6ο ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ και του ΜΕ.Κ.Δ.Ε. του Ε.Μ.Π.: «Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ». ΜΕΤΣΟΒΟ, 16-19 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2010

Υδρογεωλογική μελέτη
και
καθορισμός ζωνών περιμετρικής προστασίας
των πηγών Κρύας Ιωαννίνων
Αποτελέσματα

Βασίλειος Καρακίτσιος

Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α
Διευθυντής Τομέα Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας

2010

Υδρογεωλογική μελέτη και καθορισμός ζωνών περιμετρικής προστασίας των πηγών Κρύας Ιωαννίνων – Αποτελέσματα

Β. Καρακίτσιος, Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α
Διευθυντής Τομέα Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας

Περίληψη
Μελετήθηκαν τα γεωμορφολογικά, κλιματολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι και της υπολεκάνης Κρύας. Από τη μελέτη προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Τα αποθέματα των υπογείων νερών της υπολεκάνης Κρύας είναι σχεδόν διπλάσια της αντλούμενης ποσότητας για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της πόλης των Ιωαννίνων και πολλαπλάσια αν ληφθεί υπόψη ότι ο υδροφόρος στη βάση των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι είναι ενιαίος.

Τα υπόγεια νερά Κρύας ταξινομούνται στα πόσιμα νερά 1^{ης} τάξης. Η παρουσία νιτρικών ιόντων (στα επιτρεπτά όρια), λόγω εστιών επιφανειακής μόλυνσης, θα εξαλειφθεί με την εφαρμογή των ζωνών περιμετρικής προστασίας.

Η ζώνη Ι άμεσης προστασίας ταυτίζεται με τον περιφραγμένο ιδιόκτητο χώρο της Δ.Ε.Υ.Α. Ιωαννίνων, ο οποίος ήδη πληροί όλες τις προϋποθέσεις της εν λόγω ζώνης, με ορισμένες μικρές παρεμβάσεις.

Η ζώνη ΙΙ κοντινής προστασίας αντιστοιχεί σε μια επιμήκη περιοχή, η οποία εκτείνεται εκατέρωθεν των υδροληψιών κατά ΑΔ διεύθυνση. Στην ζώνη αυτή πρέπει α) όλοι οι οικισμοί να ενταχθούν σε στεγανό δίκτυο αποχέτευσης συνδεόμενο με τη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Ιωαννίνων, β) να απομακρυνθούν νεκροταφεία, βιοτεχνίες, στάβλοι και κάθε άλλη ρυπογόνος ανθρωπογενής δραστηριότητα, γ) να κατασκευαστεί αποχετευτικό στραγγιστικό δίκτυο όμβριων υδάτων στις δύο κοινότητες, δ) να σταματήσει η λειτουργία του ιχθυοτροφείου, ε) οι καλλιέργειες να γίνουν βιολογικές, και να αποθαρρυνθεί η περαιτέρω οικιστική ανάπτυξη εντός των ορίων της ζώνης.

Η ζώνη ΙΙΙ μακρινής προστασίας προσδιορίστηκε με βάση την υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας, όπως επιβάλλεται στα καρστικά συστήματα. Στην προτεινόμενη ζώνη δεν υφίστανται ιδιαιτέρως ρυπογόνες δραστηριότητες και δεν απαιτείται προς το παρόν να ληφθούν άμεσα μέτρα προστασίας. Ωστόσο, η πόλγη Αγίας Παρασκευής, κύριος τροφοδότης νερού των πηγών Κρύας, πρέπει να επιτηρείται αυστηρά, ως προς τη χρήση ουσιών που δεν αδρανοποιούνται σε διάστημα 2-3 μηνών.

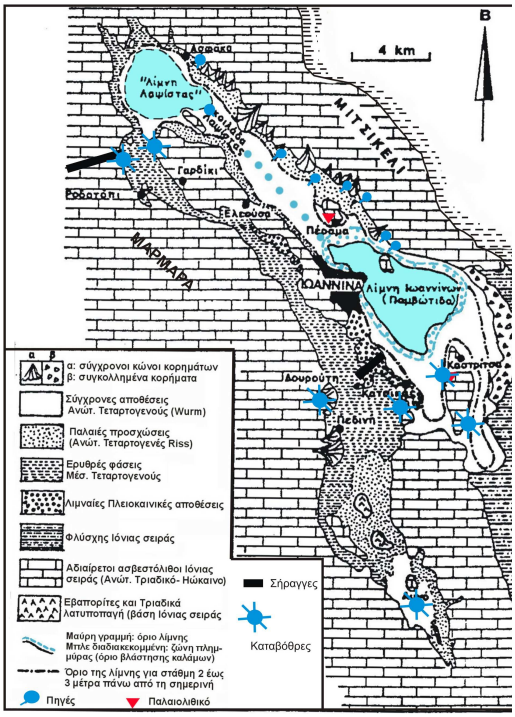
Εισαγωγή
Πεδίο έρευνας της εργασίας αποτελεί η υδρογεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής των πηγών Κρύας Ιωαννίνων, από τις οποίες υδροδοτείται η πόλη των Ιωαννίνων, με σκοπό τον καθορισμό ζωνών περιμετρικής προστασίας των υδροληψιών. Σε διεθνές επίπεδο, λόγω της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας και επέμβασης στο περιβάλλον, προέκυψε η αναγκαιότητα περιμετρικής προστασίας των υδροληπτικών έργων, ιδιαίτερα εκείνων που εξυπηρετούν την ύδρευση. Η άφιξη των ρυπαντών στο σημείο υδροληψίας εξαρτάται κυρίως από τις γεωλογικές, κλιματικές και υδραυλικές συνθήκες ανάμεσα στο σημείο ρύπανσης και στη θέση υδροληψίας. Ως εκ τούτου, το γενικό σχήμα των ζωνών προστασίας εξειδικεύεται κυρίως με βάση τις ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής. Στα καρστικά συστήματα, όπως το ευρύτερο λεκανοπέδιο Ιωαννίνων, επιβάλλεται να προστατευθούν όχι μόνο η υδροληψία αλλά και η περιοχή κύριας κατείσδυσης των μετεωρικών νερών στο καρστικό σύστημα.

Η υδρογεωλογική μελέτη κάλυψε ολόκληρο το υδρολογικό έτος. Οι έρευνες πεδίου περιέλαβαν όλο το φάσμα των παραμέτρων που υπεισέρχονται στους στόχους της συγκεκριμέ-

νης έρευνας. Διερευνήθηκαν τα γεωμορφολογικά, κλιματολογικά και λιθοστρωματογραφικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής, οι μορφοτεκτονικές και υδρογεωλογικές σχέσεις της περιοχής σε συνδυασμό με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων σχηματισμών, προσδιορίστηκε η υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι και η υπολεκάνη Κρύας, το υδρολογικό ισοζύγιο των υπόγειων νερών και οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες υγρής και ξηρής περιόδου του υδροφόρου Κρύας, τα χημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών Κρύας, κατασκευάστηκαν οι χάρτες ρυπογόνων εστιών της περιοχής Κρύας, και τέλος με βάση τα παραπάνω προσδιορίστηκαν οι ζώνες περιμετρικής προστασίας των υδροληψιών Κρύας.

Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων

Η ευρύτερη περιοχή του λεκανοπέδιου περιλαμβάνει τέσσερις γεωμορφολογικές ενότητες (Σχήμα 1):



Σχήμα 1. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων με την στρωματογραφική εξάπλωση των αλπικών και μεταλπικών σχηματισμών (οι αλπικοί σχηματισμοί είναι λιθολογικά ομαδοποιημένα). Στο χάρτη φαίνεται η αποξηρανθείσα λίμνη Λαψίστα (Καρακίτσιος 2005)

Figure 1. Simplified geologic map of the Ioannina plateau with the stratigraphic exposure of alpine and post-alpine formations (the alpine formations are lithological grouped), and the artificially drained Lapsista lake (Karakitsios 2005)

1) Τον ορεινό όγκο Μιτσικέλι. Παρουσιάζει το εντονότερο ανάγλυφο στην περιοχή μελέτης και περιβάλλει ΒΑ το λεκανοπέδιο. Αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από έντονα καρστικά φαινόμενα *2) Τον ορεινό όγκο του οροπεδίου Μαρμάρων*. Περιβάλλει από ΒΒΔ ως ΝΝΑ το λεκανοπέδιο. Παρουσιάζει ηπιότερο ανάγλυφο από το Μιτσικέλι, αποτελείται από ασβεστόλιθους οι οποίοι χαρακτηρίζονται επίσης από έντονα καρστικά φαινόμενα, *3) Τα ασβεστολιθικά υψώματα κατά μήκος του άξονα της λεκάνης* (Μεγάλο Γαρδίκι, Αγ. Τριάδα, Μπάφρα, Καστρίτσα, Μπιζάνι). Το υδρογραφικό δίκτυο των *ορεινών τμημάτων* αποτελείται από πλήθος χείμαρρους που ρέουν προς τα περιθώρια του λεκανοπέδιου αποθέτοντας αλλουβιακούς κώνους και κορήματα, *4) Την πεδινή έκταση της λεκάνης*, αποτελούμενη από αργιλοαμμώδεις λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις, η οποία διαχωρίζεται από τα προαναφερθέντα υψώματα σε δυο επιμήκεις υπολεκάνες. Το *πεδινό τμήμα* στερείται αναπτυγμένου φυσικού υδρογραφικού δικτύου. Κύρια υδρολογικά χαρακτηριστικά του αποτελούν σήμερα η λίμνη Παμβώτιδα και οι καρστικές πηγές των υπωρειών του Μιτσικέλι. Οι *φυσικές διεργασίες* και *ανθρώπινη επέμβαση (αποστραγγιστικά έργα)* έχουν διαμορφώσει μια υδρογεωλογική κατάσταση, όπου κύριοι αποδέκτες της λεκάνης απορροής είναι: α) Η *λίμνη Παμβώτιδα*, η οποία συγκεντρώνει τις απορροές του όρους Μιτσικέλι, των Λογγάδων, της

σήραγγας Λαγκάτσας και της τάφρου Κοτσελιού, β) Οι *καταβόθρες Μπάφρας, Πεδινής* και *Αυγού*, οι οποίες αποστραγγίζουν τις ΝΔ περιοχές του λεκανοπέδιου, γ) Η *καταβόθρα Λαψίστας* και κυρίως η *ομώνυμη σήραγγα*, οι οποίες συγκεντρώνουν την υπερχείλιση της λίμνης και την επιφανειακή απορροή του βόρειου τμήματος του λεκανοπέδιου, με τελικό αποδέκτη αποστράγγισης όλου του λεκανοπέδιου τον ποταμό Καλαμά.

Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής Κρύας Ιωαννίνων

Ευρύτερη περιοχή τροφοδοσίας των πηγών Κρύας αποτελεί το όρος Μιτσικέλι, στο οποίο δεν είναι εγκαταστημένος κανένας μετεωρολογικός σταθμός. Εντούτοις, τα στοιχεία των γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών Ιωαννίνων και Μετσόβου προσαρμοζόμενα επιτρέπουν την ικανοποιητική προσέγγιση των κλιματολογικών συνθηκών του όρους Μιτσικέλι και τη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου του. Ο σταθμός Ιωαννίνων, αντιπροσωπεύει τις μετεωρολογικές συνθήκες των δυτικών υπωρειών του όρους Μιτσικέλι, όπου εκδηλώνονται οι πηγές Κρύας, καθώς και ένα τμήμα των δυτικών του κλιτύων. Ο σταθμός Μετσόβου, αντιπροσωπεύει τα υψηλότερα τμήματα του όρους, τα οποία περιλαμβάνουν την έκταση του ασβεστολιθικού όρους από το υψόμετρο των κορυφών του (1800-1600 m) μέχρι το υψόμετρο των 1100 m, όπου αρχίζει η προς ΒΑ εξάπλωση του αδιαπέρατου φλύσχη. Αυτό το όριο μεταξύ ασβεστολίθων και φλύσχη, αποτελεί και το ΒΑ όριο τροφοδοσίας της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι. Οι εκτάσεις που ορίζονται με αυτόν τον τρόπο είναι περίπου ισοδύναμες και με ικανοποιητική προσέγγιση μπορούν να ληφθούν ως τιμές όλων των μετεωρολογικών παραμέτρων της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι, ο μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών των σταθμών Ιωαννίνων και Μετσόβου.

Για την βροχομετρική ανάλυση της ευρύτερης περιοχής Κρύας συλλέχθηκαν τα δεδομένα χρονοσειρών 55 ετών (1950-2004) από τους σταθμούς του *Πανεπιστημίου Ιωαννίνων*, στα Ιωάννινα και στο Μέτσοβο. Συμπληρωματικά, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας των βροχομετρικών δεδομένων της Ε.Μ.Υ. για την περίοδο 1951-2001. Αναλυτικά:

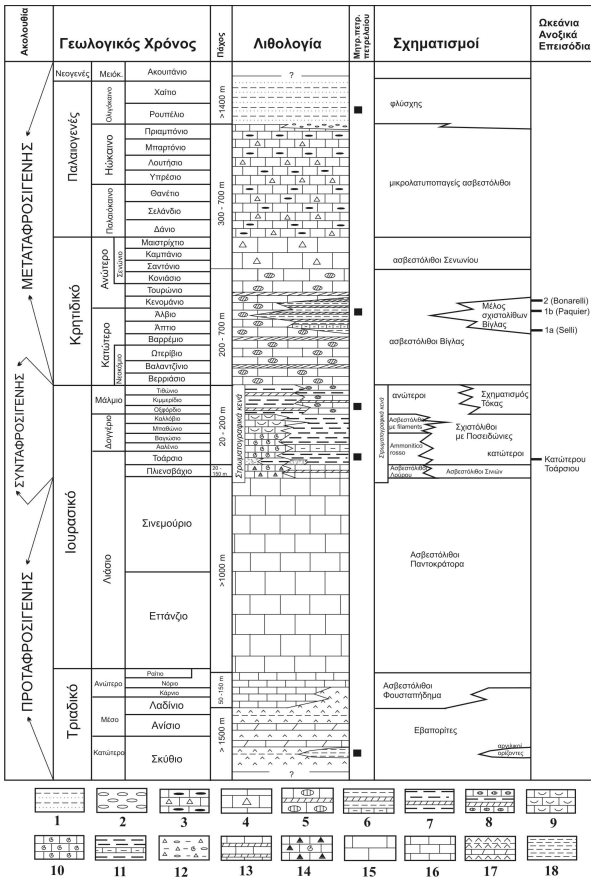
α) Σταθμός Ιωαννίνων. Βροχή. Συνδυάζοντας τα μέσα ετήσια ύψη βροχής Ιωαννίνων για το χρονικό διάστημα 1950-2004, προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των Ιωαννίνων, είναι *1090 mm*. Χιόνι. Ελάχιστο μόνο μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων πίπτει υπό μορφή στερεών υδροαποβλημάτων (χιόνι, χαλάζι). Οι ημέρες χιονιού ανά έτος κυμαίνονται μεταξύ 0.6 και 2.9 από το 1950 μέχρι σήμερα. Δηλαδή, η συμμετοχή του χιονιού στον υετό των Ιωαννίνων είναι αμελητέα και ως ύψος υετού των Ιωαννίνων θα θεωρηθεί το ύψος βροχής. Συνεπώς, ο *μέσος ετήσιος υετός Ιωαννίνων* για το διάστημα 1951-2004 είναι *1090 mm*. Θερμοκρασία αέρα. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων θερμοκρασίας για το διάστημα 1951-2004, προκύπτει ότι η *μέση ετήσια θερμοκρασία* είναι *14,31 ^oC*.

β) Σταθμός Μετσόβου Βροχή. Από τα δεδομένα του σταθμού Μετσόβου για το ίδιο διάστημα, προκύπτει ότι το *μέσο ετήσιο ύψος βροχής* είναι *1500 mm*. Χιόνι. Από τα δεδομένα της ίδιας χρονοσειράς, προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ισοδύναμο χιονιού (νερό από χιόνι) είναι 81,6 mm. Κατά συνέπεια για το διάστημα 1950-2004 το μέσο ύψος του υετού Μετσόβου γίνεται 1500 + 81,6 = 1581,6 mm. Επομένως, το *μέσο ύψος υετού* του ανώτερου τμήματος του όρους Μιτσικέλι είναι *1581,6 mm*, και το *μέσο ετήσιο ύψος υετού της περιοχής τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι είναι 1335,8 mm*, όπως προκύπτει από το μέσο όρο υετού Ιωαννίνων και Μετσόβου (1090 + 1581,6)/2.

Θερμοκρασία αέρα. Η μελέτη των διαγραμμάτων θερμοκρασίας του σταθμού Μετσόβου δίνει *μέση ετήσια θερμοκρασία* για το χρονικό διάστημα 1951-2004 τους *10,5 ^oC*. Συνεπώς, η *μέση ετήσια θερμοκρασία της περιοχής τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι είναι 12,4 ^oC*, όπως προκύπτει από το μέσο όρο θερμοκρασίας Ιωαννίνων και Μετσόβου (14,31 +10,5)/2.

Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ευρύτερης περιοχής Κρύας και υδρολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών (Σχήμα 2)

Υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής Κρύας. Το αποτελούν οι σχηματισμοί της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης (Σχήμα 2), η οποία αντιστοιχεί στο ανατολικό κράσπεδο της αλπικής λεκάνης ιζηματογένεσης. Οι σχηματισμοί παρουσιάζουν λιγότερο πελαγικό χαρακτήρα και μεγαλύτερα πάχη από τα ιζήματα της κεντρικής Ιόνιας σειράς, το μέτωπο της δολομιτίωσης φτάνει μέχρι και τους ασβεστόλιθους Βίγλας, οι λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι είναι συχνότεροι και η συμμετοχή του ψαμμιτικού χαρακτήρα του φλύσχη είναι εντονότερη. Αναλυτικά οι σχηματισμοί:
-*Τριαδικά λατυποπαγή*. Δεν εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή Κρύας, αλλά διαπιστώθηκαν υπεδαφικά από τη γεώτρηση της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού (ΜΒΚ, Σχήμα 7,9) από το βάθος των 1250 m μέχρι το τέλος της γεώτρησης στα 1523 m (Καρακίτσιος et al. 1994, Καρακίτσιος 2005). Τα λατυποπαγή δημιουργήθηκαν από διάλυση και κατάρρευση των υπεδαφικών εβαποριτών (Karakitsios and Pomoni-Papaioannou 1988). Η λατυποποίηση τους προσέδωσε *υψηλό πορώδες και διαπερατότητα*, σε αντίθεση με τους πρωτογενείς υπεδαφικούς εβαπορίτες, οι οποίοι είναι *αδιαπέρατοι*.



Σχήμα 2. Συνθετική στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας σειράς (Karakitsios 1995, τροποποιημένο). 1) άργιλοι και ψαμμίτες, 2) κροκαλοπαγή, 3) ασβεστόλιθοι (ορισμένες φορές μικρολατυποπαγείς) με σπάνιες πυριτικές ενδιαστρώσεις, 4) πελαγικοί ασβεστόλιθοι με κλαστικά στοιχεία πλατφόρμας, 5) πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πυριτόλιθους, 6) στρώματα πυριτολίθων με αργιλικές και μαργαϊκές ενδιαστρώσεις, 7) εναλλαγές στρωμάτων πυριτολίθων και αργίλων, 8) πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πυριτικούς κόνδυλους και μάργες. 9) πελαγικοί ασβεστόλιθοι με δίθυρα, 10) πελαγικοί κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες, 11) μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και φυλλώδεις μάργες, 12) κροκαλο-λατυποπαγή και μάργες με αμμωνίτες, 13) πελαγικοί ασβεστόλιθοι με σπάνιες πυριτικές ενδιαστρώσεις, 14) ασβεστόλιθοι εξωτερικής πλατφόρμας με βραχιονόποδα και μικρούς αμμωνίτες στο ανώτερο τμήμα τους, 15) ασβεστόλιθοι πλατφόρμας, 16) λεπτοπλακώδεις μαύροι ασβεστόλιθοι, 17) εβαπορίτες, 18) άργιλοι

Figure 2. Synthetic lithostratigraphic column of the Ionian zone (Karakitsios 1995, modified). 1: pelites and sandstones, 2: conglomerate, 3: limestones with rare cherty intercalations, occasionally microbreccious, 4: pelagic limestones with clastic calcareous intercalations, 5: pelagic limestones with cherts, 6: cherty beds with shale and marl intercalations, 7: alternating cherty and shale bends, 8: pelagic limestones with cherty nodules and marls, 9: pelagic limestones with Lamellibranches, 10: pelagic, nodular, red limestones with Ammonites, 11: marly limestones and laminated marls, 12: conglomerates-breccias and marls with Ammonites, 13: pelagic limestones with rare cherty intercalations, 14: external platform limestones with Brachiopods, and small Ammonites in the upper part, 15: platform limestones, 16: thin-bedded black limestones, 17: evaporites, 18: shale horizons.

-*Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα. (Κατώτερο Λιάσιο).* Νηριτικοί ασβεστόλιθοι πάχους μεγαλύτερου των 1000 m, έντονα καρστικοποιημένοι με *μεγάλη διαπερατότητα* και *υψηλό συντελεστή κατείσδυσης*. Ο σχηματισμός εξαπλώνεται επιφανειακά μόνο στα ΒΔ του όρους Μιτσικέλι, έχοντας αμεσότερη σχέση με τις εκδηλώσεις των πηγών Τούμπας παρά με εκείνες της Κρύας.
-*Ασβεστόλιθοι Σινιών/Λούρου (Μέσο Λιάσιο).* Πλακώδεις πελαγικοί/ημιπελαγικοί ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με αραιές διαστρώσεις πυριτολίθων. Το πάχος τους στο όρος Μιτσικέλι κυμαίνεται από 20 ως 50 m. Λόγω της παρουσίας των πυριτολίθων και του στρωσιγενούς του χαρακτήρα ο σχηματισμός αυτός χαρακτηρίζεται από *μέτρια περατότητα*.
-*Αδιαίρετοι σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες (Ανώτερο Λιάσιο - Μάλμιο).* Μαργαϊκός ως αργιλοπυριτικός σχηματισμός. Εμφανίζεται μόνο στα ΒΑ του όρους Μιτσικέλι με πάχη που κυμαί-

νονται από 20 ως 60 m. Αντίθετα στη γεώτρηση της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού παρουσιάζει πάχος μεγαλύτερο των 100 m (Καρακίτσιος et al. 1994). Οι σχιστόλιθοι είναι *αδιαπέρατοι* και αποτελούν φραγμό στην κατείσδυση των υπογείων υδάτων καθορίζοντας την υπόγεια κυκλοφορία τους. Η συμπεριφορά αυτή είναι εξόχως σημαντική για την κύρια μάζα του όρους, όπου οι σχιστόλιθοι βρίσκονται σε βαθιά υπεδαφικά επίπεδα καθορίζοντας τους κύριους υπεδαφικούς υδροκρίτες που διαχωρίζουν την υδρογεωλογική λεκάνη του όρους σε υπολεκάνες.

Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Κατώτερο Βερριάσιο-Κατώτερο Σενώνιο). Εναλλαγές λεπτοπλακωδών πελαγικών ασβεστολίθων και πυριτολίθων. Το πάχος τους στην περιοχή ξεπερνά τα 400 m. Στα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού διαφοροποιείται το *μέλος των σχιστολίθων Βίγλας*, πάχους από 15 ως 30 m, αποτελούμενο από εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και αργιλοπυριτικών στρωμάτων. Οι ασβεστόλιθοι Βίγλας εξαιτίας του λεπτοπλακώδους στρωσιγενούς χαρακτήρα τους και των πυριτικών διαστρώσεων παρουσιάζουν γενικά μέτρια διαπερατότητα, όμως *το μέλος των σχιστολίθων Βίγλας λόγω της σύστασής του είναι αδιαπέρατο*. Αποτελεί κατ' αυτό τον τρόπο τον δευτερεύοντα φραγμό κατείσδυσης των υπόγειων νερών και καθορίζει τους δευτερεύοντες υπεδαφικούς υδροκρίτες του ανώτερου υπεδαφικού επιπέδου της ασβεστολιθικής μάζας του όρους Μιτσικέλι.

Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Σενώνιου. Παχυστρωματώδεις λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι. Αποτέθηκαν σε πελαγικό περιβάλλον με μεγάλη όμως συμμετοχή μεταφερθέντων νηριτικών λατυπών από την παρακείμενη ανατολικά ζώνη Γαβρόβου. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαπερατότητα. Αποτελούν τον σχηματισμό που επικρατεί στις εμφανίσεις του όρους Μιτσικέλι και ιδιαίτερα στην περιοχή Κρύας. Το πάχος τους κυμαίνεται από 250 ως 300 m.

Ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινου-Ηώκαινου. Λεπτοπλακώδεις συχνά λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με σπάνιους πυριτόλιθους. Το πάχος τους στο Μιτσικέλι, όπου έχουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση ανέρχεται από 250 ως 400 m. Στην περιοχή Κρύας αποτελούν το υπόβαθρο όπου εδράζονται τα κορήματα της ίδιας περιοχής. Χαρακτηρίζονται από *σημαντική διαπερατότητα*.

Φλύσχης (Ολιγόκαινο). Ρυθμικές εναλλαγές πηλιτών, ιλυολίθων και ψαμμιτών με συνολικό πάχος μεγαλύτερο από 1500 m. Λόγω της λιθολογικής του σύστασης χαρακτηρίζεται ως *εξόχως αδιαπέρατος* σχηματισμός. Καλύπτει τις ΒΑ ασβεστολιθικές κλιτείς του όρους Μιτσικέλι και αποτελεί φραγμό στην υπόγεια κυκλοφορία των νερών του καρστικού συστήματος του όρους προς τα ανατολικά.

Αποθέσεις πεδινού τμήματος του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων (σχήμα 1). Το Πλειόκαινο απαντά στο νότιο τμήμα του λεκανοπέδιου και αποτελείται από λιμναίες αργιλικές άμμους. Το πάχος του κυμαίνεται από 50 ως 350 m (Καρακίτσιος 1994). Χαρακτηρίζεται συνολικά ως *αδιαπέρατος σχηματισμός*. Το Τεταρτογενές. Περιλαμβάνει: *α) Το Πλειστόκαινο*. Στη βάση άργιλοι και ακολουθούν εναλλαγές ασβεστολιθικών άμμων, χονδρόκοκκων άμμων και ρουδιτών με μικρό ποσοστό αργίλου. Οι εναλλαγές αντιστοιχούν σε περιοδικές λιμναίες αποθέσεις της Ανώτερης Βουρμιάς παγετώδους περιόδου. Η κατανομή του Πλειστόκαινου δείχνει ότι η λίμνη εκείνης της εποχής είχε μεγαλύτερη έκταση (υψηλότερη στάθμη κατά περίπου 2 m, (Σχήμα 1). Χαρακτηρίζεται συνολικά ως *αδιαπέρατος* σχηματισμός. *β) Το Ολόκαινο*. Αντιστοιχεί σε παλαιούς και πρόσφατους κώνους κορημάτων. Χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή διαπερατότητας και κατείσδυσης με μικρή επιφανειακή απορροή. Οι κώνοι κορημάτων καταλαμβάνουν σημαντική έκταση. στα χαμηλά τμήματα των δυτικών κλιτύων του όρους Μιτσικέλι.

Μορφοτεκτονικές και υδρογεωλογικές σχέσεις των σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής Κρύας - Υδρογεωλογικό καθεστώς

Η ευρύτερη περιοχή που σχετίζεται με το νερό τροφοδοσίας και υπόγειας υδρολογικής εξάρτησης των πηγών Κρύας, περιλαμβάνει όλη την ορεινή ζώνη του όρους Μιτσικέλι και το τμήμα του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων που αναπτύσσεται στις υπώρειές του.

Ορεινή ζώνη των πηγών Κρύας. Το όρος Μιτσικέλι εκτείνεται σε έναν επιμήκη άξονα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, σχηματίζοντας ένα αντίκλινο ανατολικής κατάκλισης με συνέπεια ο επικείμενος των ασβεστολίθων φλύσχης να βρίσκεται τεκτονικά υποκείμενος με ανεστραμμένη κλίση. Η τεκτονική δομή του όρους διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των πηγαίων εκδηλώσεων στο ΝΔ του τμήμα. Παράλληλα προς την κύρια αντικλινική δομή αναπτύσσονται εφιππεύσεις, ενώ εγκάρσια ως προς αυτή δευτερεύουσες κεκλιμένες ή ανεστραμένες πτυχώσεις. Οι παραπάνω δομές, που συνδέονται με τις συμπιεστικές φάσεις της αλπικής ορογένεσης, συνοδεύονται από κανονικά ρήγματα που δημιουργήθηκαν κατά τις μεταορογενετικές φάσεις εφελκυσμού. Τα ρήγματα αυτά διατάσσονται κατά δυο κύριες διευθύνσεις, μια παράλληλη προς τον άξονα του όρους και μια εγκάρσια ως προς αυτόν. Έτσι, το λεκανοπέδιο Ιωαννίνων καθώς και η εντός αυτού λίμνη δημιουργήθηκαν από τις εγκατακρημνίσεις που συνόδευσαν τη δράση αυτών των κανονικών ρηγμάτων. Το υψηλό πεδίο υδρομάστευσης και τροφοδοσίας των πηγών, που εκδηλώνονται στις δυτικές υπώρειες του όρους, παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του όρους μαζί με τα πλευρικά κορήματα στα δυτικά πρανή του, αποτελούν ενιαίο υδρογεωλογικό σύστημα. Τα αδιαπέρατα ιζήματα του φλύσχη, λόγω της στρωματογραφικής και τεκτονικής τους θέσης στα ανατολικά της υδρογεωλογικής ενότητας του όρους Μιτσικέλι, *αποτελούν φραγμό στην κίνηση του νερού* και κατευθύνουν την καρστική κυκλοφορία κυρίως προς τα δυτικά, διαμορφώνοντας καθοριστικά τους υπόγειους υδροφορείς του όρους Μιτσικέλι. Οι προς το λεκανοπέδιο Ιωαννίνων κλιτύες του όρους καλυπτόμενες ολοσχερώς από ασβεστόλιθους παρουσιάζουν χαρακτηριστική γωνιώδη μορφολογία. Η κλίση των πρανών ελαττώνεται στα κατώτερα τμήματα του όρους, λόγω της ανάπτυξης σημαντικών κώνων κορημάτων, που αποτελούν προϊόντα απόθεσης ενός παλαιού, σημαντικής εντάσεως, χειμαρρώδους καθεστώτος. Λόγω του υψηλού βαθμού αποκάρστωσης των ασβεστολίθων η κατείσδυση των μετεωρικών κατακρημνισμάτων είναι σημαντική. Εκτός από τις διακλάσεις μέσω των οποίων το νερό κατεισδύει, έχει αναπτυχθεί επιπλέον ένα σημαντικό δίκτυο καρστικών αγωγών με διαστάσεις από ορισμένα μέτρα ως ολίγα χιλιοστά. Παράλληλα, παρατηρείται ποικιλία από άλλες καρστικές μορφές, όπως σπήλαια, πόλγες, κοιλώματα, καρστικά φρέατα, δολίνες, ουβάλες, κλπ. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η πόλγη Αγίας Παρασκευής πάνω από την περιοχή των πηγών Κρύας. Το υψίπεδο αυτό, σε υψόμετρο 1380-1390 m, που δημιουργήθηκε από τη συνδυασμένη δράση διάβρωσης και τεκτονικής, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη φυσική διευθέτηση της ροής του υπόγειου νερού και τη τροφοδοσία των πηγών Κρύας. Η πόλγη είναι αποτέλεσμα εξελιγμένου κάρστ με τάση μορφολογικής ισοπέδωσης (οι δολίνες συνενώθηκαν σχηματίζοντας ουβάλες, η συνένωση των οποίων δημιούργησε τη σημερινή πόλγη). Αμιγείς δολίνες συναντώνται μόνο στα περιθώρια της πόλγης, όπου οι παράγοντες ισοπέδωσης είναι ασθενέστεροι. Αρκετές δολίνες παρατηρούνται και εκτός της πόλγης (προς ΝΔ). Η πόλγη με το υψηλό ποσοστό των υπογείων διακένων, δημιουργεί ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες για τη μετακίνηση του νερού που κατεισδύει, συμβάλλοντας στην παρουσία της ζώνης των πηγών Κρύας στα κατάντη της πόλγης. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η παρουσία των κώνων κορημάτων του όρους. Εντοπίζονται στα χαμηλά τμήματα των ΝΔ κλιτύων του και καταλαμβάνουν σημαντική έκταση. Οι κώνοι ξεκινούν από ρίζες εντός χαραδρώσεων του ασβεστολιθικού αναγλύφου και όταν φτάνουν στα μεταλπικά ιζήματα του λεκανοπέδιου βυθίζονται κάτω από αυτά, όπου και αποσβένονται πλευρικά υπό μορφή γλωσσών. Η παρουσία των κώνων στα ανάντη των πηγών Κρύας έχει μεγάλη υδρογεωλογική σημασία, *διότι συμβάλλει στην ομογενοποίηση της υπόγειας υδάτινης ροής* (βλ. παρακάτω).

