

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΥΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
GROUNDWATER VISTAS**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΧΡΙΣΤΟΣ
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΛΑΜΠΡΟΥ ΑΝΔΡΕΑΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη μεθοδολογία υπολογισμού και εκτίμηση επικινδυνότητας ρύπανσης με χρήση λογισμικού GROUNDWATER VISTAS. Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί σημείο αναφοράς για τη διερεύνηση της ποσότητας και της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Συγκεκριμένα, ο στόχος είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων. Η μεθοδολογία θα εφαρμοστεί σε μια πραγματική μελέτη, στην περιοχή της Εμπάρου στην Κρήτη, Ελλάδα.

Σε αυτό το πλαίσιο, το μοντέλο των υπόγειων υδάτων πρέπει να παρέχει σχετικά και χρήσιμα επιστημονικά εργαλεία για την πρόβλεψη των επιπτώσεων και την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης. Σε γενικές γραμμές, το έργο αυτό είναι μια προσέγγιση για την προστασία, τη βελτίωση και την αποκατάσταση των υπόγειων υδάτων. Επίσης στόχος είναι και η πρόληψη της ρύπανσης και αποφυγή της υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Τέλος, διασφαλίζουν την ισορροπία μεταξύ της άντλησης και της ανατροφοδότησης τους.

Μέσα από αυτό το σημείωμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτριά μας, Δρ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ για όλη την βοήθεια που μας προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μας εργασίας.

Δημητρίου Χρίστος
Λάμπρου Ανδρέας
Ιούνιος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρχικά, στο δεύτερο κεφάλαιο, «Βιβλιογραφική ανασκόπηση», αναφέρονται καινούρια νομοσχέδια σχετικά με την εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων στα εδάφη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, καταγράφονται κάποιες ενέργειες που διεξάχθηκαν για την υλοποίηση των νομοθεσιών αυτών και τέλος, αναφέρονται διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης που επέλεξαν διάφοροι μελετητές, αναλόγως της περιοχής, των συνθηκών και των στόχων της κάθε μελέτης ξεχωριστά.

Στο ακόλουθο κεφάλαιο, «Κώδικας της έρευνας», παρουσιάζονται όλα τα βήματα και μια λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε για τη δημιουργία του κώδικα. Ο κώδικας αυτός μπορεί χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση σταθερής κατάστασης ροής των υπογείων υδάτων σε μικρές λεκάνες, όπου είναι η περίπτωση της περιοχής που μελετήθηκε στην εργασία αυτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, «Υδρογεωμορφολογικά Δεδομένα Περιοχής Εμπάρου Κρήτης», δίνεται μια αναλυτική περιγραφή της περιοχής που μελετούμε, καθώς επίσης, αναλύονται και τα υδρολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Επιπλέον, το πρότυπο μοντέλο της περιοχής παρουσιάζεται στο κεφάλαιο πέντε, «Σχεδιασμός Υπολογιστικού Μοντέλου». Με άλλα λόγια, παρουσιάζονται η γεωμετρία του υδροφόρου ορίζοντα και το υδρολογικό ισοζύγιο του και δίνονται λεπτομερώς όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για το σχεδιασμό του μοντέλου με το επιλεγμένο λογισμικό «GroundwaterVistas» για τα υπόγεια ύδατα.

Μετά από αυτό, δίνεται μια επισκόπηση όλων των βημάτων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του μοντέλου. Σε αυτό το κεφάλαιο, «Βαθμονόμηση του μοντέλου και ανάλυση ευαισθησίας», εξηγείται επίσης η ανάλυση ευαισθησίας που έγινε κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης.

Στο επόμενο κεφάλαιο, «Προβλέψεις και Συστάσεις», τρέχει στον εξομοιωτή ένα προβλέψιμο σενάριο για να εντοπίσει τους τομείς στις περιοχές που χρειάζονται προστασία γύρω από τα πηγάδια που χρησιμοποιούνται για ύδρευση. Επιπλέον, γίνονται συστάσεις για την προστασία των περιοχών υψηλού κινδύνου μόλυνσης.

Στο κεφάλαιο οκτώ, «Εφαρμογή και Περιορισμοί», παρουσιάζονται κάποιοι γενικοί περιορισμοί στη μεθοδολογία μοντελοποίησης που ακολουθείται, αναλόγως πάντοτε της συγκεκριμένης περιοχής που μελετάται.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, «Συμπεράσματα», παρουσιάζονται και αναλύονται όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας. Επιπλέον, δίνονται προτάσεις για δυνατότητα μελλοντικής έρευνας από άλλους μελετητές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός και στόχοι	16
1.2. Μεθοδολογία	16

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή	18
2.2 Νομοθεσία	18
2.3 Ενέργειες	19
2.4 Υπολογιστικές προσεγγίσεις	20
2.5 Συμπεράσματα	23

3. ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Εισαγωγή	24
3.2 Σκοπός του κώδικα	25
3.3 Δομή κώδικα	25
3.4 Ανάλυση της μεθοδολογίας	27

4. ΥΔΡΟΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΜΠΑΡΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

4.1 Εισαγωγή	33
4.2 Περιγραφή περιοχής	33

4.2.1	Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής	33
4.2.2	Γεωμορφολογία	34
4.3	Υδρολογικά χαρακτηριστικά	36
4.3.1	Κατακρήμνιση	36
4.3.2	Εξάτμιση	39
4.3.3	Επιφανειακά ύδατα	39
4.3.4	Τροφοδοσία κατείσδυσης	40
4.4	Γεωλογικά χαρακτηριστικά	40
4.4.1	Προνεογενείς σχηματισμοί	41
4.4.2	Μετααλπικοί σχηματισμοί	42
4.5	Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά	42
4.5.1	Υδρογεωλογική ταξινόμηση	42
4.5.1.1	Υδροφόροι ορίζοντες.....	42
4.5.2	Ύψος υπογείων υδάτων	45
4.5.3	Γεωμετρήσεις υπόγειων υδάτων	47
4.5.4	Υδραυλικές ιδιότητες	49
4.5.4.1	Κίνηση του υπογείου προς αντλούμενες γεωτρήσεις	49
4.5.5	Πηγές	53
4.6	Πρότυπο μοντέλο	53
4.6.1	Γεωμετρία υδροφορέα	53
4.7	Υπολογισμός υδρολογικού ισοζυγίου	54
4.7.1	Εισροές	54
4.7.1.1	Τροφοδοσία κατείσδυσης	54
4.7.1.2	Τροφοδοσία από επιφανειακά ύδατα	54
4.7.1.3	Νεότερες εισροές υπόγειων υδάτων	54
4.8	Μαθηματικά υπολογιστικά μοντέλα	56
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ		
5.1	Δημιουργία μοντέλου	58

5.2	Κάναβος σχεδιασμού	58
5.2.1	Διαστασιολόγηση κανάβου (MeshGrid)	58
5.3	Οριακές συνθήκες	60
5.3.1	Πλευρικές οριακές συνθήκες	60
5.3.2	Κατώτατο όριο	60
5.4	Τροφοδοσία υδροφορέα	61
5.5	Υδραυλική αγωγιμότητα	61
5.6	Γεωτρήσεις	62

6. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

6.1	Στόχοι βαθμονόμησης	63
6.2	Εκτελέσεις βαθμονόμησης.....	65
6.2.1	Υπολογιστικό πείραμα 1- Βασική κατάσταση	65
6.2.2	Υπολογιστικό πείραμα 2	67
6.2.3	Υπολογιστικό πείραμα 3	67
6.2.4	Υπολογιστικό πείραμα 3	68
6.2.5	Υπολογιστικό πείραμα 5 - Τελική βαθμονόμηση	69
6.3	Συμπεράσματα	71

7. ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

7.1	Εισαγωγή	71
7.2	Εφαρμογή	72
7.3	Συστάσεις	74

8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

8.1	Εισαγωγή	76
8.2	Περιορισμοί του υπολογιστικού μοντέλου	76
8.3	Εφαρμογή και περιορισμοί της μεθοδολογίας	76

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις 77

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι 79

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό, το πιο κοινό υγρό στοιχείο του πλανήτη, είναι ζωτικής σημασίας για κάθε μορφή ζωής. Αποτελεί το μέσο διάχυσης και λαμβάνει μέρος σε όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις διεργασιών ζωής. Υπάρχει σε αφθονία στην επιφάνεια της γης ενώ γενικότερα κατανέμεται στους ωκεανούς (97,13%), στις πολικές περιοχές (2,24%), σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες (0,61%) και σε επιφανειακούς υδροφόρους ορίζοντες (0,02%).

Το φυσικό νερό είναι διάλυμα το οποίο περιέχει εκτός από τα μόρια νερού, διάφορα χημικά στοιχεία (ανόργανα ιόντα, διαλυμένα αέρια και οργανικά), στερεή ύλη (κολλοειδή, ιλύες και αιωρούμενα στερεά) και βιολογική ύλη (βακτήρια και ιούς). Η δομή του νερού, αν και είναι εξαιρετικά απλή, του προσδίδει μοναδικές φυσικο-χημικές ιδιότητες εξαιρετικής σημασίας όσον αφορά σε θέματα τροφοδοσίας, ποιότητας και επεξεργασίας.

Το νερό είναι ο κύριος παράγοντας ο οποίος διαμορφώνει το φυσικό τοπίο. Μέσω των διεργασιών διάβρωσης και μεταφοράς ιζημάτων, το νερό συμβάλλει στο σχηματισμό κοιλάδων, πλημμυρίδων πεδιάδων, εκβολών δέλτα, παραλιών καθώς και σπηλαίων.

Στην κατηγορία των επιφανειακών νερών περιλαμβάνονται υδατικά ρεύματα (ρουάκια), ποταμοί, λίμνες, υδάτινοι ταμιευτήρες καθώς και υγροβιότοποι (wetlands). Εξαιτίας του γεγονός ότι τα νερά αυτά συναντώνται στην επιφάνεια μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν. Επίσης, τα επιφανειακά νερά και τα σχετικά οικοσυστήματα συμβάλλουν στην ανάπτυξη ζωής, φυτών ή ζώων.

Η ροή του νερού στα υδάτινα ρεύματα ποικίλλει ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μερικά υδατικά ρεύματα χαρακτηρίζονται από μικρό ετήσιο όγκο νερού σε σχέση με το μεγάλο μέγεθος της περιοχής απορροής, όπως στον Κολοράντο ποταμό στις ΗΠΑ, ενώ σε άλλα υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση νερού από αυτό που μπορούν να προσφέρουν χωρίς τη χρήση ταμιευτήρων αποθήκευσης.

Τα υδατικά ρεύματα αποτελούν σημαντικό μέρος του περιβάλλοντος και αποτελούν δείκτες για την κατάσταση που επικρατεί σε υγροβιότοπους. Τα υδατικά ρεύματα που ρέουν σε υγροβιότοπους περιλαμβάνουν νερά που προέρχονται από περιοχές ανάντη του ποταμού, όχθες, κανάλια, πλημμυρικές πεδιάδες, λίμνες που επικοινωνούν μεταξύ τους, μικρές λίμνες και υπόγεια νερά (Σχήμα 1).



Σχήμα 1.1: Σχηματική απεικόνιση λεκάνης απορροής

Ως λεκάνη απορροής (drainage basin/watershed) χαρακτηρίζεται μια περιοχή που πληρώνεται από ένα υδατικό ρεύμα. Τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής (χρήση γης, τύπος εδάφους, γεωλογία, βλάστηση, κλίση επιφανείας και τοπίο) καθώς και το κλίμα καθορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα των νερών που ρέουν από τις λεκάνες. Οποιαδήποτε αλλαγή των χαρακτηριστικών αυτών είναι πιθανό να επηρεάσει την ποιότητα και ποσότητα των νερών. Για παράδειγμα, η καταστροφή της βλάστησης λόγω πυρκαγιάς μπορεί να αλλάξει την ικανότητα συλλογής νερών και διήθησης σε μια λεκάνη απορροής. Εφόσον οι καμένες περιοχές αποτελούνται από λιγότερη βλάστηση δεν μπορούν να συγκρατήσουν για παράδειγμα το νερό της βροχής ούτε να εμποδίσουν την μετακίνηση εδαφικών μαζών. Αυτό έχει ως συνέπεια να αυξάνεται ο ρυθμός και η ποσότητα των νερών που κινούνται από την επιφάνεια προς υδατικά ρεύματα καθώς και ο ρυθμός διάβρωσης. Σε περιπτώσεις καταρρακτωδών βροχοπτώσεων συνήθως προκαλούνται πλημμύρες, μετακινήσεις μεγάλων όγκων λάσπης και υποβαθμίζεται η ποιότητα των νερών.

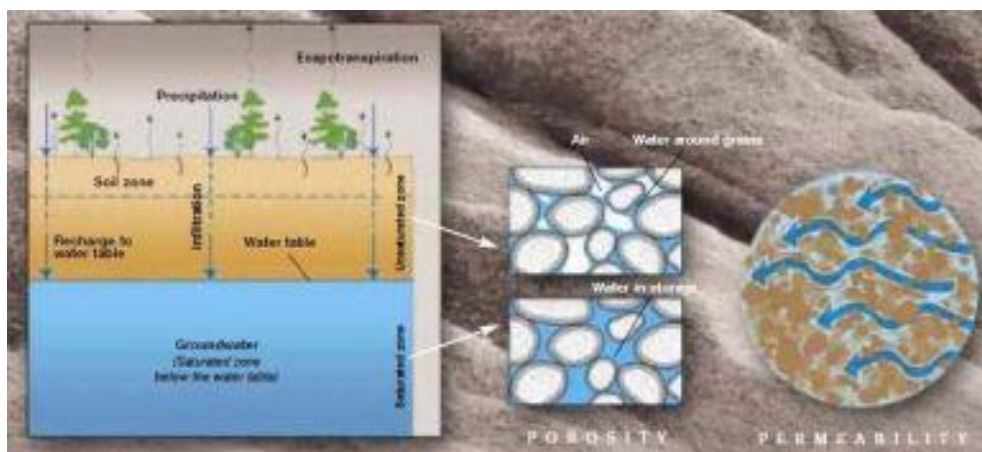
Το νερό κινείται προς την κατεύθυνση εκείνη όπου συναντά την μικρότερη αντίσταση. Καθώς το νερό κινείται μέσα στη λεκάνη απορροής συμπαρασύρει ή εναποθέτει ιζημάτα, όγκους εδαφών και πετρωμάτων και με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διάφορες δίοδοι. Οι δίοδοι αυτές (κανάλια, ταμιευτήρες και πλημμυρίδες πεδιάδες) επηρεάζονται από φυσικές και ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη απορροής. Οι φυσικές διεργασίες μεταφοράς ιζημάτων και εναπόθεσης είναι πολύ σημαντικές όσον αφορά στο σχηματισμό των δίοδων.

Η μεταφορά ιζημάτων εντός και από τη λεκάνη απορροής είναι μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του σχήματος της

επιφάνειας της γης. Τα ιζήματα ταξινομούνται ανά μέγεθος, δηλαδή τα μικρότερα είναι η άργιλος και τα μεγαλύτερα οι κροκάλες. Τα μικρότερα σωματίδια συνήθως μεταφέρονται εν αιωρήσει, ενώ τα μεγαλύτερα μετακινούνται κατά μήκος του πυθμένα των καναλιών μέσω κύλισης, ολίσθησης ή αναπήδησης.

Τα υπόγεια νερά συναντώνται σχεδόν παντού κάτω από την επιφάνεια της γης. Αν και αποτελούν την πιο συνήθως χρησιμοποιούμενη πηγή νερού, μόνο το 50% του πόσιμου νερού στις ΗΠΑ προέρχεται από υπόγεια νερά. Χρησιμοποιείται επίσης για σκοπούς άρδευσης.

Η διαθεσιμότητα των υπογείων νερών ως πηγή νερού εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη γεωλογία της επιφάνειας και του υπεδάφους καθώς και από το κλίμα της περιοχής. Το πορώδες (porosity) και η διαπερατότητα (permeability) του κάθε γεωλογικού σχηματισμού καθορίζει την ικανότητά του να συγκρατεί ή να επιτρέπει τη διέλευση του νερού (Σχήμα 2).



Σχήμα 1.2: Πορώδες και διαπερατότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού

Ως πορώδες χαρακτηρίζεται ο λόγος των κενών προς το συνολικό όγκο του πετρώματος και συνήθως εκφράζεται ποσοστιαία. Η άμμος και τα χαλίκια που δεν χαρακτηρίζονται από σημαντική συνοχή συμβάλλουν στο σχηματισμό υδροφόρων ζωνών (aquifers), εξαιτίας του μεγάλου αριθμού εσωτερικών κενών τα οποία είναι καλά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Εάν οι κόκκοι άμμου ή χαλικιών έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος, τα κενά που πληρώνονται με νερό καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με τον όγκο που πληρώνεται σε περίπτωση που οι κόκκοι είναι διαφόρων διαμέτρων. Κατά συνέπεια, ένας υδροφόρος ορίζοντας που αποτελείται από κόκκους ομοιόμορφων διαστάσεων χαρακτηρίζεται από υψηλό πορώδες.

Η διαπερατότητα εκφράζει την ικανότητα ενός υγρού να μετακινείται μέσω γεωλογικών σχηματισμών. Γεωλογικοί σχηματισμοί με υψηλή διαπερατότητα αποτελούν κατάλληλα σημεία για τη δημιουργία υδροφόρων ζωνών. Προκειμένου το νερό να μετακινηθεί μέσω υδροφόρων ζωνών θα πρέπει τα εσωτερικά κενά να συνδέονται μεταξύ τους. Ωστόσο, ορισμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί μπορεί να

χαρακτηρίζονται από υψηλό πορώδες, αλλά να μην συμβάλλουν στο σχηματισμό υδροφόρων ζωνών εάν τα κενά δεν συνδέονται μεταξύ τους ή εάν είναι πολύ μικρής διαμέτρου.

Μερικά ιζηματογενή πετρώματα, όπως οι ψαμμίτες και οι ασβεστόλιθοι, μπορούν επίσης να συμβάλλουν στη δημιουργία υδροφόρων ζωνών. Η διαπερατότητα του ασβεστόλιθου οφείλεται σε ρωγματώσεις και κενά που δημιουργούνται λόγω διάβρωσής του από το νερό. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται καρστικές και παρατηρείται συνήθως η εμφάνιση σπηλαίων, κατακρημνίσεων και υπογείων διόδων.

Στα πυριγενή πετρώματα (π.χ. γρανίτες) και στα μεταμορφωμένα (π.χ. χαλαζίτης) τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλό πορώδες, σχηματίζονται φτωχές υδροφόρες ζώνες, εκτός εάν τα πετρώματα αυτά αποτελούνται από ρωγματώσεις που συνδέονται μεταξύ τους. Το νερό κινείται μέσω των ζωνών αυτών προς τις περιοχές εκείνες που δεν είναι πληρωμένες με νερό. Η πλήρωση με υπόγειο νερό προκύπτει μέσω καταβύθισης και διήθησης μέσω του εδάφους ή μέσω διαρροών από τον πυθμένα επιφανειακών νερών όπως λίμνες και ποτάμια. Τελικά το νερό καταλήγει σε υδατικά ρεύματα, λίμνες, υδροβιότοπους, παράκτιες περιοχές, πηγές ή σε περιοχές όπου η ροή του υπόγειου νερού διακόπτεται από πηγάδια.

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα όσον αφορά στο νερό σχετίζονται με φυσικές και ανθρώπινες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, οι πόλεις αναπτύσσονται κοντά σε περιοχές όπου υπάρχουν πηγές πόσιμου νερού και ποτάμια για μεταφορά του νερού.

Επιπλέον, φυσικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, ξηρασίες και αλλαγές στην ποιότητα του νερού είναι πιθανό να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα. Άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες για τη χρήση του νερού, απαιτούν αλλαγές στη φυσική ροή του, όπως η κατασκευή φραγμάτων, καναλιών και η διάνοιξη γεωτρήσεων άντλησης νερού, επηρεάζοντας όμως το φυσικό περιβάλλον. Επίσης η ποιότητα του νερού μπορεί να υποβαθμιστεί από αστικές, βιομηχανικές ή γεωργικές δραστηριότητες για τη χρήση του νερού.

Ακούμε και διαβάζουμε συχνά ότι υπάρχει πρόβλημα λειψυδρίας ή ανεπάρκειας νερού ή και σοβαρή υποβάθμιση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε διάφορες περιοχές της χώρας. Στην πραγματικότητα -και σ' αυτό οι ερευνητές συμφωνούν η Ελλάδα σαν σύνολο παρουσιάζει ακόμη επάρκεια υδάτινου δυναμικού όσον αφορά στις βροχοπτώσεις και στην κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων, ακόμα και καθώς βαίνουν μειούμενες οι βροχοπτώσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη.

Βέβαια, ο ίδιος ο φυσικός κύκλος του νερού δεν είναι χωρίς προβλήματα για τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα προβλήματα αυτά προσδιορίζονται συγκεκριμένα στην ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων στις διαφορετικές περιοχές της χώρας (Βοράς – Νότος, νησιά) και στο γεγονός ότι οι βροχές συχνά είναι καταρακτώδεις αλλά σύντομες με αποτέλεσμα η γη να μην προλαβαίνει να απορροφήσει νερό αλλά αντίθετα να διαβρώνεται το έδαφος και να εντείνεται το φαινόμενο της ερημοποίησης.

Τα προβλήματα του νερού που απασχολούν την Ελλάδα οφείλονται κυρίως στην κακή έως εγκληματική διαχείρισή του που πολλές φορές φτάνει ως την άγρια εκμετάλλευσή του και εκφράζονται με δύο κυρίως τρόπους. Πρώτον όταν η ζήτηση σε

ορισμένες περιοχές -όπως τα μεγάλα αστικά κέντρα και οι πεδιάδες με εντατικές καλλιέργειες- αυξάνει τόσο ώστε να υπερβαίνει την δυνατότητα ανανέωσης του φυσικού αυτού πόρου με αποτέλεσμα την εξάντληση του ή τη στέρησή του από άλλες γειτονικές περιοχές και δεύτερον όταν η ρύπανση και η μόλυνση είναι τόσο έντονη ώστε η κατάσταση του νερού και του εδάφους να είναι επικίνδυνη για την υγεία των ανθρώπων και για το φυσικό περιβάλλον τους.

Η εκμετάλλευση του νερού όπως εφαρμόστηκε τις τελευταίες δεκαετίες και εξακολουθεί να εφαρμόζεται, είχε συχνά καταστροφικές επιπτώσεις και στην επάρκεια και την ποιότητα του πόρου αλλά και στο φυσικό περιβάλλον. Σε πολλές περιπτώσεις, κυρίως στην υποβάθμιση των ποταμών, υπεύθυνη ήταν η ΔΕΗ με τα υδροηλεκτρικά φράγματα. Η κύρια ευθύνη όμως αναλογεί στην γενικότερη ληστρική αντίληψη εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων που επικρατεί όχι μόνο στις κυβερνήσεις και στα κόμματα εξουσίας. Η ίδια ευθύνη αντιστοιχεί και σε μεγάλα τμήματα της αριστεράς, είτε της παραδοσιακής είτε της ανανεωτικής αλλά ακόμη και της εξωκοινοβουλευτικής καθώς επικρατεί ακόμη η λογική της εξυπηρέτησης των συντεχνιακών συμφερόντων και της άνευ όρων ανάπτυξης.

Η υπερεκμετάλλευση του νερού εκφράστηκε μέσα από ένα πλέγμα δεκάδων χιλιάδων γεωτρήσεων σε όλη τη χώρα και με την πρακτική, αρχικά των αποξηράνσεων λιμνών και σήμερα των μεγάλων φραγμάτων και των εκτροπών των ποταμών που αναστρέφουν την φυσική πορεία του νερού στερώντας το από κάποιες περιοχές και πλημμυρίζοντας άλλες και μεπολλές άλλες επιπτώσεις μερικές από τις οποίες, μη αναστρέψιμες.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίφημη υπόθεση της εκτροπή του Αχελώου ποταμού που αποτελεί σήμερα ένα μεγάλο σχολείο για την περιβαλλοντική πολιτική και τη νομολογία του περιβάλλοντος της χώρας.

Σχεδόν όλο το υδατικό δυναμικό της Θεσσαλίας καταναλώνεται κάθε χρόνο για να αρδεύεται με σπάταλες μεθόδους το βαμβάκι. Παρά ταύτα, το νερό δεν είναι αρκετό για αυτή την υδροβόρα μονοκαλλιέργεια που διατηρείται μόνο χάρη στις επιδοτήσεις της Ε.Ε. Εδώ σήμερα σχεδιάζεται και κατασκευάζεται το της εκτροπή των νερών του Αχελώου που προορίζονται για να αρδεύουν

Η εκτροπή, όμως, δεν λύνει το πρόβλημα αλλά το μεταθέτει και το επιδεινώνει καθώς η αλήθεια είναι ότι η βιομηχανική γεωργία καταστρέφει το περιβάλλον της Θεσσαλίας. Η επιλογή αυτή οδήγησε στην εγκατάλειψη της γεωργικής πρακτικής της αμειψισποράς (εναλλαγής) των καλλιεργειών, στην απόπλυση των εδαφών από την υπεράρδευση, την παντελή έλλειψη οργανικής ουσίας, την ολοένα πιο εκτεταμένη χρήση χημικών λιπασμάτων με επιπλέον αποτελέσματα τη ρύπανση, την αύξηση του κόστους, τη μείωση της βιοποικιλότητας. Η επιλογή αυτή ακόμη καταστρέφει τους μικρούς αγρότες που δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις αυξανόμενες απαιτήσεις της, καθώς επίσης καταστρέφει την υγεία καταναλωτών και παραγωγών, ενώ η εξάντληση των νερών για αστική και γεωργική χρήση σε συνδυασμό με τη νιτρική ρύπανσή τους από τα φυτοφάρμακα έχουν φθάσει σε οριακό σημείο.

Ο Πηνειός ειδικότερα που αποτελεί τον μεγαλύτερο ποταμό της περιοχής έχει απολέσει τον μεγαλύτερο όγκο των νερών του και κινδυνεύει να μετατραπεί σε

ξεροπόταμο ενώ έχει ρυπανθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Άλλωστε όλοι οι φυσικοί υγρότοποι της Θεσσαλίας έχουν πάψει να υπάρχουν από καιρό, όπως η λίμνη Κάρλα που αποξηράνθηκε πλήρως το 1962 στο όνομα της "ανάπτυξης".

Ήδη ο Αχελώος στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας έχει πάψει να είναι ποταμός, αφού τα τρία φράγματα της ΔΕΗ τον μετέτρεψαν σε μία αλληλουχία τεχνητών λιμνών. Εκεί κατασκευάστηκε το 1963 το φράγμα των Κρεμαστών, το μεγαλύτερο της Ευρώπης, με έναν τεράστιο ταμιευτήρα 4.700.000 μ³ όπου λειτουργεί ο μεγαλύτερος υδροηλεκτρικός σταθμός στη χώρα. Όταν ολοκληρώθηκε το έργο, δεκάδες ιστορικά χωριά, μνημεία και γεφύρια διαγράφηκαν από το χάρτη ενώ η συσσώρευση μεγάλου όγκου νερού είχε σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του κλίματος στην περιοχή και ως επιστέγασμα τον καταστρεπτικό σεισμό της 5ης Ιούλη 1966. Τα νέα φράγματα στη Συκιά και στη Μεσοχώρα θα αποτελειώσουν αυτό που χιλιετίες είναι ο Αχελώος.

Οι περιπτώσεις όπως η εκτροπή του Αχελώου δεν είναι ελληνική αποκλειστικότητα, όπως το σχέδιο Garriso Diversio Unit, που ξεκίνησε τη δεκαετία του '50 στις ΗΠΑ: Το έργο προέβλεπε μεταφορά νερού από τη λίμνη Sakakawea του Misouri στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Hudson στον Καναδά. Οι προβλεπόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκτροπής εξαιτίας της εντατικοποίησης των αρδεύσεων ήταν τέτοιες που τελικά το έργο εγκαταλείφθηκε, αφήνοντας πίσω του εκατοντάδες ημιτελή έργα για να μείνει στην ιστορία ως Garriso Fiasko!

Η πιο πρόσφατη ακύρωση έργου ανάλογου με την εκτροπή του Αχελώου έγινε το 2005 στην Ισπανία, κι αφορούσε την εκτροπή του ποταμού Έβρου. Η εκτροπή που περιλαμβανόταν στο εθνικό plan hidrológico, είχε ως στόχο την εκτροπή 1.000.000 μ³ από τα νερά του προς τα νοτιοανατολικά, προκειμένου να αρδευτεί η περιοχή της Βαλένθια η οποία εξαιτίας της υπεράντλησης των υδάτων -για την ανάπτυξη ενός μοντέλου μαζικού τουρισμού με γήπεδα γκολφ και υπερεντατικές καλλιέργειες- αντιμετωπίζει το φάσμα της ερήμωσης. Οι προβλεπόμενες επιπτώσεις του έργου στο δέλτα του Έβρου στην Καταλωνία προκάλεσαν έντονες κοινωνικές και πολιτικές συγκρούσεις για το νερό, έχοντας σαν τελικό αποτέλεσμα την ακύρωσή του.

Πολλά από τα 45.000 φράγματα που υπάρχουν σήμερα σε 140 χώρες σε όλο τον κόσμο βαρύνονται για την καταστροφή των μισών υγροτόπων του πλανήτη και τον εκτοπισμό 80 εκατομμυρίων ανθρώπων από τον τόπο κατοικίας τους. Το βάρος τους έχει τόση δύναμη που οι επιστήμονες θεωρούν ότι ευθύνονται για μια ελαφρά μεταβολή στην ταχύτητα της περιστροφής της γης, την κλίση του άξονά της και τη μορφή του πεδίου βαρύτητας!

Σύμφωνα με τον Ζακ Λέσλι, συγγραφέα του βιβλίου "Deep water" «όλα ξεκίνησαν από το φράγμα Χούβερ στον ποταμό Κολοράντο, υπεύθυνο για το 90% της υδροδότησης του Λας Βέγκας, για να κορυφωθούν με την εντατική κατασκευή φραγμάτων στις αρχές της δεκαετίας του '70 από τις ΗΠΑ και την Ευρώπη ως την Ασία, την Αφρική και την Αυστραλία». «Χωρίς τα φράγματα του Κολοράντο, θα είχε αποφευχθεί η απόθεση στη γη εκατομμύρια τόνων αλατιού, που κάποτε μετέφερε ο ποταμός στη θάλασσα και σήμερα δηλητηριάζουν καθημερινά το έδαφος. Στην Ινδία, η Μέντα Πατκάρ, εμβληματική μορφή της εκστρατείας κατά των αμφιλεγόμενων φραγμάτων στον ποταμό Ναρμάντα, είναι ο άνθρωπος που γνωρίζει όσο λίγοι τις αληθινές διαστάσεις του «μεγαλύτερου προγράμματος υδάτινης διαχείρισης που έγινε

ποτέ». Όταν αυτό ολοκληρωθεί, σε τουλάχιστον 30 χρόνια από σήμερα, ο Ναρμάντα και οι 41 παραπόταμοί του θα φιλοξενούν 30 μεγάλα, 135 μεσαία και 3.000 μικρότερα φράγματα! Είναι χαρακτηριστικό πως ένα και μόνο φράγμα, το Σαρντάρ Σαροβάρ, που τυχαίνει να είναι και το μεγαλύτερο του προγράμματος, θα αναγκάσει εκατοντάδες χιλιάδες ανθρώπους να εγκαταλείψουν οριστικά τις εστίες τους.

Ο καθηγητής Ανθρωπολογίας του Πανεπιστημίου του Μπέρκλεϊ, Τάιερ Σκάντερ, έφτασε στην Αφρική το 1956, πιστεύοντας πως τα φράγματα μπορούν να αλλάξουν τον κόσμο προς το καλύτερο. Σήμερα ομολογεί πως «το χειρότερο πράγμα που μπορείς να κάνεις σε έναν άνθρωπο, εκτός από το να τον σκοτώσεις, είναι να τον μετακινήσεις παρά τη θέλησή του». Στην Αυστραλία το 1936 η κατασκευή του φράγματος Χιουμ δημιούργησε τη μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη του Νότιου Ημισφαιρίου για τα δεδομένα της εποχής, τροφοδοτώντας με νερό την άνυδρη Νοτιοανατολική Αυστραλία. Αυτή ήταν μόνο η αρχή. Το ένα φράγμα έφερε το άλλο και σήμερα η ευρύτερη περιοχή βρίσκεται αντιμέτωπη με το ενδεχόμενο μιας ξηρασίας άνευ προηγουμένου, λόγω της αλόγιστης άντλησης νερού στην οποία προβαίνουν συστηματικά οι αγρότες. «Τα φράγματα δεν είναι τίποτα άλλο παρά φονικά όπλα με την κάννη τους στραμμένη στα ποτάμια και σε μας τους ίδιους», καταλήγει ο Ζακ Λέσλι στο βιβλίο του. «Είναι η περίτρανη απόδειξη της τζογαδόρικης φύσης των κοινωνιών που τα έχτισαν».

Αυτά τα προβλήματα των εκτροπών των ποταμών και των μεγάλων φραγμάτων είναι ήδη γνωστά σε όλο τον κόσμο. Δυστυχώς εδώ, όπως και στην Τουρκία, την Ινδία και αλλού, το μάθημα δεν φαίνεται να το πήραμε και επιμένουμε στις απαρχαιωμένες αντιλήψεις. Δεν χρειάζεται να είναι κανείς υδρογεωλόγος για να αντιληφθεί ότι το να στερήσουμε από τους υπόγειους υδροφορείς τεράστιες ποσότητες νερού για να τις διαχειριστούμε επιφανειακά σε άλλο τόπο είναι ληστρική και επικίνδυνη λογική. Το χειρότερο είναι ότι ενώ αυτές οι επεμβάσεις είναι ολοκληρωτικού χαρακτήρα, στη χώρα μας γίνονται απουσία γενικού σχεδιασμού που να βασίζεται στη γνώση και τη μελέτη της υδρογεωλογικής κατάστασης των λεκανών απορροής. Η νομοθεσία της Ε.Ε., κυρίως με την οδηγία 2000/60 για το νερό, επιβάλλει τις μελέτες αυτές και θεωρεί μη αποδεκτή την μεταφορά νερού από μια υδρογεωλογική λεκάνη σε μια άλλη αλλά η ίδια η οδηγία και ακόμη περισσότερο η εθνική εναρμόνιση (ν. 3199/2003) αφήνει πολλά παράθυρα ανοικτά για να δικαιολογηθούν οι επιλογές του παρελθόντος και να συνεχιστεί η ίδια πρακτική.

Οι περιβαλλοντικές οργανώσεις δεν χάνουν ευκαιρία να τονίζουν ότι αυτές οι πρακτικές είναι ανόητες και εγκληματικές και όσοι τις υποστηρίζουν είναι τουλάχιστον ανεύθυνοι. Σήμερα επικεντρώνονται σε αιτήματα όπως να εφαρμοστεί χωρίς εκπτώσεις και καθυστερήσεις η Κοινοτική Οδηγία για το νερό και να γίνουν οι μελέτες και η οριοθέτηση των λεκανών απορροής και να σταματήσουν τα μεγάλα έργα που έχουν δραματική επίδραση στο υδρογεωλογικό καθεστώς, Ζητούν ακόμα να εφαρμοστούν οι πολιτικές και πρακτικές εξοικονόμησης του νερού για την άρδευση και την ύδρευση και να εκπονηθούν αξιόπιστα διαχειριστικά σχέδια για το νερό που δεν θα λαμβάνουν ως δεδομένα αυτά τα έργα και που θα τεθούν σε δημόσια διαβούλευση από τους επιστημονικούς φορείς και τις τοπικές κοινωνίες.

Η υποβάθμιση των υδατικών πόρων από τη ρύπανση και τη μόλυνση του εδάφους, του υδροφόρου ορίζοντα, των επιφανειακών νερών των λιμνών, των ποταμών των χειμάρρων και των ρεμάτων γίνεται και αυτή συστηματικά στη χώρα μας

εδώ και πολλές δεκαετίες με πολλούς τρόπους. Οι κυριότεροι είναι η μόλυνση από τα απόβλητα των βιομηχανιών και των μεταλλείων, από τα χημικά λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, από τα οικιακά λύματα και από τα στραγγίσματα των χωματερών.

Υπάρχουν άφθονα παραδείγματα που δείχνουν ότι η ποιότητα των νερών σε ορισμένες περιοχές βρίσκεται σε εξαιρετικά επικίνδυνα επίπεδα. Η πρόσφατη για τα μέσα ενημέρωσης υπόθεση του ποταμού Ασωπού ποταμού είναι μια περίπτωση πολύχρονης και βαριάς ρύπανσης από επεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα και μάλιστα από το εξαιρετικά τοξικό εξασθενές χρώμιο. Ανάλογη υπόθεση είναι αυτή της λίμνης Κορώνειας η οποία σχεδόν νεκρώθηκε αφού αφέθηκε για δεκαετίες στην γνωστή με αλλά ανεξέλεγκτη δε ρύπανση από τις βιομηχανίες αλλά και από αστικά και γεωργικά απόβλητα ενώ παράλληλα εξαντλήθηκε το νερό της από χιλιάδες παράνομες γεωτρήσεις.

Η εκμετάλλευση πάλι των μεταλλευμάτων του χρυσού στη Χαλκιδική, στο Πέραμα Έβρου και στις Σάπες Ροδόπης γίνεται με κυανιούχα διαλύματα και τεράστιο όγκο τοξικών αποβλήτων και αδρανών υλικών, μέθοδος που οδηγεί στη ρύπανση του εδάφους, των υπόγειων υδροφορέων και των επιφανειακών υδάτων.

Μια ακόμη σκανδαλώδης παράμετρος που διαμορφώνεται στην διαχείριση του νερού σήμερα είναι οι τεράστιες ποσότητες που απαιτούνται από τα λόμπυ των κτηματομεσιτών και των κατασκευαστών γηπέδων γκολφ για να ποτιζονται οι εντατικές καλλιέργειες του γρασιδιού αλλά και να γεμίζουν οι χιλιάδες πισίνες που σχεδιάζουν. Σε όλη τη χώρα προγραμματίζονται δεκάδες μεγάλες τουριστικές επενδύσεις βάση ενός μοντέλου που με κύρια και κοινά χαρακτηριστικά έχει την ύπαρξη ενός ή περισσότερων γηπέδων γκολφ, το κτίσιμο γύρω τους ή κοντά τους χιλιάδων παραθεριστικών κατοικιών προς χρονομίσθωση ή πώληση και την εφαρμογή του συστήματος του "ενσταυλισμένου" τουρισμού ή αλλιώς "all inclusive". Στις συνθήκες της μεσογειακής Ελλάδας και ιδιαίτερα στις ξηροθερμικές περιοχές της Κρήτης ή της Πελοποννήσου οι ανάγκες ενός γηπέδου γκολφ 18 οπών συγκρίνονται με αυτές μιας πόλης 10.000 – 20.000 κατοίκων. Για να περιορίσουν τις αντιδράσεις, μερικοί επενδυτές όπως στην περίπτωση του φαραωνικού έργου στο ακρωτήριο Σίδερο στην Ανατολική Κρήτη, σχεδιάζουν ενεργοβόρα και ρυπογόνα εργοστάσια αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού που όμως θα ποτίζουν ειδικές ποικιλίες γρασιδιού που αντέχουν στο υφάλμυρο νερό με αποτέλεσμα να κινδυνεύει με αλάτωση ο υδροφόρος ορίζοντας και η βιοποικιλότητα.

Κι εδώ οι περιφερειακές περιβαλλοντικές οργανώσεις της χώρας, με το κύριο βάρος να πέφτει σε αυτές της Κρήτης, και έχοντας στο πλευρό τους μεγάλο μέρος των τοπικών κοινωνιών έχουν ξεκινήσει έναν πολύπλευρο και τιτάνιο αγώνα ενάντια στις εταιρείες των επενδυτών και την αντίληψη της άγριας ανάπτυξης που διέπει την πολιτεία και υπέρ μιας άλλης, βιώσιμης, τοπικής ανάπτυξης.

Ακούγεται συχνά ότι ο επόμενος πόλεμος θα γίνει για το νερό. Στην πραγματικότητα ο πόλεμος αυτός έχει ήδη αρχίσει εδώ και δεκαετίες είτε ανάμεσα σε κράτη και σε διαφορετικά συμφέροντα χρήσης είτε ανάμεσα στους πολίτες και τις πολυεθνικές εταιρείες που εκμεταλλεύονται το νερό σαν εμπόρευμα. Η ιδιωτικοποίηση ενός φυσικού πόρου όπως το νερό είναι ένα πραγματικό πρόβλημα του οποίου σημάδια του έχουμε αρχίσει να βλέπουμε και στη χώρα μας. Ίσως εδώ να μην έχουμε

ακόμα υποδεχτεί -και ελπίζουμε αυτό να μην γίνει ποτέ- τις ιδιωτικές εταιρείες που υποκαθιστούν τις δημόσιες επιχειρήσεις υδάτων, έχουμε όμως από τη μια σοβαρά φαινόμενα υποβάθμισης της ποιότητας του πόσιμου νερού στα δίκτυα ύδρευσης με αποτέλεσμα να ευνοούνται σκανδαλωδώς οι πωλήσεις των εταιρειών εμφιάλωσης και από την άλλη άνθηση του φαινόμενου ιδιωτών να εκμεταλλεύονται γεωτρήσεις για να πουλούν τα υπόγεια νερά στους γεωργούς.

Το να θεωρείται το νερό εμπόρευμα και όχι δημόσιο αγαθό και φυσικός πόρος όπως ο αέρας είναι αποτέλεσμα της επικράτησης των νόμων της αγοράς πάνω από τους νόμους της δημοκρατίας και είναι η αρχή για την κακή διαχείρισή του.

Πολύ ενδιαφέρουσα διακήρυξη της Κοτσαμπάμπα της Βολιβίας όπου οι πολίτες αυτής της πόλης του μισού εκατομμυρίου κατοίκων μέσα από ένα μακροχρόνιο και αιματηρό αγώνα κατάφεραν να διώξουν την εταιρεία που διαχειρίζονταν ληστρικά το νερό της περιοχής τους και η οποία είχε εγκαταστήσει μετρητές νερού ακόμα και στα πηγάδια των σπιτιών.

«Η Διακήρυξη της Κοτσαμπάμπα (Cochabamba)»:

Εδώ, σε αυτήν την πόλη που έγινε έμπνευση για όλο τον κόσμο γιατί ξαναπήραμε πίσω το δικαίωμά μας μέσα από τη δράση των πολιτών, που με θάρρος και θυσίες στάθηκαν σαν ήρωες και ηρωίδες ενάντια στην κατάχρηση των εταιρειών, των θεσμών και της κυβέρνησης, ενάντια στις εμπορικές συμφωνίες που καταστρέφουν αυτό δικαίωμα, στο όνομα της ελευθερίας και της αξιοπρέπειάς μας, δηλώνουμε τα παρακάτω:

Για το δικαίωμα στη ζωή, για το σεβασμό της φύσης, των χρήσεων της και τις παραδόσεις των προγόνων μας και των λαών μας, για πάντα θα δηλωθούν ως απαραβίαστα τα δικαιώματα που αφορούν στις χρήσεις του νερού που μας δίνεται από τη γη:

- 1) Το νερό ανήκει στη γη και όλα τα είδη της και είναι ιερό για τη ζωή, επομένως, το παγκόσμιο νερό πρέπει να διατηρηθεί και να προστατευθεί για όλες τις μελλοντικές γενιές. Η φυσική του πορεία και κατάσταση γίνεται σεβαστή.
- 2) Το νερό είναι θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα και με δημόσια εγγύηση περιφρουρείται από όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης, επομένως δεν πρέπει να ιδιωτικοποιείται ή να χρησιμοποιείται για εμπορικούς σκοπούς. Ειδικότερα, μια διεθνής συνθήκη πρέπει να εξασφαλίσει ότι αυτές οι αρχές είναι अपαρέγκλιτες.
- 3) Το νερό προστατεύεται καλύτερα από τις τοπικές κοινωνίες και τους πολίτες που πρέπει να είναι σεβαστοί ως ισότιμοι εταίροι με τις κυβερνήσεις στην προστασία και την διαχείριση του νερού. Οι λαοί της γης είναι ο μόνος φορέας για να προωθήσουν τη γήινη δημοκρατία και να προστατεύουν το νερό.

