



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ:

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ
ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΕΞΟΡΥΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΛΛΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

**ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΑΔΑΜ,
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧ. ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ:

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ
ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΕΞΟΡΥΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

Όνομα Σπουδαστή: Πάλλας Δημήτριος Παναγιώτης

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κατερίνα Αδάμ, Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

Κατερίνα Αδάμ, Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

Κωνσταντίνος Μόδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ.....

Γεώργιος Παναγιώτου, Καθηγητής ΕΜΠ.....

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό είναι μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη της ανθρωπότητας. Οι χρήσεις του είναι πολλαπλές (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία) και πολύ σημαντικές για την εξέλιξη του πολιτισμού μας.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε η σημασία της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων και του σωστού σχεδιασμού και λειτουργίας ενός συστήματος παρακολούθησης των ποσοτικών χαρακτηριστικών υπογείων υδάτων. Ως περίπτωση εφαρμογής εξετάστηκε η εφαρμογή μεθόδων γεωστατιστικής ανάλυσης σε ιστορικά δεδομένα στάθμης γεωτρήσεων από το ερευνητικό πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999. Από τις διαθέσιμες μετρήσεις, την χωροθέτηση των γεωτρήσεων με ArcGIS 9.3.1 και τα αποτελέσματα προσομοίωσης με το πρόγραμμα Seks-Gui, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτιστοποίηση του εξετασθέντος συστήματος παρακολούθησης στο Νότιο Λιγνιτοφόρο Πεδίο Πτολεμαΐδας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την επιβλέπουσα Επίκουρο Καθηγήτρια κυρία Αικατερίνη Αδάμ, καθώς και στον κύριο Κωνσταντίνο Μόδη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ, για τη πολύτιμη συμβολή και την καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον Καθηγητή κο Γ. Παναγιώτου για τα πολύτιμα σχόλια του κατά την αξιολόγηση της παρούσας Εργασίας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Πάλλας Δημήτριος-Παναγιώτης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί όλο και μεγαλύτερη πρόκληση για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους. Στόχοι της αειφορικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων είναι η αποφυγή της συστηματικής κατασπατάλησης και ρύπανσης αυτού του πολύτιμου φυσικού πόρου η ορθολογική διαχείρισή του από την Πολιτεία.

Στην παρούσα εργασία με τίτλο «Βελτιστοποίηση σχεδιασμού συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτινων πόρων σε εξορυκτικές δραστηριότητες» μελετάται η σημασία ενός αποτελεσματικού συστήματος παρακολούθησης των υδάτων ως μέτρου πρόληψης των δυνητικών επιπτώσεων των εξορυκτικών εργασιών στους υπόγειους υδροφορείς.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, έγινε χρήση της μεθόδου της γεωστατιστικής ανάλυσης δεδομένων στάθμης γεωτρήσεων με περίπτωση εφαρμογής το Νότιο Λιγνιτοφόρο Πεδίο Πτολεμαΐδας στο οποίο εκτελούνται αντλήσεις ταπείνωσης του υπόγειου υδροφορέα για την ασφαλή εξέλιξη της επιφανειακής εξόρυξης των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Στο πλαίσιο της Διπλωματικής, και για την ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων αξιολόγησης δεδομένων παρακολούθησης αξιοποιήθηκε μια εκτενής σειρά ιστορικών δεδομένων μετρήσεων στάθμης που προήλθαν από το Ερευνητικό έργο ΕΛΙΜΕΙΑ «Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Περιοχές Εκμεταλλεύσεων-Πιλοτική Εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας», 1999. Τα δεδομένα εξετάστηκαν με τη χρήση του γεωστατιστικού πακέτου επεξεργασίας δεδομένων Seks-Gui που λειτουργεί μέσω της πλατφόρμας του Matlab, με στόχο να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του εξεταζόμενου δικτύου παρακολούθησης και να συνταχθούν προτάσεις για τη δυνητική βελτίωση του με στόχο την καλύτερη λειτουργία του. Έγινε επίσης μελέτη των αποστάσεων μεταξύ των γεωτρήσεων, καθώς και η αποτύπωσή τους σε χάρτη με τη χρήση του συστήματος γεωπληροφορικής ArcGIS 9.3.1.

Κάνοντας χρήση των αποτελεσμάτων των παραπάνω προγραμμάτων, παρατηρήθηκε αυξημένη πύκνωση γεωτρήσεων κατά θέσεις στην περιοχή μελέτης και ελλείψεις στις συνεχείς χρονοσειρές στα δεδομένα. Με βάση τα αποτελέσματα προσομοίωσης, έγιναν γενικές προτάσεις για την επικαιροποίηση του εξετασθέντος κανάβου των γεωτρήσεων, ο οποίος κατά θέσεις μπορεί να αραιώσει καθώς η χρήση της γεωστατιστικής μελέτης επιτρέπει προβλέψεις στάθμης υψηλής ακρίβειας με μικρότερο αριθμό γεωτρήσεων και την αύξηση της συχνότητας της δειγματοληψίας. Επίσης, ως σημαντική αξιολογείται η

άμεση αξιοποίηση των δεδομένων τα οποία θα προέρχονται από αυτό το σύστημα παρακολούθησης, καθώς και η συνεργασία με τους φορείς που διεξάγουν προγράμματα παρακολούθησης σε γειτονικούς υδροφορείς για μια συνολική αντιμετώπιση των προβλημάτων διαχείρισης των υδάτων ολόκληρου του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας.

ABSTRACT

The proper management of water resources constitutes an increasing challenge for the survival of mankind. The systematic overuse and pollution of this precious natural resource must be avoided and there should be a sustainable management of the existing water resources by the State. In this essay, entitled <<Optimization of System Design for the Environmental Monitoring of Water Resources at the Extractive Activities>>, the importance of an efficient water monitoring system as a prevention measure against the potential impacts of mining on underground aquifers is studied. In this study, the method of geostatistical data analysis was applied on a case in the South Sector Lignite Mines in Ptolemais in which water from the underground aquifer is pumped with the aim of lowering the level of the aquifer for the unobstructed extension of the excavation. The objective was to draw conclusions from a series of water-level measurements derived from the research project ΕΛΙΜΕΙΑ, 1999, in order to develop adequate water-level assessment tools. The data were processed using the geostatistical data processing package Seks-Gui operated on the platform of Matlab, regarding the effectiveness of this monitoring network and suggesting improvements to the existing monitoring network in order to improve its functionality. The distances between the observation wells were also studied and the observation wells were positioned on a map of the area using the geoinformation system ArcGIS 9.3.1. Making use of the results of the above programs, intense clustering of the observation wells was observed in some parts of the study area and lack of sufficient water-level monitoring data was also observed. Through these observations and the results of the geostatistical analysis, proposals were made to change the observation well grid, which must be thinned as the use of geostatistical methods allows high precision water-level forecasts making use of fewer observation wells and to increase the frequency of sampling. The continuous collection and processing of the monitoring system data and the cooperation between all the established water-level monitoring systems in adjacent aquifers is of paramount importance for a comprehensive treatment of the water management problems of the entire Water District of West Macedonia.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	1
1.2. ΈΡΕΥΝΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	1
1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	2
2. ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ	4
2.1. ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	4
2.2. ΟΡΙΣΜΟΙ.....	5
2.3. ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	7
2.4. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....	9
2.4.1. ΦΥΣΙΚΟΙ ΡΥΠΑΝΤΕΣ.....	11
2.4.2. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΑΝΤΕΣ.....	13
2.5. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	14
3. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ	16
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	16
3.2. ΣΚΟΠΟΣ	17
4. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	21
4.1. ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ	21
4.2. ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ..	23
4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	26

4.4.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	28
4.5.	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	30
5.	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ.....	33
5.1.	ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ HIGH PLAINS	33
5.2.	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ PENNSYLVANIA.....	35
5.3.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗ ΜΑΣΑΧΟΥΣΕΤΗ ΚΑΙ ΤΟ RHODE ISLAND	37
6.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....	40
6.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	40
6.2.	ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	41
7.	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ- ΓΕΝΙΚΑ.....	45
7.1.	ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	45
7.1.1.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	45
7.1.2.	ΚΛΙΜΑ.....	47
7.1.3.	ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ.....	48
7.1.4.	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ.....	48
7.2.	ΝΟΤΙΟ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟ ΠΕΔΙΟ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ.....	50
7.2.1.	ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	50
7.2.2.	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	51
7.2.2.1.	ΓΕΝΙΚΑ	51
7.2.2.2.	ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	51
7.2.2.3.	ΜΕΣΟΖΩΙΚΗ ΣΕΙΡΑ.....	51
7.2.2.4.	ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗΣ ΣΕΙΡΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	52

7.2.3. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ	55
7.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	57
7.4. ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ....	60
7.4.1. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	60
8. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	63
8.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	63
8.2. ΘΕΣΕΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	72
8.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΗΣ.....	74
8.4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEKS-GUI.	76
8.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	82
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	94
9.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
10. ΑΝΑΦΟΡΕΣ	98
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 8.1-1: Γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων χωρίς την αφαίρεση της τάσης.	64
Πίνακας 8.2-1: Σύνοψη Μέσης Απόστασης Γειτνίασης Γεωτρήσεων.....	73
Πίνακας 8.4-1: Γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων με την αφαίρεση της τάσης.	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.3-1: Ο κύκλος του νερού (πηγή: USGS).....	8
Σχήμα 5.1-1: Αλλαγές στη στάθμη του υδροφορέα High Plains σε σχέση με τα επίπεδά του πριν τη δημιουργία του δικτύου παρακολούθησης έως το 1997. (V.L. McGuire, U.S. Geological Survey, written commun., 1998.).....	34
Σχήμα 5.2-1: Τοποθεσίες των γεωτρήσεων παρακολούθησης στην Pennsylvania και κατάσταση των υπόγειων υδάτων. (πηγή: USGS)	36
Σχήμα 5.3-1: Σχηματική απεικόνιση της επίπτωσης των ξαφνικών και μεγάλων διακυμάνσεων στάθμης σε κατοικίες. (πηγή: USGS)	38
Σχήμα 6.2-1: Χάρτης ισοσταθμικών καμπυλών στον υδροφορέα Equus Bed με τις θέσεις των 244 πηγαδιών (πηγή: Olea, R.A., 1984, Sampling design optimization for spatial functions: Mathematical Geology)	42
Σχήμα 6.2-2: Χάρτης ισοσταθμικών καμπυλών στον υδροφορέα Equus Bed με τις θέσεις των 47 φρεάτων (πηγή: Olea, R.A., 1984, Sampling design optimization for spatial functions: Mathematical Geology)	43
Σχήμα 7.1-1: Οι ΛΑΠ του ΥΔ9. (πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013).....	47
Σχήμα 7.1-2: Γεωμορφολογικός χάρτης του ΥΔ9(πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013).....	49
Σχήμα 7.2-1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Δημητρακόπουλος et al., 1996).....	53
Σχήμα 7.2-2: Όρια υδροφορέα (Πηγή: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ 2010).....	54

Σχήμα 7.2-3: Πιεζομετρικοί χάρτες υποκείμενου και υπερκείμενου υδροφορέων το Σεπτέμβριο του 2003 – Οριοθέτηση λεκάνης απορροής Σουλού, (Πηγή: ΜΠΕ Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ 2010).....	55
Σχήμα 7.2-4: Σχηματική απεικόνιση υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Πτολεμαΐδας (Πηγή: ΜΠΕ Ορυχείων Πτολεμαΐδας)	56
Σχήμα 7.3-1: Διαχείριση υδατικών πόρων στα ορυχεία Πτολεμαΐδας (Πηγή: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας)	59
Σχήμα 8.2-1: Κατανομή θέσεων στο χώρο (από αριστερά προς τα δεξιά μετατρέπονται από διεσπαρμένες στο χώρο σε συγκεντρωμένες σε λίγα σημεία του χώρου) (πηγή: http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_statistics_tools/average_nearest_neighbor_spatial_statistics_.htm).....	73
Σχήμα 8.3-1: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση 232.....	74
Σχήμα 8.3-2: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση P7Γ	75
Σχήμα 8.3-3: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση Υ/Π5.....	75
Σχήμα 8.3-4: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση T7	76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.3-1: Ο υδρολογικός κύκλος. Τα νούμερα στα βέλη είναι οι ρυθμοί ροής σε km^3/yr και οι ποσότητες στις παρενθέσεις είναι όγκοι σε km^3	9
Εικόνα 2.4-1: η ζώνη της διασποράς (πηγή: USGS).....	11
Εικόνα 2.4-2: διαγραμματική απεικόνιση της ανόδου της ζώνης του θαλασσινού νερού με την υπερβολική άντληση πόσιμου νερού (G. F. Pinder & M. A. Celia,2006).....	12
Εικόνα 2.4-3: Πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης που επηρεάζουν υπόγειους υδροφορείς..	14
Εικόνα 3.2-1: Χάρτης Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (διαχωρισμός με βάση την κοινοτική οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ) (πηγή: http://www.ypeka.gr)	20

Εικόνα 4.5-1: Σύγκριση του υδρογραφήματος στάθμεων που προκύπτει από τη διαφορετική συχνότητα δειγματοληψίας για το ίδιο πηγάδι. (πηγή: USGS)	31
Εικόνα 4.5-2: Συσχετισμός δεδομένων από παλιά πηγάδια με μεγάλη χρονοσειρά μετρήσεων με καινούρια πηγάδια. (πηγή: USGS)	32
Εικόνα 8.2-1: Έλεγχος των στοιχείων για τυχόν επαναλήψεις, Duplicate check.	81
Εικόνα 8.5-1: Γράφημα συχνότητας εμφάνισης δεδομένων	82
Εικόνα 8.5-2: Θέση των δεδομένων στο χώρο	83
Εικόνα 8.5-3: Μετασχηματισμός N-scores	83
Εικόνα 8.5-4: Παράμετροι της συνδιασποράς	84
Εικόνα 8.5-5: Παράμετροι του πρώτου σφαιρικού μοντέλου	85
Εικόνα 8.5-6: Παράμετροι του δεύτερου σφαιρικού μοντέλου.	85
Εικόνα 8.5-7: Χωρική συσχέτιση και συνδιασπορά, s-units σε m.	86
Εικόνα 8.5-8: Χρονική συσχέτιση και συνδιασπορά, t-units σε μήνες.	87
Εικόνα 8.5-9: Τρισδιάστατη απεικόνιση του βαριογράμματος, s-units, σε m, t-units, μήνες	87
Εικόνα 8.5-10: Παράμετροι εκτίμησης BME	88
Εικόνα 8.5-11: Μάιος 1996	88
Εικόνα 8.5-12: Αύγουστος 1996	89
Εικόνα 8.5-13: Νοέμβριος 1996	89
Εικόνα 8.5-14: Φεβρουάριος 1997	89
Εικόνα 8.5-15: Μάιος 1997	90
Εικόνα 8.5-16: Αύγουστος 1997	90
Εικόνα 8.5-17: Νοέμβριος 1997	90
Εικόνα 8.5-18: Φεβρουάριος 1998	91
Εικόνα 8.5-19: Μάιος 1998	91
Εικόνα 8.5-20: Αύγουστος 1998	91

Εικόνα 8.5-21: Νοέμβριος 1998	92
Εικόνα 8.5-22: Σημεία Υπερβολικής Ταπείνωσης Υδροφορέα	93

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Βελτιστοποίηση σχεδιασμού συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδάτινων πόρων σε εξορυκτικές δραστηριότητες» είναι η ανάδειξη της σημασίας της ύπαρξης ενός αποτελεσματικού συστήματος παρακολούθησης των υδάτων ως μέτρου πρόληψης των δυνητικών επιπτώσεων των εξορυκτικών εργασιών στους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης, επιχειρείται μέσω μιας πρακτικής εφαρμογής να εξαχθούν συμπεράσματα που να αφορούν στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός συγκεκριμένου συστήματος παρακολούθησης της στάθμης των υπόγειων νερών στο λιγνιτωρυχείο του Νότιου Λιγνιτοφόρου Πεδίου στην Πτολεμαΐδα στο οποίο εκτελούνται αντλήσεις ταπείνωσης του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής για την ομαλή και ασφαλή επέκταση της αξιοποίησης των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

1.2. ΈΡΕΥΝΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής μελετήθηκε διεθνής και ελληνική βιβλιογραφία με στόχο την αποτύπωση της σημασίας των υδάτων και της παρακολούθησης των ποιοτικών και ποσοτικών τους χαρακτηριστικών. Ως περίπτωση εφαρμογής εξετάστηκαν ιστορικά στοιχεία μετρήσεων στάθμης από το Νότιο Λιγνιτοφόρο Πεδίο, Πτολεμαΐδας στοιχεία που συγκεντρώθηκαν στο πλαίσιο του Ερευνητικού έργου ΕΛΙΜΕΙΑ «Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Περιοχές Εκμεταλλεύσεων-Πιλοτική Εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας» Ερευνητικό Πρόγραμμα συνεργασίας Δ.Ε.Η., Ε.Μ.Π., Κ.Τ.Ε.Σ.Κ., Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης, ΙΝΤΕΛΕΚ Α.Ε., Αθήνα 1999.

Η χωρική αποτύπωση των θέσεων των γεωτρήσεων έγινε με το πρόγραμμα ArcGIS 9.3.1. Τα στοιχεία των μετρήσεων στάθμης αναλύθηκαν με χρήση του πακέτου γεωστατιστικής επεξεργασίας δεδομένων Seks-Gui (Christakos G, 2000, Modern Spatiotemporal Geostatistics) το οποίο λειτουργεί μέσω του περιβάλλοντος Matlab, με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη χρησιμοποίηση αυτών για τη βελτίωση του υφιστάμενου προγράμματος παρακολούθησης.

1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια, την εισαγωγή και ένα παράρτημα σε ηλεκτρονική μορφή με το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια βασική εισαγωγή για τη σημασία του νερού ως πόρου για την επιβίωση της ανθρωπότητας και τη σημασία της ορθής παρακολούθησης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του, και δίνονται μερικοί ορισμοί για την καλύτερη κατανόηση της εργασίας.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική ανασκόπηση της Ευρωπαϊκής και Εθνικής νομοθεσίας περί προστασίας υδάτων και διερευνάται το νομικό καθεστώς που ισχύει αυτή τη στιγμή.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα πρόγραμμα παρακολούθησης και οι στόχοι αυτού.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρατίθενται μερικά παραδείγματα από την διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τον ορθό σχεδιασμό και αξιοποίηση αποτελεσμάτων συστημάτων παρακολούθησης για την υποστήριξη των όσων αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι περιπτώσεις

εφαρμογής που παρουσιάζονται αφορούν ειδικότερα συστήματα παρακολούθησης των ποσοτικών χαρακτηριστικών υπόγειων υδροφορέων.

Στο 6^ο κεφάλαιο μελετάται η εφαρμογή της γεωστατιστικής για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της ακρίβειας των προβλέψεων των συστημάτων παρακολούθησης υπόγειων υδροφορέων.

Στο 7^ο κεφάλαιο δίνεται μια συνοπτική εικόνα για την υφιστάμενη περιβαλλοντική κατάσταση του Νοτίου Λιγνιτοφόρου Πεδίου Πτολεμαΐδας, που εξετάζεται ως περίπτωση εφαρμογής. Τα στοιχεία που συνοψίζονται αφορούν τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και την συνολική διαχείριση των υπόγειων υδάτων στο πλαίσιο της εξόρυξης λιγνιτών στην περιοχή.

Στο 8^ο κεφάλαιο καταγράφεται ο τρόπος εργασίας και αξιολόγησης των διαθέσιμων μετρήσεων στάθμης των εξεταζόμενων υπόγειων υδάτων μέσα στο περιβάλλον του πακέτου επεξεργασίας δεδομένων Seks-Gui και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στο 9^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της ανωτέρω επεξεργασίας των δεδομένων και οι προτάσεις για την βελτίωση ενός συστήματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υπόγειων υδάτων.

Η διπλωματική εργασία συνοδεύεται από Ηλεκτρονικό Παράρτημα όπου περιλαμβάνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων και οι σχετικοί χάρτες και οι μετρήσεις στάθμης.

2. ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1. ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Από ό τις πρώτες ύλες που είναι απαραίτητες για τη ζωή, καμία δεν είναι πιο σημαντική από το νερό. Οι άνθρωποι αποτελούνται κατά 60% κ.β. από νερό. Περίπου 5% από αυτό το νερό πρέπει να ανανεώνεται καθημερινά για να υποστηρίξει σωματικές λειτουργίες ζωτικής σημασίας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η προμήθεια των ανθρώπων με νερό είναι ένα κρίσιμο μέρος του τεχνητού μας περιβάλλοντος, αλλά και τα φυτά εξαρτώνται από το νερό για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και για τη διακίνηση πρακτικά όλων των θρεπτικών συστατικών στη βιομάζα τους και αυτό το νερό το προμηθεύονται μέσω του συστήματος ριζών που διαθέτουν. Το νερό επίσης παίζει κεντρικό ρόλο στην ανταλλαγή θερμότητας και στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της γης. Το νερό, τέλος, κατέχει εξέχοντα ρόλο στην ιστορική εξέλιξη του πολιτισμού και έχει γίνει η αφορμή για μερικά από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της τεχνολογίας και συνεχίζει να προκαλεί πολιτικές προκλήσεις σε πολλά μέρη του κόσμου ακόμα και σήμερα.

Οι μοναδικές φυσικές και χημικές του ιδιότητες επιτρέπουν στο νερό να είναι ο ρυθμιστικός παράγοντας σε πολλά φυσικά συστήματα και πολλούς κύκλους στοιχείων που υπάρχουν στη γη. Για παράδειγμα η μοριακή του δομή το κάνει έναν σχεδόν καθολικό διαλύτη, που μπορεί να διαλύσει μια πολύ μεγάλη ποικιλία ενώσεων. Έχει πολύ μεγάλη ειδική θερμότητα, που το βοηθάει να ρυθμίζει τη θερμοκρασία σε όλη τη γη σαν σύστημα αλλά και σε μεμονωμένους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπων. Έχει επίσης πολύ μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα που συνδέεται με την αλλαγή φάσης και επιδρά σημαντικά στην ενεργειακή ισορροπία της γης.

Οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις στην επιφάνεια της γης επιτρέπουν στο νερό να υπάρχει, υπό φυσιολογικές συνθήκες, και στις τρεις φάσεις του: στερεά, υγρή και αέρια. Η υγρή φάση του νερού βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στη γη αλλά μεγάλη ποσότητα νερού

υπάρχει και σε αέρια φάση στην ατμόσφαιρα και σε στερεή φάση στους πάγους των πόλων και τους παγετώνες. Η γη επειδή είναι η μοναδική από όλους τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος που μπορεί να φιλοξενήσει το νερό σε όλες τις φάσεις του είναι και ο μοναδικός πλανήτης στον οποίο εμφανίστηκε ζωή με τη μορφή που την ξέρουμε σήμερα.

Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι το νερό είναι ένας πόρος υψίστης σημασίας για την ανθρωπότητα, ο οποίος είναι πάρα πολύ δύσκολο να ανανεωθεί. Ικανοποιεί ζωτικές ανάγκες και είναι αναντικατάστατος. Αποτελεί κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας και έναν θεμελιώδη πόρο για όλη τη βιόσφαιρα. Συνεπώς η προστασία του και η βιώσιμη και αειφόρος διαχείρισή του αποτελούν την μεγαλύτερη προτεραιότητα για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, όπως την γνωρίζουμε. (G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006).

Ως αειφόρο διαχείριση του νερού, σύμφωνα με την Επιτροπή Προβλημάτων Ύδατος της Οικονομικής Επιτροπής του ΟΗΕ για την Ευρώπη ορίζουμε: «το σύνολο των μέσων και των μέτρων (θεσμικών, τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών) που στοχεύουν στην ικανοποίηση των σημερινών αναγκών σε νερό (ποσοτικά και ποιοτικά), τη μέριμνα διατήρησής τους για την ικανοποίηση των αναγκών των μελλοντικών γενεών, την προστασία του περιβάλλοντος και την ισορροπία των υδατικών και γενικότερα των φυσικών οικοσυστημάτων.»

2.2. ΟΡΙΣΜΟΙ

Για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία παρατίθενται οι ακόλουθοι ορισμοί, οι οποίοι αφορούν σε γενικές έννοιες των υδατικών συστημάτων (Οδηγία 2000/60/ΕΚ, άρθρο 2):

Επιφανειακά Ύδατα: τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός αν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα.

Υπόγεια Ύδατα: το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος.

Εσωτερικά Ύδατα: το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμική βάση από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων.

Μεταβατικά Ύδατα: συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γεινιάσής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.

Παράκτια Ύδατα: τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων.

Λεκάνη απορροής ποταμού: η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.

Περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού: η θαλάσσια και χερσαία έκταση, που αποτελείται από μια ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα και αποτελεί τη βασική μονάδα διαχείρισης και προστασίας των λεκανών απορροής ποταμού.

Κατάσταση επιφανειακών υδάτων: η συνολική έκφραση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και της χημικής του κατάστασης.

Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων: η κατάσταση επιφανειακού υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή» τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη.

Κατάσταση υπόγειων υδάτων: η συνολική έκφραση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και της χημικής του κατάστασης.

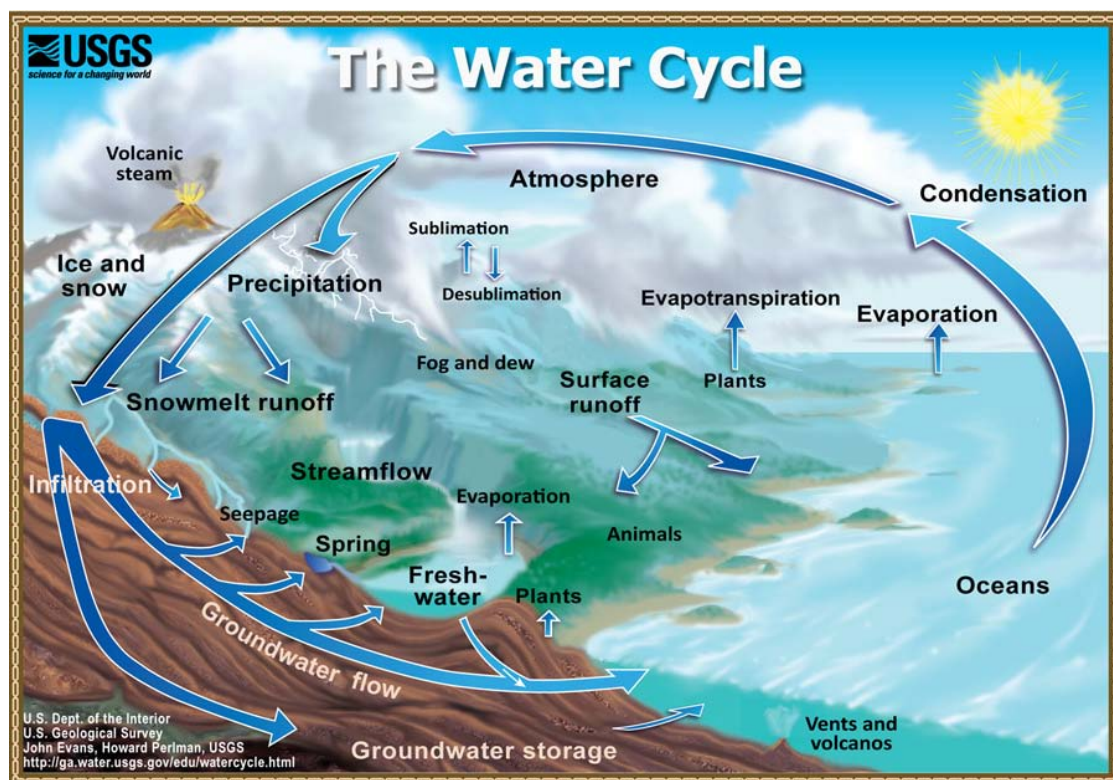
Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων: η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή» τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη.

2.3. ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Περίπου 1.386.000.000 km³ νερού υπάρχουν στη γη. Περίπου το 96,5% από αυτό βρίσκεται στους ωκεανούς. Το 1,7% βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς με σχεδόν το μισό από αυτό να είναι πόσιμο. Το 1,74% βρίσκεται στους πάγους και τους παγετώνες. Το υπόλοιπο 0,06% αντιστοιχεί στο νερό σε όλες τις άλλες μορφές του, συμπεριλαμβανομένου και του νερού που υπάρχει σε ποτάμια και λίμνες, στη βιομάζα και στην ατμόσφαιρα. (G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006).

Το ότι το μεγαλύτερο μέρος του πόσιμου νερού, που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε, βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς κάνει τα υπόγεια νερά έναν πολύ σημαντικό φυσικό πόρο. Άλλα μέρη του υδρολογικού κύκλου που περιλαμβάνουν το νερό που υπάρχει στην ατμόσφαιρα με μορφή υδρατμών και το νερό των ποταμών και των λιμνών παίζουν κι αυτά με τη σειρά τους σημαντικό ρόλο στον κύκλο του νερού.

Το νερό σε αυτά τα διαφορετικά «διαμερίσματα» κινείται συνεχώς μέσα σε αυτά και συγχρόνως μεταφέρεται από το ένα «διαμέρισμα» στο άλλο. Αυτή η συνεχής κίνηση και ανταλλαγή του νερού αναφέρεται ως υδρολογικός κύκλος ή κύκλος του νερού.

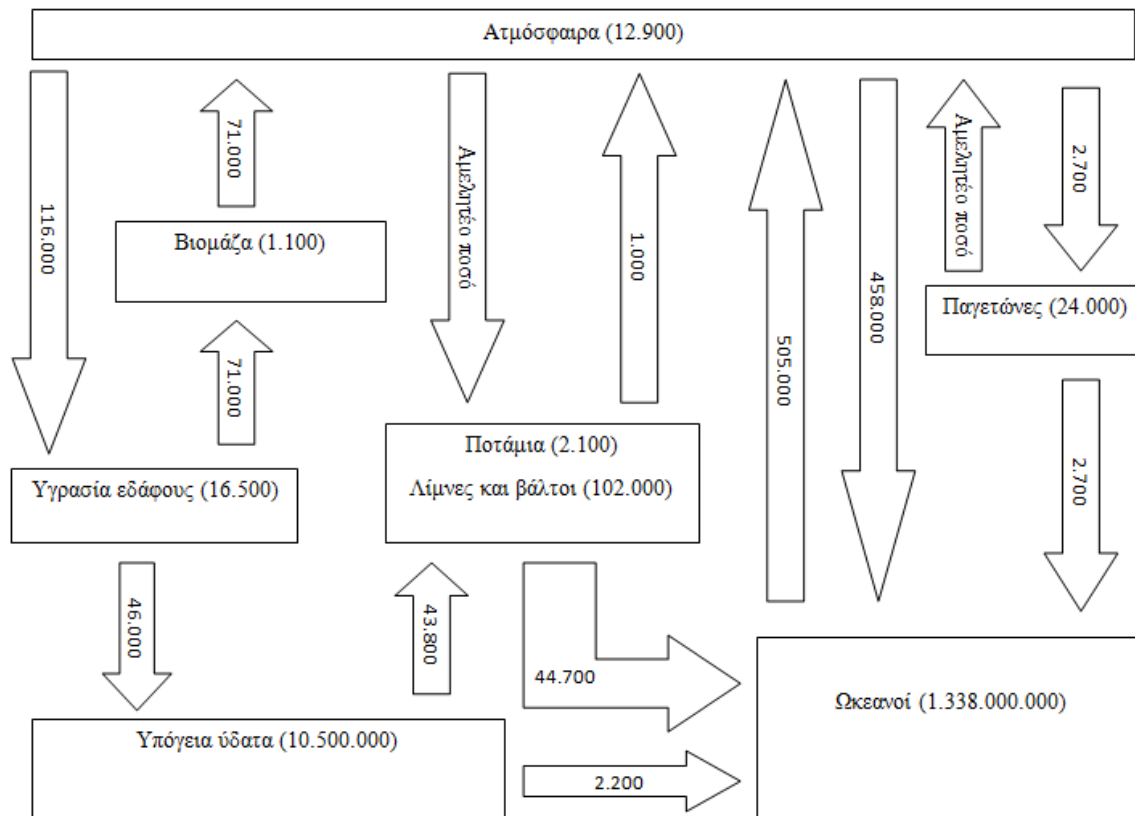


Σχήμα 2.3-1: Ο κύκλος του νερού (πηγή: USGS)

Λόγω της συνεχούς κίνησής του μέσα σε αυτά τα «διαμερίσματα» το νερό ανανεώνεται συνεχώς πότε με αργούς και πότε με γρήγορους ρυθμούς. Ο χρόνος τον οποίο το νερό περνάει μέσα σε ένα μέσο κατά μέσο όρο μέχρι να μετακινηθεί σε ένα άλλο ονομάζεται χρόνος παραμονής. Ο χρόνος παραμονής υπολογίζεται αν διαιρέσουμε τον όγκο του νερού που υπάρχει στο συγκεκριμένο «δοχείο» με το ρυθμό ροής μέσα από το δοχείο αυτό. Κατά μέσο όρο τα ποτάμια και οι λίμνες έχουν χρόνο παραμονής γύρω στις δύο εβδομάδες, ενώ οι υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες έχουν 229 χρόνια. (G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006).

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι όταν το νερό μπει σε κάποιον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (κυρίως μέσω της κατείδυσης των ομβρίων υδάτων) παραμένει εκεί για πολύ καιρό και άρα κάποιος παράγοντας που θα μπορούσε να ρυπάνει έναν υπόγειο υδροφόρο θα παρέμενε εκεί για πολύ καιρό μέχρι να απομακρυνθεί φυσικά. Αντίθετα, αν υπάρξει κάποιο φαινόμενο ρύπανσης σε ένα ποτάμι θα, απομακρυνθεί γρήγορα από το σύστημα λόγω της μεγάλης ροής νερού στο σύστημα αυτό. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι στα υπόγεια συστήματα η ρύπανση διαδίδεται πολύ αργά και άρα κατά μια έννοια παγιδεύεται, ενώ σε ένα ποτάμιο σύστημα διαδίδεται πολύ γρήγορα με συνέπειες που είναι δύσκολο να προληφθούν.

Παρακάτω, στην **Εικόνα 2.3-1** παρατίθενται ενδεικτικά οι χρόνοι παραμονής των υδάτων στα διάφορα συστήματα.



Εικόνα 2.3-1: Ο υδρολογικός κύκλος. Οι αριθμοί στα βέλη είναι οι ρυθμοί ροής σε km^3/yr και οι ποσότητες στις παρενθέσεις είναι όγκοι σε km^3 .