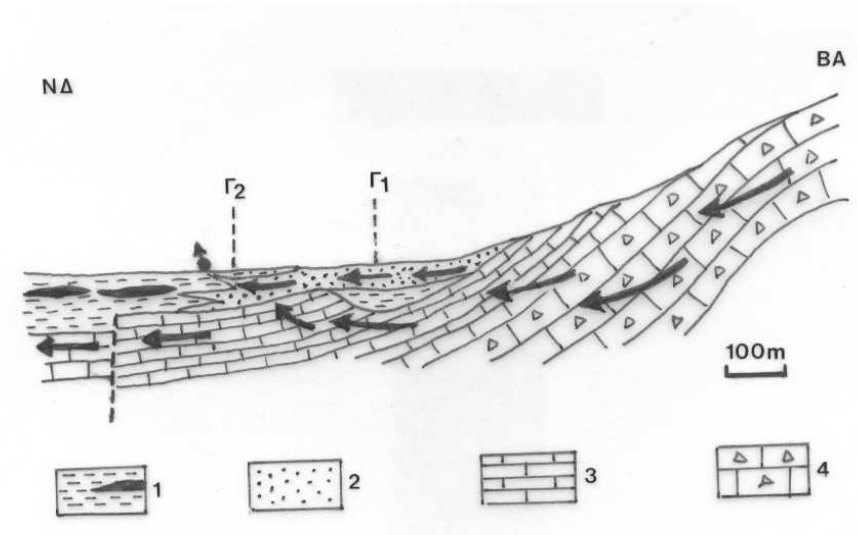
Πεδινή ζώνη των πηγών Κρύας. Αποτελείται από αργιλο-ιλυολιθικές αποθέσεις με ψαμμιτικές διαστρώσεις σε βαθύτερους ορίζοντες. Ένας σχετικά μικρής σημασίας φρεάτιος ορίζοντας αναπτύσσεται εντός των αμμωδών ενδιαστρώσεων, παρότι οι συνολικές αποθέσεις συμπεριφέρονται ως αδιαπέρατη ενότητα. Οι ενδιαστρώσεις αυτές παρατηρούνται στα πρανή των αποστραγγιστικών τάφρων του λεκανοπεδίου, συναντήθηκαν δε και σε πολλές γεωτρήσεις.

Στις παρυφές του λεκανοπεδίου έρχονται σε πλευρική επαφή με τους υδροφόρους και πολύ υδροπερατούς κώνους κορημάτων και ως εκ τούτου δέχονται μεταγγίσεις νερού. Οι μεταγγίσεις νερού εντός των αποθέσεων του λεκανοπεδίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: 1) Μεταγγίσεις στους ανώτερους περατούς ορίζοντες των αποθέσεων. Είναι οι σημαντικότερες, δεδομένου ότι αυτοί οι ορίζοντες εμφανίζονται στην επιφάνεια εντός των εκσκαφών των τάφρων και αποστραγγίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα των παρυφών του λεκανοπέδιου. Έτσι, επέρχεται μια ορισμένη ταπείνωση του υδροφόρου του όρους Μιτσικέλι. Η εκφόρτιση, λόγω αυτών των μεταγγίσεων, είναι διάχυτη και τοπικά μόνο παρουσιάζονται μικρές πηγές εντός των τάφρων. Οι παροχές τους είναι μικρές και μόνο στη συνολική έκταση αποστράγγισης μπορούν, ως σύνολο, να θεωρηθούν αξιόλογες. Επιπλέον, μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από το μέτωπο των κορημάτων, λόγω των αναπτυσσόμενων τριβών, κατά την υπόγεια κίνηση του νερού, εξ αιτίας της μικρής υδροπερατότητας των ιλυωδών οριζόντων. Η κίνηση αυτή μπορεί να είναι και αμφίδρομη, όταν ο υδροφόρος των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι ταπεινώνεται, λόγω υπεράντλησης ή σχετικά πτωχού υδρολογικού έτους. Στη περίπτωση αυτή υπάρχει κίνδυνος να μολυνθεί ο υδροφόρος των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι από τα νερά των τάφρων. Κατά συνέπεια, η στεγανοποίηση των τοιχωμάτων των τάφρων αποτρέπει τόσο αυτές τις μεταγγίσεις, όσο και τη μόλυνση του υδροφόρου των υπωρειών από τις τάφρους. 2) Μεταγγίσεις στους κατώτερους περατούς ορίζοντες των αποθέσεων. Οι μεταγγίσεις αυτές, στους ενδιαστρωμένους εντός αργίλων ορίζοντες, οι οποίοι δεν έχουν επιπλέον διέξοδο προς την επιφάνεια, βρίσκονται σε στατική κατάσταση μη δυνάμενοι να δεχθούν επιπλέον μεταγγίσεις, λόγω αδυναμίας εκφόρτισης του περιεχομένου σε αυτούς νερού. Επιπλέον, η διαπερατότητά τους μειώνεται εξαιτίας της λιθοστατικής πίεσης που εξασκούν οι υπερκείμενοι σχηματισμοί. 3) Μεταγγίσεις στη ζώνη μετάβασης, μεταξύ κώνων κορημάτων και αποθέσεων του λεκανοπεδίου. Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στα ακραία τμήματα των κώνων κορημάτων. Αποτελείται από υλικά προερχόμενα τόσο από τα κορήματα, όσο και από τα αργιλικά ιζήματα της λεκάνης και συνεπώς χαρακτηρίζεται από αξιόλογη διαπερατότητα. Η ζώνη αυτή εντάσσεται πρακτικά στην ενιαία υδρογεωλογική ενότητα του όρους Μιτσικέλι.

Υ*δρογεωλογικό καθεστώς του καρστικού συστήματος του όρους Μιτσικέλι*. Καθορίζεται από το ότι αποτελείται αποκλειστικά από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι, μαζί με τα πλευρικά κορήματα στα πρανή του, αποτελούν ενιαίο υδρογεωλογικό σύστημα. Τα αδιαπέρατα ιζήματα του φλύσχη, λόγω της στρωματογραφικής και τεκτονικής τους θέσης στα ανατολικά της υδρογεωλογικής ενότητας του όρους Μιτσικέλι δεν επιτρέπουν την καρστική κυκλοφορία παρά μόνο προς τα δυτικά, διαμορφώνοντας καθοριστικά τους υπόγειους υδροφορείς του όρους. Οι αργιλο-ιλυολιθικές υδατοστεγανές αποθέσεις του λεκανοπέδιου βοηθούν την αποθήκευση νερού στο υδρογεωλογικό αυτό σύστημα, το οποίο εκτονώνεται μέσω των πηγών των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι στο λεκανοπέδιο και τη λίμνη Ιωαννίνων.

Υδρογεωλογικό καθεστώς πηγών Κρύας. Η πηγή Κρύας αναβλύζει σε υψόμετρο 469,73 μέτρα στην επαφή κορημάτων και αργιλωδών αποθέσεων του λεκανοπέδιου. Η ανάβλυση είναι διάσπαρτη σε ένα μέτωπο μήκους περίπου 50 μέτρων, καθώς και σε πλήθος άλλων σημείων, όπου το νερό εκφορτίζεται, είτε με ανοδικές πηγές στη κοίτη των υδρορευμάτων που σχηματίζουν οι κύριες αναβλύσεις, είτε με διάχυτες εκφορτίσεις. Οι γεωτρήσεις στην περιοχή των εκφορτίσεων δείχνουν ότι το καρστικό ασβεστολιθικό υπόβαθρο παρουσιάζει ταπείνωση, η οποία είναι πληρωμένη με κορήματα που καλύπτονται από τις αργιλικές αποθέσεις του λεκανοπέδιου (Σχήμα 3). Οι κώνοι κορημάτων που εντάχθηκαν σε πρώτη προσέγγιση στην υδρογεωλογική ενότητα των ασβεστολίθων του όρους, αποτελούν στην πραγματικότητα ξεχωριστή ενότητα, γιατί η υδροπερατότητά τους εξασφαλίζεται μέσω του πορώδους και όχι μέσω ρωγμών ή καρστικών αγωγών. Έτσι, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στη βάση του όρους, αναπτύσσεται στα ανώτερά του τμήματα εντός των κορημάτων, στα οποία το νερό εισέρχεται με μεταγγίσεις από τους υποκείμενους ασβεστόλιθους. Αυτό έχει ως συνέπεια την ομογενοποίηση από άποψη εξάπλωσης (όχι παροχής) της καρστικής υδροφορίας, λόγω της ύπαρξης

του πρωτογενούς πορώδους εντός του υδροφορέα. Συνεπώς, από τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, όπου το νερό διακινούνταν ετερογενώς στο σύστημα των ασυνεχειών του πετρώματος που συχνά δεν συγκοινωνούσαν μεταξύ τους, μεταπίπτουμε σε έναν ομοιογενή υδροφόρο ορίζοντα, που λόγω πορώδους παρουσιάζει σαφή υδροστατική. Ως εκ τούτου, από το σημείο των πηγαίων εκφορτίσεων όπου αρχίζει η κάλυψη των κορημάτων από τις αργιλικές αποθέσεις του λεκανοπέδιου, ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται <u>*υπό πίεση*</u> με οροφή τη βάση των αργιλικών αποθέσεων. Η κίνηση του νερού εντός του πορώδους των κώνων κορημάτων είναι βραδεία και η ροή του προς τα υδροληπτικά έργα γραμμική. Τα παραπάνω δημιουργούν πολύ ευνοϊκές συνθήκες για την επιλογή της θέσης εκτέλεσης των υδροληπτικών έργων. Εφόσον αυτά εκτελεσθούν πάνω από τα κορήματα δεν υπάρχει κίνδυνος να αποβούν στείρα (όπως θα μπορούσε να συμβεί με την ετερογενή υδροφορία των ασβεστολίθων). Στον ιδιόκτητο χώρο της Δ.Ε.Υ.Α. Ιωαννίνων είναι εγκαταστημένες σήμερα 8 υδροληπτικές γεωτρήσεις και συνολικά αντλούνται περίπου 10.10^6 m^3/έτος. Αποτέλεσμα αυτών των απολήψεων είναι η αναρρύθμιση της λειτουργίας των πηγών Κρύας. Έτσι, η δίαιτά τους παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, όπου αρκετές φορές δεν αναβλύζουν γιατί η πιεζομετρική στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατέρχεται κάτω από τη στάθμη της υπερχείλισης. Συμπερασματικά, από την άποψη του μηχανισμού λειτουργίας η φυσική πηγή Κρύας στο σύνολό της μπορεί να χαρακτηρισθεί ως *πηγή επαφής-υπερχείλισης*.



Σχήμα 3. Γεωλογική τομή πηγών Κρύας. Τα βέλη δείχνουν τη ροή του υπόγειου νερού. (Γ1, Γ2 γεωτρήσεις Γεωέρευνας 1974). 1: αργιλικές αποθέσεις, 2: κορήματα, 3: ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου – Παλαιοκαίνου, 4: ασβεστόλιθοι Σενωνίου.

Figure 3. Geological section of the Krya springs. The arrows indicate the groundwater flow (Γ1, Γ2 wells of Georesearch 1974). 1: shale deposits, 2: Talus breccia, 3. Eocene-Paleocene limestones, 4. Senonian limestones.

Από τις παρατηρήσεις των μέσων μηνιαίων τιμών του ύψους υετού της υδρολογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι και της αντίστοιχης μέσης στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα Κρύας, προκύπτει ότι η υστέρηση μεταξύ *πεδίου τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι και εκφορτίσεως στην Κρύα* είναι και για τις δυο στάθμες (μέγιστη και ελάχιστη) της τάξης των 2 ως 3 μηνών. Αν λάβουμε υπόψη την έκταση του πεδίου τροφοδοσίας η υστέρηση αυτή αντιστοιχεί σε ταχύτητα κίνησης του υπογείου ύδατος περίπου 10 m/h. Επίσης, όπως προκύπτει από τη σύγκριση των πιεζομετρικών χαρτών της Υδροέρευνας (1974) και της παρούσας μελέτης, η στάθμη του υδροφόρου Κρύας στη διάρκεια των 30 τελευταίων ετών δεν έχει υποστεί την παραμικρή ταπείνωση.

Καθορισμός της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικελι (Μ) και διάκριση της υδρογεωλογικής υπολεκάνης Κρύας (M_K)

Το καρστικό σύστημα του όρους Μιτσικέλι εκφορτίζεται στο λεκανοπέδιο Ιωαννίνων με την εκδήλωση δυο κύριων υδροφοριών: α) Την υδροφορία στις ΝΔ υπώρειες του όρους Μιτσικέλι, η οποία εκδηλώνεται με τη μετωπική εκφόρτιση των υπόγειων νερών, με κύρια πηγή εκείνη της Κρύας και β) Την υδροφορία που σχετίζεται με το βόρειο τμήμα του λεκανοπέδιου (περιοχή Λαψίστας) με κύρια εκδήλωση τις πηγές Τούμπας. Αυτές οι δυο κύριες υδροφορίες ορίζουν αντίστοιχα και τις δυο κύριες υδρογεωλογικές ενότητες του όρους Μιτσικέλι: τη *Νότια* και τη *Βόρεια*. Από τις δυο αυτές ενότητες μας ενδιαφέρει η πρώτη (Νότια), η οποία θα αναφέρεται στο εξής ως υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι και *θα συμβολίζεται ως Μ*. Αντίθετα, η βόρεια θα αναφέρεται ως λεκάνη Λαψίστας και θα συμβολίζεται ως *Μλ*. Η υδρογεωλογική ενότητα του όρους Μιτσικέλι (*Μ*) έχει παντού σαφή επιφανειακά όρια, εκτός από την ΒΔ πλευρά της, όπου συνεχίζει να επεκτείνεται κατά την ίδια διεύθυνση με το όρος Μιτσικέλι (προς ΒΔ). Ως ΒΔ όριο της υδρογεωλογικής λεκάνης Μιτσικέλι μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση η υδροκριτική γραμμή που τη διαχωρίζει από την υδρολογική λεκάνη Λαψίστας, (σχήμα 4). Το σφάλμα που προκύπτει από αυτή την παραδοχή είναι ασήμαντο, γιατί η διακίνηση του υπόγειου νερού γίνεται κατά διεύθυνση εγκάρσια με τον άξονα του όρους, δηλαδή παράλληλα με την υδροκριτική γραμμή που διαχωρίζει τις δυο υδρολογικές λεκάνες. Επιπλέον, η υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι (*Μ*) που διαμορφώνεται με αυτό τον τρόπο έχει επαρκώς μεγάλη έκταση ώστε να αντισταθμίζει ικανοποιητικά το ενδεχόμενο σφάλμα που μπορεί να προέρχεται από τη μη σύμπτωση της υδροκριτικής γραμμής μεταξύ των δυο υδρολογικών λεκανών (Μιτσικέλι και Λαψίστας) με την αντίστοιχη υπόγεια υδροκριτική γραμμή των δυο υδρογεωλογικών λεκανών. Η υδρογεωλογική ενότητα του όρους Μιτσικέλι, που εκφορτίζεται στις ΝΔ υπώρειες του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων όπως καθορίστηκε *έχει έκταση περίπου 75 km*^{2}. Το πεδίο τροφοδοσίας της δεν συμπίπτει, ως συνήθως στα καρστικά συστήματα, με την αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη, της οποίας τα ανώτερα όρια προσδιορίζονται από την κορυφογραμμή (υδροκρίτη) του όρους (Σχήμα 4). Η υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι, που προσδιορίζεται από τα επιφανειακά όρια εξάπλωσης των ασβεστολίθων του όρους Μιτσικέλι, είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη υδρολογική, γιατί στην τροφοδοσία των πηγών του μετώπου των ΝΔ υπωρειών του όρους συμβάλλουν και τα ανώτερα τμήματα των αντίθετων (προς την υδρολογική λεκάνη Ζαγορίων) κατερχόμενων ΒΑ κλιτύων του όρους τα οποία αποτελούνται από ασβεστόλιθους. Η καθαυτό *υδρογεωλογική λεκάνη Κρύας*, δηλαδή το τμήμα εκείνο της υδρογεωλογικής ενότητας του όρους Μιτσικέλι που τροφοδοτεί τις πηγές Κρύας και τις εγγύς προς αυτές δευτερεύουσες πηγές, μπορεί να καθορισθεί επακριβώς αν προσδιορισθεί η γεωμετρία *του επιπέδου βάσης της καρστικής διάβρωσης* στην ευρύτερη περιοχή Κρύας. Για τον προσδιορισμό λήφθηκαν υπόψη τα εξής: Στο Μιτσικέλι, υπάρχουν δυο αδιαπέρατοι σχηματισμοί της Ιόνιας σειράς που παίζουν το ρόλο του επιπέδου βάσης της καρστικής διάβρωσης των ασβεστολίθων του όρους. Ο πρώτος είναι βαθύτερος και αντιστοιχεί στους αδιαίρετους σχιστόλιθους με Ποσειδώνιες, ενώ ο δεύτερος στους σχιστόλιθους Βίγλας. Δεδομένου ότι ο πρώτος παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερα πάχη από τον δεύτερο, μπορεί να θεωρηθεί ως το κύριο επίπεδο βάσης, ενώ ο δεύτερος ως το δευτερεύον. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μέτωπο της εκφόρτισης των πηγών των ΝΔ υπωρειών του όρους Μιτσικέλι βρίσκεται σε ένα μέσο υψόμετρο 470 μέτρων και ότι ο υδροφόρος δεν ταπεινώνεται κάτω των 467 μέτρων, συνεπάγεται ότι μόνο όταν οι οροφές των υπεδαφικών υδροκριτών απαντώνται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 470 μέτρα μπορούν να λειτουργήσουν ως υδροκρίτες για την κίνηση του υπόγειου νερού που τροφοδοτεί τις πηγές των ΝΔ υπωρειών του όρους. Μάλιστα, ο ανώτερος υπεδαφικός υδροκρίτης μερικές φορές τέμνει την τοπογραφική επιφάνεια του όρους και ως εκ τούτου κατευθύνει τα κατεισδύοντα ύδατα ξανά στην ασβεστολιθική επιφάνεια του όρους και τότε, σε τοπική κλίμακα, δεν λειτουργεί ούτε ως δευτερεύον επίπεδο βάσης. Αντίθετα, ο κατώτερος κύριος υπεδαφικός υδροκρίτης ανα-

