

**ΕΡΕΥΝΑ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ.
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Β. Καρακίτσιος*, Σ. Εκουνάκης* και Λ. Γεωργαλάς**

ΣΥΝΟΨΗ

Η μελέτη (λιθοστρωματογραφική, διαγραφίες) της Γεώτρησης, η οποία έγινε για τη διερεύνηση της δυνατότητας διάθεσης των βιολογικά καθαρισμένων λυμάτων των Ιωαννίνων, δείχνει ότι ο υπό διερεύνηση ορίζοντας διάθεσης (αποδέκτης), σε βάθος μεταξύ 1000 και 1500 m, περιλαμβάνει σχηματισμούς καλού πορώδους και διαπερατότητας, αποτελεί δε ο ίδιος αρτεσιανό ορίζοντα, υδρογεωλογικά απομονωμένο από τους ανώτερους υδροφορείς της λεκάνης. Δοκιμές εισπίεσης και μετρήσεις στους υπό διερεύνηση σχηματισμούς δείχνουν ότι αυτοί πληρούν τους κανονισμούς των Διεθνών και Ελληνικών φορέων προστασίας περιβάλλοντος, για τη χρήση τους ως αποδέκτη της εκροής της ΜΒΚ Ιωαννίνων. Τα αποτελέσματα των δοκιμών σε συνδυασμό με τη φύση της καρστικής λεκάνης Ιωαννίνων, υποδεικνύουν την εκ περιτροπής αξιοποίηση της γεώτρησης, τόσο ως αποδέκτη της εκροής της ΜΒΚ, όσο και ως ορίζοντα αρτεσιανής εκροής για άρδευση και διασπορά των ρύπων της επιφανειακής ροής των επεξεργασμένων λυμάτων προς την φυσική έξοδο της λεκάνης Ιωαννίνων. Η γεώτρηση διέτρησε έναν άλλο αρτεσιανό υδροφόρο ορίζοντα, υδρογεωλογικά απομονωμένο από αδιαπέρατους σχηματισμούς μεταξύ 480 και 610 m, ο οποίος πρέπει να μελετηθεί και αξιοποιηθεί. Για τη χρησιμοποίηση της Γεώτρησης είναι επιβεβλημένη, η συνεκτίμηση όλων των παραπάνω στοιχείων. Η εγκατάσταση μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας πριν από την εισπίεση των ρευστών στην γεώτρηση ή την επιφανειακή τους ροή στην λεκάνη και την έξοδό τους στον Καλαμά, αποτελεί την ασφαλέστερη λύση.

ABSTRACT

The study (lithostratigraphy, loggings) of the exploratory borehole of Ioannina, shows that the formations found at a depth of 1000 m up to 1500 m are consisted of rocks with good porosity and permeability, which constitute a confined aquifer isolated from the upper aquifers of the basin. In order to investigate the ability to safely inject the treated municipal wastewaters of Ioannina, injections tests and measurements in these rocks have been carried out and showed that their characteristics are in accordance with the principal regulations of the Greek and international environmental protection agencies. The injection tests in combination with the nature of the karstic basin of Ioannina suggest the use of these rocks found at a depth of 1000 m up to 1500 m as a reservoir for the treated municipal wastewater of Ioannina or as an artesian aquifer for irrigation and dispersion of the pollutants of the treated municipal wastewaters. The borehole penetrated another artesian aquifer, interbedded between impervious formations at depth 480 - 610 m,

* University of Athens, Panepistimioupoli, 15784 ATHENS, Greece.

** GEMEE AE, Amerikis 13, 10672 ATHENS, Greece.

which must be studied and explored. In order to decide the use of the borehole, all the above-mentioned data must be taken into consideration. However, the installation of a third degree treatment of the municipal wastewaters, before their subsurface injection or their superficial flow towards Kalamas river, is necessary.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην πόλη των Ιωαννίνων τέθηκε πρόσφατα σε λειτουργία σύγχρονη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού (MBK) των αστικών λυμάτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, δυναμικότητας 1000m³/h. Πριν την λειτουργία της MBK τα λύματα της περιοχής Ιωαννίνων διετίθεντο υπόγεια είτε μέσω των σηπτικών βόθρων είτε με την συλλογή τους με βυτιοφόρα από τους στεγανούς βόθρους και απόρριψή τους στη χαβούζα της Δουρούτης (περίπου 5 km ΝΝΔ των Ιωαννίνων) είτε ακόμη με παράνομες συνδέσεις των βόθρων με το δίκτυο ομβρίων. Σαν συνέπεια των παραπάνω τελικός αποδέκτης των λυμάτων ήταν η λίμνη Παμβώτιδα και μέσω αυτής ο ποταμός Καλαμάς, ο οποίος αποτελεί και τη φυσική οδό αποστραγγίσεως της περιοχής. Επομένως η λεκάνη Ιωαννίνων και ο Καλαμάς πριν τη λειτουργία της MBK ήταν οι αφανείς αποδέκτες των ακατέργαστων λυμάτων των Ιωαννίνων ενώ μόνες εμφανείς επιπτώσεις ήταν η υποβάθμιση της λίμνης Παμβώτιδας. Τέλος, οι επιπτώσεις της υποβάθμισης των υδροφορέων και των φυσικών οδών απορροής παρέμεναν αφανείς.

Ο σχεδιασμός της MBK έγινε με την προϋπόθεση ότι ο αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων θα ήταν ο ποταμός Καλαμάς, εκτός από τη θερινή περίοδο κατά την οποία η εκροή της MBK θα χρησίμευε για άρδευση της περιοχής. Παρόλο ότι τα επεξεργασμένα λύματα πληρούν τις Διεθνείς και Ελληνικές προδιαγραφές σε ότι αφορά την ύπαρξη ρυπαντών (βλ. ΝΤΟΥΝΙΑΣ et al. 1993), η διάθεσή τους στον Καλαμά συναντούσε -και ενδεχομένως εξακολουθεί να συναντά- την αντίδραση των κατοίκων των παρόχθιων περιοχών του Καλαμά, των οποίων η στάση είχε ως τραγελαφικό αποτέλεσμα την συνέχιση της επιβάρυνσης της λεκάνης Ιωαννίνων και του Καλαμά από τα ανεπεξέργαστα λύματα της πόλεως των Ιωαννίνων έναντι των επεξεργασμένων από τη MBK στα οποία η συγκέντρωση των ρύπων είναι πολύ μικρότερη.

Εξαιτίας αυτής της αντίδρασης, η ΔΕΥΑ Ιωαννίνων ανέθεσε στη ΓΕΜΕΕ ΑΕ την κατασκευή ερευνητικής γεώτρησης βάθους 1500 m με σκοπό τον έλεγχο της δυνατότητας χρήσης της ως αποδέκτη της εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται η λιθοστρωματογραφική μελέτη της γεώτρησης, οι δοκιμές εισπίεσης και οι εξ' αυτών επιδράσεις στον υδροφόρο και οι περιβαλλοντικές συνέπειες που θα έχει στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων, η υπόγεια διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων.

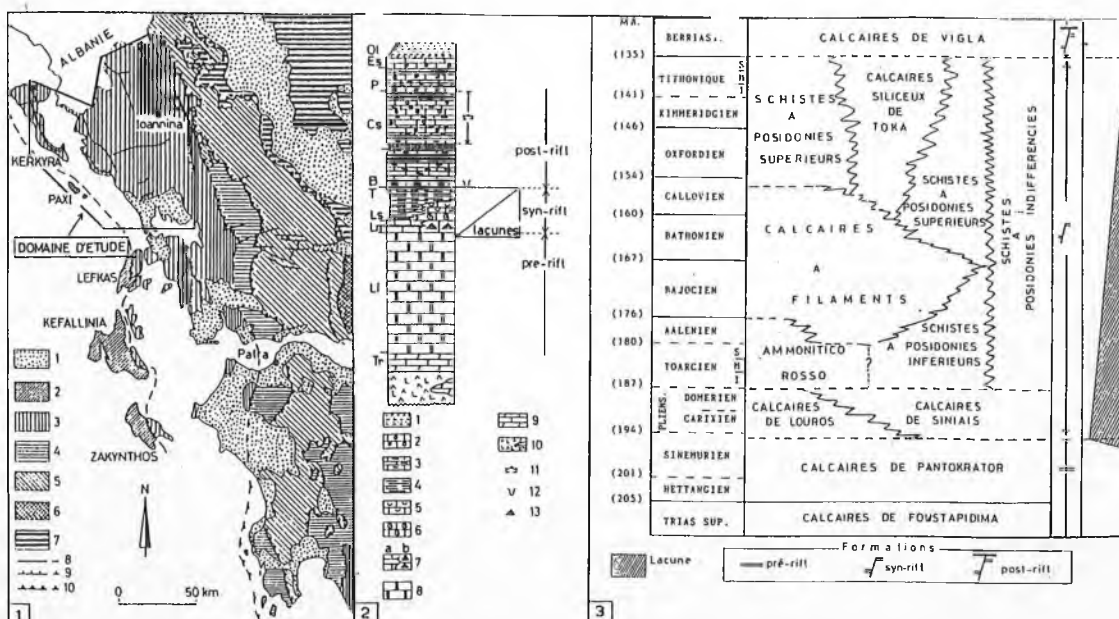
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

2.1 - Γεωλονικές συνθήκες. Υπόβαθρο της λεκάνης Ιωαννίνων αποτελούν τα ιζήματα της Ιονίου σειράς. Από τις λιθοστρωματογραφικές και τεκτονικές μελέτες της Ιονίου ζώνης στην Δυτική Ελλάδα (σχ. 1) και ιδιαίτερα στην Ήπειρο (RENZ 1955, AUBOUIN 1959, IGRS-IFP 1966, KARAKITSIOS 1988, KARAKITSIOS et al. 1988, KARAKITSIOS & TSAILA-MONOPOLIS 1988,1990, KARAKITSIOS 1990, KAPAKITSIOS 1991, KARAKITSIOS & KOLETTI 1992, KARAKITSIOS 1992), προκύπτουν συνθετικά, τα παρακάτω στοιχεία:

Τα παλαιότερα γνωστά ιζήματα αυτού του χώρου είναι οι εβαπορίτες και τα συνδεδεμένα με αυτούς "Τριαδικά λατυποπαγή". Η ηλικία τους είναι εν μέρει Κάτω ως Μέσο Τριαδική.