(G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006)

Παρά τις διαφορές τους στους χρόνους παραμονής του νερού και στις ροές του νερού πρέπει να παρατηρήσουμε ότι οι επιφανειακοί με τους υπόγειους υδροφορείς υπάρχουν σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους καθώς, για παράδειγμα, οι υπόγειοι υδροφορείς τροφοδοτούν με νερό τα ποτάμια ακόμα κι όταν δεν βρέχει βοηθώντας τα να συνεχίσουν να έχουν ροή. Αυτή η ροή ονομάζεται «ροή βάσης» και είναι ένα σημαντικό κομμάτι της ροής στους ποταμούς. (G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006)

2.4. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Το νερό το οποίο προμηθευόμαστε από το έδαφος ή το υπέδαφος προορίζεται για ορισμένες χρήσεις (πόσιμο, οικιακές, αγροτικές, βιομηχανικές κ.τ.λ). Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό σε αυτούς τους τομείς συνήθως πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις σε μια σειρά από ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μερικές φορές η ίδια η φύση, μέσω κάποιου εγγενούς φαινομένου π.χ γεωχημεία της περιοχής μπορεί να καταστήσει μη αποδεκτή ποιοτικά μια μάζα νερού για τις διάφορες χρήσεις που προοριζόταν. Σημαντικό ρόλο όμως παίζουν και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού οι οποίες μπορεί να περιορίσουν ή και να αποκλείσουν τις δυνατότητες ορισμένων χρήσεων.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη χρήση του νερού από τους ανθρώπους και να θέσουν σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία είναι οι εξής:

- Βιολογικοί (ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα, φύκη)
- Χημικοί (βαρέα μέταλλα – ιχνοστοιχεία, φυτοφάρμακα, λιπάσματα)
- Ραδιενεργοί

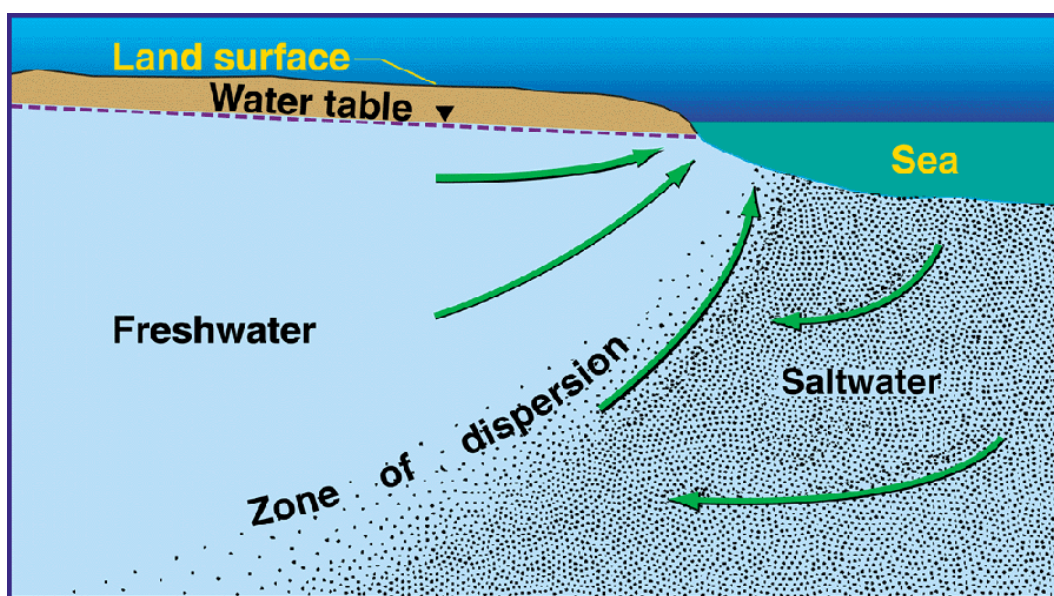
Ενώσεις που βρίσκονται είτε διαλυμένες στα υπόγεια ύδατα είτε ως διαφορετική υγρή φάση συχνά καθιστούν μη κατάλληλο το νερό που προορίζεται για οικιακή, δημόσια, βιομηχανική, ή αγροτική χρήση. Όποτε προκύπτει ένας κίνδυνος τέτοιας φύσεως, τα στοιχεία ή οι ενώσεις αυτές αποκαλούνται ρυπαντές.

Κυρίως οι ρυπαντές, σε αστικές περιοχές, προέρχονται από δεξαμενές αποθήκευσης (π.χ. πετρελαίου), αποχετευτικά συστήματα ή χώρους υγειονομικής ταφής στα οποία μπορεί να παρουσιαστεί κάποια διαρροή ή κατείσδυση των στραγγιδίων. Επίσης κίνδυνοι ρύπανσης μπορεί να προέλθουν από εξορυκτικές εγκαταστάσεις, μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και από τη χρήση εντομοκτόνων σε μη αστικές περιοχές.

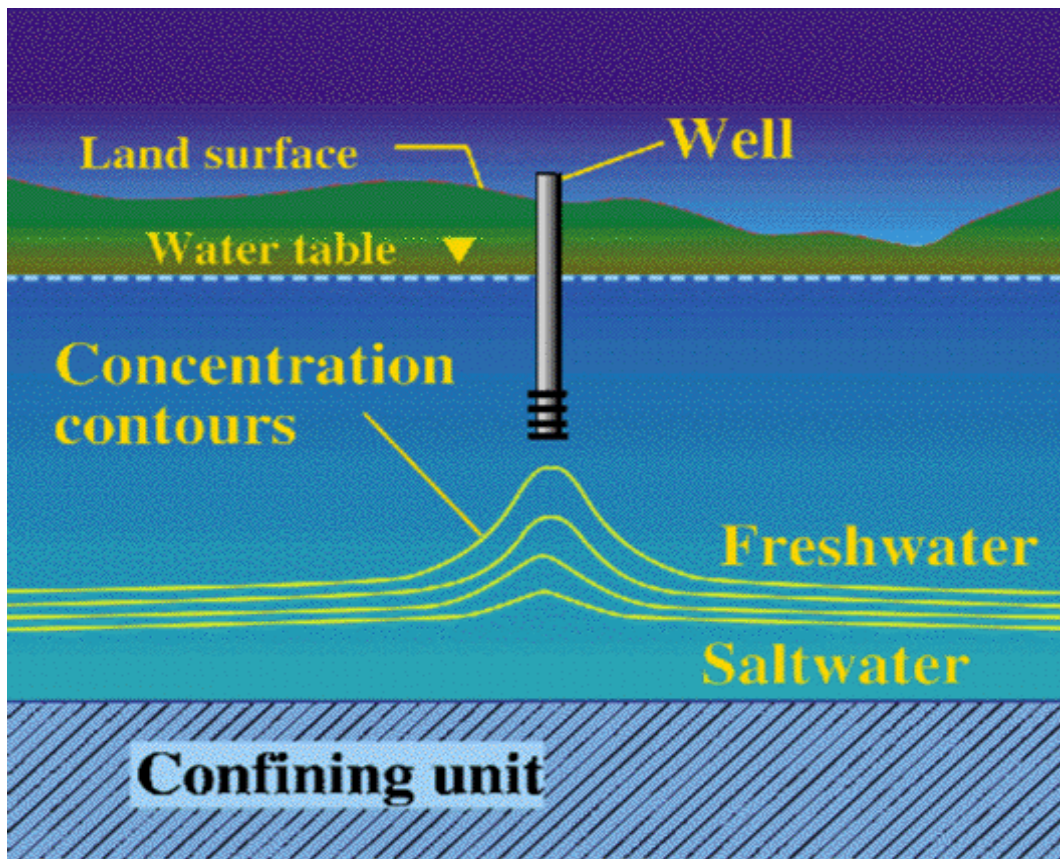
2.4.1. ΦΥΣΙΚΟΙ ΡΥΠΑΝΤΕΣ

Ο ανθρώπινος παράγων δεν είναι ο μόνος που ευθύνεται για την ρύπανση των υδάτων. Υπάρχουν πολλοί ρυπαντές οι οποίοι είναι παρόντες στη φύση χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι πιο σημαντικοί και συχνά παρατηρούμενοι είναι οι εξής:

1. Αλμυρό νερό: Το θαλασσινό νερό προκαλεί προβλήματα επειδή συχνά αναμειγνύεται με το γλυκό νερό που υπάρχει στα πηγάδια από τα οποία αντλείται νερό για ανθρώπινη κατανάλωση. Ως εκ τούτου το νερό καταλήγει να μην είναι πόσιμο. Αυτό συμβαίνει επειδή, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας του θαλασσινού νερού, η βαρύτητα το ωθεί να πάει προς τη στεριά και να καταλάβει χώρο μέσα στους υπόγειους υδροφορείς που υπάρχει γλυκό νερό, το οποίο και ωθεί προς τη θάλασσα. Ευτυχώς μέσω μιας περίπλοκης υδροδυναμικής που αναπτύσσεται ανάμεσα στο αλμυρό και το γλυκό νερό η εισβολή του αλμυρού νερού περιορίζεται σε μια ζώνη που καλείται ζώνη διασποράς. Βέβαια με τη συνεχή ύδρευση μέσω πηγαδιών η ζώνη αυτή μετακινείται όλο και πιο κοντά στο σημείο λήψεως του νερού και μόλις το φτάσει το πηγάδι καθίσταται ακατάλληλο για χρήση. Το καλό είναι ότι, αν αφεθεί το πηγάδι χωρίς να αντλείται νερό, θα επανέλθει η ζώνη διασποράς στα φυσιολογικά της όρια, η διαδικασία όμως αυτή μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα.



Εικόνα 2.4-1: η ζώνη της διασποράς (πηγή: USGS)



Εικόνα 2.4-2: διαγραμματική απεικόνιση της ανόδου της ζώνης του θαλασσινού νερού με την υπερβολική άντληση πόσιμου νερού (G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006)

2. Αρσενικό: Το αρσενικό που εμφανίζεται φυσικά στα πετρώματα και στο νερό που είναι σε επαφή μαζί τους είναι ένα τοξικό και καρκινογόνο στοιχείο και σε περίπτωση που το νερό αξιοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση δεν επιτρέπεται να υπάρχει σε συγκέντρωση άνω των 10 $\mu\text{g/L}$ σύμφωνα με τη νομοθεσία των ΗΠΑ αλλά και της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

(πηγή: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470741122.app5/pdf>)

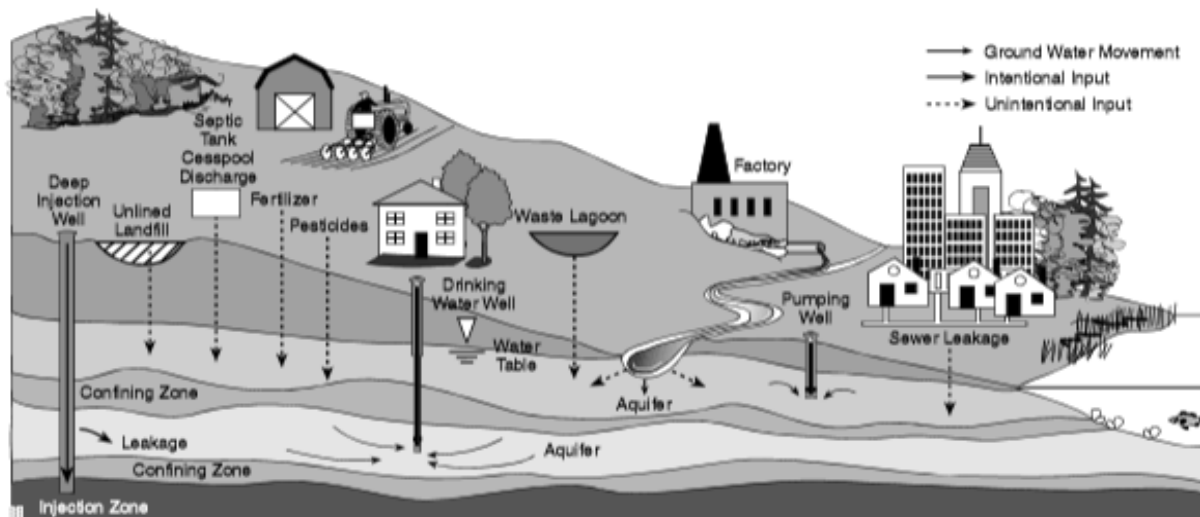
3. Ραδόνιο: Το ραδόνιο είναι ένα ραδιενεργό υλικό που υπάρχει σε όλα τα πετρώματα και δημιουργείται από την έκλυση δύο σωματιδίων άλφα από έναν πυρήνα ραδίου το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε ραδόνιο. Παρόλο που το ραδόνιο έχει πολύ μικρό χρόνο ημιζωής, αν καταφέρει να βρεθεί σε γρήγορη ροή νερού μπορεί να βρεθεί σε μια κατοικία μέσω της ύδρευσης πριν προλάβει να διασπαστεί.

2.4.2. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΑΝΤΕΣ

Ανθρωπογενείς ρυπαντές καλούνται αυτοί οι οποίοι μπορούν να αποδοθούν άμεσα ή έμμεσα στον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του. Οι κυριότεροι είναι οι εξής:

1. Χρώμιο: Το χρώμιο είναι ένα στοιχείο που υπάρχει στη φύση σε εννιά βαθμούς οξειδωσης αν και συνήθως απαντάται ως τρισθενές ή εξασθενές χρώμιο. Το εξασθενές χρώμιο έχει χαρακτηριστεί από έρευνες ως καρκινογόνο αν εισπνευσθεί στις εξής μορφές: χρωμιούχο ασβέστιο, τριοξείδιο του χρωμίου, χρωμιούχος μόλυβδος, χρωμιούχο στρόντιο και χρωμιούχος ψευδάργυρος. Αν το εξασθενές χρώμιο είναι καρκινογόνο, όταν υπάρχει σε πόσιμο νερό, δεν είναι ακόμα εντελώς εξακριβωμένο.
2. Υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης: Οι υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων είναι ένας πολύ σημαντικός ανθρωπογενής παράγοντας ρύπανσης που μπορεί να απελευθερώσει κάθε είδους επικίνδυνες ουσίες στα υπόγεια νερά. Το πιο συνηθισμένο είναι διαρροές πετρελαίου θέρμανσης, είτε από κακή κατασκευή της δεξαμενής, είτε από κακή συντήρησή της.
3. Χώροι υγειονομικής ταφής (χωματερές): Το σημαντικότερο πρόβλημα δημιουργούν οι χώροι υγειονομικής ταφής σε περιοχές χωρίς φυσική ή τεχνητή στεγανοποίηση όπως σε παλιά ορυχεία, βαλτότοπους και καταβόθρες. Επίσης την πιο σοβαρή ρύπανση την προκαλούν οι χώροι αυτοί που χρησιμοποιούνται από βιομηχανίες καθώς τα είδη των ρυπαντών που μπορεί να περιέχονται στα απόβλητα τους είναι πολύ επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Ενδεικτικά σε αυτά τα απόβλητα μπορεί να περιέχονται βαρέα μέταλλα, πλαστικά, στάχτη, κωκ, λάσπη, τέλματα καθώς και υπολείμματα χρωστικών.
4. Σηπτικά συστήματα (βόθροι): Τα σηπτικά συστήματα αστικών λυμάτων ενώ δεν προκαλούν σημαντικό πρόβλημα μεμονωμένα λόγω της μικρής ποσότητας ρυπαντών που μπορεί να διαρρεύσει λόγω κακής κατασκευής ή συντήρησης, αποτελούν σημαντικό παράγοντα ρύπανσης λόγω του μεγάλου τους αριθμού. Συνήθως διαρρέουν από αυτά βακτήρια, ιοί, φωσφορικά άλατα από τα απορρυπαντικά και πολλά χημικά που συνδέονται με καθαριστικά σπιτιού. Το χειρότερο

χαρακτηριστικό των σηπτικών συστημάτων είναι ότι συχνά είναι τοποθετημένα κοντά σε υπόγειους υδροφόρους με αποτέλεσμα να τους ρυπαίνουν άμεσα.



Εικόνα 2.4-3: Πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης που επηρεάζουν υπόγειους υδροφόρους.

(G. F. Pinder & M. A. Celia, 2006)

2.5. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τους ρυπαντές έχει θεσπιστεί την κείμενη νομοθεσία ένα όριο ποσιμότητας, το οποίο είναι το όριο της συγκέντρωσης ενός ρυπαντή στο νερό, ώστε αυτό να θεωρείται πόσιμο. Συνήθως η επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι πάρα πολύ μικρή γιατί πολλά από αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι (ή είναι αποδεδειγμένα) τοξικά ή καρκινογόνα. Το όριο ποσιμότητας καθορίζεται με νόμο και επίσης καθορίζονται και οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να καταστεί το νερό μιας περιοχής κατάλληλο για τη χρήση που προορίζεται.

Συγκεκριμένα ως παράδειγμα αναφέρονται οι κύριες επεξεργασίες που υφίσταται το νερό στην Ελλάδα για να καταστεί κατάλληλο από ποιοτικής άποψης, (Αγγελίδης, et al. 2009):

- Απολύμανση του νερού για την εξάλειψη παθογόνων μικροοργανισμών

- Απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων για την αντιμετώπιση της θολότητας
- Απομάκρυνση σιδήρου και μαγγανίου
- Βιολογική οξείδωση της αμμωνίας
- Απομάκρυνση αρσενικού
- Αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού

3. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, το νερό δεν είναι ένα εμπορικό αγαθό και αποτελεί κοινή κληρονομιά όλων μας. Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι υπάρχει η ηθική υποχρέωση της διατήρησής του σε ικανοποιητικά επίπεδα, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, για την διασφάλιση της ομαλής διαβίωσης των μελλοντικών γενεών. Πλέον θεωρείται ανήθικη και πολλές φορές παράνομη η κατασπατάληση ή η ρύπανση οποιουδήποτε υδροφορέα.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω σημαντικά θέματα που προέκυψαν από το σεμινάριο υπουργών περιβάλλοντος της Φρανκφούρτης το 1988 (πηγή: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-88-413_en.htm), τόνισε την ανάγκη ύπαρξης κοινοτικής νομοθεσίας που θα καλύπτει την οικολογική ποιότητα. Στις 28 Ιουνίου του 1988 με ψήφισμά του το Συμβούλιο ζήτησε από την Επιτροπή την υποβολή προτάσεων για την βελτίωση της οικολογικής ποιότητας των κοινοτικών επιφανειακών υδάτων. Το 1991 πραγματοποιήθηκε στη Χάγη σεμινάριο υπουργών περιβάλλοντος για τα υπόγεια ύδατα (πηγή: ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ), το οποίο εκ νέου αναγνώρισε την ανάγκη κάποιας μορφής δράσης σε επίπεδο ευρωπαϊκό για την αποφυγή περαιτέρω υποβάθμισης των υδάτων στα όρια της Ενωμένης Ευρώπης.

Αρχικά μια τέτοια προσπάθεια δεν ήταν εύκολη λόγω της ποικιλίας αναγκών και συνθηκών στις διάφορες χώρες της Ένωσης, πράγμα που σήμαινε ότι το σχέδιο έπρεπε να λαμβάνει υπόψη αυτή την ιδιόμορφη ποικιλομορφία που παρουσιάζει η ΕΕ. Η επιτυχία οποιασδήποτε οδηγίας εξαρτάτο από την ικανότητα συνεργασίας των κρατών μελών και την συνεπή δράση σε κοινοτικό επίπεδο. Απαιτούσε επίσης τη διάδραση με τους χρήστες του νερού σε τοπικό επίπεδο σε όλες τις χώρες και τη διεξαγωγή διαβουλεύσεων. (πηγή: ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ)

Εν τέλει μετά από πολλές αποφάσεις και υπό την πίεση της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για επαρκείς ποσότητες υδάτων καλής ποιότητας εκδόθηκε την 23η Οκτωβρίου 2000 η Οδηγία 2000/60/ΕΚ, η οποία ως στόχο έχει τη θέσπιση ενός πλαισίου που θα αποσκοπεί στην προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων.

3.2. ΣΚΟΠΟΣ

Το πλαίσιο το οποίο τίθεται σύμφωνα με αυτή την Οδηγία συμβάλλει στο να:

- Συντελέσει στην αποτροπή οποιασδήποτε επιπλέον επιδείνωσης των υδάτινων οικοσυστημάτων και των εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και να προστατέψει και να βελτιώσει αυτά.
- Προωθήσει τη βιώσιμη χρήση και διαχείριση του νερού με βασικό στόχο την μακροπρόθεσμη και επιτυχή προστασία των διαθέσιμων πόρων.
- Συντελέσει αποτελεσματικά στην βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις ουσίες προτεραιότητας με προοδευτική μείωση ή και εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών τους.
- Διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και την αποτροπή της περαιτέρω ρύπανσής τους.
- Συμβάλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

Για την επιτυχή εφαρμογή των παραπάνω πρέπει, σύμφωνα με την οδηγία, να μελετηθεί κάθε λεκάνη απορροής ποταμού και να υπάρχει ξεχωριστό σχέδιο για την διαχείριση της. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι της Οδηγίας στηρίζονται σε οικονομικές αρχές και εργαλεία καθώς και στην εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων μέτρων, τα οποία τα κράτη μέλη οφείλουν να υλοποιούν σταδιακά, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες κοινοτικές απαιτήσεις. Προωθούνται επίσης οι κανόνες για την αειφόρο διαχείριση των διασυνοριακών λεκανών απορροής ποταμών οι οποίες χρειάζονται τη συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών.

Στην Ελλάδα με βάση την κοινή αυτή ευρωπαϊκή απόφαση το δίκαιο της χώρας εναρμονίστηκε προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/EK με το νόμο 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (ΦΕΚ Α' 280/9.12.2003).

Σύμφωνα με την οδηγία ορίστηκαν οι κατάλληλοι θεσμοί και συμβούλια που θα επιτρέψουν την εφαρμογή της και δημιουργήθηκε το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, το οποίο χωρίζει την Ελλάδα σε 14 υποενότητες και μελετά τις λεκάνες απορροής σε κάθε μια ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμό με τις γειτονικές της αν συνδέονται με οποιονδήποτε τρόπο όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Οι θεσμοί αυτοί είναι η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας και τα Περιφερειακά Συμβούλια Υδάτων τα οποία και είναι υπεύθυνα στο καθένα από αυτά τα διαμερίσματα για την ενημέρωση του κόσμου σχετικά με το σχέδιο διαχείρισης και για την αρχική γνωμοδότηση για όλα τα θέματα προστασίας των υδατικών πόρων που θα περιληφθούν στο Σχέδιο Διαχείρισης.

Η προετοιμασία για την έναρξη λειτουργίας του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ποιότητας και Ποσότητας των Υδάτων της χώρας βασίστηκε στην Κοινή Υπουργική Απόφαση ΦΕΚ 2017 Β 09.09.2011 'περί ορισμού του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στην λειτουργία τους, κατά το άρθρο 4, παράγραφος 4 του Ν. 3199/2003' και στην Κοινή Υπουργική Απόφαση ΦΕΚ 1977 Β 06.09.2011 'για τις τεχνικές προδιαγραφές και ελάχιστα κριτήρια επιδόσεων των αναλυτικών μεθόδων για τη χημική ανάλυση και παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/90/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 31ης Ιουλίου 2009.

Σύμφωνα με την Οδηγία προβλέπονταν (Άρθρο...) η δημιουργία ενός καταλόγου επικίνδυνων ουσιών και ουσιών προτεραιότητας για να θέσει τις βάσεις για την χημική παρακολούθηση των υδάτων. Η πολιτική της ΕΕ για τις επικίνδυνες ουσίες είχε αρχικά διαμορφωθεί με την Οδηγία 76/464/EK «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδατινού περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα» και στη συνέχεια κωδικοποιήθηκε με την Οδηγία

2006/11/ΕΚ 'Για τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας'.

Το 2010 εκδόθηκε η Απόφαση ΦΕΚ 1909 Β 08.12.2010 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα» η οποία εναρμονίζει το εθνικό δίκαιο με την τελευταία χρονολογικά οδηγία της ΕΕ την Οδηγία 2008/105/ΕΚ «σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» Η οποία θέτει περιβαλλοντικά πρότυπα ποιότητας για συγκεκριμένες ουσίες προτεραιότητας και άλλους ρυπαντές, τα οποία θα πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2015.

Σύμφωνα με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος οι ουσίες προτεραιότητας και οι ειδικοί ρύποι που συνδέονται με την εξορυκτική δραστηριότητα είναι:

- το κάδμιο (Cd) και ενώσεις του
- ο μόλυβδος (Pb) και ενώσεις του
- ο υδράργυρος (Hg) και ενώσεις του
- το νικέλιο (Ni) και ενώσεις του
- το αρσενικό (As)
- το κοβάλτιο (Co)
- το μολυβδαίνιο (Mo)
- το σελήνιο (Se)
- ο χαλκός (Cu)
- το χρώμιο (Cr)
- ο ψευδάργυρος (Zn).



Εικόνα 3.2-1: Χάρτης Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (διαχωρισμός με βάση την κοινοτική οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ) (πηγή: <http://www.ypeka.gr>)

4. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

4.1. ΣΤΟΧΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η σημαντικότερη προϋπόθεση για την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών και των οικοσυστημάτων είναι η πρόσβαση σε καθαρό και πόσιμο νερό. Επειδή η ύπαρξη όλων των οργανισμών είναι συνυφασμένη με το νερό στον τόπο διαβίωσής τους και την καταλληλότητά του, αντιδρούν σε οποιαδήποτε μεταβολή της ποιότητας αυτού.

Η παραπάνω παραδοχή αποτελεί κύριο άξονα στον οποίο κινείται η παρακολούθηση της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων. Μέσω της συστηματικής παρακολούθησης είναι γνωστά ανά πάσα στιγμή τα αποθέματα νερού και η ποιότητά τους και μπορούν να αναπτύσσονται ρεαλιστικές στρατηγικές διαχείρισης για τη χρήση των υδάτων μιας χώρας.

Η παρακολούθηση μπορεί να δράσει και ως μηχανισμός πρόληψης καθώς υπάρχει μια δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των νέων δεδομένων που καταγράφονται συνεχώς και της λήψης αποφάσεων. Άλλωστε είναι πολύ πιο βιώσιμη από οικονομικής σκοπιάς η παρακολούθηση, η πρόβλεψη και η λήψη μέτρων για την αποφυγή μιας οικολογικής καταστροφής, παρά η αντιμετώπιση και η διόρθωση (αν είναι εφικτή) των ζημιών μετά από μια καταστροφή.

Ειδικά για τα υπόγεια ύδατα, τα οποία είναι πόρος υψίστης σημασίας για κάθε χώρα, αυτό σημαίνει ότι εκτός από την παρακολούθηση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών, πρέπει να παρακολουθείται και η στάθμη των υπόγειων υδροφορέων. Η συστηματική και μακροχρόνια παρακολούθηση των υπογείων υδροφορέων μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδάτων και στην καλύτερη πρόβλεψη των ποσοτήτων νερού που θα είναι διαθέσιμες και αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων. Επίσης, μπορεί να οδηγήσει στο σχεδιασμό μιας καλύτερης εθνικής στρατηγικής διαχείρισης υδάτινων πόρων και να αποφέρει πολλά μακροχρόνια οφέλη.

Οι υπόγειοι υδροφορείς έχουν μια δυναμική σχέση με τις κλιματικές μεταβολές (μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες), την άντληση και την χρήση γης. Οι γεωτρήσεις δειγματοληψίας είναι κύριας σημασίας στη συγκέντρωση πληροφοριών γύρω από τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τους υπόγειους υδροφορείς και να αλλοιώνουν τις εισροές και τις εκροές νερού από αυτούς, καθώς και την αποθηκευτική τους ικανότητα. Η μακροχρόνια συλλογή στοιχείων, οδηγεί σε όλο και καλύτερες εκτιμήσεις και προβλέψεις για το μέλλον του υδροφόρου ορίζοντα και στο σχεδιασμό, την εφαρμογή και τη βελτιστοποίηση των προγραμμάτων παρακολούθησης.

Ένα ακόμη βήμα προς το ιδεατό σύστημα παρακολούθησης, είναι η κοινή συλλογή των πληροφοριών από όλα τα επιμέρους συστήματα παρακολούθησης και η επεξεργασία των δεδομένων για την δημιουργία μιας εθνικής βάσης δεδομένων. Αυτή η βάση δεδομένων θα χρησιμεύσει στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης όλων των υδροφορέων μεταξύ τους και στην εφαρμογή μιας συνολικής στρατηγικής διαχείρισης που θα αφορά τα εθνικά αποθέματα νερού και τη βέλτιστη εκμετάλλευσή τους.

Η ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση των υδάτων, όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της διαχείρισης των υδατικών πόρων καθώς αποτελεί και το αρχικό εργαλείο σχεδιασμού προγραμμάτων διαχείρισης και την ανάδραση με το περιβάλλον, μέσω της οποίας βελτιστοποιούνται οι διαδικασίες και αποφεύγονται αχρείαστες ζημιές και κόστη.

Μερικές από τις θετικές συνεισφορές που μπορεί να έχει πρόγραμμα ποσοτικής και ποιοτικής παρακολούθησης των υδάτων είναι:

- Καθιστά δυνατές εκτιμήσεις σχετικά με την παρούσα φάση της ποσότητας και της ποιότητας των υδάτων και της μεταβλητότητάς τους στο χώρο και το χρόνο.
- Υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων και τη λειτουργική διαχείριση των υδάτων σε κρίσιμες καταστάσεις.
- Καθιστά δυνατή την παρακολούθηση επιπτώσεων που έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες ή η απελευθέρωση ρυπαντών.
- Βοηθά στη λήψη αποφάσεων σχετικά με ρυπασμένα ή μη πόσιμα ύδατα.
- Συνεισφέρει στην αξιολόγηση της διαχείρισης των υδάτων και των μέτρων προστασίας κατά της ρύπανσης των υδάτων.

- Προσφέρει τη βάση για την ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών στηριζόμενων σε επιστημονικά δεδομένα και αξιολογεί αν αυτές οι πολιτικές έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και αν ξεπερνούν τον προϋπολογισμό.
- Καθιστά δυνατό τον προσδιορισμό της αφομοιωτικής ικανότητας των υδάτων μειώνοντας έτσι το κόστος για την καταπολέμηση της ρύπανσης.
- Βοηθά στην παρακολούθηση της πορείας των διάφορων ρυπαντών και στην κατανόηση της συμπεριφοράς τους.
- Καθιστά δυνατή την εκτίμηση της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις.

4.2. ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Η βασική δομή ενός προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης υδατικών πόρων περιέχει:

- Στόχους
- Προκαταρκτικές έρευνες
- Σχεδιασμό παρακολούθησης
- Διαδικασίες παρακολούθησης στο πεδίο
- Υδρολογική παρακολούθηση
- Εργαστηριακές δραστηριότητες
- Διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας
- Διαχείριση δεδομένων και ανάπτυξη προϊόντων

Κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού ενός προγράμματος παρακολούθησης, πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή στα συστατικά στοιχεία της παραπάνω δομής για να υπάρξει σωστή εφαρμογή του προγράμματος και να δημιουργηθεί το επιθυμητό προϊόν πληροφορίας. Μπορεί λοιπόν να χωριστεί σε τρεις φάσεις ο σωστός σχεδιασμός ενός

προγράμματος παρακολούθησης με την πρώτη να είναι ο προσδιορισμός του προϊόντος πληροφορίας που είναι επιθυμητό από το πρόγραμμα, ο οποίος με τη σειρά του θα βοηθήσει στον προσδιορισμό των δεδομένων που πρέπει να λαμβάνονται από τις διάφορες μετρήσεις.

Στη δεύτερη φάση ανήκει ο σχεδιασμός του προγράμματος ο οποίος περιλαμβάνει τη σωστή αξιοποίηση προηγούμενων ερευνών, αν υπάρχουν, ή προκαταρκτικών ερευνών στην περιοχή για να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση των σταθμών λήψης μετρήσεων, τις μεταβλητές που θα μετρώνται, τις διαδικασίες λήψης των μετρήσεων αυτών, της συχνότητάς τους και το γενικό κόστος σε οικονομικούς όρους και σε όρους ανθρώπινου δυναμικού και εξοπλισμού.

Η τρίτη και τελευταία φάση περιλαμβάνει την εφαρμογή του σχεδιασθέντος προγράμματος περιλαμβάνοντας ελεγκτικούς μηχανισμούς για να διασφαλίζεται η ποιότητα του και η ανάλυση των δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η παρακολούθηση των υδάτων είναι μια σύνθετη διαδικασία η οποία είναι στο σύνολό της πολύ κοστοβόρα, γεγονός που υποδηλώνει τη σημασία του καλού αρχικού σχεδιασμού και προσδιορισμού των αναγκών του προγράμματος για τον περιορισμό του κόστους. Πρέπει σύμφωνα με τους στόχους του προγράμματος να αποφασιστεί η πορεία της παρακολούθησης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει μέτρηση βασικών μεταβλητών και αποτίμηση της παρούσας κατάστασης, χρονικές τάσεις των διάφορων ουσιών και χωρικές διαφορές, χρήσεις των υδάτων, επιπτώσεις από την ρύπανση και διαχειριστικές ανάγκες για πληροφορίες, λήψη αποφάσεων και δράσεις.

Συνήθεις στόχοι της παρακολούθησης είναι:

- Προσδιορισμός αρχικών συνθηκών σε ένα σημείο που δεν έχει ρυπανθεί για σημείο σύγκρισης
- Ανίχνευση οποιασδήποτε αλλοίωσης των υδάτων και των περιοχών στις οποίες εμφανίζεται
- Εκτίμηση της κατάστασης με βάση την ήδη υπάρχουσα ρύπανση και την μεταφορική ικανότητα των υδάτων
- Ανάπτυξη οδηγιών για ασφαλή χρήση των υδάτων

- Δημιουργία κανονισμών για την ποιότητα και την ποσότητα των υδάτων που μπορούν να εισέλθουν σε ένα σύστημα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες
- Δημιουργία κατάλληλων διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου
- Δημιουργία προγράμματος για τον έλεγχο της ρύπανσης

Είναι δύσκολο ένα πρόγραμμα παρακολούθησης να έχει μόνο ένα στόχο, όπως και να έχει όλους τους παραπάνω στόχους. Συνήθως αποτελείται από ένα συνδυασμό των παραπάνω στόχων ή κάποιων επιπλέον συγκεκριμένων για κάποια ειδική περίπτωση. Ο κύριος τρόπος για να αποφασιστεί τι είδους πληροφορίες χρειάζεται να ανακτήσει ένα σύστημα παρακολούθησης, είναι να ληφθούν υπόψη οι χρήσεις του νερού στη συγκεκριμένη περιοχή οι οποίες και θα οδηγήσουν σε διαφορετικά ποιοτικά πρότυπα ανάλογα με τις ανάγκες. Οι χρήσεις αυτές είναι συνήθως οικιακές, αγροτικές ή βιομηχανικές και βοηθούν στην επιλογή των μεταβλητών οι οποίες πρέπει να μετρηθούν και στην ακρίβεια που θα χρειαστεί να έχουν οι μετρήσεις έτσι ώστε να σχεδιαστεί το πρέπον πρόγραμμα. Τέλος τα στοιχεία του κάθε προγράμματος παρακολούθησης πρέπει να γνωστοποιούνται στους επιστήμονες που ασχολούνται με την παρακολούθηση γειτονικών περιοχών γιατί μπορεί να συνδέονται υδρολογικά και να επηρεάζουν η μια την άλλη, με ιδιαίτερη προσοχή σε περιοχές που συνδέονται με άλλα κράτη.