πτύσσεται μόνο υπεδαφικά, στην κλίμακα της περιοχής, και ως εκ τούτου αποτελεί το κύριο επίπεδο βάσης της καρστικής διάβρωσης των ασβεστολίθων του όρους Μιτσικέλι.
Με βάση μεγάλο αριθμό γεωλογικών τομών, σχεδόν παράλληλων προς τον άξονα της κύριας αντικλινικής δομής του όρους Μιτσικέλι, προέκυψαν οι υπεδαφικοί υδροκρίτες, τους οποίους καθορίζει η υπεδαφική τοπογραφία της ανώτερης επιφάνειας των αδιαίρετων σχιστολίθων με Ποσειδώνιες καθώς και της ανώτερης επιφάνειας των σχιστολίθων Βίγλας (σχήμα 4). Αυτός ο συνδυασμός των υπεδαφικών υδροκριτών επιτρέπει να καθορισθεί η καθαυτό *υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας* (*Μκ*), η οποία *έχει έκταση περίπου 27 km*^{2} (Σχήμα 4). Οι παραπάνω υπεδαφικοί υδροκρίτες προσδιορίζουν την υπόγεια καρστική ροή μόνο όταν βρίσκονται πάνω από το υψόμετρο των 470 μέτρων, που αποτελεί το επίπεδο εκτόνωσης των πηγών των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι. Το επίπεδο αυτό αποτελεί όπως προαναφέρθηκε και το τοπικό επίπεδο βάσης της καρστικοποίησης. Παρατηρείται λοιπόν (Σχήμα 4) ότι σε μια ζώνη εύρους περίπου 1000 m, παράλληλη προς το μέτωπο των εκφορτίσεων των πηγών, οι υπεδαφικοί υδροκρίτες, βρίσκονται κάτω από το επίπεδο των 470 m,. Στη ζώνη αυτή ο υδροφόρος ορίζοντας των υπωρειών του όρους γίνεται ενιαίος. Η ζώνη αυτή έχει καθοριστική σημασία, γιατί οι αντλήσεις νερού εντός της, θα προκαλούν πλευρικές μεταγγίσεις από τις εκατέρωθεν περιοχές για να επιτευχθεί η ισοστάθμιση του υδροφόρου. Κατά συνέπεια, η ανθρώπινη δραστηριότητα, που λαμβάνει χώρα στη ζώνη του ενιαίου υδροφόρου, επηρεάζει την ποιότητα του υπόγειου ύδατος, που αντλείται από τις υδροληψίες Κρύας. *Η ζώνη αυτή πρέπει να προστατευτεί από ρυπογόνες εστίες, ακόμη κι αν αυτές βρίσκονται αρκετά μακριά από τις υδροληψίες Κρύας.*

Σύνταξη υδρολογικού ισοζυγίου της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικελι (Μ) και της υδρογεωλογικής υπολεκάνης Κρύας ($M_κ$) - Υπολογισμός ποσότητας νερών κατείσδυσης

Το γενικό ετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο της υδρογεωλογικής ενότητας του όρους Μιτσικέλι δίδεται από τον τύπο:

$P = E + R + K \pm \Delta W$

Όπου: P ο ετήσιος όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, E ο ετήσιος όγκος του νερού που καταναλώνεται ως εξατμισιδιαπνοή, R ο ετήσιος όγκος των επιφανειακά απορρεόντων υδάτων, K ο ετήσιος όγκος του κατεισδύοντος ύδατος, ΔW η ετήσια μεταβολή του όγκου των υπόγειων αποθεμάτων νερού. (η ποσότητα αυτή στην προκειμένη περίπτωση θα ληφθεί ΔW = 0). Μετά από υπολογισμούς[1] προκύπτει ότι:

---

[1] *α) Υετός:* Από την κλιματολογική ανάλυση έχει υπολογιστεί ότι το μέσο ετήσιο ύψος υετού του πεδίο τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι είναι1335,8 mm.

β) Εξατμισιδιαπνοή: Εφαρμόζοντας τον εμπειρικό τύπο του Turc προκύπτει ότι η ετήσια εξατμισιδιαπνοή σε χιλιοστά είναι:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

όπου: P το ετήσιο ύψος υετού σε mm και $L = 300 + 25T + 0{,}05T^3$, όπου T η μέση ετήσια θερμοκρασία σε ^oC

Η μέση θερμοκρασία του πεδίου τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι εκτιμήθηκε σε 12,4 ^oC (βλ. προηγουμένως), ως εκ τούτου από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι:

$E = 1335{,}8 / \{0{,}9 + [1335{,}8^2/(300 + 25 \times 12{,}4 + 0{,}05 \times 12{,}4^3)^2\}^{1/2} = 1335{,}8 / 2{,}1181863 = 630{,}63$ mm.

Επομένως για το μέσο έτος E = 630,63 mm και ***συντελεστής εξατμισιδιαπνοής (Ε) = 47,21%*** *του υετού του έτους* [(630,63/1335,8) x 100]

γ) Απορροή: Στην υδρολογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι, λόγω του έντονου καρστικού χαρακτήρα των ασβεστολίθων, η επιφανειακή απορροή είναι αμελητέα (ακόμη και στις περιπτώσεις έντονων και μακρών βροχοπτώσεων το στιγμιαία απορρέον νερό στις κλιτύες του όρους δεν καταλήγει στην βάση του όρους, καθότι διηθείται είτε εντός των ασβεστολίθων, είτε εντός των κώνων κορημάτων των υπωρειών). Ως εκ τούτου κρίνεται επαρκές να ληφθεί ως ***συντελεστής απορροής (R) = 1%*** *του υετού του έτους.*

δ) Υπολογισμός της ποσότητας των νερών κατείσδυσης

Συντελεστής εξατμισιδιαπνοής (Ε) = 47,21%, *συντελεστής απορροής (R) = 1%* και *συντελεστής κατείσδυσης (Κ)= 51,8%* *του υετού του έτους*

Η ετήσια συνολική ποσότητα των νερών που κατεισδύουν στην *υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι* (*Μ*) ανέρχεται σε: $51,9 \times 10^6\ m^3$ νερού, στην δε *υπολεκάνη Κρύας* (*Μκ*) σε: $18,68 \times 10^6\ m^3$ νερού.

Είναι καταφανές ότι η υδροφορία των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι, προς το λεκανοπέδιο Ιωαννίνων, υπολογιζόμενη σε όλο το μέτωπό της, υπερκαλύπτει την υδροδότηση της πόλης των Ιωαννίνων, δεδομένου ότι, κάτω από τις σημερινές ανάγκες, αλλά και τις προβλεπόμενες

Η ποσότητα των νερών που κατεισδύουν υπολογίζεται από την διαφορά των λοιπών παραγόντων του ισοζυγίου, ανά μονάδα επιφανείας, ως: *Κ= Π – (Ε+R) ή Κ= 1335,8 – (0,4721 + 0,01) x 1335,8 ή Κ= (0,518) x 1335,8,* δηλαδή ***συντελεστής κατείσδυσης (Κ)= 51,8%*** *του μέσου ετήσιου υετού*

Η ετήσια συνολική ποσότητα των νερών που κατεισδύουν στην *υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι* (*Μ* έκτασης ~ 75 km^2) ανέρχεται σε: K_M= (0,518 x 1,3358) x 75 x 10^6 = $51,9 \times 10^6\ m^3$ νερού. Στην *υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας* (*Μκ* έκτασης ~ 27 km^2) ανέρχεται σε: $K_{Mκ}$= (0,518 x 1,3358) x 27 x 10^6 = $18,68 \times 10^6\ m^3$ νερού. Η ποσότητα νερού κατείσδυσης που υπολογίστηκε προηγουμένως εισέρχεται στο ισοζύγιο των υπόγειων νερών, συνεπώς ισχύει:

Εισροές σε υδρογεωλογική λεκάνη = Εκροές από υδρογεωλογική λεκάνη

Τις εισροές στην υδρογεωλογική λεκάνη αποτελούν:

- Κ: η ποσότητα των νερών κατείσδυσης από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που ήδη υπολογίστηκε.
- Q_1: Πλευρικές υπόγειες αφίξεις από γειτονικές υδρογεωλογικές λεκάνες.
- Q_2: Διαφυγές επιφανειακών νερών (ποταμοί, λίμνες) προς την υπόγεια υδροφορία.
- Q_3: Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων νερών (από ανθρώπινη επέμβαση).

Τις εκροές από την υδρογεωλογική λεκάνη, αποτελούν:

- Ε΄: Εξατμισιδιαπνοή κατά τη διήθηση της ποσότητας νερού που κατεισδύει.
- q_1: Υπόγειες εκροές από την υδρογεωλογική λεκάνη.
- q_2: Εκφορτίσεις στην επιφάνεια (συνήθως πηγές, εν προκειμένου μέτωπο πηγών όρους Μιτσικέλι).
- q_3: Απολήξεις υπογείων νερών, λόγω εκμετάλλευσης της υδροφορίας (φρέατα, γεωτρήσεις, αντλήσεις).
- δw: Μεταβολή όγκου υπογείων αποθεμάτων νερού.

Για τις παραπάνω ποσότητες ισχύουν:

- Κ: Υπολογίστηκε προηγουμένως.
- Q_1: Πλευρικές αφίξεις, οι οποίες είναι δυνατόν να προέρχονται από την προς ΒΔ συνέχεια της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι. Αυτές, όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατόν είτε να θεωρηθούν αμελητέες στην συνολική έκταση των 75km^2 της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους, είτε να ισοσταθμίζονται από αντίστοιχες διαφυγές νερού, από την ίδια λεκάνη προς τη ΒΔ συνέχειά της.
- Q_2: Οι μόνες δυνατές εισροές από επιφανειακά ύδατα είναι ενδεχόμενο να προέρχονται από τη λίμνη Παμβώτιδα. Όμως, είναι τοπικές (π.χ. εσταβέλλα Ντραμπάντοβας) και περιορισμένης διάρκειας. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση (Q_1) δε θα ληφθούν υπόψη, διατηρώντας ένα συντελεστή ασφαλείας στη διατύπωση του τελικού ισοζυγίου.
- Q_3: Δεν υφίσταται καμία τέτοια εισροή.
- Ε΄: Λόγω της ταχύτατης κατείσδυσης του νερού στα καρστικά διάκενα, η Ε΄ θεωρείται μηδενική.
- q_1: Ποσότητες νερού που εκρέουν υπόγεια από τις ζώνες πηγαίων εκφορτίσεων του όρους Μιτσικέλι.

  Κατά συνέπεια το ισοζύγιο λαμβάνει τη μορφή:

  $$K = q_1 + q_2 + q_3 \pm \delta w$$

Η ποσότητα του εκμεταλλευόμενου με άντληση νερού (q_3), προέρχεται αποκλειστικά από τις υδροληψίες Κρύας και αντιστοιχεί σε $q_3 = 10,03 \times 10^6\ m^3$/έτος. Επομένως για ένα μέσο υδρολογικό έτος ισχύει:

$$51,8 \times 10^6 = q_1 + q_2 + 10,03 \times 10^6 \pm \delta w$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα, τα οποία αφορούν στο σημερινό και μελλοντικό καθεστώς ύδρευσης της πόλης των Ιωαννίνων:

1) Εφόσον η αντλούμενη ποσότητα νερού είναι μικρότερη της εισερχόμενης, στην υδροφορία της βάσης του όρους Μιτσικέλι, συνεπάγεται ότι δw = 0. Δηλαδή δεν υφίσταται μείωση των αποθεμάτων, λόγω υπερεκμετάλλευσης. 2) Υπάρχει πάντα μια περίσσεια νερού, η οποία αντιστοιχεί α) στην:ποσότητα q_2 , δηλαδή στις παροχές των υφιστάμενων πηγών του μετώπου (Κρύας, Σαντινίκου, Μπλίτς, Ντραμπάντοβας), β) στην ποσότητα q_1, δηλαδή οι ποσότητες, οι οποίες αποστραγγίζονται υπόγεια προς τις τάφρους αποστράγγισης του λεκανοπέδιου, μέσω των ενδιαστρώσεων αμμούχου ιλύος αυτού. Επίσης, πιθανές πλευρικές υπόγειες διαφυγές του μετώπου, μέσω των κορημάτων, προς την λεκάνη Λαψίστας, για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν στοιχεία, που να επιτρέπουν τεκμηρίωση.

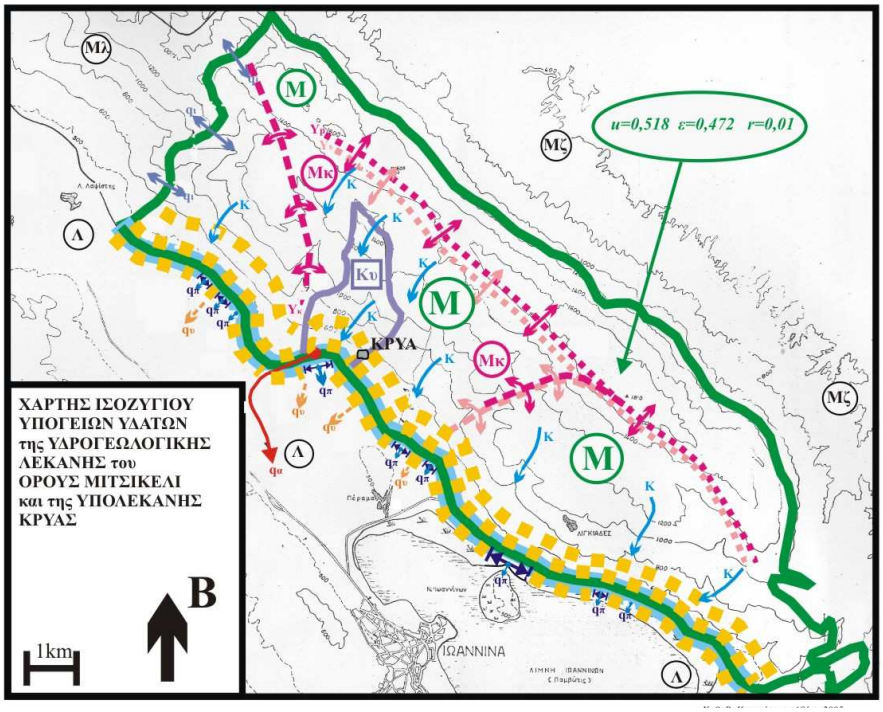
μελλοντικές, υφίσταται πολλαπλάσιο περίσσευμα, το οποίο εκφορτίζεται κυρίως υπό μορφή πηγών. Προκύπτει επίσης ότι το περίσσευμα αυτό υφίσταται ακόμα και στα πλέον ξηρά έτη.

Ισοζύγιο υπόγειων υδάτων υδροληψιών Κρύας

Τα ύδατα των υδροληψιών Κρύας προέρχονται από την υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας. Το υπόγειο νερό που φθάνει στην Κρύα, εξέρχεται φυσικά ή με υδρογεωτρήσεις ή ακόμη διαρρέει υπόγεια κυρίως προς αποστραγγιστικά έργα χωρίς να μειώνονται τα μόνιμα αποθέματα του υδροφορέα της. Το σύνολο των διαθέσιμων στην Κρύα υδάτων εκτιμήθηκε σε ποσότητα 18,68 x 10^6 m^3/έτος ή σε ωριαία ανηγμένη ποσότητα 2132,4 m^3/h. Η ποσότητα αυτών των υδάτων <u>είναι οπωσδήποτε πολύ μεγαλύτερη από τις ετήσιες ανάγκες της πόλεως των Ιωαννίνων (10,03 x 10^6 m^3/έτος). Ας σημειωθεί μάλιστα ότι πλέον του 40% της αντλούμενης ποσότητας δεν καταμετρείται στην κατανάλωση, λόγω διαφόρων αιτίων εκ των οποίων το σημαντικότερο (περίπου 30%) αντιστοιχεί σε διαρροές του δικτύου (ΤΕΕ/ΤΗ 2001).</u>

Αυτή καθ' αυτή η υδρολογική λεκάνη των πηγών Κρύας (Σχήμα 4) καταλαμβάνει έκταση 3,25 Km^2 και τροφοδοτεί *ετησίως* μόνο με 2,25x10^6 m^3 νερού. Διαπιστώνεται εδώ η πολλαπλάσια συμβολή της *υδρογεωλογικής λεκάνης Κρύας* σε σχέση με εκείνη της *υδρολογικής λεκάνης Κρύας*, στην τροφοδοσία των πηγών Κρύας (φαινόμενο συχνό στα καρστικά συστήματα).