Υπερκεείμενοι των εβαποριτών είναι οι ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα, οι οποίοι περικλείουν Τρηματοφόρα και Φύκη Λαδίνας-Ραΐτίας ηλικίας.

Ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα Κατώτερο-Λιάσιας ηλικίας.



Σχ. 1: Απλοποιημένος τεκτονικός χάρτης της Δυτικής Ελλάδας (κατά KARAKITSIOS 1992) - 1: Νεογενες και Τεταρτογενές, 2: ζώνη Παξών (Προαπούλια), 3: Ιόνιος ζώνη, 4: ζώνη Γαβρόβου - Τριπόλεως, 5: ζώνης Πίνδου - Ωλονού, 6: ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, 7: Εσωτερικές ζώνες.

Σχ. 2: Συνθετική στρωματογραφική στήλη της Ιονίου σειράς (κατά KARAKITSIOS 1992) - 1: φλύσχη, 2: λιθοκλάστες, 3: ασβεστόλιθοι Βίγλας, 4: σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες αδιαίρετοι, 5: ασβεστόλιθοι με filaments, 6: Ammonitico rosso, 7: ασβεστόλιθοι Σινιών (a) και Λαύρου (b), 8: ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα, 9: ασβεστόλιθοι Φουσταπήδημα, 10: εβαπορίτες και "Τριαδικά λατυποπαγή", 11: Globotruncana, 12: Calpionella, 13: Βραχιονόποα, O1: Ολιγόκαινο, Es: Ανώτερο Ηώκαινο, P: Παλαιόκαινο, Cs: Ανώτερο Κρητιδικό, B: Βερριάσιο, T: Τιθώνιο, Ls: Ανώτερο Λιάσιο, Lm: Μέσο Λιάσιο, Li: Κατώτερο Λιάσιο, Tr: Τριαδικό.

Σχ. 3: Συνθετικό διάγραμμα των στρωματογραφικών σχέσεων των σχηματισμών του Ανώτερου Τριαδικού - Βερριάσιου (Κατώτερο Κρητιδικό) της Ιονίου σειράς (κατά KARAKITSIOS 1990).

Χαρακτηρίζονται από την αφθονία τους σε φύκη και από ιζηματοδομές που δείχνουν ότι η απόθεση τους έγινε σε ενδοπαλιρροϊκό περιβάλλον. Οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα αποτελούν τα τελευταία πριν την ταφρογένεση ιζήματα της Ιονίου σειράς.

Στην συνέχεια, ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι Σινιών και οι πλευρικά τους ισοδύναμοι ασβεστόλιθοι Λούρου (Μέσο Λιάσιο). Η φάση τους δείχνει μια γενική βύθυνση όλου του Ιονίου χώρου, εξαιτίας του εφελκυσμού που υπέστη η αρχική τράπεζα. Οι ασβεστόλιθοι Σινιών και Λούρου αντιστοιχούν στα πρώτα σύνγχρονα με την ταφρογένεση ιζήματα της Ιονίου σειράς.

Η συνέχιση του εφελκυσμού σε συνδυασμό με την αλατοκίνηση της εβαποριτικής βάσης της σειράς προκαλούν τον έντονο ρηξιγενή τεμαχισμό της αρχικής λεκάνης, η οποία διαχωρίζεται σε μικρότερες υπολεκάνες (οριοθετημένες με κανονικά ρήγματα ληστρικού τύπου) μορφής ημιτάφρων. Στα ταπεινωμένα τμήματα των ημιτάφρων, αποτέθηκαν οι συνεχείς και παχιές ακολουθίες των σχηματισμών του Ανώτερου Λιάσιου-Μάλμιου (Ammonitico Rosso ή κατώτεροι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες, ασβεστόλιθοι με filaments, ανώτεροι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες). Στα

ανυψωμένα τμήματα των ημιτάφρων, εντοπίζονται οι ελαττωμένες σε πάχος με ασυμφωνίες και κενά ιζηματογένεσης ακολουθίες. Οι συνθήκες αυτές διατηρήθηκαν με μικρές τροποποιήσεις μέχρι το τέλος του Ιουρασικού.

Στο Κατώτερο Βερριάσιο αρχίζει η απόθεση των ασβεστόλιθων Βίγλας σε όλη την Ιόνιο λεκάνη. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας αντιπροσωπεύουν τα πρώτα μετά την ιαφρονένεση ιζήματα της σειράς.

Οι ίδιες συνθήκες διατηρούνται με μικρές μεταβολές μέχρι το τέλος της ανθρακικής ιζηματογένεσης (Ανώτερο Ηώκαινο). Η ιζηματογένεση παραμένει πελαγική συνοδευόμενη από κλαστικές αποθέσεις που προέρχονται από την υποθαλάσσια διάβρωση των εκατέρωθεν της Ιονίου ζώνης τραπεζών Γάβροβου και Απούλιας. Τέλος, ακολουθεί η φλυσική ιζηματογένεση. Τα σχ. 2 και 3 συνοψίζουν τα στρωματογραφικά δεδομένα της Ιονίου σειράς.

Κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, οι φάσεις συμπίεσης του Τριτογενούς, επαναδραστηριοποιούν, σε μεγάλο βαθμό, το προϋπάρχον εφελκυστικό σύστημα ρηγμάτων του Ιουρασικού. Έτσι, τα εφελκυστικά ρήγματα μετατρέπτηκαν, ολικώς ή μερικώς, σε ανάστροφα ρήγματα, επιπτεύσεις ή ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης. Το φαινόμενο αυτό ευνόησαν και οι διαπειρικές διεισδύσεις των εβαποριτών μέσα στις ρηξιγενείς επιφάνειες. Η συμμετρία της Ιονίου λεκάνης που συνδέονταν με την εφελκυστική φάση του Ιουρασικού, αντικατοπτρίζεται στην διπλή απόκλιση της συμπίεστικής της δομής (προς Δυσμάς στο Δυτικό της τμήμα και προς Ανατολάς στο Ανατολικό της τμήμα).

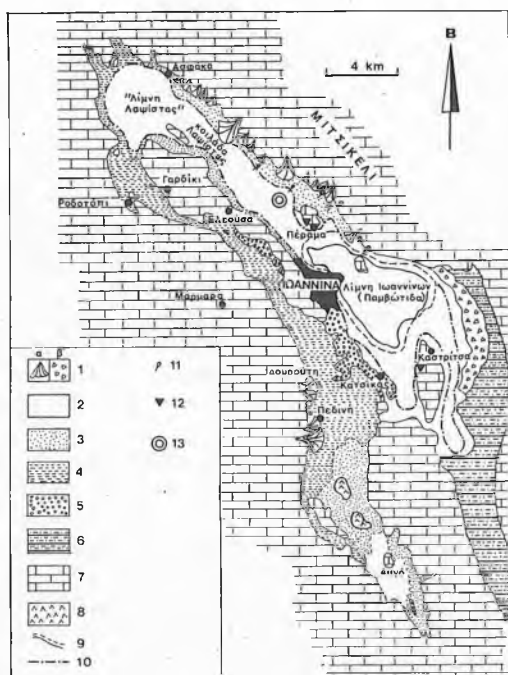
2.2 - Η καρστική λεκάνη Ιωαννίνων αναπτύσσεται στο υψίπεδο των Ιωαννίνων, το οποίο περιβάλλεται από τα όρη Μιτισκέλι και τα ανατολικά αντερίσματα της Ολύτσικας ή Τόμαρου. Η πεδιάδα Ιωαννίνων διακόπτεται από λόφους και η γενικότερη μορφολογία της αντικατοπτρίζει την υπάρχουσα τεκτονική δομή. Το ανατολικό σύγκλινο εκτείνεται κατά μήκος της βάσης του όρους Μιτισκέλι και φιλοξενεί ένα τμήμα της λίμνης. Το νησάκι των Ιωαννίνων και ο λόφος Περάματος χωροθετούν ένα αντίκλινο. Η λίμνη η ίδια καταλαμβάνει την επόμενη ταπεινωση. Παραπέρα ανοίγεται σε μια τρίτη ταπεινωση που είναι πληρωμένη με ιζήματα και διασχίζεται από το ρέμα της Λανγκιβίτσας. Στο βορειότερο τμήμα, η λεκάνη διαιρείται στα δυο εκατέρωθεν των λόφων Γαρδίκι. Το ανατολικό σκέλος αντιστοιχεί στη λεκάνη της λίμνης Λαψίστας που σήμερα έχει τεχνητά αποξηρανθεί. Στα νότια, το τεκτονικό καθεστώς είναι πιο πολύπλοκο, επειδή η ταπεινωση (κατάπτωση) αναπτύσσεται από ένα πεδίο ρηγμάτων και υποδιαιρείται σε τρία σκέλη. Η δυτικότερη κατάπτωση περικλείει διεισδύσεις "Τριαδικών λατυποπαγών". Αυτές οι διεισδύσεις συνδέονται με τη διασταύρωση των ΒΑ ρηγμάτων που προεκτείνουν τα ρήγματα που βρίσκονται νοτιότερα στην ενότητα Λούρου και των εγκάρσιων ως προς αυτά ρηγμάτων που συνδέονται με το ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης Πετουσίου (IGRS-IFP 1966, KARAKITSIOS 1990, 1992). Στο νότιο άκρο της λεκάνης στην περιοχή Αυγού ανακαλύφθηκε λιμναίο Πλειόκαινο (GILLET, 1962). Επομένως στην περίπτωση αυτή η λεκάνη χρησιμοποιεί περιθωριακές αύλακες συνδεδεμένες με τη διάπειρο οι οποίες εμφανίστηκαν από το Νεογενές. Η λεκάνη Ιωαννίνων είναι επομένως το αποτέλεσμα της δράσης δυο τουλάχιστον πεδίων ρηγμάτων και της ταπεινώσεως του αναγλύφου λόγω διαφορικής διάβρωσης. Η ιδιαίτερη αυτή συγκυρία εξηγεί το εύρος της καρστικής πεδιάδας.