Κατά τα τελευταία χρόνια, πολλές χώρες έχουν κατανοήσει την αξία των υπόγειων υδάτων και τη σημασία ενός μακροχρόνιου σχεδίου διαχείρισης. Όλο και περισσότερες χώρες προσπαθούν να βελτιώσουν τις γνώσεις τους όσο αφορά τους υπόγειους υδάτινους πόρους τους, με τον καθορισμό και τη χαρτογράφηση των υπόγειων υδροφορέων, τη βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων

και τη δημιουργία βάσεων δεδομένων για την ποιότητα και την ποσότητα των υπόγειων υδάτων .

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα ύδατα έχει συμβάλει στην ευαισθητοποίηση των κρατών μελών σε θέματα διαχείρισης των υδάτων. Το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ευαισθητοποιήθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1970 με την έκδοση της Οδηγίας 80/68/ΕΟΚ περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες. Ωστόσο, η δήλωση του Συνεδρίου των υπουργών της Ε.Ε για τα υπόγεια ύδατα που πραγματοποιήθηκε στη Χάγη το 1991, αναγνώρισε την ανάγκη να αναπτυχθεί περαιτέρω δράση για την αποφυγή περαιτέρω ρυπάνσεως και αποκατάσταση, όπου χρειάζεται, των ρυπασμένων υπογείων υδάτων.

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων στην Ευρώπη οδήγησε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στην έκδοση της «**Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.**» Η Οδηγία προβλέπει τη θέσπιση πλαισίου για την προστασία και την ορθή διαχείριση των εσωτερικών επιφανειακών (ποταμοί και λίμνες), των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων. Ο απώτερος σκοπός της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα είναι η επίτευξη «καλής κατάστασης» όλων των υδάτινων σωμάτων, το αργότερο έως το έτος 2015. Βασικό καινοτόμο στοιχείο που διέπει την Οδηγία είναι η διασυνοριακή διάσταση της διαχείρισης των υδάτων.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ – ΣΤΟΧΟΙ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί σημείο αναφοράς για τη διερεύνηση της ποσότητας και της ποιότητας των υπογείων υδάτων. Συγκεκριμένα, ο στόχος είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων. Η μεθοδολογία θα εφαρμοστεί σε μια πραγματική μελέτη, στην περιοχή της Εμπάρου στην Κρήτη, Ελλάδα.

Ο στόχος είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για την προσομοίωση σταθερής κατάστασης ροής των υπογείων υδάτων σε μικρές λεκάνες, και έχει χρησιμότητα για όσους χρησιμοποιούν μοντέλα για να κατανοήσουν τα σύνθετα φαινόμενα ροής και μεταφοράς των υπόγειων υδάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, το μοντέλο των υπόγειων υδάτων πρέπει να παρέχει σχετικά και χρήσιμα επιστημονικά εργαλεία για την πρόβλεψη των επιπτώσεων και την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης. Σε γενικές γραμμές, το έργο αυτό είναι μια προσέγγιση για την προστασία, τη βελτίωση και την αποκατάσταση των υπόγειων υδάτων. Επίσης στόχος είναι και η πρόληψη της ρύπανσης και αποφυγή της υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Τέλος, διασφαλίζουν την ισορροπία μεταξύ της άντλησης και της ανατροφοδότησης τους.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για την ανάπτυξη μιας σταθερής κατάστασης μοντέλου υπόγειας ροής, θα πρέπει να δηλωθούν με απόλυτη σαφήνεια όλα τα προτεινόμενα βήματα έτσι ώστε να είναι πλήρως κατανοητά από οποιονδήποτε με

βασικές γνώσεις στην υδρογεωλογία. Η μεθοδολογία θα εφαρμοστεί σε μια πραγματική μελέτηφαρμογής, στην περιοχή Εμπάρου, στο νησί της Κρήτης.

Τα βήματα μιας τέτοιας μεθοδολογίας αρκεί να είναι :

- Η ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου μοντέλου (3D)πεπερασμένων στοιχείων της ροής των υπόγειων υδάτων.
- Η επαλήθευση των υδρο-γεωλογικών παραμέτρων, όπως π.χ. η υδραυλική αγωγιμότητα, που θα παρθούν σαν δεδομένα από προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει για την περιοχή και ισχύουν, για τον ορισμό των περιφερειακών ρών των υπογείων υδάτων της περιοχής.
- Η προσομοίωση της ροής των υπογείων υδάτων στην πάροδο του χρόνου και του χώρου υπό συνθήκες πεδιάδας.
- Η πρόβλεψη των μελλοντικών σεναρίων για πιθανή μόλυνση.
- Συστάσεις για τις πιθανές ενέργειες αποκατάστασης των υδάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τα τελευταία χρόνια, πολλές χώρες έχουν κατανοήσει την αξία των υπόγειων υδάτων και τη σημασία ενός μακροχρόνιου σχεδίου διαχείρισης. Όλο και περισσότερες χώρες προσπαθούν να βελτιώσουν τις γνώσεις τους όσο αφορά τους υπόγειους υδάτινους πόρους τους, με τον καθορισμό και τη χαρτογράφηση των υπόγειων υδροφόρων, τη βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης των υπόγειων υδάτων και τη δημιουργία βάσεων δεδομένων για την ποιότητα και την ποσότητα των υπόγειων υδάτων.

2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα ύδατα έχει συμβάλει στην ευαισθητοποίηση των κρατών μελών σε θέματα διαχείρισης των υδάτων. Το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αναπτύχθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1970 με την έκδοση της Οδηγίας 80/68/ΕΟΚ περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες. Ωστόσο, η δήλωση του Υπουργικού Συνεδρίου για τα υπόγεια ύδατα που πραγματοποιήθηκε στη Χάγη το 1991, να λάβει περαιτέρω δράση για την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης και αποκατάσταση, όπου χρειάζεται, των ρυπασμένων υπογείων υδάτων.

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων στην Ευρώπη οδήγησε το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στην έκδοση της «**Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.**» Η Οδηγία προβλέπει τη θέσπιση πλαισίου για την προστασία και την ορθή διαχείριση των εσωτερικών επιφανειακών (ποταμοί και λίμνες), των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων. Ο απώτερος σκοπός της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα είναι η επίτευξη της «καλής κατάστασης» όλων των υδάτινων πόρων, το αργότερο έως το έτος 2015. Βασικό καινοτόμο στοιχείο που διέπει την Οδηγία είναι η διασυνοριακή διάσταση της διαχείρισης των υδάτων.

Τα στοιχεία της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων καλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό από διαφορετικά βήματα, στοχεύοντας καλή (ποσοτική και χημική) κατάσταση μέχρι το 2015. Τα κράτη μέλη υποχρεώνονται:

-Να ορίσουν τα υδατικά σώματα με βάση του (RiverBasin)

-Να καταγράψουν όλες τις προστατευόμενες περιοχές στην κάθε περιφέρεια ποταμού των υδατικών περιοχών και το περιβάλλον τους, όπως επίσης και όλα τα είδη που εξαρτώνται από το νερό.

-Να εγκαταστήσουν υπόγεια συστήματα ελέγχου βασισμένα σε αποτελέσματα ταξινόμησης, ούτως ώστε να παρέχεται μια κατανοητή γενική εικόνα της χημικής και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων.

-Να δημιουργήσουν ένα σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού (ΣΔΛΑΠ) για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, η οποία πρέπει να περιλαμβάνει μια περίληψη των καιρικών συνθηκών και των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των υπόγειων υδάτων και όλες οι παρατηρήσεις που θα συλλεχθούν κατά την περίοδο παρακολούθησης να παρουσιαστούν, υπό μορφή χάρτη. Τέλος, να γίνει περίληψη της οικονομικής ανάλυσης όσο αφορά τη χρήση του νερού , των προγραμμάτων προστασίας του, του ελέγχου ποιότητας και τα μέτρα αποκατάστασης του όπου χρειάζονται.

-Μέχρι το 2010, θα έπρεπε να είχαν ήδη διαρρυθμίσει την αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, και να είχαν συμπεριλάβει στη διαρρύθμιση αυτή το περιβαλλοντικό κόστος του νερού και των πόρων του σύμφωνα με την αρχή, όποιος ρυπαίνει, πληρώνει την αποκατάσταση της ζημιάς που είναι υπαίτιος .

- Θα έπρεπε να έχουν δημιουργήσει από το τέλος του 2009, ένα πρόγραμμα μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της ΟΠΥ(π.χ. έλεγχος αστοχιών, παρεμπόδιση ή έλεγχος ρύπανσης όσο αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα) και να τεθούν σε λειτουργία στο τέλος του 2012. Τα βασικά μέτρα αυτά περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, έλεγχο της εξόρυξης των υπόγειων υδάτων και έλεγχος τεχνητής ανατροφοδότησης ή αύξησης του όγκου του νερού των συστημάτων των υπόγειων υδάτων (με την προϋπόθεση ότι αυτό δεν θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων).

2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

Μετά από συμμόρφωση στις κοινοτικές οδηγίες η Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφόρησης (ΕΤΥΜΠ) είναι τώρα πραγματικότητα στην Ελλάδα. Η προαναφερόμενη περιέχει ένα μεγάλο ποσό υδρομετεωρολογικών πληροφοριών καλύπτοντας ολόκληρη τη χώρα και είναι το πρώτο «αρχείο» για υπολογισμό και κατανομή των υλών στην Ελλάδα.

Όλες οι πληροφορίες είναι αξιόπιστες και όπως φαίνεται η ΕΤΥΜΠ θα είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο κατανομής των υδάτων για το μέλλον. Επίσης οι περισσότερες περιοχές, για παράδειγμα η ανατολική περιοχή της Ελλάδας όρισε στα ανάλογα τμήματα να αρχίσουν να δημιουργούν υπόγεια μοντέλα ως βάση της διαχείρισης των υπόγειων υδάτων.

Πολλά προγράμματα που αφορούν τα υπόγεια ύδατα έχουν πραγματοποιηθεί ή θα πραγματοποιηθούν σε πολλές χώρες. Αξίζει να σημειωθεί το επιστημονικό πρόγραμμα του NATO στη Ρουμανία «Somes/Szamos Quantitative and Qualitative» που είναι μια μελέτη για την υδρογεωλογία της χώρας. Οι δραστηριότητες που έγιναν ήταν η συλλογή όλων των υπαρχόντων δεδομένων, η δημιουργία και η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων, η διεξαγωγή νέων μετρήσεων, η ανάπτυξη ενός περιφερειακού μοντέλου και ο εντοπισμός των περιοχών όπου απαιτείται αποκατάσταση.

Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει χρηματοδοτήσει πολλά έργα. Ένα από αυτά τα έργα ήταν το RegionalWaterDataBanksProject (RWDB). Το έργο αποτελείται από μια σειρά συγκεκριμένων δράσεων που πρέπει να ληφθούν από το Ισραήλ, την Ιορδανία, και τις Παλαιστινιακές Αρχές για να προωθήσουν την υιοθέτηση κοινών μέτρων διαχείρισης και προστασίας των υδάτων στην περιοχή. Στόχος του προγράμματος αυτού είναι να βελτιωθεί η επικοινωνία μεταξύ των μερών για να κάνει δυνατή την συλλογή, αποθήκευση και ανταλλαγή υδρογεωλογικών πληροφοριών για την ιδανικότερη από κοινού εκμετάλλευση των υπέργειων και υπόγειων υδάτινων πόρων της περιοχής αναλόγως τις ανάγκες τις κάθε χώρας.

2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει την μοντελοποίηση ως εργαλείο για την προσομοίωση της ροής των υπογείων υδάτων. Πολλές μελέτες, έχουν συγγραφεί για τη ροή των υπογείων υδάτων και την περιγραφή των φαινομένων μεταφοράς χρησιμοποιώντας διαφορετικά κάθε φορά πρότυπα μοντελοποίησης, αναλόγως πάντοτε της κάθε περίπτωσης. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται σε εξειδικευμένα προβλήματα ή φαινόμενα, όπως περιγράφονται παρακάτω.

Οι Marinon et al (2004) χρησιμοποίησαν το SWAP (Χώμα-Υδωρ-Ατμόσφαιρα-Φυτά) για την προσομοίωση της ροής του νερού στο έδαφος και το ANIMO (Γεωργικά-Θρεπτικά συστατικά δείγματα) για να περιγράψουν την μετακίνηση του αζώτου και τους μετασχηματισμούς του για τους καλλιεργήσιμους τομείς στη δυτική Βουλγαρία.

Παρά το γεγονός ότι οι προσομοιώσεις που έχουν γίνει ήταν επιτυχείς για το συγκεκριμένο Βουλγαρικό έδαφος και τις υδρολογικές του συνθήκες, τα μοντέλα SWAP και ANIMO χρειάζονται ένα μεγάλο φάσμα δεδομένων εισόδου και τον καθορισμό υπερβολικών σε αριθμό εδαφικών παραμέτρων, οι οποίοι μερικές φορές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα για τους χρήστες, δεδομένου ότι δεν είναι τόσο εύκολο να βρεθούν η να καθοριστούν τα πλήρη δεδομένα εισόδου για μια τέτοια εξελιγμένη εφαρμογή μοντέλων, λόγω του μικρού αριθμού μελετών που έχουν γίνει μέχρι στιγμής, αφού η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων είναι σχετικά καινούριος τομέας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Οι He et al (2007) πρότειναν ένα περιφερειακό μοντέλο πρόβλεψης των υπόγειων υδάτων το οποίο βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας τη διαδικασία δοκιμής και λάθους (βλ. επίσης κεφάλαιο 3.4). Η εφαρμογή της τεχνικής τους καθιερώθηκε με την μελέτη για μια παράκτια πεδιάδα στην Ιαπωνία.

Η Mao et al (2006) με συνδυασμό δύο υπαρχόντων μοντέλων λογισμικού, SEAWAT και PHREEQC-2, ανέπτυξε ένα νέο μοντέλο, που ονομάζεται PHWAT. Και τα δύο μοντέλα συνδυάστηκαν σε ένα για να καταστεί δυνατή η προσομοίωση της μεταφοράς διαλυμένης ουσίας σε πεδία ροής επηρεαζόμενα από διαφορές στην πυκνότητα των ρευστών.

Οι Garabin et al (1998) έχουν συνδυάσει τρία υπάρχοντα μοντέλα (ωκεανός, ποτάμι, και υπόγεια ύδατα), κατάλληλα προκειμένου να σχηματίσουν ένα ενιαίο μοντέλο. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε έτσι ώστε να περιγράψει όλα τα νερά και τις μολυσμένες ροές σε ένα ολόκληρο σύστημα σε περιφερειακή κλίμακα,

συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων εισροών, των ποτάμιων και των υπόγειων υδάτων.

Πολλές ήταν οι εφαρμογές σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μελέτης όπου ανέπτυξαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο ροής των υπόγειων υδάτων, χρησιμοποιώντας κώδικα MODFLOW π.χ. Ο Cavallin και ο Bonomi (1999), για την επίλυση των προβλημάτων κατολίσθησης στην περιοχή Alvera (Κορτίνα Ντ'Αμπέτσο, Ιταλία) για να αξιολογήσουν τις διαδικασίες ροής των υπόγειων υδάτων του υδρογεωλογικού συστήματος.

Στο σημείο αυτό, είναι απαραίτητο να εξηγηθούν οι όροι του κώδικα μοντελοποίησης και το περιβάλλον γραφικών του χρήστη. Ο κώδικας μοντελοποίησης είναι το πρόγραμμα του υπολογιστή που περιέχει αριθμητικούς αλγορίθμους για να λύσουν το μαθηματικό μοντέλο. Το μαθηματικό μοντέλο είναι η βασική εξίσωση που διέπει την υδραυλική ροή των υπόγειων υδάτων στην κορεσμένη ζώνη. Οι περισσότεροι κώδικες μοντέλων έχουν το δικό τους περιβάλλον γραφικών του χρήστη για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων ή χρησιμοποιούν κάποιο άλλο λογισμικό ως περιβάλλον γραφικών του χρήστη.

Πολλοί κώδικες μοντέλων αναπτύχθηκαν αρχικά (και εξελίσσονται συνεχώς) από τις αμερικανικές κυβερνητικές υπηρεσίες, π.χ. το αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο και το Υπουργείο Άμυνας με υποστήριξη από εξειδικευμένους συμβούλους. Ένας από αυτούς τους κώδικες είναι ο Modflow που αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογικής Επισκόπησης των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (McDonald και Harbaugh, 1988) και είναι διαθέσιμο για την προσομοίωση της ροής των υπογείων υδάτων στην κορεσμένη ζώνη. Ο Modflow είναι ένας κώδικας για την μοντελοποίηση υπόγειας ροής. Προσομοιώνει ένα τρισδιάστατο χώρο, παροδικής και σταθερής ροής (Bonomi και Cavallin 1999). Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο Modflow είναι ο πιο διαδεδομένος κώδικας μοντελοποίησης ροής στον κόσμο (Middlemis 2000).

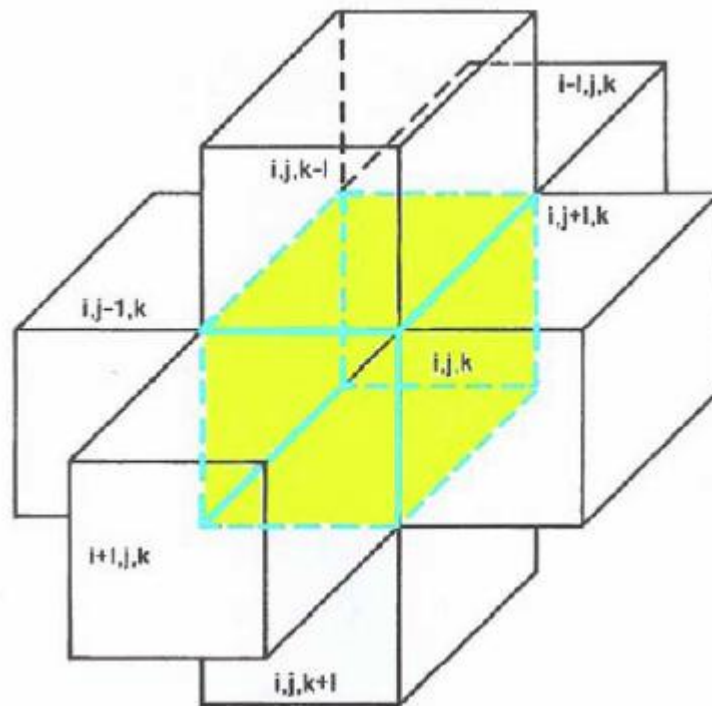
Ο Fleet και ο Baird (2001) είχαν αναλάβει την μελέτη για τη διαχείριση των υπόγειων υδάτων στην Τρίπολη, στη Λιβύη, εκεί διαπίστωσαν ότι στις παράκτιες περιοχές παρουσιαζόταν ένα μοναδικό πρόβλημα στις περιπτώσεις υπερβολικής εξόρυξης των υπόγειων υδάτων. Πρόσεξαν ότι θαλασσινό νερό διείσδυε από την είσοδο του συστήματος των υπογείων υδάτων φρέσκου (γλυκού) νερού με σκοπό να καλύψει την ποσότητα που ήδη εξορύχτηκε. Λειτουργούσε δηλαδή και το σύστημα θαλασσιών υδάτων – υπόγειων υδάτων σαν σύστημα συγκοινωνούντων δοχείων, όση ποσότητα αντλείτο από τα υπόγεια ύδατα, τόση ποσότητα θαλασσινού νερού εισέρχεται στο σύστημα του υδροφορέα των υπόγειων υδάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Ανέπτυξαν λοιπόν αρχικά ένα μοντέλο δύο διαστάσεων με σκοπό την απόλυτη κατανόηση της μορφολογίας του υδροφορέα και στη συνέχεια ανέπτυξαν ένα μοντέλο δύο επιφανειών και δύο διαστάσεων με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς της ροής των υπόγειων υδάτων στο σημείο επαφής τους με το θαλασσινό νερό. Η μελέτη έδειξε ότι οι ταμειυτήρες των υπόγειων υδάτων θα χρειαστούν εκατοντάδες χρόνια για να ανακάμψουν από την υπερβολική άντληση των τελευταίων τριάντα χρόνων των υπόγειων υδάτων στην περιοχή και να επιστρέψουν τα υπόγεια ύδατα στην φυσική τους ποιότητα, ως συνέπεια της διείσδυσης του αλμυρού νερού της θάλασσας στον υδροφορέα.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου δεν είναι σταθερή, αλλά αλλάζει αναλόγως τις ανάγκες, τους στόχους και τα προβλήματα που

έχει σκοπό ο μελετητής να επιλύσει στην περιοχή. Οι πιο διαδεδομένες μεθοδολογίες για την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων της ροής των υπόγειων υδάτων που ακολουθείται στις πλείστες μελέτες είναι η Μέθοδος Πεπερασμένων Διαφορών και η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων.

Κοινός σκοπός όλων των μεθόδων που ακολουθούνται είναι η επίλυση της εξίσωσης που διέπει την υπόγεια ροή και την ικανότητα αποθήκευση, αλλά διαφέρει στις προσεγγίσεις, στις υποθέσεις και στην αντιμετώπιση προβλημάτων στις πραγματικές συνθήκες της κάθε περίπτωσης.

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών είναι μια συνήθης μέθοδος επίλυσης διαφορικών εξισώσεων κατά την οποία ο χώρος διακριτοποιείται από ένα τρις ορθογώνιο πλέγμα χωρίζοντας έτσι τον χώρο σε κελιά. Η προσέγγιση με πεπερασμένες διαφορές επομένως εφαρμόζεται στον διακριτοποιημένο χώρο με βάση την υπόθεση ότι κάθε κελί αντιστοιχεί σε έναν αντιπροσωπευτικό όγκο αναφοράς.



Σχήμα 2.1 Το κελί (i, j, k) και οι δείκτες των έξι γειτονικών κελιών του

Η Μέθοδος Πεπερασμένων Διαφορών επιλύει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα χρησιμοποιώντας αλγεβρικές εξισώσεις για να προσεγγίσουν την λύση σε διακριτά σημεία σε ένα ορθογώνιο πλέγμα. Το πλέγμα μπορεί να είναι ένα, δύο ή τριών διαστάσεων. Τα σημεία του πλέγματος, που ονομάζονται κόμβοι, αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο για την κάλυψη ενός ορθογώνιου μπλοκ (κελλί). Παρόλο που οι γειτονικοί κόμβοι αλληλεπιδρούν, η τιμή για ένα συγκεκριμένο κόμβο είναι διακριτή από τους γειτονικούς κόμβους. Τα πλέγματα που χρησιμοποιούνται στους κώδικες που χρησιμοποιούν τη Μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών γενικά απαιτούν πολύ λιγότερο χρόνο ρύθμισης από τους κώδικες που

χρησιμοποιούν τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων, αλλά έχουν επίσης και λιγότερη ευελιξία στην ατομική τοποθέτηση του κόμβου. Πολλοί κοινοί κώδικες, όπως ο MODFLOW (McDonald και Harbaugh 1988), βασίζονται στη Μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών.

Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές. Ο Craig και ο Rabideau (2006) αναφέρουν ότι η εφαρμογή δύο διαστάσεων της στοιχειώδους αναλυτικής μεθόδου συνήθως χρησιμοποιείται για την προσομοίωση μιας ποικιλίας της σταθερής κατάστασης κορεσμένων φαινομένων της ροής των υπογείων υδάτων σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα. Στην εργασία αυτή εφαρμόζουν την Μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών σε δισδιάστατη (κάθετα-μέση) προσομοίωση μεταφοράς διαλυμένης ουσίας.

Μια διαφορά της Μεθόδου Πεπερασμένων στοιχείων είναι ότι η περιοχή (όγκος) μεταξύ γειτονικών κόμβων αποτελεί στοιχείο επί του οποίου οι ακριβείς τιμές ορίζονται παντού με τη βοήθεια των βασικών συναρτήσεων. Η κύρια πρακτική διαφορά των δύο μεθόδων είναι ότι οι κώδικες που χρησιμοποιούν στην Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση των κόμβων, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στο βαθμό δυσκολίας που συναντά ο προγραμματιστής στον καθορισμό των ακανόνιστων ορίων του μοντέλου. Είναι δηλαδή πιο εύκολο για τον προγραμματιστή να καθορίσει τα ακανόνιστα όρια έχοντας την ευελιξία που του προσφέρει η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων. Ο Rabbani (1994) αναλύει τα πλεονεκτήματα της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων και εισάγει μια νέα τεχνική που μπορεί να συνδεθεί ένας κόμβος άμεσα με τους γειτονικούς κόμβους.

Ο Craig και ο Rabideau (2006) προτείνουν λύσεις με διάφορες τεχνικές για τη χρήση δύο διαστάσεων ροής με βάση την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή είναι μια νέα προσέγγιση που αφορά την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση μεταφοράς διαλυμένης ουσίας, όπου τελικά αποδείχθηκε ότι είναι πιο ακριβής και μειώνει στο ελάχιστο τα διάφορα προβλήματα που προβάλλουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης του μοντέλου.

2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι περισσότερες έρευνες, διατριβές ή γενικά επιστημονικές εργασίες, παρουσιάζονται με διαφορετικούς τρόπους, χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους, σύμφωνα με τους στόχους και τους σκοπούς των μοντέλων. Οι επιστήμονες επιλέγουν διαφορετικούς κώδικες μοντέλων και διαφορετικό περιβάλλον γραφικών χρήστη αναλόγως της συγκεκριμένης έρευνας και τις ανάγκες της. Ο λόγος αυτής της διαφορετικής επιλογής είναι για να διασφαλιστεί ότι, ο επιλεγμένος κώδικας έχει την ικανότητα να αντιπροσωπεύσει κατάλληλα τα βασικά χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες ροής του συστήματος των υπογείων υδάτων που μελετάται.

Εξάλλου, τα μοντέλα των υπόγειων υδάτων και οι μελέτες μοντελοποίησης των υπόγειων υδάτων είναι ακόμα υπό ανάπτυξη στην Ελλάδα. Δεν είναι πολλοί

επιστήμονες ή ερευνητές που ασχολούνται με το θέμα αυτό, παρά το γεγονός ότι τα υπόγεια ύδατα είναι αρκετά πολύτιμα και πρέπει να προστατεύονται. Οι λόγοι μπορεί να είναι ότι όλες οι μέθοδοι προσομοίωσης των υπόγειων υδάτων είναι αρκετά περίπλοκες.

Ο κώδικας Groundwatervistas που χρησιμοποιήσαμε είναι ένας κώδικας για τη μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων που είναι εύκολο να κατανοηθεί από ανθρώπους με βασικές γνώσεις στην υδρο-γεωλογία. Ακόμη, ο κώδικας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά από οποιονδήποτε μελετητή σαν πρότυπο δίνοντας του το δικαίωμα για περαιτέρω έρευνα σε πιο εξειδικευμένες κατευθύνσεις για τη συγκεκριμένη περιοχή.

Όλες οι πτυχές αυτού του κώδικα δεν είναι υποχρεωτικό να εφαρμόζονται σε κάθε μελέτη, ο κάθε προγραμματιστής μπορεί να ακολουθήσει όποια μεθοδολογία τον εξυπηρετεί αναλόγως της περίπτωσης που μελετά. Συγκεκριμένα, το πλαίσιο αυτό θα είναι σχεδόν αδύνατο να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα ή εθνικές λεκάνες απορροής, εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν (Vachand και Chen, 2002, Rabideau et al 2007).

Επιπλέον, σε αυτή την έρευνα θα χρησιμοποιηθεί ο κώδικας Modflow λόγω της φήμης του. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για προσομοίωση μοντέλων σε ένα ευρύ φάσμα υδρογεωλογικών συστημάτων σε όλο τον κόσμο, και υπάρχουν πολλά σχετικά φθηνά διαθέσιμα λογισμικά περιβάλλοντος γραφικών χρήστη που δίνουν στον ερευνητή ένα ευρύ φάσμα επιλογών. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ο κώδικας Modflow αναπτύσσεται με μια αρθρωτή δομή (π.χ. μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν ενότητες για ορισμένες υδρολογικές διεργασίες σύμφωνα με τις προτιμήσεις του μοντελιστή), καθώς επίσης και το ότι μπορούν οποιαδήποτε στιγμή να προστεθούν νέες ενότητες για τις διαδικασίες ροής ή νέες βελτιωμένες αριθμητικά μέθοδοι με την ιδιότητα να ενσωματώνονται άψογα στο είδη υπάρχον μοντέλο (Middlemis, 2000). Ο Modflow είναι γνωστό ότι έχει την καλύτερη σειρά αλληλεπίδρασης μεταξύ των ενοτήτων ρέματος ροής και υδροφορέα. Για τους λόγους αυτούς, οι οργανισμοί όπως ο Οργανισμός Περιβάλλοντος του Ηνωμένου Βασιλείου έχουν υιοθετήσει τον Modflow ως το προτεινόμενο κώδικα μοντελοποίησης για τα περιφερειακά μοντέλα τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη του κώδικα που ακολουθήσαμε βασίστηκε σε υφιστάμενες μελέτες και ότι άλλο υλικό υπήρχε διαθέσιμο για την κατανόηση του υδρολογικού κύκλου και των διεργασιών του. Επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της μεθοδολογίας έπαιξαν και η κατανόηση των βασικών στοιχείων της φυσικής κίνησης των υπόγειων υδάτων και των ιδιοτήτων των διαφόρων πετρωμάτων της γης που καθορίζουν τη φύση της ροής και του υδροφορέα της περιοχής που μελετάται.

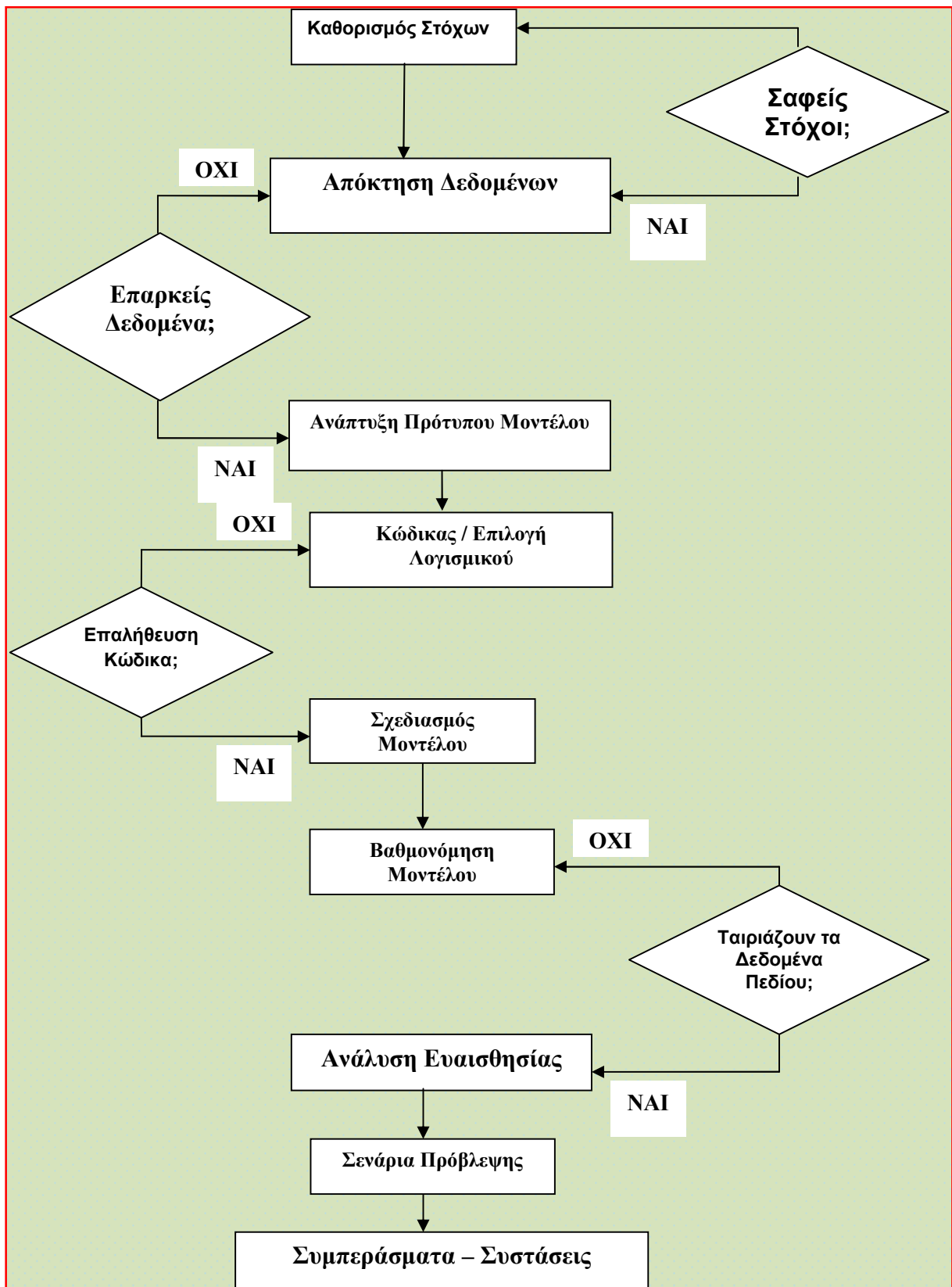
3.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ

Σκοπός της κώδικα είναι να μπορεί να εφαρμοστεί σε παρόμοιες περιπτώσεις μελέτης όπως της περιοχής που μελετούμε, δηλαδή μικρές «λεκάνες», με όσο το δυνατό λιγότερα σφάλματα στην ανάλυση του μοντέλου.

Σε καμία περίπτωση η κώδικας αυτός δεν θα μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα η εθνικές λεκάνες απορροής.

3.3 ΔΟΜΗ ΚΩΔΙΚΑ

Η εικόνα 3.1 παρουσιάζει την προτεινόμενη δομή για την ανάπτυξη ενός κώδικα μοντέλου υπόγειων υδάτων που χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων. Το εργασιακό πλαίσιο που παρουσιάζεται στην εικόνα αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε μελέτη μοντέλου μικρής λεκάνης.



Σχήμα 3.1: Μεθοδολογία: διάγραμμα ροής.

Τα βήματα αυτής της μεθοδολογίας, όπως δείχνεται στο σχήμα 3.1 είναι:

1. Καθορισμός σκοπού και στόχων της μελέτης.
2. Επιλογή όλων των αναγκαίων δεδομένων, π.χ. τα υδρογεωλογικά δεδομένα και την ερμηνεία τους σύμφωνα με τις ανάγκες του μοντέλου.
3. Ανάπτυξη του πρότυπου μοντέλου, όπου είναι μια περιγραφή της συμπεριφοράς του φυσικο-υδρο-γεωλογικού και υδρολογικού συστήματος. Εάν τα δεδομένα δεν είναι επαρκή ή αξιόπιστα, θα πρέπει να αναζητηθούν νέα δεδομένα ή θα πρέπει να ληφθούν νέες μετρήσεις.
4. Επιλογή του κατάλληλου κώδικα και ο συνδυασμός του με τα γραφικά των χρηστών. Εάν ο κώδικας δεν έχει εξακριβωθεί, θα πρέπει να επιλεγεί ένας άλλος κώδικας.
5. Σχεδίαση του μοντέλου.
6. Βαθμονόμηση του μοντέλου.
7. Διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας του μοντέλου. Εάν το μοντέλο δεν ταιριάζει στις συνθήκες πεδίου, θα πρέπει να βαθμονομηθεί και πάλι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας.
8. Θα πρέπει να τρέξουμε σενάρια πρόβλεψης.
9. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του μοντέλου και απόφαση του καλύτερου σχεδίου διαχείρισης.

3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Όλα τα βήματα της μεθοδολογίας αναλύονται παρακάτω:

1. Οι στόχοι πρέπει να είναι καθορισμένοι με απόλυτη σαφήνεια : δηλαδή να οριστούν οι σκοποί και οι στόχοι της μελέτης μοντελοποίησης σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα. Το μοντέλο που πρόκειται να αναπτυχθεί στο πλαίσιο αυτής της έρευνας είναι ένα προγνωστικό μοντέλο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση των υπογείων υδάτων σε μικρές λεκάνες (βλ. ενότητα 2.1, 2,5). Γενικά, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για διοικητικές αποφάσεις είναι αρκετά πολύπλοκα και προϋποθετούν εξειδικευμένους ερευνητές.

2. Όλα τα αναγκαία δεδομένα θα πρέπει να συλλεγθούν και να ερμηνευτούν σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας. Πολλά από τα δεδομένα μπορεί να έχουν ήδη συλλεχθεί κατά τη διάρκεια προηγούμενων ερευνών της συγκεκριμένης τοποθεσίας.

Μπορούν συνήθως να ληφθούν από ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων ή εκθέσεις, έγγραφα από Πανεπιστήμια, Οργανισμούς Γεωλογικής Επισκόπησης ή άλλους δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς. Αν οποιαδήποτε από τα πιο πάνω αναφερθέντα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα, θα πρέπει να ληφθούν νέες μετρήσεις. Όλα τα δεδομένα πρέπει να αναθεωρηθούν για να επικυρώσουν την ακρίβεια και τη δυνατότητα εφαρμογής τους για τους σκοπούς της έρευνας. Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- i. Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά δεδομένα, τα οποία μπορούν να αποκτηθούν από ένατοπογραφικό χάρτη της περιοχής. Αεροφωτογραφίες θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως υποκατάστατα των τοπογραφικών χαρτών. Επίσης καλό θα ήταν οι μελετητές να επισκεφτούν την περιοχή έτσι ώστε να έχουν μια πιο ρεαλιστική άποψη.
- ii. Υδρολογικά δεδομένα, είναι τα δεδομένα που αναφέρονται στην βροχόπτωση, στην εξάτμιση, στα επιφανειακά ύδατα, στην επαναφόρτιση των υδάτων και την αλληλεπίδραση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων μεταξύ τους. Παρατηρήσεις για την βροχόπτωση μπορούν να ληφθούν από βροχομετρικούς σταθμούς στην περιοχή μελέτης, ενώ η μέση εξάτμιση μπορεί να υπολογιστεί από τις παρατηρήσεις σε μετεωρολογικούς σταθμούς που περιέχουν μετρήτη εξεπατίσεως. Επίσης, απαραίτητες είναι και οι μετρήσεις για την επιφανειακή ροή των υδάτων. Θα πρέπει να γίνουν παρατηρήσεις του όγκου οποιασδήποτε πηγής επιφανειακών υδάτων για την συγκεκριμένη περιοχή. Η επαναφόρτιση από τη βροχόπτωση είναι πολύ εύκολο να προσδιοριστή ποσοτικά, αν ένα πλήρες υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής είναι διαθέσιμο. Οι αλληλεπιδράσεις του επιφανειακού νερού και των υπόγειων υδάτων μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά από ένα σταθμό μέτρησης επιφανειακών υδάτων υπάρχει στη λεκάνη.
- iii. Τα γεωλογικά στοιχεία, προέρχονται από ένα γεωλογικό χάρτη. Με τη βοήθεια αυτού του χάρτη, θα πρέπει να είμαστε σε θέση να αναλύσουμε οποιαδήποτε υλικά εδάφους υπάρχουν στην περιοχή. Η παρουσία οποιασδήποτε βλάβης ή αλλαγής του εδάφους θα πρέπει επίσης να υποδεικνύεται για να κατανοηθεί οποιαδήποτε διαφοροποίηση. Ακόμα, χρειάζεται να ληφθούν μετρήσεις από γεωτρήσεις στην περιοχή για να βρεθεί το βάθος και το πάχος του κάθε υλικού εδάφους ή μπορούν να παρθούν ως δεδομένα από προηγούμενες μελέτες.
- iv. Υδρο-γεωλογικά δεδομένα. Ο σωστός χαρακτηρισμός των υδρογεωλογικών συνθηκών σε μια περιοχή είναι εξαιρετικά σημαντική. Πρώτον, προηγούμενες γεωφυσικές έρευνες είναι απαραίτητες, προκειμένου να αποφασιστούν ποια είναι τα κύρια υδροφόρα στρώματα της περιοχής. Θα πρέπει να προσδιοριστούν τα υλικά του εδάφους και η διαπερατότητα τους. Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν στοιχεία από τις γεωτρήσεις της περιοχής για τον προσδιορισμό του βάθους και το πάχος του στρώματος του κάθε υλικού εδάφους, έτσι ώστε να κατανοηθεί η ροή των υπογείων υδάτων. Θα πρέπει επίσης να καταγραφούν οι γεωτρήσεις, η θέση τους, και ο όγκος άντλησης των υπόγειων υδάτων, για την κάθε μια ξεχωριστά ήτε είναι ιδιωτικές ή δημόσιες και να συμπεριληφθούν στον γενικό προϋπολογισμό των υδάτων της λεκάνης. Δοκιμές άντλησης θα πρέπει επίσης να υπάρχουν δοκιμές

άντλησης για τον προσδιορισμό των υδραυλικών παραμέτρων, όπως της μεταδοτικότητας και υδραυλικής αγωγιμότητας.

3. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να αναπτυχθεί το πρότυπο μοντέλο. Ο Middlemis (2000) αναφέρει ότι «Ένα πρότυπο μοντέλο είναι μια απλοποιημένη αναπαράσταση των βασικών χαρακτηριστικών του φυσικού υδρογεωλογικού συστήματος, και την λεπτομερή περιγραφή της υδρολογικής συμπεριφοράς του». Η ανάπτυξη ενός πρότυπου μοντέλου είναι το πιο σημαντικό βήμα για την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού μοντέλου. Το πρότυπο μοντέλο περιγράφει τη γεωμετρία του υδροφορέα, το καθεστώς ροής και προσδιορίζει ποσοτικά το υδρολογικό ισοζύγιο του υδροφορέα αναλόγως των υδρογεωλογικών δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για την περιοχή. Σημαντικό κομμάτι στη δημιουργία του πρότυπου μοντέλου είναι και η επαναφόρτιση του υδροφορέα που μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, είτε λόγω των βροχοπτώσεων, είτε από οποιαδήποτε επιφανειακά ύδατα υπάρχουν στην περιοχή ή και ακόμη από γειτονικούς υδροφορείς. Θα πρέπει στη διαδικασία επαναφόρτισης να υπολογιστεί και ο ρυθμός επαναφόρτισης του υδροφορέα. Στον προϋπολογισμό του νερού του υδροφορέα συμπεριλαμβάνονται και οι εκροές από την λεκάνη, λόγω άντλησης υπογείων υδάτων από διάφορες γεωτρήσεις ή ακόμα και από τις εκροές υδάτων στη θάλασσα (δεν ισχύει για αυτή την έρευνα). Τέλος καλό θα ήταν να γίνει ένας πίνακας του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης δείχνοντας τις συνολικές ποσότητες εισροής και εκροής του νερού στον υδροφορέα .

4. Θα πρέπει να γίνει η επιλογή του κώδικα και η προσαρμογή των δεδομένων της περιοχής σ' αυτόν. Για αυτή την μελέτη έχει επιλεγθεί ο κώδικας Modflow για τους λόγους που αναφέρονται στην ενότητα 2.5. Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Groundwater Vistas. Το λογισμικό αυτό είναι ένα εξελιγμένο πρόγραμμα περιβάλλοντος γραφικών χρήστη για τη μοντελοποίηση των μεταφορών της τρισδιάστατης ροής των υπόγειων υδάτων. Με λίγα λόγια είναι ένα σύστημα σχεδιασμού μοντέλων με διάφορα εργαλεία ανάλυσης. Το Groundwater Vistas επιλέχθηκε επειδή είναι ένα μοντέλο ανεξάρτητο γραφικού συστήματος σχεδιασμού διαφόρων κώδικων, όπως ο Modflow, ο Modpath (που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των σωματιδίων), MT3D (3D ενότητα Μεταφορών Solute), ο MODFLOWT (βελτιωμένη έκδοση του Modflow που είναι σε θέση να προσομοιώσει τρισδιάστατη ροή μεταφοράς μολύνσεων), και πολλοί άλλοι. Το Groundwater Vistas είναι ένα εξαιρετο εργαλείο βαθμονόμησης αφού έχει την επιλογή της αυτόματης ανάλυσης της ευαισθησίας (βλ. ενότητα 3.4).