Παρατηρείται λοιπόν ότι τα αποθέματα των υδροληψιών Κρύας είναι σχεδόν διπλάσια από τις αντλούμενες ποσότητες για την πλήρωση των αναγκών ύδρευσης της πόλης των Ιωαννίνων. Δεν υφίσταται μείωση των αποθεμάτων νερού από υπερεκμετάλλευση, γιατί υπάρχει πάντοτε μία περίσσεια νερού, η οποία αντιστοιχεί στην ποσότητα q_π παροχής των πηγών Κρύας και στην ποσότητα q_υ, που αποστραγγίζεται υπόγεια προς τα αποστραγγιστικά έργα του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων, μέσω διαπερατών οριζόντων (Σχήμα 4 και υποσημείωση 1).



Σχήμα 4. Α) Υδρογεωλογική λεκάνη όρους Μιτσικέλι (**Μ**) υπολεκάνη Κρύας (**Μκ**) (υπολογίστηκαν με βάση τους υπεδαφικούς υδροκρίτες) και υδρολογική λεκάνη Κρύας (**Κυ**).
Β)Υδρολογικό ισοζύγιο όρους Μιτσικέλι: Κ=0,518, Ε=0,472, R=0,01)

Figure 4. A) Mitsikeli mountain hydrogeologic basin (**M**) Krya sub-basin (**Mκ**) (defined based on the subsurface watershed) and Krya hydrologic basin (**Κυ**).

Τέλος, όπως προκύπτει από τους ισοπιεζομετρικούς χάρτες της; Περιοχής Κρύας, υπάρχει μια ευρεία ζώνη (πλάτους περίπου 1000 μέτρα) στις ΝΔ υπώρειες του όρους Μιτσικέλι, όπου ο υδροφόρος γίνεται ενιαίος σε όλο το μήκος της ζώνης και επομένως τροφοδοτείται από το σύνολο των υπόγειων νερών της λεκάνης του όρους Μιτσικέλι. Συνεπώς, μπορούμε με ορι-

σμένες επιφυλάξεις να δεχθούμε ότι τα αποθέματα των πηγών Κρύας ανέρχονται σε *51,9 x 10^6 m^3* νερού.

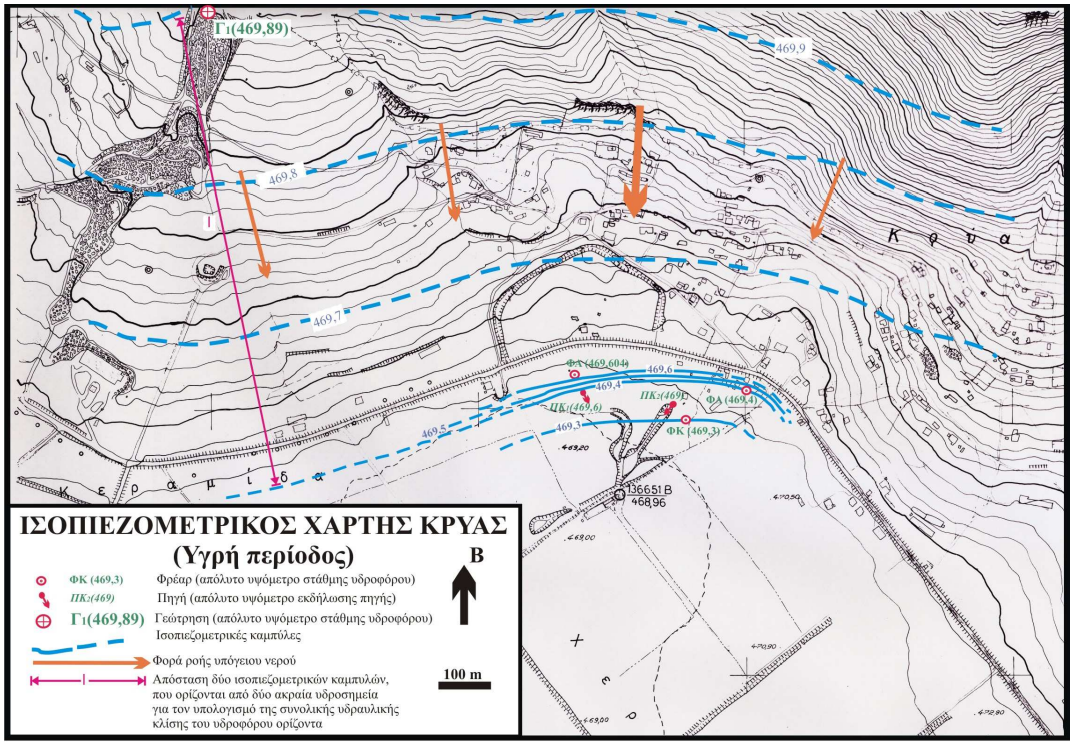
Ισοπιεζομετρικοί χάρτες περιοχής πηγών Κρύας

Κατασκευάστηκαν οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες τόσο της υγρής (Σχήμα 5), όσο και της ξηρής περιόδου (Σχήμα 6). Χρησιμοποιήθηκαν οι απόλυτες στάθμες υδροσημείων (φρέατα, γεωτρήσεις και επιφάνειες πηγαίων αναβλύσεων) οι οποίες μετρήθηκαν στις 16 Απριλίου 2005 για την υγρή περίοδο και στις 15 Οκτωβρίου 2005 για την ξηρή περίοδο. Οι μετρήσεις στα φρέατα των δυο αντλιοστασίων Κρύας ελήφθησαν όταν αυτά δεν εργάζονταν. Οι χάρτες έχουν αντικειμενική αξία μόνο για την περιοχή Κρύας όπου τα υδροσημεία είναι επαρκή. Στην υπόλοιπη περιοχή είναι ενδεικτικοί, γιατί τα υδροσημεία είναι αραιά και ορισμένα από αυτά αντιστοιχούν σε υπόγειο νερό εντός αργιλικών αποθέσεων όπου παρατηρούνται ετερογένειες μεταγγίσεων. Από τους δυο ισοπιεζομετρικούς χαρτες προκύπτει ότι:

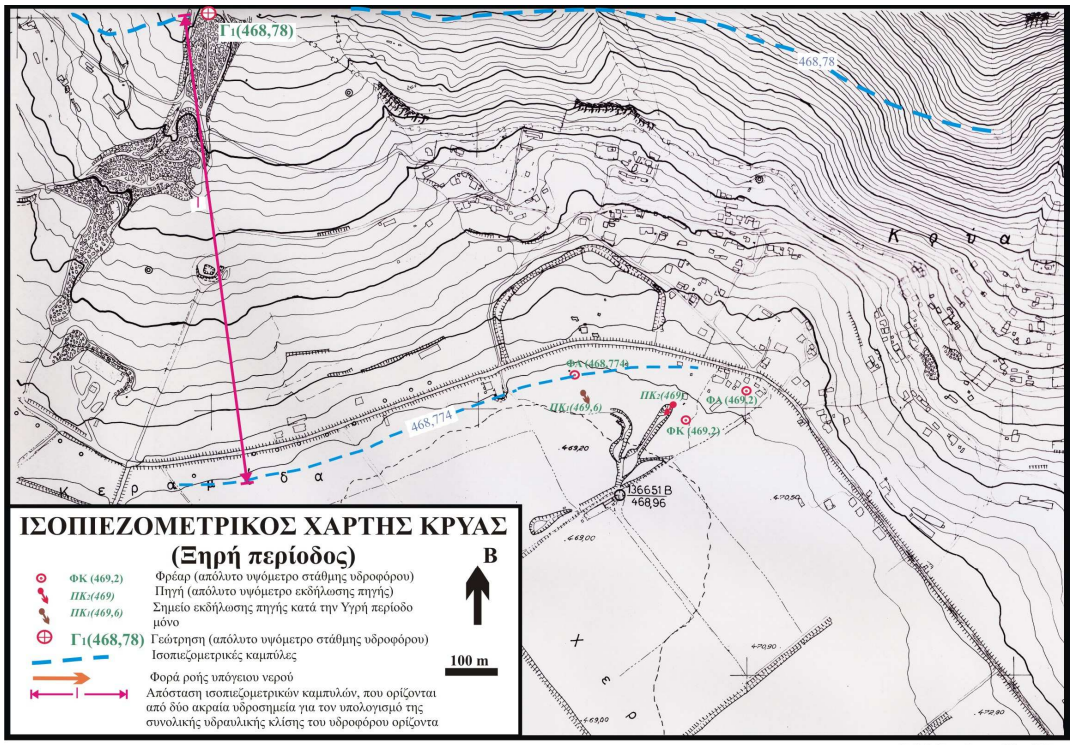
1) Η πτώση της στάθμης του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου, στους ασβεστόλιθους των υπωρειών του όρους (1,2 km ανάντη των πηγών) είναι 0,8 m, ενώ στα κορήματα των υδροληψιών Κρύας είναι πολύ μικρότερη 0,2 m,. Συνεπώς, ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πρακτικά αμετάβλητος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους παρά την αντλούμενη ποσότητα νερού στις υδροληψίες Κρύας.

2) Κατά την υγρή περίοδο η υδραυλική κλίση είναι πολύ μικρή, αλλά δείχνει ξεκάθαρα ότι ο υδροφόρος κλίνει από τις υπώρειες του όρους προς τα κορήματα των υδροληψιών. Αντίθετα κατά την ξηρή περίοδο, η υδραυλική κλίση είναι σχεδόν μηδενική όπως και η ροή ύδατος.

3) Η υδραυλική κλίση του υδροφόρου, όπως προκύπτει από την απόσταση μεταξύ των ισοπιεζομετρικών καμπυλών, είναι μικρότερη στους ασβεστόλιθους οι οποίοι τροφοδοτούν τον υδροφόρο και μεγαλύτερη στα κορήματα και τις αργιλοψαμμιτικές αποθέσεις των υδροληψιών Κρύας. Μόνο πλησίον και ανάντη των πηγών Κρύας η υδραυλική κλίση παίρνει πάλι μεγαλύτερες τιμές εξαιτίας της αναστόμωσης του υδροφόρου στις υδατοστεγανές αποθέσεις του λεκανοπέδιου.



Σχήμα 5. Ισοπιεζομετρικός χάρτης Κρύας, υγρής περιόδου.
Figure 5. Krya wet period piezometric map.



Σχήμα 6. Ισοπιεζομετρικός χάρτης Κρύας, ξηρής περιόδου.
Figure 6. Krya dry period piezometric map.

4) Οι υδρο-ισοϋψείς αναπτύσσονται περίπου παράλληλα με τις τοπογραφικές ισοϋψείς. Αυτό δείχνει ότι οι γραμμές ροής προέρχονται από το Μιτσικέλι, που τροφοδοτεί μέσω καρστικών μεταγγίσεων τον υδροφόρο ορίζοντα των κορημάτων Κρύας.
5) Στην περιοχή Κρύας, κατά την υγρή περίοδο, η κάμψη των υδρο-ισοϋψών, δημιουργεί σύγκλιση των γραμμών ροής του ύδατος προς τις υδροληψίες, με συνέπεια πηγές μεγάλης παροχής σε σχέση με την ενδιάμεση περιοχή μεταξύ πηγών Κρύας και Σαντινίκου, όπου η ροή είναι αποκλίνουσα και δεν εκδηλώνονται σημαντικές πηγές.

Υδραυλικοί παράμετροι του υδροφόρου των πηγών Κρύας

Η *υδραυλική κλίση* (*i= dh/l*) του υδροφόρου προκύπτει από τη μέτρηση της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε δυο σημεία ύδατος των οποίων είναι γνωστή η μεταξύ τους απόσταση παραλλήλως προς την ροή του υπόγειου νερού. Οι μετρήσεις της στάθμης πραγματοποιήθηκαν τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρή περίοδο 16/4/05 και 15/10/05 αντίστοιχα). Τα δύο σημεία όπου μετρήθηκε η στάθμη του υδροφόρου είναι η εγκαταληφθείσα γεώτρηση Γ1, που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ βορείως του οικισμού Αγ. Μαρίνας, και το φρέαρ του Παλαιού Αντλιοστασίου των υδροληψιών Κρύας. Τα δυο σημεία είναι τα πλέον απομακρυσμένα μεταξύ τους, ώστε να επιτρέπουν την εξαγωγή της υδραυλικής κλίσης η οποία θα αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη δυνατή έκταση του υδροφόρου ορίζοντα Κρύας. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των δυο αυτών σημείων, παράλληλα προς τις γραμμές υπεδαφικής ροής του υδροφόρου (Σχήμα 5, 6), είναι κατά προσέγγιση 921 m. Κατά την υγρή περίοδο η αντίστοιχη στάθμη του υδροφόρου στα δυο αυτά σημεία είναι: στάθμη Γεώτρησης-Γ1: 469,890 m και στάθμη Παλαιού Αντλιοστασίου: 469,604. Επομένως, κατά την *υγρή περίοδο* η υδραυλική κλίση του μείζονος υδροφόρου είναι *i= dh/l* = (469,890–469,604)/921= 0,0003105. Κατά την ξηρή περίοδο η αντίστοιχη απόσταση μεταξύ των ίδιων υδροσημείων είναι 915 m (Σχήμα 6) και οι στάθμες του υδροφόρου 468,780 και 468,774, αντίστοιχα. Επομένως η υδραυλική κλίση του μείζονος υδροφόρου είναι ***i***= (468,780 - 468,774)/915= 0,0000065. Παρατηρείται ότι ο υδροφόρος παρουσιάζει πολύ μικρή υδραυλική κλίση κατά

την υγρή περίοδο και σχεδόν μηδενική κατά την ξηρή περίοδο. Ο υδροφόρος ορίζοντας παρά την άντληση *παραμένει σχεδόν αμετάβλητος*, παρουσιάζοντας κατά την ξηρή περίοδο μέγιστη ταπείνωση 0,10-0,20 m στις υδροληψίες Κρύας και 1 m περίπου σε απόσταση 0,9 km ανάντη των υδροληψιών.

Τέλος, παραβάλλοντας τις στάθμες των υδροσημείων εντός και πέριξ των υδροληψιών, κατά την υγρή περίοδο, της παρούσας μελέτης με τις αντίστοιχες της Υδροέρευνας (1974), παρατηρούμε ότι η στάθμη του υδροφόρου το 2005 είναι μόνο κατά *3 ως 4 cm* χαμηλότερη από το 1974, παρά την πολύ μεγαλύτερη άντληση στις υδροληψίες Κρύας και το χαμηλότερο ύψος βροχής που παρατηρείται την τελευταία εικοσαετία. Επομένως, πρόκειται για άριστο υδροφόρο ορίζοντα που είναι επαρκής για τις σημερινές και μελλοντικές ανάγκες ύδρευσης των Ιωαννίνων.

Μετά από υπολογισμούς[2] προέκυψε ότι:

-Η *υδροπερατότητα* (*υδραυλική αγωγιμότητα*) *του υδροφορέα Κρύας είναι* $\underline{K \approx 0{,}6 \times 10^{-1}\ m/sec}$

-Η *υδαταγωγιμότητα (μεταβιβαστικότητα)* του υδροφορέα Κρύας *είναι* $\underline{T \geq 21 \times 10^{-1}\ m^2/sec}$

-Η *ακτίνα επίδρασης* (*ακτίνα κώνου κατάπτωσης*) για το νέο αντλιοστάσιο είναι η $\underline{R_v = 225\ m}$

Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη ότι α) το *ιχθυοτροφείο στα κατάντη των υδροληψιών, βρίσκεται εντός της ακτίνας επίδρασης των γεωτρήσεων και* β) *κατά τη θερινή τουλάχιστο περίοδο η πηγή συχνά δεν αναβλύζει (ο υδροφόρος ορίζοντας κάτω από την στάθμη της πηγής) και ως εκ τούτου η πηγή λειτουργεί ως καταβόθρα με συνέπεια να απορροφά κάθε υδρορύπανση που φτάνει στην έξοδό της, ιδιαίτερα με την έναρξη της υγρής περιόδου και τη συνεπαγόμενη έκπλυση του εδάφους, <u>προκύπτει ότι οι υδροληψίες μολύνονται από το ρυπογόνο φορτίο του ιχθυοτροφείου</u>*.

Χημικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών Κρύας

Λήφθηκαν δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις Γ4 και Γ6, της υγρής (16/4/05) και της ξηρής (15/10/05) περιόδου, ώστε να αντιπροσωπεύουν τις περιόδους υψηλής και χαμηλής στάθμης

---

[2] Για την *υδροπερατότητα* (*υδραυλική αγωγιμότητα*) χρησιμοποιήθηκε η *Γεώτρηση 5*, η οποία βρίσκεται στο Νότιο τμήμα των υδροληψιών. Στις 16-4-2005 σε καμία από τις Γεωτρήσεις του νότιου τμήματος δεν γινόταν άντληση (Γεωτρήσεις 1, 5 και 6). Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στη Γεώτρηση 5 βρέθηκε σε απόλυτο υψόμετρο 469,604 m. Η μετρηθείσα στάθμη δεν επηρεαζόταν από τους κώνους κατάπτωσης των άλλων Γεωτρήσεων και αντιπροσώπευε τη στάθμη ηρεμίας. Επομένως H_0 = 469,604 m. Έπειτα άρχισε η άντληση μόνο από την Γεώτρηση 5 με παροχή Q = 350m^3/h. Την επόμενη ημέρα (17-4-2005) μετρήθηκε η απόλυτη στάθμη του υδροφόρου στην Γεώτρηση 5, υπό καθεστώς άντλησης και με την ίδια παροχή, χωρίς πάλι να γίνεται άντληση σε καμία από τις άλλες Γεωτρήσεις του νότιου τμήματος. Η στάθμη του υδροφόρου βρέθηκε σε απόλυτο υψόμετρο H = 467,05. Η αντλία της Γεώτρησης 5 έχει διάμετρο D = 0,30 m. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του *Forcheimer* έχουμε: Q = 2KD(H_0-H), όπου H_0-H = Δ η πτώση στάθμης για παροχή Q και D η διάμετρος της Γεώτρησης (εν προκειμένω της αντλίας), η οποία είναι ίση με D = 0,30 m. Συνεπώς: K = Q / 2D(H_0-H) και με τις τιμές που μετρήθηκαν: K = 350m^3/h / 2 x 0,30m x (469,604-467,05)m ή K= 350m^3/h / 1,5324m^2 ή K = 228,4 m/h ή K = 0,0634 m/sec και τελικά: *Υδροπερατότητα του υδροφορέα πηγών Κρύας* $\underline{K \approx 0{,}6 \times 10^{-1}\ m/sec}$

Η *υδαταγωγιμότητα (μεταβιβαστικότητα)* του υδροφορέα πηγών Κρύας εκτιμήθηκε από την Υδροέρευνα (1974) ίση με: T= $\underline{1{,}1 \times 10^{-1}}$ m^2/sec. Η τιμή αυτή είναι πολύ μικρή. Αν ίσχυε, τότε η T = h_κK (όπου h_κ το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα) θα έδινε: h_κ = 1,1 x 10^{-1} m^2/sec / 0,6 x 10^{-1} m/sec = 1,83 m, τιμή που απέχει πολύ από την πραγματικότητα, γιατί σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων της Υδροέρευνας (1974), η κορεσμένη με νερό ζώνη βρέθηκε τουλάχιστον ίση με 35 m. Κατά συνέπεια T ≥ h_κK και επομένως: T ≥ 35m x 0,6 x 10^{-1}m/sec, άρα $\underline{T \geq 21 \times 10^{-1}\ m^2/sec}$. Συμπερασματικά, *ο υδροφόρος των πηγών Κρύας είναι άριστος, γιατί παρουσιάζει μικρή υδραυλική κλίση και ο υδροφορέας του χαρακτηρίζεται από μεγάλη υδροδιαπερατότητα και υδαταγωγιμότητα.*

Η ακτίνα επίδρασης *R* για το νέο αντλιοστάσιο, υπολογίστηκε από τους Παπαθεοδώρου & Τσίπηρα (1988), με στοιχεία των πιεζομετρικών παρατηρήσεων της Υδροέρευνας (1974), και προέκυψε $\underline{R_v = 225\ \text{μέτρα}}$. Η παροχή που χρησιμοποιήθηκε προσεγγίζει την σημερινή παροχή εκμετάλλευσης και επομένως η ακτίνα επίδρασης αντιστοιχεί στην πραγματική. Άρα, ως *ακτίνα επίδρασης* (ή *ακτίνα του κώνου κατάπτωσης*) για το νέο αντλιοστάσιο λαμβάνεται η $\underline{R_v = 225\ m}$. Η *ακτίνα επίδρασης R* ορίζεται ως ο χώρος εκείνος εντός του οποίου η ροή του υπόγειου νερού συγκλίνει προς το υδροληπτικό έργο. Ο χώρος αυτός είναι ανεξάρτητος από τις μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Επομένως, όποια εστία μόλυνσης υπάρχει σε αυτόν το χώρο είναι επιδεκτική να μολύνει την υδροληψία.

των υδάτων. Αναλύθηκαν: α) οι χημικοί παράμετροι του νερού, β) η ποσιμότητά του, γ) οι συνθήκες πιθανής μόλυνσής του από εξωτερικά αίτια, δ) η σχέση του χημισμού του νερού και του μηχανισμού των υπόγειων αφίξεων και των συνθηκών τροφοδοσίας των υδροληψιών. Τα δελτία των παραπάνω αναλύσεων φαίνονται στον Πίνακα 1.

α/α	Παράμετρος	ΓΕΩΤΡΗΣΗ 4		ΓΕΩΤΡΗΣΗ 6	
		Υγρή περίοδος (16/04/05)	**Ξηρή περίοδος** (15/10/05)	**Υγρή περίοδος** (16/04/05)	**Ξηρή περίοδος** (15/10/05)
1	Θολερότητα (FTU)				
2	PH	7,35	7,40	7,20	7,25
3	Αγωγιμότητα (μS/cm)	455	465	441	455
4	Θερμοκρασία (°C)	12,4	13,4	12,5	13,5
5	Σκληρότητα (γερμ. βαθμοί)	10,6	10,7	10,1	10,2
6	Χλωριούχα (ppm/l Cl^-)	27	33	26	32
7	Θειικά (ppm/l SO_4^{-2})	25	27	25	26
8	Ασβέστιο (ppm/l Ca^{+2})	67	70	66	70
9	Μαγνήσιο (ppm/l Mg^{+2})	2,5	3,3	2,4	3,2
10	Νάτριο (ppm/l Na^+)	20	21	19	20
11	Κάλιο (ppm/l K^+)	0,52	0,56	0,51	0,53
12	Ανθρακικά (ppm/l CO_3^{-2})	0	0	0	0
13	Όξινα ανθρακικά (ppm/l HCO_3^-)	171,7	170,8	170,9	169,5
14	Νιτρικά (ppm/l NO_3^-)	3,5	3,9	3,4	3,7
15	Νιτρώδη (ppm/l NO_2^-)	0	0	0	0
16	Αμμώνιο (ppm/l NH_4^+)	0	0	0	0
17	Φώσφορος (ppm/l PO_4^{-3})	0,04	0,05	0,03	0,04
18	Ολικός σίδηρος (ppb/l Fe)	0,02	0,03	0,02	0,02
19	Σύνολο ανιόντων / κατιόντων	317,28	329,64	313,26	324,99

Πίνακας 1. Χημισμός υπόγειων νερών υδροληψιών Κρύας κατά τη ξηρή και την υγρή περίοδο.
Table 1. Underground water chemical analysis of the Krya pumping installations, during dry and wet period.

Λήφθηκαν επίσης υπόψη και δελτία του χημικού τμήματος της Δ.Ε.Υ.Α.Ι. Από τη σύγκρισή όλων των δελτίων προέκυψε ότι τα επιμέρους αποτελέσματα ήταν σχεδόν ίδια μεταξύ τους. Όπως προκύπτει από τις αναλύσεις, τα υπόγεια νερά της Κρύας ταξινομούνται στα πόσιμα ύδατα πρώτης τάξης[3]. Παρά τη χημική καταλληλότητα των υδάτων Κρύας, υπάρχει μια πολύ μικρή υποψία μόλυνσης, μόνο ως προς τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-), παρότι οι μετρηθείσες τιμές (2-4 ppm/l) βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει σχέση των υπογείων νερών με εστίες επιφανειακής μόλυνσης, καθότι τα νιτρικά άλατα προέρχονται από την οξείδωση βακτηριδίων και οργανικών ουσιών. Ιδιαίτερη είναι η συμβολή των κτηνοτροφικών και ιχθυοτροφικών αποβλήτων και της χρήσης λιπασμάτων. Μάλιστα η χρήση των λιπασμάτων τείνει την σημερινή εποχή να γίνει η πρώτη αιτία νιτρορύπανσης.

Καθαρισμός ζωνών περιμετρικής προστασίας των πηγών Κρύας

Για τις αναγκαίες ζώνες περιμετρικής προστασίας των υδροληψιών Κρύας, λήφθηκαν υπόψη αφενός, η όλο και μεγαλύτερη αυστηρότητα με την οποία η διεθνής επιστημονική κοινότητα

[3] Τα χαρακτηριστικά τους είναι: 1) Τέλεια διαύγεια και ουδεμία οσμή., 2) PH στη συνήθη θερμοκρασία, μεταξύ 7-7,5, 3) Σκληρότητά σε χαμηλά επίπεδα, μεταξύ 9,5-11 (γερμανικοί βαθμοί), 4) Περιεκτικότητά σε Cl^- σε κανονικά επίπεδα μεταξύ 25-40 ppm/l, χωρίς σχέση με εστίες χλωρίου (π.χ. θάλασσα, ορυκτό αλάτι), 5) Επικρατούν τα όξινα ανθρακικά ανιόντα HCO_3^- και τα κατιόντα Ca^{++} δείχνοντας την καρστική προέλευση του νερού (κατά την υπόγεια διαδρομή του μέσα στους ασβεστόλιθους, δημιουργείται από τη διάλυσή τους όξινο ανθρακικό ασβέστιο εμπλουτίζοντας το νερό). Ως εκ τούτου τα υπόγεια νερά της Κρύας κατατάσσονται στα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-/Ca^{+2}). 6) Χαμηλή περιεκτικότητα σε θειικά (SO_4^{-2}) (20-30 ppm/l). 7) Περιεκτικότητα σε Mg^{+2} φυσιολογική για καρστικά νερά (2-4 ppm/l), 8) Σύνολο ανιόντων/κατιόντων χαμηλό, μεταξύ 300-330 ppm/l.

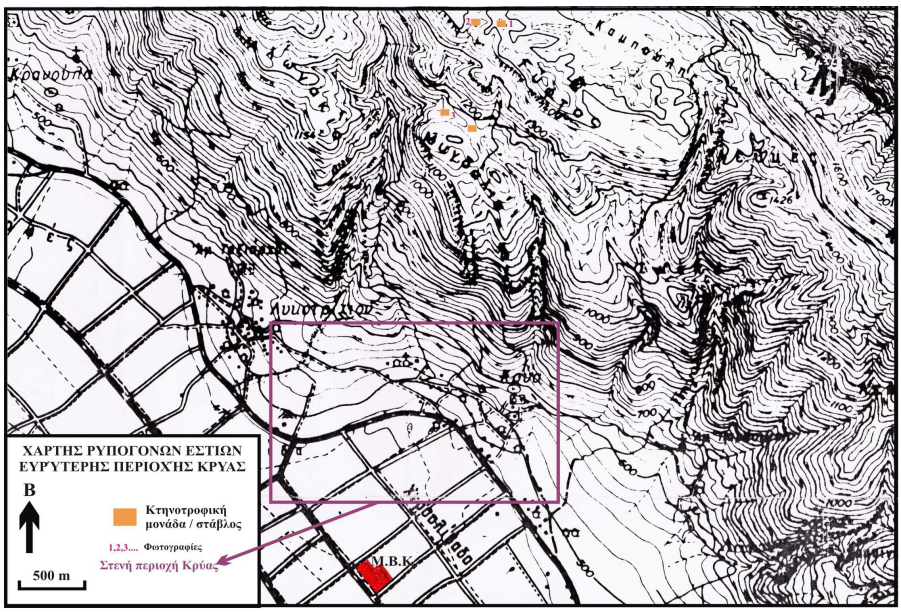
αντιμετωπίζει τα περιβαλλοντικά προβλήματα αυτού του τύπου και αφετέρου, όλα τα υδρογεωλογικά στοιχεία που προέκυψαν από την υδρογεωλογική μελέτη. Πριν από τη σύνταξη των ζωνών περιμετρικής προστασίας, συντάχθηκαν *χάρτες καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης των ρυπογόνων εστιών στην ευρύτερη* (Σχήμα 7) *και στην στενή περιοχή Κρύας* (Σχήμα 8). Όπως προέκυψε από τις επιτόπιες παρατηρήσεις, οι κυριότερες εστίες αναφέρονται σε κτηνοτροφικές μονάδες, στο ιχθυοτροφείο, στο νεκροταφείο, στην αποθήκη λιπασμάτων και στις παράνομες αποθέσεις απορριμμάτων.

Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία η περίμετρος προστασίας των πόσιμων νερών περιλαμβάνει τρεις ζώνες (Thurner 1967, Richter-Wager in Bentz and Martini ed. 1969, Létourneur and Michel 1971, Lehr et al. 1976, Καλλέργης 2000):

Α) <u>Ζώνη **Ι** - άμεσης προστασίας υδροληψιών</u>

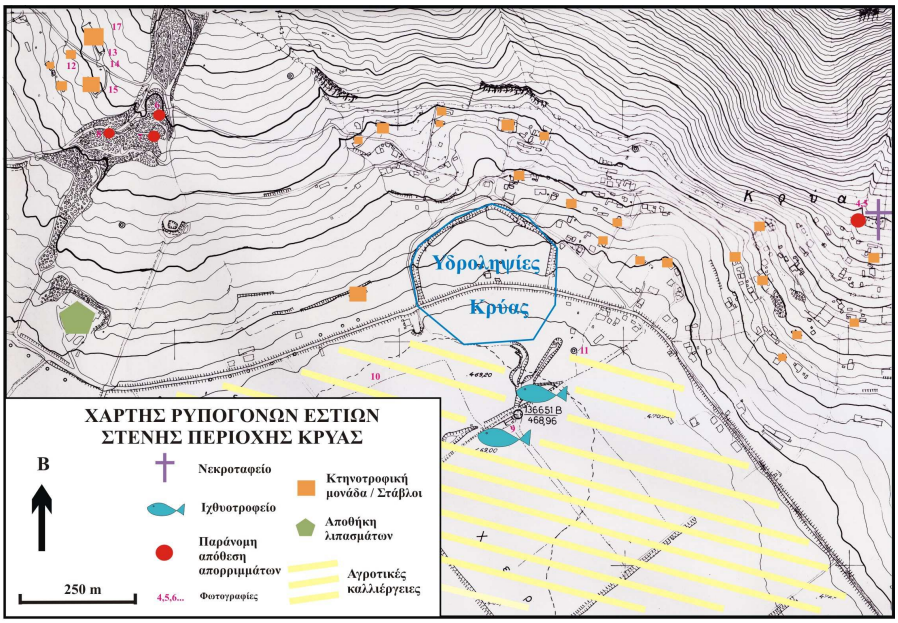
Ορίζεται για τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες ως ζώνη ακτίνας 10-20 m πέριξ των υδροληψιών. Στη ζώνη επιτρέπονται μόνο οι απαραίτητες για την υδροληψία δραστηριότητες και καμία άλλη. Στη ζώνη Ι <u>απαγορεύονται</u>: όλες οι εκμεταλλεύσεις, δραστηριότητες και φαινόμενα που αναφέρονται στις ζώνες ΙΙ και ΙΙΙ και επιπλέον η κυκλοφορία οχημάτων, η διάβαση πεζών και κάθε γεωργική δραστηριότητα. Ο ιδιόκτητος χώρος της Δ.Ε.Υ.Α. Ιωαννίνων, παρουσιάζει μικρή κλίση προς νότο, έχει σχήμα κυκλικό και έκταση 79.323,72 τ.μ. Είναι χωρισμένος από τη δημόσια οδό σε δυο τμήματα σχήματος ημικυκλίου (το βόρειο είναι μεγαλύτερο από το νότιο). Και τα δυο τμήματα του οικοπέδου είναι περιφραγμένα με τοίχο από οπλισμένο σκυρόδεμα και τάφρο στο εξωτερικό τμήμα του τοίχου. Στο βόρειο τμήμα υπάρχουν οι περισσότερες εγκαταστάσεις υδροληψίας (5 γεωτρήσεις, δεξαμενή και αντλιοστάσιο). Στο νότιο υπάρχουν τρεις γεωτρήσεις και ένα πηγάδι (παλαιό αντλιοστάσιο).

Υπολογισμός της ακτίνας της ζώνης Ι. Η ζώνη άμεσης προστασίας, όπως ειπώθηκε, ορίζεται με βάση την απόσταση που χρειάζεται να διανύσει το νερό σε 24 ώρες, για να φθάσει στη θέση υδροληψίας. Δεδομένου ότι οι υδροληψίες βρίσκονται σε κορήματα και αργιλοψαμμιτικές αποθέσεις, ισχύει ο νόμος του Darcy και επομένως v = K * i, όπου K είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, και i η κλίση του υδροφορέα. Ως κλίση του υδροφορέα λήφθηκε εκείνη της υγρής περιόδου που είναι μεγαλύτερη. Δεν χρησιμοποιήθηκε η υδραυλική κλίση του συνολικού υδροφορέα (δηλαδή 0,0003917), αλλά εκείνη του εγγύς των υδροληψιών τμήματός του,



Σχήμα 7. Χάρτης ρυπογόνων εστιών της ευρύτερης περιοχής Κρύας (Ιωαννίνων).

Figure 7. Pollution sources' map for the wider Krya area (Ioannina).



Σχήμα 8. Χάρτης ρυπογόνων εστιών της στενής περιοχής Κρύας (Ιωαννίνων).