Ένα πρόγραμμα παρακολούθησης συνήθως καλύπτει μια λεκάνη απορροής συμπεριλαμβανόμενων όλων των μορφών αποθήκευσης και μετακίνησης των υδάτων (ποτάμια συστήματα, λιμναία συστήματα, υδροφόροι ορίζοντες). Οι υπόγειοι υδροφορείς συνήθως ξεφεύγουν από τα τοπογραφικά όρια της λεκάνης απορροής και επηρεάζουν περισσότερες από μια. Η παρακολούθηση ενός υπόγειου υδροφορέα συνήθως είναι πιο δύσκολη λόγω της περιπλοκότητας της μορφής τους, της ανταλλαγής υδάτων με τα περιβάλλοντα συστήματα (εκτός κι αν πρόκειται για κάποιον απομονωμένο υδροφόρο) και των υψηλών χρόνων παραμονής που δυσχεραίνουν τον γρήγορο καθορισμό κάποιας τάσης στη συμπεριφορά του υδροφορέα. Το επίπεδο των πληροφοριών που θα αποδώσει ένα σύστημα παρακολούθησης, εξαρτάται από την πυκνότητα των σημείων μέτρησης, τη συχνότητα με την οποία λαμβάνονται τα δείγματα και το μέγεθος της λεκάνης απορροής.

4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η επιλογή της θέσης των σταθμών μέτρησης είναι πολύ σημαντική καθώς πρόκειται να καθορίσει την ποιότητα και την χρησιμότητα των δεδομένων. Πρέπει να ληφθούν υπόψη σημεία κλειδιά για την βέλτιστη αξιοποίηση των μετρήσεων. Σημαντικά σημεία αποτελούν αυτά τα οποία βρίσκονται κοντά σε ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν τα ποσοτικά χαρακτηριστικά και την ποιότητα των υδάτων και είναι σημαντικό να παρακολουθούνται από κοντά για την έγκαιρη αποφυγή σημαντικής ταπείνωσης του υπόγειου υδροφορέα και πιθανής ρύπανσης. Σημαντικό ρόλο παίζει και η γεωγραφία της περιοχής καθώς και οι γεωχημικές συνθήκες, γι' αυτό και καλό είναι να γίνεται διερεύνηση πεδίου πριν αποφασιστούν οι θέσεις λήψης. Σε αυτό το σημείο φαίνεται και η χρησιμότητα των παλιών ερευνών και πάσης φύσεως δεδομένων τα οποία μπορούν να κάνουν πιο εύκολη και πιο οικονομική τη διαδικασία επιλογής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι φανερό ότι μια σειρά αντιπροσωπευτικών μετρήσεων είναι απαραίτητη για την σωστή διεξαγωγή της παρακολούθησης αρχικά των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων ανάλογα με τις απαιτήσεις. Υπάρχουν τρία είδη σταθμών μετρήσεων που καλύπτουν αυτές τις ανάγκες.

1. **Σταθμοί βάσης:** αποτελούν το μέτρο σύγκρισης για την ποιότητα των υδάτων στο σύστημα και συνήθως τοποθετούνται σε πηγές ή σε οποιοδήποτε σώμα νερού που δεν έχει επηρεαστεί από ρυπαντές (όσο αυτό είναι δυνατό). Οι μετρήσεις τους δρουν ως η φυσική κατάσταση της ποιότητας των υδάτων στην περιοχή.
2. **Σταθμοί Παρακολούθησης Τάσεων των Ρυπαντών:** συνήθως βρίσκονται κοντά σε ανθρώπινες δραστηριότητες, δηλαδή σε μεγάλες λεκάνες ποταμών, λίμνες και υδροφορείς. Σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα πρέπει να παρακολουθούνται όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες όσο αυτό είναι δυνατό. Ο ρόλος των σταθμών αυτών είναι να παρακολουθούν τις μακροχρόνιες αλλαγές στην ποιότητα του νερού καθώς αυτό δέχεται την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Λόγω της σημασίας των σταθμών αυτών καθώς και των μετρήσεων που παρέχουν, αποτελούν την πιο πολυάριθμη κατηγορία από τις τρεις.

3. **Σταθμοί Παρακολούθησης Ροής των Ρυπαντών:** συνήθως βρίσκονται σε δέλτα ποταμών και επιτρέπουν την παρακολούθηση και καταγραφή των ρύπων που καταλήγουν στα παράκτια περιβάλλοντα. Οι μετρήσεις τους είναι πολύτιμες για την καταγραφή των αυξομειώσεων σημαντικών ρυπαντών στις παράκτιες και θαλάσσιες περιοχές και για τον υπολογισμό της επιρροής των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στους γεωχημικούς κύκλους.

Στην περίπτωση της παρακολούθησης στάθμεων, η γενική φιλοσοφία της επιλογής σταθμών μέτρησης δεν αλλάζει. Ιδανικά, οι γεωτρήσεις που θα αποτελέσουν μέρος ενός δικτύου παρακολούθησης, θα πρέπει να παρέχουν πληροφορίες για ένα πλήθος τοπογραφικών, γεωλογικών και κλιματικών περιβαλλόντων καθώς και από τοποθεσίες με διάφορες χρήσεις της γης για ανθρώπινες δραστηριότητες. Επίσης το βάθος των γεωτρήσεων και η κατανομή τους στο χώρο θα πρέπει να αποφασίζεται με βάση τα όρια και τη γεωλογία των υπό μελέτη υδροφορέων. Τέλος, για την παρακολούθηση και καταγραφή των συνθηκών περιβάλλοντος ή της επιρροής των κλιματικών αλλαγών στους υπόγειους υδροφορείς, θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο δίκτυο παρακολούθησης και γεωτρήσεις σε τοποθεσίες μακριά από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στον υδροφόρο ορίζοντα.

Σημαντικό για το εκάστοτε πρόγραμμα παρακολούθησης είναι ότι για να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής μελέτης πρέπει να συγκεντρωθεί και μια ποσότητα πληροφοριών διαφόρων ειδών, όπως μετεωρολογικά δεδομένα και ρυθμοί κατείσδυσης των υδάτων στους υδροφορείς (είτε από όμβρια ύδατα είτε από ύδατα που προέρχονται από ποτάμια και λίμνες). Αυτές οι πληροφορίες θα βοηθήσουν στη σύνδεση της συμπεριφοράς των υπογείων με τους επιφανειακούς υδροφορείς. Πολύ χρήσιμες επίσης, για μια ολοκληρωμένη εικόνα είναι και οι ποσοτικές μετρήσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην περιοχή με δεδομένα, για παράδειγμα, από αντλήσεις που εκτελούνται από τον υδροφόρο ορίζοντα για διάφορες χρήσεις. Όλες αυτές οι πληροφορίες χρειάζονται για την καλύτερη κατανόηση των τάσεων που παρατηρούνται στις αυξομειώσεις της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και τις αλλαγές στην διαθεσιμότητα των αποθεμάτων του.

4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του νερού μπορεί να αφορούν φυσικές ιδιότητες, συνθήκες οξειδοαναγωγής, οργανικά και ανόργανα χημικά στοιχεία και βιολογικούς παράγοντες. Έτσι ένα πρόγραμμα παρακολούθησης μπορεί να εξετάζει την υδροδυναμική, τη φυσικοχημεία ή τη βιολογία μιας ποσότητας ύδατος. Μερικοί κύριοι παράγοντες που παρακολουθούνται είναι:

- Βασικοί παράμετροι (pH, διαλυμένο οξυγόνο, αγωγιμότητα)
- Αιωρούμενη ύλη (αιωρούμενα στερεά, θολότητα, TOC, COD, BOD)
- Δείκτες ρύπανσης
- Δείκτες χρόνου παραμονής σε σώματα νερού με αργή ανανέωση νερού (λίμνες, υδροφόροι)
- Δείκτες όξυνσης (αλκαλικότητα, αγωγιμότητα, σουλφίδια, νιτρίδια κ.α.)
- Δείκτες πρόβλεψης μελλοντικών φαινομένων ευτροφισμού
- Σημαντικά ιόντα που καταδεικνύουν την καταλληλότητα του νερού για διάφορες χρήσεις (χλωριούχα, θειικά, νάτριο, ποτάσσιο, ασβέστιο, μαγνήσιο)
- Ήσσονος σημασίας ιόντα τα οποία όμως σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για τον άνθρωπο (αρσενικό, φθορίτης)
- Μέταλλα (κάδμιο, υδράργυρος, χαλκός, ψευδάργυρος)
- Οργανικούς ρυπαντές (εντομοκτόνα, βιομηχανικές χημικές ουσίες, οικιακά παραπροϊόντα)
- Δείκτες ραδιενέργειας
- Βιολογικοί δείκτες της οικολογικής ποιότητας (φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν)

Από όλους αυτούς τους παράγοντες ένας συνδυασμός τους επιλέγεται κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος και για λόγους οικονομίας και γιατί δεν είναι όλοι

απαραίτητοι σε κάθε μελέτη. Ανάλογα με τις αναμενόμενες χρήσεις των πληροφοριών που θα ληφθούν η επιλογή των μεταβλητών μπορεί να γίνει με κριτήρια που έχουν σχέση με:

1. **Χρήσεις υδάτων:** ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ένα σώμα νερού, υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας που πρέπει να πληρεί και υπάρχουν για αυτό το λόγο μέγιστες συγκεντρώσεις διάφορων δυνητικά επικίνδυνων ουσιών οι οποίες και πρέπει να παρακολουθούνται για να διασφαλίζεται η απαραίτητη ποιότητα για την εκάστοτε χρήση.
2. **Πηγές ρυπαντών:** παρακολουθούνται κυρίως ανθρωπογενείς ρυπαντές οι οποίοι προέρχονται από δραστηριότητες κοντά σε όγκους νερού με άμεσες συνέπειες σε αυτούς (απόρριψη λυμάτων, απορροές από αστικά κέντρα ή αγροκτηνοτροφικές μονάδες, ατυχήματα). Η επιλογή των μεταβλητών έγκειται στη γνώση των πηγών που προκαλούν τη ρύπανση και τα αναμενόμενα αποτελέσματά τους στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Είναι επιθυμητό ένα δείγμα αναφοράς από καθαρό νερό της περιοχής για συγκριτική μελέτη, το οποίο μπορεί να βρεθεί είτε από τμήμα του εν λόγω όγκου νερού που δεν έχει υποστεί ρύπανση ή από γειτονικό όγκο νερού που ανήκει στην ίδια λεκάνη απορροής.
3. **Συστήματα προειδοποίησης:** οι εκάστοτε μεταβλητές που χρήζουν παρακολούθησης διαλέγονται με βάση προηγούμενα περιστατικά ρύπανσης, συγκεκριμένα προβλήματα που οφείλονται στη γεωλογία και τα οικοσυστήματα της περιοχής και οποιαδήποτε άλλη ουσία η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο μέλλον και έχει παρατηρηθεί στην περιοχή.

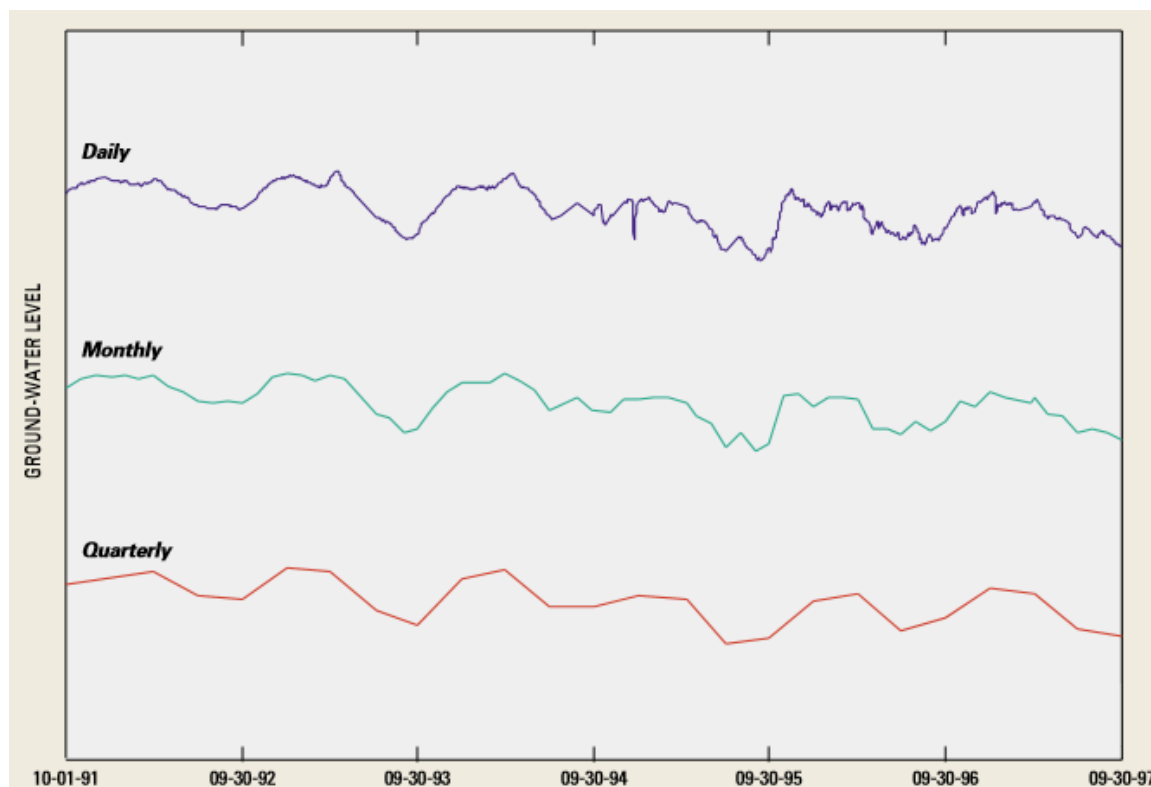
Ένα ακόμα σημαντικό κομμάτι κάθε προγράμματος παρακολούθησης είναι οι υδρολογικές μεταβλητές οι οποίες μπορεί να είναι οι κατακρημνίσεις, οι χιονοπτώσεις, τα επίπεδα των υδροφόρων, οι ροές των ποταμών, τα ιζήματα (αιωρούμενα και στον πυθμένα), η εξάτμιση, η υγρασία, η ανανέωση των υδατικών αποθεμάτων και η θερμοκρασία. Ειδικά στην παρακολούθηση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, λόγω της μικρής κινητικότητας και των μεγάλων χρόνων παραμονής, πρέπει οι μετρήσεις να γίνονται σε πολλά σημεία και σε διάφορα βάθη για την διαπίστωση της συνολικής ποιότητας και ποσότητας του νερού.

4.5. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και την ποσότητα των υδάτων (φυσικοί και ανθρωπογενείς) υπάρχουν μερικοί σταθεροί και κυκλικοί και υπάρχουν και τυχαία γεγονότα τα οποία επιδρούν σποραδικά στα ύδατα. Η συχνότητα της δειγματοληψίας πρέπει να ενσωματώσει όλα αυτά τα γεγονότα σε ένα πρόγραμμα το οποίο να επιτρέπει την πλήρη μελέτη της επίδρασης του καθενός από αυτά σε έναν όγκο νερού. Η συνήθης προσέγγιση στον καθορισμό της συχνότητας είναι στατιστική και είναι βασισμένη στην ποικιλία των πληροφοριών, στις αναμενόμενες συγκεντρώσεις και στις αλλαγές που αναμένονται. Αν δεν είναι γνωστά αυτά τα δεδομένα, επιλέγεται μια συχνότητα δειγματοληψίας με βάση τα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής και όταν καθοριστούν επαρκώς τα παραπάνω δεδομένα η συχνότητα αλλάζει για να υπάρχει η βέλτιστη συχνότητα λήψεως τιμών.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η σημασία του εκάστοτε σταθμού μετρήσεων καθώς η διαδικασία της δειγματοληψίας πρέπει να συνδυάζει τις οικολογικές ανάγκες με τις οικονομικές δυνατότητες.

Συνήθως υπάρχει μια προκαθορισμένη συχνότητα μετρήσεων η οποία επαναλαμβάνεται περιοδικά και έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει της μετρήσεις για την βέλτιστη οικονομικότητα. Βασίζεται στην αντίληψη ότι οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται όταν αναμένεται μια αλλαγή στα δεδομένα διότι δεν έχει νόημα η άσκοπη επανάληψη των ίδιων τιμών. Επίσης, λόγω της κυκλικότητας των φυσικών φαινομένων, είναι προτιμότερο να λαμβάνονται οι μετρήσεις τις ίδιες περίπου ημέρες για να μπορεί να γίνει σύγκριση των εποχικών φαινομένων ανά τα έτη.

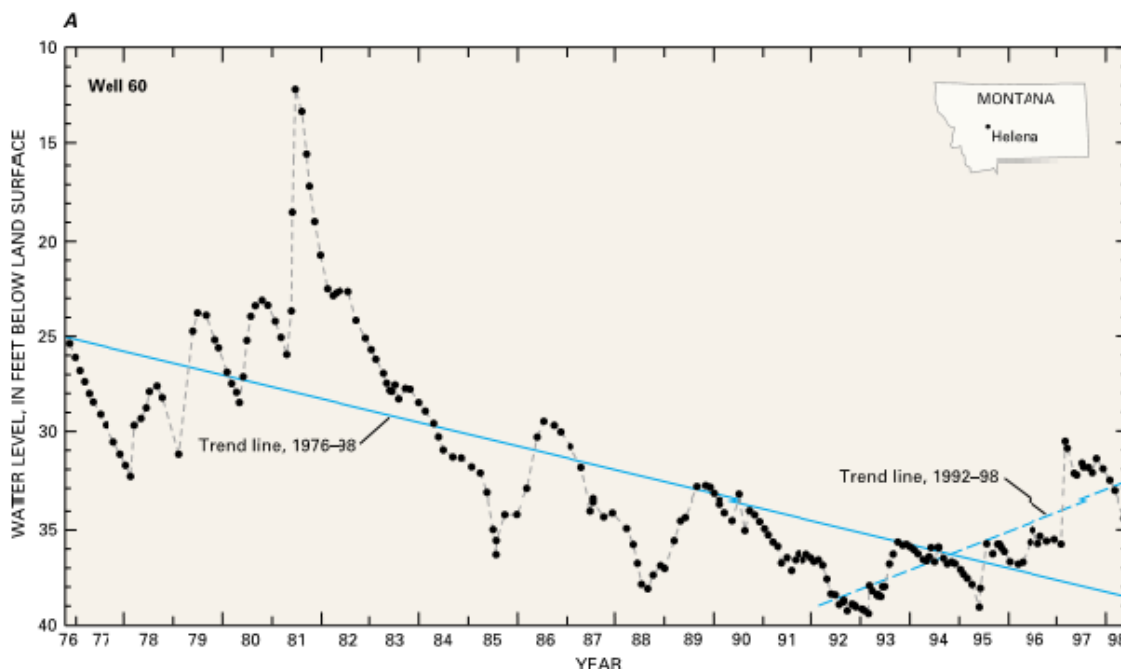


Εικόνα 4.5-1: Σύγκριση του υδρογραφήματος στάθμεων που προκύπτει από τη διαφορετική συχνότητα δειγματοληψίας για το ίδιο πηγάδι. (πηγή: USGS)

Ειδικά για τους υπόγειους υδροφορείς, η συχνότητα δειγματοληψίας είναι πιο αραιή, συνήθως τριμηνιαία, λόγω της χαμηλής κινητικότητας του νερού μέσα σε αυτούς. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που κάποιοι υπόγειοι υδροφορείς είτε παρουσιάζουν μεγάλα επίπεδα ροής, είτε κινδυνεύουν από συγκεκριμένους ρυπαντές που απαντώνται στην περιοχή, οπότε και απαιτείται μεγαλύτερη συχνότητα στη δειγματοληψία.

Για την καλύτερη ανάλυση των δεδομένων και αυξημένη δυνατότητα προβλέψεων, πρέπει να υπάρχουν δεδομένα δεκαετιών για τις στάθμες των υπόγειων υδροφορέων. Η συστηματική συλλογή ποσοτικών δεδομένων σε βάθος χρόνου προσφέρει αυξημένες πιθανότητες να υπάρχουν δείγματα από διάφορες αλλαγές που μπορεί να προκαλούνται από τις όχι πάντα σταθερές κλιματικές συνθήκες ή από τις διάφορες χρήσεις της γης και τις εναλλαγές τους, καθώς και από την εφαρμογή διαφορετικών πολιτικών διαχείρισης. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν πολύ πιο ακριβείς προβλέψεις, γιατί παρέχουν μια συνολική εικόνα του υδροφορέα και των ορίων στα οποία κυμαίνονται η στάθμη του και η αποθηκευτική του ικανότητα. Σε αυτό το πνεύμα, η επιλογή των θέσεων παρακολούθησης

πρέπει να γίνεται σε σημεία τα οποία προσφέρονται για μετρήσεις σε βάθος δεκαετιών χωρίς να επηρεάζονται από τις αλλαγές που συντελούνται στην περιοχή. Παράδειγμα της σημασίας που έχει η μεγάλη χρονοσειρά των δεδομένων αποτελεί η **Εικόνα 4.5-2**.



Εικόνα 4.5-2: Σύσχετισμός δεδομένων από παλιά πηγάδια με μεγάλη χρονοσειρά μετρήσεων με καινούρια πηγάδια. (πηγή: USGS)

Από την **Εικόνα 4.5-1** μπορεί κάποιος να αντιληφθεί ότι, εάν υπήρχαν μόνο τα καινούρια δεδομένα, θα εξαγόταν το συμπέρασμα ότι οι στάθμη του υδροφορέα είναι σε ανοδική πορεία, ενώ στην πραγματικότητα είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά του παρελθόντος και άρα μπορεί να προέκυπτε λανθασμένος σχεδιασμός διαχειριστικών ενεργειών για τον εν λόγω υδροφορέα.

5. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

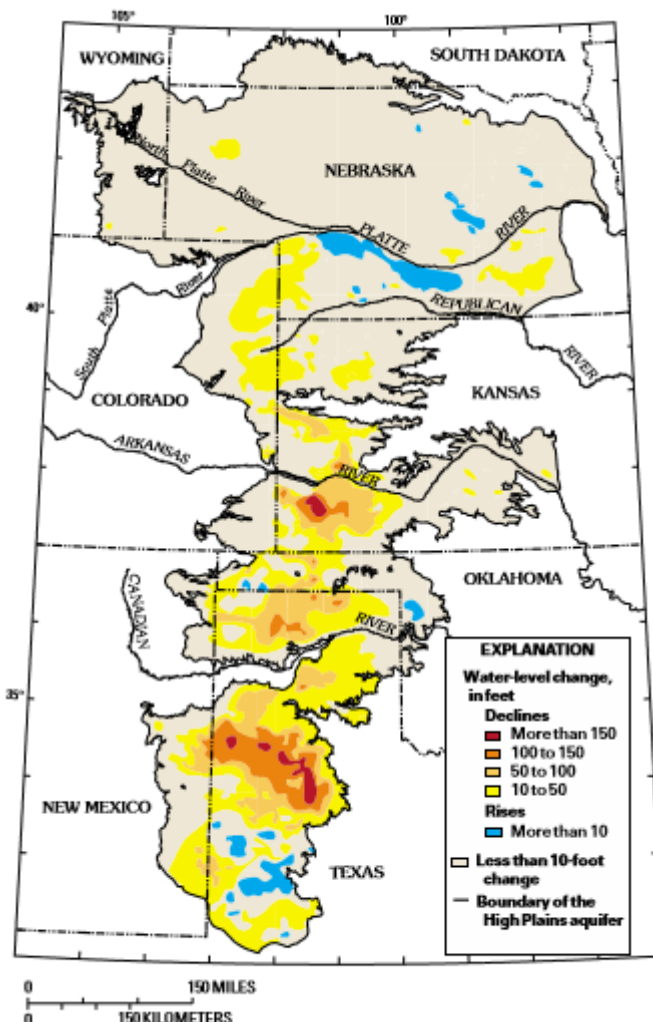
Το παρόν κεφάλαιο, λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία που δίνει η παρούσα εργασία στην ανάλυση των ποσοτικών δεδομένων των υπογείων υδάτων, αποτελείται από τρία παραδείγματα που αναδεικνύουν την πολυεπίπεδη σημασία της σε βάθος χρόνου και συνεχούς συλλογής και όσο το δυνατό αμεσότερης ανάλυσης των ποσοτικών δεδομένων των υπόγειων υδροφορέων.

5.1. ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ HIGH PLAINS

Η πεδιάδα High Plains αποτελείται από μια έκταση 450.659 km², η οποία είναι σχεδόν επίπεδη και εκτείνεται σε οκτώ αμερικανικές πολιτείες ανάμεσα στη Νότια Ντακότα και το Τέξας. Η περιοχή αυτή, αν και χαρακτηρίζεται από μέτριες βροχοπτώσεις, έχει μικρή κατείσδυση νερού προς τον υπόγειο υδροφόρο. Στα τέλη του 19ου αιώνα, οι άποικοι που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή είχαν ως κύρια την δραστηριότητά τους τη γεωργία και αυτό επηρέασε το υδατικό καθεστώς του υδροφόρου. Η περιοχή High Plains αποτελεί πλέον μια από τις πιο σημαντικές αγροτικές περιοχές των Η.Π.Α. και για αυτό το λόγο η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα παρακολουθείται από 7.000 γεωτρήσεις διασπαρμένες στις οκτώ πολιτείες που συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Οι στάθμες μετρώνται κάθε χρόνο την άνοιξη, πριν από την έναρξη της εποχής του ποτίσματος στα χωράφια για να υπάρχει ομοιομορφία στα δεδομένα των μετρήσεων.

Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται μέσω των σταθμημετρήσεων αποκαλύπτουν ότι οι αλλαγές στη στάθμη του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τις τεχνικές ποτίσματος, την ταχύτητα κατείσδυσης των ομβρίων υδάτων στον υπόγειο υδροφόρο και την έκταση και το μέγεθος

της απόσυρσης υδάτων. Στο Σχήμα 5.1-1, φαίνονται οι πτώσεις στάθμης που έχει επιφέρει η γεωργία με την έντονη άντληση νερού.



Σχήμα 5.1-1: Αλλαγές στη στάθμη του υδροφορέα High Plains σε σχέση με τα επίπεδά του πριν τη δημιουργία του δικτύου παρακολούθησης έως το 1997. (V.L. McGuire, U.S. Geological Survey, written commun., 1998.)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1-1, σε τμήματα του Κάνσας, του Νέου Μεξικού, της Οκλαχόμα και του Τέξας τα επίπεδα της στάθμης των υπογείων υδάτων έχουν πέσει πάνω από 30m. Σε άλλες περιοχές του υδροφορέα, όπως κατά μήκος του ποταμού Platte στη Νεμπράσκα, η κατείσδυση του επιπλέον νερού από το πότισμα που δεν απορροφάται από τις ρίζες των φυτών, ανέβασε τη στάθμη του υδροφορέα. Αυτό το διαπολιτειακό σύστημα παρακολούθησης επιτρέπει την καταγραφή όλων αυτών των αλλαγών και αποδίδει

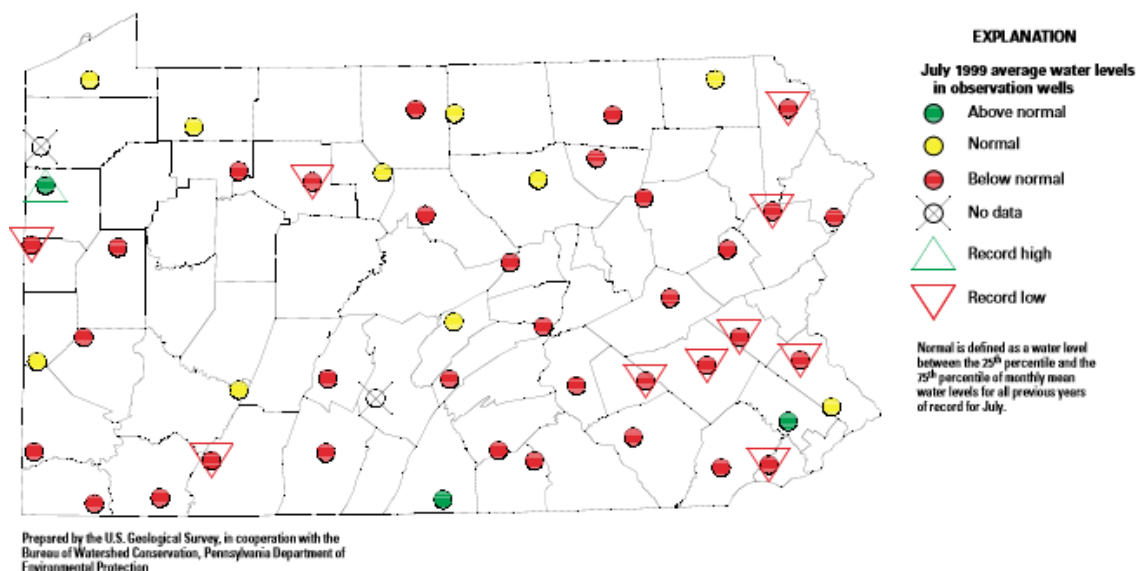
πληροφορίες χρήσιμες για την διαχείριση των υπογείων υδάτων στις πολιτείες που συμμετέχουν.

5.2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ PENNSYLVANIA

Περισσότεροι από 40 εκατομμύρια άνθρωποι στις Η.Π.Α. προμηθεύονται πόσιμο νερό από οικιακά πηγάδια. Αρκετά από αυτά τα πηγάδια είναι ρηγά και ευάλωτα σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. Παρ' όλα αυτά, σχετικά λίγα φρέατα παρακολούθησης, μετρώνται συχνά, ώστε να υπάρξει μια ένδειξη της εξάρτησης των υπόγειων υδάτων από τις κλιματολογικές συνθήκες. Τα πηγάδια που χρησιμοποιούνται για αυτόν το σκοπό επιλέγονται σε σχετικά μη αναπτυγμένες περιοχές αναπλήρωσης, όπου οι διακυμάνσεις της στάθμης του νερού, αποτελούν κυρίως αποτέλεσμα των κλιματικών εναλλαγών και λιγότερο της αφαίρεσης των υπόγειων υδάτων ή της αναπλήρωσης νερού από ανθρώπινη παρέμβαση. Τα δεδομένα της διακύμανσης της στάθμης του νερού, συναρτήσει του χρόνου, είναι επίσης σημαντικός παράγοντας. Τα περισσότερα φρέατα μετρώνται μηνιαίως ή και ακόμα πιο σπάνια. Ακόμα κι αν τα φρέατα είναι εξοπλισμένα με ψηφιακούς μετρητές της στάθμης, τα δεδομένα θα πρέπει να ανακτηθούν και να επεξεργαστούν πριν είναι διαθέσιμα. Κατά συνέπεια, τα διαθέσιμα δεδομένα συχνά υστερούν των τωρινών συνθηκών κατά έναν ή περισσότερους μήνες.

Η συνεχής συλλογή, επεξεργασία και μετάδοση των δεδομένων στάθμης μέσω δορυφόρων και άλλων μεθόδων τηλεπικοινωνίας, χρησιμοποιούνται πλέον όλο και περισσότερο για να παρουσιάσουν σε πραγματικό χρόνο, διαδικτυακά, τις συνθήκες της στάθμης του νερού. Η ανάγκη για τέτοιου τύπου πληροφόρηση έγινε εμφανής το καλοκαίρι του 1999, όπου η ξηρασία στις ανατολικές Η.Π.Α. είχε ως συνέπεια 15 πολιτείες να ανακηρυχθούν σε κατάσταση ξηρασίας, ή να επιβληθούν περιορισμοί στην κατανάλωση νερού. Μετά από μια σχετικά ξηρή άνοιξη και ένα ξηρό καλοκαίρι, μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεις έλαβαν χώρα σε πολλές από αυτές τις πολιτείες κατά τους μήνες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου 1999. Στο τέλος κάθε καταγίδα, ανέκυπτε το ερώτημα αν θα έπρεπε να αρθούν οι περιορισμοί στη χρήση νερού. Κάθε φορά, αναζητούνταν οι πληροφορίες αναφορικά με τα υπόγεια ύδατα, προκειμένου να απεικονιστούν πλήρως οι συνθήκες της ξηρασίας. Οι πληροφορίες αυτές ήταν, τυπικά, περιορισμένες και όχι οι τρέχουσες, με εξαίρεση την πολιτεία της Pennsylvania.

Το 1931, ως συνέπεια της ανησυχίας σχετικά με την ελάττωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων, η οποία προκλήθηκε από την ξηρασία του 1930, εγκαταστάθηκε στην Pennsylvania ένα δίκτυο πηγαδιών σε όλη την έκταση της πολιτείας, για να παρακολουθούνται οι διακυμάνσεις της στάθμης του νερού. Σήμερα, αυτό το δίκτυο αποτελείται από περίπου 50 φρέατα (Σχήμα 5.2-1) και το χειρίζεται το USGS (United States Geological Survey), σε συνεργασία με το Τμήμα Προστασίας του Περιβάλλοντος της Pennsylvania. Ο πρωταρχικός σκοπός του δικτύου παρατήρησης πηγαδιών είναι η παρακολούθηση των συνθηκών των υπόγειων υδάτων για ενδείξεις λειψυδρίας. Το Συμβούλιο Αντιμετώπισης Εκτάκτων Αναγκών της Pennsylvania, χρησιμοποιεί δεδομένα από τα φρέατα όταν κατηγοριοποιεί τους δήμους σε περίπτωση ανακήρυξης ξηρασίας. Το 2001, τα επίπεδα του νερού για το 80% των φρεάτων του δικτύου, μεταδίδονταν από δορυφόρους και παρουσιάζονταν στον ιστότοπο του USGS για την Pennsylvania.