Η πόλη τροφοδοτείται σήμερα από πηγές που βρίσκονται στη βάση του όρους Μιτισκέλι -κυρίως τις πηγές Τούμπας, Κρύας, Σεντενίκου, Μπλιτς και Ντραμπάτοβας (η οποία τα τελευταία χρόνια δεν αναβλύζει)- και κενώνεται από καταβόθρες το φράξιμο των οποίων ευκαιριακά προκάλεσε την πλημμύρα της πόλεως, όπως εκείνη του 1684 (NICOD 1972). Τα νερά μετά από μια φυσική υπόγεια διαδρομή 4 km η οποία υποβοηθείται από μια σήραγγα, συναντούν τον παραπόταμο του Καλαμά Βελτίστικο. Το ασβεστολιθικό οροπέδιο στα δυτικά, με το πλήθος των δολινών κατάπτωσης κάνει ενεργή αυτή την καρστική κυκλοφορία (περιοχή Μαρμάρων). Το

ενεργό τμήμα της πόλγης εντοπίζεται σήμερα στο κέντρο της λεκάνης και η εκκένωση των υδάτων γίνεται προς τα νότια (AUBOUIN 1959), τα δυτικά (BOUSQUET 1974) και τα βόρεια.

Ο σημερινός αλλουβιακός πυθμένας της λεκάνης απλώνεται σε ένα μέσο υψόμετρο περίπου 480 m, ενώ τα χαμηλότερα σημεία βρίσκονται στα 460 m. Οι κλαστικές σειρές που αποτελούν τον αλλουβιακό πυθμένα της πόλγης περιλαμβάνουν (σχ. 4):

Σχ. 4: Γεωμορφολογικός χάρτης της



καρστικής λεκάνης Ιωαννίνων. (Πηγές: AUBOUIN 1959, ICRS - IFP 1966, HIGGS 1967, BOUSQUET 1974 και προσωπικές μετρήσεις):

1: σύγχρονοι κώνοι κορημάτων (α) και συγκολλημένα κορήματα (β), 2: σύγχρονοι αποθέσεις Ανώτερου Τεταρτογενούς (μπεζ φάσεις λίμνης Würm), 3: παλαιές αργιλο - πυριτικές προσχώσεις (Ανώτερο Τεταρτογενές Riss), 4: ερυθρές φάσεις του Μέσου Τεταρτογενούς, 5: λιμναίες Πλειοκαινικές αποθέσεις, 6: φλύσχης Ιονίου σειράς, 7: αδιαίρετοι ασβεστόλιθοι Ιονίου σειράς (Ανώτερο Τριαδικό - Ηώκαινο), 8: εβαπορίτες και "Τριαδικά λατυποπαγή" της βάσης της Ιονίου σειράς, 9: σημερινό όριο της λίμνης και ζώνη πλημμύρας (=όριο βλάστησης καλάμων, διακεκομμένη γραμμή), 10: όριο της λίμνης για στάθμη 2-3 m πάνω από τη σημερινή, 11: πηγές, 12: Παλαιολιθικό, 13: MBK και θέση Γεώτρησης.

Το Πλειόκαινο, αποτελούμενο από κυανές αργιλικές άμμους με Γαστερόποδα, Οστρακώδη και Χαρόφυτα Πλειοκαινικής ηλικίας (DALLONI 1925, AUBOUIN 1959, GILLET 1962 και BOUSQUET 1974). Παρατηρείται κυρίως μεταξύ Ανατολής και Κασικιάς. Η Πλειοκαινική λίμνη η οποία κατέλαβε ευρέως αυτή τη νότια λεκάνη αποτελεί συνεπώς και το παλαιότερο τμήμα της. Παρατηρείται επίσης ότι οι διάφορες Πλειοκαινικές θέσεις δεν βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο και ότι οριοθετούνται από πιθανά ρήγματα (πχ. στο χωριό Ανατολή). Επομένως, μια πιθανή μετα-Πλειοκαινική τεκτονική επαναδραστηριοποίηση θα εξηγούσε την σημερινή τοποθέτηση της λίμνης σε μια μικρή τάφο.

Το Πλειστόκαινο αποτελείται από τρεις σχηματισμούς, οι οποίοι από τον παλαιότερο προς τον νεότερο είναι οι ακόλουθοι:

- σχηματισμός ερυθρών αργίλων, εντοπίζεται κυρίως στο ΒΔ τμήμα της λεκάνης γύρω από το λόφο Γαρδίκι και αναπτύσσεται ως αλλουβιακό ριπίδιο,

- σχηματισμός μπεζ αργίλων πάχους 6-7 m,

σχηματισμός από εναλλασσόμενα στρώματα λεπτομερών ασβεστολιθικών άμμων, χονδρόκοκκων άμμων και ρουδιτών με μικρό ποσοστό αργίλου (σε πάχος 2 μέτρων παρατηρούνται συνολικά 12 στρώματα). Αυτή η κανονική απόθεση αλλουβίων με

διαδοχή περιοδικών αποθέσεων, αντιστοιχεί σε λιμναίο αλλουβιακό κάλυμμα, το οποίο αντιπροσωπεύει (BOUSQUET 1974) ένα πυθμένα ελαφρώς υψηλότερο από τον σημερινό και σημειώνει έναν παροξυσμό του τέλους του Würm. Πράγματι, στους πρόποδες του λόφου Καστρελάκι, δυτικά του χωριού Καστρίτσα (σχ. 4) παρατηρήθηκε από τον HIGGS (1964-1967) ότι παρόμοιος σχηματισμός επικάθεται σε κορήματα του Würm. Δεδομένου δε ότι τα κορήματα αυτά καλύπτουν παλαιολιθικό υλικό (BOUSQUET 1974) και καλύπτονται τα ίδια από το λιμναίο αλλουβιακό κάλυμμα, συμπεραίνουμε μαζί με τον BOUSQUET ότι το τελευταίο δίνει τη στάθμη της λίμνης για την περίοδο που αντιστοιχεί στο τέλος του Würm (Würm 4). Συνεπώς η σημερινή λίμνη είναι χαμηλότερη από εκείνη την περίοδο κατά 1 ως 2 μέτρα (σχ. 4). Η κατανομή των παραπάνω σχηματισμών και των εξαλλοιωμένων πετρωμάτων δείχνει ότι, το δυτικό τμήμα της πόλγης είναι το παλαιότερο. Εμφανίστηκε στη διάρκεια του Πλειοκαίνου και λειτούργησε μέχρι το Τεταρτογενές, ενώ το ανατολικό τμήμα είναι βαθύτερο, εμφανίστηκε μεταγενέστερα και είναι τεκτονικής προέλευσης. Οι προσχώσεις είναι μεταγενέστερες από τη φάση εξαλλοίωσης του Μέσου Τεταρτογενούς.

Οι Τεταρτογενείς κλαστικοί σχηματισμοί των περιθωρίων της λεκάνης, αποτελούνται από παλαιούς αργιλοπυριτιτικούς κώνους και πρόσφατους κώνους κορημάτων. Οι αργιλοπυριτιτικοί κώνοι, αντιστοιχούν σε παλαιές προσχώσεις (Πρόσφατο Τεταρτογενές Riss) και αποτελούνται κυρίως από θραύσματα πυριτολίθων των αλπικών σχηματισμών. Οι πρόσφατοι κώνοι κορημάτων αποτελούνται από χονδρόκοκκα θραύσματα που μεταφέρουν οι χείμαρροι που κατέρχονται από τις χαράδρες του όρους Μιτσικέλι και τα αποθέτουν στους δυτικούς πρόποδες του.

Τα στάδια σχηματισμού της καρστικής λεκάνης μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως (BOUSQUET 1974):

Στο Κατώτερο Πλειόκαινο σχηματίστηκαν οι περιθωριακές αύλακες. Η λεκάνη καταλαμβάνει το νότιο τμήμα. Στην ταπεινώση συμβάλλει επίσης ένα πεδίο ρηγμάτων.

-Στο Πλειστόκαινο, πιθανώς η λεκάνη εκτείνεται προς Βορρά. Η εξάπλωση αυτή συνδέεται με τεκτονικές κινήσεις που εντοπίζονται κατά μήκος της δυτικής πλευράς του όρους Μιτσικέλι. Οι κινήσεις αυτές προκάλεσαν την αποστράγγιση της λεκάνης εντός της κοιλάδας των Νεγράδων η οποία κατάληγε προς Βορρά στο Καλπάκι. Στα Νότο, προκάλεσαν τον σχηματισμό της νότιας πόλγης. Στο Μέσο Πλειστόκαινο, η λεκάνη υπέστη τη φάση βιο-εξαλλοίωσης του Mindel-Riss (ερυθρός σχηματισμός και παλαιοί αργιλοπυριτιτικοί κώνοι). Στη διάρκεια αυτής της περιόδου, η λεκάνη μεγάλωσε όπως αποδεικνύεται από τα υπολείμματα των αποθέσεων της ίδιας περιόδου που παρατηρούνται στα νότια της πεδιάδας (σχ. 4). Η ερυθρή φάση αποτελεί έδαφος που κληρονομήθηκε από την περίοδο βιο-εξαλλοίωσης του Τεταρτογενούς. Τέλος, οι μπεζ φάσεις αντιστοιχούν σε πρόσφατη απόθεση. Οι αναλύσεις γυρεόκοκκων και του προϊστορικού υλικού που βρέθηκε (HIGGS 1964-67, BOUSQUET, 1974) επέτρεψαν να εκτιμηθεί ότι το επιφανειακό τμήμα του αλλουβιακού καλύμματος σχηματίστηκε μεταξύ -40.000 και -10.000 χρόνια προ του παρόντος. Η καμπύλη των γυρεόκοκκων επιτρέπει την παρακολούθηση των κλιματικών διακυμάνσεων για τις περιόδους Würm-2, το ενδιάμεσο στάδιο Laufen και τις Würm 3 και 4. Οι κώνοι κορημάτων του όρους Μιτσικέλι κληρονομήθηκαν κατά τις ψυχρές περιόδους και είναι Βούρμιας ηλικίας. Η απόθεσή τους έγινε επομένως κυρίως κατά το πρόσφατο Πλειστόκαινο. Η Würm-4 περισσότερο υγρή σημειώθηκε από τον λιμναίο παροξυσμό που δημιούργησε το αλλουβιακό κάλυμμα. Οι καταβόθρες θα έπρεπε να ήταν κατά πάσα πιθανότητα φραγμένες εκείνη την περίοδο. Στην διάρκεια της μεταπαγετώδους περιόδου αποκαταστάθηκε η εκροή και είχαμε τον περιορισμό της σημερινής λίμνης στο εσωτερικό των Βούρμιων αποθέσεων. Σήμερα, η εξέλιξη της πόλγης οφείλει να συνεχίζεται εξαιτίας του

μεγάλου βροχομετρικού ύψους των Ιωαννίνων (1250 mm/έτος) και της επιθετικότητας των υδάτων των πηγών στα ανάντη επειδή προέρχονται από ένα όρος που είναι χιονισμένο το χειμώνα.

