις λίμνες που δημιουργούνται στην Κεντρική και Ανατολική Γερμανία τα πρανή εκσκαφής διαμορφώνονται με κλίση 1/3 έως 1/15 και τα πρανή των αποθέσεων με κλίση 1/10 έως 1/30 (LMBV 2004, σελ.7). Η συγκεκριμένη παρέμβαση έχει ως επιπλέον θετικό αντίκτυπο την βελτίωση της πρόσβασης στην λίμνη και την καλύτερη ασφάλεια και εξυπηρέτηση των δραστηριοτήτων αναψυχής που μπορούν να αναπτυχθούν γύρω από αυτή. Σημειώνεται ότι τέτοια φαινόμενα (μετακίνησης μαζών) έχουν ήδη παρατηρηθεί (Fritz W. Benthous F., 2000. LMBV 2004).

Με βάση τα παραπάνω οι κλίσεις των τελικών πρανών στη Μεγαλόπολη σχεδιάζεται να είναι οι ακόλουθες:

Από τη βόρεια, την ανατολική και την δυτική πλευρά όπου το όριο της λίμνης του ορυχείου Μαραθούσας θα σχηματίζεται από τις παραμένουσες βαθμίδες εκμετάλλευσης του ορυχείου, οι κλίσεις θα είναι συνολικά μεγαλύτερες και σε πολλές περιπτώσεις θα ξεπερνούν το 30%, και θα φτάνουν μέχρι το 40%.

Από την νότια πλευρά, όπου η λίμνη θα οριοθετείται από τις αποθέσεις αγόνων υλικών του ορυχείου, οι κλίσεις θα είναι ήπιες, κοντά στο 10% και στη νοτιοδυτική πλευρά της θα συγκοινωνεί με τη λίμνη του ορυχείου του Χωρεμίου.

Σε ότι αφορά τις κλίσεις των πρανών που περιβάλλουν τη λίμνη που θα δημιουργηθεί στην εκσκαφή του ορυχείου Χωρεμίου, ισχύουν τα παρακάτω:

Από την ανατολική και βόρεια πλευρά όπου η λίμνη θα οριοθετείται από τις αποθέσεις αγόνων υλικών του ορυχείου, οι κλίσεις θα είναι ήπιες, κοντά στο 10% και σε ελάχιστες περιπτώσεις θα ξεπερνούν το 15%.

Από τη δυτική και νότια πλευρά όπου το όριο της λίμνης συμπίπτει με το όριο της απαλλοτρίωσης και συνεπώς οι κλίσεις του εδάφους όπως είναι διαμορφωμένες θα είναι μικρότερες από το 15%.

Οι κλίσεις αυτές έρχονται σε συμφωνία με την εμπειρία που υπάρχει σε άλλες χώρες, όπου τα τελικά πρανή των εκμεταλλεύσεων σχεδιάζονται με αντίστοιχες κλίσεις (Fritz W. 2001, LMBV 2004).

Η παραπάνω διερεύνηση αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση στο θέμα της ευστάθειας των πρανών του ορυχείου πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την δημιουργία της λίμνης. Είναι φανερό ότι η πλήρης διερεύνηση του θέματος πρέπει να λάβει υπόψη της ένα πλήθος παραμέτρων, απαιτεί την όρυξη εδαφοτεχνικών γεωτρήσεων, την λήψη δειγμάτων και την εκτέλεση πολυάριθμων εργαστηριακών δοκιμών, πράγμα που εκφεύγει από τους στόχους και τις δυνατότητες μιας διπλωματικής εργασίας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή διερευνώνται ορισμένα θέματα όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, το υδατικό ισοζύγιο, θέματα ποιότητας νερού και θέματα ευστάθειας, τα οποία έχουν σχέση με την δυνατότητα δημιουργίας κατ'αρχήν αλλά και στη συνέχεια διατήρησης της λίμνης, που προβλέπεται να δημιουργηθεί στο κενό που θα απομείνει μετά την λήξη της εκμετάλλευσης στα ορυχεία της Μεγαλόπολης. Από την έρευνα που έγινε προέκυψαν τα παρακάτω:

- 1) Ο όγκος του κενού που θα απομείνει υπολογίστηκε σε $364 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- 2) Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 900 mm και η μέση ετήσια εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια σε 1500 mm. Επομένως δεν είναι δυνατή η δημιουργία λίμνης με φυσικό τρόπο μόνο από τα κατακρημνίσματα.
- 3) Από το υδατικό ισοζύγιο της σχεδιαζόμενης λίμνης προκύπτει ότι το έλλειμμα ανέρχεται σε 3×10^6 νερού ετησίως. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις, με την χρησιμοποίηση νερού του Αλφειού ή του καρστικού υδροφορέα της περιοχής για την πλήρωση της λίμνης.
- 4) Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση του κενού κυμαίνεται από 6 - 41 χρόνια. Η λύση που προτείνεται και που είναι σύμφωνη με την διεθνή πρακτική, προβλέπει την εκτροπή του 30% του Αλφειού και την άντληση $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού από τον καρστικό υδροφορέα ώστε να επιτευχθεί η ταχύτερη πλήρωση της λίμνης.
- 5) Από τις αναλύσεις που έγιναν προκύπτει ότι η ποιότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί είναι πολύ καλή και ότι δεν αναμένονται προβλήματα σε σχέση με την ποιότητα του νερού της τελικής λίμνης.
- 6) Σε σχέση με την ευστάθεια των πρανών της λίμνης προκύπτει ότι κατ'αρχήν αυτή βελτιώνεται με την ταχεία πλήρωση της λίμνης. Παράλληλα απαιτείται μείωση της κλίσης των πρανών.

Επισημαίνεται ότι η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην αρχική διερεύνηση των παραπάνω θεμάτων. Η πλήρης μελέτη των θεμάτων αυτών απαιτεί την διεπιστημονική συνεργασία πολλών ειδικοτήτων όπως Μηχανικών Μεταλλείων, Περιβαντολόγων, Λιμνολόγων, Υδρογεωλόγων, Εδαφοτεχνικών, Αρχιτεκτόνων τοπίου, Οικονομολόγων κλπ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahlheim M., Fror O., Lehr U., Wagenhails G., Wolf U. “Contingent Valuation of Mining Land Reclamation in East Germany“. Universitat Hohenheim, Stuttgart, Nr. 245/2004.

Burdon D. J. : “Hydrogeology of some karstic areas of Greece”, Proceedings Symposium. Hydrogeology of fractured rocks, 1965 Dubrovnik, A.I.H.S-UNESCO, Paris.

Delgado Juan Luis: “Rehabilitation of Meirama Pit Lake”, 9th INTERNATIONAL MINE WATER CONGRESS, Oviedo, Spain, 2005.

Delgado J, Juncosa R., Vazquez A., Padilla F., Vellando P., Hernandez H. And Fernandez – Bogo S. “Water quality assessment in the restoration of the Meirama open pit mine, NW Spain. Part I. Hydrochemistry”. 1st WSEAS International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG’ 08) Malta, September 11-13, 2008.