5. Σχεδιασμός υπολογιστικού μοντέλου. Με άλλα λόγια, προσδιορίζονται οι παράμετροι κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του πρότυπου μοντέλου και ενσωματώνονται στο υπολογιστικό μοντέλο . Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν είναι:

- α) Καθορισμός των διαστάσεων του κάναβου και της απόστασης, ανάλογα με το πραγματικό μέγεθος της περιοχής που μελετάται.
- β) Καθορισμός των οριακών συνθηκών του υδροφορέα. Οι οριακές συνθήκες είναι οι περιορισμοί που επιβάλλονται στο πλέγμα του μοντέλου που εκφράζουν τη φύση των φυσικών ορίων του υδροφορέα που διαμορφώνεται. Συνηθέστερες

κατηγορίες από μαθηματικής-φυσικής πλευράς είναι: **(i)** οι συνθήκες για τη μεταβλητή του προβλήματος (όρια δεδομένου πιεζομετρικού φορτίου) ή συνθήκες Dirichlet, **(ii)** οι συνθήκες για την παράγωγο της μεταβλητής (όρια δεδομένων εισροών ή εκροών) ή συνθήκες Neumann και **(iii)** οι συνθήκες συνδυασμού της μεταβλητής και της παραγώγου της (μικτού τύπου), ή συνθήκη Cauchy. Επίσης μπορούν να οριστούν οριακές συνθήκες για την ελεύθερη επιφάνεια ή την επιφάνεια και τη γραμμή διήθησης.

Στο Groundwater Vistas για την περιγραφή των οριακών συνθηκών χρησιμοποιήσαμε κελιά σταθερού υδραυλικού φορτίου, ενεργά και ανενεργά. Τα κελιά σταθερού φορτίου χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα όρια του μοντέλου που έχουν γνωστά υδραυλικά φορτία. Η τιμή του υδραυλικού φορτίου στα κελιά αυτά ορίζεται από την αρχή στο μοντέλο και δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, τα κελιά σταθερού φορτίου παίρνουν την τιμή -1.

Τα ενεργά κελιά είναι τα κελιά των οποίων το υδραυλικό φορτίο θα υπολογιστεί κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επομένως ως ενεργά λαμβάνονται τα κελιά εκείνα του κανάβου εντός του περιγράμματος του υδροφορέα τα οποία διακρίνονται με μπλε/γαλάζιο χρώμα στο σχήμα 5.2 του υδροφορέα.

Αντίστοιχα ανενεργά θεωρούνται εκείνα τα κελιά στα οποία η ροή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης είναι μηδενική, τα ανενεργά κελιά παίρνουν την τιμή 0. Τέτοια κελιά αντιστοιχούν στους αδιαπέρατους σχηματισμούς που πρακτικά οριοθετούν τον υδροφορέα μας και τα οποία διακρίνονται με μαύρο χρώμα στην εικόνα 5.2 του υδροφορέα.

γ) Καθορισμός ζώνων επαναφόρτισης. Με άλλα λόγια, προσδιορίζει τους τομείς με τις διαφορετικές αριθμητικές τιμές επαναφόρτισης. Συνήθως, η αριθμητική τιμή επαναφόρτισης της πτώσης εφαρμόζεται σε όλη την υπό μελέτη περιοχή. Ακόμα, η επιφάνεια διείσδυσης του νερού μπορεί να χωριστεί σε ζώνες.

δ) Υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα. Σ' αυτή την ενότητα αναφέρονται οι υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα, όπως η υδραυλική αγωγιμότητα, η οποία ορίζει την παροχή ροής και την κατεύθυνση της ροής. Θα πρέπει να αναγραφούν όλες οι ζώνες που έχουν διαφορετικές αριθμητικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας.

ε) Άντληση. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κάθε είδους άντληση των υπόγειων υδάτων στην περιοχή.

6) Βαθμονόμηση μοντέλου. Η βαθμονόμηση είναι η διαδικασία προσαρμογής των παραμέτρων που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο, για την επίτευξη ενός επιθυμητού βαθμού αντιστοιχίας μεταξύ των προσομοιώσεων του μοντέλου και του φυσικού συστήματος ροής των υπογείων υδάτων. Ένα μοντέλο ροής θεωρείτε βαθμονομημένο όταν μπορεί να αποδώσει στον επιθυμητό βαθμό την πιεζομετρία και τη ροή των υπόγειων υδάτων του φυσικού συστήματος που μοντελοποιείτε. Με άλλα λόγια η μέθοδος βαθμονόμησης επιλύει προβλήματα αντιστρέφοντας τις επαναλαμβανόμενες ρυθμίσεις των αγνώστων (υδραυλική αγωγιμότητα, ορισμένες οριακές ροές κ.τ.λ.)

μέχρι η λύση να ταιριάζει με τα γνωστά δεδομένα (συνήθως την πιεζομετρία). Οι μέθοδοι βαθμονόμησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: της χειροκίνητης επανάληψης δοκιμής και σφάλματος βαθμονόμησης και της αυτόματης βαθμονόμησης. Είναι αναμενόμενο ότι οι ερευνητές κάνουν ευρύτερη χρήση της αυτόματης βαθμονόμησης αφού δείχνει να έχει κάποια πλεονεκτήματα έναντι της μεθόδου δοκιμής και σφάλματος. Η αυτόματη βαθμονόμηση χρειάζεται πολύ λιγότερο χρόνο να διεκπερευωθεί καθώς επίσης και το γεγονός ότι για τις αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις βαθμονόμησης υπάρχουν βάσεις στατιστικών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης, πράγμα το οποίο δεν υπάρχει στις προσεγγίσεις δοκιμής και σφάλματος. Τέλος, οι επαγγελματίες αναφέρουν ότι, επειδή ένας πολύ μικρός αριθμός μοντελιστών έχει ασχοληθεί με την μέθοδο της χειροκίνητης επανάληψης δοκιμής και σφάλματος, η μέθοδος δεν έχει εξελιχθεί στον βαθμό που θα έπρεπε, σε αντίθεση με την μέθοδο της αυτοματοποιημένης βαθμονόμησης η οποία χρησιμοποιείται στα πλείστα μοντέλα έχοντας ως αποτέλεσμα την πλήρη εξέλιξη και βελτίωση της μεθόδου. Σύμφωνα με τα λόγια των Carrera και Neuman (1986): "Η επαναληπτική μέθοδος (δοκιμής και σφάλματος) είναι μια χρονοβόρα και κοπιαστική εργασία (επομένως, από οικονομικής πλευράς, στοιχίζει περισσότερο), η οποία απογοητεύει τον μοντελιστή (άρα μένει συχνά ελλιπής), και είναι υποκειμενική αφού δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης (η ποιότητα των αποτελεσμάτων της, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί).

Η βαθμονόμηση του μοντέλου απαιτεί εκτεταμένη γνώση του φυσικού συστήματος των υπογείων υδάτων που μοντελοποιείται. Ο Φράιμπεργκ (1988) καταγράφει μια μελέτη όπου εννέα ομάδες, χρησιμοποιούν το ίδιο μοντέλο και εισάγουν τα ίδια δεδομένα, αλλά βαθμονομούν ξεχωριστά το μοντέλο και παρ'όλα αυτά βλέπουμε ότι η κάθε ομάδα εξάγει τα δικά της διαφορετικά τελικά αποτελέσματα. Από το πιο πάνω πείραμα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η μέθοδος της αυτόματης βαθμονόμησης είναι πιο αξιόπιστη.

Στο τέλος της βαθμονόμησης, είναι σημαντικό να δείξουμε ότι δεν υπάρχει σφάλμα στο σύστημα όσο αφορά τις τιμές των υδραυλικών φορτίων που υπολογίστηκαν από το μοντέλο σε σχέση πάντοτε με τις τιμές των υδραυλικών φορτίων που υπολογίστηκαν από τις πραγματικές μετρήσεις που έγιναν στη περιοχή. Ο πιο απλός τρόπος για να γίνει αυτό είναι να παρουσιαστεί ένας συγκριτικός πίνακας των τιμών των δύο περιπτώσεων.

Στην πράξη, ο χρήστης πρέπει πρώτα να καθορίσει τους στόχους της βαθμονόμησης. Στόχοι βαθμονόμησης ονομάζονται οι τιμές του μέσου υδραυλικού φορτίου, που υπολογίζονται με την διαφορά του ύψους της γεώτρησης μείον τη μέση στάθμη των υπόγειων υδάτων. Οι υπολογισμοί γίνονται σε κάθε γεώτρηση ξεχωριστά αφού η κάθε γεώτρηση έχει το δικό της υψόμετρο και δική της τιμή μέσης στάθμης. Τα δεδομένα για τους υπολογισμούς τα παίρνουμε από μετρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή και όλα τα ύψη έχουν σημείο αναφοράς την επιφάνεια της θάλασσας. Στη συνέχεια, είναι στο χέρι των χρηστών να αποφασίσουν την αποδεκτή διακύμανση του ποσοστού σφάλματος και να αποφασίσουν την καλύτερη προσέγγιση για την περιγραφή του συστήματος υπόγειων υδάτων. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι η εμπειρία του ερευνητή στα προγράμματα μοντελισμού παίζει σημαντικό ρόλο όσο αφορά την απόλυτη ακρίβεια και αξιοπιστία του υπολογιστικού μοντέλου.

7) Ανάλυση Ευαισθησίας. Η ανάλυση ευαισθησίας είναι η διαδικασία της μεταβολής των παραμέτρων που εισάχθηκαν στο πρότυπο μοντέλο πάνω σε ένα λογικό φάσμα (φάσμα αβεβαιότητας στην αριθμητική τιμή της παραμέτρου του

μοντέλου που αλλάζει), παρατηρώντας τη σχετική αλλαγή της ανταπόκρισης του μοντέλου με το πραγματικό σύστημα ροής του υδροφόρου ορίζοντα.

Η ανάλυση ευαισθησίας προσδιορίζει τις πιο επηρεαζόμενες παραμέτρους που μεταβάλλονται στην προσπάθεια για τον καλύτερο προσδιορισμό της ακρίβειας και της πρόγνωσης του μοντέλου. Στην πράξη, κατά την ανάλυση ευαισθησίας, εκτελούνται πολυάριθμες εκτελέσεις του μοντέλου, όπου στην κάθε εκτέλεση μεταβάλλεται ελαφρώς μία μόνο παράμετρος μέχρι οι τιμές της διακύμανσης του ποσοστού σφάλματος του μέσου υδραυλικού φορτίου (που όρισε ο χρήστης κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης) να εμπίπτουν στα όρια που όρισε ο χρήστης. Σε κάθε εκτέλεση έχουμε ως αποτέλεσμα θετικές και αρνητικές διακυμάνσεις. Η ανάλυση ευαισθησίας γίνεται συχνά κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, έτσι ώστε να αποφασιστεί η καλύτερη αριθμητική τιμή ορισμένων παραμέτρων.

8) Σενάρια Πρόβλεψης : Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει κάποια μελλοντική ροή των υπογείων υδάτων ή μια μολυσματική κατάσταση μεταφοράς προσδιορίζοντας τις ευαίσθητες περιοχές του υδροφορέα. Το μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων αποκατάστασης, όπως άντλησης και θεραπείας ή της φυσικής εξασθένησης του υδροφορέα βοηθώντας στην αξιολόγηση του κινδύνου. Τα σενάρια πρόβλεψης μπορούν να γίνουν για οποιαδήποτε επιθυμητή κλίμακα του χρόνου, από δέκα χρόνια μέχρι και εκατοντάδες χρόνια, ανάλογα με τις ανάγκες της έρευνας. Τα σενάρια πρόβλεψης πρέπει να είναι λογικά και τα αποτελέσματά τους θα πρέπει να αναλυθούν πολύ προσεκτικά για να παρθεί η σωστή απόφαση για κάθε περίπτωση, ήτε διαχείρισης, ήτε προβλήματος του υδροφορέα.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την προσομοίωση του σεναρίου της βασικής κατάστασης, όπου τα άλλα σενάρια πρόβλεψης θα έχουν ως μέτρο σύγκρισης. Το σενάριο της βασικής κατάστασης θα περιλαμβάνει το τρέξιμο των υδρολογικών συνθηκών που έχουν συλλεγεί και αντανακλούν την τρέχουσα κατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα σήμερα.

Το δεύτερο στάδιο θα μπορούσε να περιλαμβάνει τρέξιμο μερικών σεναρίων πρόβλεψης με σκοπό να απαντηθούν συγκεκριμένες ερωτήσεις για συγκεκριμένα προβλήματα. Αυτά τα σενάρια πρόβλεψης θα πρέπει να συγκριθούν με το σενάριο της βασικής κατάστασης για να υπολογιστεί το μέγεθος της αλλαγής που παρουσιάζει το συγκεκριμένο σενάριο. Επιπλέον, τα πρόσθετα σενάρια μπορούν να περιλαμβάνουν μερικές ακραίες κυμάνσεις της διαχείρισης και των κλιματικών συνθηκών, με στόχο τον προσδιορισμό της χειρότερης περίπτωσης και τη χειρότερη ανταπόκριση του συστήματος.

9) Συμπεράσματα-συστάσεις.

Όλα τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των σεναρίων που εκτελέστηκαν θα πρέπει να συνοψιστούν και να συσταθούν σχέδια προστασίας και διαχείρισης του υδροφορέα.

Τέλος, είναι πολύ σημαντικό να επανεξεταστεί το μοντέλο ανάπτυξης, για να δούμε αν νέα δεδομένα ή οι μετρήσεις είναι διαθέσιμες για την υπό μελέτη περιοχή. Η κατασκευή του μοντέλου βασίζεται στο πρότυπο μοντέλο, έτσι στην περίπτωση που υπάρχουν νέα δεδομένα για την περιοχή, τότε το πρότυπο μοντέλο πρέπει να επανεξεταστεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΔΡΟΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΜΠΑΡΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεθοδολογία που περιγράφεται στα προηγούμενα κεφάλαια θα εφαρμοστεί σε μια πραγματική έρευνα. Η περιοχή Εμπάρου, στην Κρήτη, έχει επιλεγεί για αυτό το σκοπό.

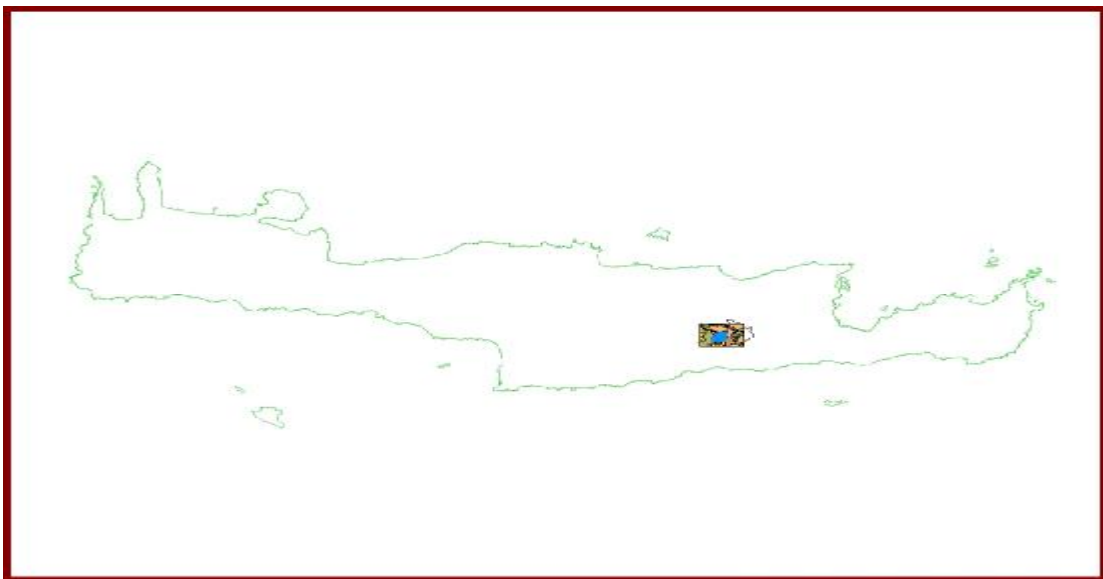
Ο σκοπός της μελέτης είναι να αναπτύξει ένα προγνωστικό μοντέλο σταθερής κατάστασης ροής των υπογείων υδάτων για την λεκάνη στην περιοχή Εμπάρου, η οποία είναι μια μικρή λεκάνη και στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη μεθοδολογία.

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην απόκτηση των δεδομένων και την ερμηνεία τους για τη συγκεκριμένη λεκάνη. Πρόκειται να παρουσιαστούν, η γεωμορφολογία, η γεωλογία, η υδρολογία και η υδρογεωλογία της περιοχής που μελετάται.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

4.2.1 Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά της περιοχής

Η λεκάνη της Εμπάρου βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού της Κρήτης. Το σχήμα 4.1 παρουσιάζει τη θέση της υπό μελέτη περιοχής. Η κοινότητα της Εμπάρου ανήκει στο Νομό Ηρακλείου. Η περιοχή που μελετάται περιλαμβάνει επίσης τις περιοχές Μηλλιαράδων και Ξενιάκου. Η έκταση της λεκάνηστης περιοχής Εμπάρου έχει υπολογιστεί στα 30 km² περίπου.



Σχήμα 4.1: Κρήτη, τοποθεσία της υπό μελέτη περιοχής.

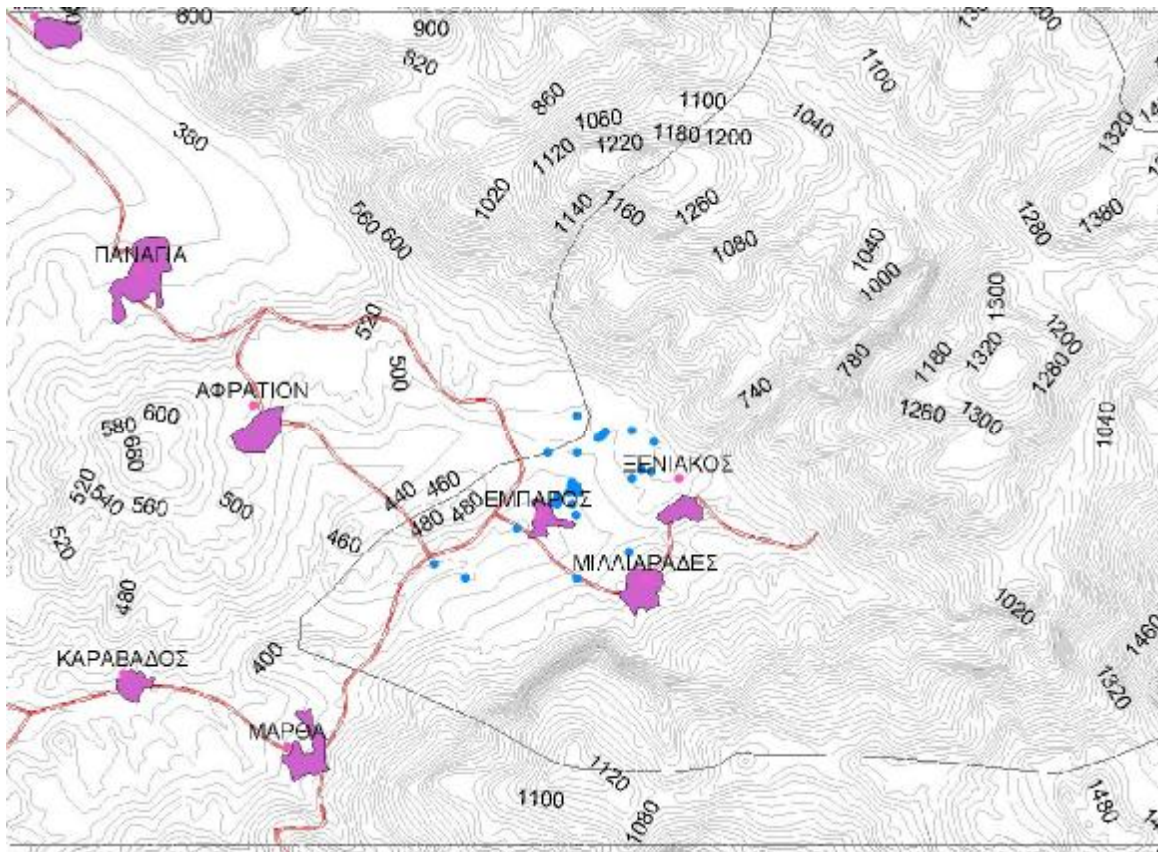
Οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες στην περιοχή είναι η γεωργία, η οποία αποτελείται κυρίως από καλλιέργειες ελαιώνων. Στην περιοχή καλλιεργούνται 7.800.000 τετραγωνικά μέτρα. Η Εικόνα 4.2 δείχνει το δήμο της Εμπάρου και τις γύρω καλλιέργειες.



Εικόνα 4.2: Δήμος Εμπάρου.

4.2.2 Γεωμορφολογία

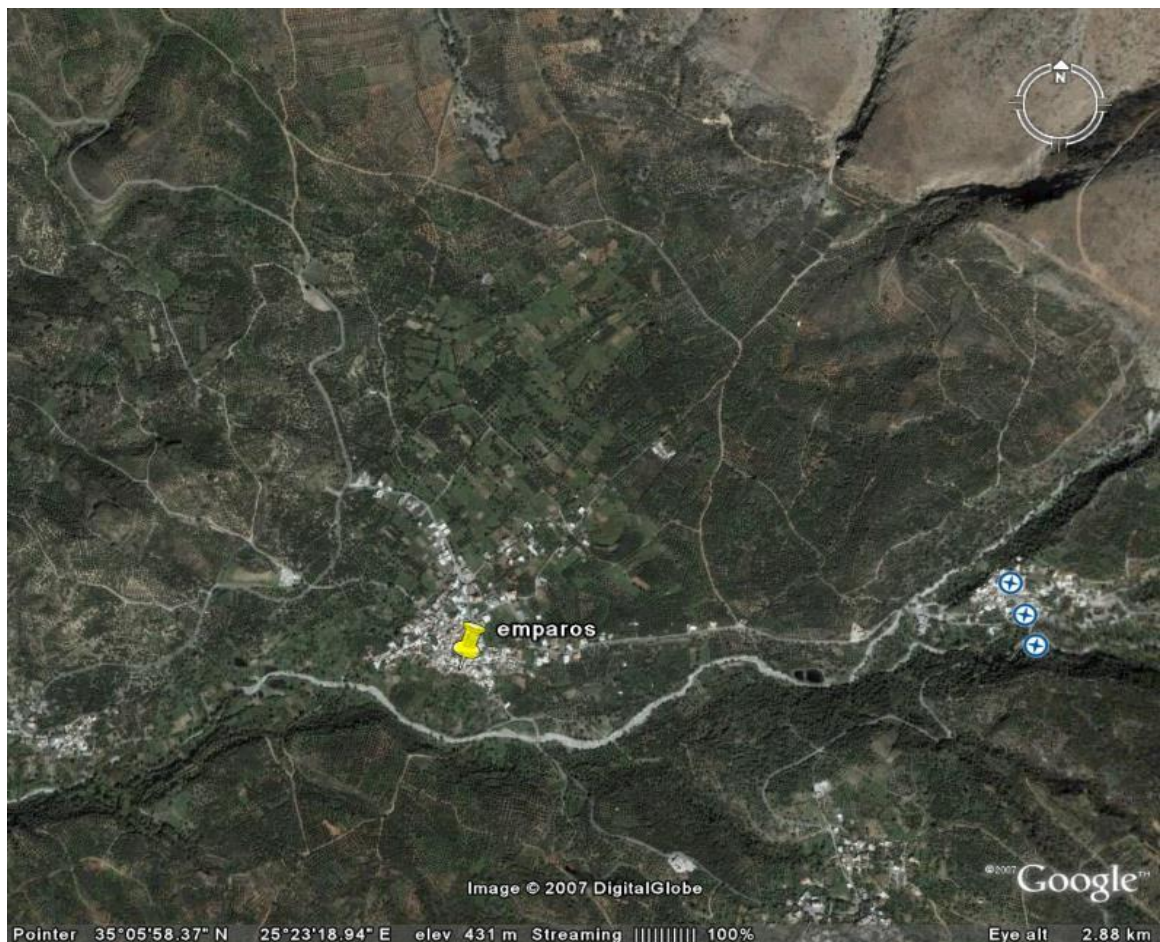
Η περιοχή είναι σχεδόν επίπεδη και περιβάλλεται από μικρούς λόφους ή βουνά στα βόρεια, νότια, ανατολικά και δυτικά. Η οροσειρά βρίσκεται στα βόρεια, ανατολικά και νότια της περιοχής. Τα βουνά αποτελούνται από απότομες πλαγιές και μεγάλο υψόμετρο. Η αλλαγή στην τοπογραφία είναι δραματική. Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης υπάρχουν μερικοί λόφοι με μέγιστο υψόμετρο τα 600 m. Το σχήμα 4.3, που ακολουθεί, απεικονίζει την τοπογραφία της περιοχής που μελετάται.



Σχήμα 4.3: Τοπογραφία της περιοχής Εμπάρου

Υπάρχει ένας κύριος ποταμός που ρέει μέσα στη λεκάνη. Ο Βαρύτης ποταμός ρέει μέσα από ένα φαράγγι από το βόρειοανατολικό τμήμα της περιοχής και ακολούθως ρέει στο δυτικό τμήμα της περιοχής. Παρόλο που ο Βαρύτης ποταμός είναι ο μεγαλύτερος ταμιευτήρας των επιφανειακών υδάτων, οι συνθήκες ροής του νερού είναι εποχιακές, δηλαδή μιλάμε για χείμαρρο και όχι για ποταμό.

Η Εικόνα 4.4 απεικονίζει μια δορυφορική άποψη της περιοχής, όπου παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων.



Εικόνα 4.4: Δορυφορική Προβολή της περιοχής Εμπάρου

4.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Όλα τα υδρογεολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής πάρθηκαν από την «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου», (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998)

Η περιοχή της λεκάνης της Εμπάρου, όπως αναφέραμε, βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού. Σημαντικό σημείο στα υδρολογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης είναι η διαφοροποίηση της ταπείνωσης της στάθμης από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από τα βόρεια προς τα νότια (Ζαχαριουδάκης, 2001) Επομένως, η ταπείνωση της στάθμης στην περιοχή της Εμπάρου αναμένεται να είναι χαμηλότερη από την ταπείνωση της στάθμης στα βόρεια και δυτικά του νησιού.

4.3.1 Κατακρήμνιση

Υπάρχει μόνο ένας σταθμός βροχοπτώσης στην υπό μελέτη περιοχή, ο σταθμός βροχοπτώσης Εμπάρου. Οι παρατηρήσεις για τις βροχοπτώσεις από τον σταθμό της Εμπάρου έχουν πραγματοποιηθεί από 1978-1989 (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998). Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να επισημανθούν ότι τα ύψη των βροχοπτώσεων από το

σταθμό της Εμπάρου είναι παρόμοια με τα ύψη της βροχόπτωσης από το σταθμό του Δεμάτη, που βρίσκεται έξω από την Έμπαρο. Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις από τον σταθμό του Δέματη χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να υπάρχουν τιμές για το σταθμό της Εμπάρου για τα έτη 1963-1978 και 1989-1993 (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998). Ο μέσος όρος για κάθε μήνα και για κάθε έτος υπολογίστηκε, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1:

Σταθμός Βροχόπτωσης	Διάρκεια της εγγραφής	Ετήσιος μέσος όρος (χιλιοστά/μηνιαία)	Ετήσιος μέσος όρος (χιλιοστά/ετήσια)
Έμπαρος	1978-1989	44.71	536.53
Έμπαρος/Δέματη	1963-1993	43.56	522.68

Πίνακας 4.1: Τιμές των βροχοπτώσεων.

Ωστόσο, οι μετρήσεις από το σταθμό της Εμπάρου δεν μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία σε ολόκληρο το λεκανοπέδιο.

Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από τους σταθμούς βροχόπτωσης των περιοχών Αγ.Γεωργίου, Αρμάχα, Δεματίου, Εμπάρου, Καλυβίων, Καστελίου και Τεφελίου όπου όπου με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης υπολογίζεται το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για κάθε σταθμό. (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998)

Μέθοδος Γραμμικής Παλινδρόμησης

Πολλές φορές είναι δυνατόν να συσχετισθούν οι μετρήσεις ενός σταθμού με τις μετρήσεις ενός άλλου με μια γραμμική σχέση της μορφής: $y = a + bx$

όπου a, b παράμετροι που εκτιμώνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης και y, x μετρήσεις στους σταθμούς Y και X . Οι συντελεστές a, b υπολογίζονται από τις ακόλουθες δυο απλές εξισώσεις:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad a = \bar{y} - b\bar{x}$$

όπου:

X_i και y_i οι σειρές των μετρήσεων στις θέσεις X και Y για χρονικό διάστημα $i=1,2,\dots,n$

x και y οι μέσοι όροι των σειρών, ως εξής:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i$$

Ο συντελεστής συσχέτισης r , μας δείχνει πόσο κατάλληλη είναι η μέθοδος της γραμμικής συσχέτισης για τη συμπλήρωση των μετρήσεων δεδομένων δυο σταθμών:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο αριθμός αυτός, τόσο καταλληλότερη είναι η μέθοδος. Ως κανόνας που χρησιμοποιείται εν προκειμένω είναι η τιμή του συντελεστή συσχέτισης r να είναι μεταξύ του 0.70 και της μονάδας.

Στη συνέχεια δημιουργείτε μια γραφική παράσταση όπου στον άξονα των τεταγμένων ορίζετε ο ετήσιος μέσος όρος του ύψους των βροχοπτώσεων και στον άξονα των τετμημένων το ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Βάζοντας τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών δημιουργούμε μια ευθεία η οποία έχει την εξίσωση:

$$Y = 1,10979 \times X - 365,756$$

Όπου: 1,10979= η κλίση της ευθείας και

-365,756= το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα των τεταγμένων

Y = ετήσιος μέσος όρος του ύψους των βροχοπτώσεων στο

X = ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

Οπότεν με αυτή τη σχέση μεταξύ του μέσου ετήσιου ύψους των βροχοπτώσεων και του ύψους πάνω από τη στάθμη της θάλασσας μπορεί να υπολογιστεί ο ετήσιος μέσος όρος του ύψους των βροχοπτώσεων για οποιοδήποτε σημείο της λεκάνης φτάνει να γνωρίζουμε το ύψος του σημείου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

. Για το μέσο ύψος της λεκάνης, ο ετήσιος μέσος όρος του ύψους των βροχοπτώσεων είναι 966 χιλιοστά. (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998) Παρατηρείται ότι αυτός ο αριθμός είναι υψηλότερος από τον αριθμό που υπολογίζεται από τις μετρήσεις που λαμβάνονται από το σταθμό βροχόπτωσης της Εμπάρου.

4.3.2 Εξάτμιση

Η εξάτμιση δεν μπορούσε να μετρηθεί από μετεωρολογικό σταθμό, αφού δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός που περιέχει ένα μετρητή εξατμίσεως στην περιοχή της μελέτης. Ως αποτέλεσμα, η μέθοδος Thornthwaite χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξάτμισης. (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998)

Μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) δημιούργησε μια εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού. Η εξίσωση εκτιμά τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και έχει τη μορφή:

$$E_p = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^a \frac{\mu N}{360}$$

όπου :

E_p : η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα

t_i : η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

μ : ο αριθμός ημερών του υπό εξέταση μήνα

N : η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας

J : ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας και

α : μια εμπειρική παράμετρος που εξαρτάται από το δείκτη J ($\alpha=0.016J+0.5$).

Ο δείκτης θερμοκρασίας **J** , δίνεται από τη σχέση:

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

ενώ ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας **j_i** είναι συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σύμφωνα με την εξίσωση:

$$j_i = 0.09t_i^{3/2}$$

Οι διαθέσιμες χρονοσειρές είναι από το 1977 - 1997. Η μέση μηνιαία εξάτμιση (PAN) υπολογίστηκε και είναι 181,3 χιλιοστά και η μέση ετήσια εξάτμιση είναι 1894 χιλιοστά.

4.3.3 Επιφανειακά Ύδατα

Η επιφανειακή ροή του Βαρύτη ποταμού έχει μετρηθεί στη θέση της γέφυρας της Εμπάρου (Πίνακας 4.2). Η μέση μηνιαία και η μέση ετήσια ροή των επιφανειακών υδάτων του Βαρύτη ποταμού έχουν υπολογιστεί, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2:

Σταθμός μέτρησης	Διάρκεια Εγγραφών	Μηνιαίος μέσος όρος(l/sec)	Ετήσιος μέσος όρος (x10 ⁶ m ³ /ετήσια)
Έμπαρος	1977-1989	58.717	1826.3

Πίνακας 4.2: Τιμές των επιφανειακών υδάτων.

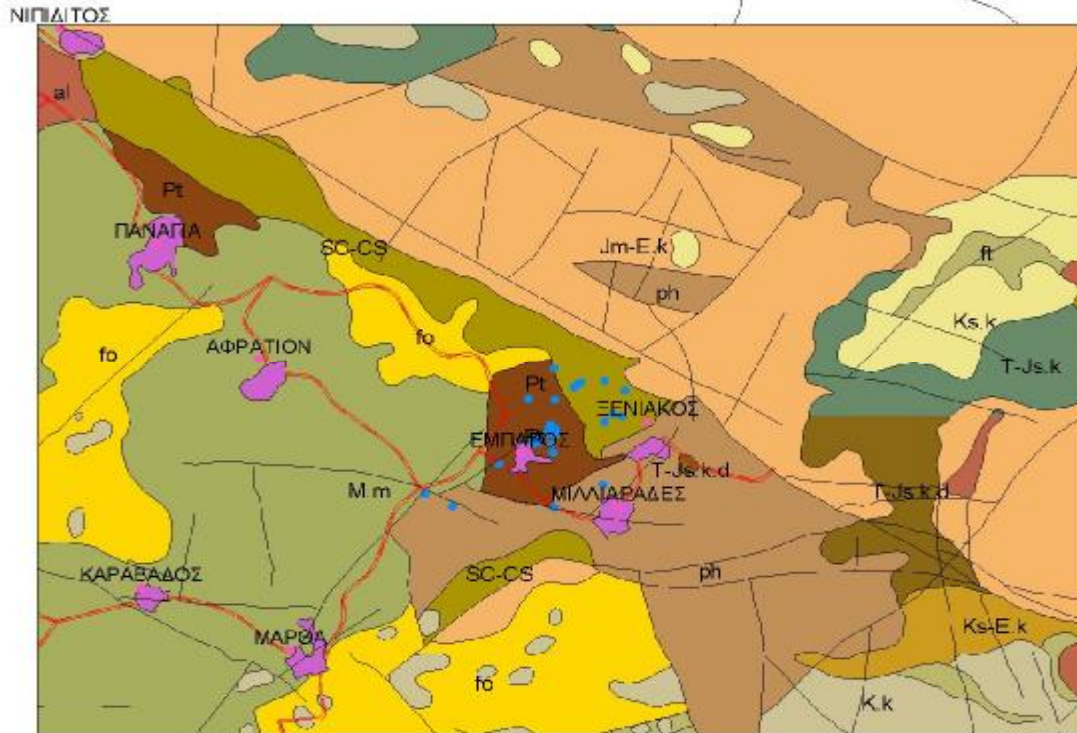
Όλες οι μετρήσεις από τον πίνακα 4.2 μετατράπηκαν σε x10⁶m³/μηνιαία.

4.3.4 Τροφοδοσία Κατείσδυσης

Η τροφοδοσία της κατείσδυσης σχετίζεται με τις τιμές της κατείσδυσης, της απορροής και της πραγματικής εξάτμισης επιτρέποντας τη δημιουργία ενός πλήρους υδρολογικού ισοζυγίου. Με βάση το υδρολογικό ισοζύγιο, ο μέσος πλεονασμός νερού(ενεργή κατείσδυση) υπολογίστηκε ότι ήταν 237,4 χιλιοστά νερού, ισοδύναμο με το ύψος της βροχόπτωσης. Έτσι, ο όγκος του νερού που διεισδύει είναι 300.000 m³, με βάση το γεγονός ότι η περιοχή προσμείξεων που υφίσταται δεν ξεπερνά το 1,5 km². Ωστόσο, από προηγούμενες μελέτες διήθησης μετρήθηκε να είναι 900.000 m³. Έτσι, μπορούμε να υποθέσουμε ότι 600.000 m³νερού προέρχονται από γειτονικούς επιφανειακούς ή υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς του νερού και τροφοδοτούν τον υδροφόρο ορίζοντα της Εμπάρου.

4.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η υπό μελέτη περιοχή αποτελείται από προνεογενείς και μετααλπικούς σχηματισμούς. Στους προνεογενείς σχηματισμούς στο τμήμα της Κρήτης-Μάνης και στο Τμήμα της Πίνδου αποτελείται από φυλλίτες-χαλαζίτες. Ο μετασχηματισμός των Άλπεων αποτελείται από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Η γεωλογία της περιοχής που μελετάται φαίνεται στο Εικόνα 4.5.



Υπόμνημα:

Ph: Φυλλίτες

Jm-Ek: Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι

FO: Φλύσχη

Pt: Πλειστόκαινο ίζημα

Mm: Κοιτάσματα μειόκαινου

Sc-cs: Scari

Εικόνα 4.5 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής που μελετάται

4.4.1 ΠΡΟΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

∅ Ενότητα Κρήτη-Μάνη:

Το έδαφος του τμήματος της Κρήτης-Μάνης κυρίως από την ανατολική πλευρά του Βαρύτη ποταμού, αποτελείται από ασβεστόλιθους, που βρίσκονται πάνω σε στρώματα από πυριτόλιθο με πάχος που δεν υπερβαίνει τα 20 cm.

∅ Ενότητα Φυλλίτες - Χαλαζίτες:

Το τμήμα αυτό βρίσκεται στην ανατολική και νότια πλευρά της περιοχής που μελετάται. Αποτελείται από διάφορα είδη σχιστόλιθων μικα-καρβονικό, σχιστόλιθους σε αλλαγή με φυλλίτες και χαλαζίτες.

∅ Ενότητα της Πίνδου:

Η ενότητα αυτή κυριαρχεί στο βορειοδυτικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής, ιδιαίτερα στη δυτική πλευρά των Αγ.Σαράντα και αποτελείται κυρίως από φλύσχη. Τα στοιχεία

από τα γεωηλεκτρικά δεδομένα δείχνουν ότι φλύσχη υπάρχει επίσης στο κάτω μέρος της όλης λεκάνης.

4.4.2 ΜΕΤΑΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Ø Οι μετααλπικοί σχηματισμοί κυριαρχούν το εσωτερικό μέρος της λεκάνης, αλλά βρίσκονται επίσης και στο δυτικό σύνορο. Αυτός ο σχηματισμός αποτελείται από:

- Νεογενή ιζήματα
Βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής που μελετάται και αποτελούνται από γκρι χρώματος πηλό. Μεταξύ τους, υπάρχουν στρώματα της άμμου και ασβεστόλιθου.
- Πλειστόκαινα-Ολόκαινα ιζήματα οποία αποτελούνται από:
 - Κόκκινους ετερογενείς ομίλους με στρώματα άμμου και ιλυόλιθου. Κυρίως βρίσκονται στο εσωτερικό μέρος της λεκάνης και το πάχος τους μπορεί να είναι μέχρι 140 τ.μ., σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν σε υφιστάμενες γεωτρήσεις.
 - Scari: πρόκειται για ετερογενείς ομίλους που υπάρχουν στα χαμηλότερα μέρη των βουνών στη βόρειο-ανατολική πλευρά της Κοινότητας της Εμπάρου.

4.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

4.5.1 Υδρογεωλογική ταξινόμηση

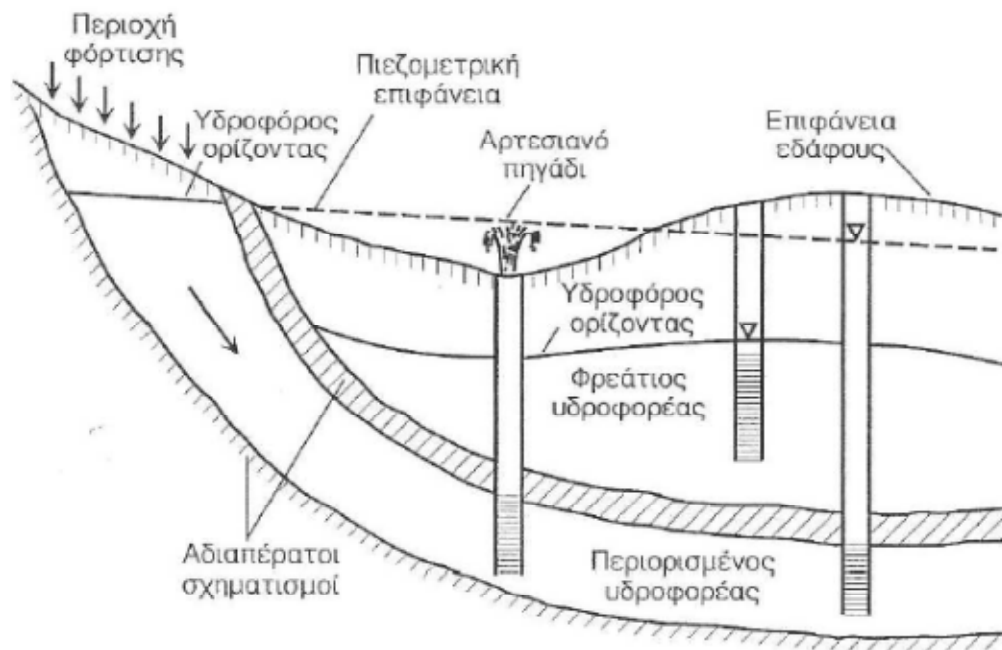
4.5.1.1 Υδροφοροι Ορίζοντες

Γίνεται διάκριση των υπόγειων υδροφορέων με βάση το αν εμφανίζεται ή όχι ελεύθερη επιφάνεια σ' αυτόν. Έτσι :

(i) Περιορισμένος ή υπο πίεση υδροφορέας λέγεται ο υδροφορέας που περιορίζεται από πάνω και από κάτω από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς. Χαρακτηριστικό του υπό πίεση υδροφορέα είναι αν ανοιχτεί ένα πηγάδι μέσα σ' αυτόν τότε η στάθμη του νερού θα ανέβει ψηλότερα από το αδιαπέρατο στρώμα και ίσως φτάσει ως την επιφάνεια του εδάφους. Αν τοποθετηθεί σωστά ένα φρέαρ παρατήρησης ή πιεζόμετρο, όπως λέγεται, η στάθμη του νερού σ' αυτό θα δείχνει το πιεζομετρικό φορτίο στη συγκεκριμένη θέση. Επομένως, πιεζομετρική επιφάνεια είναι η ιδεατή εκείνη επιφάνεια που θα ορίζονταν από τις στάθμες πιεζομέτρων σε διάφορα σημεία κατά την οριζόντια έκταση του υπόγειου υδροφορέα.

(ii) Φρεάτιοι ή υδροφορείς με ελεύθερη επιφάνεια λέγονται οι υδροφορείς που ενώ το κάτω όριό τους συμπίπτει με αδιαπέρατο σχηματισμό, το πάνω όριό τους είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι τροφοδοτούνται απευθείας με διηθούμενο από την επιφάνεια νερό εκτός αν περιορίζονται και από πάνω με αδιαπέρατη στρώση, η οποία βέβαια βρίσκεται ψηλότερα από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

(iii) Ημιπερατοί : Είναι περιπτώσεις υδροφορέων (υπό πίεση ή ελεύθεροι) στους οποίους τα τυχόν αδιαπέρατα στρώματα δεν είναι τελείως αδιαπέρατα αλλά παρόλη τη μεγάλη αντίσταση που προβάλλουν στην κίνηση του νερού, όταν πρόκειται για μεγάλης έκτασης υδροφορείς, η ποσότητα νερού που μπορεί να μπει στον υδροφορέα είναι σημαντική. Σ'αυτή την περίπτωση οι υδροφορείς λέγονται υπό πίεση με διαρροή υδροφορείς ή φρεάτιοι με διαρροή υδροφορείς (ανάλογα αν είναι φρεάτιοι ή υπο πίεση).