Το λεκανοπέδιο Ιωαννίνων και ιδιαίτερα η λίμνη του στο χαμηλότερο τμήμα του, αποτελούν επομένως ένα ιδιαίτερα ευπαθές σύστημα υδρογεωλογικής συμπεριφοράς. Το λεκανοπέδιο είναι μια μεγάλη πόλη, της οποίας η απόφραξη ή η διάνοιξη των καταβόθρων, παρότι τις μεγάλες ποσότητες υδάτων που εισρέουν σ' αυτήν υπό μορφή πηγών και χειμάρων από τους ορεινούς όγκους που την περιβάλλουν, προκαλεί την περιοδική μεταβολή της στάθμης της λίμνης των Ιωαννίνων. Για να αντιληφθούμε την παραπάνω αλήθεια αξίζει να αναφερθούμε στα ιστορικά στοιχεία της εργασίας του αγγλου γιατρού περιηγητή, μέλους της Αγγλικής Βασιλικής Ακαδημίας Η. HOLLAND (1815), από τα οποία προκύπτουν τα εξής:

- από το 1812 υπήρχε η βασική φυσική υπόγεια έξοδος νερού της λίμνης των Ιωαννίνων προς τον ποταμό Καλαμά,

- τον ίδιο χρόνο η καταγραφή μιας υπόγειας εξόδου (καταβόθρας), που σύμφωνα με τις περιγραφές εντοπίζεται στη βάση του λόφου Περάματος, δείχνει ότι το νερό διοχετεύονταν μέσω αγωγών του - άγνωστου τότε - σπηλαίου Περάματος,

- η μη σαφής μνεία της λίμνης των Ιωαννίνων από τους αρχαίους συγγραφείς, παρ' όλο ότι οι ίδιοι περιγράφουν με λεπτομέρεια τη μορφολογία του εδάφους της Ηπείρου, κάνει λογική την υπόθεση του HOLLAND, σύμφωνα με την οποία φαίνεται πιο πιθανό ότι η λίμνη δεν υπήρχε σε παλαιότερες εποχές,

- πληροφορίες, σύμφωνα με τις οποίες, σε ένα μέρος της λίμνης, φαίνονται στο βυθό τα υπολείμματα ενός πλακόστρωτου και κτιρίων, αν επιβεβαιωθούν είναι υπέρ της άποψης ότι η λίμνη δεν υπήρχε σε παλαιότερες εποχές.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω ιστορικά στοιχεία καθώς και εκείνα του NICOD (1972) γίνεται φανερό ότι η στάθμη της λίμνης μπορεί να έχει αλλάξει σε σύντομο χρονικό διάστημα μεταξύ ακραίων καταστάσεων.

Γ - Υδρογεωλογικές συνθήκες. Όπως αναφέρθηκε η περιοχή δομείται κυρίως από ιζηματογενή ασβεστολιθικά πετρώματα. Στα ΒΑ και ΝΑ της λεκάνης αναπτύσσονται οι σχηματισμοί του φλύσχη, ενώ το κύριο τμήμα του λεκανοπέδιου καταλαμβάνουν οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Από τους παραπάνω σχηματισμούς, υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν κυρίως οι ασβεστόλιθοι που περικλείουν το λεκανοπέδιο ή αποτελούν το υπόβαθρο του (κάποιο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι ψαμμιτικοί ορίζοντες του φλύσχη). Το ενδιαφέρον αυτό, είναι ανάλογο του βαθμού καρστικοποίησης που έχει υποστεί ο κάθε σχηματισμός. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί μαζί με τα πλευρικά κορήματα στα πρανή των ορεινών όγκων, αποτελούν ενιαίο υδρογεωλογικό σύστημα. Οι αργιλο-ιλυολιθικές υδατοστεγαγείς αποθέσεις του λεκανοπέδιου βοηθούν την αποθήκευση νερού στο υδρογεωλογικό αυτό σύστημα, το οποίο εκτονώνεται στο λεκανοπέδιο και τη λίμνη των Ιωαννίνων. Οι πηγές που εμφανίζονται στο επίπεδο του λεκανοπέδιου (πηγές Τούμπας, Κρύας κ.λ.π.) είναι πηγές υπερχείλισης που οφείλονται στην εκτόνωση του προηγούμενου συστήματος. Εξάιρεση αποτελεί η πηγή Ντραμπάτοβα η οποία ανήκει στις εσταβέλλες οι οποίες σε ένα υδρολογικό έτος ξεκινούν την λειτουργία τους σαν πηγές και στο τελικό στάδιο λειτουργούν σαν καταβόθρες. Επίσης υπάρχει ο φρεάτιος ορίζοντας του λεκανοπέδιου, ο οποίος αναπτύσσεται σε μικρά βάθη, λόγω των παρεμβαλλόμενων αργιλο-ιλυολιθικών οριζόντων στους Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης. Τέλος, το σύνολο της λεκάνης αποστραγγίζεται μέσω καρστικών αγωγών προς τις παρακείμενες λεκάνες Καλαμά, Άραχθου και Λούρου.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΒΑΘΟΥΣ 1530 ΜΕΤΡΩΝ. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΕ ΜΕΓΑΛΟ ΒΑΘΟΣ

Η επιλογή της θέσης της γεώτρησης από τη ΓΕΜΕΕ ΑΕ στο χώρο της ΜΒΚ,

βασίστηκε στα δεδομένα ηλεκτρικής γεωφυσικής διασκόπησης, σε συνδυασμό με υπάρχουσες γεωλογικές πληροφορίες και υδρογεωλογικές μελέτες, τα οποία έδωσαν θετικές ενδείξεις ως προς το σκοπό που θα εκπλήρωνε η γεώτρηση. Η γεώτρηση θα έφτανε σε βάθος 1500 μέτρων από τα οποία τα 1000 πρώτα θα ήταν σωληνωμένα και τσιμεντωμένα. Ο ορίζοντας διάθεσης αναμενόταν να είναι μέσα σε ασβεστόλιθους Παντοκράτορα, ενώ ήταν πολύ πιθανή η ύπαρξη ενός στρώματος σχιστολίθων σε βάθος 1000 περίπου μέτρων που θα ενεργούσε σαν φραγμός στην κίνηση του ρευστού προς τους ανώτερους ορίζοντες.

Λήψη τριμμάτων (cuttings) γίνονταν ανά 5 μέτρα, ενώ έγιναν και 3 πυρηνοληψίες (καρότα) σε βάθη 964, 1250 και 1523 μέτρα αντίστοιχα. Τέλος έγιναν δυο τσιμεντώσεις της γεώτρησης, η πρώτη στα 350 μέτρα και η δεύτερη στα 1000 μέτρα (σχ. 5).

Μετά το πέρας της γεώτρησης έγιναν διαγραφίες (loggings) για το μη σωληνωμένο τμήμα της γεώτρησης, δηλαδή από τα 1000 ως τα 1500 μέτρα. Οι διαγραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση των σχηματισμών υποδοχής του εισπιεζομένου νερού στην γεώτρηση, ήταν οι εξής: 1) ηλεκτρική διαγραφή (συνδυασμός "ακτίνων γάμμα" - "ίδιου δυναμικού" - "ηλεκτρικής αντίστασης"), 2) διαγραφία πορώδους ("πυκνότητας - ουδετερονίων" - "ηχητικής αντιστάθμισης"), 3) αναγνώριση/μετρήσεις διακλάσεων, 4) διαγραφή κλίσης γεωλογικών σχηματισμών.

Η στρωματογραφική μελέτη των επιστρεφόμενων τριμμάτων (cuttings) βασίστηκε στην μικροσκοπική παρατήρηση 45 λεπτών τομών που προήλθαν απόσυγκόλληση των cuttings με ρητίνη και 3 λεπτών τομών από πυρήνες. Τέλος έγιναν ακτινογραφήματα καθώς και αντίδραση με χλωριούχο βάριο στα δείγματα 1300 και 1470 με σκοπό τη διερεύνηση της ύπαρξης ή όχι γύψου (ανυδρίτη).

Από τη λιθοστρωματογραφική μελέτη των λεπτοτομών προέκυψαν τα ακόλουθα στοιχεία:

0 ως 335 μέτρα (67 δείγματα): χαλαροί σχηματισμοί των οποίων το κατώτερο τμήμα χαρακτηρίζεται από ερυθρό χρώμα. Έγινε μόνο μακροσκοπική μελέτη των θρυμμάτων, από την οποία προέκυψε ότι αποτελούνται κυρίως από άργιλο, άμμο, τύρφη και κροκάλες. Οι σχηματισμοί αυτοί αντιστοιχούν στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της Λεκάνης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κάτω από το βάθος των 350 μέτρων μέχρι το οποίο έγινε η πρώτη τσιμεντώση της γεώτρησης, τα επιστρεφόμενα περιλαμβάνουν τρίμματα από το εκάστοτε βάθος του κοπτικού που αναμιγνύονται με τρίμματα των σχηματισμών μέχρι το κατώτερο σημείο της τσιμεντώσης (δηλαδή το βάθος των 350 μέτρων)

340 ως 605 μέτρα (οκτώ δείγματα):

-340,355 και 455: αποκλειστικώς θραύσματα πυριτολίθων με ακτινόζωα,

-460 και 475: κυρίως θραύσματα αργιλοπυριτικών σχιστολίθων που πιθανώς αντιστοιχούν στην "άνωτη πυριτολιθική ζώνη" των ασβεστολίθων Βίγλας,

-485,590 και 605: κυρίως θραύσματα ασβεστολίθων και δευτερευόντως πυριτολίθων. Η ασβεστολιθική φάση συνίσταται από λεπτομερής υπολιθογραφικό ασβεστόλιθο με ακτινόζωα.

Τα στρώματα από τα 340 μέχρι τα 605 μέτρα αντιστοιχούν συνολικά στους ασβεστόλιθους Βίγλας, το στρώμα μεταξύ 460 και 475 μέτρων αντιστοιχεί με βεβαιότητα στην άνωτη πυριτολιθική ζώνη των ασβεστολίθων Βίγλας, πιθανώς μάλιστα η ζώνη αυτή να αρχίζει από τα 340 μ. Αξίζει να υπογραμμισθεί, ότι κάτω από το αδιαπέρατο αυτό στρώμα, συναντήθηκε ένας αρτεσιανός υδροφόρος ορίζοντας, μέσα στους ασβεστόλιθους Βίγλας, με πίεση στην επιφάνεια 5 bar. Η παροχή του εν λόγω υδροφόρου δεν έγινε ννωστή γιατί ενδεχόμενη μέτρησή της θα δημιουργούσε κινδύνους για τη γεώτρηση.