Δημητρακόπουλος Δ. : «Αναθεώρηση μελέτης προστασίας ορυχείου Κυπαρισσίων Μεγαλόπολης από τα υπόγεια νερά», ΔΕΗ, 1993.

Δημητρακόπουλος Δ, Κουμαντάκης Ι., «Δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων στην επιφάνεια από ενεργοποίηση καλυμμένου καρστ λόγω μεγάλης πτώσης στάθμης, οφειλόμενης σε υπεραντλήσεις για προστασία ορυχείου και ξηρασία», #ο υδρογεωλογικό συνέδριο Ηράκλειο, 1995.

Dimitrakopoulos D., Voigt R. : “Postmining water management problems in the Ptolemais Amynteon lignite district, Macedonia”, Greece. Geocongress Grundwasser und Rohstoffgewinnung, Koln, 1996

Δημητρούκας Ν. « Εξέλιξη υδροδυναμικού καθεστώτος υπογείων νερών λιγνιτικού πεδίου Κυπαρισσίων Μεγαλόπολης, υπό συνθήκες υπεραντλήσεων 40 ετών» Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ 2003.

ΔΟΥΤΣΟΣ Θ. : «Γεωλογία Ελλάδας», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1994.

Fritz W. and Benthous F.– C., “ Application of New Techniques to Create Post Mining Landacape Suitable for Future Generations”, BRAUNKOHLÉ Surface Mining, 52 (2000) Nr. 3 Mai/juni.

Fritz W., Tropp P. and Meltzer A., “ A Remediation and Reclamation Strategy for Disused Brown Coal Minew in the Geiseltal Area”, Surface Mining, Braukohle & Other Minerals 53 (2001) No. 2 April/june.

Goergen H.: “Extension of Megalopolis lignite mines for stream electric unit IV. final study”, Vol I-VIII, 1978.

Gold O.: “Report on Megalopolis”, Volume I-III, VII-VIII, 1961-63.

ΓΓΜΕ: « Γεωλογικός χάρτης Φύλλο Μεγαλόπολης 1:25.000», Αθήνα 1998.

INTERGEO: «Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων και επιφανειακών νερών στο χώρο απόθεσης της τέφρας και των προϊόντων αποθείωσης, στο ορυχείο Θωκνίας» Μελέτη για τη ΔΕΗ, Θεσ/νίκη 2000.

ΚΑΣΣΙΟΣ Ν. «Ειδική μελέτη οργάνωσης τεχνητού υγροτόπου Αγ. Γεωργίου Μεγαλόπολης» Μελέτη για τη ΔΕΗ, Αθήνα (1995).

ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ Ι. : «Τεκτονική Γεωλογία», Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα 1998.

ΛΕΟΝΤΙΔΗΣ Μ. , ΡΟΥΜΠΟΣ Χ : «Εκατό χρόνια λιγνίτης», ΔΕΗ, 2004.

ΛΙΑΚΟΥΡΑ Α., ΤΕΡΖΟΠΟΥΛΟΥ Ε. : «Περιβαλλοντική και υδρογεωλογική μελέτη πεδίου Κυπαρισσίων. Διπλωματική εργασία ΕΜΠ» (1991).

Lattman and Parigek : «Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks” J. of Hydrol., 1966.

Lausitz and Central-German Mining Administration Company (LMBV). [http:// www.lmbv.de/](http://www.lmbv.de/).

Lausitz and Central-German Mining Administration Company (LMBV). : “After the coal comes the water”, Berlin, 2004.

Logters C. and Mayers E. – Beecks, “ The Social Compatibility of Resettlement Schemes in the Rhenish Lignite Mining Area in a Setting of Social Change”, Braunkohle & Other Minerals 52 (2001) No. 4 July/August.

Merkel B., Dietrich P., Struckmeir W., Lohnert E. (Hrsg.) : «Grundwasser und Rohstoffgewinnung», Koln 1996.

Oster A. and Eyll M. – Vetter, Germany: “Landfilling Technique and Management in the Rhenish Mining Area”, Surface Mining, Braunkohle & Other Minerals, 53 (2001) No. 2 April/June.

Παπαγεωργίου Ν. «Υδρογεωλογική μελέτη Ορυχείου Κυπαρισσίων Μεγαλόπολης και μελέτη ευστάθειας ανατολικών πρηνών ορυχείου Χωρεμίου» Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 1994.

Pendas F. “ Consequences of pumping cessation at Reocin mine, Cantabria (Spain)”, IMWA Symposium, Spain 2007.

Padilla F., Vellando P., Delgado J. L., Juncosa R., Fernandez J: « Surfacer and ground water flow modelling in the restoration of the Meirama open pit mine: IMWA Symposium, Spain 2007.

Schultze M., Geller W., Potthoff K., Benthaus F., “Management of water quality in German pit lakes”. 10th ISCSM, Freiberg, 2010.

Τσιφτσής Ε.: Γεωτεκτονικός – Υδρογεωλογικός χάρτης Δημητσάνας – Μεγαλόπολης, 1:25.000, έκδοση ΙΓΜΕ, 1986.

Wichter L. : “ Stabilisation of old lignite pit dumps in Eastern Germany” . Bulletin of Eng Geol Environ 66/2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

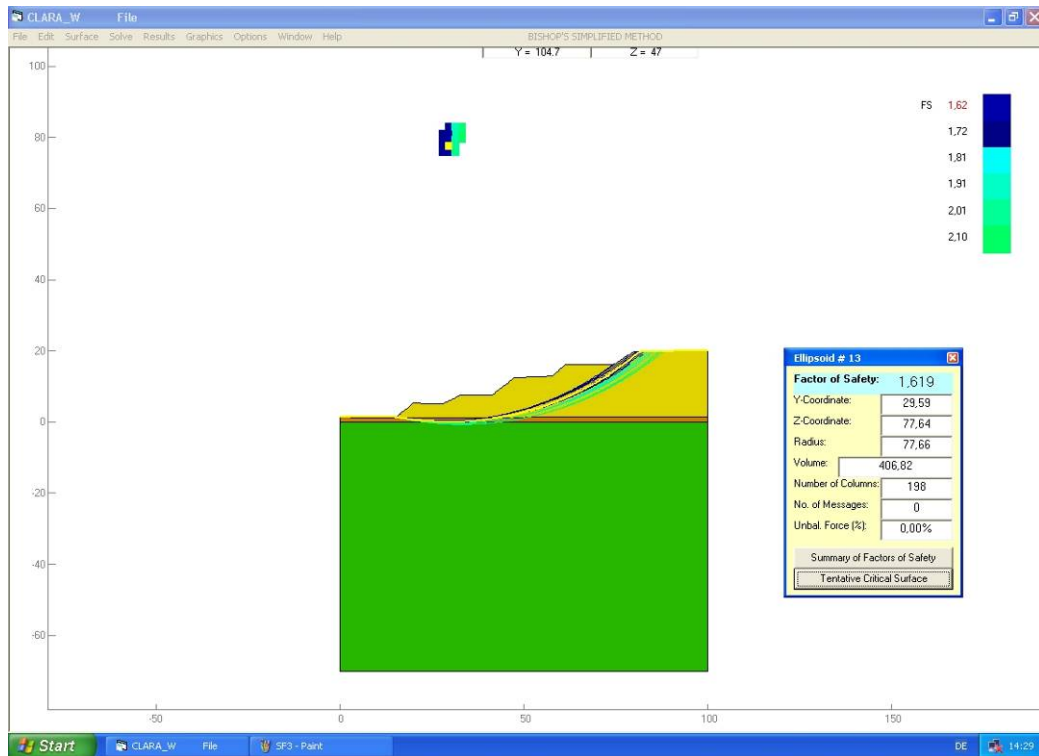
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