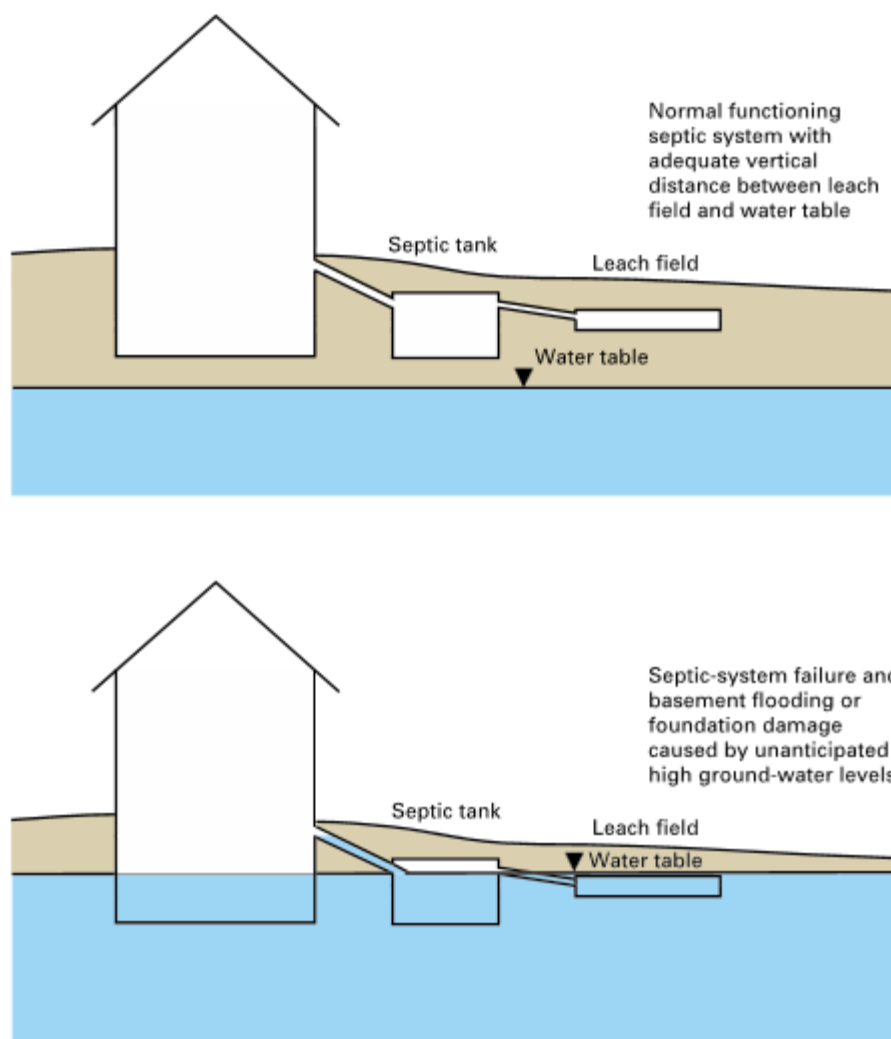


Σχήμα 5.2-1: Τοποθεσίες των γεωτρήσεων παρακολούθησης στην Pennsylvania και κατάσταση των υπόγειων υδάτων. (πηγή: USGS)

5.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗ ΜΑΣΑΧΟΥΣΕΤΗ ΚΑΙ ΤΟ RHODE ISLAND

Στατιστικές αναλύσεις των δεδομένων της στάθμης νερού που συγκεντρώθηκαν σε διάστημα δεκαετιών, μπορεί να είναι χρήσιμες για την εκτίμηση των μελλοντικών υψηλών, χαμηλών και μέσων ή «φυσιολογικών» επιπέδων στάθμης. Η ακρίβεια αυτών των εκτιμήσεων βελτιώνεται καθώς η χρονοσειρά των καταγραφών αυξάνεται.

Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές της Μασαχουσέτης και του Rhode Island, λόγω του ότι είναι παράκτιες περιοχές, τα υδατικά επίπεδα έχουν συχνά ετήσιες μεταβολές της τάξεως του ενός με δύο μέτρα, αλλά μπορούν να μεταβληθούν ακόμα και ως 9 m (Sokolow κ.α., 1994). Η πιθανότητα ενός τόσο μεγάλου εύρους διακύμανσης, μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στην κατασκευή σπιτιών και άλλων κτιρίων. Οι εκτιμήσεις της μέγιστης πιθανής στάθμης υπόγειων υδάτων, είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση της πιθανότητας να πλημμυρίσουν υπόγεια, να υπάρξουν ζημιές στα θεμέλια κτιρίων εξ αιτίας αυξημένης υδροστατικής πίεσης, ή να αστοχήσουν οι υπόγειες σηπτικές δεξαμενές και οι αποστραγγίσεις τους σε περιοχές χωρίς υπονόμους (**Σχήμα 5.3-1**).



Σχήμα 5.3-1: Σχηματική απεικόνιση της επίπτωσης των ξαφνικών και μεγάλων διακυμάνσεων στάθμης σε κατοικίες. (πηγή: USGS)

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, αναπτύχθηκε από επιστήμονες του USGS μια τεχνική εκτίμησης της μέγιστης πιθανής στάθμης των υπόγειων υδάτων σε περιοχή όπου μπορεί να υπάρχει μόνο μια μέτρηση της στάθμης του νερού (Frimpter, 1980; Frimpter και Fisher, 1983). Η τεχνική αυτή αποτελείται από μια μέτρηση της στάθμης στο σημείο ενδιαφέροντος, σε συνδυασμό με πληροφορίες για τη συντρέχουσα στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, με στατιστική ανάλυση μακροχρόνιας παρατήρησης των στάθμεων φρέατος, επιλεγμένου ως «δείκτη αναφοράς» και πληροφορίες του εύρους διακύμανσης της στάθμης υδάτων σε φρέατα παρακολούθησης ευρισκόμενα σε παρόμοια γεωλογικά και υδρολογικά σημεία. Το ενδεικτικό φρέαρ θα πρέπει να μένει ανεπηρέαστο από

αντλήσεις και άλλων ειδών υδραυλικές πιέσεις προκαλούμενες από ανθρώπους, θα καταλήγει στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό που βρίσκεται στο υπέδαφος του σημείου ενδιαφέροντος και να βρίσκεται σε παρεμφερές τοπογραφικό καθεστώς. Επιπρόσθετα, τα καταγεγραμμένα υδρολογικά δεδομένα του ενδεικτικού φρέατος πρέπει να είναι αρκετά για τον στατιστικό καθορισμό του εύρους διακύμανσης της στάθμης υδάτων.

Στη Μασαχουσέτη, οι μετρήσεις στάθμης από 9 φρέατα <<αναφοράς>> καταγεγραμμένες σε μια περίοδο 16 ως 28 χρόνων και οι μετρήσεις άλλων 160 φρεάτων σε μικρότερη χρονική κλίμακα, χρησιμοποιήθηκαν για να χαρτογραφήσουν 5 ζώνες με διαφορετικές ετήσιες διακυμάνσεις της στάθμης νερού, κατασκευασμένα από παγετώδη άμμο, χαλίκι και καθιζήματα καλλιεργείων στο Cape Cod (Frimpter και Fisher, 1983). Η εφαρμογή της τεχνικής ακολούθως στο Rhode Island, είχε περιορισμούς από το διαμοιρασμό των κατάλληλων ενδεικτικών φρεάτων (Sokolow κ.α., 1994). Κατά προσέγγιση 15 φρέατα κατασκευασμένα με παγετώδη άμμο και χαλίκι, που είχαν καταγράψει δεδομένα τις χρονιές μεταξύ 1946 και 1989, προσδιορίστηκε ότι είχαν κατάλληλο μέγεθος για ενδεικτικά φρέατα. Παρ' όλα αυτά, λόγω της σχετικά μικρής, ή ασυνεχούς περιόδου καταγραφής δεδομένων, δεν ταυτοποιήθηκαν κατάλληλα φρέατα-δείκτες ανάμεσα στα πηγάδια παρατήρησης του Rhode Island.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Κατά τη διαχείριση των υδατικών πόρων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η εκτίμηση της χωροχρονικής μεταβλητότητας της στάθμης των υπόγειων υδάτων, δηλαδή των ποσοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτινων αποθεμάτων, και της αβεβαιότητας των εκτιμήσεων. Για την εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων πρέπει να υπάρχει μια ικανή βάση δεδομένων, η οποία να επιτρέπει να γίνουν ασφαλείς προβλέψεις. Οι μετρήσεις στάθμης τυπικά πρέπει να λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα τουλάχιστον για μια δεκαετία για να συγκεντρωθούν επαρκή δεδομένα για τη δημιουργία ενός υδρολογικού αρχείου που αναπαριστά όλο το δυνατό εύρος των διακυμάνσεων στάθμης και των τάσεων ανά τα έτη. (πηγή: ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data, 2001) Το ελάχιστο χρονικό εύρος μετρήσεων που συνήθως χρησιμοποιείται είναι τα πέντε έτη τα οποία καθιστούν ικανό να διαπιστωθούν διάφορες εποχικές διακυμάνσεις. Σημαντικό πρόβλημα στη συλλογή δεδομένων για μεγάλα χρονικά διαστήματα δημιουργείται, όταν δεν τηρούνται κατάλληλα αρχεία, όπως είχε παρατηρηθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κατά την περίοδο της δεκαετίας του 1990. Άρα, θεωρείται αναγκαία για την επιτυχή έκβαση της παρακολούθησης και τη διευκόλυνση των γεωστατιστικών μεθόδων πρόβλεψης η ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων, η οποία να επικαιροποιείται συνεχώς και ο καθορισμός ενός σαφούς σχεδίου παρακολούθησης με διακριτούς στόχους, ώστε η παρακολούθηση να βαίνει ομαλώς. Τέλος, σημαντική για την επιτυχή έκβαση του σχεδίου παρακολούθησης είναι η σταθερή χρηματοδότηση, καθώς με την πάροδο του χρόνου μπορεί να χρειαστεί η δημιουργία νέων πιεζομέτρων και η πρόσληψη επιπλέον προσωπικού για την λειτουργία τους. Αν ένα πρόγραμμα παρακολούθησης δεν έχει την απαραίτητη χρηματοδότηση από την πολιτεία ή άλλους οικονομικούς παράγοντες, είναι πολύ πιθανό να καταρρεύσει κάτω από το βάρος της

συντήρησής του. Για μεγαλύτερη διευκόλυνση του προγράμματος παρακολούθησης υδάτινων πόρων καλό είναι τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων να συγκεντρώνονται μαζί, όπως και να υπάρχουν μετρήσεις και σε ορισμένες περιοχές μακριά από ανθρώπινες δραστηριότητες και επιρροές για την καταγραφή των φυσικών επιπτώσεων της κλιματικής επίδρασης και τη χρησιμοποίησή τους ως μέτρο σύγκρισης.

Εκτός από τις μετρήσεις, που πρέπει να γίνονται ανελλιπώς σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και να καταγράφονται επαρκώς, το μέγεθος και η πυκνότητα του κανάβου των γεωτρήσεων έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του προγράμματος παρακολούθησης. Αποδεικνύεται ότι, αν η δειγματοληψία έχει γίνει σε τετραγωνικό κανάβο γεωτρήσεων με βήμα ίσο με το μισό της ακτίνας επιρροής, δεν υπάρχει πρακτικά χαμένη πληροφορία και το κατασκευασμένο θεωρητικό πεδίο είναι βέλτιστο. (πηγή: Theoretical Estimation of the Critical Sampling Size for Homogeneous Ore Bodies with Small Nugget Effect. K. Modis and K. Papaodysseus. Mathematical Geology, Vol. 38, No. 8, May 2006)

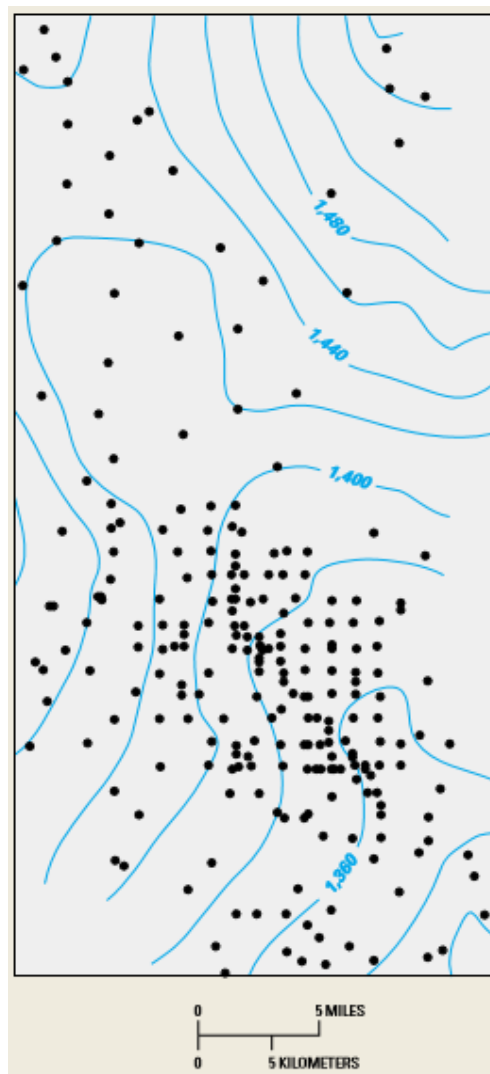
Οι στατιστικές τεχνικές έχουν βρει περιορισμένη εφαρμογή στο σχεδιασμό των συστημάτων παρακολούθησης υδάτινων πόρων για τους παρακάτω λόγους. Πρώτον, χρειάζονται επαρκή δεδομένα για να εκτιμηθούν αξιόπιστα οι παράμετροι που απαιτούνται για αυτές τις τεχνικές. Τα συστήματα παρακολούθησης υδάτινων πόρων συνήθως έχουν πολλαπλούς στόχους, μερικοί από τους οποίους είναι δύσκολο να ορισθούν ποσοτικά.

Παρά αυτούς τους περιορισμούς, η στατιστική ανάλυση πληροφοριών από υπάρχοντα δίκτυα μπορεί να προσφέρει χρήσιμη καθοδήγηση για την εκτίμηση αυτών των δικτύων και να αποτελέσει πυλώνα για μετατροπές των δικτύων αυτών. Παράδειγμα της χρήσης της γεωστατιστικής ανάλυσης περιγράφεται στην ενότητα που ακολουθεί.

6.2. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

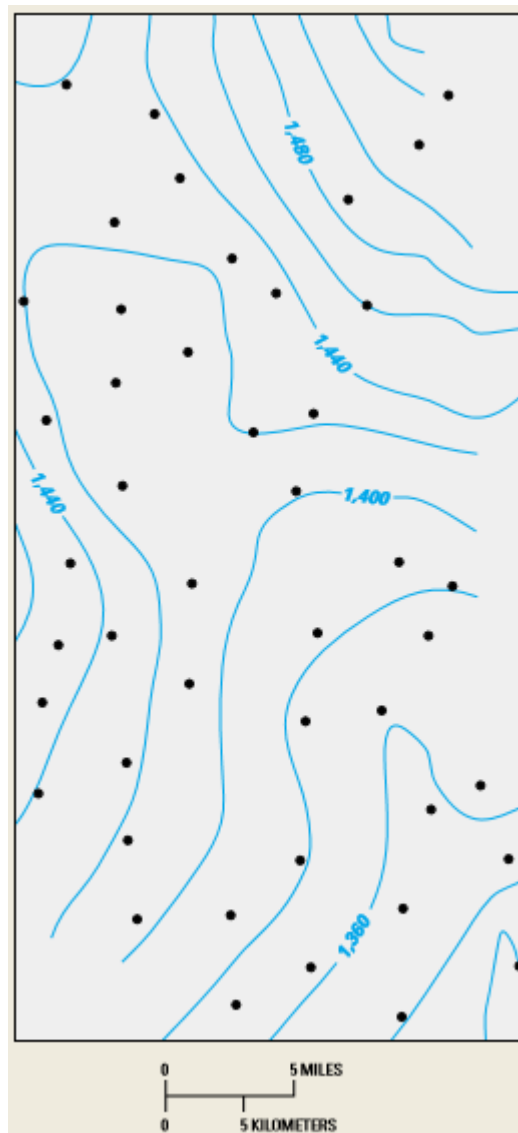
Η γεωστατιστική περικλείει ένα σύνολο πιθανοθεωρητικών τεχνικών που αποσκοπούν στο να παράγουν εκτιμήσεις χωρικών δεδομένων (σε αυτή την περίπτωση επιπέδων στάθμης ύδατος) σε περιοχές που δεν υπάρχουν μετρήσεις ως συνδυασμό από παραπλήσια σημεία στα οποία υπάρχουν μετρήσεις.

Η μέθοδος προσφέρει εκτιμήσεις αβεβαιότητας/σφάλματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό του δικτύου. Μια τυπική εφαρμογή της γεωστατιστικής είναι να υπολογίζει τη σχέση μεταξύ του αριθμού ή της πυκνότητας των γεωτρήσεων παρακολούθησης και της αβεβαιότητας ενός ποτενσιομετρικού χάρτη. Ο Olea (1984, *Sampling design optimization for spatial functions: Mathematical Geology*) παρουσίασε ένα παράδειγμα αυτού του τύπου εφαρμογής για τον υδροφορέα Equus Bed, έναν εκτεταμένο χρησιμοποιούμενο υδροφορέα στο κεντρικό Κάνσας. Ένας χάρτης της στάθμης του νερού σε αυτό τον υδροφορέα βασισμένος σε δεδομένα από το υπάρχον δίκτυο που αποτελείται από 244 φρέατα φαίνεται στο **Σχήμα 6.2-1**.



Σχήμα 6.2-1: Χάρτης ισοσταθμικών καμπυλών στον υδροφορέα Equus Bed με τις θέσεις των 244 πηγαδιών (πηγή: Olea, R.A., 1984, *Sampling design optimization for spatial functions: Mathematical Geology*)

Σημειώνεται ότι η πυκνότητα των σταθμών μέτρησης στο σχήμα δεν είναι ομοιογενής, αφού το 80% των φρεάτων βρίσκονται στο νότιο ήμισυ της περιοχής. Από αυτό το δίκτυο ο Olea δημιούργησε ένα δίκτυο με μειωμένο αριθμό φρεάτων (47) με το να επικαλύπτει μια τυχαία περιοχή με ένα κανονικό εξάγωνο και να επιλέγει τυχαία από τα υπάρχοντα φρέατα σε κάθε εξάγωνο. Ένας χάρτης της στάθμης των υδάτων βασισμένος στο καινούργιο δίκτυο των 47 φρεάτων φαίνεται στο **Σχήμα 6.2-2** και είναι παρόμοιος με το χάρτη στο **Σχήμα 6.2-1**.



Σχήμα 6.2-2: Χάρτης ισοσταθμικών καμπυλών στον υδροφορέα Equus Bed με τις θέσεις των 47 φρεάτων (πηγή: Olea, R.A., 1984, Sampling design optimization for spatial functions: Mathematical Geology)

Σχεδόν 95% των σημείων που αποτελούν τις ισοσταθμικές καμπύλες στους δύο χάρτες διαφέρουν με λιγότερο από 5%. Από τη γεωστατιστική ανάλυση το εκτιμώμενο μέσο σφάλμα των σταθμών του υδροφόρου ορίζοντα αυξήθηκε περίπου 20% από τα 10 ft (περίπου 3,3 m) για το χάρτη του **Σχήματος 6.2-1** σε 12 ft (4 m) για το χάρτη του **Σχήματος 6.2-2**. Οι πληροφορίες που παρέχονται από τον τύπο ανάλυσης δεδομένων, που μόλις περιγράφηκε, μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση του αριθμού των σταθμών μέτρησης σε ορισμένες περιοχές, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ακρίβεια των εκτιμώμενων προβλέψεων όσον αφορά τη στάθμη του εξεταζόμενου υδροφορέα. Οι εξοικονομούμενοι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προστεθούν φρέατα σε περιοχές με μικρότερη κάλυψη, για να αυξηθεί η συχνότητα των μετρήσεων ή για οποιαδήποτε άλλη βελτίωση του δικτύου. Αυτός ο τύπος ανάλυσης δεδομένων συγκεντρώνει τη δυνατότητα να εκφράζει ακριβώς μια τοπική δυναμική επιφάνεια και αυτό αποτελεί τον περιορισμό της. Άλλοι στόχοι του δικτύου μπορεί να χρειαστεί να ληφθούν υπόψη σε αποφάσεις που αφορούν το σχεδιασμό του δικτύου, όπως το να ταυτοποιηθούν πιθανές διαδρομές ροής του ύδατος για ανάλυση της ποιότητάς του ή για να εκτιμηθεί η αλληλεπίδραση των υπογείων και των επιφανειακών υδάτων. Ένας ακόμα περιορισμός της γεωστατιστικής ανάλυσης, είναι ότι θεωρεί πως περαιτέρω εξελίξεις των υπογείων υδάτων στο πεδίο δεν θα επηρεάσουν πολύ τους υπολογισμένους χωρικούς συσχετισμούς.

7. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ- ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης και άμεσης περιοχής του Λιγνιτωρυχείου Πτολεμαΐδας όσον αφορά την υφιστάμενη κατάσταση και την Διαχείριση Υδάτινων Πόρων. Για τη σύνταξη του παρόντος κεφαλαίου ελήφθησαν υπόψη οι εξής εργασίες:

1. ΔΕΗ, 2010, «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας Ν.Κοζάνης», ΔΕΗ/Γενική Διεύθυνση Ορυχείων
2. Λουλούδης, Γ, 1991, «Υδρογεωλογικές Συνθήκες Νοτίου λιγνιτοφόρου Πεδού Πτολεμαΐδας. Προβλήματα Υδατινών Νερών και Αντιμετώπισή τους κατά την εκμετάλλευση», Γ. Λουλούδης, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, 1991
3. Ζουρνατζίδου, Α: 2011, «Αλληλεπίδραση μεταλλευτικής δραστηριότητας και υδατικών πόρων. Περιπτώσεις απ' τον ελλαδικό χώρο», Διπλωματική ΔΠΜΣ ΕΜΠ, 2011
4. ΥΠΕΚΑ, 2014: Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας

7.1. ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ

7.1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η οδηγία περί υδάτων 2000/60/ΕΚ, θέτει ως χωρική ενότητα την Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΠΛΑΠ), για την εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης των υδάτων. Η ΠΛΑΠ είναι μια υδρολογική ενότητα, που αποτελείται από μία ή περισσότερες επιμέρους λεκάνες απορροής, που καθορίζεται με βάση τους επιφανειακούς υδροκρίτες. Στην Ελλάδα είχαν ήδη καθοριστεί με το Ν.1739/87, 14 Υδατικά Διαμερίσματα, καθένα από τα οποία αποτελεί μία ΠΛΑΠ για τους σκοπούς της Οδηγίας. Κάθε Υδατικό Διαμέρισμα

αποτελείται από επιμέρους Λεκάνες Απορροής Ποταμών (Λ.Α.Π.) οι οποίες στο σύνολο της χώρας ανέρχονται σε 45. Η περιοχή του Νότιου Λιγνιτικού Πεδίου Πτολεμαΐδας εντάσσεται στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας με αντίστοιχο κωδικό ΥΔ09 (Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013).

Το υδατικό διαμέρισμα δυτικής Μακεδονίας εντοπίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας και η έκτασή του είναι 13.624 km². Οριοθετείται στα βόρεια από τα σύνορα της Ελλάδας με την ΠΓΔΜ ενώ στα ανατολικά, με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, από το όρος Πάικο, την περιφερειακή τάφρο και το Θερμαϊκό κόλπο. Στα νότια, με κατεύθυνση από τα ανατολικά προς δυτικά, από τα όρη Όλυμπος, Καμβούνια και Χάσια και τέλος στα δυτικά, με κατεύθυνση από νότο προς βορρά, από τα όρη Λύγκος, Βόιο και τα σύνορα της Ελλάδας με την Αλβανία. Σχετικά με τα υπόλοιπα υδατικά διαμερίσματα του ελληνικού χώρου, συνορεύει με το υδατικό διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ10) στα ανατολικά, με το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (ΥΔ08) στα νότια και με το υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου (ΥΔ05).

Το ανάγλυφο του υδατικού διαμερίσματος είναι κυρίως ορεινό-ημιορεινό καθώς μόνο το 30% της έκτασης του ΥΔ βρίσκεται κάτω από τα 600 m. Κύριο γνώρισμά του αποτελεί η ύπαρξη εννέα κορυφών με υψόμετρο άνω των 2000 m, με χαρακτηριστικότερη αυτή του Ολύμπου (Μύτικας 2917m). Στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος διακρίνονται δύο μεγάλοι ορεινοί όγκοι με διεύθυνση Β-N. Ο πρώτος αποτελείται από τα όρη Βέρνο (2128m), Άσκιο (2111m), και Βούρινο (1688m), ενώ ο δεύτερος από τα όρη Βόρας (2524m), Βέρμιο (2052m) και Πιέρια (2180m). Ανάμεσα σε αυτούς τους ορεινούς όγκους διακρίνονται οι επίπεδες εκτάσεις της Καστοριάς, Φλώρινας, Πτολεμαΐδας και Γρεβενών. Στο ανατολικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος το ανάγλυφο γίνεται ομαλό και κυριαρχούν οι πεδινές εκτάσεις της Έδεσσας, της Νάουσας, της Βέροιας και της Πιερίας.

Η ακτογραμμή του ΥΔ είναι σχεδόν ευθεία, με ήπιο ανάγλυφο και συνολικό μήκος 80 km. Χαρακτηριστικά της ακτογραμμής είναι η ύπαρξη της λιμνοθάλασσας των αλυκών του Κίτρους και του δέλτα της εκβολής του Αλιάκμονα.



Σχήμα 7.1-1: Οι ΛΑΠ του ΥΔ9. (πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013)

7.1.2. ΚΛΙΜΑ

Το υδατικό διαμέρισμα δυτικής Μακεδονίας έχει κυρίως ηπειρωτικό κλίμα, με τα παράκτια και ορεινά τμήματα να έχουν να έχουν θαλάσσιο και ορεινό κλίμα αντίστοιχα. Αυτή η αξιόλογη κλιματική ποικιλία οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή η περιοχή έχει πολύ ιδιαίτερη γεωγραφική θέση και ανάγλυφο. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 600 έως και 1000 m αλλά στις ορεινές περιοχές μπορεί να ξεπεράσει και τα 1200 m, ενώ παρατηρούνται συχνά χιονοπτώσεις στο διάστημα μεταξύ Νοεμβρίου και Απριλίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι μεταξύ των 14,5 και 17 βαθμών Κελσίου.

7.1.3. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Η μέση ετήσια συνολική προσφορά νερού στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας είναι $3,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ (πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013). Από το σύνολο της παραπάνω ποσότητας καλύπτονται οι ανάγκες του ΥΔ09 καθώς και μέρος των αναγκών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ10) καθώς ποσότητα νερού ίση με $356 \times 10^6 \text{ m}^3$ μεταφέρεται μέσω της Ενωτικής Διώρυγας Αλιάκμονα-Αξιού για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης-Λαγκαδά και υδρευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης, αρμοδιότητας Εταιρίας Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης.

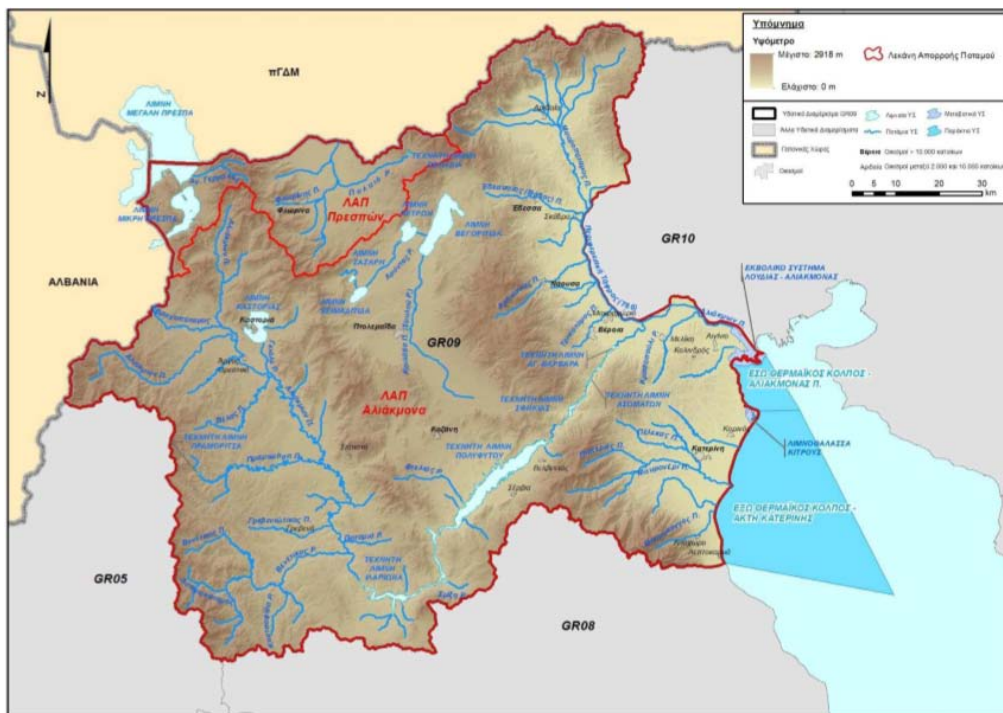
7.1.4. ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ

Ο ποταμός Αλιάκμονας αποτελεί τον μεγαλύτερο σε μήκος ποταμό της Ελλάδας του οποίου η πηγή βρίσκεται στην Ελλάδα και που ρέει σε όλο του το μήκος σε ελληνικό έδαφος. Οι πηγές του βρίσκονται στην οροσειρά της Πίνδου και πιο συγκεκριμένα στα όρη Βέρνος και Βόϊο και εκτός αυτών στη ροή του ποταμού συμβάλλουν και τα πλεονάζοντα ύδατα της λίμνης Καστοριάς καθώς και οι επί μέρους παραπόταμοι του και κυρίως ο Πραμόριτσας, το Γρεβενίτικο και το Βενετικό. Μετά την κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων δέχεται και τα νερά της περιφερειακής τάφρου με αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους της υδρολογικής του λεκάνης από 7.312 km^2 σε 9.455 km^2 . Η εκβολή του Αλιάκμονα είναι στο Θερμαϊκό κόλπο βόρεια του χωριού Μεθώνη.

Το ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας, σύμφωνα με την υπ' αριθμόν 706/16.7.2010 Απόφαση Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ Β' /1383), αποτελείται από δύο Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ):

1. Λεκάνη Απορροής Πρεσπών (GR 01) έκτασης 1.210 km^2
2. Λεκάνη Απορροής Αλιάκμονα (GR 02) έκτασης 12.410 km^2

1. Στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσει η ΛΑΠ Αλιάκμονα η οποία μπορεί να διακριθεί σε τέσσερις επιμέρους υδρολογικές υπολεκάνες:
 - Του Αλιάκμονα, που ακολουθεί τα όρια της φυσικής υδρολογικής λεκάνης του ομώνυμου ποταμού
 - Της κλειστής λεκάνης Πτολεμαΐδας, που οριοθετείται από το ομώνυμο οροπέδιο που αποστραγγίζεται επιφανειακά στο σύστημα φυσικών λιμνών Βεγορίτιδας, Πετρών, Ζάχαρης και Χειμαδίτιδας
 - Της περιφερειακής τάφρου, που αποστραγγίζει τα νερά των ορεινών όγκων Βερμίου και Βόρα μέσω των κύριων ποταμών Αλμωπαίου, Εδεσσαίου, Αράπιτσα και Τριποτάμου στην περιφερειακή τάφρο που αποτελεί και το σύνορο με το ΥΔ Κεντρικής Μακεδονίας
 - Της πεδιάδας Κατερίνης, που βρίσκεται στο ΝΑ άκρο του ΥΔ Δυτικής Μακεδονίας και αποτελείται από ένα σύνολο σχετικά μικρών υδρολογικών λεκανών με κυριότερη αυτή του ρέματος Μαυρονέρι και που όλες απορρέουν στο Θερμαϊκό κόλπο.



Σχήμα 7.1-2: Γεωμορφολογικός χάρτης του ΥΔ9(πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης Υ.Δ Δυτικής Μακεδονίας, 2013)

7.2. ΝΟΤΙΟ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟ ΠΕΔΙΟ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ

7.2.1. ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Τα υδροφόρα συστήματα που έχουν άμεση σχέση με την εκμετάλλευση του Νότιου Λιγνιτικού Πεδίου Πτολεμαΐδας βρίσκονται στο νοτιότερο τμήμα της μεγάλης λεκάνης της Πτολεμαΐδας.

Η Νότιος λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας, που είναι γνωστή και με τώνομα λεκάνη Σαριγκιόλ, είναι μία από τις επιμέρους λεκάνες στις οποίες χωρίζεται μέσω τεκτονικών εξαρμάτων η μεγάλη χερσαία τεκτονική τάφρος της Βορειοδυτικής Μακεδονίας.

Το κεντρικό της τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ είναι αγροτική περιοχή και στοόβειο τμήμα της δραστηριοποιούνται μεταλλευτικές εταιρίες.

Το Νότιο τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας αποτελεί μια εξατομικευμένη μορφολογική και γεωγραφική ενότητα. Πρόκειται για μια ευρεία τάφρο, με ΒΔ – ΝΑ άξονα, που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ορεινά τραπεζοειδή συγκροτήματα, το Βέρμιο ανατολικά της και το Σινιάτσικο ή Άσκιο στα δυτικά της. Το μέσο μήκος του πυθμένα της λεκάνης, κατά τον άξονά της, είναι περίπου 15km και το μέσο πλάτος της 10km. Η μορφολογία του πυθμένα είναι πολύ ομαλή, με υψόμετρα από 650 έως 800m Υ.Ε.Θ, το δε κεντρικό της τμήμα (ο βυθός του παλιού έλους Σαριγκιόλ) είναι σχεδόν επίπεδο.

Η κλειστή υδρολογική λεκάνη Σαριγκιόλ, καλύπτει μια περιοχή 400 km². Παλαιότερα δεν υπήρχε η δυνατότητα επιφανειακής αποστράγγισής της, πράγμα που οδηγούσε όλες τις επιφανειακές απορροές στο παλιό έλος – λίμνη του Σαριγκιόλ, το μέγιστο βάθος του οποίου έφτανε περίπου τα 4 m. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα επιφανειακής απορροής προς τα βόρεια, δηλαδή στην κύρια εσωτερική λεκάνη Πτολεμαΐδας όγω εκβάθυνσης της κοίτης του ρέματος Σουλού στην περιοχή του εξάρματος του Κομάνου και της δημιουργίας ενός δικτύου αποστραγγιστικών τάφρων στο χώρο που βρισκόταν το παλιό έλος. Η σύνδεση των τάφρων αυτών με το ρέμα Σουλού γίνεται μέσω μιας κεντρικής αποστραγγιστικής τάφρου, στην οποία απορρέουν και τα νερά όλων των περιφερειακών συλλεκτήριων τάφρων.

7.2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

7.2.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία κρυσταλλικών πετρωμάτων και μια σειρά από νηριτικά ιζήματα.

7.2.2.2. ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Τα παλαιότερα πετρώματα βρίσκονται κυρίως στις περιοχές των οροσειρών του Ασκίου και του Βέρνου και πρόκειται για κρυσταλλικούς ~~σλίθους~~, υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα και γρανιτικές διεισδύσεις. Πάνω από τη σειρά αυτή υπάρχει μια άλλη με πολύ χαμηλότερο βαθμό μεταμόρφωσης, που αποτελείται από γκριζοκίτρινους φυλλίτες με λεπτές ενδιαστρώσεις από γραφιτικούς σχιστόλιθους.

7.2.2.3. ΜΕΣΟΖΩΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

Η μεσοζωική ακολουθία ξεκινά με μια σειρά μεγάλου πάχους ανθρακικών πετρωμάτων πάνω από τα οποία συναντούμε ~~σλίθους~~. Αποτελείται από ασβεστόλιθους, μη στρωσιγενείς στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, με βαθμό ανακρυσταλλώσεως που ποικίλει ανάλογα με την περιοχή. Στην οροφή της ασβεστολιθικής σειράς ακολουθούν σε συμφωνία σχιστόλιθοι του Ανώτερου Ιουρασικού με γιασπερίτες, οφιόλιθους και ραδιολαρίτες, οι οποίοι κατά θέσεις αποσφηνώνονται. Τα προκρητιδικά στρώματα είναι καλυμμένα από κροκαλοπαγή και αποτελούνται από κροκάλες οφιολιθικές, σχιστολιθικές και ασβεστολιθικές. Πάνω απ' αυτά ακολουθούν ~~σλίθους~~ του Καινομάνιου, Τουρώνιου και Σενώνιου συνολικού πάχους 45m, οι οποίοι καλύπτονται από μια σειρά

πάχους 200m ασβεστολίθων με ρουδιστές του Μαιστριχίου. Ακολουθεί ο φλύσχος της Πελαγονικής ζώνης, το πάχος του οποίου είναι μεγάλο.