610 ως 890 μέτρα (έξι δείγματα): όλα τα δείγματα αποτελούνται κυρίως από

αργιλοπυριτικούς σχιστόλιθους πλούσιους σε Ποσειδώνιες και ακτινόζωα και δευτερευόντως από ασβεστόλιθους με το ίδιο απολιθωματοφόρο περιεχόμενο. Ο συνολικός σχηματισμός αντιστοιχεί επομένως με βεβαιότητα στους ανώτερους σχιστόλιθους με Ποσειδώνιες.

895 και 905: κυρίως θραύσματα ασβεστολίθων πλούσιων σε filaments και αρκετό οργανικό υλικό. Το στρώμα αυτό πάχους περίπου 20 m αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους με filaments.

915 ως 995 μέτρα (6 δείγματα, εξών ένα σε βάθος 964 μ. από πυρήνα):

-920 ως 950: αργιλομαργαϊκοί σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες και ακτινόζωα πλούσιοι σε οργανικό υλικό,

-964 (1ο καρτό): εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων (πολύ πλούσιων σε οργανικό υλικό) και μαργαϊκών ασβεστολίθων (πλούσιων σε οργανικό υλικό). Στις εναλλαγές αυτές μετρήθηκε απευθείας κλίση 45°,

-990: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι πλούσιοι σε ακτινόζωα.

Το σύνολο αντιστοιχεί με βεβαιότητα στους κατώτερους σχιστόλιθους με Ποσειδώνιες.

Κάτω από το βάθος των 1000 μέτρων μέχρι το οποίο έγινε η δεύτερη τσιμέντωση, τα θραύσματα που επιστρέφουν από το εκάστοτε βάθος που βρίσκεται το κοπτικό μολύνονται μόνο από θραύσματα σχηματισμών που βρίσκονται κάτω απ' αυτό το βάθος (1000 μέτρα)

1000 ως 1140 μέτρα (9 δείγματα): κυρίως θραύσματα υπολιθογραφικών ασβεστολίθων πλούσιων σε ραδιολάρνια και δευτερευόντως θραύσματα πυριτολίθων. Η φάση τους αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους Σινιών.

1150 ως 1240 μέτρα (4 δείγματα): κυρίως θραύσματα από ανακρυσταλλωμένους και δολομιτιωμένους, κοκκώδεις ή ωλιθικούς ασβεστόλιθους με κρυσταλλικό συνδετικό υλικό και θραύσματα ασβεστολίθων φάσης Σινιών. Η φάση τους αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα.

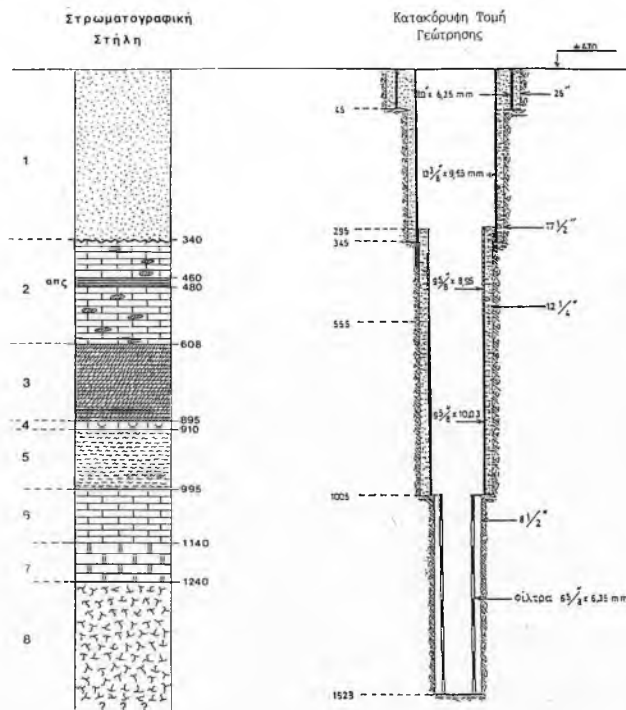
1245 ως 1523 μέτρα (11 δείγματα εξών δύο σε βάθος 1250 και 1523 μ. αντίστοιχα από πυρήνες):

-1250 (2ο καρτό): πρόκειται για πολύμικτο λατυποπαγές χωρίς καμιά κοκκομετρική ταξινόμηση. Περιλαμβάνει λατύπες οι οποίοι αντιστοιχούν σε δολομίτες, σε ασβεστόλιθους πιθανώς Παντοκράτορα και Σινιών, αργιλικούς σχιστόλιθους σκούρου χρώματος, καθώς και σε χαλαζία. Το συνδετικό υλικό είναι ασβεστοδολομιτικής σύστασης.

-1260 ως 1523 (3ο καρτό): ανακρυσταλλωμένα κυρίως δολομιτικά λατυποπαγή (χωρίς κοκκομετρική ταξινόμηση) με λατύπες δολομιτικές (μεταξύ των οποίων αναγνωρίστηκαν λατύπες με φάση που προσεγγίζει εκείνη των σχηματισμών Παντοκράτορα και Σινιών) καθώς και λατύπες προερχόμενες γενικά από αργιλικούς σχιστόλιθους και πυριτόλιθους. Αντιστοιχούν πολύ πιθανά στα "Τριαδικά λατυποπαγή" όμως η θέση τους στο βάθος έχει σαν αποτέλεσμα να μην έχουν φτάσει το επιγενετικό στάδιο εκείνων της επιφάνειας. Κατά συνέπεια είναι αναμενόμενη η διαφορά που παρουσιάζουν ως προς την λιθολογική φάση σε σχέση με τα "Τριαδικά λατυποπαγή" που είναι γνωστά στην επιφάνεια (KARAKITSIOS 1992). Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάτρηση τα λατυποπαγή έδιναν την εντύπωση χαλαρών σχηματισμών και η ταχύτητα διάτρησής τους ήταν μεγάλη.

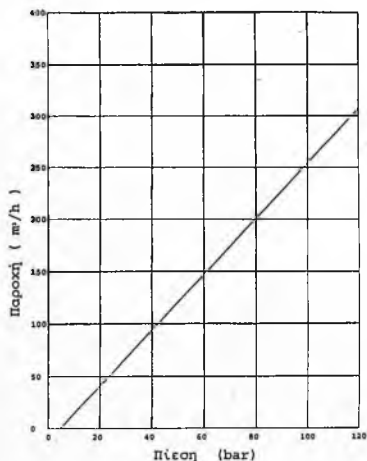
Δεδομένου ότι το πάχος των ασβεστολίθων Παντοκράτορα είναι γενικώς μεγαλύτερο των 1000 μέτρων (IGRS-IFP 1966), η επαφή μεταξύ ασβεστολίθων Παντοκράτορα και Τριαδικών λατυποπαγών είναι προφανώς τεκτονική (ανάστροφο ρήγμα ή επίπλευση).

Θα πρέπει να αναφερθούν ορισμένες διαφωνίες μεταξύ μικροσκοπικών παρατηρήσεων και διαγραφιών για το διάστημα από 1140 μέχρι 1240 μέτρα. Ενώ οι πρώτες, όπως προαναφέρθηκε, χαρακτηρίζουν τον σχηματισμό αυτό ως ασβεστόλιθους Παντοκράτορα, η μεγάλη ταχύτητα διάτρησης και οι διαγραφίες του προσ-



Σχ. 5: Λιθοστρωματογραφικοί σχηματισμοί που συνάντησε η γεώτρηση.
 1: Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, 2: ασβεστόλιθοι Βίγλας (απζ: ανώτερη πυριτολιθική ζώνη), 3: ανώτεροι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες, 4: ασβεστόλιθοι με filaments, 5: κατώτεροι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες, 6: ασβεστόλιθοι Σινιών, 7: ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα, 8: Τριαδικά λατυποπαγή (το όριο μεταξύ ασβεστολίθων Παντοκράτορα και "Τριαδικών λατυποπαγών, αντιπροσωπεύει αναμφισβήτητα τεκτονική επαφή).
 Λόγω κλίσης των σχηματισμών τα εμφανιζόμενα στην στρωματογραφική στήλη πάχη δεν αντιστοιχούν στα πραγματικά.

δίδουν χαρακτηριστικά συμπεριφοράς "Τριαδικών λατυποπαγών". Αυτό κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στο γεγονός της τεκτονικής επαφής μεταξύ ασβεστολίθων Παντοκράτορα και "Τριαδικών λατυποπαγών", που συνεπάγεται μια ζώνη κατακερματισμού η οποία καλύπτει περίπου όλο το σχηματισμό των ασβεστολίθων Παντοκράτορα πάνω από την τεκτονική επαφή, προσδίδοντας με αυτό τον τρόπο στους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα χαρακτηριστικές τεκτονικού λατυποπαγούς, δηλαδή μηχανικής συμπεριφοράς και γενικώς πετροφυσικών χαρακτηριστικών παρόμοιων ως προς τις μετρούμενες από τις διαγραφίες παραμέτρους με τα "Τριαδικά λατυποπαγή". Επίσης ένα άλλο σημείο διαφωνίας είναι το διάστημα μεταξύ 1045 και 1075 μέτρων, το οποίο σύμφωνα με τις διαγραφίες χαρακτηρίζεται ως "βιτουμενιούχος άνθρακας". Κατά τη διάρκεια της διάτρησης δεν παρατηρήθηκε καμιά ένδειξη, επίσης οι μικροσκοπικές αναλύσεις και ιδιαίτερα οι αναλύσεις για την ύπαρξη οργανικού υλικού έδειξαν την παντελή του απουσία. Επομένως θεωρούμε την ερμηνεία των διαγραφιών για το εν λόγω διάστημα εσφαλμένη. Τέλος, τόσο τα ακτινογραφήματα όσο και η αντίδραση με χλωριούχο βάριο που έγιναν με σκοπό



Σχ. 6: Διάγραμμα Πίεσης - Απορροφητικότητας στη Γεώτρηση των Ιωαννίνων.