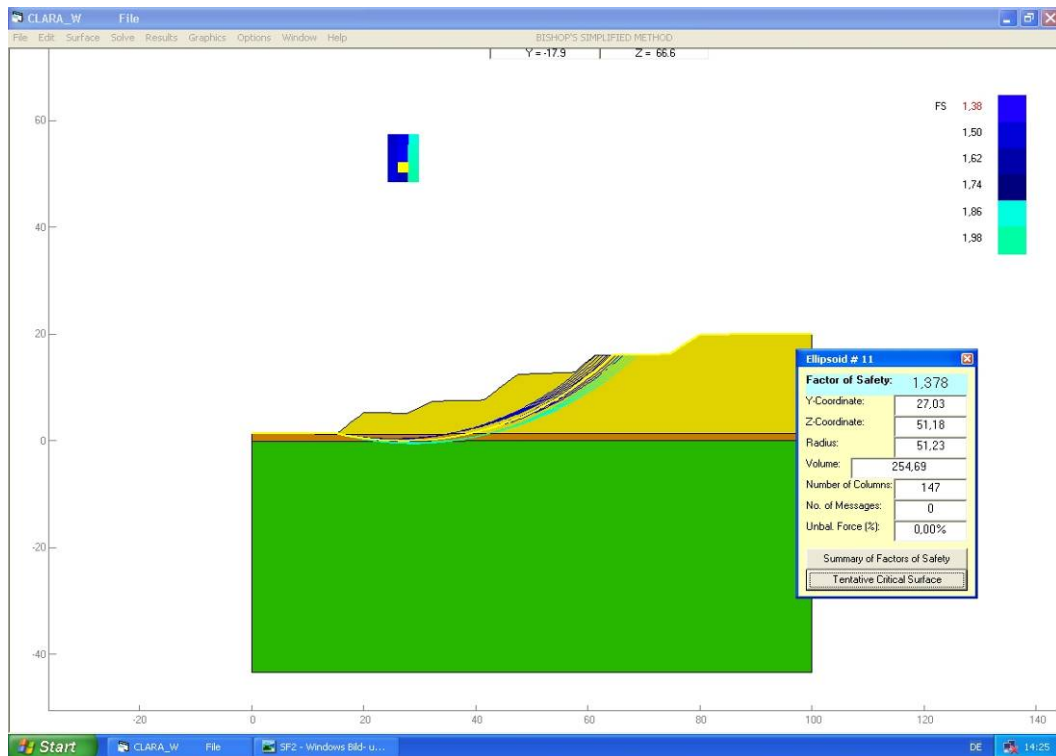
ΧΑΡΤΕΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

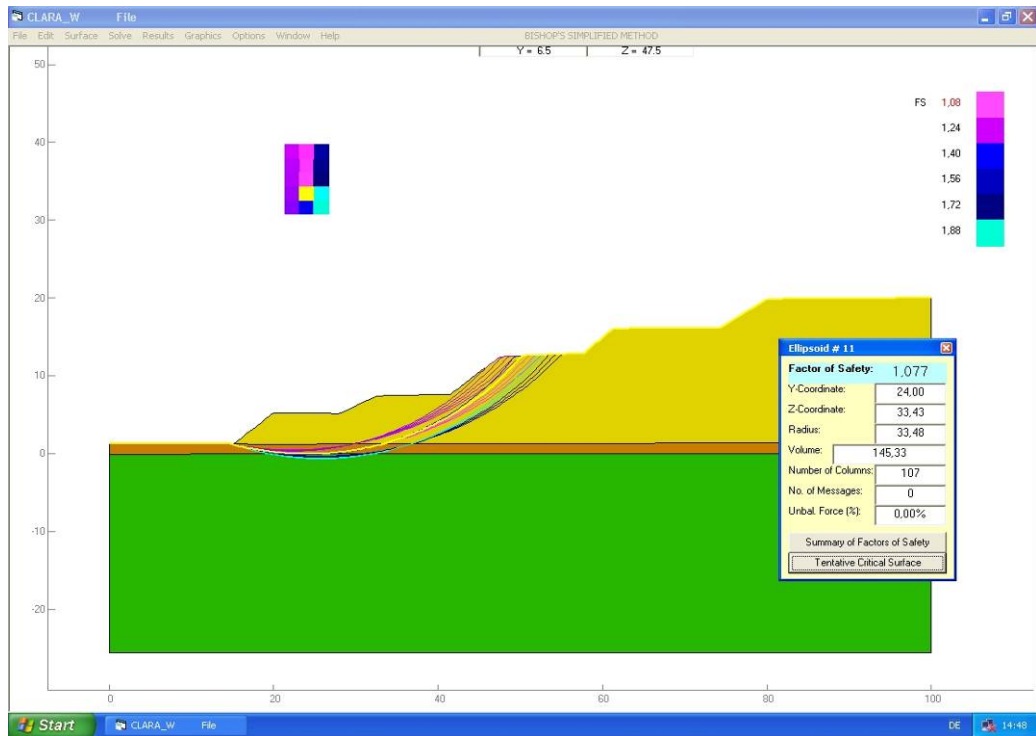
Σχήμα 1: Εκτίμηση ευστάθειας πρανών θεωρώντας δύο μόνο στρώματα. Ευσταθές πρανές. ..	1
Σχήμα 2: Ευσταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,378$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).	1
Σχήμα 3: Ασταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,077$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).	2
Σχήμα 4: Ευσταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,847$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).	2
Σχήμα 5: Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού $H=0$ m.	3
Σχήμα 1: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού $H=20$ m.	4
Σχήμα 7: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού $H=35$ m.	5
Σχήμα 8: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού $H=50$ m.	6
Εικόνα 9: Άποψη της λίμνης που έχει σχηματιστεί στο δάπεδο του ορυχείου Κυπαρισσίων. ..	7
Εικόνα 10: Εσωτερική απόθεση ορυχείου Χωρεμίου.	7
Εικόνα 11: Ορυχείο Μαραθούσας.	8
Εικόνα 12: Αντλιοστάσιο στο ορυχείο Χωρεμίου.	8
Εικόνα 13: Δειγματοληψία από το αντλιοστάσιο στο ορυχείο Χωρεμίου.	9
Εικόνα 14: Δειγματοληψία από το αντλιοστάσιο στο ορυχείο Μαραθούσας.	9
Εικόνα 15: Πιεζόμετρο στο ορυχείο Θωκνίας.	10
Εικόνα 16: Υδρογεώτρηση BR6 στον κύριο καρστικό υδροφορέα.	10
Εικόνα 17: Υδρογεώτρηση K1 στον κύριο καρστικό υδροφορέα.	11
Εικόνα 18: Υδρογεώτρηση K1 στον κύριο καρστικό υδροφορέα.	11
Εικόνα 19: Μη αποκατεστημένο Ορυχείο κοντά στο χωριό Arboleda.	12
Εικόνα 40: Η λίμνη El Ostion o Las Carmenes που έχει σχηματιστεί στο κενό του ομώνυμου Ορυχείου δίπλα από το χωριό Arboleda.	12
Σχήμα 9: Διάγραμμα μέσης μεταβολής στάθμης 2 καρστικών υδροφορέων (Βόρειου: Br6, Br7 και Κύριου: Br1-Br5, Br8A, Br9D) ορυχείου Κυπαρισσίων (1975-2003). Πηγή: Δημητρούκας Ν. 2003.	13
Χάρτης1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής Ορυχείων Μεγαλόπολης	
Χάρτης2: Πιεζομετρικός χάρτης 3/2003 και θέσεις γεωτρήσεων περιοχής Μεγαλόπολης	