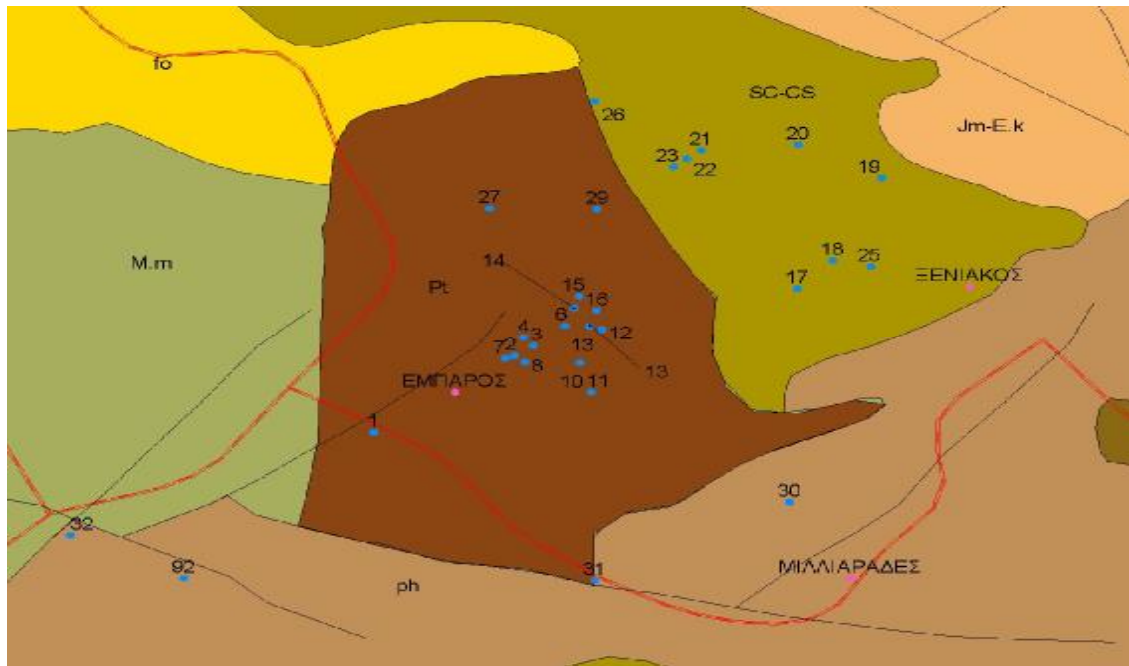
Σχήμα 4.1 Σχηματική παράσταση βασικών τύπων υδροφορέων (Λατινόπουλος, 2008)

Στην περιοχή που μελετάται, το τμήμα της Κρήτης-Μάνης και το τμήμα της Πίνδου δεν έχουν κανένα υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, καθώς δεν αναμένονται υπόγεια ύδατα λόγω του εδάφους.

Από την άλλη πλευρά, η περιοχή με το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, περιέχει τους ετερογενείς ομίλους του Νεογενούς, όπου αναπτύσσεται ο υδροφορέας της λεκάνης. Αυτός ο σχηματισμός βρίσκεται σε όλη τη λεκάνη. Το πάχος του ποικίλει και εξαρτάται

από τις τεκτονικές συνθήκες. Συνεπώς, ο υδροφορέας αναπτύσσεται σε μια περιορισμένη ζώνη που βρίσκεται στο βόρειοανατολικό τμήμα της κοινότητας της Εμπάρου. Στα άλλα μέρη της περιοχής, το πάχος των ετερογενών ομίλων δεν είναι σημαντικό, ενώ η παρουσία του πηλού είναι σημαντική αφού ο υδροφόρος ορίζοντας δεν μπορεί να αναπτυχθεί ανάμεσα σε αυτούς τους σχηματισμούς.

Στην Εικόνα 4.6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι περιοχές των γεωτρήσεων και των δύο πηγών που υπάρχουν στην περιοχή.



Εικόνα 4.6 Τοποθεσία γεωτρήσεων.

Στην πιο πάνω εικόνα, οι αριθμοί 2-27 συμβολίζουν τις γεωτρήσεις Γ2-Γ27. Ο αριθμός 1 συμβολίζει την πηγή ανεβάλουσα πηγή Π1 και ο αριθμός 92 συμβολίζει τις πηγές Π2.

Όλα τα συμπεράσματα από τις μετρήσεις στην περιοχή συνοψίζονται πιο κάτω: (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998)

α) Στη γεώτρηση Γ.19, τα στρώματα ασβεστόλιθου ετερογενών ομίλων που περιβάλλονται από στρώματα πηλού αναμειγνύονται με ετερογενείς ομίλους (έως 5m πάχος). Το πάχος αυτού του σχηματισμού είναι 119m και από κάτω βρέθηκε φλύσχη. Ως αποτέλεσμα, ο υδροφορέας διαπιστώθηκε ότι είναι ένας περιορισμένος υδροφόρος ορίζοντας.

β) Στη γεώτρηση Γ.23, μέχρι και 70m, στα στρώματα των ετερογενών ομίλων, βρέθηκαν άργιλος και μάργα. Πιο κάτω από αυτά τα στρώματα, βρέθηκε πλαστικό αργίλου το οποίο δεν ανήκει σε οποιοδήποτε προηγούμενο αναφερθέντα σχηματισμό. Παρόλο που τα πετρώματα που βρέθηκαν σε αυτή τη γεώτρηση είναι τα ίδια με τα προηγούμενα, τα βάθη των στρώσεων δεν είναι τα ίδια.

γ) Στο Ξερόκαμπο, η γεώτρηση Γ.26 έχει φτάσει τα 240m υπογείως και δεν βρέθηκαν υπόγεια ύδατα.

δ) Στο Άγιο Γεώργιο, στη γεώτρηση Γ.27 έχουν βρεθεί κυρίως στρώσεις από μάργα. Βρέθηκαν επίσης ασήμαντες ποσότητες υπόγειων υδάτων.

ε) Η γεώτρηση Γ.32 έχει φτάσει το βάθος των 120m και δεν βρέθηκαν υπόγεια ύδατα λόγω της ύπαρξης φλύσξης.

στ) Στα πρώτα 28m της γεώτρησης Γ.11 βρέθηκε είδος αργίλου και χάλικα. Κάτω από αυτά, αρκετές στρώσεις των ετερογενών ομίλων που είχαν διακοπεί από στρώματα αργίλου και χάλικα (μέχρι 10m πάχος), επίσης βρέθηκε φλύσχη που έφθανε τα 140m σε βάθος.

ζ) Στη γεώτρηση Γ.12, η στάθμη των υπόγειων υδάτων ήταν 17m. Στα πρώτα 18m βρέθηκε είδος αργίλου ενώ πιο κάτω βρέθηκαν ετερογενείς όμιλοι. Ως αποτέλεσμα, ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ένας περιορισμένος υδροφορέας.

η) Στη δυτική πλευρά της γεώτρησης Γ.12, υπάρχει η γεώτρηση Γ.20. Εκεί, βρέθηκαν ετερογενείς όμιλοι με χάλικα μέχρι το βάθος των 75m, όπου διακόπηκαν από τα στρώματα του αργίλου, πάχους 2m. Πάνω απ' αυτά, υπάρχουν στρώματα αμμόλιθων πάχους 8m. Στην ανώτερη ζώνη, βρέθηκαν στρώματα «μίκια».

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι για την ανάπτυξη του υδροφόρου ορίζοντα, οι εδαφικές τροποποιήσεις παίζουν μεγάλο ρόλο. Στην περιοχή που μελετάται, υπάρχει μια εδαφική τροποποίηση από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη ετερογενών ομίλων μεταξύ Αγίων Σαράντα και Τρύπης (Γ.19). Μια άλλη εδαφική τροποποίηση υπάρχει μεταξύ του Δήμου της Εμπάρου και Τρύπης (Γ.19) με κατεύθυνση βορειοανατολικά και έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη ετερογενών ομίλων που υπερβαίνουν το πάχος των 130m σε ορισμένα σημεία.

Από όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν, συμπεραίνουμε ότι δύο σχεδόν κάθετοι υδροφορείς υφίστανται στην περιοχή. Ο πρώτος έρχεται μέσω των γεωτρήσεων Γ.11 και Γ.19 και ο δεύτερος μέσω Γ.19 και Γ.22. Το όριο του υδροφορέα προς τα βόρεια, βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ Γ.22 και Γ.23 και νότια γύρω από την περιοχή Π1 (Ανεβάλουσα). Το μεγαλύτερο πάχος των ετερογενών ομίλων βρίσκεται μεταξύ της Γ.11 και της Γ.19 και είναι μεταξύ 120 και 140m. Τα υπόγεια ύδατα αναμένονται να κατευθύνονται από βόρεια προς νότια, διερχόμενα από τις πιο πάνω αναφερθέντες γεωτρήσεις.

4.5.2 ΥΨΟΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Υπάρχουν πολυάριθμες γεωτρήσεις των υπόγειων υδάτων στη λεκάνη. Από αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί δώδεκα για τον προσδιορισμό της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Όλες οι μετρήσεις διεξήχθησαν στις διακοπές και το απόγευμα, έτσι ώστε να έχουν ένα ήρεμο υδροφόρο ορίζοντα. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις έγιναν τις ακόλουθες ημερομηνίες: 27/12/1993, 11/5/1994, 18/7/1994, 10/1/1995 και 14/10/1994. Από τις μετρήσεις που έγιναν υπολογίστηκε η μέση στάθμη των υπόγειων υδάτων πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3 (Δρ. Νικόλαος

Λαμπράκης, 1998). Η δεύτερη στήλη δείχνει το υψόμετρο της κάθε γεώτρησης ενώ η τρίτη στήλη μας δίνει τη μέση στάθμη των υπόγειων υδάτων σε κάθε γεώτρηση. Η διαφορά αυτών των δύο μας δίνει το μέσο υδραυλικό φορτίο.

Γεώτρηση (Ταυτ.)	Υψόμετρο (μ)	Μέση στάθμη των υπογείων υδάτων (μ asl)
Γ.2	423.7	404.73
Γ.3	423.7	403.08
Γ.6	423.0	402.94
Γ.11	440.0	402.70
Γ.12	426.5	401.55
Γ.18	428.0	408.23
Γ.19	461.7	398.84
Γ.20	433.0	404.10
Γ.21	429.0	403.62
Γ.22	428.9	403.71
Γ.23	424.5	404.73
Γ.25	444.28	402.50

Πίνακας 4.3: Μέσος όρος ύψους υπογείων υδάτων στην περιοχή της Εμπάρου.

Από αυτές τις μετρήσεις, δύο πιεσομετρικοί χάρτες συντάχθηκαν για τον υδροφόρο ορίζοντα. Ο πρώτος στις 14/10/1994 (περίοδος υγρασίας) και ο δεύτερος στις 11/05/1994 (περίοδος ξηρασίας). (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998) Τα συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Περίοδος Υγρασίας: Τα υπόγεια ύδατα ρέουν από βορειοανατολικά προς τα δυτικά-νότια.

Η υδραυλική κλίση είναι 0,7 % .

- Περίοδος Ξηρασίας: Τα υπόγεια ύδατα ρέουν από βορειοανατολικά προς τα δυτικά-νότια.

Η υδραυλική κλίση είναι 0,3 % .

Η μέση διαφορά μεταξύ των επιπέδων σε δύο περιόδους είναι 5m. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο υδροφόρος ορίζοντας εκτείνεται σε 0,65 Km² και ότι ο συντελεστής αποθηκευτικότητας είναι 30%, η άντληση των υπόγειων υδάτων κατά τη διάρκεια του 1994 ήταν 975,000 m³. (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998)

4.5.3 Γεωτρήσεις Υπόγειων Υδάτων

Η πλειοψηφία των γεωτρήσεων των υπόγειων υδάτων στο κέντρο της λεκάνης είναι ιδιωτική. Ο δήμος της Εμπάρου διαθέτει τρεις γεωτρήσεις, ο δήμος του Ξενιακού διαθέτει μία γεώτρηση, και ο δήμος Μιλιαρδών διαθέτει δύο γεωτρήσεις. Η ιδιωτικές γεωτρήσεις στην περιοχή ξεπερνούν τις είκοσι. Παρολ'αυτά, μόνο οι δώδεκα γεωτρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της στάθμης των υπόγειων υδάτων.

Ο όγκος της άντλησης των υπόγειων υδάτων από ιδιωτικές γεωτρήσεις θεωρείται αμελητέος, επειδή καλύπτει τοπικές αγροτικές ανάγκες, που δεν είναι πολύ υψηλές. Όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις για τις αντλήσεις των υπογείων υδάτων φαίνονται στον Πίνακα 4.4. Ο ετήσιος όγκος υπολογίστηκε σύμφωνα με τις ανάγκες άρδευσης.

Όλες οι αντλήσεις γίνονται από το Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο. Εκτιμάται ότι τα υπόγεια ύδατα αντλούνται σχεδόν 9 ώρες την ημέρα.

Όνομα	Ιδιοκτήτης	Ποσοστό(m ³ /h)	Ετήσιος όγκος (m ³)
Γ.1	Λιπάκης Βασίλειος	25	40375
Γ. 2	Μιλιαράς Γεώργιος	25	40375
Γ.3	Κοινότητα Εμπάρου	50	80750
Γ. 4	Σταματάκης Εμμανουήλ	25	40375
Γ. 5	Πλαγιατάκης	-	0
Γ. 6	Κονδηλάκης	-	0
Γ. 7	Ορφανάκης Ιωάννης	28	45220
Γ. 8	Λιπάκη Μαρία	25	40375
Γ. 9	Σταυρουλάκης Ιωάννης	25	40375

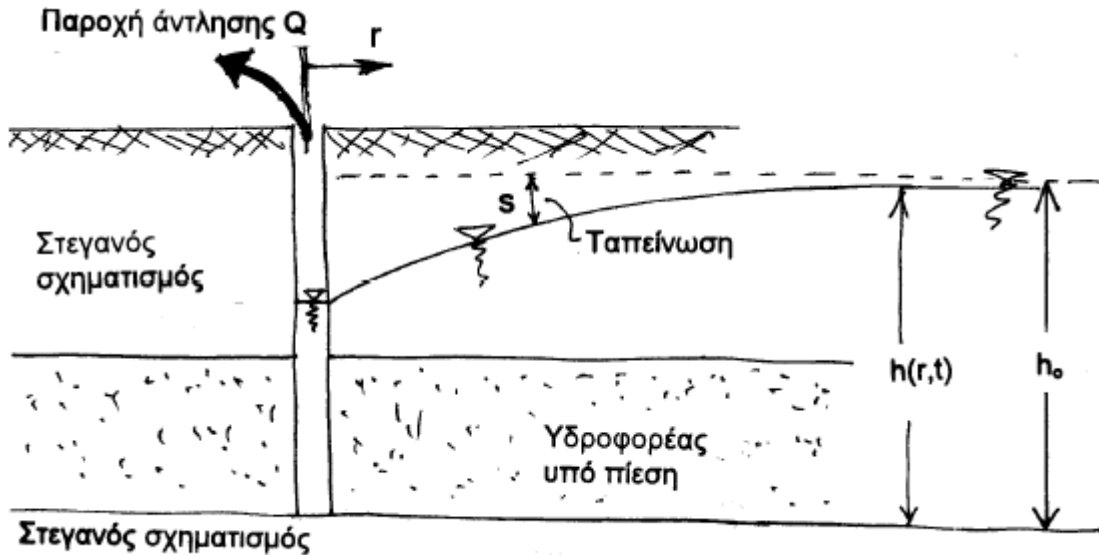
Γ. 10	Μανωλάκης Νικόλαος	20	32300
Γ. 11	Κοινότητα Εμπάρου	-	0
Γ. 12	Περογιαννάκης Κωνσταντίνος	10	16150
Γ. 13	Αναγνωστάκης Γεώργιος	25	40375
Γ. 14	Καρχιλάκης Ιωάννης	25	40375
Γ. 15	Σταυρουλάκης Ιωάννης	25	40375
Γ. 16	Βιαννιτάκης Μιχάλης	25	40375
Γ. 17	Μπελεχάκης Γεώργιος	30	48450
Γ. 18	Ορφανάκης Ιωάννης	45	72675
Γ. 19	Κοινότητα Εμπάρου	-	0
Γ. 20	Κοινότητα Εμπάρου	-	0
Γ. 21	Ζερβάκης Αριστοτέλης	25	40375
Γ. 22	Στιβακτάκης Αριστοτέλης	-	-
Γ. 23	Σκιβαλάκης Χαράλαμπος	-	-
Γ. 24	Ορφανάκης	Αποτυχία	-
Γ. 25	Κοινότητα Εμπάρου	-	-
Σύνολο Άντλησης			699.295

Πίνακας 4.4 Αντλήσεις υπόγειων υδάτων στην περιοχή

Από τον πιο πάνω πίνακα, οι αντλήσεις υπόγειων υδάτων έχουν υπολογιστεί ότι είναι σχεδόν 700.000 m³. Ωστόσο, τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται επίσης για την παροχή νερού προς τους ντόπιους. Έχει υπολογιστεί ότι 200.000 m³ από τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται ετησίως για την παροχή νερού. Ως εκ τούτου, το ποσό αυτό πρέπει να προστεθεί και η συνολική άντληση θα είναι πλέον 900.000 m³.

4.5.4 Υδραυλικές Ιδιότητες

4.5.4.1 Κίνηση του υπόγειου νερού προς αντλούμενες γεωτρήσεις



Σχήμα 4.2 Σχηματική παράσταση βασικών τύπων υδροφορέων (Λατινόπουλος, 2008)

Η εξίσωση συνέχειας αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων για την προσομοίωση της κίνησης του υπόγειου νερού προς αντλούμενες γεωτρήσεις. Η εξίσωση συνέχειας σε κυλινδρικές συντεταγμένες γράφεται (θεωρώντας μηδενικές απώλειες):

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = T \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h}{\partial r} \right) \right\} \quad (i)$$

και στην περίπτωση του Σχήματος 4.2 έχει την εξής λύση:

$$h(r,t) = h_0 - \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{1}{w} e^{-w} dw \quad (ii)$$

όπου: $h_0 = h(\infty, t)$ είναι το αρχικό υδραυλικό φορτίο πριν από την έναρξη των αντλήσεων,

Q είναι η παροχή αντλήσεως (m³/sec) που ισούται με:

$$Q = 2\pi r T \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right)$$

και: $u = \frac{r^2 S}{4 T t}$ είναι μια βοηθητική μεταβλητή

Το ολοκλήρωμα που υπεισέρχεται στην ανωτέρω σχέση μπορεί να υπολογισθεί με αριθμητική ολοκλήρωση. Ειδικά, για τιμές του $u < 0.01$ προκύπτει ότι:

$$W(u) \equiv \int_u^{\infty} \frac{1}{w} e^{-w} dw \approx \ln \left(\frac{0.5625}{u} \right)$$

Υπολογίζεται στη συνέχεια η ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα:

$$s(r, t) \equiv h_o - h(r, t)$$

οπότε από τη σχέση προκύπτει η εξίσωση Jacobs:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

η οποία για $u < 0.01$ μπορεί να γραφεί:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25 T t}{r^2 S} \right) \quad (\text{iii})$$

Η τελευταία σχέση (iii) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η λεγόμενη ακτίνα επιρροής (R) της γεώτρησης, δηλαδή η ακτίνα της περιοχής γύρω από τη γεώτρηση όπου η ταπείνωση της στάθμης είναι σημαντική. Πράγματι, θέτοντας $s = 0$ στη σχέση (iii) προκύπτει: $u = 0.5625$ και συνεπώς:

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{T t}{S}} \quad (\text{iv})$$

δηλαδή η ακτίνα επιρροής της άντλησης αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, με αντικατάσταση της σχέσης (iv) στην εξίσωση Jacobs (iii) προκύπτει ότι η ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα δίνεται από τη σχέση:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \left(\frac{R}{r} \right) \quad (\text{v})$$

Η ανωτέρω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της μεταφορικότητας (T) ενός υδροφορέα εάν είναι γνωστή η ταπείνωση της στάθμης (s_1, s_2) σε δύο θέσεις που βρίσκονται σε αποστάσεις (r_1, r_2) από την αντλούμενη γεώτρηση. Πράγματι, από την σχέση (v) προκύπτει ότι:

$$s_2 - s_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)$$

και συνεπώς:

$$T = \frac{Q}{2\pi (s_2 - s_1)} \ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \quad (\text{vi})$$

Στην «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου», (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998), έγιναν κάποιες μετρήσεις στις γεωτρήσεις Γ.3 και Γ.19 και χρησιμοποίησαν την εξίσωση του Jacob για τον υπολογισμό της μεταβατικότητας και της αποθηκευτικότητας από αυτές τις γεωτρήσεις. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέση μεταβαστικότητα για την γεώτρηση Γ.3 είναι $2,37 \text{ m}^2/\text{min}$, δηλαδή $3412,8 \text{ m}^2/\text{ημερησίως}$ και για την γεώτρηση Γ.19 είναι $0,21 \text{ m}^2/\text{min}$, δηλαδή $302,4 \text{ m}^2/\text{ημερησίως}$.

Η υδραυλική αγωγιμότητα (K) είναι η παράμετρος του πορώδους μέσου που αποτελεί το μέτρο της ικανότητας του νερού να μετακινείται μέσω των διάκενων του πορώδους μέσου. Πρόκειται δηλαδή για μία παράμετρο που χαρακτηρίζει τη διαπερατότητα του πορώδους μέσου. Ο συντελεστής K έχει διαστάσεις ταχύτητας [L/T]. Σε περίπτωση οριζόντιας μονοδιάστατης ή διδιάστατης ροής σε ένα ομογενές και ισότροπο στρώμα με δεδομένο πάχος d, χρησιμοποιείται πολύ συχνά η παράμετρος της μεταφορικότητας (T), η οποία προσδιορίζει την ικανότητα ενός υδροφορέα να μεταφέρει νερό και ορίζεται από τη σχέση $T = K \cdot d$. Η μεταφορικότητα έχει διαστάσεις [L²/T] (Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, 1999)

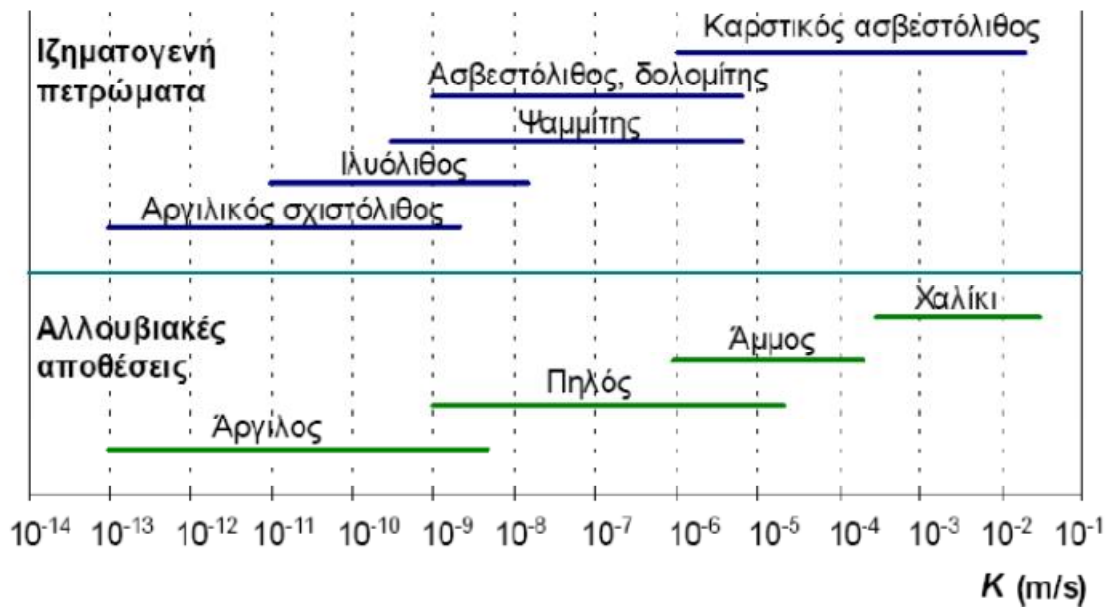
$$T = K \times d \quad K = T \div d$$

K: υδραυλική αγωγιμότητα

T: μεταφορικότητα

d: πάχος του υδροφορέα (όπου υπάρχουν υπόγεια ύδατα)

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας για το νερό που κινείται σε διάφορα γεωλογικά μέσα.



Σχήμα 4.3 Διαστήματα μεταβολής της υδραυλικής αγωγιμότητας για διάφορα γεωλογικά μέσα, μεβάση στοιχεία των Domenico and Swartz, 1990 (Πηγή: Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, 1999)

Βάσει βιβλιογραφίας η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Υδραυλική Αγωγιμότητα K (m/sec)	Χαρακτηρισμός
$10^{-3} \leq K$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-5} \leq K < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-7} \leq K < 10^{-5}$	ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-9} \leq K < 10^{-7}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$K < 10^{-9}$	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Πίνακας 4.5 : Χαρακτηριστικές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας (Terzaghi & Peck-1967)

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς τομείς των γεωτρήσεων από την «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου», (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998), για την γεώτρηση Γ.3, $d=22,6\text{m}$. Κατά συνέπεια, η υδραυλική αγωγιμότητα στη γεώτρηση Γ.3 είναι 151m ημερησίως. Για τη γεώτρηση Γ.19, το πάχος του υδροφορέα που υπάρχουν τα υπόγεια ύδατα είναι $41,20\text{m}$. Έτσι, η υδραυλική αγωγιμότητα στη γεώτρηση Γ.19 είναι $7,34\text{ m}$ ημερησίως.

4.5.5 Πηγές

Στο παρόν, δεν υπάρχουν πηγές στην περιοχή, παρόλο που, στο παρελθόν, τα υπόγεια ύδατα "ξεχειλίζουν" τον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτή η απόρριψη των υπόγειων υδάτων έπαψε να υπάρχει σταδιακά, λόγω της ανεξέλεγκτης άντλησης των υπόγειων υδάτων.

4.6 ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το πρότυπο μοντέλο περιγράφει τη γεωμετρία του υδροφόρου ορίζοντα, το καθεστώς ροής και ποσοτικοποιεί τον προϋπολογισμό του νερού για τον υδροφόρο ορίζοντα.

4.6.1 Γεωμετρία Υδροφορέα

Η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται σε χώρο τριών διαστάσεων. Εξαιτίας όμως της ειδικής γεωμετρίας που συναντάμε στους υπόγειους υδροφορείς είναι δυνατό η κίνηση των υπόγειων νερών με πολύ καλή προσέγγιση να αντιμετωπίζεται σε χώρο δύο διαστάσεων x και y . Το γεγονός ότι στην πραγματικότητα το πάχος των υπόγειων υδροφορέων είναι κατά πολύ μικρότερο από τις οριζόντιες διαστάσεις τους ευνοεί τη θεώρηση του η κίνηση των υπογείων νερών να αντιμετωπίζεται ως δισδιάστατη. Γίνεται η υπόθεση δηλαδή ότι η ροή του νερού γίνεται παντού παράλληλα με το οριζόντιο επίπεδο, αγνοούνται επομένως οι κατακόρυφες συνιστώσες της. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται με ολοκλήρωση των εξισώσεων ροής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, ως προς το πάχος του υδροφορέα δηλαδή. Τυπική περίπτωση απόλυτης ισχύος της υπόθεσης είναι η ροή σε οριζόντιους περιορισμένους υδροφορείς, ενώ περιπτώσεις σημαντικής απόκλισης από την παραδοχή οριζόντιας ροής εμφανίζονται κυρίως σε τοπικά φαινόμενα, π.χ. σε πηγάδια, πηγές κλπ. Και σ'αυτές τις περιπτώσεις γίνεται η εκτίμηση ότι η παράλειψη της κατακόρυφης συνιστώσας της ροής δεν προκαλεί ουσιαστικά σφάλματα σε αποστάσεις από τα σημεία αυτά που είναι μεγαλύτερες από το διπλάσιο του πάχους του υδροφορέα.

Ο υδροφόρος ορίζοντας περιλαμβάνει κυρίως Αλούβιο και Πλειστόκαινο. Το πάχος του υδροφορέα κυμαίνεται από 120 m στα βόρεια (Γ19) στα 140 m νότια (Γ11), εξισορροπείται έως 90 m στα δυτικά (Γ3) και συνεχίζει να μειώνεται προς αυτή την κατεύθυνση.

4.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

4.7.1 Εισροές

4.7.1.1 Τροφοδοσία Κατείσδυσης

Στην Ενότητα 4.3.4, έχει υπολογιστεί ότι το πλεόνασμα νερού λόγω της βροχής είναι 237,4 χιλιοστά και διεισδύουν στη λεκάνη 300000 m³ νερού.

4.7.1.2 Τροφοδοσία Από Επιφανειακά Ύδατα

Η μόνη επαναφόρτιση που μπορεί να υπάρχει είναι από τον Βαρύτη ποταμό. Η μόνη σημαντική επιφανειακή ροή από το Βαρύτη ποταμό προκύπτει τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο και τον Απρίλιο. Ωστόσο, δεν είναι σαφής η υδρολογική σχέση μεταξύ του ποταμού και του υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον, υπάρχουν δύο τεχνητές δεξαμενές που μπορούν να επαναφορτιστούν από τα επιφανειακά ύδατα. Δεν έχει διεξαχθεί ποτέ μέτρηση της επιφανειακής ροής, αλλά οι ντόπιοι δεν αναφέρουν καμία σημαντική επιφανειακή ροή. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να υποτεθεί ότι δεν υπάρχει επιφανειακή ροή και το νερό από το ποταμό φτάνει μέχρι τις δεξαμενές. Η έννοια αυτή μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης.

4.7.1.3 Νεότερες Εισροές Υπόγειων Υδάτων

Έχει υπολογιστεί ότι 600000 m³ νερού προέρχονται από γειτονικούς γεωλογικούς επιφανειακούς ή υπόγειους σχηματισμούς του νερού και τροφοδοτούν τον υδροφόρο ορίζοντα της Εμπάρου.

Από το γεωλογικό χάρτη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι νότια και νοτιο-ανατολικά υπάρχουν φυλλίτες, οι οποίοι είναι αδιαπέραστοι σχηματισμοί. Στη βόρειο-δυτική πλευρά της λεκάνης, παρατηρείται φλύσχη. Η φλύσχη είναι πολύ αδιάβροχη. Στη δυτική πλευρά της λεκάνης, μπορούν να βρεθούν κοιτάσματα μειόκαινου. Αποτελούνται κυρίως από άργηλο, ο οποίος είναι πάρα πολύ αδιαπέραστος. Στη βορειοανατολική πλευρά της λεκάνης, υπάρχουν Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι είναι διαπερατοί και προμηθεύουν τον υδροφόρο ορίζοντα της Εμπάρου. Ως εκ τούτου, 600000 m³ νερού προμηθεύουν τον υδροφόρο ορίζοντα της Εμπάρου από την βορειοανατολική πλευρά.

Γεωλογικό μέσο	Πορώδες			Ειδική απόδοση		
	Ελάχ.	Μεσ.	Μέγ.	Ελάχ.	Μεσ.	Μέγ.
Αλλουβιακές αποθέσεις						
Άργιλος	0,34	0,42	0,57	0,01	0,06	0,18
Πηλός	0,34	0,46	0,51	0,01	0,20	0,39
Λεπτόκοκκη άμμος	0,26	0,43	0,53	0,01	0,33	0,46
Μέση άμμος	0,29	0,39	0,49	0,16	0,32	0,46
Χονδρόκοκκη άμμος	0,31	0,39	0,46	0,18	0,30	0,43
Λεπτόκοκκο χαλίκι	0,25	0,34	0,39	0,13	0,28	0,40
Μέσο χαλίκι	0,24	0,32	0,44	0,17	0,24	0,44
Χονδρόκοκκο χαλίκι	0,24	0,28	0,37	0,13	0,21	0,25
Ιζηματογενή πετρώματα						
Ψαμμίτης	0,14	0,36	0,49	0,02	0,24	0,41
Ιλυόλιθος	0,29	0,35	0,48	0,01	0,12	0,33
Αργιλικός σχιστόλιθος	0,01	0,06	0,10			
Ασβεστόλιθος	0,07	0,30	0,56	0,02	0,14	0,36
Δολομίτης	0,19	0,26	0,33			

Πίνακας 4.6 Χαρακτηριστικές τιμές πορώδους και ειδική απόδοσης για διάφορα γεωλογικά μέσα(Πηγή:Δ.Κουτσογιάννης & Θ.Ξανθόπουλος,1999)

4.7.2 Εκροές

Οι μοναδικές εκροές από την λεκάνη είναι οι αντλήσεις υπόγειων υδάτων, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς. Σύμφωνα με το κεφάλαιο 4.5.3, τα ποσά άντλησης υπόγειων υδάτων σε 900000 m³ ετησίως, αν λάβουμε υπόψη τις ανάγκες ύδρευσης.

ΕΙΣΡΟΕΣ		ΤΙΜΗ x10⁶ m³	ΣΧΟΛΙΑ
Διείσδυση βροχόπτωσης Επιφανειακή διείσδυση νερού.		0,3	Καμία σημαντική διείσδυση λόγω των επιφανειακών υδάτων.
Πλευρικές εισροές υπόγειων υδάτων.		0,6	Προέρχονται από την βορειο- ανατολική πλευρά της λεκάνης.
	Σύνολο εισροών	0,9	
ΕΚΡΟΕΣ			
Αντληση υπόγειων υδάτων.		0.9	Χρειάζονται για τις ανάγκες τις καλλιέργειας και της τοπικής ύδρευσης.
	Total Outflows	0,9	
	Grand total	0	

Πίνακας 4.: Υδρολογικό Ισοζύγιο

4.8 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Για την επίλυση προβλημάτων υπόγειων ροών που αφορά μεταβολές πιεζομετρικού φορτίου ϕ σε πεδίο τριών διαστάσεων δεν αρκούν οι τρεις εξισώσεις κίνησης ρευστού που υποκαθίστανται από το νόμο του Darcy (μια εξίσωση για κάθε διεύθυνση) γιατί τα άγνωστα μεγέθη είναι τέσσερα (οι τρεις συνιστώσες της ταχύτητας διήθησης και το πιεζομετρικό φορτίο). Επομένως είναι απαραίτητη ακόμα μία εξίσωση, η εξίσωση διατήρησης μάζας, ή εξίσωση συνέχειας.

Οι εξισώσεις Darcy, όπως αυτές γράφονται για ομογενές πορώδες μέσο και υγρό σταθερής πυκνότητας είναι :

$$u = qx = \frac{\partial \Phi}{\partial x}$$

$$v = qy = \frac{\partial \Phi}{\partial y}$$

$$w = qz = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

Η εξίσωση συνέχειας διατυπώνεται ως εξής :

«Η μάζα του νερού σε διαφορικό όγκο διατηρείται (ανά μονάδα χρόνου δηλαδή, η διαφορά της μάζας που εισέρχεται μείον τη μάζα που εξέρχεται ισούται με τη μεταβολή μάζας στο διαφορικό όγκο».

Μαθηματικά διατυπώνεται ως εξής :

$$\frac{\partial(\rho n)}{\partial t} = - \left(\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \right)$$

όπου

- ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού, η οποία μπορεί να εμφανίζει χωροχρονικές διακυμάνσεις,
- n είναι το πορώδες του υδροφορέα και
- q η ειδική παροχή.

Συνδυάζοντας την εξίσωση συνέχειας με τον νόμο του Darcy, προκύπτει η εξίσωση ροής, η οποία στην περίπτωση ισότροπου και ανομοιογενή υδροφορέα έχει την μορφή:

$$S_s \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)$$

Όπου:

- φ είναι το πιεζομετρικό φορτίο,
- S_s είναι η ειδική αποθηκευτικότητα του υδροφορέα και
- K είναι η υδραυλική αγωγιμότητα.

Στην περίπτωση ανισότροπου και ανομοιογενή υδροφορέα, η παραπάνω εξίσωση ροής τροποποιείται ως ακολούθως:

$$S_s \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)$$

Οι παραπάνω δύο εξισώσεις ροής ισχύουν σε περιπτώσεις μη μόνιμης ροής.

Τα μαθηματικά μοντέλα συνδυάζουν λοιπόν τις εξισώσεις Darcy και την εξίσωση συνέχειας (διατήρησης μάζας) και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Αναλυτικά μοντέλα (π.χ. Μονοδιάστατη ροή, υδραυλική πηγαδιών – κυκλική συμμετρία)
- Αριθμητικά μοντέλα (π.χ. Μέθοδος πεπερασμένων διαφορών, μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για τη δημιουργία του υπολογιστικού μοντέλου θα πρέπει να αναπτυχθεί υπολογιστικά μια σταθερή κατάσταση ροής για να αντιπροσωπεύει τις συνθήκες ροής των υπογείων υδάτων της περιοχής.

5.2 ΚΑΝΑΒΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για να οριστεί σωστά ο κανάβος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαφορά ότι η αρχή των αξόνων στο σύστημα αναφοράς του κανάβου βρίσκεται στην πάνω αριστερή του γωνία και όχι στην κάτω αριστερή όπως συμβαίνει στο σύστημα των καρτεσιανών συντεταγμένων.

Ο κανάβος σχηματίζεται από δύο ζεύγη παραλλήλων γραμμών κάθετα μεταξύ τους, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα κελιά. Οι στήλες του κανάβου αντιστοιχούν στον άξονα των τετμημένων X , οι γραμμές, στον άξονα των τεταγμένων Y , ενώ τα επίπεδα του κανάβου αντιστοιχούν στον άξονα των υψομέτρων Z . Αυτό συμβαίνει ώστε ο κανάβος του Groundwater Vistas να σχετίζεται με τις καρτεσιανές συντεταγμένες.

Ο κανάβος μπορεί να είναι είτε ομοιόμορφος (uniform), όταν όλα τα κελιά που τον αποτελούν έχουν τις ίδιες διαστάσεις, είτε ανομοιόμορφος (custom), όταν το μέγεθος των κελιών ποικίλει.

Ο ομοιόμορφος κανάβος, ο οποίος άλλωστε προτιμάται και από μαθηματικής σκοπιάς ως προς την αρτιότητα του μοντέλου, αποτελεί καλή επιλογή όταν :

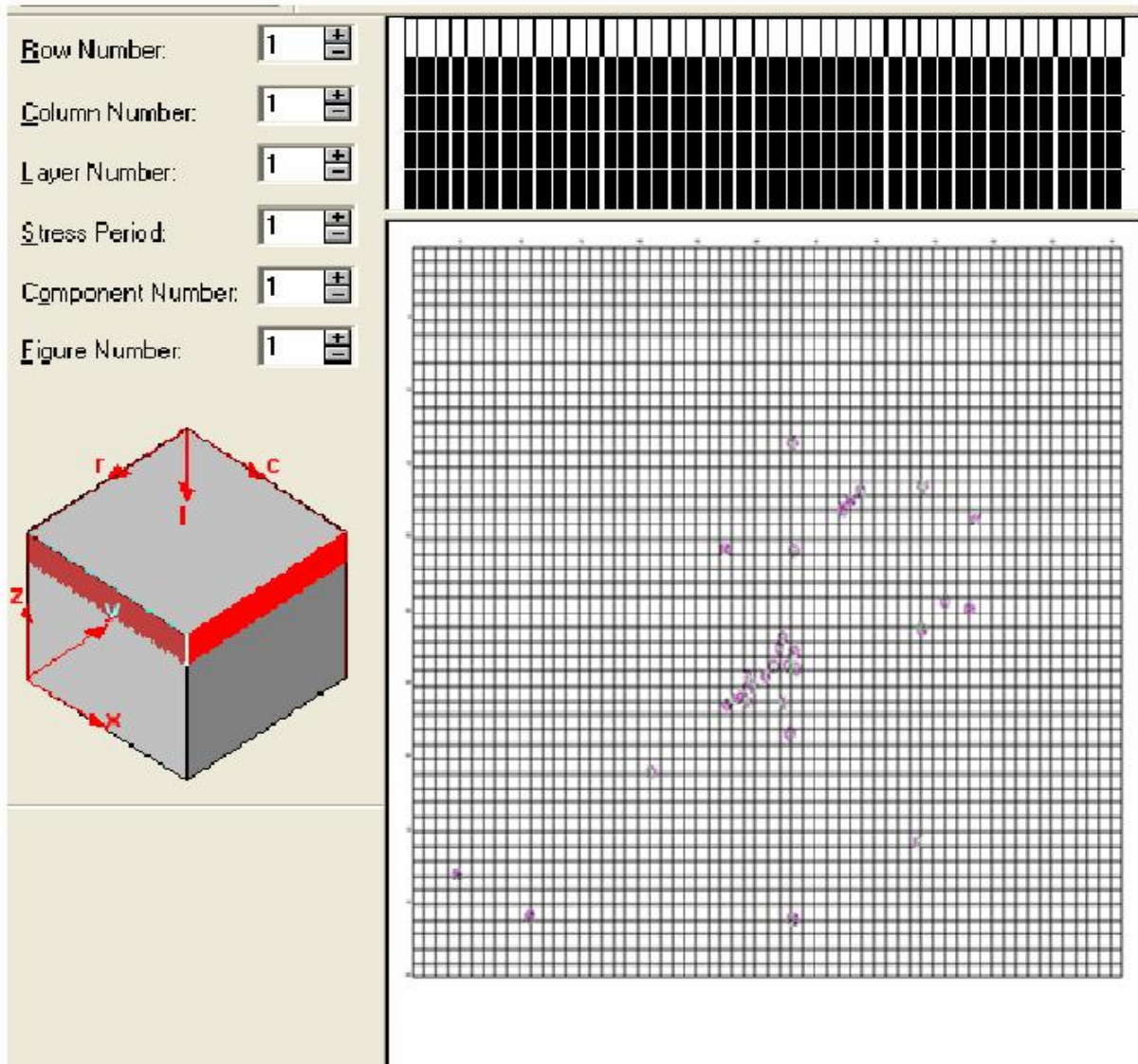
- τα δεδομένα του συστήματος είναι ομοιόμορφα κατανομημένα και
- το σύστημα αντιμετωπίζεται συνολικά και δεν εστιάζει τοπικά, δηλαδή δεν υπάρχει περισσότερο ενδιαφέρον σε κάποιες θέσεις σε σχέση με άλλες.

Σε αντίθεση, ανομοιόμορφος κανάβος χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα που υπάρχουν αφορούν συγκεκριμένα τμήματα, ενώ για άλλα μέρη της περιοχής τα αντίστοιχα δεδομένα απουσιάζουν παντελώς, αλλά κυρίως όταν υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για κάποιες συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής. Πρέπει τέλος να τονισθεί ότι στην περίπτωση εφαρμογής ανομοιόμορφου κανάβου, υπάρχει ένας σημαντικός κανόνας που πρέπει πάντα να ακολουθείται για την σωστή μαθηματική επίλυση από το μοντέλο : το μέγεθος του κελιού και στις τρεις διαστάσεις (κολώνα, γραμμή, επίπεδο) δεν μπορεί να διαφέρει (να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο) πάνω από 1,5 του μεγέθους των γειτονικών κελιών.

5.2.1 Διαστασιολόγηση κανάβου (MeshGrid)

Ο υδροφορέας περικλείεται από μια περιοχή πραγματικών διαστάσεων 5x6km, αλλά κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης μπορεί να αλλάξει, προκειμένου να επιτευχθούν πιο λεπτομερή αποτελέσματα. Επομένως οι διαστάσεις του κανάβου είναι

5000x6000 m. Τα κελιά του κανάβου έχουν διαστάσεις 100x100m επομένως αποτελείται από 50 σειρές και 60 στήλες. Τα συνολικά κελιά του κανάβου είναι 3000, εκ των οποίων τα 310 είναι ενεργά. Το πλέγμα του μοντέλου παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή έχουν επίσης ληφθεί υπ'όψιν.