την διερεύνηση της παρουσίας γύψου, στα δείγματα 1300 και 1470 (σύμφωνα με την ερμηνεία των διαγραφιών, μεταξύ 1275 και 1520 μέτρων αναμένονταν περιορισμένη ως αρκετή παρουσία ανυδρίτη) έδειξαν την ολοσχερή απουσία της γύψου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης των θραυσμάτων και καρότων της γεώτρησης συνοψίζονται στο σχήμα 5.

4. ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Μετά τον καθαρισμό της γεώτρησης με καθαρό νερό παρατηρήθηκε ότι η γεώτρηση παρείχε $4 \text{ m}^3/\text{h}$ με αρτεσιανή ροή, στην δε κεφαλή της γεώτρησης μετρήθηκε, αρτεσιανή πίεση 5 bar περίπου. Σε δοκιμή εισπίεσης με πίεση 40 bar η γεώτρηση δεχόταν περίπου $8 \text{ m}^3/\text{h}$. Η ενεργοποίηση της γεώτρησης με υδροχλωρικό οξύ σε πέντε φάσεις έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Η πρώτη ενεργοποίηση έγινε με $15 \text{ m}^3 \text{ HCl}$ περιεκτικότητας 15%. Το οξύ γέμισε το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης και μετά από αναμονή μισής

ώρας εκτοπίστηκε. Η παροχή του αρτεσιανισμού ανέβηκε από 4 σε $12 \text{ m}^3/\text{h}$.

Η δεύτερη ενεργοποίηση έγινε με τις ίδιες ακριβώς ποσότητες HCl , μόνο που μετά την τοποθέτηση του οξέως έκλεισε το Β.Ο.Ρ. και εισπιάστηκαν 10 m^3 νερού για να προωθηθεί το οξύ μέσα στο σχηματισμό. Μετά αναμονή μίας ώρας έγινε άντληση από τη γεώτρηση για να απομακρυνθούν τα προϊόντα της αντίδρασης. Η παροχή του αρτεσιανισμού έγινε $18 \text{ m}^3/\text{h}$. Μια δοκιμή εισπίεσης διάρκειας 11 ωρών έδωσε απορροφητικότητα $31 \text{ m}^3/\text{h}$ με πίεση 40 bar.

Η τρίτη ενεργοποίηση έγινε με $30 \text{ m}^3 \text{ HCl}$ περιεκτικότητας 18%. Το διάλυμα του οξέως περιείχε και 70 g/l χλωριούχο ασβέστιο που χρησιμοποιήθηκε σαν επιβραδυντής της δράσης του οξέως, ώστε αυτό να μην εξουδετερωθεί αμέσως αλλά να δράσει μέσα στο σχηματισμό. Το οξύ προωθήθηκε μέσα στο σχηματισμό με 150 m^3 νερού αφού έκλεισε το Β.Ο.Ρ. Μετά από αναμονή μίας ώρας έγινε άντληση για να απομακρυνθούν τα προϊόντα της αντίδρασης. Η παροχή του αρτεσιανισμού ανέβηκε στα $22 \text{ m}^3/\text{h}$. Η απορροφητικότητα αυξήθηκε θεαματικά σε $83 \text{ m}^3/\text{h}$ με πίεση 30 bar. Η δοκιμή κράτησε 2,5 ώρες κι ακολούθησε νέα ενεργοποίηση.

Η τέταρτη ενεργοποίηση έγινε με τις ίδιες ποσότητες αντιδραστηρίων όπως και η τρίτη, μόνο που αυτή τη φορά το οξύ εισπιάστηκε στο σχηματισμό με 450 m^3 νερό. Μετά την άντληση και την απομάκρυνση των προϊόντων της αντίδρασης έγινε δοκιμή εισπίεσης 4,5 ωρών. Η απορροφητικότητα του σχηματισμού ανέβηκε στα $95 \text{ m}^3/\text{h}$ με πίεση 34 bar (η βελτίωση αυτή τη φορά ήταν μικρότερη αλλά αποφασίστηκε να γίνει μια πέμπτη ενεργοποίηση για να εξαντληθούν οι δυνατότητες του σχηματισμού).

Η πέμπτη ενεργοποίηση έγινε με 60 m^3 οξέος περιεκτικότητας 18% και 70 g/l χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2). Μετά την τοποθέτηση του οξέος, και χωρίς να αφαιρεθούν τα προϊόντα της αντίδρασης, ακολούθησε συνεχής εισπίεση νερού για 36 ώρες. Τις πρώτες 12 ώρες η εισπιαζόμενη ποσότητα ήταν $135 \text{ m}^3/\text{h}$ αλλά κατόπιν χρειάστηκε να μειωθεί στα $120 \text{ m}^3/\text{h}$ λόγω λειτουργικών προβλημάτων των αντλιών και του δικτύου εισπίεσης ενώ η πίεση είχε φτάσει στα 44 bar. Στο τέλος της δοκιμής η πίεση είχε σταθεροποιηθεί στα 50 bar. Η αύξηση της απορροφητικότητας στην τελευταία αυτή δοκιμή ήταν μικρή παρά τη διπλάσια ποσότητα οξέως που χρησιμοποιήθηκε. Οι πιέσεις και οι παροχές της τελικής δοκιμής εισπίεσης

δίνονται στον Πίνακα 1, ενώ η σχέση πίεσης-απορροφητικότητας συνοψίζονται στο διάγραμμα του σχ. 6.

Πίν. 1: Τελική δοκιμή εισπίεσης

Χρόνος (Ωρες)	Πίεση (bar)	Απορρόφηση (κ.μ./ώρα)
0,0	12	135
2,0	35	135
4,0	40	135
6,0	42	135
8,0	42	135
10,0	43	135
12,0	44	135
14,0	45	122
16,0	46	122
18,0	47	122
20,0	48	122
22,0	48	122
24,0	49	122
26,0	49	122
28,0	50	122
30,0	50	122
32,0	50	122
34,0	50	122
36,0	50	122

Εκτιμώντας τις διάφορες δοκιμές εισπίεσης που έγιναν, η απορροφητικότητα του σχηματισμού με πίεση 40 bar μετά από κάθε ενεργοποίηση με οξύ είναι:

Αρχική $8 \text{ m}108^3/\text{h}$

1η ενεργοποίηση-

2η ενεργοποίηση $30 \text{ m}^3/\text{h}$

3η ενεργοποίηση $80 \text{ m}^3/\text{h}$

4η ενεργοποίηση $95 \text{ m}^3/\text{h}$

5η ενεργοποίηση $105 \text{ m}^3/\text{h}$

Η αρτεσιανή παροχή της γεώτρησης αμέσως μετά την 5η ενεργοποίηση ήταν $30 \text{ m}^3/\text{h}$ για να μειωθεί σε διάστημα τριών μηνών σε $28 \text{ m}^3/\text{h}$.

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα χαρακτηριστικά νερών από τον ορίζοντα εισπίεσης (ορίζοντα διάθεσης) και την εκροή της MBK. Από τον Πίνακα φαίνεται ότι η χημική σύσταση των νερών εκροής της MBK έχει μικρές διαφορές (φώσφορος και νιτρικά) από το νερό του ορίζοντα διάθεσης. Το pH των δυο νερών είναι πρακτικά το ίδιο. Δεν αναμένεται καμιά αντίδραση ούτε μεταξύ των δυο υγρών, αλλά ούτε και μεταξύ των εισπνεζομένων νερών και των πετρωμάτων στον ορίζοντα διάθεσης που είναι ασβεστολιθικά, δολομιτικά και αργιλικά.

Το μόνο στοιχείο που πιθανόν να δημιουργήσει κάποιο πρόβλημα είναι τα περιεχόμενα στερεά στην εκροή της MBK. Τα στερεά αυτά είναι της τάξης των $700 \text{ mg}/\text{l}$, αλλά το μέγεθός τους είναι αρκετά μεγάλο και μπορούν να φράξουν μακροχρόνια τους πόρους του σχηματισμού διάθεσης.

Η ΔΕΥΑΙ δεν είχε διαθέσιμα στοιχεία για την σημερινή ποιότητα του νερού εκροής της MBK, ούτε από χημική ούτε από μικροβιολογική άποψη. Τα χαρακτηριστικά του νερού εκροής της MBK καθορίστηκαν με 6 αναλύσεις της εκροής -που έγιναν από την ΓΕΜΕΕ- σε διαφορετικές χρονικές περιόδους μέσα σε διάστημα τεσσάρων μηνών. Τα χαρακτηριστικά του κάθε δείγματος δεν διαφέρουν πολύ από τον μέσο όρο, παρουσιάζεται δηλαδή σημαντική σταθερότητα της εκροής. Η έμφραξη του πορώδους των σχηματισμών, που οπωσδήποτε μακροχρόνια θα υπάρξει, εξαιτίας των περιεχομένων στερεών μεγάλου μεγέθους στα ρευστά της εκροής της

Πίν. 2: Χαρακτηριστικά νερών του ορίζοντα διάθεσης της Γεώτρησης και της εκροής του Βιολογικού καθαρισμού.

A/A	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ	ΕΙΣΠΙΕΣΗΣ	ΕΚΡΟΗ Μ.Β.Κ.
1.	pH		7	7,4
2.	Αγωγιμότητα μMHOS/cm		496	1017
3.	Αλκαλικότητα p ως CaCO ₃ mg/l		0	0
4.	" m " "		140	207
5.	Σκληρότητα Ολική " "		265	341
6.	" Ανθρακική " "		140	207
7.	" μη Ανθρακική " "		125	134
8.	Ασβέστιο Ca " "		88	126
9.	Μαγνήσιο Mg " "		11,2	7,7
10.	Κάλιο K " "		1,2	22,4
11.	Νάτριο Na " "		10,2	72,9
12.	Σίδηρος Ολικός Διηθητός Fe " "		0,03	0,04
13.	Μαγγάνιο Mn " "		0,13	0,06
14.	Χαλκός Cu " "		0,1	0,03
15.	Ψευδάργυρος Zn " "		0,02	0,03
16.	Χλωρίοντα Cl " "		80	86,4
17.	Θειϊκά SO ₄ " "		35,4	74,2
18.	Όξινα Ανθρ/κά HCO ₃ " "		171	253
19.	Φωσφόρος ως PO ₄ " "		0,03	10,8
20.	Διοξειδίο πυριτίου SiO ₂ " "		9	17,4
21.	Άζωτο ως NO ₃ " "		0,1	32,3
22.	" ως NO ₂ " "		0,05	1,75
23.	" ως NH ₄ " "		0,1	2,21
24.	Στερεό υπόλειμμα 110 °C " "		350	710

MBK, μπορεί να αντιμετωπιστεί με χρησιμοποίηση οξέως. Εν τούτοις είναι καλύτερα να υπάρξει ειδική επεξεργασία απομάκρυνσης τους πριν από την εισπίεση στη γεώτρηση. Επίσης η αντιμετώπιση του φωσφόρου, των νιτρικών και των πιθανών μικροβίων της εκροής της MBK, που γίνεται σήμερα με χλωρίωση, θα επιτυγχάνονταν καλύτερα με την επεξεργασία τριτοβάθμιου σταδίου (βλ. συμπεράσματα).