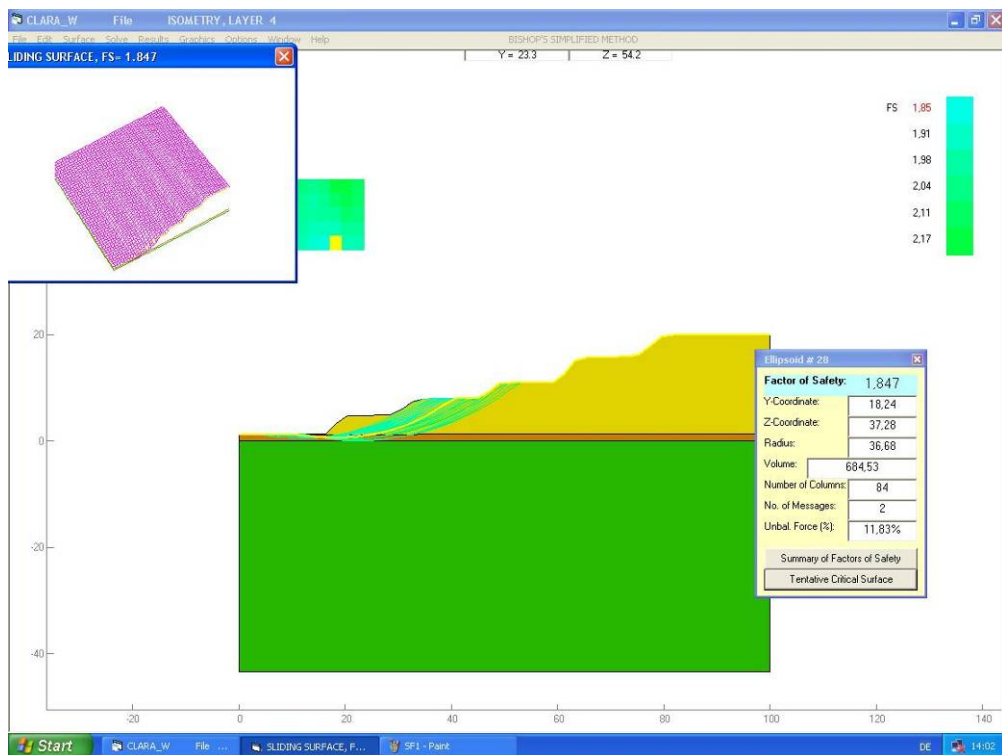
Σχήμα 2: Εκτίμηση ευστάθειας πρανών θεωρώντας δύο μόνο στρώματα. Ευσταθές πρανές. Υπερκείμενα και λιγνίτη. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,619$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).



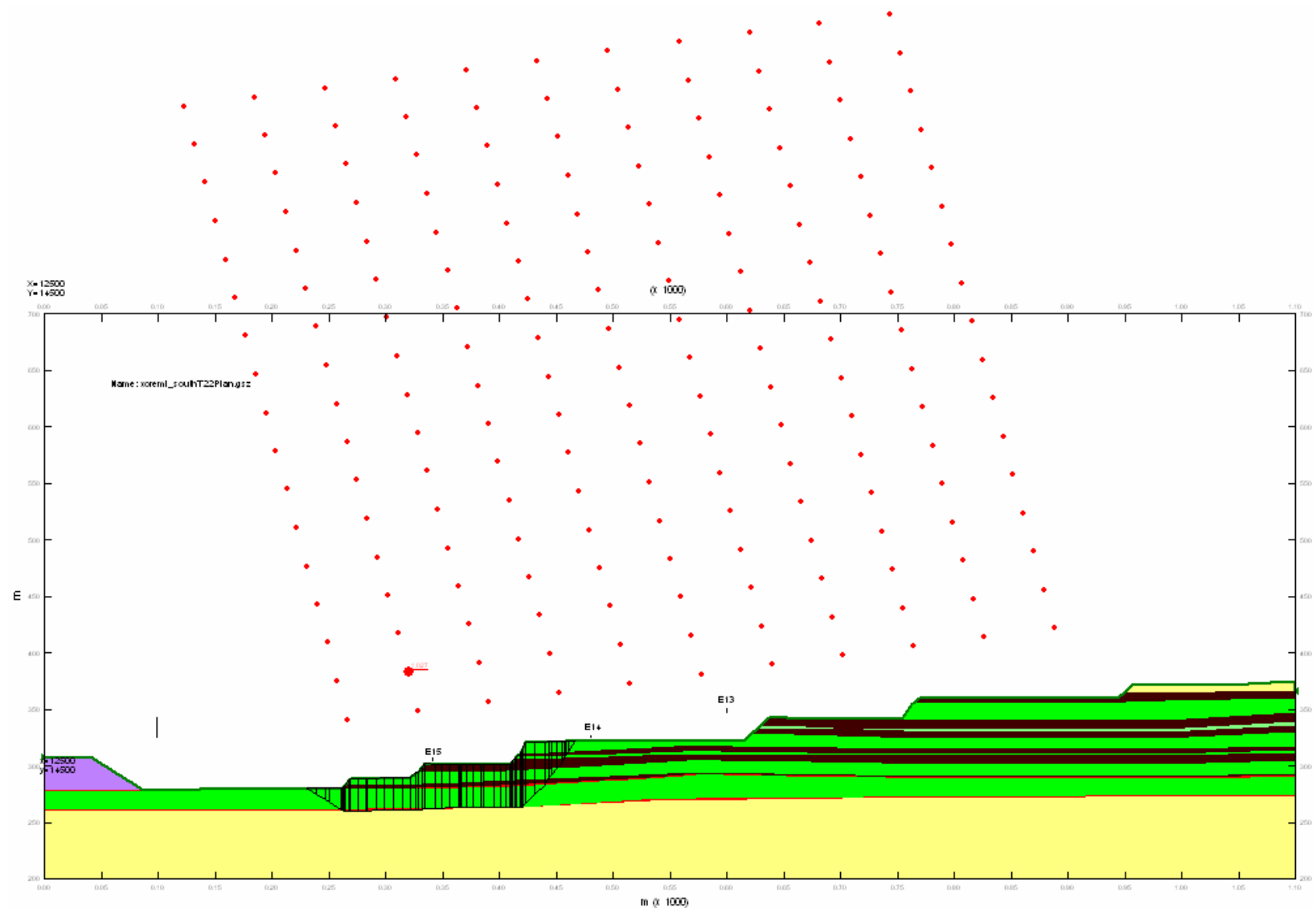
Σχήμα 3: Ευσταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,378$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).