Σχήμα 5.1: Απεικόνιση πλέγματος.

5.3 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.

Γενικά ένας υδροφορέας οριοθετείται βάση των γεωλογικών σχηματισμών που αποτελούν τα φυσικά εξωτερικά όρια. Τα όρια αυτά αποτελούνται από πρακτικά αδιαπέρατες γεωλογικές και υδρογεωλογικές δομές, οι οποίες επηρεάζουν μόνιμα την υπόγεια ροή. Η οριοθέτηση του υδροφορέα της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε με βάση τα παρακάτω κριτήρια.

5.3.1 Πλευρικές Οριακές Συνθήκες

Δεν έχουν ορισθεί για τα κελιά έξω από την υδρογεωλογική λεκάνη, οριακές συνθήκες ροής. Από τη δυτική πλευρά του λεκανοπεδίου, όπου υπάρχουν κοιτάσματα Μειοκαίνου, μπορεί να έχουμε πιθανές εισροές, ωστόσο δεν υπάρχει καμία αναφορά για την εμφάνιση των ροών αυτών. Ως εκ τούτου, αρχικά, δεν έχουν ορισθεί οριακές συνθήκες ροής.

Επίσης, δεν έχουν ορισθεί οριακές συνθήκες ροής στην ανατολική, βόρεια και νότια πλευρά της λεκάνης. Οι μόνες εισροές που έχουμε, προέρχονται από την βόρειο-ανατολική πλευρά της λεκάνης. Μια επαναφορτιζόμενη ζώνη αντιπροσωπεύει τις εισροές με $600,000 \text{ m}^3$ ετησίως και έχει ορισθεί να εκπροσωπεί αυτές τις πλευρικές ροές των υπόγειων υδάτων. Το Σχήμα 5.2 (βλ. Ενότητα 5.4) δείχνει την περιοχή, όπου ορίστηκαν οι πλευρικές ροές.

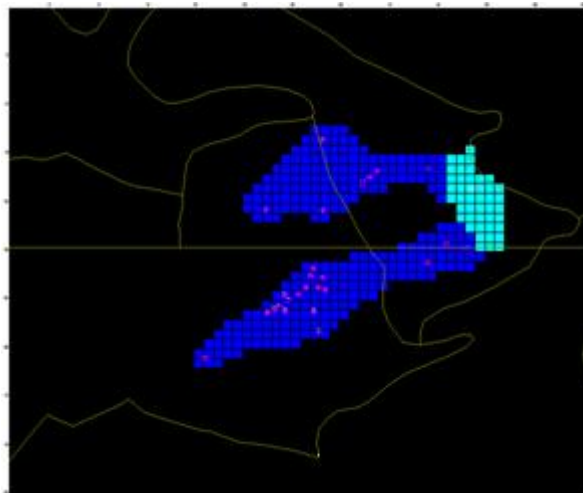
5.3.2 Κατώτατο Όριο




Η τρίτη διάσταση δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί και βασίζεται σε σημειακές πληροφορίες, όπως το βάθος των υδρογεωτρήσεων και απλή περιγραφή της λιθολογίας, διότι κατά την ανόρυξη γεωτρήσεων δεν λαμβάνεται δείγμα εδάφους και η λιθολογία που συναντάται περιγράφεται επιτόπου από τον επιβλέποντα γεωλόγο, με κατανοητή την υποκειμενικότητα της διαδικασίας. Στοιχεία σχετικά με την εκτίμηση της βάσης του υδροφορέα για την περίπτωση που εξετάζουμε, όπως γεωλογικές τομές, δεν υπάρχουν, οπότε θα λάβουμε υπόψη τα χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή και το βάθος των υδρογεωτρήσεων.

Η Ενότητα 5.2 δίνει ένα κορεσμένο υδροφόρο ορίζοντα πάχους 120m (Γ.19) για το βόρειο τμήμα και 140m (Γ.11) για το νότιο τμήμα της λεκάνης ο οποίος εξισορροπείται στα 90m (Γ.3). Το μοντέλο είχε αρχικά εισαχθεί από ένα σχηματισμένο αρχείο περιγράμματος GIS. Το ανώτατο όριο έχει ορισθεί ως η επιφάνεια του εδάφους και το κατώτατο όριο έχει ορισθεί ως τα 130 m κάτω από το ανώτατο όριο, αναλόγως πάντοτε με τη μορφολογία του εδάφους. Το κατώτατο όριο του μοντέλου μπορεί να τροποποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης. Η παρουσία ρήγματος στην περιοχή είναι αβέβαιη ως προς το πώς αυτό επηρεάζει το αποτελεσματικό πάχος του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και το πώς αυτό επηρεάζει το καθεστώς της ροής.

5.4 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Σύμφωνα με στοιχεία από την «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου», (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998), η τιμή της τροφοδοσίας που εφαρμόζεται σε όλη την περιοχή είναι 0,3871 m / ετησίως. Τα ποσά αυτά ανέρχονται σε 300,000 m³ετησίως, όπως έχει υπολογισθεί.



-  ∅ Δεν υπάρχουν οριακές συνθήκες ροής.
-  ∅ Ζώνη επαναφόρτισης 1 (επαναφόρτισηκαθίζησης).
-  ∅ Ζώνη επαναφόρτισης 2 (καθίζηση και πλευρική επαναφόρτιση).

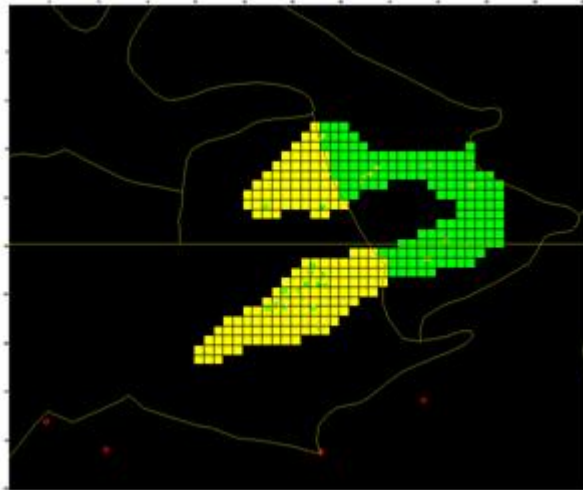
Σχήμα 5.2 Τροφοδοσία του υδροφορέα

5.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η υδραυλική αγωγιμότητα εξαρτάται από τις ιδιότητες του πορώδους και του ρευστού μέσου και αποτελεί την κρίσιμότερη παράμετρο για το μοντέλο

Στο βασικό μοντέλο έχουν οριστεί δύο ζώνες υδραυλικής αγωγιμότητας με διαφορετικές τιμές για την κάθε ζώνη. Στην πρώτη ζώνη, όπου υπάρχει «Scari», ορίστηκε μία τιμή 3,79 m ημερησίως της υδραυλικής αγωγιμότητας. Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας της δεύτερης ζώνης είναι 50.635 m/ημερησίως. Στη δεύτερη ζώνη υπάρχουν ιζήματα «Penistone» (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998).

Στο Σχήμα 6.3 που ακολουθεί, η ζώνη 1 απεικονίζεται με πράσινο χρώμα και η ζώνη 2 με κίτρινο χρώμα.



Σχήμα 5.3: Ζώνες της υδραυλικής αγωγιμότητας.

5.6 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Οι γεωτρήσεις που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.3 (βλ. Ενότητα 4.5.3). Όπως έχει υπολογιστεί στην ενότητα 4.5.3, το συνολικό ποσό των υπόγειων υδάτων που αντλείται από τη λεκάνη είναι $900,000 \text{ m}^3$ ετησίως. Το μοντέλο στη συνέχεια θα βαθμονομηθεί ως προς αυτά τα δεδομένα που λαμβάνονται σε συνθήκες σταθερής κατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Το επόμενο βήμα είναι η βαθμονόμηση του υπολογιστικού μοντέλου. Η επιτυχία της βαθμονόμησης θα πρέπει να αξιολογηθεί από ποσοτική (στατιστική) και ποιοτική άποψη. Οι ποσοτικές μετρήσεις που έγιναν περιλαμβάνουν συνήθως μαθηματική και γραφική σύγκριση μεταξύ του ύψους που έχει μετρηθεί για τον προσομοιωμένο υδροφόρα και τον υπολογισμό των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τα κατάλοιπα (η διαφορά μεταξύ της μέτρησης και της προσομοίωσης του ύψους του υδροφόρα). Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη σύγκριση των μετρήσεων και τα προσομοιωμένα στοιχεία του όγκου του νερού.

Η ποιοτική αξιολόγηση της βαθμονόμησης γίνεται με την σύγκριση των μοτίβων των ροών των υπογείων υδάτων που υπολογίστηκαν με τη πραγματική ροή των υπογείων υδάτων του υδροφόρα. Με απλά λόγια, η προσομοίωση της ροής των υπογείων υδάτων πρέπει να είναι πανομοιότυπη με την πραγματική ροή που έχουμε από τις μετρήσεις στην περιοχή.

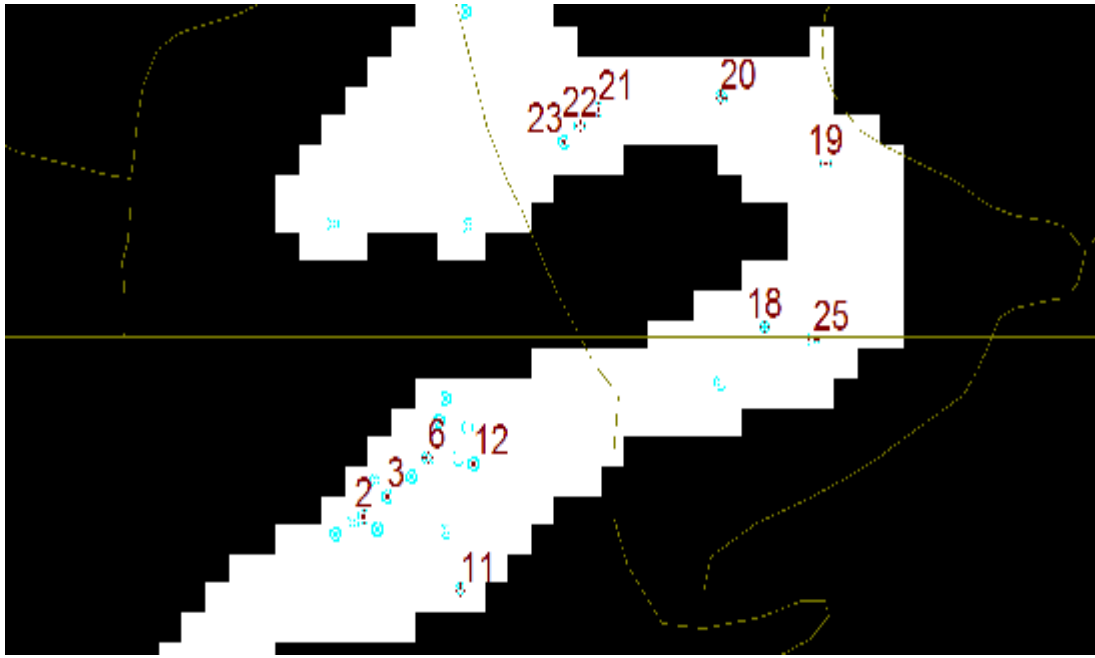
Στην εφαρμογή, ακολουθείται η διαδικασία βαθμονόμησης «δοκιμής και σφάλματος» (trial & error) και κάθε βήμα τεκμηριώνεται λεπτομερώς. Μπορεί επίσης να γίνει η αυτόματη βαθμονόμηση και γενικά προτείνεται, προκειμένου να εξοικονομηθεί χρόνος. Ωστόσο, η αυτόματη βαθμονόμηση γίνεται πιο εύκολα από τα περισσότερα λογισμικά και ο χρήστης έχει μικρή συμβολή. Για εκπαιδευτικούς σκοπούς όμως, στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η διαδικασία βαθμονόμησης «δοκιμής και σφάλματος».

6.1 ΣΤΟΧΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Η σταθερή κατάσταση του βασικού μοντέλου θα πρέπει να βαθμονομηθεί σε σχέση με τις μετρήσεις της μέσης στάθμης των υπόγειων υδάτων (στόχοι βαθμονόμησης) που πάρθηκαν από «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου», (Δρ. Νικόλαος Λαμπράκης, 1998), όπως προαναφέρθηκε. Οι μετρήσεις έγιναν από το 1993 μέχρι το 1995, συνήθως στις διακοπές ή το βράδυ. Το υπολογιζόμενο εύρος διακύμανσης μεταξύ όλων των μετρήσεων ορίζει το κατώτατο όριο του αποδεκτού σφάλματος βαθμονόμησης για κάθε σημείο ελέγχου. Ο πίνακας 7.1 παρουσιάζει μια λίστα με τα σημεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για το μοντέλο. Το Σχήμα 7.1 παρουσιάζει την θέση των σημείων βαθμονόμησης.

ΟΝΟΜΑ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ
Γ.2	18,97	±13,35
Γ.3	20,62	±13,50
Γ.6	20,06	±14,84
Γ.11	37,30	±12,65
Γ.12	24,95	±12,30
Γ.18	19,77	± 5,50
Γ.19	62,86	± 10,77
Γ.20	28,90	± 13,15
Γ.21	25,38	± 12,95
Γ.22	25,19	± 11,90
Γ.23	19,77	± 12,85
Γ.25	41,78	± 12,45

Πίνακας 6.1: Σημεία παρατήρησης που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις τιμές και τους στόχους του μοντέλου.



Σχήμα 6.1: Στόχοι βαθμονόμησης του μοντέλου

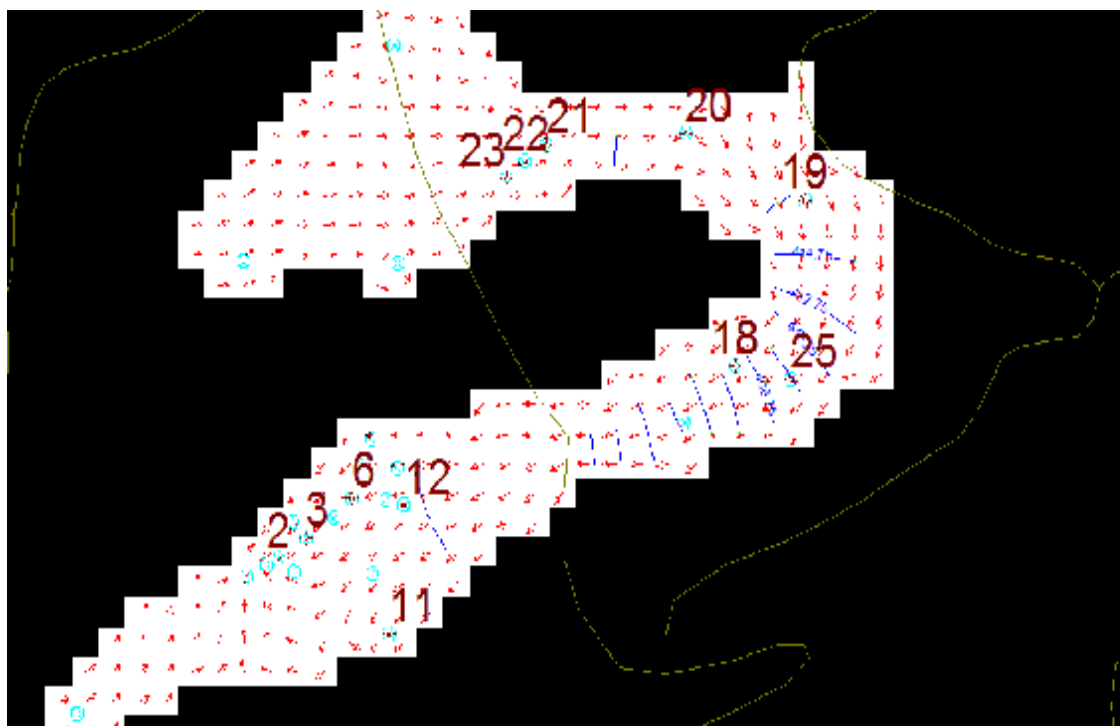
6.2 ΕΚΤΕΛΕΣΕΙΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ.

Το υπολογιστικό μοντέλο εκτελέστηκε και αντίστοιχα τροποποιήθηκε για να υπάρξει η αντιστοιχία των ορίων της διακύμανσης της μέσης τιμής του υδραυλικού φορτίου του πίνακα 6.1 με την διακύμανση που εμφανίζει το μοντέλο.

6.2.1 Υπολογιστικό πείραμα 1 – Βασική κατάσταση

Καταγράφεται ένα σχήμα που περιλαμβάνει τα διανύσματα της ταχύτητας ροής. Τα διανύσματα ταχύτητας ροής είναι απλά βέλη που σύρονται κατά τη κατεύθυνση της ροής των υπογείων υδάτων. Το μήκος του βέλους είναι ανάλογο με την ταχύτητα ή προς τον λογάριθμο της ταχύτητας.

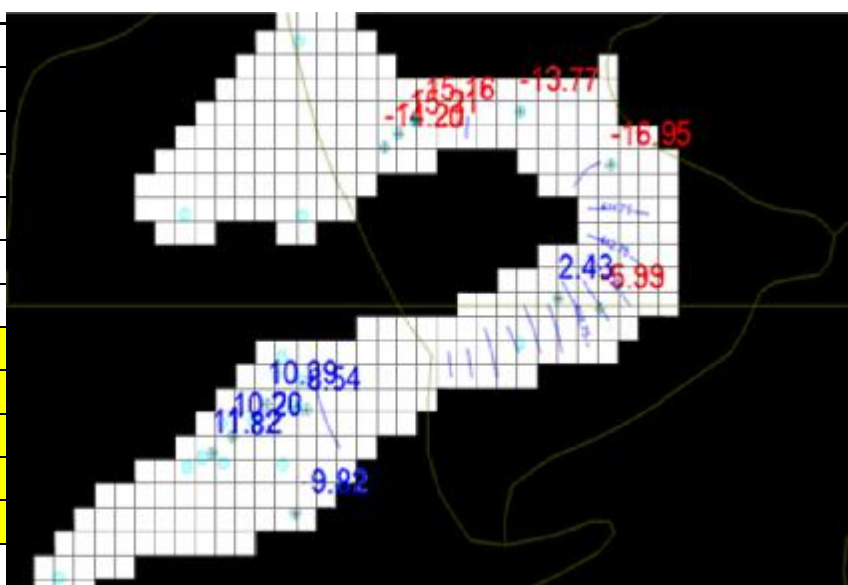
Το σχήμα 6.2 δείχνει την κατεύθυνση της ροής των υπογείων υδάτων. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, οι ροές των υπογείων υδάτων από βόρειο-δυτικά προς τα βόρειο-ανατολικά, συνεχίζονται προς τη νότιο-δυτική κατεύθυνση. Η κατεύθυνση της προσομοίωσης της ροής των υπογείων υδάτων έρχεται σε συμφωνία με τα αναμενόμενα από τις μετρήσεις της ροής των υπογείων υδάτων (βλ. Ενότητα 4.5.1).



Σχήμα 6.2: Διανύσματα ταχύτητας.

Το Σχήμα 6.3. δείχνει τα αποτελέσματα της διακύμανσης της τιμής του μέσου υδραυλικού φορτίου των γεωτρήσεων. Οι θετικές τιμές επισημαίνονται με μπλε χρώμα και δείχνουν ότι οι τιμές- στόχοι είναι μεγαλύτεροι από τις προσομοιωμένες τιμές. Οι αρνητικές τιμές που επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα δείχνουν ότι οι τιμές-στόχοι είναι χαμηλότεροι από τις τιμές προσομοίωσης (τιμή προσομοίωσης + ... = τιμή στόχου). Παρατηρείται ότι τα ύψη στο νότιο τμήμα είναι χαμηλότερα από την στοχευμένη τιμή, ενώ εκείνα στα βόρεια είναι υψηλότερα. Με κίτρινο χρώμα στον πίνακα είναι οι τιμές εκτός των αποδεκτών ορίων της διακύμανσης του μέσου υδραυλικού φορτίου.

1η Εκτέλεση	ΔΙΑΚΥΜ.
Γ2	11.82
Γ3	10.20
Γ6	10.09
Γ11	9.82
Γ12	8.54
Γ18	2.43
Γ19	-16.95
Γ20	-13.77
Γ21	-15.16
Γ22	-15.16
Γ23	-14.20
Γ25	-5.99

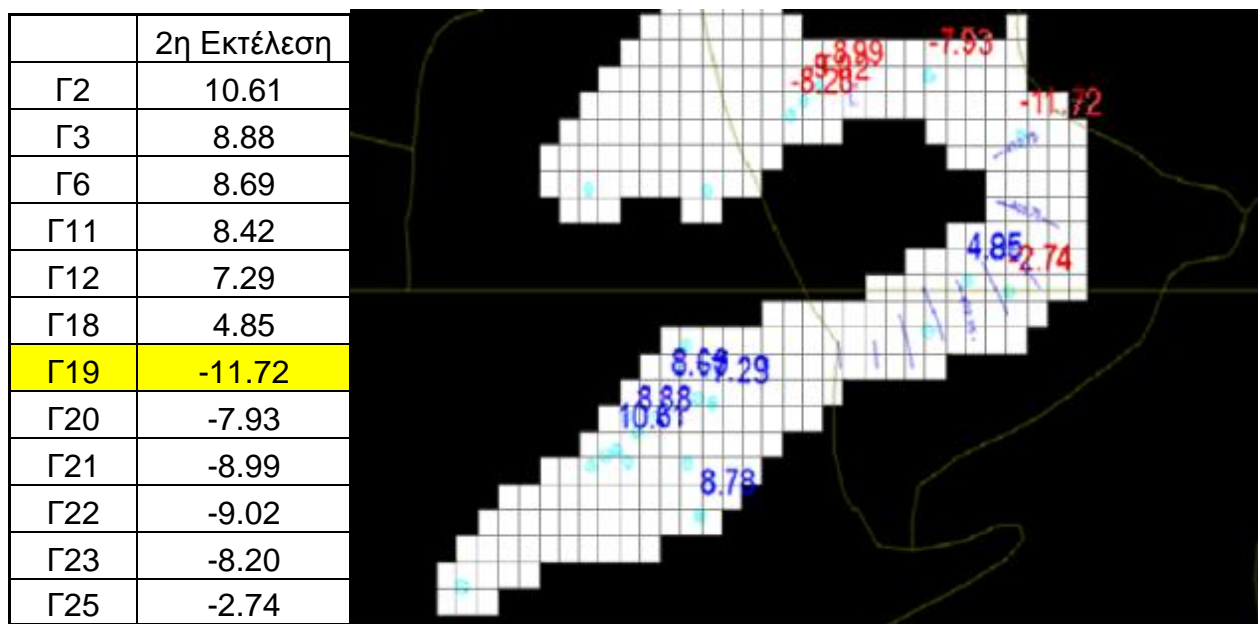


Σχήμα 6.3: Αποτελέσματα του υπολογιστικού πειράματος 1

Στην εκτέλεση του υπολογιστικού μοντέλου, οι συνολικές εισροές προσομοίωσης ήταν 899.997,5 και οι συνολικές εκροές προσομοίωσης ήταν 899,295. Το σύνολο των εισροών πρέπει να είναι ίσο με το σύνολο των εκροών, επειδή το μοντέλο προϋποθέτει σταθερή κατάσταση. Η διαφορά ή το σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών είναι 0.0780 τοις εκατό, το οποίο μπορεί να γίνει αποδεκτό. Μπορεί, επίσης, να αναφερθεί ότι η τιμή των εισροών και των εκροών που μετρήθηκε ήταν 900.000, όπου είναι πολύ κοντά στις τιμές της προσομοίωσης.

6.2.2 Υπολογιστικό πείραμα 2

Η ανύψωση του κάτω μέρους του μοντέλου άλλαξε από 150 σε 180m. Αυτή η πρώτη δοκιμή έδειξε καλύτερα αποτελέσματα. Σε αυτή την εκτέλεση, η υπόλοιπη τυπική απόκλιση μειώθηκε δραματικά και τώρα είναι 8,67. Τα περισσότερα ύψη πήραν πλησιέστερες τιμές προς τις τιμές-στόχους, όπως δείχνεται στο Σχήμα 6.4. Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης.

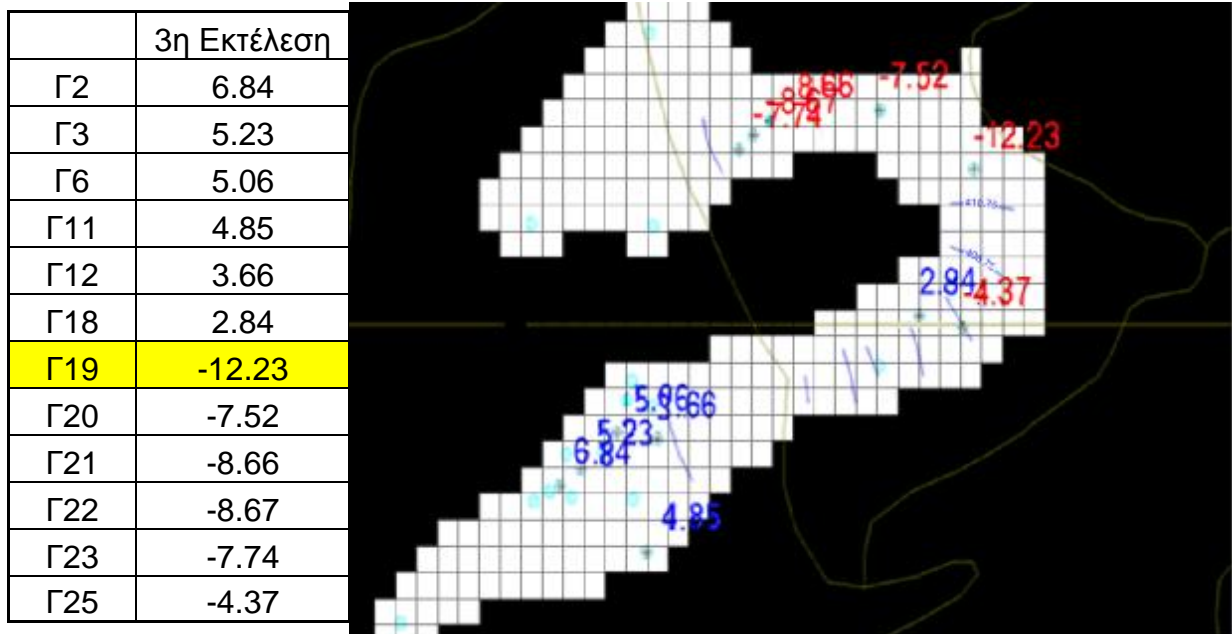


Σχήμα 6.4: Αποτελέσματα του υπολογιστικού πειράματος 2

6.2.3 Υπολογιστικό πείραμα 3

Το ποσοστό άντλησης που χρησιμοποιείται για την ύδρευση του Δήμου της Εμπάρου είναι 200.000m³ ετησίως. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία απόδειξη για το συνολικό ποσό που αντλείται από το πηγάδι Γ.11, όπως εκτιμάται στο εννοιολογικό μοντέλο. Είναι γνωστό ότι τα πηγάδια Γ.11, Γ.3, Γ.19, Γ.20 ανήκουν στο δήμο της

Εμπάρου. Αν εκτιμηθεί ότι τα 100.000 m³ ανά έτος αντλούνται από το πηγάδι Γ.11 και 100.000 m³ ανά έτος αφαιρούνται από το πηγάδι Γ.20, φαίνεται από τη νέα πορεία του μοντέλου ότι η πλειοψηφία των τιμών του ύψους του υδροφόρου ορίζοντα βελτιώθηκε (Σχήμα 6.5). Η υπόλοιπη τυπική απόκλιση είναι τώρα 6,92.



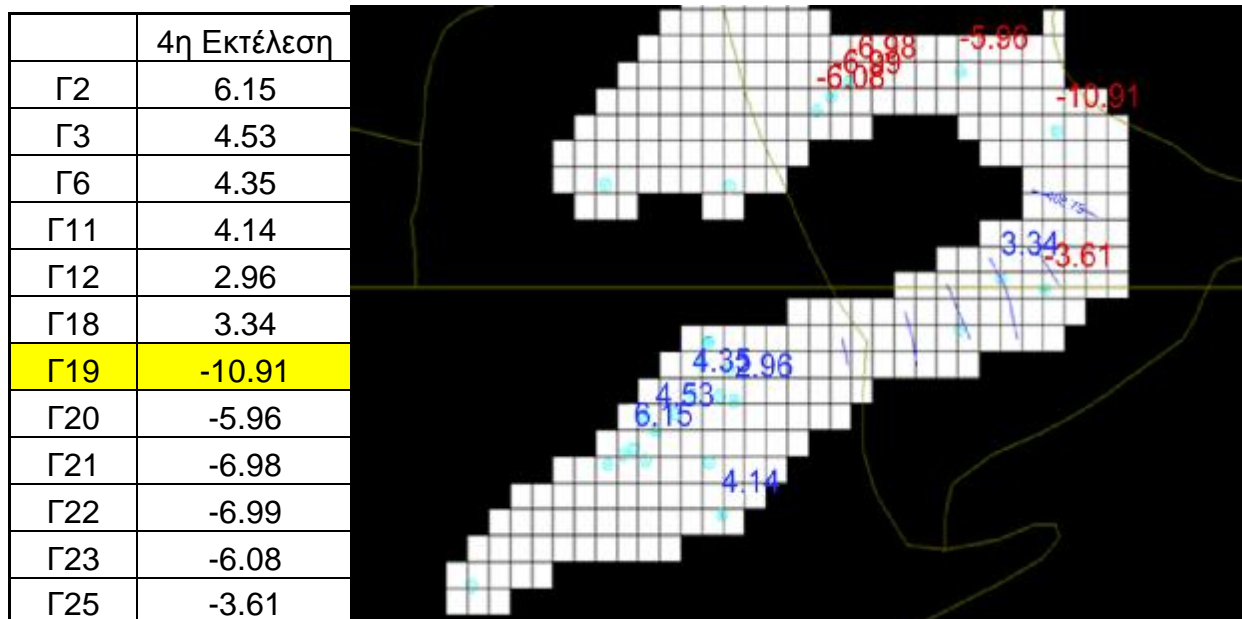
Σχήμα 6.5: Αποτελέσματα υπολογιστικού πειράματος 3

6.2.4 Υπολογιστικό πείραμα 4

Σ' αυτή την εκτέλεση αποφασίστηκε να γίνει ανάλυση ευαισθησίας στην υδραυλική αγωγιμότητα, προκειμένου να βελτιωθεί η βαθμονόμηση του μοντέλου. Η ανάλυση ευαισθησίας στη ζώνη 2 αναφέρει ότι ένας πολλαπλασιαστής 1,1 θα έχει καλύτερα αποτελέσματα. Ενώ, στη ζώνη 1, η καλύτερη βαθμονόμηση επιτυγχάνεται αν η τιμή πολλαπλασιάζεται με μία τιμή κοντά στο 1,2. Ως αποτέλεσμα, η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας στη ζώνη 1 μεταβάλλεται σε 1661,8841 m και στη ζώνη 2 με 20329,9547 m.

Από την εικόνα που ακολουθεί, μπορούν να παρατηρηθούν, καλύτερα αποτελέσματα με λίγες εξαιρέσεις (για παράδειγμα, στο σημείο Γ.18). Η αριθμητική τιμή της Γ.18 αυξήθηκε από 2,94 σε 3,45. Όμως, αυτή η τιμή είναι εντός της αποδεκτής διακύμανσης (5,50).

Η υπόλοιπη τυπική απόκλιση δεν έχει αλλάξει πολύ (νέα τιμή = 5,92). Ωστόσο, ορισμένα ύψη με μεγάλο σφάλμα βελτιώθηκαν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.6. Ένα παράδειγμα είναι η Γ.19. Στην πρώτη εκτέλεση η τιμή της διακύμανσης της προσομοίωσης ήταν 17,65 και η διακύμανση πρέπει να είναι κάτω του $\pm 10,77$. Σε αυτή την εκτέλεση, μειώθηκε σε -11,12. Ωστόσο, το μοντέλο χρειάζεται περαιτέρω βαθμονόμηση.

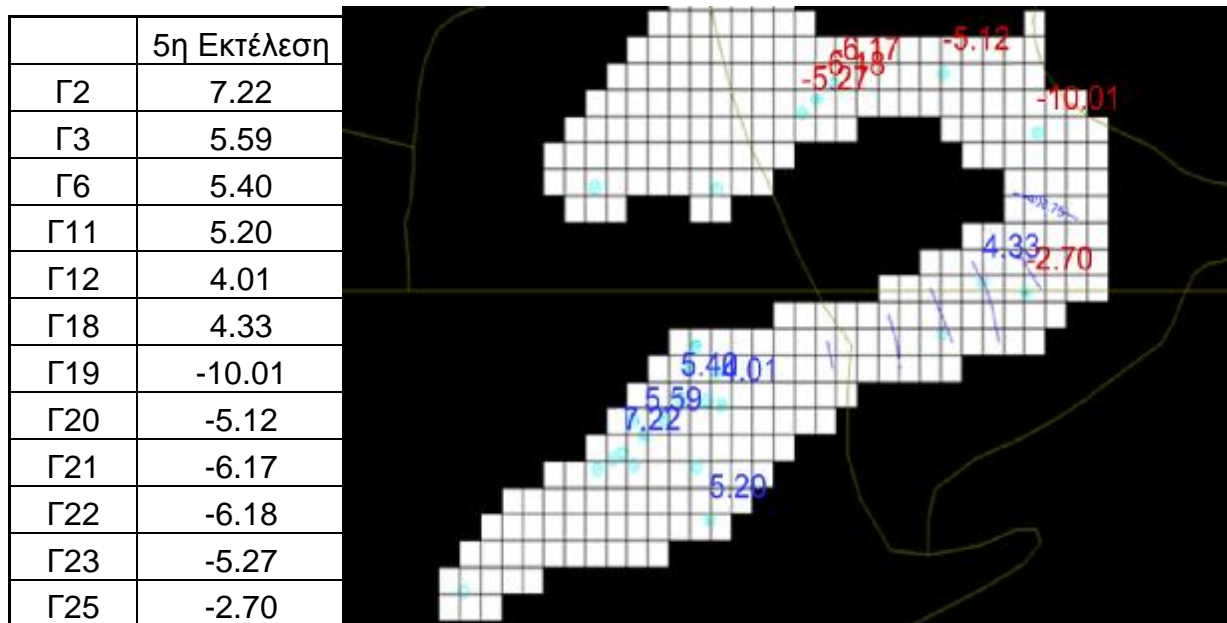


Σχήμα 6.6: Αποτελέσματα υπολογιστικού πειράματος 4.

6.2.5 Υπολογιστικό πείραμα 5 – Τελική βαθμονόμηση.

Σε αυτό το πείραμα, αποφασίστηκε να αλλάξει η υδραυλική αγωγιμότητα. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «δοκιμής και σφάλματος» διεξήχθησαν αρκετά υπολογιστικά πειράματα με διαφορετικές τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας για τη ζώνη 1 ή τη ζώνη 2 ή και των δύο.

Σε αυτό το πείραμα η υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης 1 ορίστηκε από 1661,8841 m έως 1662 m. Η υπόλοιπη τυπική απόκλιση είναι τώρα 5,97, ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με το πρώτο πείραμα. Ωστόσο, όλες οι τιμές είναι εντός του αποδεκτού ορίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3.



Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα τελικού υπολογιστικού πειράματος

Ο Πίνακας 6.4 παρουσιάζει τα αναλυτικά στατιστικά της βαθμονόμησης του μοντέλου στη τελική εκτέλεση:

Μέση Διακύμανση	-0,308
Ανάπτυξη σταθερής διακύμ.	5,83
Άθροισμα των τετραγ.	4,18e+0,02
Abs. Μέσης Διακ.	5,60
Ελάχιστη Διακ.	-10,01
Μέγιστη Διακ.	7,22
Εμβέλεια	9,31
Σταθερή/εμβέλεια	0,622

Πίνακας 6.4: Στατιστικά Βαθμονόμησης

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο υπολογιστικό πείραμα 5 του μαθηματικού μοντέλου θεωρείται ως μια καλή προσέγγιση για την περιγραφή του συστήματος των υπογείων υδάτων της περιοχής. Όλες οι αποκλίσεις στις τιμές του μέσου υδραυλικού φορτίου των υπόγειων υδάτων είναι εντός των ορίων. Επίσης οι προσομοιωμένες ροές είναι πανομοιότυπες με τις πραγματικές ροές.

Η περαιτέρω ανάλυση ευαισθησίας δεν έδειξε βελτίωση στις στατιστικές και στα αποτελέσματα του μοντέλου. Η περαιτέρω βαθμονόμηση δεν δείχνει βελτίωση. Αντιθέτως, είχε τα αντίθετα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

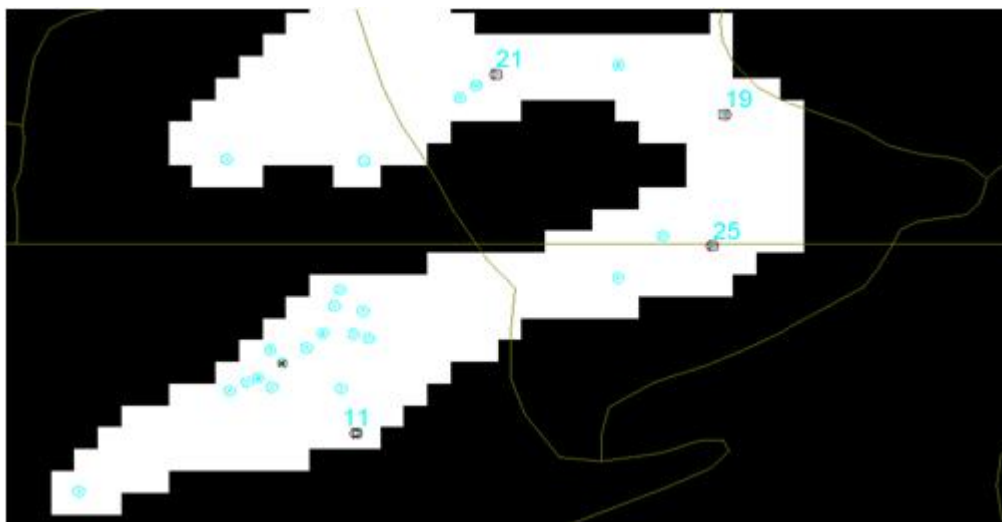
Ο κύριος σκοπός της δημιουργίας ενός μοντέλου υδροφορέα υπόγειων υδάτων μιας περιοχής συνήθως είναι να διεξάγει διάφορες προβλέψεις όσο αφορά την προστασία και τη διαχείριση του υδροφορέα για συγκεκριμένες μελλοντικές περιόδους, για παράδειγμα, από δέκα έως εκατοντάδες χρόνια. Όταν το μοντέλο βαθμονομηθεί μια φορά, θεωρείται κατάλληλο για χρήση ως εργαλείο πρόβλεψης.

Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να προβλέψει την προστασία των περιοχών γύρω από τα δημόσια πηγάδια ύδρευσης. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να διεξαχθεί παρακολούθηση της ρύπανσης με την κίνηση ενός σωματιδιακού ρύπου. Δεν μπορεί να επιλεγθεί ένας συγκεκριμένος σωματιδιακός ρύπος αφού ο κάθε ρύπος έχει διαφορετικά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Ο στόχος αυτού του σεναρίου πρόβλεψης είναι να ανακαλύψει κάθε πιθανό μονοπάτι που θα ακολουθήσει οποιοσδήποτε ρύπος εισαχθεί στη ροή των υπογείων υδάτων. Αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά, η διασπορά, οι αντιδράσεις παραγωγής, η γραμμική ή μη γραμμική εισρόφηση και άλλες αντιδράσεις δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι περιοχές που θα αναφερθούν θα πρέπει να προστατευθούν, επειδή αν ένας ρύπος διαπεράσει στη ροή θα έχει ως αποτέλεσμα την ρύπανση της υδροδότησης των πηγαδιών. Αυτές οι περιοχές μπορούν να χαρακτηριστούν ως οι πιο ευάλωτες, γιατί δεν υπάρχει καμία ενέργεια που να μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στην πορεία του ρύπου όπως περιγράφεται. Το αποτέλεσμα, είναι ένα συντηρητικό ή μη πλάνο προστασίας των ευαίσθητων περιοχών με βάση τον υπολογισμό της ρύπανσης από το μοντέλο.

7.2 Εφαρμογή

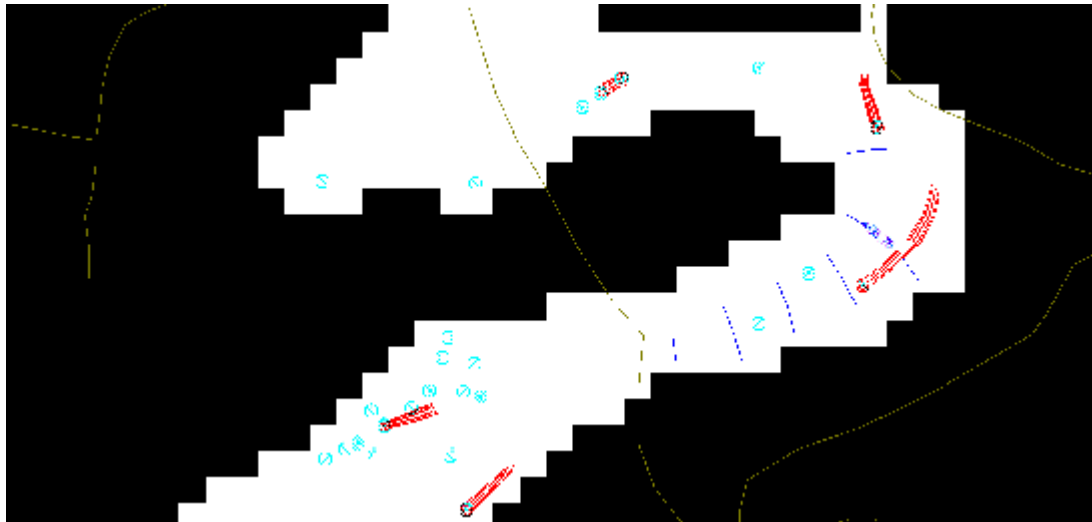
Τα πηγάδια του Δήμου της Εμπάρου (Γ.3, Γ.11, Γ.19) και του Δήμου του Ξενιάκου (Γ.25) επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή του σεναρίου πρόβλεψης. Ένα ιδιωτικό πηγάδι (Γ21) επίσης επιλέγει επειδή οι ντόπιοι μπορεί να θέλουν να χρησιμοποιήσουν τα υπόγεια ύδατα για τις ανάγκες των ζώων. Το Σχήμα 7.1 απεικονίζει τη θέση των επιλεγμένων πηγαδιών.



Σχήμα 7.1: Θέσεις των γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των σωματιδίων.