Ένα σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από την επεξεργασία των χημικών αναλύσεων της εκροής, είναι ότι όλη σχεδόν η ποσότητα οξέως που εισπιάστηκε στη γεώτρηση ξαναβγήκε στην επιφάνεια με την εκροή της γεώτρησης. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει κινητικότητα στον υδροφόρο ορίζοντα και επομένως ό,τι εισπιάζεται στη γεώτρηση δεν απομακρύνεται απ' αυτήν. Πράγματι, το ισοζύγιο του χλωρίου στη διάρκεια των δοκιμών εισπίεσης δείχνει, ότι δεν υπάρχει κίνδυνος μεταφοράς των λυμάτων σε άλλες περιοχές:

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών είχαν εισπιαστεί στο σχηματισμό οι παρακάτω ποσότητες χλωρίου:

23/2/93:6500 kg

25/2/93:6500 kg

27/2/93: 13000 kg

Σύνολο:26000 kg

Οι ποσότητες που έπεσαν πριν από αυτή την ημερομηνία θεωρείται ότι απομακρύνθηκαν από τη γεώτρηση με τις ανιλήσεις που ακολούθησαν την εισπίεση, γιατί δεν εισπιάστηκαν στο σχηματισμό, αλλά γέμισαν απλώς το χώρο της γεώτρησης. Επιπλέον, το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας που έπεσε στις 23/2/93 και ένα σημαντικό μέρος της ποσότητας που έπεσε στις 25/2/93 θα πρέπει να απομακρύνθηκαν στις 36 ώρες που ακολούθησαν μέχρι να αρχίσει η επόμενη εισπίεση, αλλά αυτό δεν υπάρχει τρόπος να υπολογιστεί.

Οι ποσότητες που απομακρύνθηκαν από τη γεώτρηση δίνονται στον Πίνακα 3. Για

Πίν. 3: Συγκέντρωση και ποσότητες του χλωρίου στην εκροή της Γεώτρησης μετά τις δοκιμές εισπίεσης.

Ημερ/νία	[Cl--] (mg/l)	Ποσότη. (mg/l)	Αθροιστ. Ποσότη. Cl-- (kg) Cl-- (Kg)
11/03/93	985	7300	7300
17/03/93	1035	4100	11400
29/03/93	539	6300	17700
02/04/93	355	1100	18800
09/04/93	284	1300	20100
08/06/93	80	2600	22700

τον υπολογισμό των ποσοτήτων χλωρίου θεωρείται μια σταθερή εκροή 30 m³/h. Από όλες τις αναγραφόμενες συγκεντρώσεις χλωρίου αφαιρείται η τελική περιεκτικότητα χλωρίου που λαμβάνεται ίση με 60 mg/l.

5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα της λιθοστρωματογραφικής μελέτης της γεώτρησης με τις διαγραφίες (για το αντίστοιχο βάθος: 1000-1500 m), τα αποτελέσματα των δοκιμών και μετρήσεων της εισπίεσης στον ταμιευτήρα και λαμβάνοντας υπόψη τα κύρια χαρακτηριστικά της καρστικής λεκάνης Ιωαννίνων, μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- στο καρότο των 964 μέτρων μετρήθηκε απευθείας στις εναλλαγές αργίλων και μαργαϊκών ασβεστολίθων κλίση 45°. Για την άμεση αυτή κλίση δεν γνωρίζουμε κατά πόσο είναι τοπική ή αντιπροσωπεύει τη γενική κλίση του σχηματισμού στον οποίο αντιστοιχεί (Κατώτεροι σχιστόλιθοι). Επιπλέον οι έμμεσες κλίσεις που προέκυψαν από τις διαγραφίες (βλ. παρακάτω), αρχίζουν από το βάθος των 1000 μέτρων και κάτω, συνεπώς δεν μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Οι έμμεσες κλίσεις που προέκυψαν από τις διαγραφίες είναι οι εξής:

1000-1045 μέτρα: κλίση 70°, φορά 25° ή ΒΒΑ

1047-1084 μέτρα: κλίση 55°, φορά 31° ή ΔΒΔ

1084-1135 μέτρα: κλίση 70°, φορά 310° ή ΔΒΔ

1135-1500 μέτρα: κλίση 70°, φορά 310° ή ΔΒΔ

Επειδή από τα 1250 μέτρα και κάτω βρισκόμαστε με βεβαιότητα στα "Τριαδικά λατυποπαγή" τα οποία λόγω της λιθολογίας τους δεν παρουσιάζουν καμιά κλίση, δεν μπορούμε παρά να συμπεράνουμε ότι η εμφανιζόμενη ως έμμεση κλίση των στρωμάτων, αντιπροσωπεύει πολύ πιθανά την κλίση κάποιας ή κάποιων επιφανειών τεκτονικής ασυνέχειας. Επομένως επειδή δεν είναι γνωστά, ούτε οι γενικές κλίσεις των στρωμάτων, ώστε να γνωρίζουμε κατά πόσο τα παραπάνω πάχη προσεγγίζουν τα πραγματικά πάχη της σειράς, ούτε αν η σειρά είναι πτυχωμένη ή αν έχει προσβληθεί από ανάστροφα ρήγματα ή εφιππεύσεις που θα μπορούσαν να επαναλαμβάνουν τμήματα της σειράς, δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθούν τα πραγματικά πάχη των διαφόρων διατηρηθέντων σχηματισμών της σειράς,

- το ότι μέχρι το βάθος των 1000 μέτρων έχουμε ένα κύριο (σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες) και έναν δευτερεύοντα (ανώτερη πυριτολιθική σειρά Βίγλας) αργιλοπυριτικό σχηματισμό είναι ευνοϊκό για το στόχο της γεώτρησης, διότι αυτοί οι σχηματισμοί όντας αδιαπέρατοι, διασφαλίζουν τη στεγανότητα προς τα πάνω. Επομένως μπορούμε να δεχτούμε ότι -για μια ορισμένη ακτίνα γύρω από τη γεώτρηση- αν διοχετευτούν ρευστά κάτω από το βάθος των 1000 οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί που βρίσκονται σε μικρότερο βάθος δεν θα επιτρέπουν την ανάμιξή τους με τους υπερκείμενους υδροφόρους ορίζοντες. Εντούτοις δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την πιθανότητα να είναι η περιοχή τεκτονισμένη, αλλά ο τεκτονισμός αυτός να αποκρύπτεται κάτω από τα Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης (πχ. η στρωματογραφική μελέτη της γεώτρησης απέδειξε ότι η επαφή του Παντοκράτορα με τα Τριαδικά λατυποπαγή είναι τεκτονική). Επομένως είμαστε υποχρεωμένοι να

δεχτούμε ότι, σε μεγαλύτερη ακτίνα, η ανάμιξη των διοχετευόμενων λυμάτων με τους υπερκείμενους υδροφόρους ορίζοντες είναι πιθανή. Η πιθανότητα όμως αυτής της ανάμιξης είναι μικρότερη από εκείνη που θα προκαλούσε, στους ανώτερους υδροφόρους ορίζοντες, η επιφανειακή ροή των αποβλήτων της MBK.

Μετά από τα προαναφερθέντα και με βάση τη μελέτη των διαγραφιών και τη λιθοστρωματογραφική μελέτη προκύπτουν τα παρακάτω:

1- Ο ορίζοντας διάθεσης παρουσιάζει καλό πορώδες και διαπερατότητα. Είναι γεωλογικά απομονωμένος από τους ανώτερους σχηματισμούς με ένα μεγάλο πάχος σχιστολίθων με Ποσειδώνιες και με ένα μικρότερο αργιλικό στρώμα πάχους 25 μέτρων σε βάθος 480 μέτρα. Επομένως η πιθανότητα μόλυνσης των ανωτέρων οριζόντων από το υγρό εισπίεσης είναι πολύ μικρή και οπωσδήποτε μικρότερη από την πιθανότητα μόλυνσης από την επιφανειακή ροή των αποβλήτων.

2- Η κατασκευή της γεώτρησης αποκλείει τη διαρροή μέσω αυτής ακόμα και της παραμικρής ποσότητας υγρού εισπίεσης στα ανώτερα στρώματα.

3- Το νερό εισπίζεται μέσα στους πόρους του πετρώματος και δεν ακολουθεί μεγάλα καρστικά έγκοιλα. Επομένως η ροή του είναι ελεγχόμενη και κατανέμεται λίγο πολύ κυκλικά γύρω από τη γεώτρηση εισπίεσης.

4- Ο χημισμός του νερού εκροής της MBK και του νερού του οριζοντα διάθεσης είναι παρεμφερής, το δε pH είναι πρακτικά το ίδιο. Η θερμοκρασία επίσης του οριζοντα διάθεσης είναι ιδιαίτερα χαμηλή (17-18°C).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του οριζοντα διάθεσης δείχνουν ότι αυτός πληρεί τις κυριότερες προϋποθέσεις που υπαγορεύονται από τους διεθνείς και Ελληνικούς φορείς προστασίας περιβάλλοντος (βλ. ΝΤΟΥΝΙΑΣ et al. 1993).