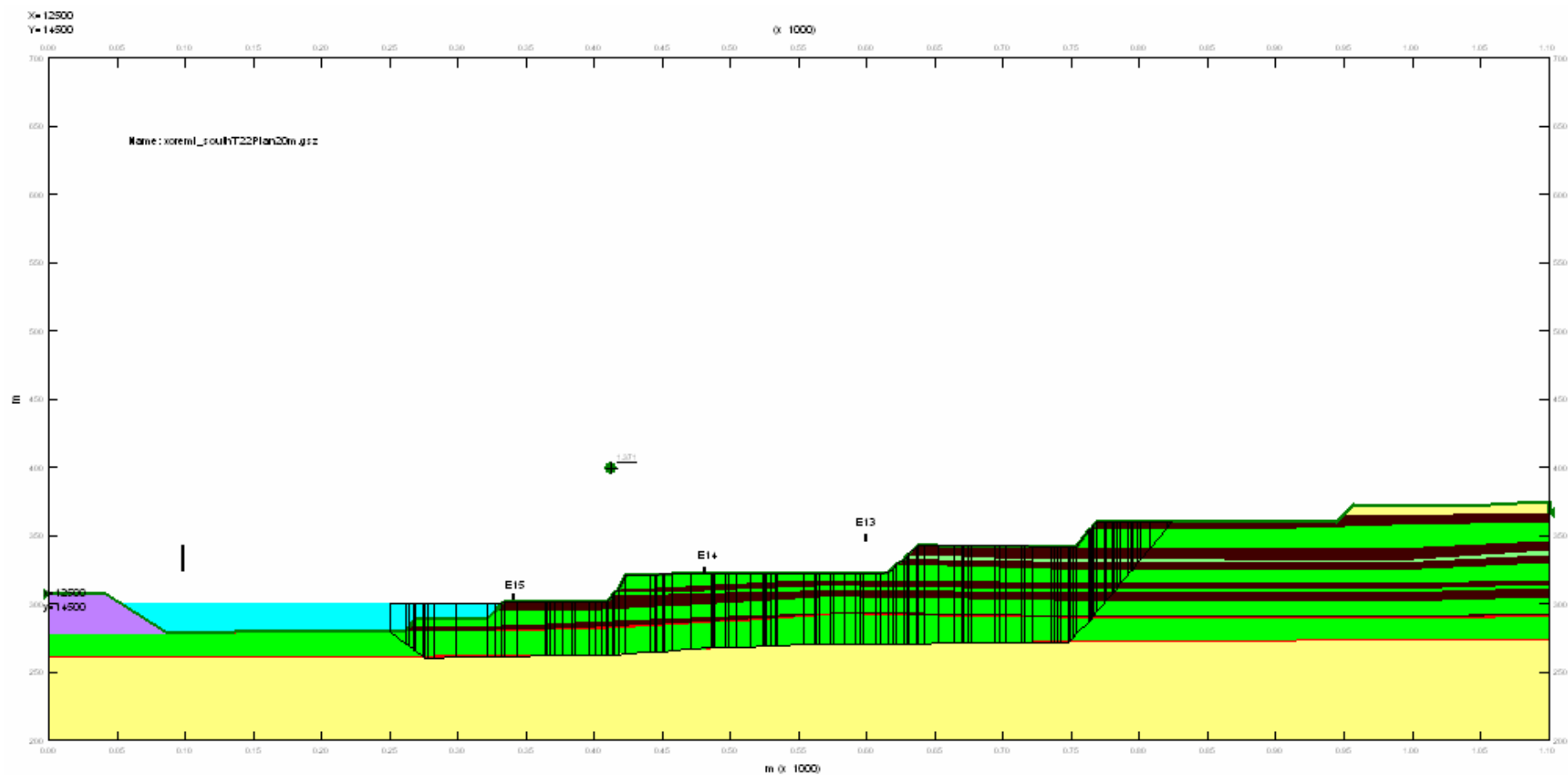
Σχήμα 4: Ασταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,077$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).