Πάνω στην ανόχθονη σειρά έρχονται απωθημένα ιζήματα της Κατωκρητιδικής σειράς της ζώνης του Αξιού. Τα πετρώματα της ζώνης του Αξιού περιλαμβάνουν τις ασβεστολιθικές σειρές και το φλύσχη του Άνω Γραμματικού, καθώς και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή στη βάση. Στα καλύμματα αυτά υπάρχουν διακοπέζομαγμα βασικού χαρακτήρα.

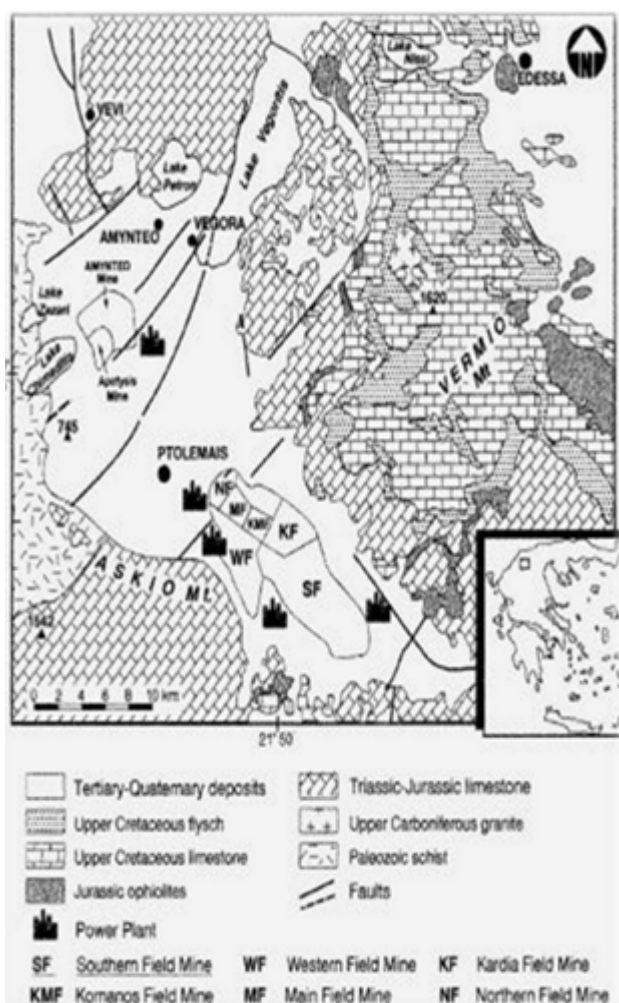
7.2.2.4. ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗΣ ΣΕΙΡΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Η Νότιος λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας είναι πληρωμένη με ιζήματα της Τριτογενούς και Τεταρτογενούς περδού. Το συνολικό πάχος των Τριτογενών – Τεταρτογενών ιζημάτων φθάνει έως και 1000m, σύμφωνα με την ερμηνεία γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων.

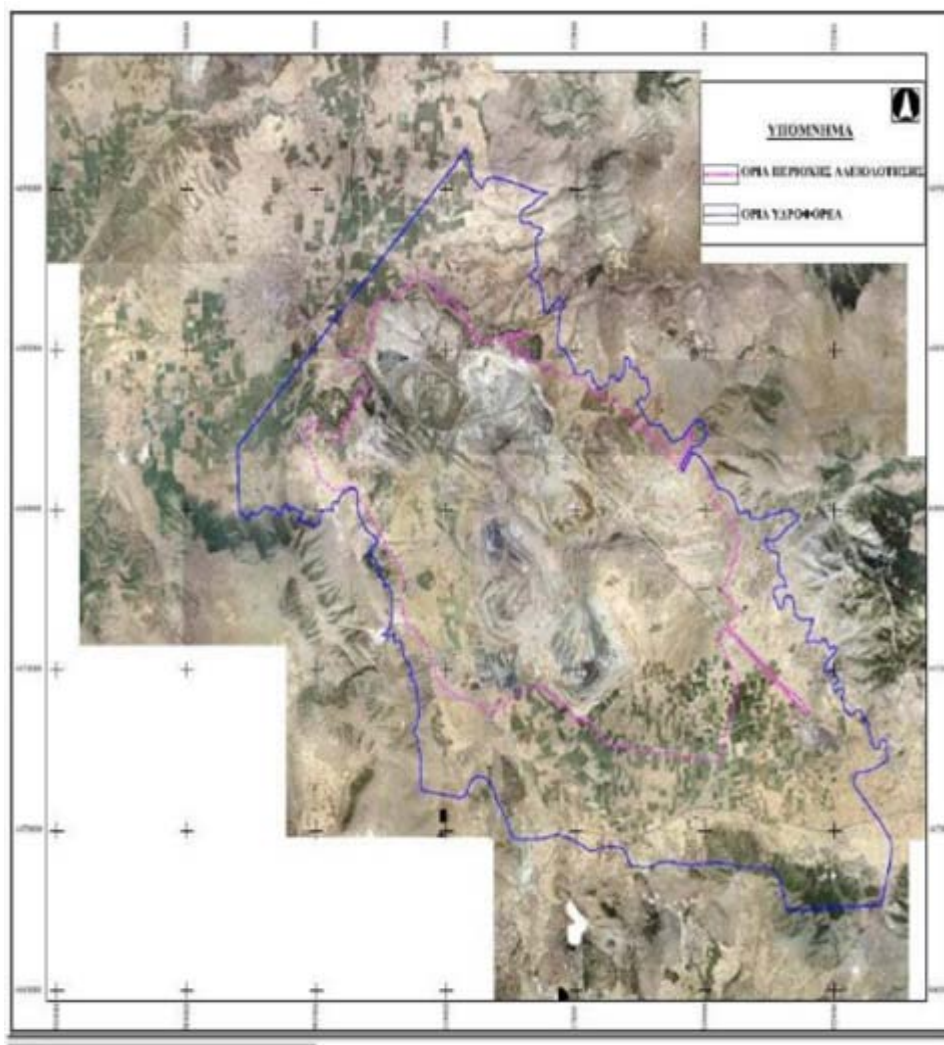
Τα διαπιστωθέντα Τριτογενή ιζήματα ανάγονται κατ' αποκλειστικότητα στο νεογενές. Το Νεογενές χωρίζεται σε 3 επιμέρους σειρές όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7.3**:

1. Την ανώτερη υπερκείμενη της λιγνιτοφόρου σειρά, η οποία περιλαμβάνει δυο διακεκριμένες χρωματικά και πετρολογικά στιβάδες.
2. Η ανώτερη στιβάδα των κίτριων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων και μερικών αδρομερών αποτελείται κυρίως από εναλλασσόμενες στρώσεις ασβεστούχων άμμων, αργίλων, αμμούχων μαργακούς και πολλές λεπτές φακοειδείς διαστρώσεις ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων.
3. Η στιβάδα των πρασινωδών αργιλομαργαϊκών ιζημάτων αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις αργίλων ισχυρώς αμμούχων και μαργών.
4. Την λιγνιτοφόρο σειρά. Η φάση της λιμναίας ιζηματογένεσης άρχισε στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου, δημιουργήθηκε δηλαδή μια κλειστή λεκάνη η οποία δέχταν κυρίως τα λεπτομερή υλικά από τα περιθώριά της. Απαικρό σε καιρό δημιουργούταν λιγνίτης, μια διαδικασία η οποία συνεχίσθηκε και στο Πλειστόκαινο.

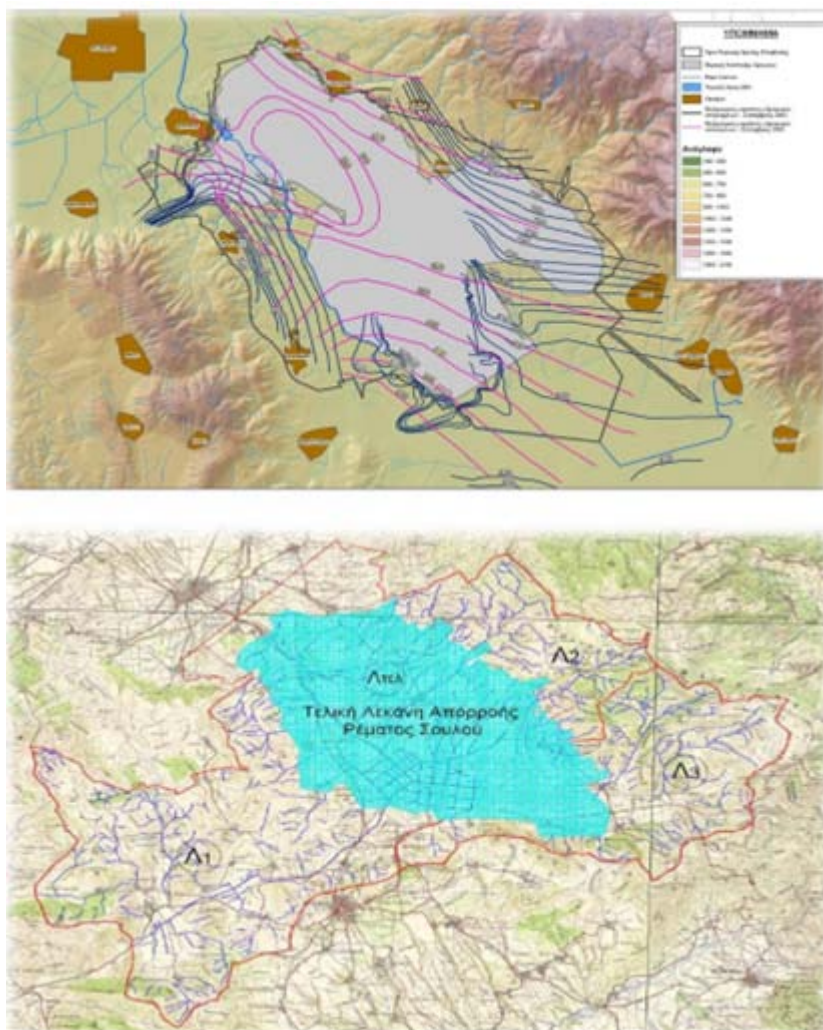
5. Την κατώτερη υποκείμενη των λιγνιτών σειρά. Τα **πάλαμι** διαπιστωθέντα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης Πτολεμαΐδας έχουν ηλικία Άνω Μειοκαίνου. Η Νότιος λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας, καλύπτεται επιφανειακά από ιζήματα της Τεταρτογενούς περιόδου, σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα. Τα αλλούβια της πρώην λίμνης του Σαριγκόλ και ο ελουβιακός μανδύας αποτελούνται κυρίως από άμμους, πηλούς και αργίλους. **Ηλιοπη** επιφανειακή εξάπλωση, κυρίως κροκαλοπαγών και λατυποπαγών σχηματισμών, κατατάσσεται στο Πλειστόκαινο.



Σχήμα 7.2-1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Δημητρακόπουλος et al., 1996)



Σχήμα 7.2-2: Όρια υδροφορέα (Πηγή: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ 2010)



Σχήμα 7.2-3: Πιεζομετρικοί χάρτες υποκείμενου και υπερκείμενου υδροφορέων το Σεπτέμβριο του 2003 – Οριοθέτηση λεκάνης απορροής Σουλού, (Πηγή: ΜΠΕ Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ 2010)

7.2.3. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

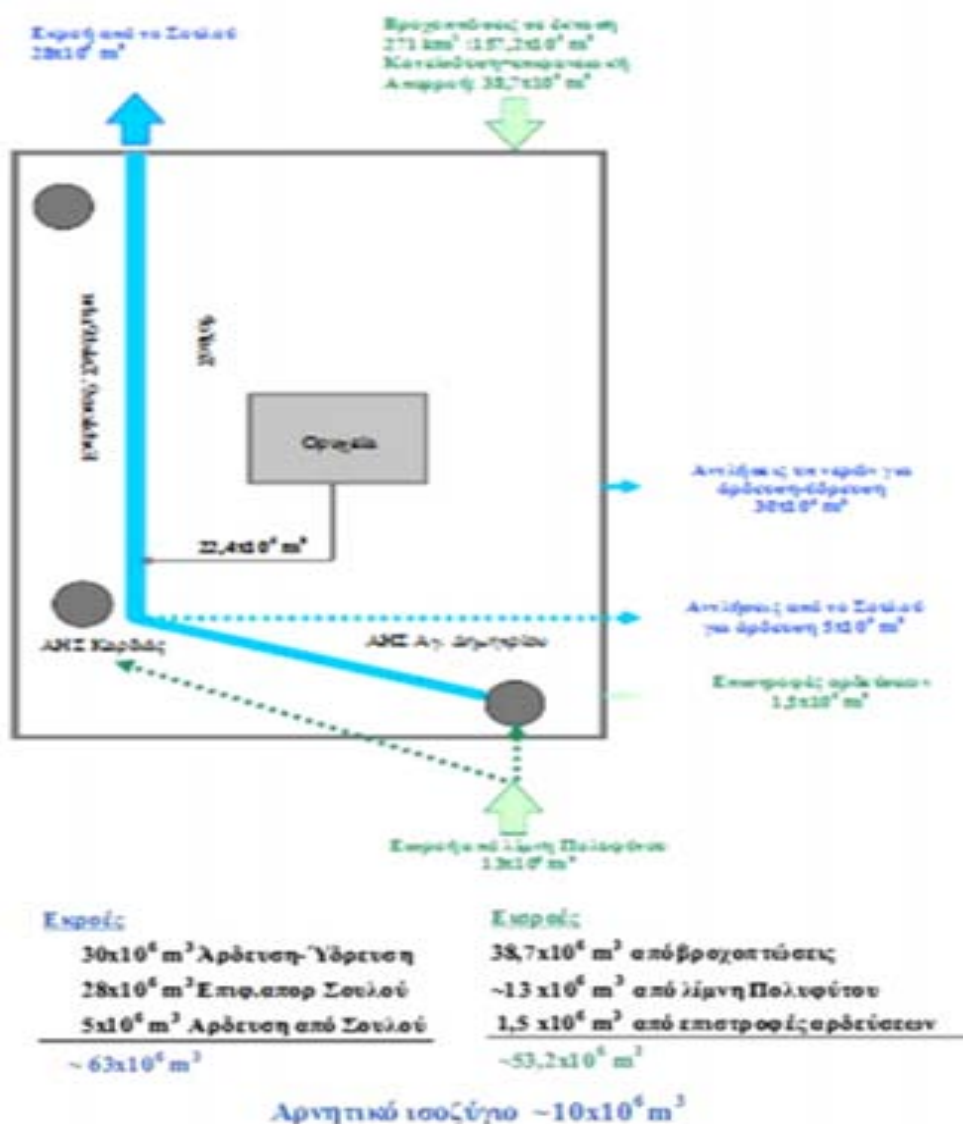
Από την επεξεργασία των μετεωρολογικών και υδρολογικών δεδομένων της λεκάνης Σαριγκιόλ καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το μέσο ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή των χαλαρών ιζημάτων της λεκάνης ανέρχεται σε 608 mm. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρος στην περιοχή είναι 12,3 °C.

2. Η ετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή έχει υπολογιστεί σε 631mm και η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή έχει υπολογιστεί στα 434 mm.

Η απορροή του ρέματος Σουλού στηρίζεται κατά 82% στην απορροή του υπογείου νερού προς το ρέμα αυτό. Ο μέσος όρος ολικής ετήσιας απορροής του ρέματος στη θέση Γέφυρα – Λιπτόλ είναι $12,647 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Η κατείσδυση έχει υπολογιστεί σε 93 mm και συνεπώς η μέση ετήσια ανανέωση των αποθεμάτων υπογείου νερού έχει υπολογιστεί σε $20,236 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($217,6 \text{ km}^2$ εξάπλωσης χαλαρών ιζημάτων).



Σχήμα 7.2-4: Σχηματική απεικόνιση υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Πτολεμαΐδας (Πηγή: ΜΠΕ Ορυχείων Πτολεμαΐδας)

7.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Το υδατικό καθεστώς της περιοχής, δηλαδή τα επίπεδα των επιφανειακών και υπόγειων υδροφόρων οριζόντων επηρεάζεται από τη λειτουργία των εκμεταλλεύσεων λιγνίτη και αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν σημαντικές μετακινήσεις μαζών που μεγεθύνονται λόγω της έλλειψης μέτρων για την ασφαλή εξόρυξη του προαναφερθέντος μεταλλεύματος. Δηλαδή παρατηρούμε την ταπείνωση των κοντινών στην εκσκαφή υδροφόρων οριζόντων για να μην εισβάλλουν τα ύδατα στην εκμετάλλευση. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι να επηρεάζονται οι υδροφόροι ορίζοντες σε ακτίνα έως και 500 m πέραν των ορίων της εκμετάλλευσης, χωρίς να αποκλείεται ακόμα και η πρόκληση προβλήματος στο υδατικό περιβάλλον εξ αιτίας των διαδικασιών διάθεσης των στείρων κατά τη διάρκεια των εργασιών της εξόρυξης αλλά και της αποκατάστασης. Τα νερά των υδροφόρων οριζόντων που δεν έχουν για οποιοδήποτε λόγο εισχωρήσει στην εκσκαφή είναι πόσιμα και με αυτά υδρεύεται ο Δήμος Κοζάνης μέσω των γεωτρήσεων προστασίας στα περίξ της εκμετάλλευσης.

Βέβαια ο δήμος Κοζάνης υδρεύεται με νερά των υδροφόρων οριζόντων που δεν έχουν εισχωρήσει στην εκσκαφή μέσω των γεωτρήσεων προστασίας στα περίξ της εκμετάλλευσης.

Η φυσική όμως αποστράγγιση των υδροφορέων μέσα στο ορυχείο καθώς και τα ποσά των αντλήσεων που γίνονται για την προστασία της εκσκαφής (περί τα $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$), όπως επίσης και τα ποσά που αντλούνται από το έλος Σαριγκόλ (περί τα $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$) και αφορούν την ύδρευση και την άρδευση μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υδροοικονομία της λεκάνης είναι σχεδόν στο όριο εκμετάλλευσης των ανανεούμενων αποθεμάτων.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 εξ αιτίας της προέκτασης της εκσκαφής και επομένως της ανάγκης για περισσότερες αντλήσεις υπήρχε πρόβλεψη για την επιδείνωση της υδροοικονομίας της λεκάνης και αυτό γιατί θα κατέβαινε η στάθμη των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής και συνεπώς και των υδρογεωτρήσεων ύδρευσης λόγω της αυξημένης άντλησης για τις ανάγκες της εκμετάλλευσης. Το αποτέλεσμα αυτών που

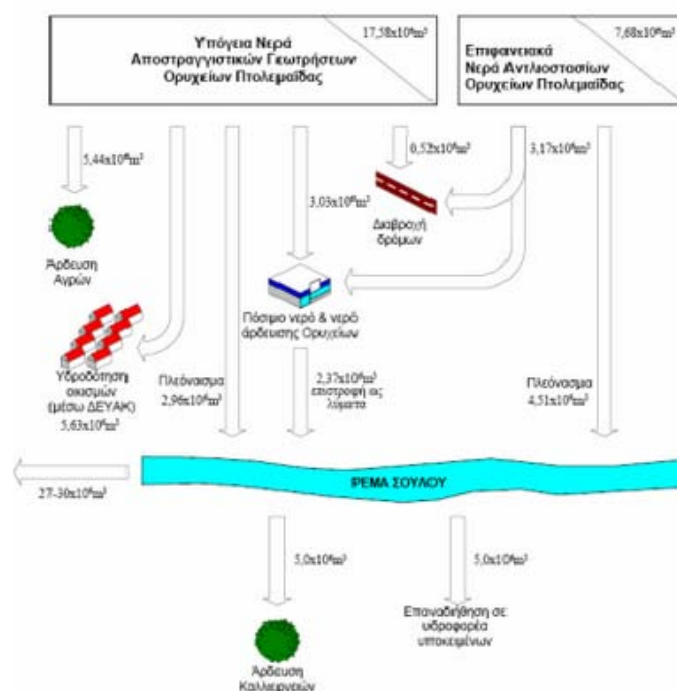
αναφέραμε παραπάνω θα ήταν η δημιουργία προβλημάτων στα αποθέματα της λεκάνης γιατί αυτά με δυσκολία αναπληρώνονται. Βέβαια δεν θα υπήρχε απαραίτητα απώλεια σε πόσιμο νερό, επειδή το νερό που αντλείται για τις αποστραγγιστικές ανάγκες του πεδίου πληρεί τις προϋποθέσεις για να καλύψει υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες αντίστοιχα.

Όμως η υπεράντληση πέραν των δυνατοτήτων αναπλήρωσης του υδροφόρου ορίζοντα εμφανίζει τις συνέπειές της στο ρέμα Σούλου. Η ροή του ρέματος είναι μειωμένη λόγω της ταπείνωσης του υδροφόρου ορίζοντα που το τροφοδοτεί και της δημιουργίας μιας αναστροφής της υψόμενης ροής που έχει ως συνέπεια τη διήθηση του νερού από τον ημιπερατό πυθμένα του και την τροφοδότηση του υδροφορέα με αργούς ρυθμούς.

Το πρόβλημα που προκύπτει είναι η ρύπανση του νερού του ρέματος λόγω της απόρριψης σε αυτό των νερών από το ορυχείο και των αποβλήτων του Α.Η.Σ. της περιοχής θα προχωρήσει με αργούς ρυθμούς στον υδροφορέα. Το νερό του ρέματος Σούλου είναι ήδη ακατάλληλο προς ύδρευση αλλά είναι ακόμα κατάλληλο για άρδευση. Αν όμως η παροχή του μειωθεί τότε θα ανέβει η συγκέντρωση σε ολικά διαλελυμένα στερεά και θα σταματήσει πιθανώς να είναι κατάλληλο για οποιαδήποτε αγροτική χρήση. Για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα της κατάστασης πρέπει να αναφέρουμε ότι το νερό του ρέματος αυτή τη στιγμή έχει χαμηλό διαλελυμένο οξυγόνο (D.O.) , υψηλά SO₄ καθώς και υψηλά συγκέντρωση NH₄⁺ και Mn.

Για να αντιμετωπισθούν όλα αυτά τα δυνητικά προβλήματα πρέπει να υπάρξει σωστή ποσοτική και ποιοτική διαχείριση των υπογείων νερών, πράγμα το οποίο στην πράξη είναι περίπλοκο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρέπει να βρεθεί μια λύση που να εξασφαλίζει όλες τις χρήσεις του νερού (όπως ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία) οι οποίες όμως έχουν διαφορετικές ποσοτικές και ποιοτικές απαιτήσεις μεταξύ τους.

Το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7.3-1: Διαχείριση υδατικών πόρων στα ορυχεία Πτολεμαΐδας (Πηγή: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας)

Από τις πληροφορίες που υπάρχουν για την περιοχή, γνωρίζουμε ότι υπάρχουν δύο υδροφόροι ορίζοντες στην περιοχή του Νότιου Λιγνιτικού Πεδίου, ένας επιφανειακός και ένας υπόγειος. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας χωρίζεται από τα στρώματα του λιγνίτη με ένα παχύ και αδιαπέρατο στρώμα μάργας και ως εκ τούτου δεν επηρεάζει την εκμετάλλευση και δεν τίθεται ζήτημα αποστράγγισής του. Ο υπερκείμενος υδροφορέας αναπτύσσεται στους υπερκείμενους του λιγνίτη σχηματισμούς και πρέπει να διατηρείται σε επίπεδα που να επιτρέπουν την απρόσκοπτη συνέχεια της εκμετάλλευσης. Ο υδροφορέας υπερκειμένων παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στη λεκάνη Σαριγκιόλ, δηλαδή στην περιοχή ανάπτυξης του Νοτίου Πεδίου. Στην ευρύτερη περιοχή του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου συγκεντρώνεται περίπου το 81,3% των αποθεμάτων του υδροφορέα υπερκειμένων.

Ο επιφανειακός υδροφορέας, προκειμένου να γίνει η αποκάλυψη του στρώματος του λιγνίτη, πρέπει να αποστραγγιστεί έτσι ώστε να ταπεινωθεί η πιεζομετρική του επιφάνεια και να απομακρυνθούν τα χαλαρά ιζήματα. Αυτή η διαδικασία επηρεάζει το υδατικό καθεστώς της περιοχής όπως είναι προφανές και χρήζει παρακολούθησης.

Οι δυνητικές επιπτώσεις **α**τη λειτουργία των ορυχείων στους υδατικούς, εξετάζονται για τα επιφανειακά και **ο**γπια νερά, αλλά και συνολικά. Οι επιμέρους θεωρήσεις εμπεριέχουν **ό**σο την ποσοτική **έ**ννοι**ό**σο και την ποιοτική, δίνοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των δυνητικών επιπτώσεων στα υδατικά συστήματα της περιοχής. Όσον αφορά τα επιφανειακά νερά, η εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων εστιάζεται στο **ρ**έμα Σουλού, που αφενός αποτελεί τον τελικό αποδέκτη των αντλούμενων επιφανειακών και **υ**πόγειων νερών των ορυχείων, και αφετέρου αποτελεί μια **ώ**πις βασικές πηγές άρδευσης για την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Σχετικώς με τα **ύ**γεια ύδατα, η εκτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων εστιάζεται στον υδροφορέα υπερκειμένων που αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή του **Ν**τιου Πεδίου και ο **ο**ποίος αποτελεί και το βασικό υδροφόρο ορίζοντα υδρομάστευσης για τις διάφορες χρήσεις της υδρολογικής λεκάνης, **ό**σο από τα Ορυχεία Πτολεμαΐδας όσο και από τις άλλες χρήσεις της περιοχής (ύδρευση, άρδευση).

7.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

7.4.1. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Λόγω της γεωλογίας της περιοχής (έντονα καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα), η επιφανειακή απορροή δεν ευνοείται από μόνη της στη λεκάνη Σαριγκιόλ. Υπό αυτό το πρίσμα καταλαβαίνουμε ότι είναι θετική η δραστηριότητα της ΔΕΗ για το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής καθώς εισάγει νερό από γειτονική υδρολογική λεκάνη (λίμνη Πολυφύτου), το οποίο αρχικά χρησιμοποιείται στους ΑΗΣ. Επίσης συμβάλει θετικά οι γεωτρήσεις προστασίας οι οποίες τροφοδοτούν το **ρ**έμα Σουλού (στο οποίο συγκεντρώνεται το σύνολο της επιφανειακής απορροής στο Νότιο Λιγνιτικό Πεδίο) με νερό από τους υδροφόρους της περιοχής που διαφορετικά δεν θα κατέληγε εκεί.

Ειδικότερα όσον αφορά τις δραστηριότητες της ΔΕΗ Α.Ε. στην περιοχή αναφέρεται:

1. Από τη γειτονική λεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα και συγκεκριμένα από τη λίμνη του Πολυφύτου εισέρχονται στην εξεταζόμενη λεκάνη κάθε χρόνο περί τα $50 \times 106 \text{ m}^3$ νερού από τα οποία το ένα τέταρτο περίπου, καταλήγουν στο ρέμα Σουλού μετά την αξιοποίησή τους ως νερό ψύξης στους ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και Καρδιάς.
2. Για την ασφαλή λειτουργία του Νοτίου Πεδίου και του Πεδίου Καρδιάς αντλούνται από τον υδροφορέα υπερκειμένων σημαντικές ποσότητες υπογείων υδάτων. Τα ύδατα αυτά, η ποσότητα των οποίων εξαρτάται από βαθμό εξέλιξης των εργασιών, μετά την αξιοποίηση μέρους τους για τις ανάγκες των Ορυχείων Πτολεμαΐδας και την κάλυψη αναγκών της τοπικής κοινωνίας (ύδρευση – άρδευση, μέσω της ΔΕΥΑ Κοζάνης), διατίθενται στο ρέμα Σουλού χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητά τους από τις εργασίες εξόρυξης. Για την τριετία (2006-2008), η ποσότητα των νερών από τις αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που οδηγούνταν στο ρέμα Σουλού ανερχόταν σε περίπου $2,96 \times 106 \text{ m}^3$ ετησίως κατά μέσο όρο.
3. Στο ρέμα Σουλού καταλήγει ένα σημαντικό τμήμα των επιφανειακών υδάτων των αντλιοστασίων των ορυχείων. Η κατανάλωση επιφανειακών υδάτων των ορυχείων ανέρχεται σε $3,17 \times 106 \text{ m}^3$.
4. Μετά το πέρας των εργασιών στα Ορυχεία Πτολεμαΐδας, η επιφανειακή απορροή του ρέματος Σουλού, που πρόκειται για αποστραγγιστικό έργο, θα περιορισθεί στις επιφανειακές απορροές της ανάντη περιοχής.

Σύμφωνα με στοιχεία της τριετίας 2006-2008, η απορροή του ρέματος Σουλού στην έξοδο της λεκάνης είναι περίπου $30 \times 106 \text{ m}^3$. Σημειώνεται ότι από την κοίτη του ρέματος διαφεύγουν με διήθηση, προς τον υπόγειο υδροφορέα περίπου $5 \times 106 \text{ m}^3$ νερού και άλλα τόσα αντλούνται απευθείας από την κοίτη του και διατίθενται για άρδευση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί πριν από την κατασκευή του ρέματος Σουλού, η υδρολογική λεκάνη Σαριγκώλ ήταν κλειστή και οι απορροές της σχημάτιζαν έλος, στο κέντρο της λεκάνης. Αν αναλύσουμε το υδατικό ζεύγιο, γίνεται αντιληπτό ότι η καθαρή ποσότητα που προστίθεται στους υδατικούς πόρους της λεκάνης απορροής του ρέματος Σουλού, λόγω της σημερινής λειτουργίας των Ορυχείων Πτολεμαΐδας, ανέρχεται σε περίπου $13-15 \times 106 \text{ m}^3$ ετησίως, με την καθαρή κατανάλωση να ανέρχεται σε μόλις $3,17 \times 106 \text{ m}^3$.

Σημειώνεται επίσης ότι οι ανάγκες ανάπτυξης του Ορυχείου Νοτιοδυτικού Πεδίου – Υψηλάντη προς τα νοτιοδυτικά επιβάλλουν την εκτροπή, προσωρινή και τελική 2010-2012, της κοίτης του ρέματος Σουλού.

Επίσης, τα έργα διευθέτησης των υδατορευμάτων που βρίσκονται επί ζώνης πλάτους διακοσίων μέτρων (200 m) παράλληλα και εκτός του νέου ορίου επέμβασης των ορυχείων, συμβάλλουν στην ανεμπόδιση παροχέτευση των ομβρίων νερών της περιοχής προς το ρέμα Σουλού. Τα έργα διευθέτησης περιλαμβάνουν περιμετρικές τάφρους με τελική αποδέκτη το Σουλού, είτε σημεία εγκλωβισμού των ομβρίων υδάτων απ' όπου προτείνεται η άντληση και διοχέτευσή τους στο ρέμα Σουλού, καθώς στις περιοχές αυτές δεν είναι δυνατόν να προταθούν τάφροι εκτροπής. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η διατήρηση της ποσότητας των επιφανειακών νερών του ρέματος Σουλού και η αποφυγή της λίμνασης ομβρίων νερών εντός της ζώνης των 200m των ορυχείων, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω. Σημειώνεται ότι μετά την ολοκλήρωση των έργων εκμετάλλευσης των Ορυχείων Πτολεμαΐδας θα δημιουργηθούν τρεις λίμνες στις τελικές κόπτες των εκσκαφών, ο πυθμένας των οποίων είναι αδιαπέρατος. Οι λίμνες αναμένεται να κατακλυστούν εν μέρει από νερά που θα προέρχονται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τις επιφανειακές απορροές και πλευρικά από τον υπόγειο υδροφόρα υπερκειμένων της περιοχής, ο οποίος αναπτύσσεται εντός του φυσικού εδάφους και των αποθέσεων, μετά την παύση των αντλήσεων. Λόγω της μορφολογίας και της σύστασης συναποτιθέμενων αγόνων-τέφρας, ο συντελεστής απορροής στις περιοχές των αποθέσεων θα είναι μεγαλύτερος του μέσου συντελεστή απορροής της λεκάνης και εκτιμάται σε ~30% και οι επιφανειακές απορροές θα διευθετούνται προς τις τελικές εκσκαφές. Η επίτευξη της δημιουργίας των λιμνών τεκμηριώνεται και από την εμπειρία της ΔΕΗ στην περιοχή του Κλειδιού Φλώρινας, όπου σε περιοχή όπου δεν υπήρχε υπόγειος υδροφόρας δημιουργήθηκε λίμνη τρία χρόνια μετά την παύση της εξορυκτικής δραστηριότητας, λόγω του αυξημένου συντελεστή απορροής των αποθέσεων.

8. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά στοιχεία στάθμης από τις γεωτρήσεις του **Πίνακα 8.1-1** στην περιοχή του Νότιου λιγνιτοφόρου πεδίου Πτολεμαΐδας Κοζάνης της ΔΕΗ. Τα στοιχεία αυτά είχαν συγκεντρωθεί από τον Ερευνητικό Πρόγραμμα ΕΛΙΜΕΙΑ «Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Περιοχές Εκμεταλλεύσεων-Πιλοτική Εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας». Οι συντεταγμένες των θέσεων των γεωτρήσεων είναι στη μορφή EGSA.

Για την εξέταση των μετρήσεων του συστήματος παρακολούθησης έγιναν οι παραδοχές ότι υπάρχουν μόνο αυτά τα δεδομένα χωρίς προηγούμενα στοιχεία και ότι σε όλες τις γεωτρήσεις οι μετρήσεις γίνονται με την ίδια μέθοδο. Επίσης, επειδή στο μεγαλύτερο πλήθος των γεωτρήσεων η επιφάνεια του εδάφους είναι σε υψόμετρο 650-660m, έγινε η παραδοχή ότι οι στάθμες είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους χωρίς την αφαίρεση του υψομέτρου.

Αρχικά, έγινε η επιλογή των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα και απορρίφθηκαν οι γεωτρήσεις που :

- Ήταν πολύ μακριά, (> 20 km) από τις υπόλοιπες, γιατί θα οδηγούσαν σε εσφαλμένες πιθανώς εκτιμήσεις σε μια ευρεία περιοχή.
- Δεν είχαν ακριβείς συντεταγμένες X και Y και μπορεί να υποβάθμιζαν το αποτέλεσμα τις ανάλυσης.
- Η χρονική περίοδος των μετρήσεων απείχε πολύ χρονικά από τον κύριο όγκο των δεδομένων, (> 10 ετών) και μπορεί να υποβάθμιζαν την ακρίβεια των υπολογισμών.