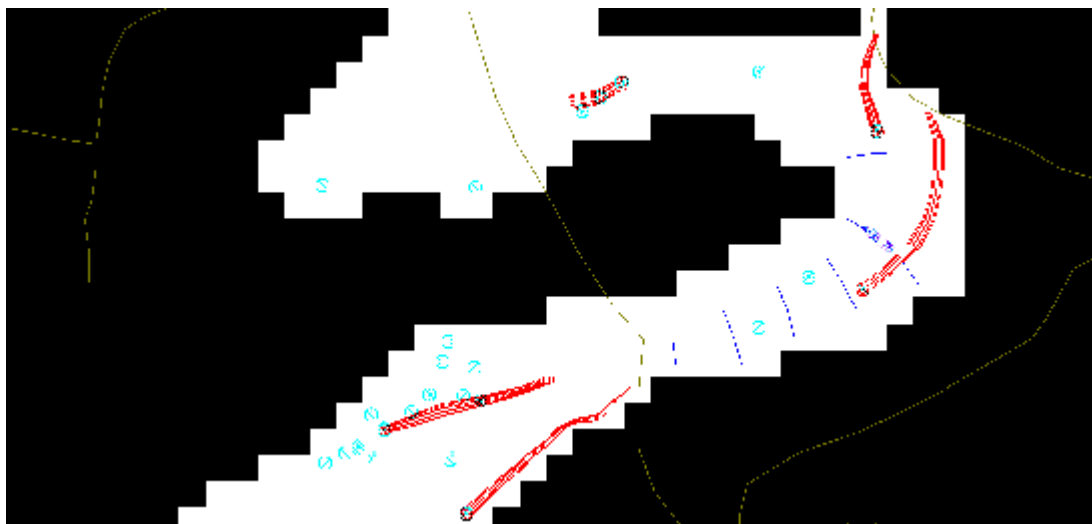
Έτσι, αδρανή σωματίδια εισάγονται στα επιλεγμένα πηγάδια για να παρακολουθηθεί τη διαδρομή τους. Όπως είναι κατανοητό ότι όλη διαδικασία γίνεται αντίστροφα. Δηλαδή, τα σωματίδια βάλονται απευθείας στο πηγάδι και μετά από μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, εντοπίζεται στην περιοχή όπου το σωματίδιο μπορεί να ταξιδέψει. Προφανώς, όταν ένα σωματίδιο περάσει σε μία από αυτές τις περιοχές, θα καταλήξει στο πηγάδι. Με αυτό το τρόπο, μπορούν να εντοπιστούν οι περιοχές που χρειάζονται προστασία κοντά στα φρεάτια. Ο κώδικας Modpath θα χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της διαδρομής των σωματιδίων.

Στην πράξη, τα σωματίδια βάλθηκαν σε επιλεγμένα πηγάδια για ένα μήνα. Στο ακόλουθο σχήμα (σχήμα 7.2), μπορεί να παρατηρηθεί η διαδρομή των σωματιδίων μετά από ένα μήνα.



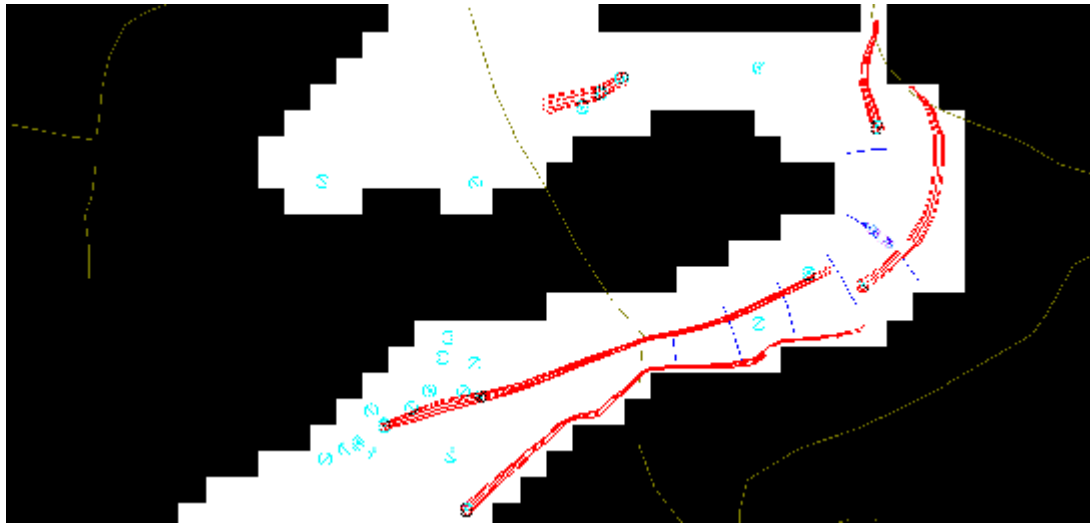
Σχήμα 7.2: Διαδρομή Σωματιδίων (1 μήνας)

Το παρακάτω σχήμα (σχήμα 7.3) απεικονίζει την αλλαγή των ευαίσθητων περιοχών σε τέσσερις μήνες.



Σχήμα 7.3: Διαδρομή Σωματιδίων (4 μήνες)

Αν τα σωματίδια είναι ελεύθερα να ταξιδέψουν για έξι μήνες, οι αλλαγές των ευαίσθητων περιοχών είναι δραματικές, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.4.



Σχήμα 7.4: Διαδρομή Σωματιδίων (6 μήνες)

Όλοι αυτοί οι χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των περιοχών που χρειάζονται προστασία.

7.3 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Όλοι αυτοί οι χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Όπως αναφέρθηκε ήδη, οι χάρτες απεικονίζουν τις περιοχές όπου αν ένας σωματιδιακός ρύπος περάσει μέσα στον υδροφορέα, τότε θα οδηγηθεί στο πηγάδι. Από αυτούς τους χάρτες, μπορεί να προσδιοριστεί λεπτομερώς η επικίνδυνη περιοχή (με τις συντεταγμένες και τις διαστάσεις της). Χρησιμοποιούνται σωματίδια που δεν έχουν κανένα φυσικό ή χημικό χαρακτηριστικό. Αυτά τα σωματίδια είναι ανενεργά, που σημαίνει ότι καμία αντίδραση δεν λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους και είναι ελεύθερα να κινούνται λόγω της ροής των υπογείων υδάτων.

Με τον τρόπο αυτό, τα αποτελέσματα για τις ενδεικνυόμενες περιοχές που χρειάζονται προστασία, είναι αξιόπιστα, άρα, οι περιοχές αυτές χρειάζονται περισσότερη προστασία. Επίσης υπάρχει πιθανότητα κατά τη διαδρομή οποιουδήποτε ρύπου να έχουμε διάφορες χημικές ή άλλες αντιδράσεις οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν εμπόδιο στο δρόμο του. Τα σωματίδια, τα οποία είναι ανενεργά, ταξιδεύουν περισσότερο από κάθε άλλο ρύπο.

Ως αποτέλεσμα, αν προστατευθούν αυτές οι περιοχές, κανένα είδος ρύπου δεν θα επηρεάσει τα επιλεγμένα πηγάδια. Οι ακριβείς διαστάσεις και οι συντεταγμένες των περιοχών μπορούν εύκολα να εντοπιστούν από τους χάρτες που έχουν εξαχθεί από τα Groundwater Vistas ή τη χρήση του λογισμικού ArcGIS.

Η προαναφερόμενη διαδικασία είναι το πρώτο βήμα για την προστασία ενός πηγαδιού που τροφοδοτεί με νερό την γύρω περιοχή. Χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν στοιχεία ότι ένας συγκεκριμένος ρύπος υπάρχει ή μπορεί να υπάρξει στην περιοχή στο μέλλον. Αν υπάρχουν τέτοια στοιχεία τότε μπορεί να εφαρμοστεί το δεύτερο στάδιο.

Στο δεύτερο βήμα για την προστασία ενός πηγαδιού χρησιμοποιείται ένας άλλος κώδικας, που ονομάζεται MT3D. Ο κώδικας MT3D είναι ένα τρισδιάστατο αριθμητικό μοντέλο προσομοίωσης μεταφοράς σωματιδιακών ρύπων σε σύνθετες υδρογεωλογικές ρυθμίσεις. Ο MT3D είναι σε θέση να εκτελέσει πολλά είδη αντιδράσεων και προσομοίωσης ή να αξιολογήσει την φυσική εξασθένηση, σε μια περίπτωση μόλυνσης από ποικίλους ρύπους.

Στην πράξη, επιλέγεται ένα συγκεκριμένο είδος ρύπου του οποίου είναι γνωστά όλα τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του και καταγράφονται. Τα Groundwater Vistas, χρησιμοποιώντας τον κωδικό MT3D, υπολογίζουν και παρουσιάζουν τη διαδρομή του συγκεκριμένου ρύπου για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στη συγκεκριμένη μελέτη, αυτή η διαδρομή είναι η διαδρομή σωματιδίου που δεν έχει «εμπόδιο» στο δρόμο του.

Σε αυτή την εφαρμογή, κρίθηκε ότι δεν υπάρχει κανένας λόγος να πραγματοποιηθεί το δεύτερο βήμα, που είναι μάλλον χρονοβόρο. Μετά από όλα αυτά, το πρώτο βήμα συνήθως χρησιμοποιείται, ενώ το δεύτερο βήμα εφαρμόζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο σημείο αυτό, είναι απαραίτητο να αναλυθεί όχι μόνο η εφαρμογή, αλλά επίσης και οι περιορισμοί της μεθοδολογίας. Πρώτον, θα συζητηθούν η χρησιμότητα και ο περιορισμός της μοντελοποίησης υπόγειων υδάτων. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί η χρησιμότητα και ο περιορισμός της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Αυτό περιλαμβάνει επίσης οποιουσδήποτε περιορισμούς των κώδικων όπου αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιεί. Τέλος, θα γίνουν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

8.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Γενικά, τα μοντέλα είναι πρότυπες περιγραφές ή προσεγγίσεις που περιγράφουν φυσικά συστήματα με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων. Δεν είναι ακριβείς οι περιγραφές των φυσικών συστημάτων και των διαδικασιών ροής των υδάτων. Η εφαρμογή και η χρησιμότητα ενός μοντέλου εξαρτάται από το πόσο ακριβείς είναι οι μαθηματικές εξισώσεις κατά την υπολογιστική προσέγγιση του φυσικού συστήματος.

Τα υπολογιστικά μοντέλα υπόγειων υδάτων περιγράφουν διαδικασίες μεταφοράς ή και την ίδια τη ροή τους, χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις που βασίζονται σε απλοποιημένες υποθέσεις. Οι υποθέσεις αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν την κατεύθυνση της ροής, της γεωμετρίας του υδροφορέα, τις χημικές αντιδράσεις ρύπων κλπ. Αυτό σημαίνει, ότι κάθε μοντέλο των υπόγειων υδάτων δεν είναι ακριβής εξομοίωση της κατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα αλλά θα πρέπει να θεωρηθεί ως μια προσέγγιση. Ωστόσο, τα μοντέλα των υπόγειων υδάτων, ακόμη και ως υπολογιστικές προσεγγίσεις είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση των διαδικασιών ροής των υπόγειων υδάτων, την αξιολόγηση των υπόγειων υδάτινων πόρων, την πρόβλεψη πιθανών ρυπάνσεων και γενικότερα ως εργαλείο διαχείρισης.

8.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Παρόλο που η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σ' αυτή την πτυχιακή μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διεξαγωγή μοντέλων πρόβλεψης της ροής των υπόγειων υδάτων, υφίστανται κάποιοι περιορισμοί. Οι περιορισμοί είναι μια εγγενής συστατική δραστηριότητα, καθώς τα μοντέλα είναι μόνο μια υπολογιστική προσέγγιση του φυσικού συστήματος (βλ. Ενότητα 8.2). Οι συγκεκριμένοι περιορισμοί αναλύονται με λεπτομέρεια πιο κάτω.

Έχει ήδη αναφερθεί (βλ. Ενότητες 2.5, 3.2) ότι αυτή η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την προσομοίωση σταθερής ροής των υπογείων υδάτων. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρές λεκάνες. Δεν εισηγείται να εφαρμοστεί σε μεγάλες περιοχές ή σε υδροφόρο ορίζοντα εθνικής κλίμακας, εξαιτίας της πολυπλοκότητας της δομής ενός τόσο μεγάλου συστήματος. Παρόλο που τα βήματα ίσως είναι ίδια, σε ορισμένες περιπτώσεις. Επιπλέον, εξειδικευμένα προβλήματα ή φαινόμενα που μπορεί να συμβούν, όπως εισβολή της αλατότητας, πρέπει να αντιμετωπίζονται με εξειδικευμένες μεθόδους. Η μεθοδολογία αυτή αναπτύχθηκε και αναλύθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι πλήρως κατανοητή από άτομα με λίγη ή καθόλου εμπειρία στη μοντελοποίηση των υπογείων υδάτων. Για το λόγο αυτό, δεν αναφέρεται σε λεκάνες με εξειδικευμένα προβλήματα.

Επιπλέον, ο προτεινόμενος κώδικας (Modflow) έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Είναι αλήθεια ότι ο κώδικας Modflow μπορεί να προσομοιώσει διάφορα συστήματα, είναι εύκολος στη χρήση, μπορεί να εκτελεστεί με διάφορα προγράμματα περιβάλλοντος γραφικών χρήστη. Χρησιμοποιεί επίσης τη προσέγγιση των πεπερασμένων διαφορών (βλ. Ενότητα 2.4) για την προσομοίωση της ροής των υπογείων υδάτων. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι το μοντέλο ή οποιοδήποτε στρώμα του μοντέλου μπορεί να προσομοιωθεί ανεξάρτητα. Ωστόσο, αυτός ο κώδικας απαιτεί πολλές πληροφορίες σχετικά με τον υδροφόρο ορίζοντα, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες στις περισσότερες περιπτώσεις.

Τέλος, η επιτυχία της μεθοδολογίας εξαρτάται από την ικανότητα του ερευνητή να κατανοήσει και να αντιπροσωπεύσει το σύστημα. Ο ερευνητής πρέπει να κατανοήσει πλήρως και να ερμηνεύσει σωστά όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, προκειμένου να κατασκευάσει ένα αξιόπιστο πρότυπο μοντέλο. Με άλλα λόγια, ένα επιτυχημένο πρότυπο μοντέλο οδηγεί σε ένα επιτυχημένο μοντέλο ροής υπόγειων υδάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί στο παρελθόν με τα υπόγεια ύδατα και την μοντελοποίηση τους τα τελευταία χρόνια, όπως περιγράφεται στην ενότητα 2. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν επικεντρωθεί σε εξειδικευμένα προβλήματα ή φαινόμενα και έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες μεθόδους μοντελοποίησης ανάλογα με τις ανάγκες τους. Επιπλέον, διάφορα υπολογιστικά προγράμματα μοντελοποίησης χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα καθώς επίσης και διάφορα λογισμικά περιβάλλοντος γραφικών χρήστη, αναλόγως του χρήστη. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση σε νέους ερευνητές, από τις πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις που υπάρχουν. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στην περαιτέρω μελέτη των υπογείων υδάτων για τους νέους ερευνητές.

Επιπρόσθετα, στην Ελλάδα, λίγοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων και ακόμα λιγότεροι έχουν κάποια εμπειρία σε αυτό το θέμα. Επίσης, οι μελέτες προσομοίωσης των υπόγειων υδάτων είναι ακόμα

υπό εξέλιξη, αν και τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο περιβάλλον και θα μπορούσαν να είναι ένα πολύ αξιόπιστο εργαλείο στην διαχείριση του νερού, ακόμα και του πόσιμου.

Όλα τα προαναφερθέντα πιστοποιούν ότι όντως για τους νέους ερευνητές η όλη διαδικασία προσομοίωσης των υπογείων υδάτων μπορεί γίνει πολύ χρονοβόρα και περίπλοκη, αφού μηδαμινό υλικό είναι διαθέσιμο. Ο κώδικας Groundwaters Vistas που εφαρμόστηκε, αίρει τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα. Στην πράξη, εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία για την προσομοίωση σταθερής κατάστασης ροής των υπογείων υδάτων (βλ. Ενότητες 3.3, 3.4). Η μεθοδολογία αυτή κρίνεται κατάλληλη για χρήση σε μικρές λεκάνες, ενώ σε μεγάλες περιοχές διάφορα προβλήματα λόγω πολυπλοκότητας μπορούν να προκύψουν και η μεθοδολογία μπορεί να είναι ανεπαρκής, όπως αναφέραμε και προηγουμένως.

Τέλος, ο κώδικας φαίνεται να έχει μεγάλες δυνατότητες. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μικρή λεκάνη για τη προσομοίωση σταθερής κατάστασης ροής των υπογείων υδάτων, που δεν έχει κανένα εξειδικευμένο πρόβλημα ή που δεν εμφανίζονται εξειδικευμένα φαινόμενα.

Ο κώδικας αναφέρει σαφώς όλα τα δεδομένα που χρειάζονται και τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο υπόγειων υδάτων. Επίσης, η μεθοδολογία χρησιμοποιεί τον κώδικα Modflow για να προσομοιώσει την ροή των υπογείων υδάτων. Επομένως, αυτός ο κώδικας μπορεί να προσομοιώσει τη ροή των υπόγειων υδάτων σχεδόν σε κάθε λεκάνη. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας απέδειξε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα σενάρια διαχείρισης και λήψης αποφάσεων.

Η μεθοδολογία δεν είναι πολύ εξειδικευμένη και μπορεί να θεωρηθεί εύκολη στη χρήση. Ταυτόχρονα, μπορεί να κατανοηθεί πλήρως από ερευνητές με βασικές γνώσεις στις φυσικές ιδιότητες των υπόγειων υδάτων και στην υδρογεωλογία, οι οποίες απαιτούνται για την έναρξη περαιτέρω έρευνας σε αυτόν τον τομέα. Ως αποτέλεσμα, αυτή η μεθοδολογία φαίνεται ένα ιδανικό εργαλείο για όσους κάνουν τα πρώτα τους βήματα στην μοντελοποίηση των υπόγειων υδάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων

Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 327 της 22/12/2000 σ. 0001 - 0035

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων

ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ, έχοντας υπόψη: τη συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, και ιδίως το άρθρο 175 παράγραφος 1, την πρόταση της Επιτροπής(1), τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής(2), τη γνώμη της Επιτροπής των Περιφερειών(3), αποφάσισε με τη διαδικασία του άρθρου 251 της συνθήκης(4), υπό το πρίσμα του κοινού σχεδίου που εγκρίθηκε από την επιτροπή συνδιαλλαγής στις 18 Ιουλίου 1999,

Εκτιμώντας τα ακόλουθα:

(1) Το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης.

(2) Στα συμπεράσματα του υπουργικού σεμιναρίου για την κοινοτική πολιτική των υδάτων στην Φραγκφούρτη το 1988, τονίστηκε η ανάγκη κοινοτικής νομοθεσίας που θα καλύπτει την οικολογική ποιότητα. Το Συμβούλιο, με το ψήφισμά του της 28ης Ιουνίου 1988(5), ζήτησε από την Επιτροπή να υποβάλει προτάσεις για τη βελτίωση της οικολογικής ποιότητας των κοινοτικών επιφανειακών υδάτων.

(3) Στη δήλωση του υπουργικού σεμιναρίου για τα υπόγεια ύδατα το οποίο πραγματοποιήθηκε στη Χάγη το 1991, αναγνωρίστηκε η ανάγκη δράσης προς αποφυγή μακροπρόθεσμης επιδείνωσης της ποιότητας και της ποσότητας των γλυκών υδάτων, και έγινε έκκληση για ένα πρόγραμμα δράσεων που θα πρέπει να υλοποιηθούν μέχρι του έτους 2000, με στόχο τη βιώσιμη διαχείριση και προστασία των πόρων γλυκού ύδατος. Το Συμβούλιο, με τα ψηφίσματά του της 25ης Φεβρουαρίου 1992(6) και της 20ής Φεβρουαρίου 1995(7), ζήτησε ένα πρόγραμμα δράσης για τα υπόγεια ύδατα, καθώς και την αναθεώρηση της οδηγίας 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 17ης Δεκεμβρίου 1979, περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες(8), ως τμήμα μιας συνολικής πολιτικής για την προστασία των γλυκών υδάτων.

(4) Τα ύδατα στην Κοινότητα υφίστανται αυξανόμενη πίεση λόγω της συνεχούς αύξησης της ζήτησης επαρκών ποσοτήτων ύδατος καλής ποιότητας για κάθε χρήση. Στις 10 Νοεμβρίου 1995, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος στην έκθεση "Περιβάλλον στην Ευρωπαϊκή Ένωση - 1995", υπέβαλε ενημερωμένη έκθεση σχετικά με το περιβάλλον, στην οποία επιβεβαιώνεται η ανάγκη δράσης για την ποιοτική και ποσοτική προστασία των κοινοτικών υδάτων.

(5) Στις 18 Δεκεμβρίου 1995, το Συμβούλιο ενέκρινε συμπεράσματα στα οποία απαιτείται, μεταξύ άλλων, η εκπόνηση νέας οδηγίας πλαισίου που θα θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ζητείται από την Επιτροπή να υποβάλει σχετική πρόταση.

(6) Στις 21 Φεβρουαρίου 1996, η Επιτροπή ενέκρινε ανακοίνωση στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο σχετικά με την "Πολιτική υδάτων της Ευρωπαϊκής Κοινότητας", η οποία καθορίζει τις αρχές για μια κοινοτική πολιτική υδάτων.

(7) Στις 9 Σεπτεμβρίου 1996, η Επιτροπή υπέβαλε πρόταση απόφασης του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με ένα πρόγραμμα δράσης για ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υπογείων υδάτων(9). Στην πρόταση αυτή, η Επιτροπή επεσήμαινε την ανάγκη καθιέρωσης διαδικασιών για τη ρύθμιση της άντλησης γλυκού ύδατος και για την παρακολούθηση της ποσότητας και της ποιότητάς του.

(8) Στις 29 Μαΐου 1995, η Επιτροπή εξέδωσε ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο για τη συνετή χρήση και τη διατήρηση των υγρότοπων, με την οποία αναγνωρίζονται οι σημαντικές λειτουργίες που επιτελούν για την προστασία των υδάτινων πόρων.

(9) Πρέπει να αναπτυχθεί ολοκληρωμένη κοινοτική πολιτική στον τομέα των υδάτων.

(10) Το Συμβούλιο στις 25 Ιουνίου 1996, η Επιτροπή των Περιφερειών στις 19 Σεπτεμβρίου 1996, η Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή στις 26 Σεπτεμβρίου 1996 και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στις 23 Οκτωβρίου 1996, ζήτησαν από την Επιτροπή να υποβάλει πρόταση οδηγίας του Συμβουλίου για τη θέσπιση πλαισίου για την ευρωπαϊκή πολιτική υδάτων.

(11) Η πολιτική της Κοινότητας στον τομέα του περιβάλλοντος, όπως ορίζεται από το άρθρο 174 της συνθήκης, συμβάλλει στην επιδίωξη των στόχων διατήρησης, προστασίας και βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς και συνετής και ορθολογικής χρησιμοποίησης των φυσικών πόρων, με βάση τις αρχές της προφύλαξης και της προληπτικής δράσης, την αρχή της επανόρθωσης των καταστροφών του περιβάλλοντος, κατά προτεραιότητα, στην πηγή καθώς και την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει".

(12) Σύμφωνα με το άρθρο 174 της συνθήκης, κατά την εκπόνηση της περιβαλλοντικής της πολιτικής, η Κοινότητα λαμβάνει υπόψη τα διαθέσιμα επιστημονικά και τεχνικά δεδομένα, τις συνθήκες του περιβάλλοντος στις διάφορες περιοχές της Κοινότητας, την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της Κοινότητας στο σύνολό της και την ισόρροπη ανάπτυξη των περιοχών της, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τις επιβαρύνσεις που μπορούν να προκύψουν από τη δράση και την απουσία δράσης.

(13) Στην Κοινότητα υπάρχει ποικιλία συνθηκών και αναγκών, οι οποίες απαιτούν διαφορετικές ειδικές λύσεις. Η ποικιλομορφία αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό και την εκτέλεση μέτρων προστασίας και βιώσιμης χρήσης του ύδατος στα πλαίσια της λεκάνης απορροής ποταμού. Οι αποφάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα σε τοποθεσίες όπου τα ύδατα χρησιμοποιούνται ή

υφίστανται επιπτώσεις. Με την εκπόνηση προγραμμάτων για τη λήψη μέτρων προσαρμοσμένων στις περιφερειακές και τις τοπικές συνθήκες, θα πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στις δράσεις που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα των κρατών μελών.

(14) Η επιτυχία της παρούσας οδηγίας εξαρτάται από τη στενή συνεργασία και τη συνεπή δράση στο επίπεδο της Κοινότητας, των κρατών μελών και σε τοπικό επίπεδο, καθώς και από την πληροφόρηση, τη διεξαγωγή διαβουλεύσεων και τη συμμετοχή του κοινού, συμπεριλαμβανομένων των χρηστών.

(15) Η ύδρευση συνιστά υπηρεσία κοινής ωφέλειας, όπως ορίζεται στην ανακοίνωση της Επιτροπής για τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας στην Ευρώπη(10).

(16) Είναι αναγκαία η περαιτέρω ενσωμάτωση της προστασίας και της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων σε άλλους τομείς της κοινοτικής πολιτικής, όπως στην ενεργειακή πολιτική, την πολιτική μεταφορών, τη γεωργική πολιτική, την αλιευτική πολιτική, την περιφερειακή πολιτική και την τουριστική πολιτική. Η παρούσα οδηγία θα πρέπει να αποτελέσει βάση για συνεχιζόμενο διάλογο και για την ανάπτυξη στρατηγικών προς περαιτέρω ολοκλήρωση τομέων πολιτικής. Η παρούσα οδηγία μπορεί επίσης να αποτελέσει σημαντική συμβολή σε άλλους τομείς συνεργασίας μεταξύ των κρατών μελών, μεταξύ άλλων, την προοπτική ευρωπαϊκής χωροταξικής ανάπτυξης (ESDP - European Spation Development Perspective).

(17) Μια αποτελεσματική και συνεκτική πολιτική υδάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ευαισθησία των υδάτινων οικοσυστημάτων που βρίσκονται κοντά στις θαλάσσιες ακτές και τις εκβολές ποταμών ή σε κόλπους ή σε σχετικά κλειστές θάλασσες, δεδομένου ότι η ισορροπία τους επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των εσωτερικών υδάτων που εισρέουν σε αυτά. Η προστασία της κατάστασης των υδάτων στις λεκάνες απορροής ποταμών θα προσφέρει οικονομικά οφέλη, συμβάλλοντας στην προστασία των αλιευτικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των παράκτιων αλιευτικών πόρων.

(18) Η κοινοτική πολιτική υδάτων απαιτεί ένα διαφανές, αποτελεσματικό και συνεκτικό νομοθετικό πλαίσιο. Η Κοινότητα θα πρέπει να παρέχει τις κοινές αρχές και το συνολικό πλαίσιο δράσης. Η παρούσα οδηγία θα πρέπει να προβλέψει το πλαίσιο αυτό και να συντονίσει και να ενσωματώσει και, πιο μακροπρόθεσμα, να αναπτύξει περαιτέρω τις συνολικές αρχές και δομές για την προστασία και τη βιώσιμη χρήση του ύδατος στην Κοινότητα σύμφωνα με την αρχή της επικουρικότητας.

(19) Η παρούσα οδηγία στοχεύει στη διατήρηση και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος στην Κοινότητα. Ο στόχος αυτός αφορά κυρίως την ποιότητα των υδάτων. Ο έλεγχος της ποσότητας αποτελεί επικουρικό στοιχείο στη διασφάλιση της καλής ποιότητας του ύδατος και κατά συνέπεια θα πρέπει επίσης να θεσπισθούν ποσοτικά μέτρα, τα οποία θα εξυπηρετούν το στόχο της διασφάλισης μιας καλής ποιότητας.

(20) Η ποσοτική κατάσταση ενός συστήματος υπογείων υδάτων μπορεί να έχει επιπτώσεις στην οικολογική ποιότητα των επιφανειακών υδάτων και των χερσαίων οικοσυστημάτων που συνδέονται με αυτό το σύστημα υπογείων υδάτων.

(21) Η Κοινότητα και τα κράτη μέλη είναι συμβαλλόμενα μέρη σε διάφορες διεθνείς συμφωνίες που περιέχουν σημαντικές υποχρεώσεις για την προστασία των θαλάσσιων υδάτων από τη ρύπανση, ιδίως στη σύμβαση για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας, που υπεγράφη στο Ελσίνκι στις 9 Απριλίου 1992 και εγκρίθηκε με την απόφαση 94/157/ΕΚ του Συμβουλίου(11), στη σύμβαση για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος του Βορειοανατολικού Ατλαντικού, που υπεγράφη στο Παρίσι στις 22 Σεπτεμβρίου 1992 και εγκρίθηκε με την απόφαση 98/249/ΕΚ του Συμβουλίου(12), και στη σύμβαση για την προστασία της Μεσογείου Θάλασσας από τη ρύπανση, που υπεγράφη στη Βαρκελώνη στις 16 Φεβρουαρίου 1976 και εγκρίθηκε με την απόφαση 77/585/ΕΟΚ του Συμβουλίου(13) και στο πρωτόκολλό της για την προστασία της Μεσογείου Θάλασσας από τη ρύπανση από χερσαίες πηγές, που υπεγράφη στην Αθήνα στις 17 Μαΐου 1980 και εγκρίθηκε με την απόφαση 83/101/ΕΟΚ του Συμβουλίου(14). Η παρούσα οδηγία θα συμβάλει στην τήρηση των υποχρεώσεων αυτών εκ μέρους της Κοινότητας και των κρατών μελών.

(22) Η παρούσα οδηγία θα συμβάλει στην προοδευτική μείωση της εκπομπής επικίνδυνων ουσιών στο νερό.

(23) Απαιτούνται κοινές αρχές για το συντονισμό των προσπάθειών των κρατών μελών για τη βελτίωση της προστασίας των κοινοτικών υδάτων από άποψη ποιότητας και ποσότητας, την προώθηση της βιώσιμη χρήσης του ύδατος, τη συμβολή στον έλεγχο των διασυνοριακών προβλημάτων ύδατος, την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και των χερσαίων οικοσυστημάτων και υγρότοπων που εξαρτώνται άμεσα από αυτά και τη διασφάλιση και ανάπτυξη των δυναμικών χρήσεων των κοινοτικών υδάτων.

(24) Η καλή ποιότητα του ύδατος θα εξασφαλίσει την παροχή πόσιμου ύδατος στον πληθυσμό.

(25) Θα πρέπει να καθιερωθούν κοινοί ορισμοί για την κατάσταση των υδάτων από άποψη ποιότητας και, όπου εξυπηρετεί το στόχο της προστασίας του περιβάλλοντος, από άποψη ποσότητας. Θα πρέπει να ορισθούν περιβαλλοντικοί στόχοι για να εξασφαλίσουν ότι επιτυγχάνεται η καλή ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων σε όλη την Κοινότητα και ότι αποφεύγεται η επιδείνωση της κατάστασης των υδάτων σε κοινοτικό επίπεδο.

(26) Τα κράτη μέλη θα πρέπει να επιτύχουν τουλάχιστον το στόχο της καλής κατάστασης των υδάτων με τον καθορισμό και την υλοποίηση των αναγκαίων μέτρων στο πλαίσιο ολοκληρωμένων προγραμμάτων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες κοινοτικές απαιτήσεις. Θα πρέπει να διαφυλάσσεται η καλή κατάσταση των υδάτων όπου ήδη υπάρχει. Όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα, εκτός από τις απαιτήσεις καλής κατάστασης, θα πρέπει να εντοπίζεται και να αναστρέφεται κάθε σημαντική και έμμονη ανοδική τάση συγκέντρωσης οιουδήποτε ρύπου.

(27) Τελικός στόχος της παρούσας οδηγίας είναι η επίτευξη της εξάλειψης των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας και η συμβολή στην επίτευξη συγκεντρώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι οποίες, για τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες, να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο.

(28) Τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα είναι, καταρχήν, ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι. Ιδίως, η εξασφάλιση καλής κατάστασης των υπογείων υδάτων επιβάλλει έγκαιρη δράση και σταθερό μακροπρόθεσμο σχεδιασμό μέτρων προστασίας, λόγω της φυσικής καθυστέρησης στο σχηματισμό και την ανανέωσή τους. Κατά τη θέσπιση μέτρων για την επίτευξη καλής κατάστασης των υπογείων υδάτων και αναστροφής κάθε σημαντικής και έμμονης ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οιουδήποτε ρύπου, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στα χρονοδιαγράμματα αυτές οι καθυστερήσεις των βελτιώσεων.

(29) Κατά την προσπάθεια επίτευξης των στόχων της παρούσας οδηγίας και την κατάρτιση προγράμματος σχετικών μέτρων, τα κράτη μέλη μπορούν να εφαρμόζουν σταδιακά το πρόγραμμα μέτρων προκειμένου να καταναείμουν το κόστος εφαρμογής.

(30) Προκειμένου να εξασφαλισθεί η πλήρης και συνεκτική εφαρμογή της παρούσας οδηγίας, τυχόν παρατάσεις του χρονοδιαγράμματος θα πρέπει να γίνουν με βάση κατάλληλα, σαφή και διαφανή κριτήρια και να δικαιολογούνται από τα κράτη μέλη στα σχέδια διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών.

(31) Όταν ένα υδατικό σύστημα έχει υποστεί επίδραση από ανθρώπινες δραστηριότητες ή όταν λόγω της φυσικής του κατάστασης είναι ανέφικτο ή υπερβολικά δαπανηρό να επιτευχθεί καλή κατάσταση, μπορεί να ορισθούν λιγότερο αυστηροί περιβαλλοντικοί στόχοι, με βάση κατάλληλα, σαφή και διαφανή κριτήρια, και θα πρέπει να γίνουν όλες οι δυνατές ενέργειες προκειμένου να προληφθεί οιαδήποτε περαιτέρω επιδείνωση της κατάστασης των υδάτων.

(32) Μπορεί να υπάρχουν λόγοι απαλλαγής από την απαίτηση πρόληψης περαιτέρω επιδείνωσης ή επίτευξης καλής κατάστασης υπό ειδικούς όρους, αν η αδυναμία επίτευξης του στόχου απορρέει από απρόβλεπτες ή εξαιρετικές περιστάσεις, ιδιαίτερα από πλημμύρες ή ανομβρίες, ή για λόγους επιτακτικού δημόσιου συμφέροντος, από νέες τροποποιήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων ή από αλλοιώσεις της στάθμης των συστημάτων υπογείων υδάτων για λόγους επιτακτικού δημόσιου συμφέροντος, αρκεί να έχουν γίνει όλες οι δυνατές ενέργειες προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στην κατάσταση του υδατικού συστήματος.

(33) Ο στόχος για την επίτευξη καλής κατάστασης των υδάτων θα πρέπει να επιδιωχθεί για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, ούτως ώστε να συντονίζονται τα μέτρα που αφορούν επιφανειακά και υπόγεια ύδατα που ανήκουν στο ίδιο οικολογικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα.

(34) Για να επιτευχθεί η προστασία του περιβάλλοντος, πρέπει να ενσωματωθούν περισσότερο οι ποιοτικές και ποσοτικές πτυχές των επιφανειακών καθώς και των υπόγειων υδάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες φυσικής ροής του ύδατος εντός του υδρολογικού κύκλου.

(35) Στο εσωτερικό λεκάνης απορροής ποταμού, όπου η χρήση ύδατος μπορεί να έχει διασυννοριακά αποτελέσματα, οι απαιτήσεις για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που θεσπίζει η παρούσα οδηγία, και ιδιαίτερα όλα τα προγράμματα μέτρων, θα πρέπει να συντονίζονται για όλη την περιοχή της λεκάνης απορροής ποταμού. Για λεκάνες απορροής ποταμών οι οποίες εκτείνονται πέραν των ορίων της Κοινότητας, τα

κράτη μέλη θα πρέπει να επιδιώκουν τον κατάλληλο συντονισμό με τα ενδιαφερόμενα τρίτα κράτη. Η παρούσα οδηγία θα συμβάλει στην εκπλήρωση των υποχρεώσεων της Κοινότητας που απορρέουν από διεθνείς συμβάσεις για την προστασία και τη διαχείριση του ύδατος, και κυρίως από τη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την προστασία και τη χρησιμοποίηση των διασυνοριακών υδατορευμάτων και των διεθνών λιμνών, που εγκρίθηκε με την απόφαση 95/308/EK του Συμβουλίου(15) και τυχόν επόμενες συμφωνίες σχετικά με την εφαρμογή της.

(36) Είναι αναγκαίο να επιχειρηθούν αναλύσεις των χαρακτηριστικών μιας λεκάνης απορροής ποταμού και των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, καθώς και οικονομική ανάλυση της χρήσης του ύδατος. Η κατάσταση των υδάτων θα πρέπει να παρακολουθείται από τα κράτη μέλη σε συστηματική και συγκρίσιμη βάση σε όλη την Κοινότητα. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για να υπάρξει μια αξιόπιστη βάση προκειμένου να αναπτύξουν τα κράτη μέλη προγράμματα μέτρων για την επίτευξη των στόχων που ορίζονται από την παρούσα οδηγία.

(37) Τα κράτη μέλη θα πρέπει να καθορίσουν τα ύδατα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη πόσιμου ύδατος και να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση με την οδηγία 80/778/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 15ης Ιουλίου 1980, περί της ποιότητας του πόσιμου νερού(16).

(38) Η χρήση οικονομικών μέσων από μέρους των κρατών μελών μπορεί να είναι πρόσφορη ως μέρος ενός προγράμματος μέτρων. Η αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, συμπεριλαμβανομένων του κόστους για το περιβάλλον και του κόστους των πόρων τα οποία συνδέονται με κάθε βλάβη ή αρνητική επίπτωση στο υδάτινο περιβάλλον, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα, ιδίως, με την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Θα απαιτηθεί προς τούτο μια οικονομική ανάλυση των υπηρεσιών ύδατος με βάση μακροπρόθεσμες προβλέψεις όσον αφορά την προσφορά και τη ζήτηση ύδατος στην περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού.

(39) Είναι απαραίτητο να αποτρέπονται ή να περιορίζονται οι επιπτώσεις της ρύπανσης λόγω ατυχήματος. Στο πρόγραμμα μέτρων θα πρέπει να περιληφθούν μέτρα με το στόχο αυτό.

(40) Ως προς την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης, η κοινοτική πολιτική υδάτων θα πρέπει να βασίζεται σε μια συνδυασμένη προσέγγιση, που να εφαρμόζει τον έλεγχο της ρύπανσης στην πηγή μέσω του ορισμού οριακών τιμών εκπομπής και προτύπων περιβαλλοντικής ποιότητας.

(41) Για την ποσότητα του ύδατος θα πρέπει να ορίζονται συνολικές αρχές για έλεγχο στην άντληση και κατακράτηση για την εξασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των σχετικών υδατικών συστημάτων.

(42) Κοινά πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας και οριακές τιμές εκπομπής για ορισμένες ομάδες ή οικογένειες ρυπαντών, θα πρέπει να οριστούν ως ελάχιστες απαιτήσεις της κοινοτικής νομοθεσίας. Θα πρέπει να εξασφαλισθούν διατάξεις για τη θέσπιση τέτοιων προτύπων σε κοινοτικό επίπεδο.

(43) Η ρύπανση που προκαλείται από την απόρριψη, τις εκπομπές ή τις διαρροές επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας πρέπει να παύσει ή να εξαλειφθεί σταδιακά. Το

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο, μετά από πρόταση της Επιτροπής, θα πρέπει να συμφωνήσουν σχετικά με τις ουσίες για τις οποίες θα πρέπει να αναληφθεί δράση κατά προτεραιότητα και σχετικά με τα ειδικά μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν κατά της ρύπανσης των υδάτων από τις ουσίες αυτές, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σημαντικές πηγές και προσδιορίζοντας το οικονομικά αποδοτικό και κατάλληλο επίπεδο και συνδυασμό ελέγχων.

(44) Κατά τον προσδιορισμό των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αρχή της προφύλαξης, με βάση ιδίως τον καθορισμό των δυνητικά αρνητικών επιπτώσεων του προϊόντος, καθώς και μια επιστημονική αξιολόγηση του κινδύνου.

(45) Τα κράτη μέλη θα πρέπει να υιοθετήσουν μέτρα για την εξάλειψη της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων από τις ουσίες προτεραιότητας και για την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από άλλες ουσίες που σε αντίθετη περίπτωση δεν θα επέτρεπαν στα κράτη μέλη να επιτύχουν τους στόχους για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων.

(46) Για να εξασφαλισθεί η συμμετοχή του ευρύτερου κοινού, συμπεριλαμβανομένων των χρηστών ύδατος στη θέσπιση και ενημέρωση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, είναι αναγκαίο να παρέχονται οι κατάλληλες πληροφορίες για τα προγραμματιζόμενα μέτρα και να υποβάλλονται εκθέσεις σχετικά με την πρόοδο της εφαρμογής τους, ενόψει της συμμετοχής του ευρύτερου κοινού πριν ληφθούν τελικές αποφάσεις για τα αναγκαία μέτρα.

(47) Η παρούσα οδηγία θα πρέπει να προβλέπει μηχανισμούς για την αντιμετώπιση των εμποδίων όσον αφορά τη βελτίωση της κατάστασης των υδάτων, όταν αυτά δεν εμπίπτουν στην εμβέλεια της κοινοτικής νομοθεσίας στον τομέα των υδάτων, προκειμένου να αναπτυχθούν οι κατάλληλες κοινοτικές στρατηγικές για την άρση τους.

(48) Η Επιτροπή θα πρέπει να υποβάλλει ετησίως ενημερωμένο σχέδιο για τυχόν πρωτοβουλίες τις οποίες προτίθεται να προτείνει στον τομέα των υδάτων.

(49) Θα πρέπει να καθοριστούν τεχνικές προδιαγραφές για να εξασφαλισθεί μια συνεκτική προσέγγιση στην Κοινότητα ως μέρος της παρούσας οδηγίας. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της κατάστασης των υδάτων συνιστούν σημαντική πρόοδο. Η προσαρμογή ορισμένων τεχνικών στοιχείων στην τεχνική εξέλιξη και η τυποποίηση των μεθόδων ελέγχου, δειγματοληψίας και ανάλυσης, θα πρέπει να θεσπισθούν με τη διαδικασία επιτροπής. Προκειμένου να προωθηθεί η πλήρης κατανόηση και η συνεπής εφαρμογή των κριτηρίων για το χαρακτηρισμό των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού και αξιολόγησης της κατάστασης των υδάτων, η Επιτροπή μπορεί να θεσπίσει κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή των κριτηρίων αυτών.

(50) Τα αναγκαία μέτρα για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας θα πρέπει να θεσπισθούν σύμφωνα με την απόφαση 1999/468/ΕΚ του Συμβουλίου, της 28ης Ιουνίου 1999, για τον καθορισμό των όρων άσκησης των εκτελεστικών αρμοδιοτήτων της Επιτροπής(17).

(51) Η εφαρμογή της παρούσας οδηγίας θα επιτύχει επίπεδο προστασίας των υδάτων τουλάχιστον ισοδύναμο με αυτό που εξασφαλίζουν ορισμένες προγενέστερες πράξεις,

οι οποίες θα πρέπει, συνεπώς, να καταργηθούν μόλις οι οικείες διατάξεις της παρούσας οδηγίας τεθούν πλήρως σε εφαρμογή.

(52) Οι διατάξεις της παρούσας οδηγίας υιοθετούν το πλαίσιο ελέγχου της ρύπανσης από επικίνδυνες ουσίες το οποίο είχε θεσπισθεί από την οδηγία 76/464/ΕΟΚ(18). Κατόπιν τούτου, θα πρέπει να καταργηθεί η προαναφερόμενη οδηγία όταν εφαρμοσθούν πλήρως οι σχετικές διατάξεις της παρούσας οδηγίας.

(53) Θα πρέπει να εξασφαλισθεί η πλήρης υλοποίηση και επιβολή της υφιστάμενης περιβαλλοντικής νομοθεσίας για την προστασία των υδάτων. Είναι αναγκαίο να εξασφαλισθεί η κατάλληλη εφαρμογή των διατάξεων για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας σε όλη την Κοινότητα, μέσω καταλλήλων κυρώσεων που θα προβλέψει η νομοθεσία των κρατών μελών. Αυτές οι κυρώσεις θα πρέπει να είναι αποτελεσματικές, ανάλογες και αποτρεπτικές,

ΕΞΕΔΩΣΑΝ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:

Άρθρο 1

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων, το οποίο:

α) να αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό·

β) να προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδάτινων πόρων·

γ) να αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας·

δ) να διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και να αποτρέπει την περαιτέρω μόλυνσή τους και

ε) να συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες,

και να συμβάλλει με αυτό τον τρόπο:

- στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής επιφανειακού και υπόγειου νερού καλής ποιότητας που απαιτείται για τη βιώσιμη, ισόρροπη και δίκαιη χρήση ύδατος,

- σε σημαντική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων,

- στην προστασία των χωρικών και θαλάσσιων υδάτων και

- στην επίτευξη των στόχων των σχετικών διεθνών συμφωνιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποσκοπούν στην πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, με κοινοτική δράση δυνάμει του άρθρου 16 παράγραφος 3 για την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, με απώτατο στόχο να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες, για μεν τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο, για δε τις τεχνητές συνθετικές ουσίες να είναι σχεδόν μηδενικές.