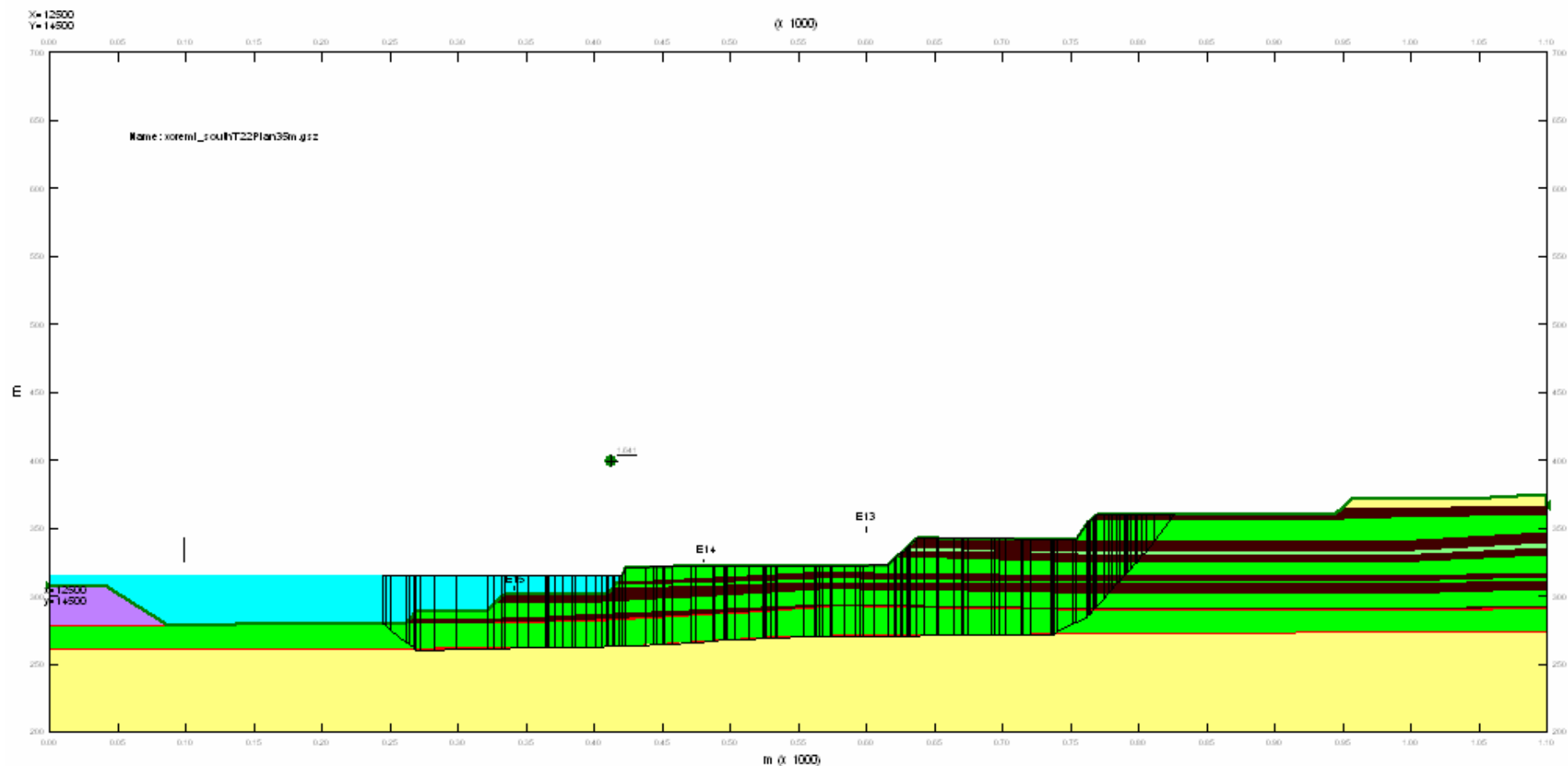
Σχήμα 5: Ευσταθές πρανές. Συντελεστής ασφαλείας $C=1,847$. (Επεξεργασία με το λογισμικό CLARA/W).



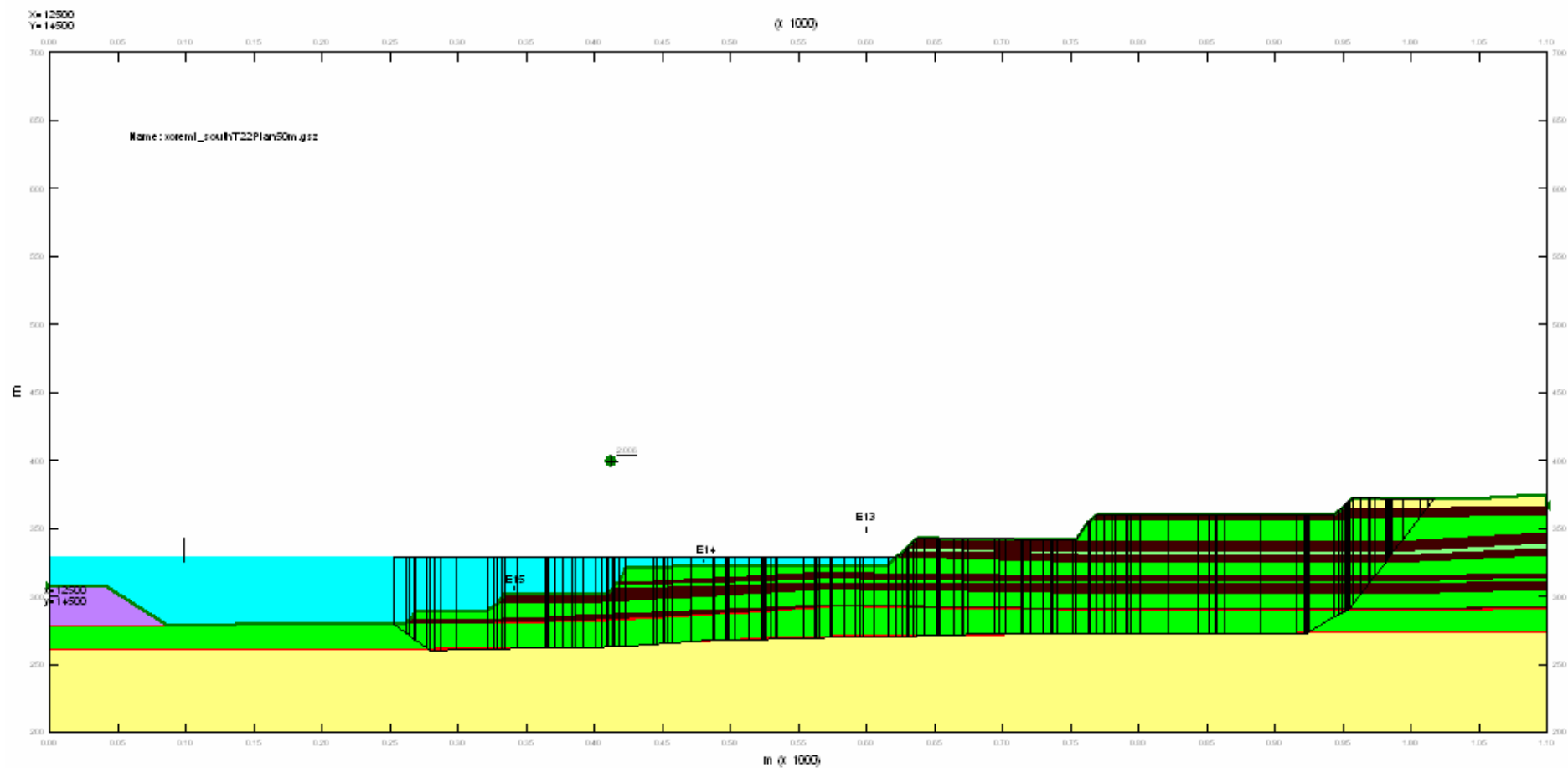
Σχήμα 6: Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού H=0 m.
Χωρίς δημιουργία λίμνης. Συντελεστής ασφαλείας 1,027. Ορυχείο Χωρεμίου. (Επεξεργασία με το λογισμικό SLOPE/W).



Σχήμα 7: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού H=20 m. Βάθος λίμνης 20 m Συντελεστής ασφαλείας 1,3. (Επεξεργασία με το λογισμικό SLOPE /W).



Σχήμα 7: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού H=35 m. Βάθος λίμνης 35 m Συντελεστής ασφαλείας 1,6. (Επεξεργασία με το λογισμικό SLOPE 1W).