Πίνακας 8.1-1: Γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων χωρίς την αφαίρεση της τάσης.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
3	318488.37	4471590.09	19/4/1994 - 7/10/1998	5
4	319001.23	4471386.47	19/4/1994 - 7/10/1998	10
14	317422.69	4471700.88	19/4/1994 - 7/10/1998	13
18	317507.79	4471817.33	19/4/1994 - 7/10/1998	10
24	317023.26	4472152.90	19/4/1994 - 7/10/1998	13
44	314894.08	4471629.39	19/4/1994 - 7/10/1998	14
55	321390.72	4472924.70	19/4/1994 - 7/10/1998	9
106	321460.35	4476387.34	19/4/1994 - 7/10/1998	6
107	321626.33	4474227.81	19/4/1994 - 7/10/1998	10
110	315577.62	4475822.32	19/4/1994 - 7/10/1998	16
112	315550.31	4475426.76	19/4/1994 - 7/10/1998	16
112A	315564.63	4475424.36	19/4/1994 - 7/10/1998	11
125	316780.16	4475674.30	19/4/1994 - 7/10/1998	8
129	316415.90	4474704.04	19/4/1994 - 7/10/1998	11
130	316225.26	4474269.08	19/4/1994 - 7/10/1998	12
131	316689.21	4474788.81	19/4/1994 - 7/10/1998	13
132	316721.57	4474450.67	19/4/1994 - 7/10/1998	11
144	318008.34	4476825.19	19/4/1994 - 7/10/1998	18
155	317921.09	4475100.37	19/4/1994 - 7/10/1998	14
158	318170.19	4474806.44	19/4/1994 - 7/10/1998	8
169	310618.93	4475968.82	19/4/1994 - 7/10/1998	1
173	312072.38	4474147.96	19/4/1994 - 7/10/1998	4
183	313385.03	4473472.84	19/4/1994 - 7/10/1998	9
190	313581.27	4472837.75	19/4/1994 - 7/10/1998	10
193	313894.46	4472242.34	19/4/1994 - 7/10/1998	10
196 ή Υ/Δ1	313998.94	4472983.03	19/4/1994 - 7/10/1998	17

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
198	314531.30	4472380.82	19/4/1994 - 7/10/1998	10
200	314365.76	4471962.81	19/4/1994 - 7/10/1998	12
201	314399.78	4471781.87	19/4/1994 - 7/10/1998	14
205B	318458.62	4472021.92	19/4/1994 - 7/10/1998	8
219	321771.67	4472484.28	19/4/1994 - 7/10/1998	14
223	320732.99	4472870.32	19/4/1994 - 7/10/1998	10
232	324183.48	4471655.36	19/4/1994 - 7/10/1998	19
233	322811.00	4470114.73	19/4/1994 - 7/10/1998	18
234	322468.49	4470513.83	19/4/1994 - 7/10/1998	6
249B	316118.67	4469369.22	19/4/1994 - 7/10/1998	2
249	316105.43	4469260.04	19/4/1994 - 7/10/1998	17
251	316165.85	4470046.57	19/4/1994 - 7/10/1998	14
256	315678.56	4471304.79	19/4/1994 - 7/10/1998	6
258	316479.42	4471011.96	19/4/1994 - 7/10/1998	8
262	317122.71	4470960.14	19/4/1994 - 7/10/1998	11
263	316850.23	4470777.64	19/4/1994 - 7/10/1998	14
264	316625.29	4470669.93	19/4/1994 - 7/10/1998	17
265	316797.59	4470430.45	19/4/1994 - 7/10/1998	14
266	316799.37	4470106.47	19/4/1994 - 7/10/1998	17
267	317426.79	4470922.93	19/4/1994 - 7/10/1998	15
270	317657.38	4470565.04	19/4/1994 - 7/10/1998	1
273	317556.06	4470107.36	19/4/1994 - 7/10/1998	2
279	318764.97	4470479.65	19/4/1994 - 7/10/1998	14
281	318699.38	4470614.23	19/4/1994 - 7/10/1998	16
285	318062.70	4471374.52	19/4/1994 - 7/10/1998	15
286	318272.37	4471229.11	19/4/1994 - 7/10/1998	11
289	322603.00	4473938.63	19/4/1994 - 7/10/1998	16
290	311676.51	4473243.62	19/4/1994 - 7/10/1998	4

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
294A	314001.31	4471249.50	19/4/1994 - 7/10/1998	1
300	319461.31	4471193.47	19/4/1994 - 7/10/1998	18
306	319872.57	4474134.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
307	317403.75	4475069.79	19/4/1994 - 7/10/1998	13
312	323396.25	4472390.07	19/4/1994 - 7/10/1998	19
313	323352.36	4471719.10	19/4/1994 - 7/10/1998	7
316	320524.03	4470535.83	19/4/1994 - 7/10/1998	14
318	318531.10	4474839.56	19/4/1994 - 7/10/1998	9
319	317157.99	4472276.87	19/4/1994 - 7/10/1998	12
323	318557.63	4478011.44	19/4/1994 - 7/10/1998	11
324	314123.34	4471747.47	19/4/1994 - 7/10/1998	8
327	319393.58	4471715.53	19/4/1994 - 7/10/1998	9
420	313107.16	4468603.25	19/4/1994 - 7/10/1998	1
427	319385.52	4471365.62	19/4/1994 - 7/10/1998	6
440	316213.11	4477006.99	19/4/1994 - 7/10/1998	7
441	313269.90	4468263.60	19/4/1994 - 7/10/1998	1
442	312007.30	4465883.75	19/4/1994 - 7/10/1998	1
443	309261.11	4476950.42	19/4/1994 - 7/10/1998	2
454	310274.72	4477527.25	19/4/1994 - 7/10/1998	2
A7	315518.61	4471133.26	19/4/1994 - 7/10/1998	7
A9	321437.94	4473618.98	19/4/1994 - 7/10/1998	9
A10	313537.60	4473700.91	19/4/1994 - 7/10/1998	3
A11 ή ΠΝΠ-9	314237.44	4473684.79	19/4/1994 - 7/10/1998	10
A12	317405.82	4472271.43	19/4/1994 - 7/10/1998	3
A20	314180.09	4471020.31	19/4/1994 - 7/10/1998	3
A24	314377.54	4471080.79	19/4/1994 - 7/10/1998	1
A21	311237.64	4475904.55	19/4/1994 - 7/10/1998	4
A23	316426.34	4470133.36	19/4/1994 - 7/10/1998	1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
P7B	316282.24	4475150.90	19/4/1994 - 7/10/1998	17
P7Γ	316291.89	4475150.68	19/4/1994 - 7/10/1998	20
P3	316718.76	4477090.57	19/4/1994 - 7/10/1998	13
P3α	317521.88	4477310.20	19/4/1994 - 7/10/1998	5
Γ2 ή 50	323104.11	4473249.19	19/4/1994 - 7/10/1998	14
Γ4 ή 58	320594.90	4473198.26	19/4/1994 - 7/10/1998	13
Γ6 ή 92	319978.42	4475052.94	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Γ7 ή 94	319035.58	4474600.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Γ8	317410.98	4474062.49	19/4/1994 - 7/10/1998	18
Γ9 ή 82	319216.32	4472283.23	19/4/1994 - 7/10/1998	17
Υ/Π0	313988.27	4474000.02	19/4/1994 - 7/10/1998	7
Υ/Π1	313969.40	4472981.23	19/4/1994 - 7/10/1998	12
Υ/Δ2	315019.88	4473867.82	19/4/1994 - 7/10/1998	14
Υ/Π2	315019.26	4473867.99	19/4/1994 - 7/10/1998	18
Υ/Δ3	315766.76	4471950.87	19/4/1994 - 7/10/1998	19
Υ/Π4	315885.15	4472955.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Υ/Π5	317055.14	4471235.66	19/4/1994 - 7/10/1998	20
Υ/Π9	315794.42	4471939.60	19/4/1994 - 7/10/1998	10
T1	319939.09	4472383.15	19/4/1994 - 7/10/1998	1
T3	324115.34	4472607.09	19/4/1994 - 7/10/1998	1
T7	323008.68	4470570.60	19/4/1994 - 7/10/1998	20
ΥΚΖ6	314334.22	4473241.78	19/4/1994 - 7/10/1998	13
ΥΚΖ7	314091.50	4472997.75	19/4/1994 - 7/10/1998	3
ΥΚΖ8	313836.61	4472485.88	19/4/1994 - 7/10/1998	4
ΥΚΖ1	314545.18	4471983.19	19/4/1994 - 7/10/1998	1
B ή 810	314545.92	4471877.15	19/4/1994 - 7/10/1998	2
1	318747.76	4471826.72	9/5/1996 - 16/1/1998	9
15	317752.61	4471693.29	9/5/1996 - 16/1/1998	8

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
77	319114.51	4473127.64	9/5/1996 - 16/1/1998	8
83	319015.85	4471384.13	9/5/1996 - 16/1/1998	6
87	319773.09	4471906.84	9/5/1996 - 16/1/1998	9
88	319691.20	4471608.65	9/5/1996 - 16/1/1998	13
205	318182.63	4472123.51	9/5/1996 - 16/1/1998	8
205A	318182.63	4472123.51	9/5/1996 - 16/1/1998	7
240	320762.40	4471213.89	9/5/1996 - 16/1/1998	7
241	320601.53	4471177.58	9/5/1996 - 16/1/1998	7
242	320410.19	4471121.97	9/5/1996 - 16/1/1998	9
244	319193.83	4470859.89	9/5/1996 - 16/1/1998	12
245	318938.67	4470855.76	9/5/1996 - 16/1/1998	8
288	313876.01	4473192.96	9/5/1996 - 16/1/1998	7
301	319093.65	4471722.43	9/5/1996 - 16/1/1998	14
314	322078.06	4470901.43	9/5/1996 - 16/1/1998	8
421	312884.87	4470114.85	9/5/1996 - 16/1/1998	3
Γ9 ΟΡΥΓΜΑ	319200.12	4472275.63	9/5/1996 - 16/1/1998	9
ΥΝΠ-1	317381.34	4479216.90	27/9/1994 - 29/12/1998	8
ΥΝΠ-11	316019.85	4477627.51	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-12	315933.39	4477785.93	27/9/1994 - 29/12/1998	3
ΥΝΠ-14	315920.70	4477534.31	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-15	315915.70	4477397.85	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-38	315927.22	4477982.73	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΥΝΠ-40	315968.86	4478136.02	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-44	315949.28	4477473.18	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-62	314692.45	4475342.98	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-64	314534.20	4474830.62	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-67	313076.39	4475812.14	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΥΝΠ-68	313087.70	4476311.77	27/9/1994 - 29/12/1998	2

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΥΝΠ-69	313714.30	4475493.24	27/9/1994 - 29/12/1998	3
ΥΝΠ-70	314202.56	4474674.77	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-72	313738.12	4474873.98	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-73	313045.87	4476640.81	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-74	313017.25	4476542.69	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΥΝΠ-76	312934.22	4476342.82	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΥΝΠ-78	314226.01	4474860.71	27/9/1994 - 29/12/1998	12
ΥΝΠ-79	313065.89	4475154.53	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΥΝΠ-81	313754.91	4475279.06	27/9/1994 - 29/12/1998	4
ΥΝΠ-82	313166.93	4475972.77	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΥΝΠ-83	313028.39	4476042.21	27/9/1994 - 29/12/1998	3
ΥΝΠ-84	313981.61	4474954.17	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-85	314593.62	4475034.11	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΥΝΠ-88	314478.28	4474613.36	27/9/1994 - 29/12/1998	15
ΥΝΠ-89	313184.04	4475314.23	27/9/1994 - 29/12/1998	11
ΥΝΠ-90	313306.13	4475797.05	27/9/1994 - 29/12/1998	4
ΥΝΠ-93	314886.93	4475135.80	27/9/1994 - 29/12/1998	11
ΥΝΠ-94	315087.42	4475347.55	27/9/1994 - 29/12/1998	16
ΥΝΠ-105	313309.25	4474808.35	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-106	313213.80	4475009.11	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-107	313180.13	4474734.18	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΥΝΠ-108	313070.64	4474851.83	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΥΝΠ-109	312938.31	4474987.30	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΥΝΠ-110	312916.06	4475248.00	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΥΝΠ-111	312649.14	4475304.12	27/9/1994 - 29/12/1998	3
ΥΝΠ-112	312879.66	4475507.38	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΥΝΠ-113	312710.55	4475004.19	27/9/1994 - 29/12/1998	8
ΥΝΠ-114	312663.49	4475273.31	27/9/1994 - 29/12/1998	8

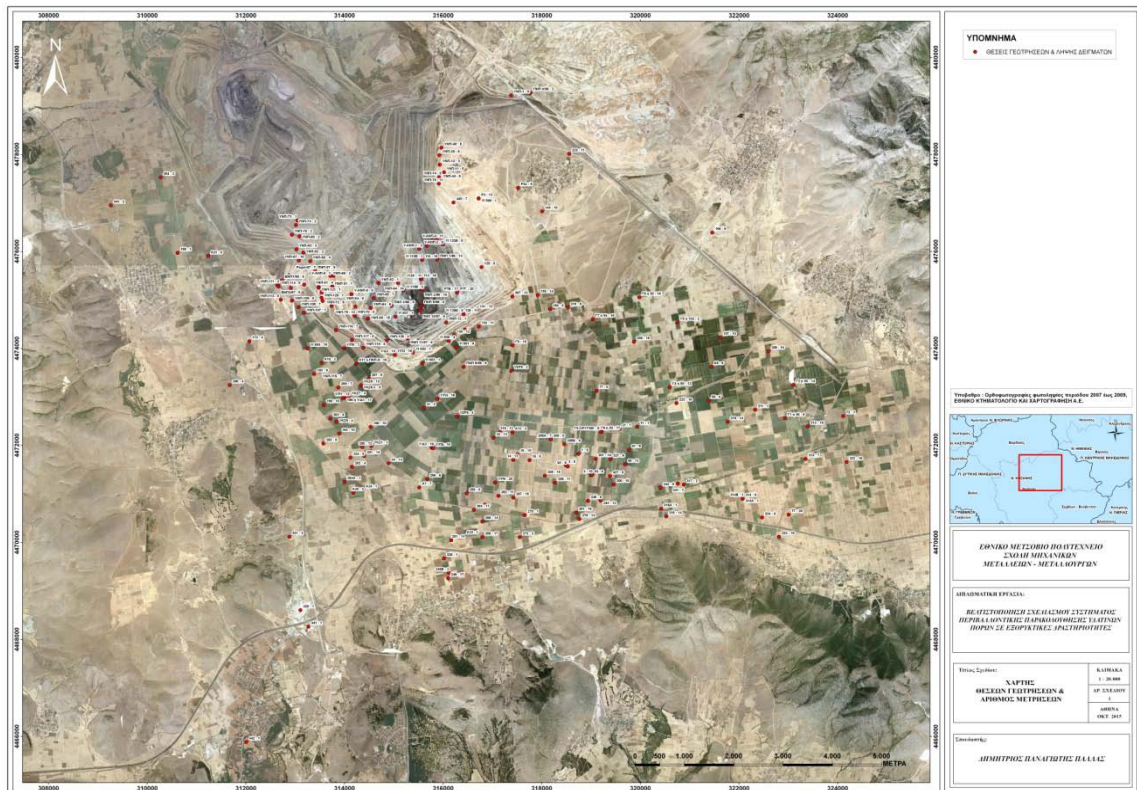
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΥΝΠ-115	313504.50	4473531.58	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΥΝΠ-116	313829.25	4474376.39	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΥΝΠ-117	314151.97	4474174.16	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΥΝΠ-118	314385.17	4474012.29	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΝΠ-119Α	313537.56	4475041.01	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-120	313536.59	4475148.67	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-121	313479.91	4475261.59	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΝΠ-126	314862.81	4474167.25	27/9/1994 - 29/12/1998	4
Υ-ΑΝΠ-1	315516.23	4476046.78	27/9/1994 - 29/12/1998	3
Υ-ΑΝΠ-2	315671.70	4476112.74	27/9/1994 - 29/12/1998	9
Υ-ΑΝΠ-3	315786.95	4476233.33	27/9/1994 - 29/12/1998	14
Υ-ΑΝΠ-4	315875.88	4476241.74	27/9/1994 - 29/12/1998	11
Υ-ΑΝΠ-5	314145.23	4475117.97	27/9/1994 - 29/12/1998	5
Υ-ΑΝΠ-6	313779.34	4475497.78	27/9/1994 - 29/12/1998	1
Pegel-81A	313753.55	4475259.08	27/9/1994 - 29/12/1998	2
Pegel-2/96	313474.99	4475250.30	27/9/1994 - 29/12/1998	6
Pegel-5/96	313558.78	4474976.58	27/9/1994 - 29/12/1998	6
Pegel-87	313405.18	4475593.63	27/9/1994 - 29/12/1998	7
ΠΝΠ 1/96	315884.67	4475830.23	27/9/1994 - 29/12/1998	14
ΠΝΠ 2/96	315574.49	4475201.93	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΠΝΠ 3/96	314952.15	4474876.88	27/9/1994 - 29/12/1998	8
ΠΝΠ 4/96	317775.36	4479270.40	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΠΝΠ 5/96	315562.15	4474880.41	27/9/1994 - 29/12/1998	8
ΠΝΠ 8/96	316445.26	4474383.19	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΠΝΠ 9/96	316417.31	4473619.86	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΠΝΠ 10/97	315533.26	4474772.26	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΠΝΠ 11/97	315285.40	4474207.02	27/9/1994 - 29/12/1998	6
ΠΝΠ 13	316062.72	4474535.02	27/9/1994 - 29/12/1998	1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΠΝΠ 81	313754.53	4475258.38	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΠΝΠ 87	313405.18	4475593.63	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΙ 110E	315577.62	4475822.32	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΙ 112E	315564.99	4475423.25	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΙ 115E	315192.45	4475193.24	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΥΙ 123E	315994.60	4476145.04	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΙ 129E	316418.76	4474704.86	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΥΙ 500	316115.37	4474153.08	27/9/1994 - 29/12/1998	4
ΥΙ 501	316268.61	4474023.74	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΙ 502	315392.78	4473911.93	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΙ 503	315578.51	4473688.93	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΙ 504	313252.57	4474000.51	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΥΙ 507	315035.41	4474653.81	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΙ 508	316723.55	4477089.40	27/9/1994 - 29/12/1998	1
ΥΣΡ5	316286.97	4472598.28	27/9/1994 - 29/12/1998	4
ΥΣΡ9	317385.40	4473538.02	27/9/1994 - 29/12/1998	2
ΕΝΠ1/56	312739.11	4475403.79	27/9/1994 - 29/12/1998	5
ΕΝΠ3/97	312660.58	4475076.29	27/9/1994 - 29/12/1998	5
3Α	318529.88	4471565.36	9/5/1996 - 16/1/1998	6
21	319578.04	4472341.45	9/5/1996 - 16/1/1998	1
31	315611.22	4472771.01	9/5/1996 - 16/1/1998	3
202	314152.72	4471557.85	9/5/1996 - 16/1/1998	4
211	322327.79	4472733.26	9/5/1996 - 16/1/1998	1
287	314492.77	4473375.03	9/5/1996 - 16/1/1998	6
293	313573.92	4472037.41	9/5/1996 - 16/1/1998	8
303	313715.36	4472554.28	9/5/1996 - 16/1/1998	4
314Α	322075.61	4470903.59	9/5/1996 - 16/1/1998	1
314Β	322075.61	4470903.59	9/5/1996 - 16/1/1998	1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
316A	320420.29	4470691.62	9/5/1996 - 16/1/1998	1
317	320881.91	4471191.13	9/5/1996 - 16/1/1998	2
326	316016.50	4469669.62	9/5/1996 - 16/1/1998	1
Γ1 ή 48	322931.76	4472561.31	9/5/1996 - 16/1/1998	6
Γ5 ή 102	320758.85	4474534.87	9/5/1996 - 16/1/1998	2
ΥΚΖ6 α	314334.26	4473241.42	9/5/1996 - 16/1/1998	4

8.2. ΘΕΣΕΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Οι θέσεις των γεωτρήσεων μέτρησης της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα στη ευρύτερη περιοχή του Νοτίου Πεδίου των Ορυχείων Πτολεμαΐδας αποτυπώνονται στο **Χάρτη 8.2-1**, κλίμακας 1 προς 20.000 που δίνεται στο παράρτημα, και σε σμίκρυνση στην παρούσα ενότητα. Στον ίδιο χάρτη δίνεται και ο αριθμός των μετρήσεων για τις επί μέρους γεωτρήσεις που κυμαίνονται από 1-20 και καλύπτουν χρονικό διάστημα 32 μηνών.



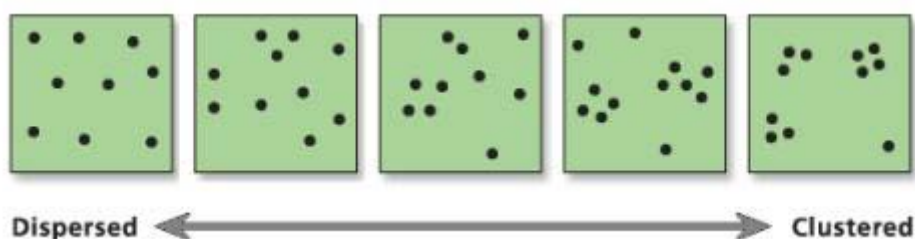
Χάρτης 8.2-1: Θέσεις των γεωτρήσεων και αριθμός μετρήσεων σε κάθε μια γεώτρηση

Για τη μέτρηση της μέσης απόστασης μεταξύ των γεωτρήσεων που εξετάστηκαν εφαρμόστηκε το πρόγραμμα γεωπληροφορικής ArcGIS 9.3.1. Από την ανάλυση προέκυψε ο Πίνακας 8.2-1.

Πίνακας 8.2-1: Σύνοψη Μέσης Απόστασης Γειτνίασης Γεωτρήσεων

Παρατηρούμενη μέση απόσταση	288,34m
Αναμενόμενη μέση απόσταση	414,48m
Αναλογία μέσης απόστασης γειτνίασης	0,695680
z-score	-8,790822
p-value	0

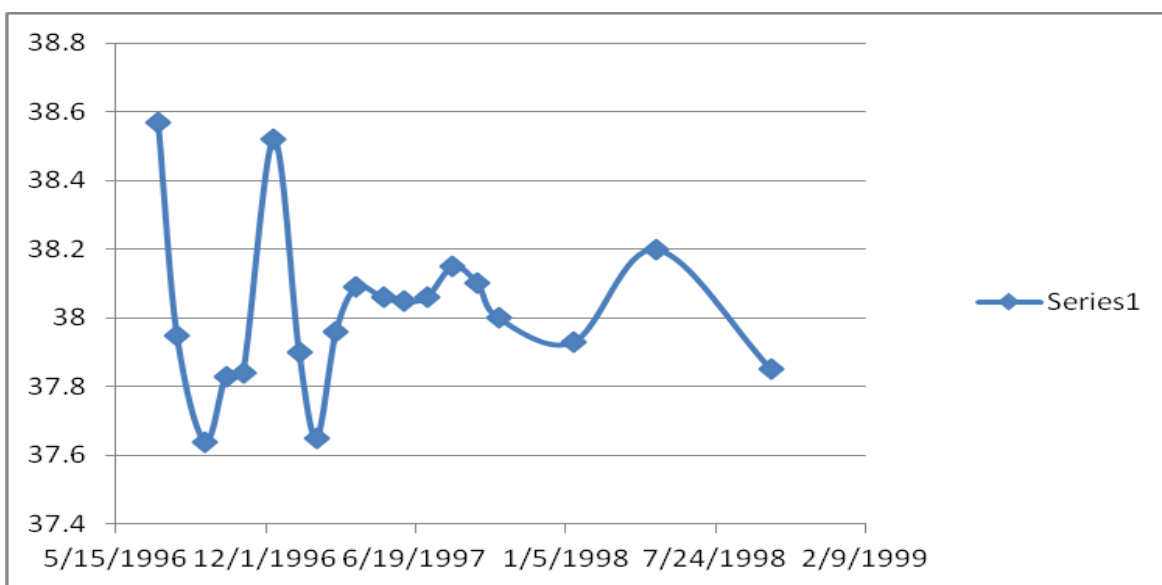
Παρατηρείται ότι η αναλογία μέσης απόστασης γειτνίασης, η οποία ισούται με το λόγο της παρατηρούμενης μέσης απόστασης προς την αναμενόμενη μέση απόσταση, είναι μικρότερη από τη μονάδα και αυτό σημαίνει ότι στο χώρο υπάρχουν συγκεντρώσεις γεωτρήσεων σε συγκεκριμένα σημεία με τη μορφή που παρατηρείται στο δεξί μέρος του **Σχήματος 8.2-1** και άρα δεν υπάρχει ομοιομορφία στις θέσεις των γεωτρήσεων στο χώρο. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν γεωτρήσεις οι οποίες, με την εφαρμογή ενός προγράμματος παρακολούθησης με βάση τη γεωστατιστική ανάλυση θα μπορούσαν να αφαιρεθούν από το υπάρχον σύστημα παρακολούθησης, έχοντας θετικό αντίκτυπο στο κόστος συντήρησης του δικτύου παρακολούθησης και χωρίς τον παράλληλο επηρεασμό της ακρίβειας των προβλέψεων.



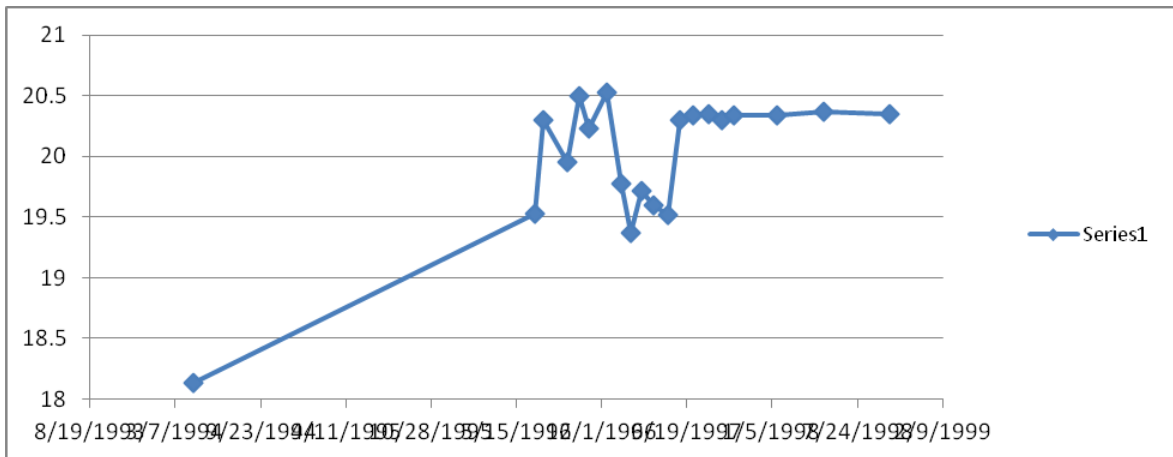
Σχήμα 8.2-1: Κατανομή θέσεων στο χώρο (από αριστερά προς τα δεξιά μετατρέπονται από διεσπαρμένες στο χώρο σε συγκεντρωμένες σε λίγα σημεία του χώρου)
(http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_statistics_tools/average_nearest_neighbor_spatial_statistics_.htm)

8.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΤΑΘΜΗΣ

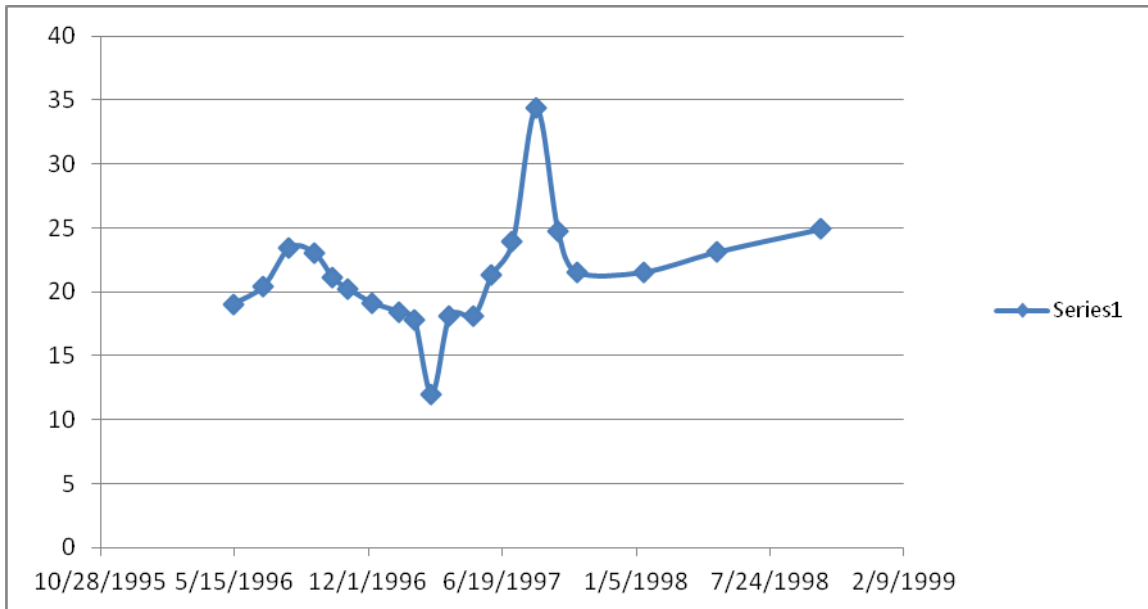
Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής από τα διαθέσιμα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι γεωτρήσεις για τις οποίες υπήρχαν οι συντεταγμένες X και Y καθώς και τουλάχιστον μια μέτρηση σε όλη τη χρονική διάρκεια της δειγματοληψίας των δεδομένων. Χαρακτηριστικές χρονοσειρές μετρήσεων στάθμης για τις Γεωτρήσεις 232, P7Γ, Υ/Π5 και T7 δίνονται στα **Σχήματα 8.3-1-8.3-4** που ακολουθούν. Από τα δεδομένα μετρήσεων στάθμης παρατηρούνται εποχιακές διακυμάνσεις της στάθμης του υδροφορέα, με αύξηση της στάθμης, στις περισσότερες των περιπτώσεων, κατά τις υγρές περιόδους και ταπείνωση κατά την ξηροθερμική περίοδο. Δεδομένου ότι οι αντλήσεις των ορυχείων διεξάγονται κατά το σύνολο του έτους απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση των αιτίων μεταβολής των ποσοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου υδροφορέα



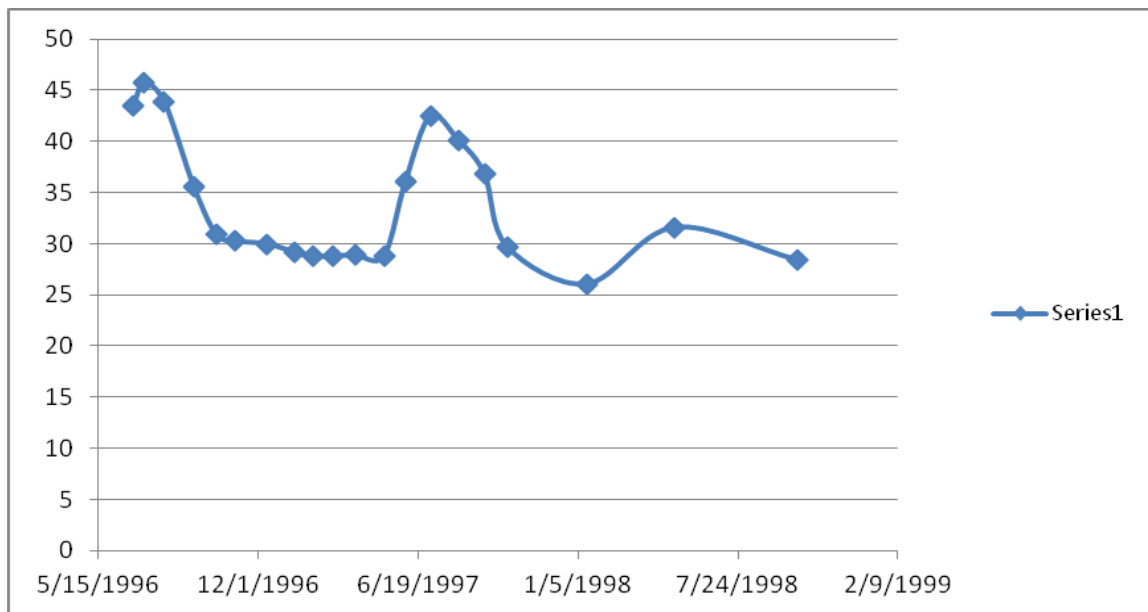
Σχήμα 8.3-1: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση 232



Σχήμα 8.3-2: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση P7G



Σχήμα 8.3-3: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση Y/Π5



Σχήμα 8.3-4: Μετρήσεις στάθμης για τη γεώτρηση T7

8.4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SEKS-GUI.

Τα δεδομένα μορφοποιήθηκαν στη συνέχεια, έτσι ώστε να εισαχθούν στο πρόγραμμα Seks-Gui. Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται στη θεωρία BME (Bayesian Maximum Entropy) η οποία χρησιμοποιείται σε θέματα χωροχρονικής παρεμβολής στις γεωεπιστήμες. Η εφαρμογή της θεωρίας αυτής γίνεται σε τρία στάδια:

- Το «πρότερο στάδιο», στο οποίο επιδιώκεται η συγκέντρωση «γενικής γνώσης» G για την τυχαία συνάρτηση, έχοντας ως στόχο τον υπολογισμό της από κοινού συνάρτησης κατανομής f_G . Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι η G από μια σειρά συναρτησιακών $G_a(a=0,1,\dots,N)$ με τη μορφή $G: h_a^-(s_{map}) = G_a[x_{map}, s_{map}; f_G]$. Το αριστερό μέλος της συνάρτησης αυτής αντιπροσωπεύει το σύνολο των αναμενόμενων τιμών των φυσικών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Το δεξί μέλος, εξαρτάται από τις τιμές της υλοποίησης της τυχαίας συνάρτησης, τις συντεταγμένες και τη συνάρτηση κατανομής f_G .
- Το «μετα-πρότερο στάδιο», στο οποίο προκειμένου να μπορεί η «ειδική γνώση» S να ενσωματωθεί στη δομή της BME, πρέπει να οργανωθεί στη μορφή $S: x_{data} = x_{hard}, x_{soft} = x_1, \dots, x_n$ όπου x_{hard} είναι οι ακριβείς μετρήσεις που παίρνονται σε πραγματικό χρόνο και x_{soft} είναι γενικότερες πιθανοτικές εκφράσεις.

- Το «ύστερο στάδιο» , στο οποίο επιδιώκεται ο υπολογισμός της ενημερωμένης πιθανότητας f_k του x_{map} , η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει και την «γενική» και την «ειδική» γνώση.

Αφού η ύστερη κατανομή πιθανότητας υπολογίζεται με την ανωτέρω μεθοδολογία, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για την τελική εκτίμηση αναλόγως με την εφαρμογή, αν και συνήθως χρησιμοποιείται η επιλογή της μεγιστοποίησης της ύστερης κατανομής «BME mode» η οποία υπολογίζεται για κάθε σημείο s_k .

Στην παρούσα εργασία αρχικά επιχειρήθηκε να εισαχθούν στο πρόγραμμα όλα τα δεδομένα και να γίνει η αφαίρεση της τάσης πριν την δημιουργία του βαριογράμματος. Λόγω όμως της ελλιπούς χρονοσειράς (δεν υπήρχε τουλάχιστον μια μέτρηση σε κάθε μήνα), η τάση δεν ήταν δυνατό να αφαιρεθεί χρησιμοποιώντας αυτό το πακέτο επεξεργασίας δεδομένων. Έτσι, τα δεδομένα χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: την πρώτη, που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του **Πίνακα 8.1-1** και τη δεύτερη, που περιλαμβάνει μόνο τα δεδομένα των γεωτρήσεων οι οποίες ικανοποιούν τον περιορισμό που θέτει η συνεχόμενη χρονοσειρά και φαίνονται στον **Πίνακα 8.4 -1** παρακάτω.