Άρθρο 2

Ορισμοί

Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, εφαρμόζονται οι ακόλουθοι ορισμοί:

1. "Επιφανειακά ύδατα": τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων· τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός εάν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά ύδατα.
2. "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.
3. "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 γραμμή βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων.
4. "Ποταμός": σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το πλείστον, στην επιφάνεια του εδάφους αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως.
5. "Λίμνη": σύστημα στάσιμων εσωτερικών επιφανειακών υδάτων.
6. "Μεταβατικά ύδατα": συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειννιάσής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.
7. "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.
8. "Τεχνητό υδατικό σύστημα": ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων που δημιουργείται με δραστηριότητα του ανθρώπου.
9. "Ιδιαίτερος τροποποιημένο υδατικό σύστημα": ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων του οποίου ο χαρακτήρας έχει μεταβληθεί ουσιαστικά λόγω φυσικών αλλοιώσεων από

τις δραστηριότητες του ανθρώπου και το οποίο ορίζεται από το κράτος μέλος σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος II.

10. "Σύστημα επιφανειακών υδάτων": διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων, όπως π.χ. μια λίμνη, ένας ταμιευτήρας, ένα ρεύμα, ένας ποταμός ή μια διώρυγα, ένα τμήμα ρεύματος, ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα ή ένα τμήμα παράκτιων υδάτων.

11. "Υδροφόρος ορίζοντας": υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπόγειων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπόγειων υδάτων.

12. "Σύστημα υπόγειων υδάτων": συγκεκριμένος όγκος υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων.

13. "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.

14. "Υπολεκάνη": η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω σειράς ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών).

15. "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 η οποία προσδιορίζεται δυνάμει του άρθρου 3 παράγραφος 1 ως η βασική μονάδα διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμού.

16. "Αρμόδια αρχή": αρχή ή αρχές που προσδιορίζονται δυνάμει του άρθρου 3 παράγραφος 2 ή παράγραφος 3.

17. "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.

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

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

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

21. "Οικολογική κατάσταση": η ποιοτική έκφραση της διάρθρωσης και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με επιφανειακά ύδατα, η οποία ταξινομείται σύμφωνα με το παράρτημα V.

22. "Καλή οικολογική κατάσταση": η κατάσταση ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων το οποίο ταξινομείται κατ' αυτόν τον τρόπο σύμφωνα με το παράρτημα V.
23. "Καλό οικολογικό δυναμικό": η κατάσταση ενός ιδιαίτερα τροποποιημένου ή τεχνητού υδατικού συστήματος, το οποίο ταξινομείται κατ' αυτόν τον τρόπο σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις του παραρτήματος V.
24. "Καλή χημική κατάσταση επιφανειακών υδάτων": η χημική κατάσταση που απαιτείται για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων για τα επιφανειακά ύδατα, οι οποίοι καθορίζονται στο άρθρο 4 παράγραφος 1 στοιχείο α), δηλαδή η χημική κατάσταση που έχει επιτύχει ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων, στο οποίο οι συγκεντρώσεις ρύπων δεν υπερβαίνουν τα πρότυπα περιβαλλοντικής ποιότητας τα οποία ορίζονται στο παράρτημα IX και δυνάμει της παραγράφου 7 του άρθρου 16, καθώς και δυνάμει άλλων συναφών κοινοτικών νομοθετημάτων που θεσπίζουν ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα σε κοινοτικό επίπεδο.
25. "Καλή χημική κατάσταση υπόγειων υδάτων": η χημική κατάσταση συστήματος υπόγειων υδάτων, η οποία πληροί όλους τους όρους του πίνακα 2.3.2 του παραρτήματος V.
26. "Ποσοτική κατάσταση": η έκφραση του βαθμού στον οποίο ένα σύστημα υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από άμεσες και έμμεσες αντλήσεις.
27. "Διαθέσιμοι πόροι υπόγειων υδάτων": ο μακροπρόθεσμος μέσος ετήσιος ρυθμός γενικής ανατροφοδότησης ενός συστήματος υπόγειων υδάτων μείον τον μακροπρόθεσμο μέσο ετήσιο ρυθμό ροής που απαιτείται για την επίτευξη των στόχων οικολογικής ποιότητας για τα συναφή επιφανειακά ύδατα οι οποίοι ορίζονται στο άρθρο 4, για την αποφυγή οιασδήποτε σημαντικής μείωσης της οικολογικής κατάστασης των υδάτων αυτών και για την αποφυγή οιασδήποτε σημαντικής ζημίας των συναφών χερσαίων οικοσυστημάτων.
28. "Καλή ποσοτική κατάσταση": η κατάσταση που ορίζεται στον πίνακα 2.1.2 του παραρτήματος V.
29. "Επικίνδυνες ουσίες": ουσίες ή ομάδες ουσιών που είναι τοξικές, σταθερές και επιρρεπείς σε βιοσυσσώρευση, καθώς και άλλες ουσίες ή ομάδες ουσιών που δημιουργούν ανάλογο βαθμό ανησυχίας.
30. "Ουσίες προτεραιότητας": ουσίες που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 2 και απαριθμούνται στο παράρτημα X. Μεταξύ των ουσιών αυτών υπάρχουν "επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας", δηλαδή ουσίες καθοριζόμενες σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφοι 3 και 6, για τις οποίες πρέπει να ληφθούν μέτρα σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφοι 1 και 8.
31. "Ρύπος": κάθε ουσία που εμπεριέχει τον κίνδυνο να προκαλέσει ρύπανση, ιδίως αυτές που απαριθμούνται στο παράρτημα VIII.
32. "Απευθείας απόρριψη στα υπόγεια ύδατα": απόρριψη ρύπων στα υπόγεια ύδατα χωρίς να διαπεράσουν το έδαφος ή το υπέδαφος.

33. "Ρύπανση": η, συνεπεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή για την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος.

34. "Περιβαλλοντικοί στόχοι": οι στόχοι που θεσπίζει το άρθρο 4.

35. "Ποιοτικό περιβαλλοντικό πρότυπο": η συγκέντρωση, στο νερό, το ίζημα ή το βιόκοσμο, συγκεκριμένου ρύπου ή ομάδας ρύπων της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση, ώστε να προστατεύεται η υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον.

36. "Συνδυασμένη προσέγγιση": ο έλεγχος των απορρίψεων και των εκπομπών στα επιφανειακά ύδατα σύμφωνα με την προσέγγιση που εκτίθεται στο άρθρο 10.

37. "Νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση": η ίδια έννοια όπως και στην οδηγία 80/778/ΕΟΚ, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 98/83/ΕΚ.

38. "Υπηρεσίες ύδατος": όλες οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχουν, για τα νοικοκυριά, τις δημόσιες υπηρεσίες ή για οποιαδήποτε οικονομική δραστηριότητα:

α) άντληση, κατακράτηση, αποθήκευση, επεξεργασία και διανομή επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων·

β) εγκαταστάσεις συλλογής και επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες στη συνέχεια πραγματοποιούν απορρίψεις σε επιφανειακά ύδατα.

39. "Χρήση ύδατος": υπηρεσίες ύδατος μαζί με οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα που προσδιορίζεται σύμφωνα με το άρθρο 5 και το παράρτημα II και η οποία έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση των υδάτων.

Η έννοια αυτή έχει εφαρμογή για τους σκοπούς του άρθρου 1 και της οικονομικής ανάλυσης που διεξάγεται σύμφωνα με το άρθρο 5 και το παράρτημα III στοιχείο β).

40. "Οριακές τιμές εκπομπής": η μάζα, εκφρασμένη σε σχέση με ορισμένες ειδικές παραμέτρους, η συγκέντρωση ή/και η στάθμη μιας εκπομπής, της οποίας δεν επιτρέπεται η υπέρβαση κατά τη διάρκεια μιας ή περισσότερων συγκεκριμένων χρονικών περιόδων. Οριακές τιμές εκπομπής μπορούν επίσης να ορίζονται και για συγκεκριμένες ομάδες, οικογένειες ή κατηγορίες ουσιών, ιδίως δε όσες προσδιορίζονται στο άρθρο 16.

Οι οριακές τιμές εκπομπής ουσιών ισχύουν κανονικά στο σημείο όπου οι εκπομπές βγαίνουν από την εγκατάσταση, χωρίς να υπολογίζεται, για τον προσδιορισμό τους, η τυχόν αραίωσή τους. Όσον αφορά τις έμμεσες απορρίψεις στο νερό, οι επιπτώσεις ενός σταθμού επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να συνυπολογίζονται κατά τον προσδιορισμό των οριακών τιμών εκπομπής της συγκεκριμένης εγκατάστασης, υπό την προϋπόθεση ότι κατοχυρώνεται ισοδύναμο επίπεδο προστασίας του όλου περιβάλλοντος και ότι δεν γεννώνται μεγαλύτερα ρυπαντικά φορτία για το περιβάλλον.

41. "Έλεγχοι εκπομπών": έλεγχοι οι οποίοι απαιτούν περιορισμό μιας συγκεκριμένης εκπομπής, π.χ. μια οριακή τιμή εκπομπής, ή οι οποίοι ορίζουν, κατ' άλλο τρόπο, όρια ή συνθήκες για τις επιπτώσεις, τη φύση ή άλλα χαρακτηριστικά μιας εκπομπής ή τις συνθήκες λειτουργίας που επηρεάζουν τις εκπομπές. Η χρήση του όρου "έλεγχος εκπομπών" στην παρούσα οδηγία, σε σχέση με τις διατάξεις οποιασδήποτε άλλης οδηγίας, δεν μπορεί να θεωρείται ως νέα ερμηνεία των διατάξεων αυτών.

Άρθρο 3

Συντονισμός διοικητικών ρυθμίσεων σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού

1. Τα κράτη μέλη προσδιορίζουν τις επί μέρους λεκάνες απορροής ποταμού στο εθνικό τους έδαφος και, για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, τις υπάγουν σε επιμέρους περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού. Οι μικρές λεκάνες απορροής ποταμού ενδεχομένως συνδυάζονται με μεγαλύτερες λεκάνες απορροής ποταμού ή ενώνονται με γειτονικές μικρές λεκάνες απορροής ποταμού για το σχηματισμό επιμέρους περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού, όπου ενδείκνυται. Όταν τα υπόγεια ύδατα δεν ακολουθούν πλήρως μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής ποταμού, τα εν λόγω ύδατα προσδιορίζονται και υπάγονται στην πλησιέστερη ή την προσφορότερη περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Τα παράκτια ύδατα προσδιορίζονται και υπάγονται στην ή τις πλησιέστερες ή προσφορότερες περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού.

2. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν τις κατάλληλες διοικητικές ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού της κατάλληλης αρμόδιας αρχής, για την εφαρμογή των κανόνων της παρούσας οδηγίας μέσα σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού στο έδαφός τους.

3. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι οι λεκάνες απορροής ποταμού που καλύπτουν εδάφη περισσότερων του ενός κρατών μελών υπάγονται σε μια διεθνή περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Όταν το ζητήσουν τα εμπλεκόμενα κράτη μέλη, η Επιτροπή ενεργεί για να διευκολυνθεί η υπαγωγή στις διεθνείς αυτές περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού.

Κάθε κράτος μέλος εξασφαλίζει τις κατάλληλες διοικητικές ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού της κατάλληλης αρμόδιας αρχής, για την εφαρμογή των κανόνων της παρούσας οδηγίας σε όποια τμήματα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού κείνται στο έδαφός του.

4. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι οι απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που τίθενται δυνάμει του άρθρου 4, και ειδικότερα όλα τα προγράμματα μέτρων, συντονίζονται για την όλη περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Για τις διεθνείς περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού, το συντονισμό εξασφαλίζουν τα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη από κοινού και μπορούν, για το σκοπό αυτό, να χρησιμοποιούν τις υφιστάμενες δομές που απορρέουν από διεθνείς συμφωνίες. Όταν το ζητήσουν τα εμπλεκόμενα κράτη μέλη, η Επιτροπή ενεργεί για να διευκολύνει τον καθορισμό των προγραμμάτων μέτρων.

5. Όταν μια περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού εκτείνεται πέραν του εδάφους της Κοινότητας, το ή τα ενδιαφερόμενα κράτη μέλη επιζητεί τον πρέποντα συντονισμό με

τα οικεία τρίτα κράτη, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της παρούσας οδηγίας σ' ολόκληρη την περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού. Τα κράτη μέλη μεριμνούν για την εφαρμογή των κανόνων της παρούσας οδηγίας στο έδαφός τους.

6. Τα κράτη μέλη μπορούν να προσδιορίζουν έναν υπάρχοντα εθνικό ή διεθνή οργανισμό ως αρμόδια αρχή για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας.

7. Τα κράτη μέλη προσδιορίζουν την αρμόδια αρχή ως την ημερομηνία που αναφέρεται στο άρθρο 24.

8. Το αργότερο έξι μήνες μετά την ημερομηνία που αναφέρεται στο άρθρο 24, τα κράτη μέλη διαβιβάζουν στην Επιτροπή τον κατάλογο με τις αρμόδιες αρχές τους, καθώς και με τις αρμόδιες αρχές όλων των διεθνών οργανισμών στους οποίους μετέχουν. Για κάθε αρμόδια αρχή παρέχονται οι πληροφορίες που ορίζονται στο παράρτημα I.

9. Τα κράτη μέλη ενημερώνουν την Επιτροπή για οποιεσδήποτε αλλαγές στις πληροφορίες που παρέχονται σύμφωνα με την παράγραφο 8, σε τρεις μήνες από την έναρξη ισχύος της αλλαγής.

Άρθρο 4

Περιβαλλοντικοί στόχοι

1. Προκειμένου να καταστούν λειτουργικά τα προγράμματα για τη λήψη μέτρων που καθορίζονται στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού:

α) για τα επιφανειακά ύδατα

i) τα κράτη μέλη εφαρμόζουν τα αναγκαία μέτρα για την πρόληψη της υποβάθμισης της κατάστασης όλων των συστημάτων επιφανειακών υδάτων, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παραγράφων 6 και 7 και με την επιφύλαξη της παραγράφου 8·

ii) τα κράτη μέλη προστατεύουν, αναβαθμίζουν και αποκαθιστούν όλα τα συστήματα των επιφανειακών υδάτων, με την επιφύλαξη της εφαρμογής του σημείου iii) για τα τεχνητά, και ιδιαιτέρως τροποποιημένα υδατικά συστήματα, με σκοπό την επίτευξη μιας καλής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων το αργότερο δεκαπέντε έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος V, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παρατάσεων που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 4 και της εφαρμογής των παραγράφων 5, 6 και 7 και με την επιφύλαξη της παραγράφου 8·

iii) τα κράτη μέλη προστατεύουν και αναβαθμίζουν όλα τα τεχνητά, και ιδιαιτέρως τροποποιημένα υδατικά συστήματα, με σκοπό την επίτευξη καλού οικολογικού δυναμικού και καλής χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων, το αργότερο δεκαπέντε έτη από την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος V, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παρατάσεων που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 4 και της εφαρμογής των παραγράφων 5, 6 και 7 και με την επιφύλαξη της παραγράφου 8·

iv) τα κράτη μέλη εφαρμόζουν τα αναγκαία μέτρα σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφοι 1 και 8, με στόχο την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από τις ουσίες προτεραιότητας και την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών, των απορρίψεων και των διαρροών επικινδύνων ουσιών προτεραιότητας,

με την επιφύλαξη των σχετικών διεθνών συμφωνιών που αναφέρονται στο άρθρο 1 για τα ενδιαφερόμενα μέρη·

β) για τα υπόγεια ύδατα

i) τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να προληφθεί ή να περιορισθεί η διοχέτευση ρύπων στα υπόγεια ύδατα και να προληφθεί η υποβάθμιση της κατάστασης όλων των συστημάτων των υπόγειων υδάτων, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παραγράφων 6 και 7 και με την επιφύλαξη της παραγράφου 8 του παρόντος άρθρου, καθώς και με την επιφύλαξη της εφαρμογής του άρθρου 11 παράγραφος 3 στοιχείο i)·

ii) τα κράτη μέλη προστατεύουν, αναβαθμίζουν και αποκαθιστούν όλα τα συστήματα των υπόγειων υδάτων, διασφαλίζουν ισορροπία μεταξύ της άντλησης και της ανατροφοδότησης των υπόγειων υδάτων, με στόχο την επίτευξη καλής κατάστασης των υπόγειων υδάτων το αργότερο δεκαπέντε έτη από την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος V, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παρατάσεων που καθορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 4 και της εφαρμογής των παραγράφων 5, 6 και 7 και με την επιφύλαξη της παραγράφου 8 του παρόντος άρθρου, καθώς και με την επιφύλαξη της εφαρμογής του άρθρου 11 παράγραφος 3 στοιχείο i)·

iii) τα κράτη μέλη εφαρμόζουν τα αναγκαία μέτρα για την αναστροφή κάθε σημαντικής και έμμονης ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οιουδήποτε ρύπου, η οποία οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα προκειμένου να μειωθεί προοδευτικά η ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

Τα μέτρα για την επίτευξη της αναστροφής της τάσης εφαρμόζονται σύμφωνα με τις παραγράφους 2, 4 και 5 του άρθρου 17, λαμβάνοντας υπόψη τα εφαρμοστέα πρότυπα που εκτίθενται στη σχετική κοινοτική νομοθεσία, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παραγράφων 6 και 7 και την επιφύλαξη της παραγράφου 8·

γ) για τις προστατευόμενες περιοχές

Τα κράτη μέλη συμμορφώνονται με όλα τα πρότυπα και τους στόχους το αργότερο δεκαπέντε έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, εκτός αν προβλέπεται άλλως στην κοινοτική νομοθεσία σύμφωνα με την οποία έχουν καθοριστεί οι επιμέρους προστατευόμενες περιοχές.

2. Εάν ένα συγκεκριμένο υδατικό σύστημα το αφορούν δύο ή περισσότεροι από τους στόχους της παραγράφου 1, εφαρμόζεται ο αυστηρότερος στόχος.

3. Τα κράτη μέλη μπορούν να καθορίσουν ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων ως τεχνητό ή ιδιαίτερος τροποποιημένο όταν:

α) οι αλλαγές στα υδρογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού που είναι αναγκαίες για την επίτευξη καλής οικολογικής κατάστασης, θα προκαλούσαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις:

i) στο ευρύτερο περιβάλλον·

ii) στη ναυσιπλοΐα, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών εγκαταστάσεων, ή στην αναψυχή·

iii) σε δραστηριότητες για τους σκοπούς των οποίων αποθηκεύεται ύδωρ, όπως η υδροδότηση, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ή η άρδευση·

iv) στη ρύθμιση του ύδατος, στην προστασία από πλημμύρες, στην αποξήρανση εδαφών ή

v) άλλες εξίσου σημαντικές ανθρώπινες δραστηριότητες για τη βιώσιμη ανάπτυξη·

β) οι χρήσιμοι στόχοι που εξυπηρετούνται από τα τεχνητά ή τροποποιημένα χαρακτηριστικά του υδατικού συστήματος δεν μπορούν, λόγω τεχνικής αδυναμίας ή δυσανάλογου κόστους, να επιτευχθούν λογικά με άλλα μέσα τα οποία αποτελούν πολύ καλύτερη περιβαλλοντική επιλογή.

Ειδική μνεία του καθορισμού αυτού και της αιτιολόγησής του θα γίνεται στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που επιβάλλει το άρθρο 13 και τα οποία αναθεωρούνται ανά εξαετία.

4. Οι προθεσμίες που προβλέπονται στην παράγραφο 1 μπορούν να παρατείνονται για τη σταδιακή επίτευξη των στόχων για υδατικά συστήματα, υπό την προϋπόθεση ότι δεν υποβαθμίζεται περαιτέρω η κατάσταση του πληττόμενου υδατικού συστήματος, εφόσον πληρούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) τα κράτη μέλη διαπιστώνουν ότι δεν είναι ευλόγως δυνατόν να επιτευχθούν όλες οι απαιτούμενες βελτιώσεις της κατάστασης του υδατικού συστήματος εντός των προθεσμιών που καθορίζονται στην παράγραφο αυτή, για έναν τουλάχιστον από τους ακόλουθους λόγους:

i) η κλίμακα των απαιτούμενων βελτιώσεων δεν είναι, για τεχνικούς λόγους, δυνατόν να επιτευχθεί παρά μόνο σε χρονικά στάδια που υπερβαίνουν το χρονοδιάγραμμα·

ii) η ολοκλήρωση των βελτιώσεων εντός του χρονοδιαγράμματος θα ήταν δυσανάλογα δαπανηρή·

iii) οι φυσικές συνθήκες δεν επιτρέπουν έγκαιρες βελτιώσεις στην κατάσταση του υδατικού συστήματος·

β) η παράταση της προθεσμίας και η αντίστοιχη αιτιολογία εκτίθενται ειδικά και επεξηγούνται στο σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, που απαιτείται δυνάμει του άρθρου 13·

γ) οι παρατάσεις περιορίζονται σε δύο το πολύ περαιτέρω ενημερώσεις του σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, εκτός από τις περιπτώσεις που οι φυσικές συνθήκες είναι τέτοιες ώστε οι στόχοι να μην είναι δυνατόν να επιτευχθούν εντός της περιόδου αυτής.

δ) το σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού περιλαμβάνει περίληψη των μέτρων τα οποία απαιτούνται σύμφωνα με το άρθρο 11 και τα οποία θεωρούνται αναγκαία για να φθάσουν προοδευτικά τα υδατικά συστήματα στην απαιτούμενη κατάσταση μέσα στην παραταθείσα προθεσμία, τους λόγους για οποιαδήποτε αξιοσημείωτη καθυστέρηση εφαρμογής των εν λόγω μέτρων και το αναμενόμενο χρονοδιάγραμμα για την εφαρμογή τους. Στις ενημερώσεις του σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού περιλαμβάνονται μια επισκόπηση της εφαρμογής των μέτρων αυτών και μια περίληψη των τυχόν πρόσθετων μέτρων.

5. Τα κράτη μέλη μπορούν να επιδιώκουν περιβαλλοντικούς στόχους λιγότερο αυστηρούς από αυτούς που απαιτούνται δυνάμει της παραγράφου 1 για συγκεκριμένα υδατικά συστήματα, όταν επηρεάζονται τόσο από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως ορίζεται σύμφωνα με το άρθρο 5 παράγραφος 1, ή η φυσική τους κατάσταση είναι τέτοια ώστε η επίτευξη των στόχων αυτών να είναι ανέφικτη ή δυσανάλογα δαπανηρή, και εφόσον πληρούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) οι περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές ανάγκες που εξυπηρετούνται από την ανθρώπινη αυτή δραστηριότητα δεν μπορούν να επιτευχθούν με άλλα μέσα τα οποία αποτελούν πολύ καλύτερη επιλογή για περιβαλλοντική πρακτική, η οποία δεν συνεπάγεται δυσανάλογο κόστος.

β) τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν:

- για τα επιφανειακά ύδατα, ότι επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό οικολογικό δυναμικό και η καλύτερη δυνατή χημική κατάσταση, δεδομένων των επιπτώσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν αποφευχθεί λόγω της φύσεως της ανθρώπινης δραστηριότητας ή της ρύπανσης,

- για τα υπόγεια ύδατα, τις όσο το δυνατόν λιγότερες μεταβολές στην καλή κατάσταση των υπόγειων υδάτων, δεδομένων των επιπτώσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν αποφευχθεί λόγω της φύσεως της ανθρώπινης δραστηριότητας ή της ρύπανσης.

γ) δεν σημειώνεται περαιτέρω υποβάθμιση της κατάστασης του πληγέντος υδατικού συστήματος.

δ) η καθιέρωση λιγότερο αυστηρών περιβαλλοντικών στόχων και η αντίστοιχη αιτιολογία εκτίθενται ειδικά στο σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που επιβάλλει το άρθρο 13, οι δε στόχοι αυτοί αναθεωρούνται ανά εξαετία.

6. Προσωρινή υποβάθμιση της κατάστασης των υδατικών συστημάτων δεν συνιστά παράβαση των απαιτήσεων της παρούσας οδηγίας εάν οφείλεται σε περιστάσεις που απορρέουν από φυσικά αίτια ή από ανωτέρα βία και είναι εξαιρετικές ή δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, ιδίως ακραίες πλημμύρες και παρατεταμένες ξηρασίες, ή εάν οφείλεται σε περιστάσεις λόγω ατυχημάτων οι οποίες

δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, εφόσον πληρούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) λαμβάνονται όλα τα πρακτικώς εφικτά μέτρα για να προληφθεί η περαιτέρω υποβάθμιση της κατάστασης και για να μην υπονομευθεί η επίτευξη των στόχων της παρούσας οδηγίας σε άλλα υδατικά συστήματα που δεν θίγονται από τις περιστάσεις αυτές·

β) το σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού αναφέρει τους όρους υπό τους οποίους μπορούν να κηρύσσονται οι απρόβλεπτες ή εξαιρετικές αυτές περιστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της θέσπισης των κατάλληλων δεικτών·

γ) τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται στις εξαιρετικές αυτές περιστάσεις περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα μέτρων και δεν θα υπονομεύσουν την αποκατάσταση της ποιότητας του υδατικού συστήματος μετά τη λήξη των περιστάσεων·

δ) οι επιπτώσεις των εξαιρετικών περιστάσεων ή των περιστάσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί επισκοπούνται ετησίως και, με την επιφύλαξη των λόγων που εκτίθενται στην παράγραφο 4 στοιχείο α), έχουν ληφθεί όλα τα πρακτικώς εφικτά μέτρα για την ευλόγως ταχύτερη δυνατή αποκατάσταση του υδατικού συστήματος στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν πριν από τις επιπτώσεις των περιστάσεων αυτών και

ε) η επόμενη ενημέρωση του σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού περιλαμβάνει περίληψη των συνεπειών των περιστάσεων και των μέτρων που ελήφθησαν ή θα ληφθούν σύμφωνα με τα στοιχεία α) και δ).

7. Τα κράτη μέλη δεν παραβιάζουν την παρούσα οδηγία εφόσον:

- η αδυναμία επίτευξης καλής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, καλής οικολογικής κατάστασης ή, κατά περίπτωση, καλού οικολογικού δυναμικού ή πρόληψης της υποβάθμισης της κατάστασης ενός συστήματος επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων, οφείλεται σε νέες τροποποιήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών του συστήματος επιφανειακών υδάτων ή σε μεταβολές της στάθμης των συστημάτων υπόγειων υδάτων ή

- η αδυναμία πρόληψης της υποβάθμισης από την άριστη στην καλή κατάσταση ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων είναι αποτέλεσμα νέων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων βιώσιμης ανάπτυξης

και εφόσον πληρούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) λαμβάνονται όλα τα πρακτικώς εφικτά μέτρα για το μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων στην κατάσταση του υδατικού συστήματος·

β) η αιτιολογία των τροποποιήσεων ή των μεταβολών εκτίθεται ειδικά στο σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που επιβάλλει το άρθρο 13, οι δε στόχοι αναθεωρούνται ανά εξαετία·

γ) οι λόγοι για τις τροποποιήσεις ή τις μεταβολές αυτές υπαγορεύονται επιτακτικά από το δημόσιο συμφέρον ή/και τα οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία από την επίτευξη των στόχων που εξαγγέλλονται στην παράγραφο 1 υπερκαλύπτονται από τα οφέλη των νέων τροποποιήσεων ή μεταβολών για την υγεία των ανθρώπων, για τη διαφύλαξη της ασφάλειάς τους ή για τη βιώσιμη ανάπτυξη και

δ) οι ευεργετικοί στόχοι τους οποίους εξυπηρετούν αυτές οι τροποποιήσεις ή μεταβολές των υδάτινων συστημάτων δεν μπορούν για τεχνικούς λόγους ή λόγω υπέρμετρου κόστους, να επιτευχθούν με άλλα μέσα που συνιστούν πολύ καλύτερη περιβαλλοντική επιλογή.

8. Κατά την εφαρμογή των παραγράφων 3, 4, 5, 6 και 7 τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε η εφαρμογή να μην αποκλείει μονίμως ή να μην υπονομεύει την επίτευξη των στόχων της παρούσας οδηγίας σε άλλα υδατικά συστήματα της ίδιας περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού και να συμβαδίζει με την εφαρμογή άλλων κοινοτικών περιβαλλοντικών νομοθετημάτων.

9. Πρέπει να ληφθούν μέτρα για να διασφαλισθεί ότι η εφαρμογή των νέων διατάξεων, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής των παραγράφων 3, 4, 5, 6 και 7 εγγυάται τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο προστασίας με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία.

Άρθρο 5

Χαρακτηριστικά της περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος

1. Κάθε κράτος μέλος εξασφαλίζει ότι, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή για κάθε τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού το οποίο βρίσκεται στο έδαφός του, αναλαμβάνεται:

- ανάλυση των χαρακτηριστικών της,

- επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και

- οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος,

σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των παραρτημάτων II και III, και ότι θα έχει περατωθεί το αργότερο τέσσερα έτη μετά την ημερομηνία ενάρξεως ισχύος της παρούσας οδηγίας.

2. Οι αναλύσεις και επισκοπήσεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1 επανεξετάζονται και, εάν απαιτείται, ενημερώνονται το αργότερο δεκατρία έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, στη συνέχεια δε, ανά εξαετία.

Άρθρο 6

Μητρώο προστατευόμενων περιοχών

1. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν τη δημιουργία μητρώου ή μητρώων όλων των περιοχών που κείνται στο εσωτερικό κάθε περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως χρήζουσες ειδικής προστασίας βάσει ειδικών διατάξεων της κοινοτικής νομοθεσίας για την προστασία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων τους ή για τη διατήρηση των οικότοπων και των ειδών που εξαρτώνται άμεσα από το νερό. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι το μητρώο θα έχει ολοκληρωθεί το αργότερο τέσσερα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας.

2. Το ή τα μητρώα περιλαμβάνουν όλα τα υδατικά συστήματα που προσδιορίζονται δυνάμει του άρθρου 7 παράγραφος 1 και όλες τις προστατευόμενες περιοχές που καλύπτονται από το παράρτημα IV.

3. Για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, το ή τα μητρώα προστατευόμενων περιοχών εξετάζονται και ενημερώνονται.

Άρθρο 7

Ύδατα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος

1. Σε κάθε περιοχή λεκάνης ποταμού, τα κράτη μέλη προσδιορίζουν:

- όλα τα υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την υδροληψία με σκοπό την ανθρώπινη κατανάλωση και παρέχουν κατά μέσον όρο άνω των 10 m³ ημερησίως ή εξυπηρετούν περισσότερα από 50 άτομα και

- τα υδατικά συστήματα που προορίζονται για τέτοια χρήση μελλοντικά.

Τα κράτη μέλη παρακολουθούν, σύμφωνα με το παράρτημα V, τα υδατικά συστήματα τα οποία, σύμφωνα με το παράρτημα V, παρέχουν κατά μέσο όρο άνω των 100 m³ ημερησίως.

2. Για κάθε υδατικό σύστημα που προσδιορίζεται κατά την παράγραφο 1, επιπλέον της τήρησης των στόχων του άρθρου 4 σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παρούσας οδηγίας για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των ποιοτικών προτύπων που καθορίζονται σε κοινοτικό επίπεδο δυνάμει του άρθρου 16, τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι, υπό το εφαρμοζόμενο καθεστώς επεξεργασίας του ύδατος και σύμφωνα με την κοινοτική νομοθεσία, το ύδωρ που προκύπτει πληροί τις απαιτήσεις της οδηγίας 80/778/ΕΟΚ, όπως τροποποιήθηκε με την οδηγία 98/83/ΕΚ.

3. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν την προσήκουσα προστασία των προσδιοριζόμενων υδατικών συστημάτων με σκοπό να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητάς τους, έτσι ώστε να μειωθεί το επίπεδο επεξεργασίας καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος. Τα κράτη μέλη μπορούν να καθιερώνουν ζώνες ασφαλείας για τα υδατικά αυτά συστήματα.

Άρθρο 8

Παρακολούθηση της κατάστασης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και των προστατευόμενων περιοχών

1. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν την κατάρτιση προγραμμάτων για την παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων, ώστε να υπάρχει συνεκτική και συνολική εικόνα της κατάστασης των υδάτων σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού:

- για τα επιφανειακά ύδατα, τα προγράμματα καλύπτουν:

i) τον όγκο και τη στάθμη ή το ρυθμό ροής στο μέτρο που αφορά την οικολογική και τη χημική τους κατάσταση και το οικολογικό τους δυναμικό·

ii) την οικολογική και τη χημική τους κατάσταση και το οικολογικό τους δυναμικό,

- για τα υπόγεια ύδατα, τα προγράμματα καλύπτουν την παρακολούθηση της χημικής και της ποσοτικής τους κατάστασης,

- για τις προστατευόμενες περιοχές, τα προγράμματα συμπληρώνονται με τις προδιαγραφές που περιέχονται στην κοινοτική νομοθεσία με την οποία έχουν καθοριστεί οι επιμέρους προστατευόμενες περιοχές.

2. Τα προγράμματα αυτά τίθενται σε εφαρμογή το αργότερο έξι έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, εκτός αν ορίζεται άλλως στην οικεία νομοθεσία. Η ως άνω παρακολούθηση πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του παραρτήματος V.

3. Τεχνικές προδιαγραφές και τυποποιημένες μέθοδοι για την ανάλυση και την παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων θεσπίζονται με τη διαδικασία του άρθρου 21.

Άρθρο 9

Ανάκτηση κόστους για υπηρεσίες ύδατος

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν υπόψη την αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική ανάλυση που διεξάγεται σύμφωνα με το παράρτημα III, και ειδικότερα σύμφωνα με την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει".

Μέχρι το 2010, τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν:

- ότι οι πολιτικές τιμολόγησης του ύδατος παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους και, κατά συνέπεια, συμβάλλουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της παρούσας οδηγίας,

- κατάλληλη συμβολή των διαφόρων χρήσεων ύδατος, διακρινόμενων, τουλάχιστον, σε βιομηχανία, νοικοκυριά και γεωργία, στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, βάσει της οικονομικής ανάλυσης που διενεργείται σύμφωνα με το παράρτημα III και λαμβάνοντας υπόψη την αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει".

Τα κράτη μέλη μπορούν εν προκειμένω να συνεκτιμούν τα κοινωνικά, τα περιβαλλοντικά και τα οικονομικά αποτελέσματα της ανάκτησης, καθώς και τις γεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες της οικείας περιοχής ή περιοχών.

2. Τα κράτη μέλη αναφέρουν, στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, τις προγραμματιζόμενες ενέργειες για την εφαρμογή της παραγράφου 1 οι οποίες θα συμβάλουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της παρούσας οδηγίας, καθώς και τη συμβολή των διαφόρων χρήσεων ύδατος στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος.

3. Το παρόν άρθρο δεν εμποδίζει επ' ουδενί τη θέσπιση συγκεκριμένων προληπτικών ή διορθωτικών μέτρων για την επίτευξη των στόχων της παρούσας οδηγίας.

4. Τα κράτη μέλη δεν παραβαίνουν την παρούσα οδηγία εάν αποφασίσουν, σύμφωνα με καθιερωμένες πρακτικές, να μην εφαρμόσουν τις διατάξεις της παραγράφου 1 δεύτερη περίοδος, και, για το λόγο αυτόν, τις σχετικές διατάξεις της παραγράφου 2, για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα χρήσης ύδατος, εφόσον τούτο δεν θίγει τους σκοπούς και την επίτευξη των στόχων της παρούσας οδηγίας. Τα κράτη μέλη αναφέρουν τους λόγους για τους οποίους δεν εφαρμόζουν πλήρως την παράγραφο 1 δεύτερη περίοδος στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

Άρθρο 10

Η συνδυασμένη προσέγγιση για σημειακές και διάχυτες πηγές

1. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι όλες οι αναφερόμενες στην παράγραφο 2 απορρίψεις σε επιφανειακά ύδατα ελέγχονται σύμφωνα με τη συνδυασμένη προσέγγιση που εκτίθεται στο παρόν άρθρο.

2. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν την καθιέρωση ή/και εφαρμογή:

α) των ελέγχων εκπομπών βάσει των καλύτερων διαθέσιμων τεχνικών, ή

β) των σχετικών οριακών τιμών εκπομπής, ή

γ) στην περίπτωση διάχυτων επιπτώσεων, των ελέγχων, συμπεριλαμβανομένων, κατά περίπτωση, των βέλτιστων περιβαλλοντικών πρακτικών,

που ορίζονται:

- στην οδηγία 96/61/EK του Συμβουλίου, της 24ης Σεπτεμβρίου 1996, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης(19),

- στην οδηγία 91/271/EK του Συμβουλίου, της 21ης Μαΐου 1991, για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων(20),

- στην οδηγία 91/676/EK του Συμβουλίου, της 12ης Δεκεμβρίου 1991, για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης(21),

- στις οδηγίες που εκδίδονται κατ' εφαρμογή του άρθρου 16 της παρούσας οδηγίας,

- στις οδηγίες που αναφέρονται στο παράρτημα ΙΧ,
- σε οιοδήποτε άλλο σχετικό κοινοτικό νομοθέτημα,

το αργότερο δώδεκα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, εκτός εάν ορίζεται άλλως στη σχετική νομοθεσία.

3. Όταν ένας ποιοτικός στόχος ή ένα ποιοτικό πρότυπο, είτε έχει καθοριστεί σύμφωνα με την παρούσα οδηγία, στις οδηγίες που αναφέρονται στο παράρτημα ΙΧ, είτε σύμφωνα με οιοδήποτε άλλο κοινοτικό νομοθέτημα, απαιτεί αυστηρότερους όρους από εκείνους που θα προέκυπταν από την εφαρμογή της παραγράφου 2, καθορίζονται αναλόγως και αυστηρότεροι έλεγχοι εκπομπών.

Άρθρο 11

Πρόγραμμα μέτρων

1. Κάθε κράτος μέλος μεριμνά για τη θέσπιση, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή για το τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκεται εντός της επικράτειάς του, προγράμματος μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων που απαιτούνται δυνάμει του άρθρου 5, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που καθορίζονται δυνάμει του άρθρου 4. Τα εν λόγω προγράμματα μέτρων μπορούν να αναφέρονται σε μέτρα που προκύπτουν από νομοθεσία, η οποία έχει θεσπισθεί σε εθνικό επίπεδο, και καλύπτουν το σύνολο της επικράτειας κράτους μέλους. Κατά περίπτωση, ένα κράτος μέλος μπορεί να θεσπίζει μέτρα που ισχύουν για όλες τις περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού ή/και τα τμήματα διεθνών περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκονται στην επικράτειά του.

2. Κάθε πρόγραμμα μέτρων περιλαμβάνει τα "βασικά" μέτρα που προσδιορίζονται στην παράγραφο 3 και, όπου απαιτείται, "συμπληρωματικά" μέτρα.

3. Τα "βασικά μέτρα" είναι οι στοιχειώδεις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται και συνίστανται:

α) στα μέτρα που απαιτούνται για την εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας για την προστασία των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που απαιτούνται δυνάμει της νομοθεσίας που προσδιορίζεται στο άρθρο 10 και στο μέρος Α του παραρτήματος VI·

β) σε μέτρα που κρίνονται κατάλληλα για τους σκοπούς του άρθρου 9·

γ) σε μέτρα για την προαγωγή μιας αποτελεσματικής και βιώσιμης χρήσης ύδατος προκειμένου να μην διακυβεύεται η επίτευξη των στόχων που ορίζονται στο άρθρο 4·

δ) σε μέτρα για τη συμμόρφωση προς τις απαιτήσεις του άρθρου 7, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων για τη διαφύλαξη της ποιότητας του ύδατος προκειμένου να μειωθεί το επίπεδο της επεξεργασίας καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος·

ε) σε ελέγχους που διέπουν την άντληση γλυκών επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και την κατακράτηση γλυκών επιφανειακών υδάτων, συμπεριλαμβανομένου μητρώου ή μητρώων αντλήσεων, και απαίτηση προηγούμενης άδειας για την άντληση και την κατακράτηση. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, εκσυγχρονίζονται. Τα κράτη μέλη μπορούν να εξαιρούν από τους εν λόγω ελέγχους τις αντλήσεις ή τις κατακρατήσεις που δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση του ύδατος.

στ) σε ελέγχους, συμπεριλαμβανομένης απαίτησης για προηγούμενη άδεια σχετικά με τεχνική ανατροφοδότηση ή αύξηση των συστημάτων υπόγειων υδάτων. Τα χρησιμοποιούμενα ύδατα μπορούν να προέρχονται από οιαδήποτε επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα, εφόσον η χρησιμοποίηση της πηγής δεν θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζονται για την πηγή ή το ανατροφοδοτημένο ή αυξανόμενο σύστημα υπόγειων υδάτων. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, εκσυγχρονίζονται,

ζ) για τις σημειακές πηγές απορρίψεων που ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση, σε απαίτηση για προηγούμενη κανονιστική ρύθμιση, όπως η απαγόρευση της εισόδου ρύπων στα ύδατα, ή για προηγούμενη άδεια, ή για καταχώρηση βασιζόμενη σε γενικούς δεσμευτικούς κανόνες που να καθορίζουν ελέγχους εκπομπών για τους σχετικούς ρύπους, συμπεριλαμβανομένων ελέγχων σύμφωνα με τα άρθρα 10 και 16. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, εκσυγχρονίζονται.

η) για τις διάχυτες πηγές ικανές να προκαλέσουν ρύπανση, μέτρα για την πρόληψη ή τον έλεγχο της διοχέτευσης ρύπων. Οι έλεγχοι μπορεί να λάβουν τη μορφή απαίτησης για προηγούμενη κανονιστική ρύθμιση, όπως η απαγόρευση εισόδου ρύπων στα ύδατα, προηγούμενη άδεια ή καταχώρηση βασιζόμενη σε γενικούς δεσμευτικούς κανόνες, όταν η απαίτηση αυτή δεν προβλέπεται από άλλη κοινοτική νομοθεσία. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, εκσυγχρονίζονται.

θ) για οιαδήποτε σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κατάσταση του ύδατος που προσδιορίζεται δυνάμει του άρθρου 5 και του παραρτήματος II, ιδίως μέτρα για να εξασφαλισθεί ότι οι υδρομορφολογικές συνθήκες των υδάτινων συστημάτων αντιστοιχούν στην επιδίωξη της απαιτούμενης οικολογικής κατάστασης ή καλού οικολογικού δυναμικού για υδατικά συστήματα που χαρακτηρίζονται τεχνητά ή ιδιαιτέρως τροποποιημένα. Οι έλεγχοι προς το σκοπό αυτό μπορεί να λάβουν τη μορφή απαίτησης για προηγούμενη άδεια ή καταχώρηση βασιζόμενη σε γενικούς δεσμευτικούς κανόνες, όταν η απαίτηση αυτή δεν προβλέπεται από άλλη κοινοτική νομοθεσία. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, εκσυγχρονίζονται.

ι) σε απαγόρευση των απορρίψεων ρύπων, απευθείας στα υπόγεια ύδατα, με την επιφύλαξη των ακόλουθων διατάξεων.

Τα κράτη μέλη μπορούν να επιτρέπουν την επανέγχυση στον ίδιο υδροφόρο ορίζοντα ύδατος το οποίο χρησιμοποιείται για γεωθερμικούς σκοπούς.