Σχήμα 8: Ορυχείο Χωρεμίου. Υπολογισμός ευστάθειας πρανών. Ύψος νερού H=50 m. Βάθος λίμνης 50 m Συντελεστής ασφαλείας 2,0. (Επεξεργασία με το λογισμικό SLOPE 1W).



Εικόνα 8: Άποψη της λίμνης που έχει σχηματιστεί στο δάπεδο του ορυχείου Κυπαρισίων.



Εικόνα 9: Εσωτερική απόθεση ορυχείου Χωρεμίου.



Εικόνα 10: Ορυχείο Μαραθούσας
Διακρίνεται στο βάθος το αντλιοστάσιο.



Εικόνα 11: Αντλιοστάσιο στο ορυχείο Χωρεμίου



Εικόνα 12: Δειγματοληψία από το αντλιοστάσιο στο ορυχείο Χωρεμίου.



Εικόνα 13: Δειγματοληψία από το αντλιοστάσιο στο ορυχείο Μαραθούσας.



Εικόνα 14: Πιεζόμετρο στο ορυχείο Θωκνίας.



Εικόνα 15: Υδρογείωση BR6 στον κύριο καρστικό υδροφόρα.



Εικόνα 16: Υδρογέωτρηση Κ1 στον κύριο καρστικό υδροφόρα.



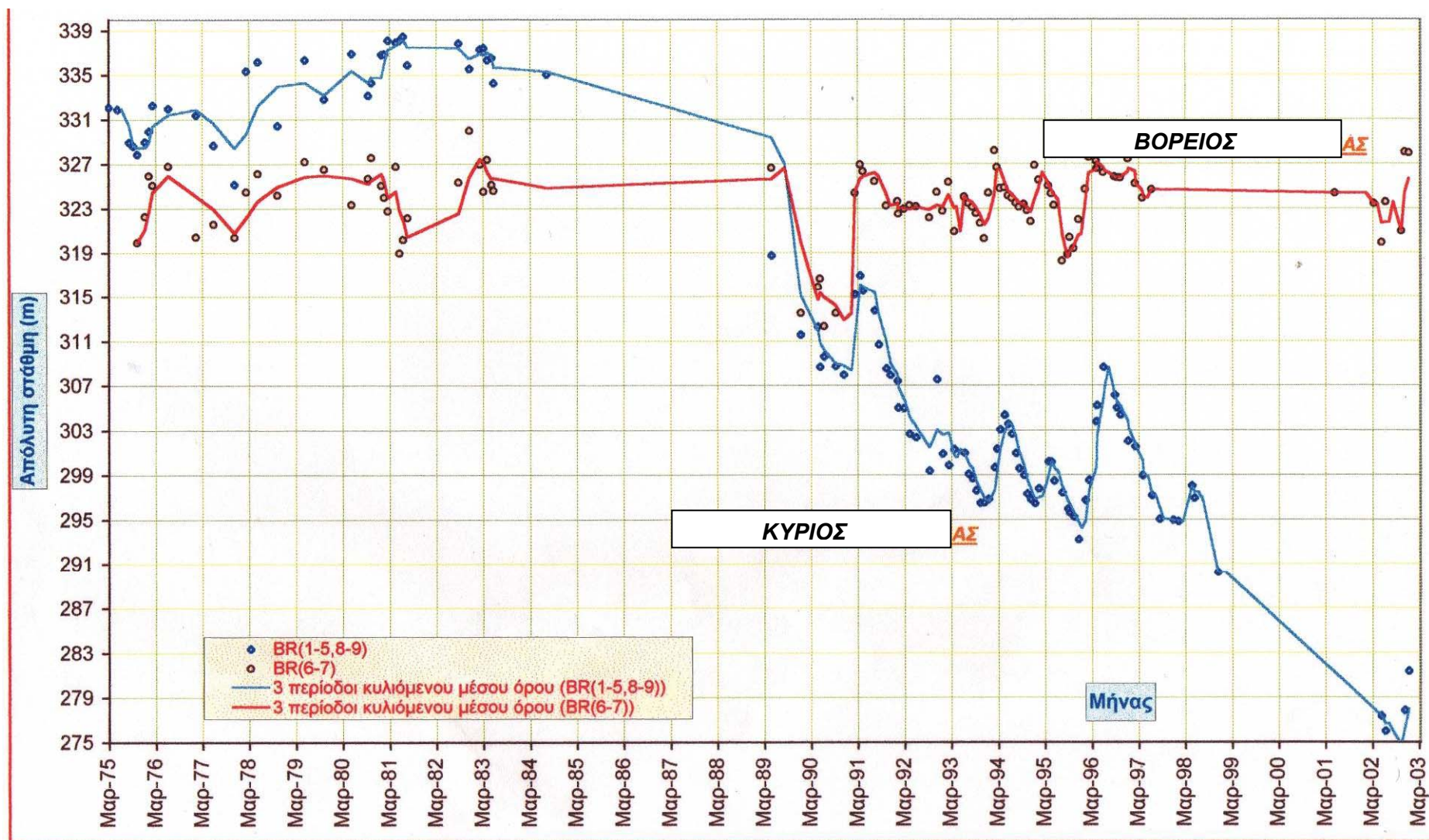
Εικόνα 17: Υδρογέωτρηση Κ1 στον κύριο καρστικό υδροφόρα.



Εικόνα 19: Μη αποκατεστημένο μεταλλείο σιδήρου κοντά στο χωριό Gallarta.