Αν θέλουμε όμως να αντιμετωπίσουμε σφαιρικά το πρόβλημα μόλυνσης της λεκάνης Ιωαννίνων, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πριν απ' όλα και πάνω απ' όλα, ότι η καρστική λεκάνη Ιωαννίνων δεν αποτελεί κλειστό υδρολογικό σύστημα, επομένως ούτε η επιφανειακή, ούτε η υπόγεια διάθεση των ρευστών της MBK διασφαλίζει απόλυτα τον κίνδυνο μόλυνσης των ανωτέρων υδροφόρων οριζόντων. Η καλύτερη λύση είναι μάλλον η συνδυασμένη και ορθολογιστική χρησιμοποίηση όλων των δυνατοτήτων που μας παρέχονται ιδιαίτερα μετά την γεώτρηση Ιωαννίνων. Έτσι για παράδειγμα, στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί η γεώτρηση για τη διάθεση των λυμάτων είναι σκόπιμο κατά τη θερινή περίοδο να σταματάει η εισπίεση και το νερό της γεώτρησης να χρησιμοποιείται για άρδευση μαζί με την εκροή του βιολογικού. Με τον τρόπο αυτό θα αποφορτίζεται ο ορίζοντας εισπίεσης. Η ποιότητα του νερού που θα εκρέει από τη γεώτρηση από χημική άποψη θα είναι παρόμοια με τη σύσταση των εισπιεζομένων λυμάτων, ενώ από άποψη μικροβιακού φορτίου είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Πάντως από τις μέχρι τώρα ενδείξεις φαίνεται ότι το νερό εκροής είναι απαλλαγμένο από τις στερεές ουσίες που περιέχει εν αιωρήσει το νερό εκροής της MBK και φαίνεται διαυγές, τουλάχιστον μακροσκοπικά.

Από μελέτες που έγιναν για την μόλυνση του Καλαμά στη θέση εκροής της λίμνης των Ιωαννίνων σ' αυτόν, διαπιστώθηκε (ΣΜΥΡΝΙΩΤΗΣ, προσωπική επικοινωνία) ότι η διασπορά των ρυπαντών ήταν πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της αφετηρίας της στο κανάλι της λεκάνης Ιωαννίνων. Επομένως, η συγκέντρωση των ρύπων στην εκροή του Καλαμά θα είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτήν που μετρήθηκε στην εκροή της MBK.

Μια εναλλακτική πρόταση χρήσης της διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων της MBK θα ήταν η περιοδική σε διμηνιαία ή τριμηνιαία βάση διάθεση των λυμάτων στον υπόγειο αποδέκτη, στη συνέχεια θα ακολουθούσε ένας μήνας διακοπής αυτής της διαδικασίας, ενώ στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα της διακοπής θα γινόταν εκροή τόσο της MBK, όσο και της αρτεσιανής ροής του υπόγειου αποδέκτη στο κανάλι, μετά ξανά επανάληψη της πρώτης διαδικασίας κ.ο.κ.ε. Με τον τρόπο αυτό θα επιτυγχάνονταν ακόμα μεγαλύτερη διασπορά των ρύπων που τελικώς θα δέχονταν

η λεκάνη Ιωαννίνων και ο Καλαμάς.

Θεωρούμε τον εμπλουτισμό της λίμνης Ιωαννίνων με τα νερά του Μετσοβίτικου, προς το παρόν υπερβολικό, γιατί αφενός μεν η λεκάνη Ιωαννίνων χαρακτηρίζεται από ένα προνομιακό καθεστώς σε ότι αφορά την εισροή υδάτων σ' αυτήν (τόσο λόγω του μεγάλου βροχομετρικού ύψους της περιοχής, όσο και της πλεονεκτικής μορφολογίας της λεκάνης), αφετέρου οι παράγοντες οι οποίοι αποστραγγίζουν τη λεκάνη παραμένουν σε όλες τις περιπτώσεις οι ίδιοι και επιπλέον δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς. Επίσης η χρήση της αρτεσιανής εκροής του υπόγειου υδροφορέα διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων της MBK θα μπορούσε να εμπλουτίσει συγχρόνως και τη λίμνη αποτρέποντας την περαιτέρω ανάπτυξη του ευτροφισμού της, ο οποίος, σύμφωνα με τους ANAGNOSTIDIS & ECONOMOU-AMILLI (1980), είναι κανονικής τάξης. Αντίθετα με την ιδιαίτερα δαπανηρή εκτροπή των νερών του Μετσοβίτικου, θεωρούμε επιβεβλημένη την μελέτη του υδροφόρου ορίζοντα που παρεμβάλλεται μεταξύ της "ανώτερης πυριτολιθικής ζώνης" και των ανώτερων σχιστολίθων με Ποσειδώνιες. Από τη μελέτη του θα προκύψουν πληροφορίες για την ποιότητα του νερού και τις δυνατότητες παροχής του και επομένως ανάλογα με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα προσδιοριστεί η δυνατότητα και η καταλληλότητα χορσιμοποίησής του, είτε ως πόσιμου, είτε για αρδευτική γοήση και διασπορά των ρυπαντών των ρευστών της MBK.

Συμπερασματικά, τα υπάρχοντα στοιχεία δείχνουν ότι η γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά ως υπόγειος αποδέκτης της εκροής της MBK. Η χρησιμοποίηση αυτή πληρεί και τις απαιτήσεις που προβλήθηκαν από το ΤΕΕ του Τμήματος Ηπείρου (1993). Εντούτοις, η απομάκρυνση του φωσφόρου, των νιτρικών και των μικροβίων από τις εκροές της MBK, θα επιτυγχάνονταν ουσιαστικά μόνο με την εγκατάσταση Μονάδας Τοιτοβάθμιας επεξεργασίας των αποβλήτων της MBK, πριν από την εισπίεσή τους στην γεώτρηση ή την επιφανειακή τους ροή στην λεκάνη και την έξοδό τους στον Καλαμά. Είναι η λύση την οποία και προτείνουμε. Τέλος αξίζει να υπογραμμιστεί ότι, ανεξάρτητα από το σκοπό για τον οποίο έγινε η γεώτρηση, οι πληροφορίες που έδωσε είναι πολύ σημαντικές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANAGNOSTIDIS, K. and ACONOMOU-AMILLI, A. (1980). Limnological studies on Lake Pamvotis (ioannina), Greece. Arch. Hydrobiol., 89, 3, p. 313-342, Stuttgart.
- AUBOUIN, J. (1959). Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale: les confins de l'Épire et de la Thessalie. - Ann. geol. Pays Hell., 1, 9, pp. 1-483.
- BOUSQUET, B. (1974). La Grèce occidentale: interpretation géomorphologique de l'Épire, de l'Akarnanie et des îles ioniennes. Thèse, 571 p., Paris.
- DALLONI, M. (1923). Contribution à l'étude des terrains tertiaires de la Thessalie et de l'Épire. Bull. Soc. Géol. France, 4, XXIII, p. 284-294.
- GILLET, S. (1962). Remarques sur les Gasteropodes de quelques gisements du Pliocene et du Quaternaire d'Épire. Prakt. Acad. Athènes, 37, p. 260-273.
- HIGGS, E.S. (1964-1967). The Climate, Environment and Industries of Stone Age Greece. Proc. Prehistoric Society, 12, p. 199-244, 1, p. 1-29.
- HOLLAND, H. (1815). "Travels in the Ionian Isles, Albania, Thessaly, Macedonia, &c. during the years 1812 and 1813", εκδόσεις ΑΦΩΝ ΤΟΛΙΔΗ (ΑΘΗΝΑ 1989) (μετάφραση Χ. Ιωαννίδη και επιμέλεια Τ. Βουρνά με τον τίτλο "Ταξίδια στα Ιόνια νησιά, Ήπειρο, Αλβανία (1812-1813)", 324 σελ.
- IGRS-IFP, (1966). Etude géologique de l'Épire (Grèce nord- occidentale). - Ed. Technip, 306 p., Paris.

- KARAKITSIOS, V. (1988). Sur la différenciation de la zone ionienne en Epire (Grèce nord-occidentale). 3e Congrès de la Soc. géol. de Grèce (mai 1986). - Bull. Soc. géol. Grèce. XX/2, pp. 181-196.
- KARAKITSIOS, V. (1990). Chronologie et géométrie de l'ouverture d'un bassin et de son inversion tectonique: le bassin ionien (Epire, Grèce). - Thèse Doct. Univ. Paris VI (Mem. Sc. Terre Univ. P. et M. Curie, Paris 91-4), 310 p. Paris.
- KARAKITSIOS, B. (1991). Μελέτη παλαιογεωγραφικών του Ιονίου στην Ιόνια ζώνη της Ηπείρου. Πρακτικά 5ου Συνεδρίου ΕΓΕ, Θεσσαλονίκη, Μάιος 1990. - Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, XXV/1, 307-318.
- KARAKITSIOS, V. (1992). Ouverture et inversion tectonique du bassin ionien (Epire, Grèce). Ann. Géol. Pays Hell., 35, p. 185-318.
- KARAKITSIOS, V., DANELIAN, T. and DE WEVER, P. (1988). Datations par les radiolaires des calcaires à filaments, schistes à posidonies supérieurs et calcaires de Vigla (zone ionienne, Epire, Grèce) du Callovien au Tithonique terminal. C. R. Acad. Sci. Paris, 306, 2, pp. 367-372.
- KARAKITSIOS, V. and TSAILA-MONOPOLIS, S. (1988). Données nouvelles sur les niveaux supérieurs (Lias inférieur-moyen) des calcaires de Pantokrator (zone ionienne moyenne, Epire, Grèce continentale). Description des calcaires de Louros. - Revue Micropaleont., 31, 1, pp. 49-55, Paris.
- KARAKITSIOS, V. and TSAILA-MONOPOLIS, S. (1990). Données nouvelles sur les niveaux inférieurs (Trias supérieur) de la série calcaire ionienne en Epire (Grèce nord-occidentale). Conséquences stratigraphiques. - Rev. Paléobiol., 9, 1, pp. 139-147, Genève.
- KARAKITSIOS, V. and KOLETTI, L. (1992). Critical revision of the age of the basal Vigla limestones (Ionian zone, western Greece), based on nannoplankton and calpionellids, with paleogeographical consequences. - Knihovnicka ZPN, 14a, vol. 1, pp. 165-177.
- NICOD, J. (1972). Pays et paysages du calcaire. Presses Univ. de France, coll. "Le Géographe", Paris, 244 p.
- ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ., ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, Δ. and ΠΑΡΙΣΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. (1993). Υπόγεια διάθεση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων. Helleco 93, ΤΕΕ.
- RENZ, (1955). Die vorneogene Stratigraphie der normal-sedimentären Formationen Griechenlands. Inst. Geol. Subsurf. Res., Athens, 637 p.
- ΤΕΕ-ΗΠΕΙΡΟΥ, (1993). Λειτουργία της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού των λυμάτων Ιωαννίνων. Ενημ. Δελτίο ΤΕΕ, Αθήνα, 1744, σ. 35-39.