Figure 8. Pollution sources' map for the proximal Krya area (Ioannina)

ώστε τα αποτελέσματα να σχετίζονται με τη ζώνη άμεσης προστασίας. Αυτή προσδιορίζεται από τις πιεζομετρικές καμπύλες 469,4 και 469,3, των οποίων η μεταξύ τους απόσταση είναι 75m. Επομένως η υδραυλική κλίση, που προκύπτει, είναι i = (469,4 – 469,3) / 75 = 0,0013. Συνεπώς η ζώνη Ι προσδιορίζεται κυκλικά στις υδροληψίες, με ακτίνα κύκλου R=vt, όπου t = 24 ώρες. Άρα η R = 10^{-1}x 0,0013 x 24 x 3600 = 11,2 m. Όλες γεωτρήσεις, τα υπάρχοντα φρέατα και η δεξαμενή <u>απέχουν περισσότερο από 15 μέτρα από τα όρια του οικοπέδου</u>. Η *απόσταση αυτή για τη ζώνη Ι, εμπίπτει στις προδιαγραφές των περισσότερων χωρών, είτε αυτή λογιστεί απευθείας σε μέτρα (10 ως 20 m), είτε προκύψει ως η απόσταση που χρειάζεται το νερό για να φτάσει εντός 24 ωρών ως τη θέση υδροληψίας (11,2 m)*. Κατά συνέπεια, *ο ιδιόκτητος χώρος της Δ.Ε.Υ.Α.Ι. στον οποίο υπάρχουν τα έργα υδροληψίας Κρύας υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις της <u>ζώνης (Ι) άμεσης προστασίας</u>*. Στη ζώνη αυτή πρέπει να γίνουν ακόμη τα εξής: 1) στεγανοποίηση με μπετόν της τάφρου που περιβάλλει το χώρο υδροληψιών και όλων των αποστραγγιστικών τεχνικών έργων της δημόσιας οδού στο εντός της ζώνης Ι τμήμα τους. Σύνδεση των παραπάνω με στεγανό αποχετευτικό δίκτυο όμβριων που να καταλήγει στα αποστραγγιστικά κανάλια του λεκανοπέδιου, 2) απάλειψη εστιών λιμναζόντων υδάτων εντός της ζώνης που επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση και στεγανοποίηση του χώρου.

Β) <u>Ζώνη **ΙΙ** - κοντινής προστασίας υδροληψιών</u>

Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται ως ζώνη βιολογικής προστασίας και ορίζεται για τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες ως ο κύκλος ακτίνας ίσης με την απόσταση που διανύει το υπόγειο νερό για να φτάσει σε 50 ημέρες στις υδροληψίες[4]. Η ακτίνα της ζώνης αυτής υπολογίζεται, όπως για την μια μέρα (δηλαδή 11,2 μέτρα) επί 50 ημέρες. Επομένως, η *ακτίνα που προκύπτει*

[4] Σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές, στη ζώνη αυτή απαγορεύονται, εκτός από τις δραστηριότητες που απαγορεύονται στη ζώνη ΙΙΙ, αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες και εκμεταλλεύσεις, εργοτάξια και αποθήκευση δομικών υλικών, ανάπτυξη οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, έργα υποδομής, χώροι μεταφόρτωσης εμπορευμάτων, χώροι στάθμευσης, λατομεία, δανειοθάλαμοι άμμου και αργίλου, ορύγματα και κοιλώματα και γενικά κάθε παρέμβαση στο έδαφος (εκτός από τη δασοκαλλιέργεια), καλλιέργεια που προκαλεί βλάβες στη ζωντανή ζώνη του εδάφους ή μειώνει το πάχος της επικάλυψης του υδροφόρου, χώροι κατασκήνωσης και αθλητικών δραστηριοτήτων, μεταλλευτική δραστηριότητα, συγκέντρωση ή χρήση κοπριάς για λίπανση, άλεσμα ζωοτροφών, εκρήξεις, βόσκηση και σταυλισμός ζώων, υπαίθρια αποθήκευση και χρησιμοποίηση λιπασμάτων, δημιουργία λαχανόκηπων και κηπουρικές εκμεταλλεύσεις, αποθήκευση μαζούτ και ορυκτέλαιου, μεταφορά ραδιενεργών υλικών και ρύπων, διέλευση χρησιμοποιημένων νερών, κοιλώματα και επιφανειακά νερά όπου ρίχνονται ρύποι ή χρησιμοποιημένα νερά, κατασκευή αγωγών και στραγγιστηρίων, ύπαρξη τελμάτων ή ιχθυοτροφείων.

είναι 560 μέτρα. Η ακτίνα αυτή καλύπτει και τις ακτίνες επίδρασης ***R*** των γεωτρήσεων των υδροληψιών Κρύας (μικρότερες από 250 m). Θα πρέπει όμως να ληφθούν υπόψη *οι ιδιαίτερες υδρογεωλογικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την στενή περιοχή των πηγών Κρύας*. Δεδομένου ότι: α) Η τροφοδοσία τους με υπόγειο νερό γίνεται από το όρος Μιτσικέλι με συγκλίνουσες ροές προς τις πηγές Κρύας (Σχήμα 5, 6). β) Η υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας (Σχήμα 4) εκτείνεται, εντός της ζώνης των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι (όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ενιαίος) για απόσταση τουλάχιστον 1200 m εκατέρωθεν των υδροληψιών. Επομένως, *η ζώνη ΙΙ πρέπει να εκτείνεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 1200 m ανατολικά και δυτικά των υδροληψιών Κρύας*. Τα ανάντη και κατάντη όρια της ζώνης ΙΙ από τις υδροληψίες Κρύας πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 560 m (όπως υπολογίστηκε προηγουμένως). Έτσι, ως ανάντη των υδροληψιών εξωτερικό όριο της ζώνης ΙΙ λήφθηκε η ισοϋψής των 650 m. Αντίθετα, το κατάντη εξωτερικό όριο της ζώνης ΙΙ καθορίστηκε σε απόσταση περίπου 500 m από τις υδροληψίες, επειδή στο χώρο αυτό αναπτύσσονται υδατοστεγανές αποθέσεις του λεκανοπέδιου και η απόσταση των 500 m θεωρείται επαρκής (Σχήμα 9). Δεδομένου ότι η ζώνη ΙΙ περιλαμβάνει τη συνολική οικιστική έκταση των κοινοτήτων Κρύας και Αγ. Μαρίνας, καθώς και το ιχθυοτροφείο και τις καλλιέργειες κατάντη των υδροληψιών, γίνονται φανερά τα ιδιαίτερα μέτρα που πρέπει να ληφθούν στο εσωτερικό της: Αυτά είναι: 1) Κατασκευή στεγανού δικτύου αποχέτευσης στις κοινότητες Κρύας και Αγ. Μαρίνας, και σύνδεσή του με τη μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Ιωαννίνων. 2) Απομάκρυνση από τη ζώνη ΙΙ των νεκροταφείων, βιοτεχνιών, στάβλων, προβατοστασίων, κλπ. (Σχήμα 8) και απαγόρευση σ' αυτή κάθε ρυπογόνου ανθρωπογενούς δραστηριότητας. 3) Τσιμεντοποίηση όλων των δρόμων των παραπάνω κοινοτήτων, εντός της ζώνης ΙΙ. 4) Κατασκευή αποχετευτικού στραγγιστικού έργου ομβρίων στις δύο αυτές κοινότητες (για να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση της κατείσδυσης νερού, που ενδεχομένως μεταφέρει ρύπους, εντός της ζώνης). 5) Το ιχθυοτροφείο βρίσκεται στη ζώνη ΙΙ και επομένως θα πρέπει να πάψει να λειτουργεί. 6) Οι καλλιέργειες, εντός της ζώνης, πρέπει είτε να διακοπούν, είτε να είναι αυστηρά βιολογικές, χωρίς φυσικά ή τεχνητά λιπάσματα και φυτοφάρμακα. 7) Γενικά, αποθάρρυνση της περαιτέρω οικιστικής ανάπτυξης των δύο οικισμών.

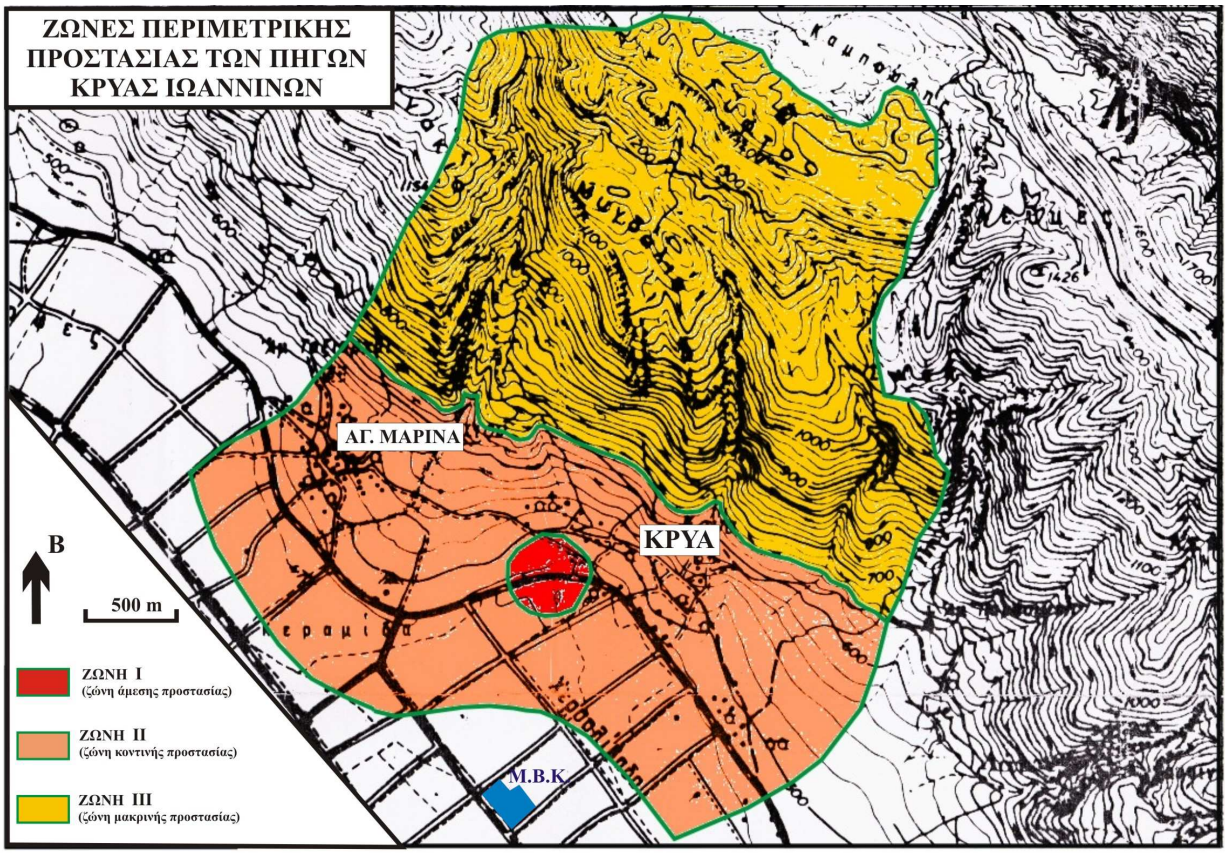
Γ) <u>Ζώνη **ΙΙΙ** – μακρινής προστασίας υδροληψιών</u>

Για τον καθορισμό της ζώνης ΙΙΙ, στην περίπτωση των καρστικών συστημάτων, επιβάλλεται να χρησιμοποιείται ως βάση η υδρογεωλογική λεκάνη. Επομένως, η ζώνη ΙΙΙ (μακρινής προστασίας) καλύπτει σχεδόν όλη την υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας, μέχρι το εξωτερικό ανάντη των υδροληψιών όριο της ζώνης ΙΙ (Σχήμα 9).

Δεδομένου ότι γενικά δεν υπάρχουν οι απαγορευμένες ρυπογόνες δραστηριότητες[5] στο Μιτσικέλι, εκτός από τη βόσκηση και τον σταυλισμό των αιγοπροβάτων και βοοειδών (Σχήμα 8), δεν θεωρείται, προς το παρόν, απαραίτητο να ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα προστασίας στη ζώνη αυτή. Παρόλα αυτά, η πόλγη της Αγίας Παρασκευής, που βρίσκεται εντός της ζώνης

[5] Σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές στη ζώνη ΙΙΙ απαγορεύονται: η απόρριψη χρησιμοποιημένων νερών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ρέουν στους δρόμους και στα κανάλια, ρυπογόνα εργοστάσια (χημικά, μεταλλουργικά) και ιδιαίτερα με ραδιενεργά απόβλητα, αποθήκευση, μεταφορά και θάψιμο στο υπέδαφος ραδιενεργών υλικών και ρύπων (π.χ. τοξικών, χημικών προϊόντων, λαδιού, φαινολών, φυτοφαρμάκων, πίσσας ορυκτελαίων-παρασιτοκτόνων), εγκαταστάσεις επεξεργασίας λαδιού, ελαιοτριβεία, μεταφορά ρυπογόνων ουσιών, μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες, χρησιμοποίηση φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων, παρασιτοκτόνων και λιπασμάτων, διυλιστήρια, χρησιμοποιημένα νερά (απόβλητα, λύματα), υπόγεια άρδευση, αμμώδη στραγγιστήρια και κανάλια χρησιμοποιημένων νερών, εγκατάσταση και λειτουργία νοσοκομείων, σανατορίων, κλινικών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων, εφόσον τα λύματα και τα απόβλητά τους δεν απορρίπτονται εγγυημένα και εξ ολοκλήρου έξω από τη ζώνη αυτή, λειτουργία πρατηρίων διανομής και μεταφόρτωσης υγρών καυσίμων και ορυκτελαίων, λειτουργία αεροδρομίων, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και εκτέλεση στρατιωτικών ασκήσεων, σκουπιδότοποι και νεκροταφεία αυτοκινήτων, απόθεση ερειπίων, σταθμοί καθαρισμού χρησιμοποιημένων νερών, άδειασμα οχημάτων εκκένωσης βόθρων, απόρριψη νερών που χρησιμοποιούνται για ψύξη, νεκροταφεία, χρήση διαλυτικών ουσιών, απορρυπαντικών, πίσσας, βιτουμενίων κλπ,, γεωτρήσεις για έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, CO_2, μεταλλικού νερού, άλατος και ραδιενεργών υλικών.

ΙΙΙ, επειδή αποτελεί τον κύριο τροφοδότη νερού των πηγών Κρύας, θα πρέπει να αποτελέσει ζώνη αυστηρής επιτήρησης ως προς τη χρήση χημικών ουσιών που δεν αδρανοποιούνται εντός του χρόνου υστέρησης που κάνουν τα κατεισδύοντα νερά στην πόλγη μέχρι να φτάσουν υπόγεια στις πηγές Κρύας (2-3 μήνες). Επίσης δεν πρέπει να εγκατασταθούν μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες στην πόλγη (ο αριθμός των βοοειδών ανέρχεται σήμερα περίπου σε 400).



Σχήμα 9: Ζώνες περιμετρικής προστασίας των πηγών Κρύας Ιωαννίνων.
Figure 9: Krya springs perimetric protection zones.

Συμπεράσματα

Κύρια πηγή τροφοδοσίας του μετώπου των πηγών Κρύας αποτελεί το καρστικό σύστημα του όρους Μιτσικέλι. Το όρος δομείται από πετρώματα της Ιόνιας σειράς, η οποία περιλαμβάνει κυρίως ανθρακικούς σχηματισμούς (Τριαδικό–Αν. Ηώκαινο) και τελειώνει με φλύσχη (Ολιγόκαινο). Οι ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από έντονα καρστικά φαινόμενα, ποικιλία καρστικών μορφών, με πλέον χαρακτηριστική την πόλγη Αγίας Παρασκευής (ανάντη της Κρύας), η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη φυσική διευθέτηση της ροής του υπόγειου νερού και συνδέεται άμεσα με τις πηγαίες εκδηλώσεις Κρύας.

Η πεδινή ζώνη (μέσο υψόμετρο 470 μέτρα) αποτελεί μια κλειστή λεκάνη με αδιαπέρατες αργιλικές ως επί το πλείστον λιμναίες αποθέσεις του Πλειοκαίνου και του Τεταρτογενούς.

Το μέσο ετήσιο ύψος υετού της περιοχής τροφοδοσίας του όρους Μιτσικέλι είναι 1335,8 mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι 12,4 ^{o}C.

Οι πηγές Κρύας έχουν υπόγεια υδρογεωλογική εξάρτηση με το καρστικό σύστημα του όρους Μιτσικέλι και το τμήμα του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων που αναπτύσσεται στις υπώρειές του. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί του όρους, μαζί με τα πλευρικά κορήματα στα δυτικά

πρανή του, αποτελούν ενιαίο υδρογεωλογικό σύστημα. Τα αδιαπέρατα ιζήματα του φλύσχη, λόγω της στρωματογραφικής και τεκτονικής τους θέσης στα Α-ΝΑ της υδρογεωλογικής ενότητας του όρους, αποτελούν φραγμό και κατευθύνουν την καρστική κυκλοφορία προς τα δυτικά. Οι αργιλο-ιλυολιθικές υδατοστεγανές αποθέσεις του λεκανοπέδιου βοηθούν στην αποθήκευση του νερού στο υδρογεωλογικό αυτό σύστημα, το οποίο εκτονώνεται μέσω των πηγών των υπωρειών του όρους (με κύρια την πηγή Κρύας). Οι αμμώδεις υδροπερατές ενδιαστρώσεις της πεδινής ζώνης έρχονται υπεδαφικά σε επαφή με τους υδροφόρους κώνους κορημάτων των υπωρειών και δέχονται μικρού δυναμικού αμφίδρομες μεταγγίσεις νερού. Η πηγή Κρύας αναβλύζει στην επαφή κορημάτων και αργιλωδών αποθέσεων του λεκανοπεδίου. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας των πηγών αναπτύσσεται εντός των κορημάτων, όπου το νερό του καρστικού υδροφόρου του όρους Μιτσικέλι μεταπίπτει σε ομοιογενή υδροφόρο ορίζοντα με σαφή υδροστατική στάθμη και γραμμική κίνηση νερού. Λόγω των απολήψεων νερού από τις υδροληψίες Κρύας, οι πηγές ορισμένες φορές κατά τη θερινή περίοδο δεν αναβλύζουν.