Πίνακας 8.4-1: Γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων με την αφαίρεση της τάσης.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
4	319001.23	4471386.47	19/4/1994 - 7/10/1998	10
14	317422.69	4471700.88	19/4/1994 - 7/10/1998	13
18	317507.79	4471817.33	19/4/1994 - 7/10/1998	10
24	317023.26	4472152.90	19/4/1994 - 7/10/1998	13
44	314894.08	4471629.39	19/4/1994 - 7/10/1998	14
55	321390.72	4472924.70	19/4/1994 - 7/10/1998	9
107	321626.33	4474227.81	19/4/1994 - 7/10/1998	10
110	315577.62	4475822.32	19/4/1994 - 7/10/1998	16
112	315550.31	4475426.76	19/4/1994 - 7/10/1998	16
112A	315564.63	4475424.36	19/4/1994 - 7/10/1998	11

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
129	316415.90	4474704.04	19/4/1994 - 7/10/1998	11
130	316225.26	4474269.08	19/4/1994 - 7/10/1998	12
131	316689.21	4474788.81	19/4/1994 - 7/10/1998	13
132	316721.57	4474450.67	19/4/1994 - 7/10/1998	11
144	318008.34	4476825.19	19/4/1994 - 7/10/1998	18
155	317921.09	4475100.37	19/4/1994 - 7/10/1998	14
183	313385.03	4473472.84	19/4/1994 - 7/10/1998	9
190	313581.27	4472837.75	19/4/1994 - 7/10/1998	10
193	313894.46	4472242.34	19/4/1994 - 7/10/1998	10
196 ή Υ/Δ1	313998.94	4472983.03	19/4/1994 - 7/10/1998	17
198	314531.30	4472380.82	19/4/1994 - 7/10/1998	10
200	314365.76	4471962.81	19/4/1994 - 7/10/1998	12
201	314399.78	4471781.87	19/4/1994 - 7/10/1998	14
219	321771.67	4472484.28	19/4/1994 - 7/10/1998	14
223	320732.99	4472870.32	19/4/1994 - 7/10/1998	10
232	324183.48	4471655.36	19/4/1994 - 7/10/1998	19
233	322811.00	4470114.73	19/4/1994 - 7/10/1998	18
249	316105.43	4469260.04	19/4/1994 - 7/10/1998	17
251	316165.85	4470046.57	19/4/1994 - 7/10/1998	14
262	317122.71	4470960.14	19/4/1994 - 7/10/1998	11
263	316850.23	4470777.64	19/4/1994 - 7/10/1998	14
264	316625.29	4470669.93	19/4/1994 - 7/10/1998	17
265	316797.59	4470430.45	19/4/1994 - 7/10/1998	14
266	316799.37	4470106.47	19/4/1994 - 7/10/1998	17
267	317426.79	4470922.93	19/4/1994 - 7/10/1998	15
279	318764.97	4470479.65	19/4/1994 - 7/10/1998	14
281	318699.38	4470614.23	19/4/1994 - 7/10/1998	16
285	318062.70	4471374.52	19/4/1994 - 7/10/1998	15

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
286	318272.37	4471229.11	19/4/1994 - 7/10/1998	11
289	322603.00	4473938.63	19/4/1994 - 7/10/1998	16
300	319461.31	4471193.47	19/4/1994 - 7/10/1998	18
306	319872.57	4474134.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
307	317403.75	4475069.79	19/4/1994 - 7/10/1998	13
312	323396.25	4472390.07	19/4/1994 - 7/10/1998	19
316	320524.03	4470535.83	19/4/1994 - 7/10/1998	14
318	318531.10	4474839.56	19/4/1994 - 7/10/1998	9
319	317157.99	4472276.87	19/4/1994 - 7/10/1998	12
323	318557.63	4478011.44	19/4/1994 - 7/10/1998	11
327	319393.58	4471715.53	19/4/1994 - 7/10/1998	9
A9	321437.94	4473618.98	19/4/1994 - 7/10/1998	9
A11 ή ΠΝΠ-9	314237.44	4473684.79	19/4/1994 - 7/10/1998	10
P7B	316282.24	4475150.90	19/4/1994 - 7/10/1998	17
P7Γ	316291.89	4475150.68	19/4/1994 - 7/10/1998	20
P3	316718.76	4477090.57	19/4/1994 - 7/10/1998	13
Γ2 ή 50	323104.11	4473249.19	19/4/1994 - 7/10/1998	14
Γ4 ή 58	320594.90	4473198.26	19/4/1994 - 7/10/1998	13
Γ6 ή 92	319978.42	4475052.94	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Γ7 ή 94	319035.58	4474600.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Γ8	317410.98	4474062.49	19/4/1994 - 7/10/1998	18
Γ9 ή 82	319216.32	4472283.23	19/4/1994 - 7/10/1998	17
Υ/Π1	313969.40	4472981.23	19/4/1994 - 7/10/1998	12
Υ/Δ2	315019.88	4473867.82	19/4/1994 - 7/10/1998	14
Υ/Π2	315019.26	4473867.99	19/4/1994 - 7/10/1998	18
Υ/Δ3	315766.76	4471950.87	19/4/1994 - 7/10/1998	19
Υ/Π4	315885.15	4472955.93	19/4/1994 - 7/10/1998	16
Υ/Π5	317055.14	4471235.66	19/4/1994 - 7/10/1998	20

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
Υ/Π9	315794.42	4471939.60	19/4/1994 - 7/10/1998	10
T7	323008.68	4470570.60	19/4/1994 - 7/10/1998	20
ΥΚΖ6	314334.22	4473241.78	19/4/1994 - 7/10/1998	13
1	318747.76	4471826.72	9/5/1996 - 16/1/1998	9
87	319773.09	4471906.84	9/5/1996 - 16/1/1998	9
88	319691.20	4471608.65	9/5/1996 - 16/1/1998	13
242	320410.19	4471121.97	9/5/1996 - 16/1/1998	9
244	319193.83	4470859.89	9/5/1996 - 16/1/1998	12
301	319093.65	4471722.43	9/5/1996 - 16/1/1998	14
Γ9 ΟΡΥΓΜΑ	319200.12	4472275.63	9/5/1996 - 16/1/1998	9
ΥΝΠ-64	314534.20	4474830.62	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-67	313076.39	4475812.14	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΥΝΠ-72	313738.12	4474873.98	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-78	314226.01	4474860.71	27/9/1994 - 29/12/1998	12
ΥΝΠ-79	313065.89	4475154.53	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΥΝΠ-84	313981.61	4474954.17	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΝΠ-88	314478.28	4474613.36	27/9/1994 - 29/12/1998	15
ΥΝΠ-89	313184.04	4475314.23	27/9/1994 - 29/12/1998	11
ΥΝΠ-93	314886.93	4475135.80	27/9/1994 - 29/12/1998	11
ΥΝΠ-94	315087.42	4475347.55	27/9/1994 - 29/12/1998	16
ΥΝΠ-105	313309.25	4474808.35	27/9/1994 - 29/12/1998	9
Υ-ΑΝΠ-2	315671.70	4476112.74	27/9/1994 - 29/12/1998	9
Υ-ΑΝΠ-3	315786.95	4476233.33	27/9/1994 - 29/12/1998	14
Υ-ΑΝΠ-4	315875.88	4476241.74	27/9/1994 - 29/12/1998	11
ΠΝΠ 1/96	315884.67	4475830.23	27/9/1994 - 29/12/1998	14
ΠΝΠ 2/96	315574.49	4475201.93	27/9/1994 - 29/12/1998	10
ΠΝΠ 87	313405.18	4475593.63	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΙ 112Ε	315564.99	4475423.25	27/9/1994 - 29/12/1998	9

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	EGSA-X	EGSA-Y	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΥΙ 501	316268.61	4474023.74	27/9/1994 - 29/12/1998	9
ΥΙ 504	313252.57	4474000.51	27/9/1994 - 29/12/1998	10

Τα δεδομένα του **Πίνακα 8.4 -1** καλύπτουν ένα διάστημα δεκαέξι μηνών, το οποίο αξιολογείται ως περιορισμένο για να εξαχθούν τεκμηριωμένα συμπεράσματα όσον αφορά τη δυνατότητα πρόβλεψης στάθμης του εξεταζόμενου υπόγειου υδροφορέα για τα επόμενα έτη. Όλα τα δεδομένα συνολικά του **Πίνακα 8.1-1** καλύπτουν ένα διάστημα τριανταδύο μηνών, το οποίο αν και πάλι εκτιμάται ως περιορισμένο για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, δίνει μια καλύτερη εικόνα της περιοχής και λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των γεωτρήσεων.

Κατά συνέπεια, στην συνέχεια της εργασίας, επελέγη να αξιοποιηθούν το σύνολο των μετρήσεων στάθμης για όλες τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, χωρίς όμως να αφαιρεθεί με το πρόγραμμα η τάση από τα δεδομένα.

Τα δεδομένα καταχωρήθηκαν σε πίνακα ο οποίος έχει στην πρώτη στήλη τη συντεταγμένη X, στη δεύτερη τη συντεταγμένη Y, στην τρίτη την χρονική στιγμή της μέτρησης και στην τέταρτη την τιμή της μέτρησης/στάθμης σε m από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, έγινε η εισαγωγή του πίνακα αυτού στο πρόγραμμα Seks-Gui για την επεξεργασία των δεδομένων. Τα όρια της επεξεργασίας καθορίστηκαν από τα χωρικά όρια των γεωτρήσεων και τη χρονοσειρά των μετρήσεων.

Το πρόγραμμα Seks-Gui στη συνέχεια έλεγξε τα στοιχεία για τυχόν επαναλήψεις (duplicate check), δηλαδή ελέγχθηκε εάν υπήρχαν δύο μετρήσεις στον ίδιο μήνα κράτησε το μέσο όρο, διαδικασία που δίνεται στην **Εικόνα 8.2-1**.

		Hard Data	Soft Data	Total
Before Duplicates Check:	Number of points:	1783	No Soft Data	1783
	Duplicates found:	69	No Soft	69
After Duplicates Check:	Number of points:	1714	No Soft Data	1714

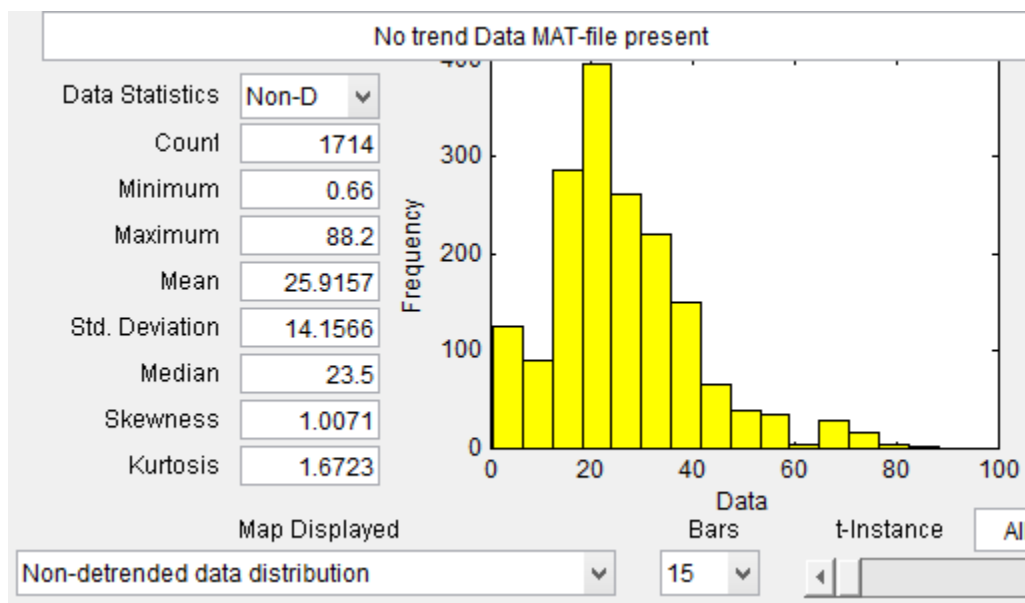
w/ HD Initial number of Soft Data (Display-

Εικόνα 8.4-1: Έλεγχος των στοιχείων για τυχόν επαναλήψεις, Duplicate check.

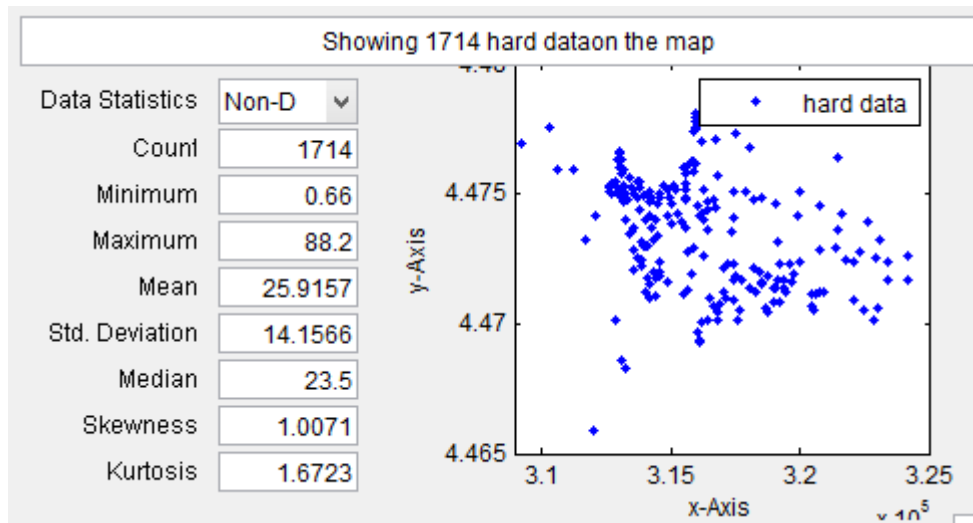
Εν προκειμένω όπως φαίνεται στην **Εικόνα 8.4 -1** το πρόγραμμα εντόπισε 69 μετρήσεις που θεώρησε διπλές.

8.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του προγράμματος Seks-Gui έγιναν βασικοί στατιστικοί υπολογισμοί και σχεδιάστηκαν βασικά γραφήματα όπως αυτό της συχνότητας εμφάνισης των μετρήσεων που φαίνεται στην **Εικόνα 8.5 -1** και αυτό της θέσης των δεδομένων στο χώρο που φαίνεται στην **Εικόνα 8.5 -2**.

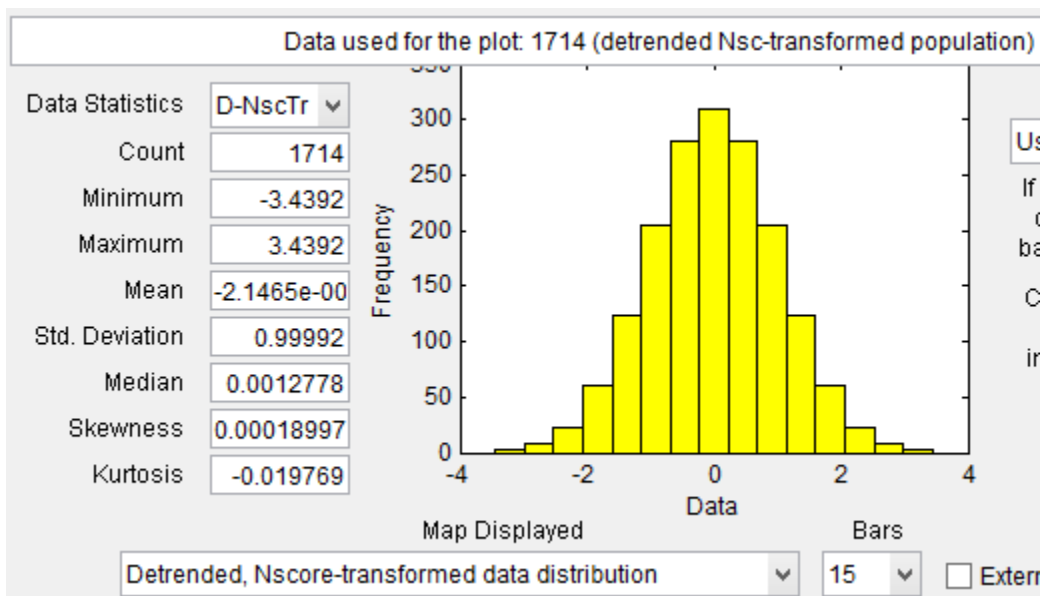


Εικόνα 8.5-1: Γράφημα συχνότητας εμφάνισης δεδομένων



Εικόνα 8.5-2: Θέση των δεδομένων στο χώρο

Στη συνέχεια έγινε ο μετασχηματισμός N-scores με τον οποίο τα δεδομένα μετασχηματίζονται έτσι ώστε να ακολουθούν μια Γκαουσιανή κατανομή με μέσο όρο 0 και διακύμανση 1 και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση στο πεδίο N-score όπως φαίνεται στην **Εικόνα 8.5-3**.



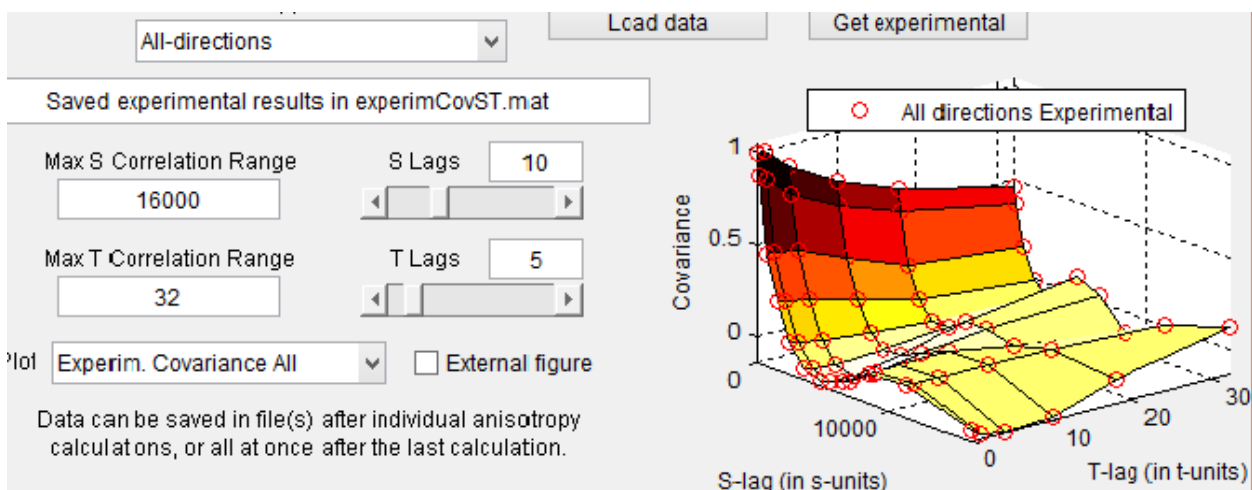
Εικόνα 8.5-3: Μετασχηματισμός N-scores

Στη συνέχεια έγινε η εκτίμηση της συνδιασποράς. Με τη συνδιασπορά αναλύεται η συσχέτιση των τιμών της στάθμης στο χωρόχρονο. Η συνδιασπορά $Cov(X,Y)$ ή $C(X,Y)$ μεταξύ δύο θέσεων δίνεται από τον τύπο $C(X,Y) = E\{(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})\}$.

Μέσω της συνάρτησης συνδιασποράς μπορούν να αναλυθούν τα μοτίβα των συσχετισμών ανάμεσα στα δεδομένα. Η ανάλυση της συνδιασποράς για την εκτίμηση BME καλύπτει το σύνολο των δεδομένων των γεωτρήσεων και λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια.

1. Υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ όλων των πιθανών ζευγών τιμών και γίνεται μια ταξινόμηση ανάλογα με το μέγεθος των διαφορών αυτών. Έπειτα υπολογίζεται η εμπειρική συνδιασπορά για κάθε μια από τις κλάσεις που προήλθαν από την ταξινόμηση.
2. Εφαρμόζεται ένα μοντέλο πάνω στην εμπειρική συνδιασπορά για να αποκτηθεί μια ρητή έκφραση της συνδιασποράς στο χώρο και στο χρόνο.

Ως μέγιστη ακτίνα χωρικής συσχέτισης ορίστηκε η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο δεδομένων στο χώρο, που για τα συγκεκριμένα δεδομένα ορίστηκε στα 16km. Ως ακτίνα χρονικής συσχέτισης ορίστηκε η μέγιστη χρονική απόσταση μεταξύ δύο δεδομένων, 32 μήνες, που συμπίπτει με το μέγεθος της χρονοσειράς και φαίνεται στην **Εικόνα 8.5-4**.



Εικόνα 8.5-4: Παράμετροι της συνδιασποράς

Στην εμπειρική συνδιασπορά εφαρμόστηκαν δύο σφαιρικά μοντέλα με τις παραμέτρους που φαίνονται στις **Εικόνες 8.5 -5 και 8.5 -6**. Ειδικότερα οι χωρικοί παράμετροι ανέρχονται για το

πρώτο και δεύτερο σφαιρικό μοντέλο σε 3.200m, και 3.000m, αντίστοιχα, ενώ οι χρονικοί παράμετροι σε 36 μήνες και 240 μήνες αντίστοιχα.

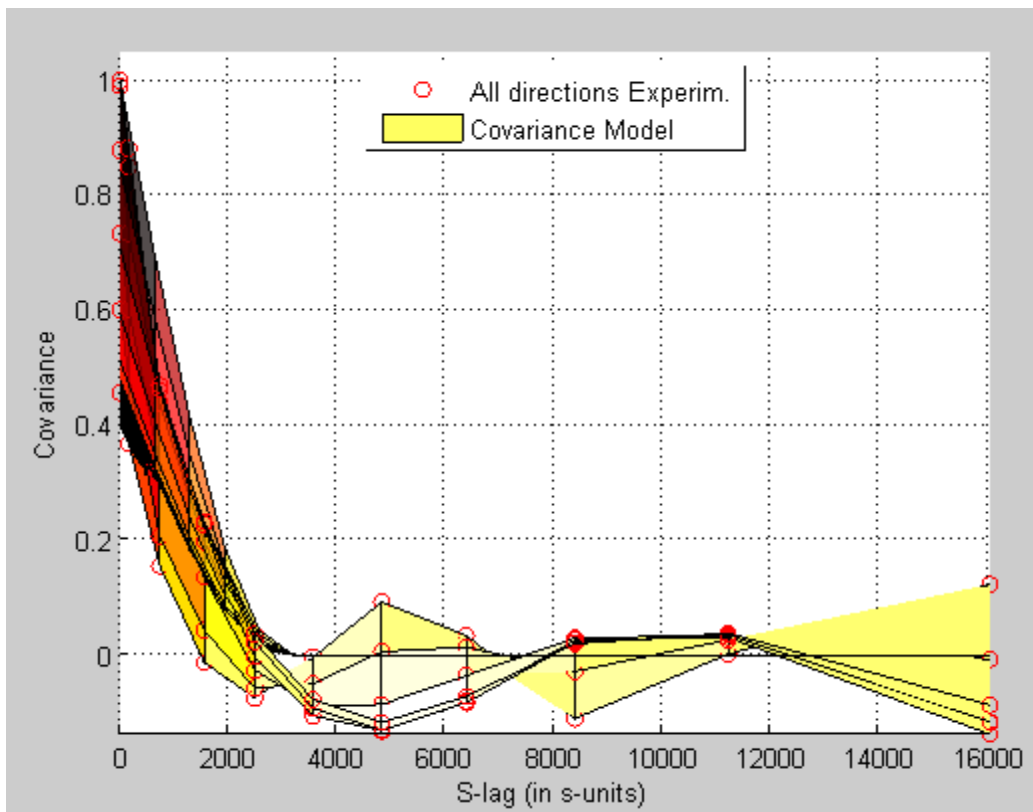
Spatial CovPart	Temporal CovPart	Add Model
spherical	spherical	Add Model
Covariance Parameter		
Sill	0.5	
Spatial	3200	N/A
Temporal	36	N/A

Εικόνα 8.5-5: Παράμετροι του πρώτου σφαιρικού μοντέλου

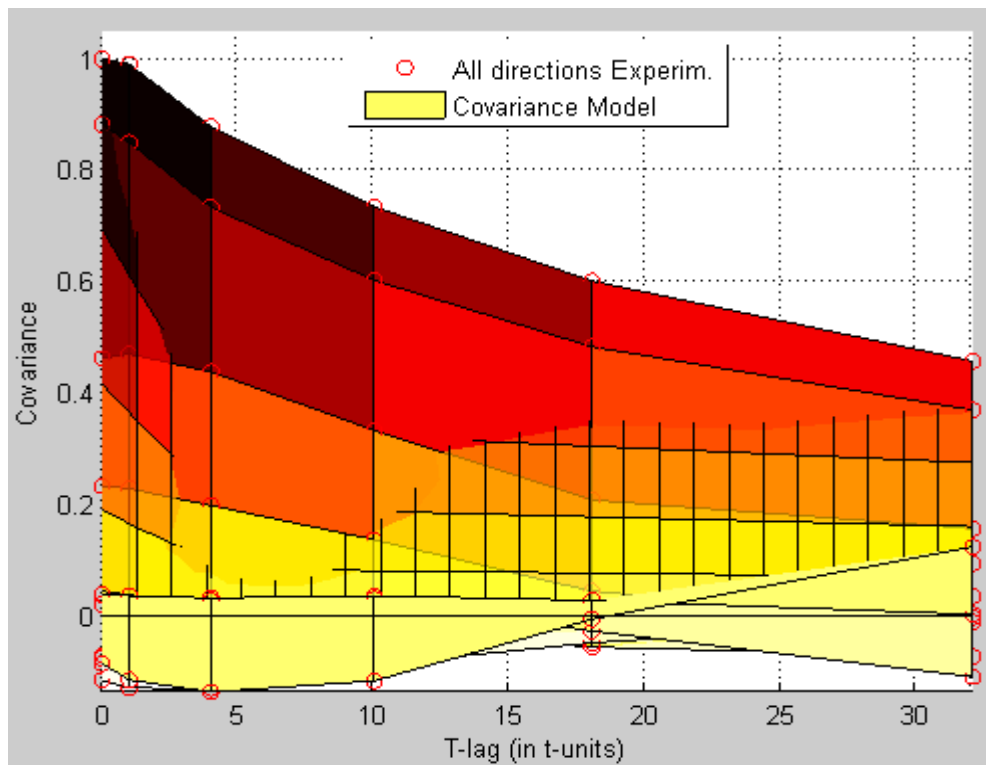
Spatial CovPart	Temporal CovPart	Add Model
spherical	spherical	Add Model
Covariance Parameter		
Sill	0.5	
Spatial	3000	N/A
Temporal	240	N/A

Εικόνα 8.5-6: Παράμετροι του δεύτερου σφαιρικού μοντέλου.

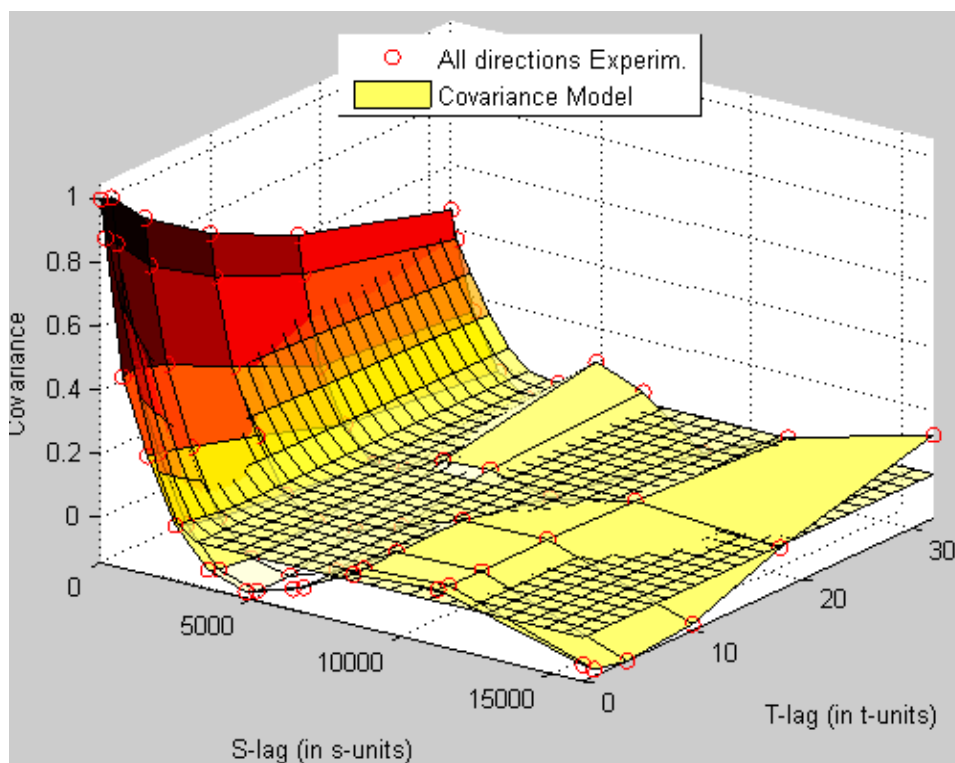
Η τελική μορφή του βαριογράμματος με τα προσαρμοσμένα σφαιρικά μοντέλα φαίνεται στις **Εικόνες 8.5 -7, 8.5 -8 και 8.5 -9**. Η υψηλή συσχέτιση υποδηλώνεται με σκούρο χρώμα, ενώ η ασθενέστερη με ολιγότερα έντονα χρώματα.



Εικόνα 8.5-7: Χωρική συσχέτιση και συνδιασπορά, s-units σε m.



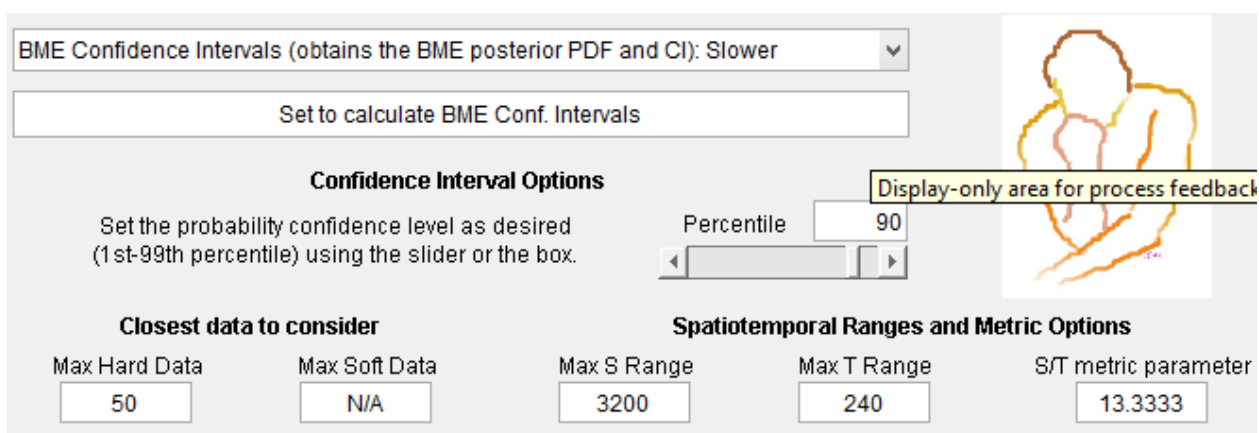
Εικόνα 8.5-8: Χρονική συσχέτιση και συνδιασπορά, t-units σε μήνες.



Εικόνα 8.5-9: Τρισδιάστατη απεικόνιση του βαριογράμματος, s-units, σε m, t-units, μήνες

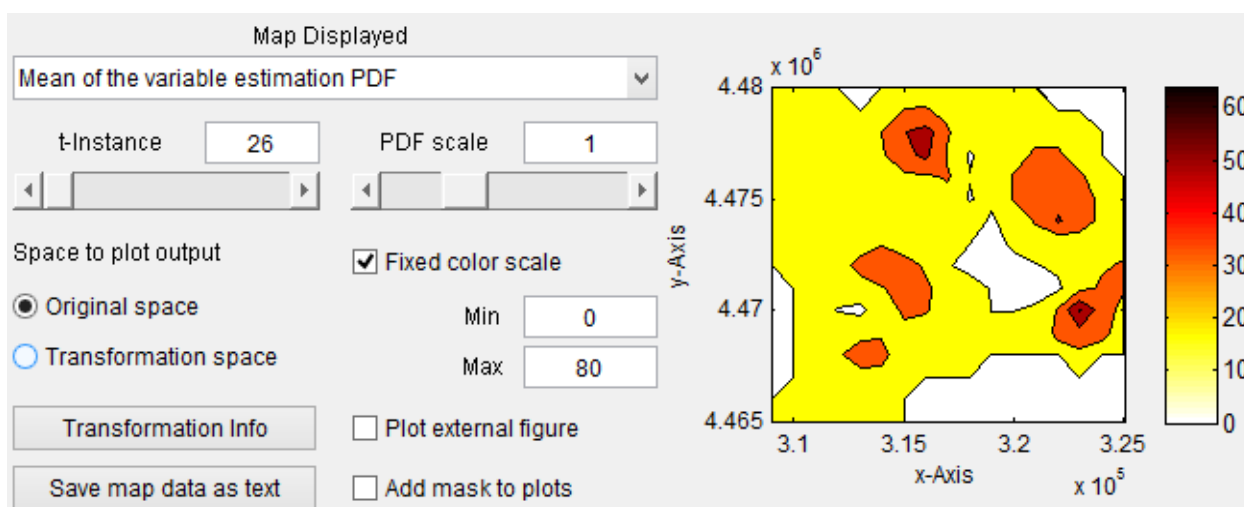
Παρατηρούμε ότι η μορφή της συνδιασποράς τείνει στο σφαιρικό μοντέλο (μαύρες γραμμές). Από το μοντέλο συμπεραίνουμε ότι μπορούμε να συσχετίσουμε **στάθμες δειγμάτων** που βρίσκονται σε απόσταση ίση με το ήμισυ της ακτίνας επιρροής, δηλ. εντός 1000 μέτρων περίπου, καθώς και σε διάστημα 10 ετών. Συνεπώς, από το μοντέλο της συνδιασποράς αντιλαμβανόμαστε ότι με τα διαθέσιμα δεδομένα μπορούμε να κάνουμε σχετικά ασφαλείς προβλέψεις για θέσεις μετρήσεων στάθμης του υπόγειου υδροφορέα που απεχουν περίπου 1km από τα εξωτερικά όρια του κανάβου των γεωτρήσεων, και σε βάθος χρόνου 10 ετών .

Τέλος, διενεργήθηκε μέσω του Seks-Gui η εκτίμηση BME με διάστημα εμπιστοσύνης 90% με τις παραμέτρους που φαίνονται στην **Εικόνα 8.5-10**.