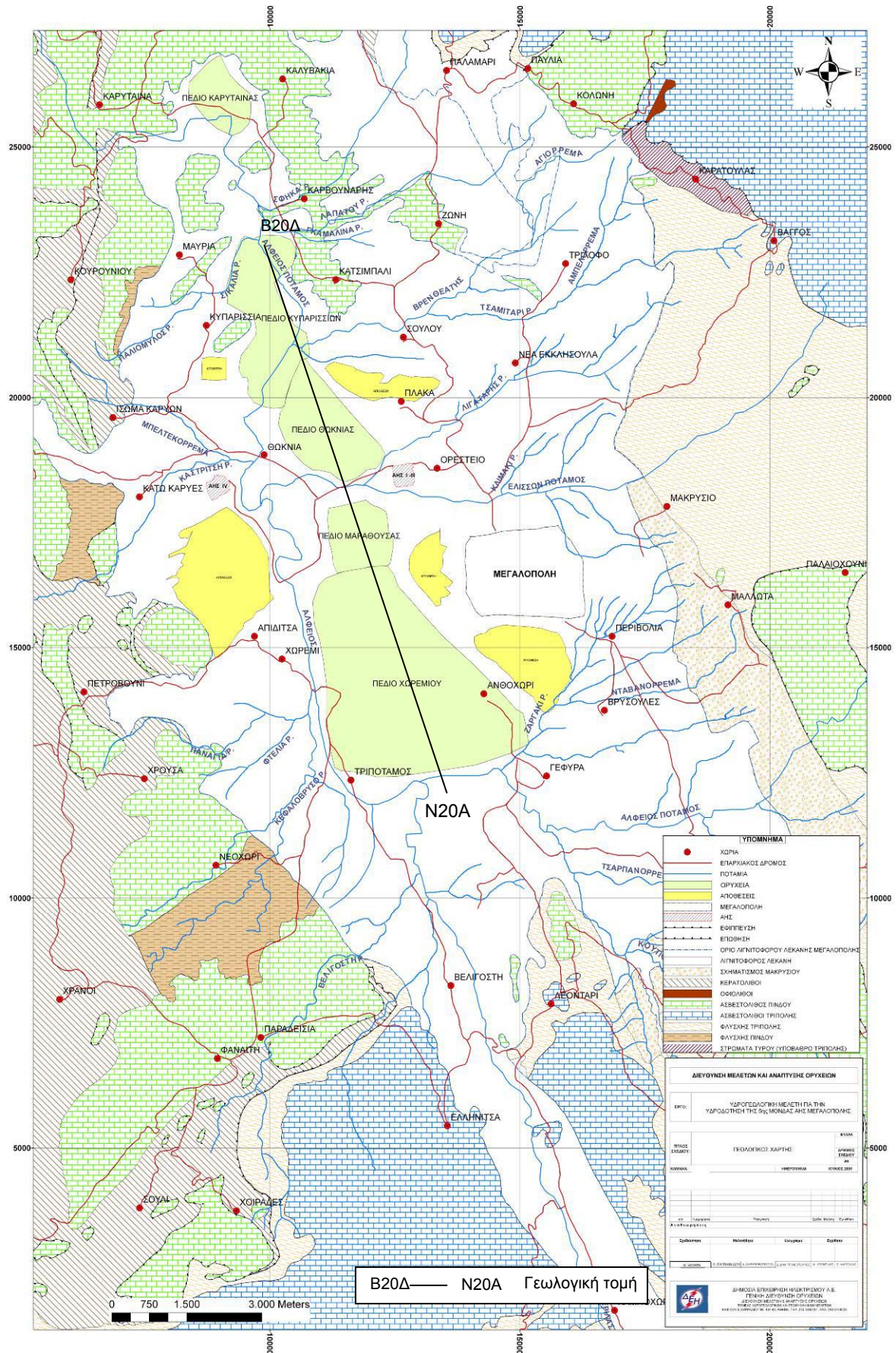


Εικόνα 50: Η λίμνη El Ostion o Las Carmenes που έχει σχηματιστεί στο κενό του ομώνυμου Ορυχείου δίπλα από το χωριό Arboleda.



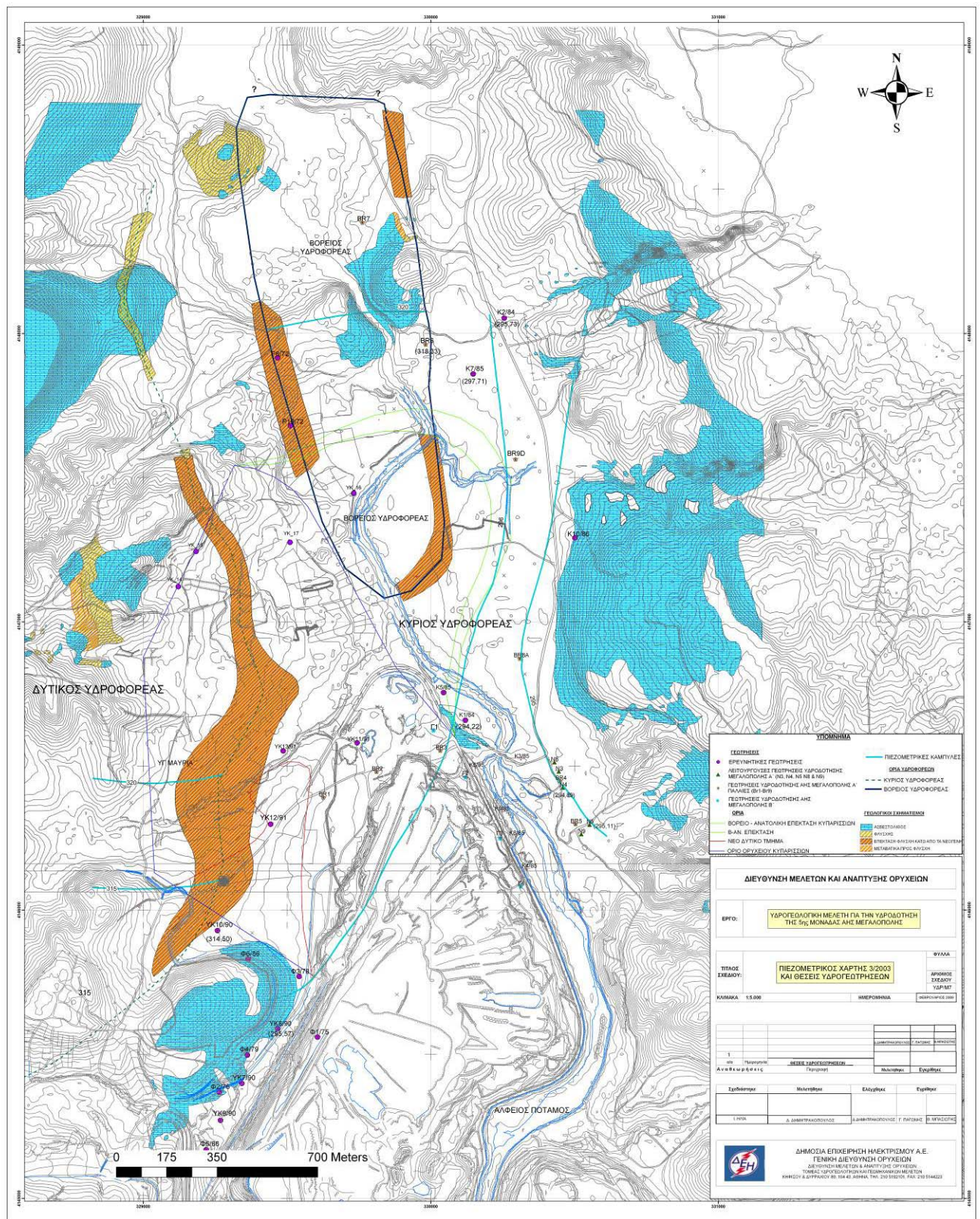
Σχήμα 9: Διάγραμμα μέσης μεταβολής στάθμης 2 καρστικών υδροφορέων (Βόρειου:Br6, Br7 και Κύριου:Br1-Br5, Br8A, Br9D) ορυχείου Κυπαρισσίων (1975-2003). Πηγή: Δημητρούκας Ν. 2003

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ



Χάρτης 1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης περιοχής Ορυχείων Μεγαλόπολης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ



Χάρτης 2: Πιεζομετρικός χάρτης 3/2003 και θέσεις γεωτρήσεων περιοχής Μεγαλόπολης