Το τοπικό επίπεδο βάσης της καρστικοποίησης καθορίζεται από τη γεωμετρία των αδιαπέρατων ή χαμηλής περατότητας φραγμάτων της, τα οποία αντιστοιχούν στους υπεδαφικούς εβαπορίτες, τους σχιστόλιθους με Ποσειδώνιες, τους σχιστόλιθους Βίγλας και στο φλύσχη. Στην περιοχή μελέτης παίζουν ρόλο μόνο οι τρεις τελευταίοι σχηματισμοί, δεδομένου ότι οι εβαπορίτες βρίσκονται πολύ κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Καθορίστηκαν οι υπεδαφικοί υδροκρίτες, μέσω της υπεδαφικής τοπογραφίας των σχιστολίθων με Ποσειδώνιες και των σχιστολίθων Βίγλας. Με βάση τους υπεδαφικούς υδροκρίτες προσδιορίστηκε η έκταση της υδρογεωλογικής λεκάνης του όρους Μιτσικέλι (Μ) σε 75 km^2 και της υπολεκάνης Κρύας (Μκ) σε 27 km^2.

Από τη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου του πεδίου τροφοδοσίας των πηγών Κρύας υπολογίστηκε ότι ο συντελεστής κατείσδυσης ανέρχεται σε 51,8 %. Η ετήσια κατεισδύουσα ποσότητα νερού ανέρχεται, για μεν την υδρογεωλογική λεκάνη του όρους Μιτσικέλι (Μ) σε 51,9 x 10^6 m^3 νερού, για δε την υπολεκάνη Κρύας (Μκ) σε 18,68 x 10^6 m^3 νερού.

Το ισοζύγιο υπόγειων νερών Κρύας, με βάση την υδρογεωλογική υπολεκάνη Κρύας, δίνει σχεδόν διπλάσια αποθέματα (18,68 x 10^6 m^3/έτος) από τις αντλούμενες ποσότητες (10,03 x 10^6 m^3/έτος) για την πλήρωση των αναγκών ύδρευσης των Ιωαννίνων. Η περίσσεια που προκύπτει γίνεται πολλαπλάσια αν λάβουμε υπόψη ότι ο υδροφόρος στη βάση των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι είναι ενιαίος.

Συντάχθηκαν οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες υγρής και ξηρής περιόδου. Η μέγιστη πτώση της στάθμης του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου είναι λιγότερο από 1 m στους ασβεστόλιθους των υπωρειών του όρους και μόνον 0,2 m στα κορήματα των υδροληψιών Κρύας. Η υδραυλική κλίση του υδροφόρου είναι πολύ μικρή κατά την υγρή περίοδο και σχεδόν μηδενική κατά την ξηρή. Ο υδροφορέας Κρύας παρουσιάζει άριστα χαρακτηριστικά (μεγάλη υδροπερατότητα και υδαταγωγιμότητα).

Οι χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών Κρύας τα ταξινομούν στα πόσιμα νερά πρώτης τάξης. Η εντός επιτρεπτών ορίων παρουσία νιτρικών ιόντων θα εξαλειφθεί με την αυστηρή εφαρμογή ζωνών περιμετρικής προστασίας.

Συντάχθηκαν χάρτες ρυπογόνων εστιών της ευρύτερης και στενής περιοχής Κρύας. Οι εστίες ρύπων αναφέρονται σε κτηνοτροφικές μονάδες, στο ιχθυοτροφείο, στην αποθήκη λιπασμάτων, στο νεκροταφείο, και σε παράνομες αποθέσεις απορριμμάτων. Όλες αυτές οι κατηγορίες ρυπογόνων εστιών βρίσκονται εντός της ζώνης ΙΙ κοντινής προστασίας των υδροληψιών και πρέπει να εξαλειφθούν.

Συντάχθηκαν οι τρεις ζώνες περιμετρικής προστασίας, με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την υδρογεωλογική μελέτη. Η *ζώνη Ι άμεσης προστασίας* ταυτίζεται με τον περιφραγμένο ιδιόκτητο χώρο της Δ.Ε.Υ.Α. Ιωαννίνων, ο οποίος πληροί όλες τις απαιτήσεις της εν λόγω ζώνης. Η *ζώνη ΙΙ κοντινής προστασίας* των υδροληψιών οριοθετείται στα ανάντη των

υδροληψιών Κρύας από την ισοϋψή των 650 m, στα κατάντη από τη γραμμή η οποία είναι κατά προσέγγιση παράλληλη με τη δημόσια οδό, και απέχει περίπου 500 m από αυτήν. Τα ανατολικά και δυτικά όριά της εκτείνονται κατά περίπου 1500 m εκατέρωθεν των υδροληψιών. Σε αυτή τη ζώνη πρέπει να απαγορευθούν όλες οι δραστηριότητες, που υπαγορεύονται από τις διεθνείς προδιαγραφές. Τα σημαντικότερα μέτρα προστασίας, είναι: 1) Κατασκευή στεγανού δικτύου αποχέτευσης στις κοινότητες Κρύας και Αγ. Μαρίνας, και σύνδεσή του με τη μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Ιωαννίνων. 2) Απομάκρυνση των νεκροταφείων, βιοτεχνιών, στάβλων, προβατοστασίων, κλπ. και απαγόρευση κάθε ρυπογόνου ανθρωπογενούς δραστηριότητας. 3) Κατασκευή αποχετευτικού στραγγιστικού έργου όμβριων υδάτων στις δύο αυτές κοινότητες. 4) Άμεση διακοπή της λειτουργίας του ιχθυοτροφείου. 5) Οι καλλιέργειες να διακοπούν ή να γίνουν αυστηρά βιολογικές, χωρίς φυσικά ή τεχνητά λιπάσματα και φυτοφάρμακα. 6) Αποθάρρυνση της περαιτέρω οικιστικής ανάπτυξης και των δύο οικισμών. Η *ζώνη ΙΙΙ μακρινής προστασίας* καλύπτει μεγάλο τμήμα της υδρογεωλογικής υπολεκάνης Κρύας. Στην προτεινόμενη ζώνη δεν υφίστανται οι περισσότερες από τις ρυπογόνες δραστηριότητες, που απαγορεύονται στη ζώνη αυτή και δεν θεωρείται προς το παρόν απαραίτητο να ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα προστασίας.

Τα υπόγεια νερά των υπωρειών του όρους Μιτσικέλι αποτελούν μέγιστο φυσικό αγαθό του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων και επιβάλλεται η ορθολογική εκμετάλλευσή τους. Η μελλοντική εξέλιξη του λεκανοπέδιου Ιωαννίνων θα προσδιορίσει την αναγκαιότητα της εφαρμογής και άλλων μέτρων. Τέτοια μέτρα είναι: 1) Επιπλέον υδρογεωτρήσεις, όταν αυξηθούν οι ανάγκες της πόλης των Ιωαννίνων σε νερό). Είναι αναγκαία η απαλλοτρίωση μιας ευρείας έκτασης στις υπώρειες του όρους Μιτσικέλι, εκατέρωθεν των υδροληψιών Κρύας, ώστε να χρησιμοποιηθεί για μελλοντικές υδροληψίες. 2) Απόλυτος έλεγχος των υφιστάμενων και μελλοντικών γεωτρήσεων στο λεκανοπέδιο από ενιαίο φορέα (π.χ. ΔΕΥΑΙ – ΣΥΔΚΛΙ). 3) Απαγόρευση γενικά των ρυπογόνων δραστηριοτήτων στις υπώρειες του όρους Μιτσικέλι και την παράλληλη προς αυτές πεδινή ζώνη πλάτους 500 μέτρων. Στην ζώνη αυτή να επιτρέπεται η οικιστική δόμηση μόνο εφόσον είναι ενταγμένη σε στεγανό αποχετευτικό σύστημα που καταλήγει στη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού Ιωαννίνων. 4) Κατάργηση των γεωτρήσεων εμπλουτισμού της λίμνης Παμβώτιδας από τον υδροφόρο του όρους Μιτσικέλι, που εγκατέστησε η Νομαρχία Ιωαννίνων. Η ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου, κάτω από τη στάθμη της λίμνης, εξαιτίας των γεωτρήσεων, έχει ως συνέπεια την μόλυνση του υδροφόρου από τα νερά της λίμνης. 5) Στεγανοποίηση της περιμετρικής τάφρου της Μονάδας Βιολογικού Καθαρισμού, καθώς και της κύριας τάφρου μαζί με τις δευτερεύουσες τάφρους αποστράγγισης της λίμνης, ώστε να μην μολύνεται με μεταγγίσεις ο υδροφόρος του όρους Μιτσικέλι και ιδιαίτερα οι υδροληψίες Κρύας. 6) Υιοθέτηση οικολογικής γεωργικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας σε μια ευρεία ζώνη στις υπώρειες και την εγγύς πεδινή ζώνη του όρους Μιτσικέλι.

Βιβλιογραφία

Bentz, A. and Martini, H., (eds), Lehrbuch der Angewandten Geologie, 2Dd, 2 Teil. 55, p. 1357-1546, 1969.

Καλλέργης, Γ.Α., Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2η έκδοση, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Τόμος Β΄, σελ.345, Αθήνα, 2000.

Karakitsios, V., Ouverture et Inversion Tectonique du Bassin Ionien (Epire, Grece). *Ann. Geol. Pays Hellen.*, v. 35, p. 85-318, 1992.

Καρακίτσιος, Β., Λιθοστρωματογραφική μελέτη επιστρεφομένων θραυσμάτων της γεώτρησης βάθους 1530 στη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού των λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων. *Εκδ. ΓΕΜΕΕ-ΑΕ, Αθήνα,* 1993.

Καρακίτσιος Β., Η καρστική λεκάνη Ιωαννίνων (ΒΔ Ελλάδα), οι δυσμενείς ανθρωπογενείς δραστηριότητες σ' αυτή και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. *Bulletin Société Spéléologique de Grèce, Athènes,* v. XXI, p. 515-531, 1994.

Καρακίτσιος, Β., Σκουνάκης, Σ. και Γεωργάλας, Λ., Έρευνα υπόγειας διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων. Υδρογεωλογικές και περιβαλλοντικές παρατηρήσεις.. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρίας,* τ. XX/4, σ. 97-113, 1994.

Karakitsios, V., The Influence of Preexisting Structure and Halokinesis on Organic Matter Preservation and Thrust System Evolution in The Ionian Basin, Northwestern Greece. *AAPG Bulletin,* v .79, p. 960-980. 1995.

Karakitsios, V. and Pomoni-Papaioannou, F., Sedimentological study of the Triassic solution-collapse breccias of the Ionian zone (NW Greece). *Carbonates and Evaporites,* v. 13, n. 2, p. 207-218, 1998.

Καρακίτσιος, Β. και Γκουρνέλλος, Θ., Καρστικό λεκανοπέδιο Ιωαννίνων και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Χωματερής Δουρούτης. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνέδριου, Νοέμβριος 1999, Αθήνα,* σ. 569-580, 1999.

Καρακίτσιος, Β., Καρστικό λεκανοπέδιο Ιωαννίνων και διαχείριση των υδάτων του. Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου (Αθήνα 2005). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, 37/1, σ. 125-137, 2005.

Karakitsios, V. and Rigakis, N., Evolution and petroleum potential of Western Greece. *Journ. Petroleum Geology,* 30(3), p. 197-218, 2007.

Κλητσινάρης, Ι., Δοκιμαστική άντληση νέων υδρογεωτρήσεων Κρύας Νομού Ιωαννίνων. *ΔΕΥΑΙ,* 2001.

Lehr, J.H., Pettyjohn, W.A., Bennett, T.W., Hanson, J.R., Sturtz, L.E., A manual of laws, regulations, and institutions for control of ground water pollution, *U.S. Environemtnal Protection Agency Report*, 440/9-76-006, Washinghton D.C., 416p, 1976.

Létourneur, J. and Michel R., Géologie du Génie Civil. Armand-Colin (eds), Paris, p. 273-435, 1971.

Marinos, P.G., Stournaras, G.C. and Karotsieris, Z.A., Ensembles karstiques et dispersion des écoulements souterrains en Grèce du NW. Les cas des bassins des rivières Louros et Arakhthos. *MEMOIRES of the 22nd Congress of IAH, Lausanne,* XXII, p. 872-882, 1990.

Νικολάου, Ε., Υδρογεωτρητικό πρόγραμμα για την ενίσχυση του δικτύου ύδρευσης δήμου Ιωαννιτών. *ΙΓΜΕ Παρ. Πρέβεζας,* 2001.

Νικολάου, Ε., Μελέτη δίαιτας υπόγειων υδροφόρων συστημάτων Ηπείρου. *ΙΓΜΕ (Β΄ΚΠΣ),* Τόμος V και Παράρτημα V.3, 2001.

Νικολάου, Ε., Αγγελόπουλος, Χ. και Πάσχος, Π., Καρστικό σύστημα Ιωαννίνων: μηχανισμός λειτουργίας και υδραυλική σχέση λίμνης Παμβώτιδας - καρστ Μιτσικελίου. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου* σε CD, Ξάνθη 8-10 Νοεμβρίου 2002.

Παπαθεοδώρου Η. και Τσίπηρας Ι. Προστασία υπογείων υδάτων πηγών Κρύας Ιωαννίνων. *ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ. Παρ. Ιωαννίνων,* 1988.

Σμυρνιώτης, Χ., Κόντρα, Α., Νικολάου, Ε. και Λάγκαρης, Β., Προκαταρκτική έκθεση υδρογεωλογικής μελέτης του καρστικού συστήματος του Μιτσικελίου και της λεκάνης Ιωαννίνων. *ΙΓΜΕ Παρ. Πρέβεζας,* 1997.

ΤΕΕ-Τμήμα ΗπείρουΜελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων λεκανοπεδίου Ιωαννίνων. *ΤΕΕ Τμήμα Ηπείρου,* 2001.

Thurner, A., Hydrogeologie. Springer (eds), 350 p, 1967.

Τσίπηρας, Ι., Παπαθεοδώρου, Η. και Τσόγκας, Α., Υπόγειο υδατικό δυναμικό – απογραφή υδροληψιών λεκανοπεδίου Ιωαννίνων. *ΕΛ. ΚΕ.ΠΑ. Παρ. Ιωαννίνων,* 1988-1990.

Υδροέρευνα Α.Ε., Υδρογεωλογική Μελέτη και Γεωτρήσεις πηγών Κρύας Ιωαννίνων, Φάσις 1^{η} και 2^{η}, *Νομαρχία Ιωαννίνων,* 1974.

Hydrogeological investigation and determination of the Krya springs perimetric protection zones (Epirus, NW Greece)- Results

V. Karakitsios, Professor, school of Geology and Geoenvironment, University of Athens
Director of the Department of Historical Geology and Paleontology

Abstract

The present study is a compilation of geomorphologic, climatologic and hydrogeological data regarding the Mitsikeli karstic system and its Krya sub-basin. The study has resulted in the following:

The Krya sub-basin groundwater reserves are almost twice the pumped quantities, required to cover the Ioannina city demands. Considering that the Mitsikeli foothills' aquifer is unified, these reserves are indeed a multiple of the required quantity.

The Krya groundwater is classified as 1st class drinkable water. The possible NO_3^- - pollution (within the permitted limits), would be eliminated by the application of the proposed perimetric protection zones.

The immediate protection zone I coincides with the fenced D.E.Y.A.I. area, which already covers all the zone I requirements, with a need for some additional minor interventions.

The proximal protection zone II corresponds to a longitudinal area, which extends along an E-W direction, to either side of the water pumping installations. Within this zone the following measures must be taken immediately. The area's settlements require a waterproof drainage network connected to the Ioannina waste-wash biological treatment unit. All the polluting human activities, such as cemeteries, stables, and industries should be removed from the area. A new surface water drainage system should be constructed for both Krya and Agia Marina communities. The hatchery station should cease its activities. All cultivation must be biological, and any further urban development within the boundaries of this zone should henceforth be discouraged.

The distant protection zone III has been defined based on the Krya hydrogeological sub-basin, as is required for karstic systems. Presently, there are no significant polluting activities, within this area, so no immediate protection measures are required. However, the Agia Paraskevi aven, which is the main supplier of the Krya springs, must be closely monitored, especially regarding long sustainable substances (more than 2-3 months).