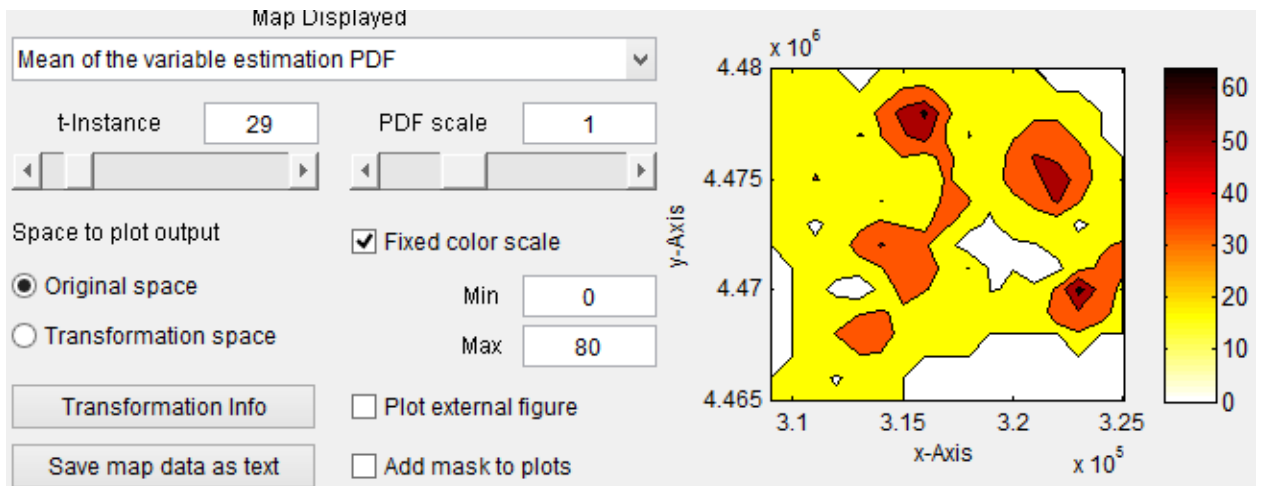


Εικόνα 8.5-10: Παράμετροι εκτίμησης BME

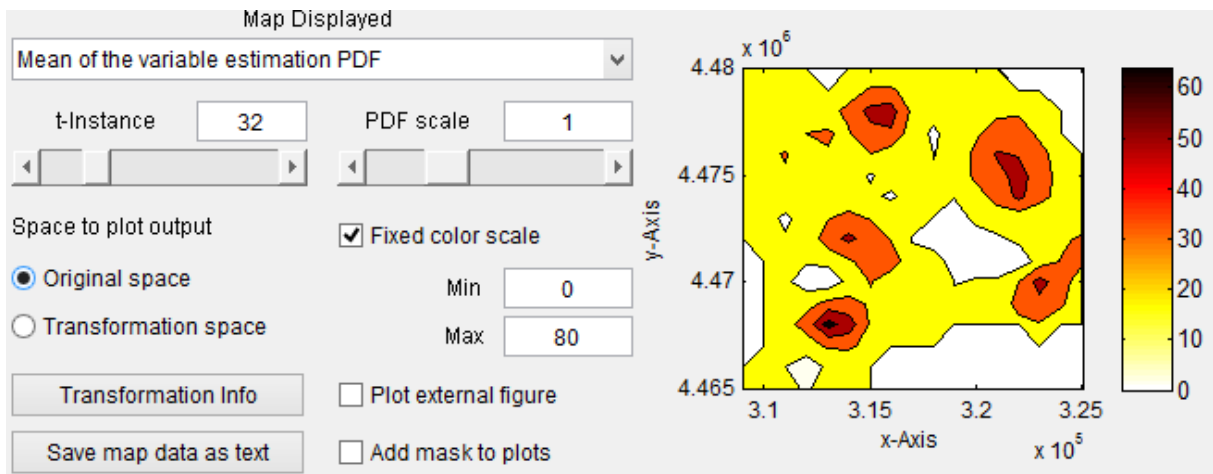
Μετά το πέρας της ανάλυσης εξήχθησαν οι παρακάτω χάρτες που δείχνουν τις εκτιμήσεις για τη στάθμη του υδροφορέα και φαίνονται στις **Εικόνες 8.5-11 έως 8.5-21** σε τριμηνιαία βάση. Η χρωματική κλίμακα δείχνει το βάθος στο οποίο συναντάται ο υπόγειος υδροφόρας (όσο πιο σκούρο είναι το χρώμα, τόσο μεγαλύτερο το βάθος που συναντάται ο υδροφόρας).



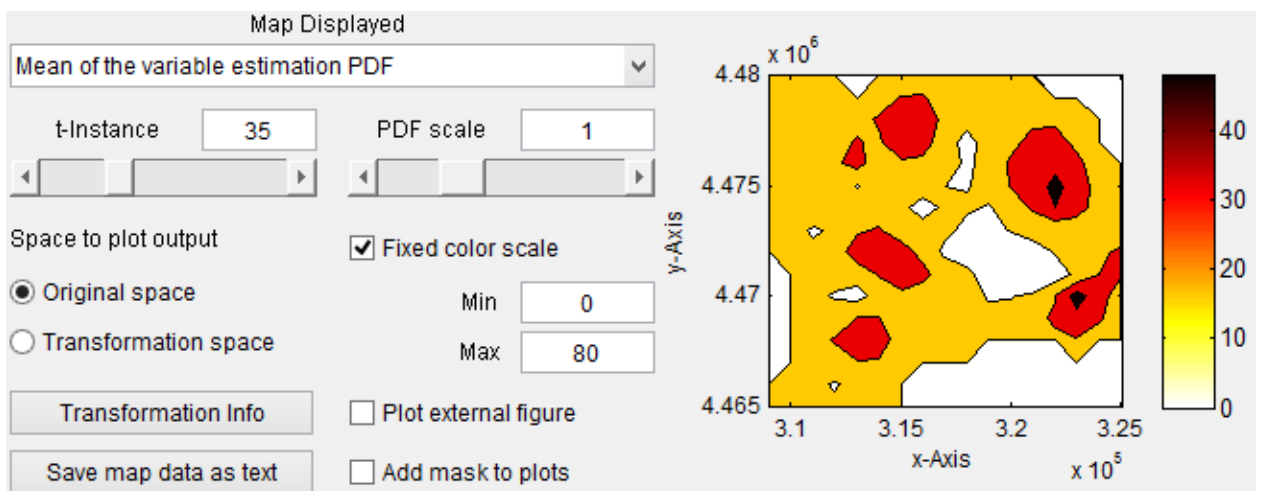
Εικόνα 8.5-11: Μάιος 1996



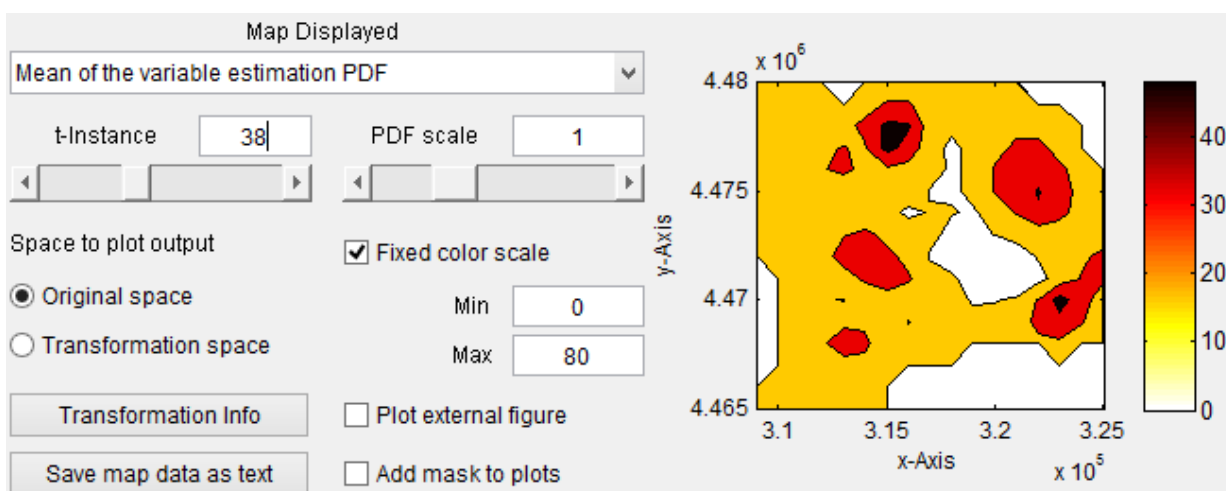
Εικόνα 8.5-12: Αύγουστος 1996



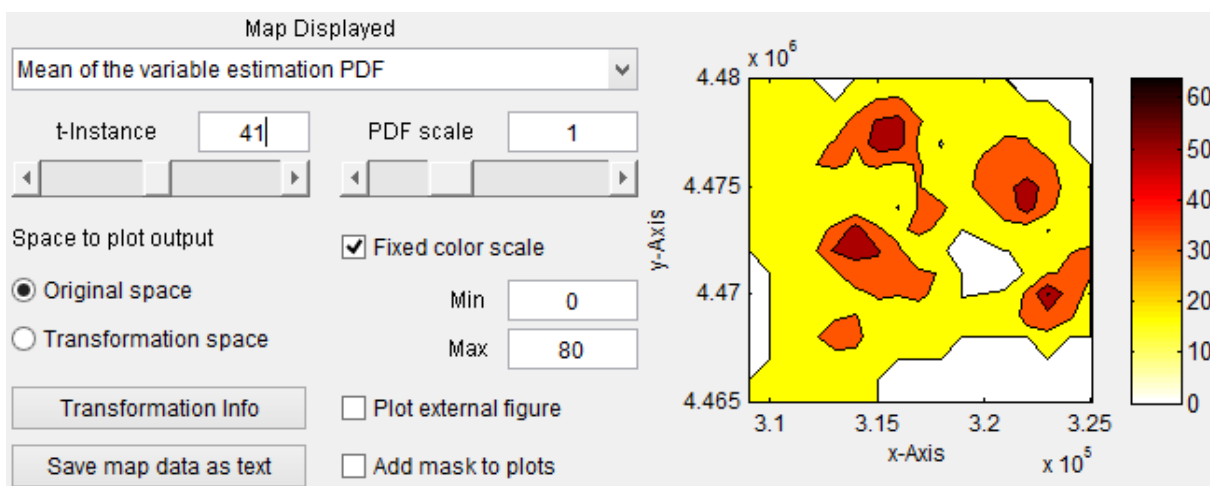
Εικόνα 8.5-13: Νοέμβριος 1996



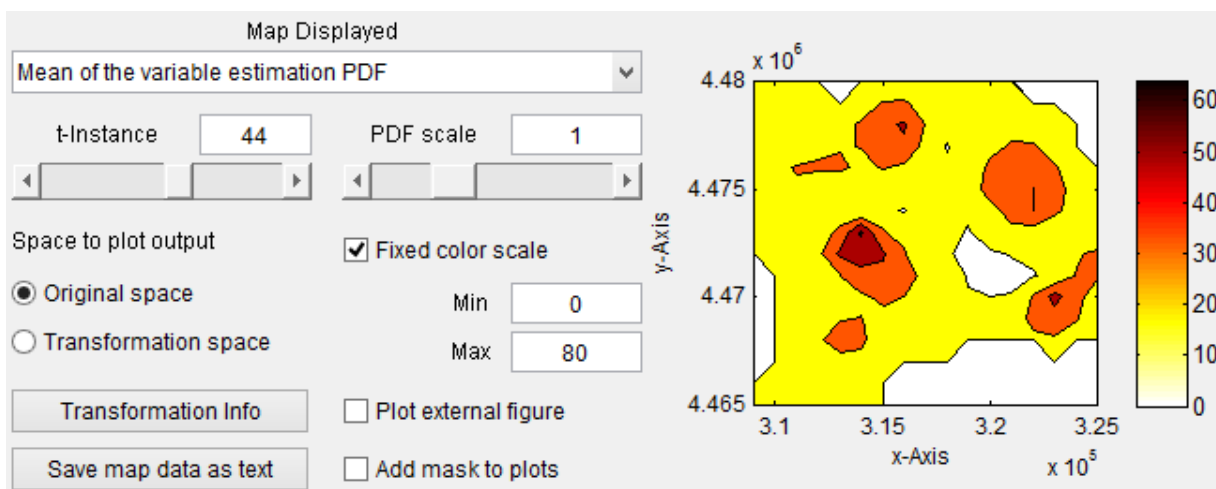
Εικόνα 8.5-14: Φεβρουάριος 1997



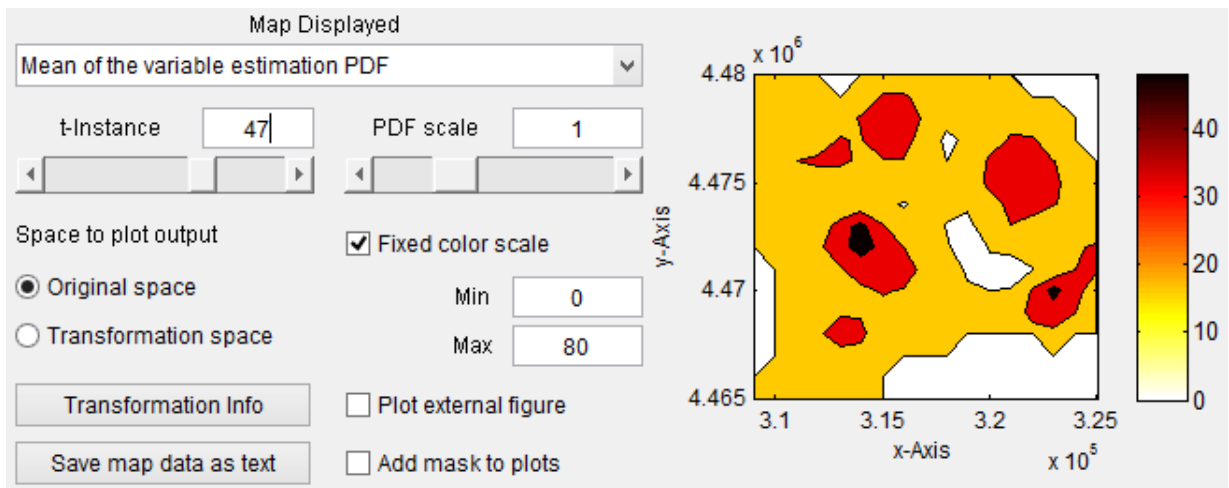
Εικόνα 8.5-15: Μάιος 1997



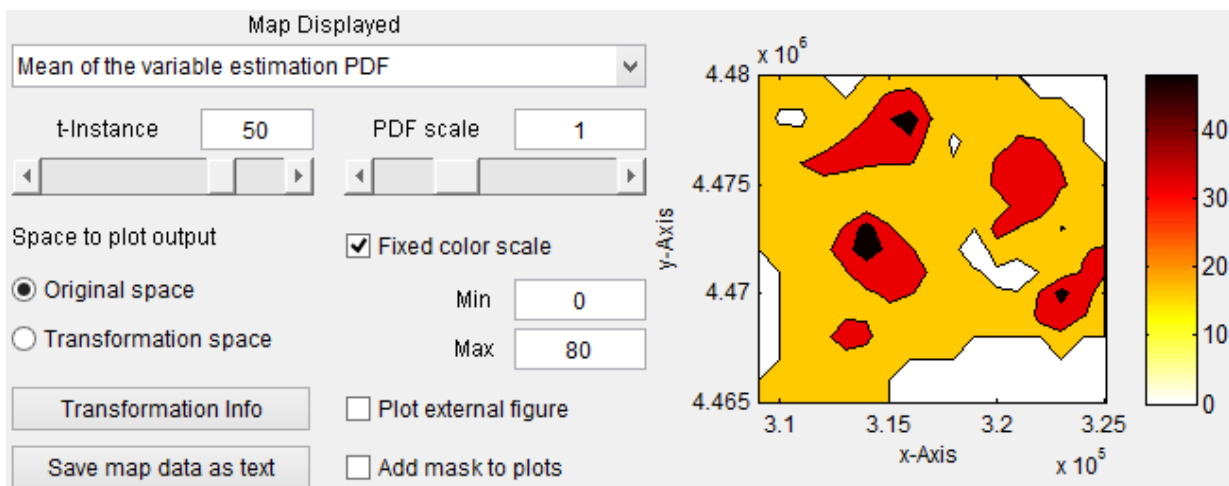
Εικόνα 8.5-16: Αύγουστος 1997



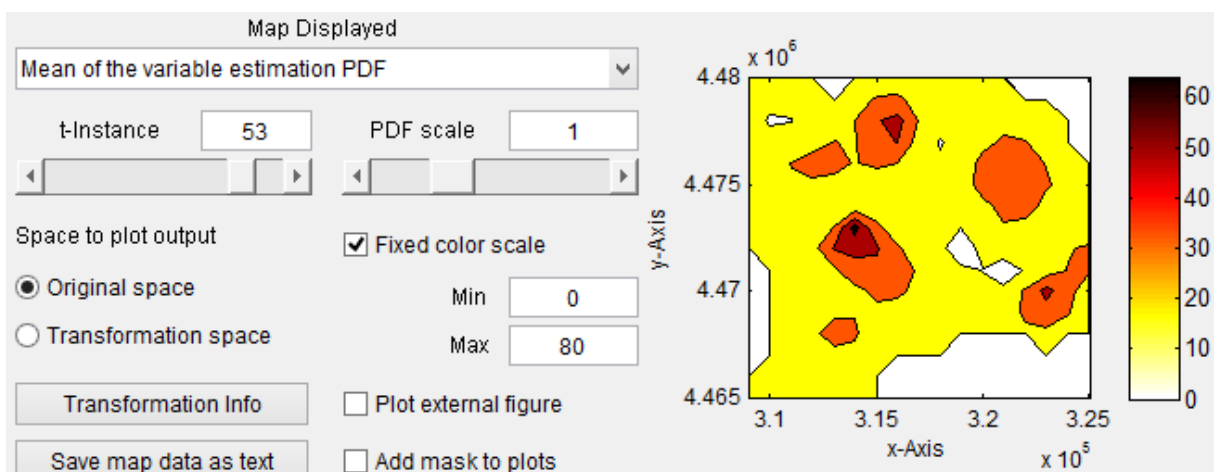
Εικόνα 8.5-17: Νοέμβριος 1997



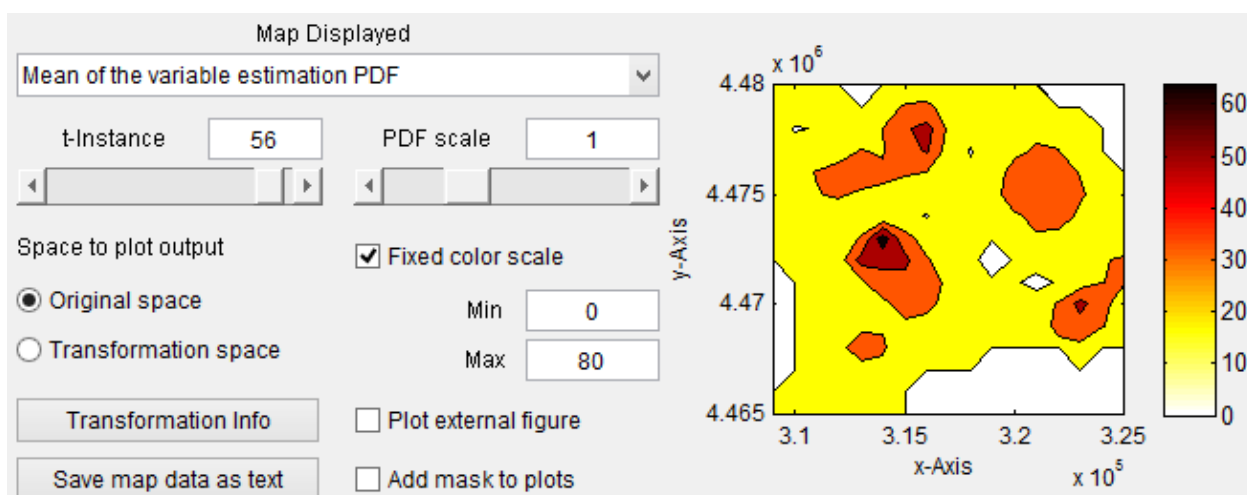
Εικόνα 8.5-18: Φεβρουάριος 1998



Εικόνα 8.5-19: Μάιος 1998



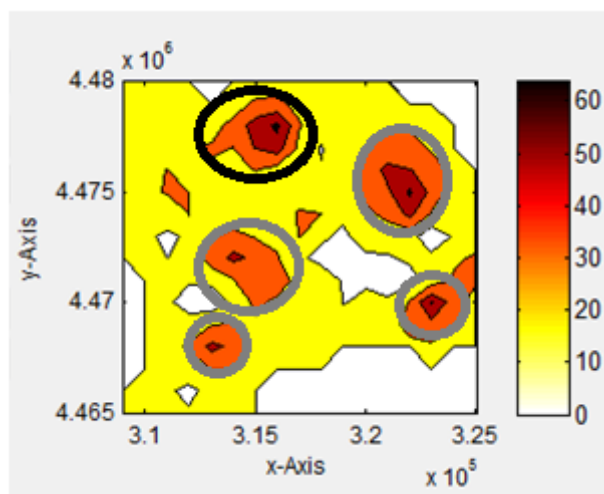
Εικόνα 8.5-20: Αύγουστος 1998



Εικόνα 8.5-21: Νοέμβριος 1998

Από τα αποτελέσματα προσομοίωσης συνάγονται τα παρακάτω κύρια συμπεράσματα:

- Αρχικά, με βάση τις **Εικόνες 8.5-11 έως 8.5-21** αποτυπώνεται μια εποχική αυξομειώση της στάθμης του υδροφορέα, η οποία εκτιμάται ότι εξαρτάται τόσο από το ύψος βροχοπτώσεων αλλά και τις διενεργούμενες αντλήσεις για τη ασφαλή λειτουργία των Ορυχείων και την κάλυψη των αναγκών άρδευσης των γειτονικών καλλιεργούμενων εκτάσεων.
- Επίσης, μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι υπάρχουν τέσσερις με πέντε περιοχές, ανάλογα και με τις εποχικές αυξομειώσεις της στάθμης του υδροφορέα (πιο έντονο και σκούρο χρώμα), όπου ο υδροφορέας είναι περισσότερο ταπεινωμένος και μόνο αυτή που σημειώνεται με σκούρο κύκλο στην **Εικόνα 8.5-22** αντιπροσωπεύει το εξεταζόμενο λιγνιτωρυχείο, όπως φαίνεται στον **Χάρτη 8.2-1**. Συνεπώς, θα πρέπει να ελεγχθούν οι χρήσεις υδάτινων πόρων που συσχετίζονται με τις χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής, ενδεικτικά μη ορθολογική άρδευση σε καλλιεργούμενες περιοχές, των υπόλοιπων περιοχών όπου καταγράφεται σημαντική ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα και να επιτευχθεί, αν είναι δυνατόν, καλύτερη διαχείρισή του.



Εικόνα 8.5-22: Σημεία Υπερβολικής Ταπείνωσης Υδροφορέα

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία για την Βελτιστοποίηση ενός συστήματος Παρακολούθησης των ποσοτικών χαρακτηριστικών υπογείων υδάτων αξιοποιήθηκαν τα ιστορικά δεδομένα του Ερευνητικού έργου ΕΛΙΜΕΙΑ «Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Περιοχές Εκμεταλλεύσεων-Πιλοτική Εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας», 1999. Στο Νότιο Λιγνιτοφόρο Πεδίο Πτολεμαΐδας εκτελούνται συστηματικά από τον Φορέα Εκμετάλλευσης αντλήσεις του υπόγειου υδροφορέα για την ασφαλή υλοποίηση της επιφανειακής εξόρυξης των λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Οι μετρήσεις στάθμης που αξιοποιήθηκαν αφορούν 229 θέσεις γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Ορυχείου και 1803 συνολικά μετρήσεις στάθμης που ελήφθησαν σε ένα χρονικό διάστημα 32 μηνών.

Για την εξέταση των μετρήσεων του συστήματος παρακολούθησης έγιναν οι παραδοχές ότι διαθέσιμα είναι μόνο αυτά τα δεδομένα χωρίς προηγούμενα στοιχεία και ότι σε όλες τις γεωτρήσεις οι μετρήσεις γίνονται με την ίδια μέθοδο. Επίσης, επειδή στο μεγαλύτερο πλήθος των γεωτρήσεων η επιφάνεια του εδάφους είναι σε υψόμετρο 650-660m, έγινε η παραδοχή ότι οι στάθμες είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους χωρίς την αφαίρεση του υψομέτρου της επιφάνειας.

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την Διπλωματική Εργασία είναι τα εξής:

- Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός προγράμματος παρακολούθησης με στόχο την αποτίμηση των δυνητικών επιπτώσεων της εξόρυξης στα ποσοτικά χαρακτηριστικά ενός υπόγειου υδροφορέα συνιστά μία δυναμική διαδικασία, για την βελτιστοποίηση της οποίας μπορούν να αξιοποιηθούν εργαλεία γεωπληροφορικής, με έμφαση στην γεωστατιστική.

- Με βάση την αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων σχετικά με τη μέση απόσταση γειτνίασης γεωτρήσεων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πυκνότητα των γεωτρήσεων είναι αυξημένη σε συγκεκριμένα σημεία γεγονός που δυνητικά επηρεάζει αρνητικά το κόστος για τη κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία του δικτύου παρακολούθησης χωρίς να συμβάλει αναλογικά στην ακρίβεια των προβλέψεων λόγω περιττών γεωτρήσεων.
- Με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις στάθμης και τα αποτελέσματα προσομοίωσης, διαπιστώνεται η εποχική αυξομείωση της στάθμης του υδροφορέα, η οποία συνδέεται με το ύψος της βροχόπτωσης, με τις διενεργούμενες αντλήσεις στα εξεταζόμενα Ορυχεία και τις γειτονικές αρδευόμενες περιοχές.
- Με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις στάθμης και τα αποτελέσματα προσομοίωσης παρατηρείται ότι υπάρχουν τέσσερις με πέντε περιοχές στην ευρύτερη εξεταζόμενη περιοχή, ανάλογα και με τις εποχικές αυξομειώσεις της στάθμης του υδροφορέα (πιο έντονο και σκούρο χρώμα), όπου ο υδροφορέας είναι περισσότερο ταπεινωμένος. Στις περιοχές αυτές περιλαμβάνονται και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις εκτός της ζώνης επιρροής του εξεταζόμενου Ορυχείου. Συνεπώς, στο πλαίσιο της αξιολόγησης των επιπτώσεων των δραστηριοτήτων της περιοχής στα ποσοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφορέα, προτείνεται να ελεγχθούν οι χρήσεις υδάτινων πόρων που συσχετίζονται με τις χρήσεις γης, ενδεικτικά μη ορθολογική άρδευση, στις υπόλοιπες περιοχές όπου καταγράφεται σημαντική ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα και να επιτευχθεί, αν είναι δυνατόν, καλύτερη διαχείρισή του.
- Με βάση το μοντέλο της συνδιασποράς μπορούμε να συσχετίσουμε **στάθμες δειγμάτων** που βρίσκονται σε απόσταση ίση με το ήμισυ της ακτίνας επιρροής, δηλ. εντός 1000 μέτρων περίπου, καθώς και σε διάστημα 10 ετών. Συνεπώς, από το μοντέλο της συνδιασποράς αντιλαμβανόμαστε ότι με τα διαθέσιμα δεδομένα μπορούμε να κάνουμε σχετικά ασφαλείς προβλέψεις για θέσεις μετρήσεων στάθμης του υπόγειου υδροφορέα που απέχουν περίπου 1km από τα εξωτερικά όρια του κανάβου των γεωτρήσεων, και σε βάθος χρόνου 10 ετών .
- Αξιοποιώντας τα συμπεράσματα από τη μελέτη των διαθέσιμων δεδομένων στάθμης μπορεί να προταθεί η αραιώση του εξετασθέντος κανάβου έτσι ώστε οι γεωτρήσεις να έχουν απόσταση μεταξύ τους 1000m. Παράλληλα προτείνεται η

αύξηση της συχνότητας των μετρήσεων στις γεωτρήσεις που υπάρχουν κάτω από 10 μετρήσεις την τριετία αυτή της οποίας τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν. Με την εφαρμογή των παραπάνω προτάσεων, είναι εφικτή η μείωση του κόστους συντήρησης και λειτουργίας του δικτύου παρακολούθησης, χωρίς σημαντικές απώλειες από άποψη ακρίβειας των προβλέψεων στάθμης του εξεταζόμενου υδροφόρου ορίζοντα.

- Επίσης, αναλύοντας τα δεδομένα μετρήσεων στάθμης σε αντιπαραβολή με τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής και με τα στοιχεία των αντλήσεων από τα λιγνιτωρυχεία και την άρδευση των γειτονικών καλλιεργούμενων εκτάσεων, είναι εφικτή η παρακολούθηση μακροχρόνιων τάσεων στην αυξομείωση της στάθμης του υδροφορέα και σε σχέση με το γενικό καθεστώς της περιοχής και άρα μπορεί να εφαρμοσθεί καλύτερη διαχείριση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων. Σε αυτό το πνεύμα τα δεδομένα από αυτό το πρόγραμμα παρακολούθησης προτείνεται να μελετώνται σε αντιπαραβολή και με τα δεδομένα προγραμμάτων παρακολούθησης σε γειτονικές περιοχές, των οποίων οι υδροφορείς μπορεί να επηρεάζουν ή να επηρεάζονται από τον υπό μελέτη υδροφορέα.
- Για την εφαρμογή άμεσων διορθωτικών μέτρων σε οποιαδήποτε μη αναμενόμενη μεταβολή της στάθμης του υδροφορέα, τα αρχεία με τις μετρήσεις των γεωτρήσεων προτείνεται να επικαιροποιούνται μετά το πέρας της διαδικασίας της σταθμημέτρησης. Παράλληλα σε συνεργασία με τα γειτονικά δίκτυα παρακολούθησης υδάτων μπορούν να επιλύονται γρήγορα και αποτελεσματικά ευρύτερα προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων σε όλο το ΥΔ09 (Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας). Με αυτό τον τρόπο το σύστημα παρακολούθησης υπόγειων νερών εκτός από εργαλείο πρόβλεψης, γίνεται και εργαλείο πρόληψης ενάντια στις αρνητικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να έχουν οι απότομες αυξομειώσεις της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα είτε προέρχονται από φυσικούς είτε από ανθρωπογενείς παράγοντες.
- Μια ακόμα βελτιωτική κίνηση, θα ήταν η αναζήτηση σε παλιότερα και πλέον πρόσφατα αρχεία που πιθανά υπάρχουν στην περιοχή, γεωτρήσεων «αναφοράς» οι οποίες παρακολουθούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα και οι οποίες παρέχουν καλύτερη εικόνα της γενικής τάσης της στάθμης του υδροφορέα, ειδικά αν αυτά τα

αρχεία αναφέρονται στις περιόδους πριν την έναρξη της εκμετάλλευσης του λιγνιτωρυχείου.

- Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι για να είναι αποτελεσματικό οποιοδήποτε σχέδιο παρακολούθησης υπόγειων νερών, θα πρέπει να τηρούνται οι απαραίτητες προδιαγραφές για την αρχειοθέτηση των δεδομένων τα οποία πρέπει να ενημερώνονται όσο το δυνατόν γρηγορότερα και να μην περιέχουν λάθη για την αποφυγή εσφαλμένων εκτιμήσεων και προβλέψεων.

10. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Charles J. Taylor & William M. Alley, 2001, Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data, USGS Circular 1217
2. Christakos G.: Random Field Models in Earth Sciences, Academic Press, San Diego, CA, 474 p., 1992; new edition, Dover Publ. Inc., Mineola, NY, 2005
3. George F. Pinder & Michael A. Celia, 2006, Subsurface Hydrology, chapters 1&3
4. Modis, K, Papaodysseus, K: Theoretical Estimation of the Critical Sampling Size for Homogeneous Ore Bodies with Small Nugget Effect. Mathematical Geology, Vol. 38, No. 8, May 2006
5. San Diego State University, 2013, Seks-Gui v.1.0.x user's guide
6. WMO, UNEP/GEMS Water, 2012, Planning of Water Quality Monitoring Systems
7. Δ.Ε.Η., Ε.Μ.Π., Κ.Τ.Ε.Σ.Κ., Δ.Ε.Υ.Α. Κοζάνης, INTELEK A.E., Αθήνα 1999, Ερευνητικό Πρόγραμμα συνεργασίας ΕΛΙΜΕΙΑ «Ανάπτυξη Συστήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Μεθόδων Τεχνητού Εμπλουτισμού σε Περιοχές Εκμεταλλεύσεων-Πιλοτική Εφαρμογή στο Νότιο Πεδίο Πτολεμαΐδας»
8. ΔΕΗ, 2010, «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ορυχείων Πτολεμαΐδας Ν.Κοζάνης», ΔΕΗ/Γενική Διεύθυνση Ορυχείων
9. ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Δ., ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι., ΗΛΙΑΔΗΣ Ζ., (1996) : Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων ληνιτικών εκμεταλλεύσεων. Περίπτωση Νοτίου Πεδίου Πτολεμαΐδας. Συνέδριο Τ.Ε.Ε., Λάρισα
10. Ζουρνατζίδου, Α: 2011, «Αλληλεπίδραση μεταλλευτικής δραστηριότητας και υδατικών πόρων. Περιπτώσεις απ' τον ελλαδικό χώρο», Διπλωματική ΔΠΜΣ ΕΜΠ, 2011
11. Λουλούδης, Γ, 1991, «Υδρογεωλογικές Συνθήκες Νοτίου ληνιτοφόρου Πεδού Πτολεμαΐδας. Προβλήματα Υδάτινων Νερών και Αντιμετώπισή τους κατά την εκμετάλλευσή», Γ. Λουλούδης, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ, 1991

12. Μόδης Κ., 2010, Εισαγωγή στη Γεωστατιστική, Διδακτικές Σημειώσεις, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών ΕΜΠ
13. Νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000». (ΦΕΚ Α΄ 280/9.12.2003)
14. ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 23^{ης} οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων
15. Τριανταφύλλου, Α, 2014 «Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης στο Ανενεργό Μεταλλείο Μεικτών Θειούχων Κίρκης», Α. Τριανταφύλλου, Μεταπτυχιακή Διπλωματική, ΔΠΜΣ Γεωπληροφορική, ΕΜΠ
16. ΥΠΕΚΑ, 2014: Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας
17. Υπουργείο Παιδείας Δια Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων, Περιφερειακή Διεύθυνση Εκπαίδευσης Κεντρικής Μακεδονίας, 2009, Αγγελίδης Ζ., Αθανασίου Χ., Υφαντής Γ., 2009, Νερό αειφορική διαχείριση και περιβάλλον

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470741122.app5/pdf>

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-88-413_en.htm

<http://www.ypeka.gr>

http://resources.esri.com/help/9.3/arcgisdesktop/com/gp_toolref/spatial_statistics_tools/average_nearest_neighbor_spatial_statistics.htm

<http://www.usgs.gov/>

11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παράρτημα διατίθεται σε ηλεκτρονική μορφή και περιέχει τα εξής:

1. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΙΜΕΙΑ
2. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
3. ΧΑΡΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
4. ΧΑΡΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΓΙΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 16 ΜΗΝΩΝ
5. ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΗΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
6. ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΙΜΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ
7. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΜΑΗΣ 1996-ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ 1998