Τα κράτη μέλη μπορούν επίσης να επιτρέπουν, ορίζοντας τις σχετικές προϋποθέσεις:

- την έγχυση υδάτων που περιέχουν ουσίες, οι οποίες προέρχονται από εργασίες αναζήτησης και εξαγωγής υδρογονανθράκων ή από μεταλλευτικές δραστηριότητες, και την έγχυση υδάτων για τεχνικούς λόγους, σε γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους έχουν εξαχθεί υδρογονάνθρακες ή άλλες ουσίες ή σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι, για φυσικούς λόγους, είναι μονίμως ακατάλληλοι για άλλους σκοπούς. Οι εγχύσεις αυτές δεν επιτρέπεται να περιέχουν άλλες ουσίες πλην εκείνων που προέρχονται από τις προαναφερόμενες εργασίες·

- την επανέγχυση υπόγειων υδάτων που αντλούνται από ορυχεία και λατομεία ή που συνδέονται με την κατασκευή ή τη συντήρηση έργων πολιτικού μηχανικού·

- την έγχυση φυσικού αερίου ή υγραερίου (LPG) προς αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι, για φυσικούς λόγους, είναι μονίμως ακατάλληλοι για άλλους σκοπούς·

- την έγχυση φυσικού αερίου ή υγραερίου (LPG) προς αποθήκευση σε άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς όταν υπάρχει επιτακτική ανάγκη για την ασφάλεια του εφοδιασμού σε αέριο και όταν η έγχυση πραγματοποιείται κατά τρόπο που δεν παρουσιάζει ή δεν θα παρουσιάσει κίνδυνο υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων υποδοχής·

- κατασκευαστικές και οικοδομικές εργασίες και εργασίες πολιτικού μηχανικού και παρόμοιες δραστηριότητες επί ή εντός του εδάφους που έρχεται σε επαφή με τα υπόγεια ύδατα. Για τους σκοπούς αυτούς, τα κράτη μέλη μπορούν να ορίζουν ότι οι δραστηριότητες αυτές επιτρέπονται εφόσον διεξάγονται σύμφωνα με γενικούς δεσμευτικούς κανόνες τους οποίους θεσπίζουν τα κράτη μέλη για τις δραστηριότητες αυτές·

- απορρίψεις μικρών ποσοτήτων ουσιών οι οποίες πραγματοποιούνται για επιστημονικούς λόγους για το χαρακτηρισμό, την προστασία ή την αποκατάσταση υδατικών συστημάτων και οι οποίες περιορίζονται αυστηρά στην απαιτούμενη ποσότητα,

εφόσον οι εν λόγω απορρίψεις δεν θέτουν σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζονται για το εν λόγω σύστημα υπογείων υδάτων·

ια) σύμφωνα με τη δράση που αναλαμβάνεται δυνάμει του άρθρου 16, σε μέτρα για την εξάλειψη της ρύπανσης επιφανειακών υδάτων από τις ουσίες που προσδιορίζονται στον κατάλογο προτεραιότητας που συμφωνείται σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 2, και για την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από άλλες ουσίες η οποία, διαφορετικά, θα εμπόδιζε τα κράτη μέλη να επιτύχουν τους στόχους για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων σύμφωνα με το άρθρο 4·

ιβ) σε τυχόν μέτρα για την πρόληψη της σημαντικής διαρροής ρύπων από τεχνικές εγκαταστάσεις και για την πρόληψη ή/και τη μείωση των επιπτώσεων των επεισοδίων ρύπανσης λόγω ατυχήματος, για παράδειγμα έπειτα από πλημμύρες, συμπεριλαμβανομένων μέτρων που προβλέπουν συστήματα για την ανίχνευση τέτοιων γεγονότων ή για τη σχετική προειδοποίηση, συμπεριλαμβανομένων, στην

περίπτωση ατυχημάτων που δεν θα μπορούσαν να έχουν ευλόγως προβλεφθεί, όλων των κατάλληλων μέτρων για τη μείωση των κινδύνων στα υδατικά οικοσυστήματα.

4. "Συμπληρωματικά" μέτρα είναι τα μέτρα που καταρτίζονται και τίθενται σε εφαρμογή επιπλέον των βασικών μέτρων, με σκοπό την επίτευξη των στόχων που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 4. Το μέρος Β του παραρτήματος VI περιέχει μη εξαντλητικό κατάλογο τέτοιων μέτρων.

Τα κράτη μέλη μπορούν επίσης να θεσπίζουν περαιτέρω συμπληρωματικά μέτρα με σκοπό την πρόσθετη προστασία ή βελτίωση των υδάτων που καλύπτονται από την παρούσα οδηγία, μεταξύ άλλων κατ' εφαρμογή των οικείων διεθνών συμφωνιών περί των οποίων το άρθρο 1.

5. Όταν τα στοιχεία παρακολούθησης ή άλλα στοιχεία υποδεικνύουν ότι δεν είναι πιθανόν να επιτευχθούν οι στόχοι που τίθενται δυνάμει του άρθρου 4 για το υδατικό σύστημα, το κράτος μέλος μεριμνά ώστε:

- να διερευνώνται τα αίτια της πιθανής αποτυχίας,

- να εξετάζονται οι σχετικές άδειες και εξουσιοδοτήσεις και να αναθεωρούνται οσάκις είναι σκόπιμο,

- να αναθεωρούνται και να προσαρμόζονται τα προγράμματα παρακολούθησης οσάκις είναι σκόπιμο και

- να θεσπίζονται τα πρόσθετα μέτρα που είναι αναγκαία προκειμένου να επιτευχθούν οι εν λόγω στόχοι, συμπεριλαμβανομένης, οσάκις είναι σκόπιμο, της θέσπισης αυστηρότερων περιβαλλοντικών προτύπων, σύμφωνα με τις διαδικασίες που προβλέπονται στο παράρτημα V.

Όταν τα αίτια αυτά οφείλονται σε περιστάσεις που απορρέουν από φυσικά αίτια ή από ανωτέρα βία και είναι εξαιρετικές ή δεν μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, ιδίως ακραίες πλημμύρες και παρατεταμένες ξηρασίες, το κράτος μέλος μπορεί να αποφασίζει ότι η εφαρμογή πρόσθετων μέτρων είναι ανέφικτη, με την επιφύλαξη του άρθρου 4 παράγραφος 6.

6. Κατά την εφαρμογή των μέτρων που θεσπίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 3, τα κράτη μέλη λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα για να μην αυξηθεί η ρύπανση των θαλάσσιων υδάτων. Με την επιφύλαξη της ισχύουσας νομοθεσίας, η εφαρμογή μέτρων που λαμβάνονται σύμφωνα με την παράγραφο 3 δεν επιτρέπεται επ' ουδενί να οδηγεί, αμέσως ή εμμέσως, στην αύξηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Η απαίτηση αυτή δεν ισχύει εάν τούτο θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ρύπανσης του όλου περιβάλλοντος.

7. Τα προγράμματα μέτρων καταρτίζονται το αργότερο εννέα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας και όλα τα μέτρα είναι έτοιμα προς εφαρμογή το αργότερο δώδεκα έτη μετά την ημερομηνία αυτή.

8. Τα προγράμματα μέτρων αναθεωρούνται και, αν είναι ανάγκη, ενημερώνονται, το αργότερο δεκαπέντε έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας

και, στη συνέχεια, ανά εξαετία. Κάθε νέο ή αναθεωρημένο μέτρο που θεσπίζεται δυνάμει ενός ενημερωμένου προγράμματος, πρέπει να είναι έτοιμο προς εφαρμογή εντός τριών ετών από τη θέσπισή του.

Άρθρο 12

Θέματα που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν σε επίπεδο κράτους μέλους

1. Όταν ένα κράτος μέλος εντοπίσει ζήτημα που έχει επιπτώσεις στη διαχείριση των υδάτων του αλλά δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί από το εν λόγω κράτος μέλος, μπορεί να αναφέρει το ζήτημα στην Επιτροπή και σε οποιοδήποτε άλλο ενδιαφερόμενο κράτος μέλος και να προβεί σε συστάσεις για την επίλυσή του.

2. Η Επιτροπή απαντά σε οιαδήποτε αναφορά ή σύσταση κράτους μέλους εντός εξαμήνου.

Άρθρο 13

Σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού

1. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι καταρτίζεται ένα σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκεται εξ ολοκλήρου στο έδαφός τους.

2. Στην περίπτωση διεθνούς λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκεται εξ ολοκλήρου εντός της Κοινότητας, τα κράτη μέλη συνεργάζονται για την κατάρτιση ενιαίου διεθνούς σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Εφόσον δεν καταρτισθεί παρόμοιο διεθνές σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, τα κράτη μέλη καταρτίζουν σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που καλύπτουν τουλάχιστον τα μέρη της διεθνούς λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκονται στο έδαφός τους για την επίτευξη των στόχων της παρούσας οδηγίας.

3. Στην περίπτωση διεθνούς λεκάνης απορροής ποταμού η οποία υπερβαίνει τα όρια της Κοινότητας, τα κράτη μέλη προσπαθούν να καταρτίσουν ενιαίο σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού και, εάν αυτό είναι ανέφικτο, σχέδιο το οποίο καλύπτει τουλάχιστον το τμήμα της διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται στο έδαφος του εν λόγω κράτους μέλους.

4. Το σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού περιλαμβάνει τις πληροφορίες που εκτίθενται λεπτομερώς στο παράρτημα VII.

5. Τα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού μπορούν να συμπληρώνονται με την κατάρτιση λεπτομερέστερων προγραμμάτων και σχεδίων διαχείρισης ανά υπολεκάνη, τομέα, θέμα ή τύπο ύδατος, προκειμένου να αντιμετωπίζονται ειδικές πτυχές της διαχείρισης των υδάτων. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών δεν απαλλάσσει τα κράτη μέλη από οιαδήποτε υποχρέωση έχουν δυνάμει του υπολοίπου κειμένου της παρούσας οδηγίας.

6. Τα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού δημοσιεύονται το αργότερο εννέα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας.

7. Τα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού αναθεωρούνται και ενημερώνονται, το αργότερο δεκαπέντε έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας και, στη συνέχεια, ανά εξαετία.

Άρθρο 14

Πληροφόρηση του κοινού και διαβουλεύσεις

1. Τα κράτη μέλη ενθαρρύνουν την ενεργό συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων μερών στην υλοποίηση της παρούσας οδηγίας, ιδίως δε στην εκπόνηση, την αναθεώρηση και την ενημέρωση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Τα κράτη μέλη, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, δημοσιεύουν και θέτουν στη διάθεση του κοινού, συμπεριλαμβανομένων των χρηστών, για τη διατύπωση παρατηρήσεων:

α) χρονοδιάγραμμα και πρόγραμμα εργασιών για την εκπόνηση του σχεδίου, συμπεριλαμβανομένης κατάστασης των ληπτέων μέτρων διαβουλεύσεων, τουλάχιστον τρία έτη πριν από την έναρξη της περιόδου στην οποία αναφέρεται το σχέδιο·

β) ενδιάμεση επισκόπηση των σημαντικών ζητημάτων διαχείρισης των υδάτων που εντοπίστηκαν στη λεκάνη απορροής ποταμού, τουλάχιστον δύο έτη πριν από την έναρξη της περιόδου στην οποία αναφέρεται το σχέδιο·

γ) αντίγραφο του προσχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, τουλάχιστον ένα έτος πριν από την έναρξη της περιόδου στην οποία αναφέρεται το σχέδιο.

Κατόπιν σχετικής αίτησης, παρέχεται πρόσβαση σε βοηθητικά έγγραφα και πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του προσχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

2. Τα κράτη μέλη παρέχουν προθεσμία τουλάχιστον έξι μηνών για την υποβολή γραπτών παρατηρήσεων σχετικά με τα εν λόγω έγγραφα, προκειμένου να υπάρξει δυνατότητα ενεργού συμμετοχής και διαβουλεύσεων.

3. Οι παράγραφοι 1 και 2 εφαρμόζονται εξίσου στα ενημερωμένα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

Άρθρο 15

Υποβολή εκθέσεων

1. Τα κράτη μέλη διαβιβάζουν αντίγραφα των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού και όλων των επακόλουθων ενημερωμένων μορφών τους στην Επιτροπή και σε οιοδήποτε ενδιαφερόμενο κράτος μέλος εντός τριών μηνών από τη δημοσίευσή τους:

α) για τις περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκονται εξ ολοκλήρου στο έδαφος ενός κράτους μέλους, όλα τα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού

τα οποία καλύπτουν το εθνικό του έδαφος και έχουν δημοσιευθεί σύμφωνα με το άρθρο 13.

β) για τις διεθνείς περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού, τουλάχιστον το μέρος των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που καλύπτει το έδαφος του κράτους μέλους.

2. Τα κράτη μέλη υποβάλλουν συνοπτικές εκθέσεις σχετικά με:

- τις αναλύσεις που απαιτούνται δυνάμει του άρθρου 5 και

- τα προγράμματα παρακολούθησης που καταρτίζονται δυνάμει του άρθρου 8,

που αναλαμβάνονται για τους σκοπούς του πρώτου σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού εντός τριών μηνών από την ολοκλήρωσή τους.

3. Τα κράτη μέλη, εντός τριών ετών από τη δημοσίευση κάθε σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού ή την ενημέρωσή του βάσει του άρθρου 13, υποβάλλουν ενδιάμεση έκθεση στην οποία περιγράφεται η πρόοδος που έχει σημειωθεί ως προς την εφαρμογή του προβλεπόμενου προγράμματος μέτρων.

Άρθρο 16

Στρατηγικές κατά της ρύπανσης των υδάτων

1. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο θεσπίζουν ειδικά μέτρα κατά της ρύπανσης των υδάτων από μεμονωμένους ρύπους ή ομάδες ρύπων που αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για το υδατικό περιβάλλον ή μέσω αυτού, συμπεριλαμβανομένων των κινδύνων για τα ύδατα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος. Για τους ρύπους αυτούς, τα μέτρα αποσκοπούν στην προοδευτική μείωση και, για τις επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας οι οποίες καθορίζονται στο άρθρο 2 σημείο 30, στην παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών. Τα μέτρα αυτά θεσπίζονται βάσει προτάσεων που υποβάλλει η Επιτροπή σύμφωνα με τις διαδικασίες που προβλέπονται στη συνθήκη.

2. Η Επιτροπή υποβάλλει πρόταση για τον καθορισμό καταλόγου ουσιών προτεραιότητας οι οποίες επιλέγονται μεταξύ εκείνων που παρουσιάζουν σημαντικό κίνδυνο για το υδατικό περιβάλλον ή μέσω αυτού. Στις ουσίες αποδίδεται σειρά προτεραιότητας για ανάληψη δράσης βάσει του κινδύνου που εμφανίζουν για το υδατικό περιβάλλον, ή μέσω αυτού, ο οποίος προσδιορίζεται με:

α) αξιολόγηση του κινδύνου διεξαγόμενη σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΟΚ) αριθ. 793/93 του Συμβουλίου(22), την οδηγία 91/414/ΕΟΚ του Συμβουλίου(23) και την οδηγία 98/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου(24), ή

β) στοχοθετημένη αξιολόγηση βάσει του κινδύνου [σύμφωνα με τη μέθοδο του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 793/93], η οποία επικεντρώνεται αποκλειστικά στην υδατική οικοτοξικότητα και την τοξικότητα για τον άνθρωπο μέσω του υδατικού περιβάλλοντος.

Εάν είναι απαραίτητο, προκειμένου να ικανοποιηθεί το χρονοδιάγραμμα της παραγράφου 4, αποδίδεται στις ουσίες σειρά προτεραιότητας για την ανάληψη δράσης βάσει του κινδύνου που εμφανίζουν για το υδατικό περιβάλλον ή μέσω αυτού, ο οποίος προσδιορίζεται με απλουστευμένη διαδικασία αξιολόγησης βάσει του κινδύνου, στηριζόμενη σε επιστημονικές αρχές, με την οποία συνεκτιμώνται ιδίως:

- στοιχεία σχετικά με την εγγενή πιθανότητα ατυχήματος που εμφανίζει η σχετική ουσία, ιδίως δε σχετικά με την υδατική οικότοξικότητά της και την τοξικότητα για τον άνθρωπο μέσω υδάτινων οδών έκθεσης και

- στοιχεία από την παρακολούθηση εκτεταμένης περιβαλλοντικής μόλυνσης και

- άλλοι αποδεδειγμένοι παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να στοιχειοθετούν πιθανότητα εμφάνισης εκτεταμένης περιβαλλοντικής μόλυνσης, όπως ο παραγόμενος ή χρησιμοποιούμενος όγκος της σχετικής ουσίας και οι τρόποι χρήσης της.

3. Η πρόταση της Επιτροπής προσδιορίζει επίσης τις επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας. Προς τούτο, η Επιτροπή λαμβάνει υπόψη την επιλογή ανησυχητικών ουσιών η οποία επιχειρήθηκε στην οικεία κοινοτική νομοθεσία περί επικίνδυνων ουσιών ή στις οικείες διεθνείς συμφωνίες.

4. Η Επιτροπή επανεξετάζει τον εγκριθέντα κατάλογο ουσιών προτεραιότητας το αργότερο τέσσερα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, στη συνέχεια δε, τουλάχιστον ανά τετραετία, και υποβάλλει προτάσεις, όπου είναι ενδεδειγμένο.

5. Κατά την εκπόνηση της πρότασής της, η Επιτροπή λαμβάνει υπόψη συστάσεις που διατυπώνουν η επιστημονική επιτροπή για την τοξικότητα, την οικότοξικότητα και το περιβάλλον, τα κράτη μέλη, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, κοινοτικά ερευνητικά προγράμματα, διεθνείς οργανισμοί των οποίων η Κοινότητα είναι μέλος, ευρωπαϊκές επιχειρηματικές οργανώσεις, συμπεριλαμβανομένων αυτών που εκπροσωπούν τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, ευρωπαϊκοί οργανισμοί περιβάλλοντος και λοιπά συναφή στοιχεία που υποπίπτουν στην προσοχή της.

6. Για τις ουσίες προτεραιότητας, η Επιτροπή υποβάλλει προτάσεις ελέγχων για:

- την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των σχετικών ουσιών,

και ειδικότερα,

- την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των ουσιών όπως προσδιορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 3, συμπεριλαμβανομένου κατάλληλου χρονοδιαγράμματος προς το σκοπό αυτό. Το χρονοδιάγραμμα δεν υπερβαίνει τα 20 έτη από την έγκριση των εν λόγω προτάσεων από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο, σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος άρθρου.

Προς τούτο, η Επιτροπή προσδιορίζει το κατάλληλο από πλευράς κόστους/αποτελεσματικότητας και αναλογικότητας επίπεδο και συνδυασμό των

ελέγχων προϊόντων και διεργασιών τόσο για τις σημειακές όσο και για τις διάχυτες πηγές και λαμβάνει υπόψη ομοιόμορφες σε κοινοτική κλίμακα οριακές τιμές εκπομπής για τους ελέγχους διεργασιών. Όπου ενδείκνυται, τα κοινοτικά μέτρα για τον έλεγχο διεργασιών επιτρέπεται να θεσπίζονται κατά κλάδο. Όταν οι έλεγχοι προϊόντων περιλαμβάνουν επανεξέταση των σχετικών αδειών που έχουν εκδοθεί δυνάμει της οδηγίας 91/414/ΕΟΚ και της οδηγίας 98/8/ΕΚ, οι επανεξετάσεις αυτές διενεργούνται σύμφωνα με τις διατάξεις των εν λόγω οδηγιών. Κάθε πρόταση για ελέγχους πρέπει να προβλέπει τρόπους επανεξέτασης, εκσυγχρονισμού και αξιολόγησης της αποτελεσματικότητάς τους.

7. Η Επιτροπή υποβάλλει προτάσεις για ποιοτικά πρότυπα που αφορούν τις συγκεντρώσεις των ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, τα ιζήματα και το βιόκοσμο.

8. Η Επιτροπή υποβάλλει προτάσεις, σύμφωνα με τις παραγράφους 6 και 7, και τουλάχιστον για ελέγχους εκπομπών για σημειακές πηγές απορρίψεων και περιβαλλοντικά ποιοτικά πρότυπα, εντός δύο ετών από την προσθήκη της σχετικής ουσίας στον κατάλογο ουσιών προτεραιότητας. Για τις ουσίες που περιλαμβάνονται στον πρώτο κατάλογο προτεραιότητας, εφόσον δεν υπάρξει συμφωνία σε κοινοτικό επίπεδο εντός έξι ετών από την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη θεσπίζουν ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα για τις εν λόγω ουσίες τα οποία αφορούν όλα τα επιφανειακά ύδατα που επηρεάζονται από την απόρριψη των ουσιών αυτών και ελέγχους των κύριων πηγών των εν λόγω απορρίψεων, με βάση, μεταξύ άλλων, την εξέταση όλων των τεχνικών επιλογών περιορισμού. Για τις ουσίες που προστίθενται στη συνέχεια στον κατάλογο ουσιών προτεραιότητας, εφόσον δεν υπάρξει συμφωνία σε κοινοτικό επίπεδο, τα κράτη μέλη λαμβάνουν παρόμοια μέτρα πέντε έτη μετά την ημερομηνία της προσθήκης στον κατάλογο.

9. Η Επιτροπή μπορεί να επεξεργάζεται στρατηγικές κατά της ρύπανσης των υδάτων από οποιοδήποτε άλλο ρύπτο ή ομάδα ρύπων, συμπεριλαμβανομένης τυχόν ρύπανσης που οφείλεται σε ατυχήματα.

10. Κατά την προετοιμασία των προτάσεων της δυνάμει των παραγράφων 6 και 7, η Επιτροπή επανεξετάζει επίσης όλες τις οδηγίες που απαριθμούνται στο παράρτημα ΙΧ. Εντός της προθεσμίας που προβλέπεται στην παράγραφο 8, η Επιτροπή προτείνει την αναθεώρηση των ελέγχων του παραρτήματος ΙΧ για όλες τις ουσίες που περιλαμβάνονται στον κατάλογο προτεραιότητας και προτείνει τα κατάλληλα μέτρα, συμπεριλαμβανομένης της ενδεχόμενης κατάργησης των ελέγχων δυνάμει του παραρτήματος ΙΧ για όλες τις άλλες ουσίες.

Όλοι οι έλεγχοι του παραρτήματος ΙΧ των οποίων προτείνεται η αναθεώρηση καταργούνται από την ημερομηνία έναρξης ισχύος των εν λόγω αναθεωρήσεων.

11. Ο αναφερόμενος στις παραγράφους 2 και 3 κατάλογος ουσιών προτεραιότητας που προτείνεται από την Επιτροπή αποτελεί, με την έκδοσή του από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο, το παράρτημα Χ της παρούσας οδηγίας. Η αναθεώρησή του, η οποία αναφέρεται στην παράγραφο 4, ακολουθεί την ίδια διαδικασία.

Άρθρο 17

Στρατηγικές για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων

1. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο θεσπίζουν ειδικά μέτρα για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν στην επίτευξη του στόχου της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων σύμφωνα με το άρθρο 4 παράγραφος 1 στοιχείο β) και θεσπίζονται βάσει προτάσεως την οποία υποβάλλει η Επιτροπή εντός δύο ετών από τη θέση σε ισχύ της παρούσας οδηγίας, σύμφωνα με τις διαδικασίες που προβλέπονται στη συνθήκη.

2. Κατά την υποβολή προτάσεως μέτρων, η Επιτροπή λαμβάνει υπόψη την ανάλυση που διεξήχθη σύμφωνα με το άρθρο 5 και το παράρτημα II. Τα μέτρα αυτά προτείνονται νωρίτερα αν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα και περιλαμβάνουν:

α) κριτήρια αξιολόγησης της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, σύμφωνα με το παράρτημα II σημείο 2.2 και το παράρτημα V σημεία 2.3.2 και 2.4.5.

β) κριτήρια για τον προσδιορισμό σημαντικής και βιώσιμης ανοδικής τάσης και για τον καθορισμό εναρκτήριων σημείων αναστροφής της τάσης που θα χρησιμοποιούνται, σύμφωνα με το παράρτημα V σημείο 2.4.4.

3. Τα μέτρα που προκύπτουν από την εφαρμογή της παραγράφου 1 περιλαμβάνονται στα προγράμματα των μέτρων που απαιτούνται βάσει του άρθρου 11.

4. Ελλείπει θεσπίσεως κριτηρίων δυνάμει της παραγράφου 2 σε κοινοτικό επίπεδο, τα κράτη μέλη θεσπίζουν τα κατάλληλα κριτήρια το αργότερο πέντε έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας.

5. Ελλείπει θεσπίσεως κριτηρίων δυνάμει της παραγράφου 4 σε εθνικό επίπεδο, η αναστροφή της τάσης λαμβάνει ως εναρκτήριο σημείο της το 75 %, κατ' ανώτατο όριο, του επιπέδου των ποιοτικών προδιαγραφών που προβλέπονται στην υφιστάμενη κοινοτική νομοθεσία η οποία εφαρμόζεται στα υπόγεια ύδατα.

Άρθρο 18

Έκθεση της Επιτροπής

1. Η Επιτροπή δημοσιεύει έκθεση σχετικά με την υλοποίηση της παρούσας οδηγίας το αργότερο δώδεκα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας, στη συνέχεια δε ανά εξαετία, και την υποβάλλει στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο.

2. Η έκθεση περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα:

α) ανασκόπηση της προόδου εφαρμογής της παρούσας οδηγίας.

β) ανασκόπηση της κατάστασης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων στην Κοινότητα σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος.

γ) επιθεώρηση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, που υποβάλλονται σύμφωνα με το άρθρο 15, συμπεριλαμβανομένων προτάσεων για τη βελτίωση μελλοντικών σχεδίων.

δ) περίληψη της ανταπόκρισης σε καθεμία από τις εκθέσεις ή συστάσεις που υπέβαλαν τα κράτη μέλη στην Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 12.

ε) περίληψη κάθε πρότασης, ελεγκτικού μέτρου και στρατηγικής που αναπτύσσεται σύμφωνα με το άρθρο 16.

στ) σύνοψη των απαντήσεων που δόθηκαν στα σχόλια στα οποία προέβη το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο σχετικά με προηγούμενες εκθέσεις εκτέλεσης.

3. Το αργότερο δύο έτη μετά τις ημερομηνίες που αναφέρονται στα άρθρα 5 και 8, η Επιτροπή δημοσιεύει επίσης έκθεση σχετικά με την πρόοδο υλοποίησης, η οποία θα βασίζεται στις συνοπτικές εκθέσεις που υποβάλλουν τα κράτη μέλη δυνάμει του άρθρου 15 παράγραφος 2 και την υποβάλλει στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και τα κράτη μέλη.

4. Εντός τριών ετών από τη δημοσίευση κάθε έκθεσης που υποβάλλεται δυνάμει της παραγράφου 1, η Επιτροπή δημοσιεύει ενδιάμεση έκθεση στην οποία αναφέρεται η πρόοδος υλοποίησης που έχει επιτευχθεί, βάσει των ενδιάμεσων εκθέσεων των κρατών μελών, όπως αναφέρεται στο άρθρο 15 παράγραφος 3. Η έκθεση αυτή υποβάλλεται στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο.

5. Εφόσον απαιτείται και σύμφωνα με τον κύκλο υποβολής εκθέσεων, η Επιτροπή συγκαλεί διάσκεψη των ενδιαφερόμενων μερών κάθε κράτους μέλους σχετικά με την κοινοτική πολιτική των υδάτων, προκειμένου να συζητηθούν οι εκθέσεις της Επιτροπής όσον αφορά την υλοποίηση και να ανταλλάγουν εμπειρίες.

Στους συμμετέχοντες συμπεριλαμβάνονται εκπρόσωποι των αρμόδιων αρχών, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, των ΜΚΟ, των κοινωνικών και οικονομικών εταίρων, των οργανώσεων καταναλωτών, πανεπιστημιακοί και λοιποί εμπειρογνώμονες

Άρθρο 19

Σχέδια για μελλοντικά κοινοτικά μέτρα

1. Μία φορά το χρόνο, η Επιτροπή υποβάλλει, για ενημέρωση, στην επιτροπή του άρθρου 20 ενδεικτικό σχέδιο των μέτρων τα οποία προτίθεται να προτείνει στο εγγύς μέλλον και τα οποία έχουν επίδραση στη νομοθεσία για τα ύδατα, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που προκύπτουν από τις προτάσεις, των ελεγκτικών μέτρων και των στρατηγικών που αναπτύσσονται δυνάμει του άρθρου 16. Η Επιτροπή υποβάλλει το ανωτέρω σχέδιο για πρώτη φορά το αργότερο δύο έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας.

2. Η Επιτροπή επανεξετάζει την παρούσα οδηγία το αργότερο 19 έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της και προτείνει κάθε αναγκαία τροποποίησή της.

Άρθρο 20

Τεχνικές προσαρμογές της οδηγίας

1. Τα παραρτήματα I και III και το σημείο 1.3.6 του παραρτήματος V είναι δυνατόν να προσαρμόζονται στην επιστημονική και τεχνική πρόοδο με τις διαδικασίες του άρθρου 21, λαμβάνοντας υπόψη τις προθεσμίες αναθεώρησης και ενημέρωσης των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, όπως προβλέπεται στο άρθρο 13. Όταν υπάρχει ανάγκη, η Επιτροπή μπορεί να θεσπίζει κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή των παραρτημάτων II και V, σύμφωνα με τις διαδικασίες που καθορίζονται στο άρθρο 21.

2. Για τη διαβίβαση και την επεξεργασία δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των στατιστικών και χαρτογραφικών δεδομένων, είναι δυνατόν να θεσπίζονται τεχνικά μορφότυπα για τους σκοπούς της παραγράφου 1, σύμφωνα με τις διαδικασίες που καθορίζονται στο άρθρο 21.

Άρθρο 21

Κανονιστική επιτροπή

1. Η Επιτροπή επικουρείται από επιτροπή (εφεξής αναφερόμενη ως "επιτροπή").

2. Όταν γίνονται αναφορές στο παρόν άρθρο, εφαρμόζονται τα άρθρα 5 και 7 της απόφασης 1999/468/ΕΚ, τηρουμένων των διατάξεων του άρθρου 8.

Η περίοδος που προβλέπεται στο άρθρο 5 παράγραφος 6 της απόφασης 1999/468/ΕΚ είναι τρεις μήνες.

3. Η επιτροπή θεσπίζει τον εσωτερικό της κανονισμό.

Άρθρο 22

Καταργήσεις και μεταβατικές διατάξεις

1. Τα κατωτέρω κείμενα καταργούνται επτά έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας:

- η οδηγία 75/440/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 16ης Ιουνίου 1975, περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφανείας που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη μέλη(25),

- η απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 12ης Δεκεμβρίου 1977, περί καθιερώσεως κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων της Κοινότητας(26),

- η οδηγία 79/869/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 9ης Οκτωβρίου 1979, περί των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα κράτη μέλη(27).

2. Τα κατωτέρω κείμενα καταργούνται δεκατρία έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας:

- η οδηγία 78/659/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 18ης Ιουλίου 1978, περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων(28),

- η οδηγία 79/923/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 30ής Οκτωβρίου 1979, περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων για οστρακοειδή(29),

- η οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 17ης Δεκεμβρίου 1979, περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες,

- η οδηγία 76/464/ΕΟΚ, εκτός από το άρθρο 6, που καταργείται με την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας.

3. Οι ακόλουθες μεταβατικές διατάξεις ισχύουν για την οδηγία 76/464/ΕΟΚ:

α) ο κατάλογος προτεραιότητας που θεσπίζεται δυνάμει του άρθρου 16 της παρούσας οδηγίας αντικαθιστά τον κατάλογο ουσιών στις οποίες αποδίδεται προτεραιότητα βάσει της ανακοίνωσης της Επιτροπής προς το Συμβούλιο, της 22ας Ιουνίου 1982·

β) για τους σκοπούς του άρθρου 7 της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ, τα κράτη μέλη δύνανται να εφαρμόζουν τις προβλεπόμενες στην παρούσα οδηγία αρχές για τον εντοπισμό των προβλημάτων ρύπανσης και των ουσιών που τα προξενούν, τη θέσπιση ποιοτικών προτύπων και τη λήψη μέτρων.

4. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι του άρθρου 4 και τα ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα που θεσπίζονται στο παράρτημα ΙΧ και σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 5, και από τα κράτη μέλη δυνάμει του παραρτήματος V για τις ουσίες που δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο προτεραιότητας και, δυνάμει του άρθρου 16 παράγραφος 6, όσον αφορά τις ουσίες προτεραιότητας για τις οποίες δεν έχουν καθοριστεί κοινοτικά πρότυπα, θεωρούνται ως ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα για τους σκοπούς του άρθρου 2 σημείο 7 και του άρθρου 10 της οδηγίας 96/61/ΕΚ.

5. Εάν ουσία του καταλόγου προτεραιότητας που θεσπίζεται δυνάμει του άρθρου 16 δεν περιλαμβάνεται στον παράρτημα VIII της παρούσας οδηγίας ή στο παράρτημα ΙΙΙ της οδηγίας 96/61/ΕΚ, η ουσία αυτή προστίθεται στα εν λόγω παραρτήματα.

6. Για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων, οι περιβαλλοντικοί στόχοι που θεσπίζονται δυνάμει του πρώτου σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που απαιτείται από την παρούσα οδηγία, συνεπάγονται, τουλάχιστον, τη θέσπιση ποιοτικών προτύπων τουλάχιστον το ίδιο αυστηρών με εκείνα που απαιτούνται για την εφαρμογή της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ.

Άρθρο 23

Κυρώσεις

Τα κράτη μέλη ορίζουν τις κυρώσεις που επιβάλλονται για παραβίαση των εθνικών διατάξεων που εκδίδονται σύμφωνα με την παρούσα οδηγία. Οι κυρώσεις αυτές πρέπει να είναι αποτελεσματικές, ανάλογες και αποτρεπτικές.

Άρθρο 24

Εφαρμογή

1. Τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις αναγκαίες νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις για να συμμορφωθούν προς την παρούσα οδηγία, το αργότερο στις 22 Δεκεμβρίου 2003. Πληροφορούν αμέσως την Επιτροπή σχετικά.

Οι διατάξεις αυτές, όταν θεσπίζονται από τα κράτη μέλη, αναφέρονται στην παρούσα οδηγία ή συνοδεύονται από παρόμοια αναφορά κατά την επίσημη δημοσίευσή τους. Οι λεπτομερείς διατάξεις για την αναφορά αυτή καθορίζονται από τα κράτη μέλη.

2. Τα κράτη μέλη ανακοινώνουν στην Επιτροπή το κείμενο των βασικών διατάξεων εθνικού δικαίου που θεσπίζουν στον τομέα που καλύπτει η παρούσα οδηγία. Η Επιτροπή ενημερώνει σχετικά τα λοιπά κράτη μέλη.

Άρθρο 25

Έναρξη ισχύος

Η παρούσα οδηγία αρχίζει να ισχύει την ημέρα της δημοσίευσής της στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

Άρθρο 26

Αποδέκτες

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα κράτη μέλη.

Λουξεμβούργο, 23 Οκτωβρίου 2000.

Για το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο

Η Πρόεδρος

N. Fontaine

Για το Συμβούλιο

Ο Πρόεδρος

J. Glavaný

Βιβλιογραφία

Βογιατζή Χ., (2007), «Προσομοίωση παράκτιου υδροφορέα-Βόρεια Κω», Διπλωματική Εργασία Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Γιαννουλόπουλος Π., «Υπόγεια Υδραυλική και Μαθηματικά Μοντέλα στο Αργολικό πεδίο», Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα, 2000.

Κουράκος Γ., «Βελτιστοποίηση Αντλήσεων Παράκτιων Υδροφορέων με Περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια», Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα, 2009.

Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., (1999), «Τεχνική Υδρολογία», Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας υδατικών πόρων, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., «Υδρομετεωρολογία - Εξάτμιση και διαπνοή» Τομέας Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2000.

Λαμπράκης Ν. «Υδρογεωλογική έρευνα για την εφαρμογή μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα των κροκαλοπαγών σχηματισμών Εμπάρου Κρήτης, Κοινότητα Εμπάρου» Πάτρα, 1998

Μαντόγλου Α., Κουράκος Γ., «Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου ανάλυσης παράκτιων υδροφορέων», Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξειλιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα, Τεύχος 4β, Αθήνα, 2005.

Μαντόγλου Α., «Προσομοίωση και διαχείριση παράκτιων υδροφορέων» Διαχείριση φυσικών καταστροφών, Ημερίδα, Δεκέμβριος 2007.

Νάνου – Γιάνναρου Α., (2006), Εισαγωγή στα Υπόγεια Νερά, Ε.Μ.Π., Αθήνα. 249

Νικολή Ρ., Διπλωματική εργασία, «Διερεύνηση Υδάτινου Δυναμικού Υπόγειου Υδροφορέα Εμπορείου – Περίσσας Ν. Θήρας», ΕΜΠ, Αθήνα 2007.

Παπανικολάου Δ., (1986), Γεωλογία της Ελλάδας, σελ. 219.

Παπαντωνίου Μ., (2003), «Διαχείριση Παράκτιων Υδροφορέων – Βελτιστοποίηση Αντλήσεων», Διπλωματική Εργασία Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Παπουτσής Σ., Διπλωματική Εργασία, «Μοντέλα Προσομοίωσης Κίνησης Νερού και Ρύπων στους Υπόγειους Υδροφορείς και Ρύθμιση Παραμέτρων», ΕΜΠ, Αθήνα 2001.

Παράκτιου Υδροφορέα της Ν. Θήρας υπό την Επίδραση Έντονων Κλιματικών Αλλαγών», ΕΜΠ, Αθήνα 2008.

Στράντζαλης Κ., Διπλωματική εργασία, «Προσδιορισμός Υδάτινου Ισοζυγίου Υπόγειου

Τσακίρης Γ., (1995), «Υδατικοί Πόροι: I. Τεχνική Υδρολογία», Ε.Μ.Π., Σχολή Αγγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα.

Τσακίρης Γ., (2006), «Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση – Τόμος II: Εγγειοβελτιωτικά Έργα», Αθήνα.

Anderson M. and Woessner W., (1992), Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press.

ALTHERR. R.. SCHLIESTEDT, M., OKRUSCH. M. SEIDEL E.. KREUZER. H., HARRE,W.. LENZ, H., WENDT, 1.& WAGNER. G. (1979): Geochronology of high-pressure rocks on Sifnos (Greece, Cyclades). -Contr. Miner. & Petrol.. 70, 245-255.

ALTHERR, R., KREUZER, H., WENDT, 1.,LENZ, H., WAGNER. G.-A., KELLER, J., HARRE, W. & HOHNDORF, A. (1982): A late Oligocene/early Miocene high temperature belt in the Attico-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). - GeoJ. Ib., E23, 97- 164.

ANDRIESS EN, P.-A., BOELRUK, N.-A., HERBEDA, E.-H., PRIEM, H.-M., VERDURMEN, E.-A., & VERSCHURE, R.-H. (1979): Dating the events of metamorphism and granitic magmatism in the Alpine Orogen at Naxos (Cyclades, Greece). -Contr. Miner. & Petrol., 69,215-225.

ANGELIER, J. (1979): Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. -Tectonophysics, 56, T17-T26.

ANGELIER, J., LYBERIS, N., LE PICHON, X., BARRIER, E. & HUCHON, F. (1986): The tectonic development of the Hellenic arc and the sea of Crete: A synthesis. - Tectonophysics, 86, 159-196.

AVIGAD, D. & CARFUNKEL, Z. (1989): Low-angle faults above and below a blueschist belt, Tinos Is., Cyclades, Greece. -Tera Nova, 1, 182-187.

AVIGAD, D. & CARFUNKEL, Z. (1991): Uplift and exhumation of high pressure metamorphic terrains: the example of the Cycladic blueschist belt. Tectonophysics, 188,357-372.

AUBOUIN, J. (1959): Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale: les confins de l' Epire et de la Thessalie. -Ann. geol. Pays Hellen., 10, 1-483.

AUBOUIN, J., (1965): Geosynclines. -Developments in Geotectonics, vol. I, Elsevier ed.,Amsterdam, 335p.

AUBOUIN, J., (1973): Des tectoniques superposees et de leur simplification, par rapport aux modeles geophysiques: l'exemples des Dinarides, paleotectonique, tectonique, tarditectonique,neotectonique. -Bull. Soc. Geol. France, (7), 15,42c

AUBOUIN, L & DEDOUPT, J., (1965): Sur la géologie de l'Égée: regard sur la Crète (Grèce). -Bull. Soc. Geol. France, (7), 7, 787-821.

AUBOUIN, J., DERCOURT, J., NEUMANN, M. & SIGAL, J. (1965): Un élément externe de la zone du Pinde: la série d'Ethia (Crète, Grèce). -Bull. Soc. Geol. France, (7), 7, 753-757.

Bakker M., (2005), The Sea Water Intrusion (SWI) Package Manual, Artesia – The University of Georgia.

BARBER, DJ. (1985): Dislocations and microstructures. -In H.R. Wenk (ed): Preferred Orientation in Deformed Metals and Rocks. An Introduction to modern texture analysis. Academic Press, London, 149-182.

Bear J., (1979), Hydraulics of Groundwater, Edition of 2007, Dover Publications Inc., Mineola, New York.

Bear J., (1972), Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover Publications Inc., Mineola, New York.

Bear J. and Verruijt A., (1987), Modeling Groundwater Flow and Pollution, D. Reidel Publishing Company.

Bear J. et al., (1999), Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices, Kluwer Academic Publishers, p. 163 – 191.

BIJU-DUVAL, B., DERCOURT, J. & LE PICHON, X., (1977): From the Tethys ocean to the Mediterranean seas: a plate tectonic model of the evolution of the western Alpine system. -In B. Biju-Duval and L. Montadert (eds), Histoire Structurale Des Bassins Méditerranéens. Split, Yougoslavie. Editions Technip. Paris, 143-164.

BIZON, C & THIEBAULT F. (1974): Données nouvelles sur l'âge des marbres et quartzites du Taygète (Péloponnèse méridionale, Grèce). -C R. Acad. Sc.. Serie D, 278, 9-12.

BLAKE, M.-C, BONNEAU, M., GEYSSANT. 1., KIENAST, J.-R. LEPVIER. C. MALUSKI, H. & PAPANIKOLAOU, D. (1981): A geological reconnaissance of the Cycladic blueschist belt, Greece. -Bull. Geol. Soc. Amer., 92, 247-254.

BOCCALETTI, M. (1973): Mesogea, Mesoparathethys. Mediterranean and Parathethys: Their possible relations with the Tethys ocean development. -Ofioliti, 4, 83-96.

BONNEAU, M. (1970): Les lambeaux allochtones du revers septentrional du massif des Psiloriti (Crète moyenne, Grèce). -Bull. Soc. Geol. France, (7), 12, 1124-1129.

BONNEAU, M. (1972a): Existence d'un lambeau de cristallin chevauchant sur la série du Pinde en Crète moyenne (Grèce). -C R. Acad. Sc. Paris. 274, 2133-2136.

BONNEAU, M. (1972b): La nappe metamorphique de l'Asteroussia, lambeau d'affinites pelagoniennes charie jusque sur la zone zone de Tripolitza de la Crete moyenne (Grece). -CR. Acad. Sc. Paris, 275, 2303-2306.

BONNEAU, M. (1973): Sur les affinites ioniennes des "calcaires en plaquettes" epimetamorphiques de la Crete, le charriage de la serie de Gavrovo- Tripolitza et la structure de l'arc Egeen. -CR. Acad. Sc. Paris, 277, 2453-2456.

BONNEAU, M. (1976): Esquisse structurale de la Crete alpine. -Rapp. 5, Call. Geol. Regions Egeennes; Orsay. Bull. Soc. Geol. France, 2, 155-157

BONNEAU, M. (1982): Evolution dynamique de l'Arc Egeen depuis le Jurassique superieur jusqu'au Miocene. -Bull. Soc. Geol. France, 24, 229-242.

BONNEAU, M. (1984): Correlation of the Hellenides nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. -Geol. Soc. London, sp. publ., 17,517-527.

BONNEAU, M. & FLEURY, J.-J. (1971): Precisions sur la serie d' Ethia (Crete, Grece): existence d' un premier flysch mesocretace. -CR. Acad. Sc. Paris, 272, 1840-1842.

BONNEAU, M. & ZAMBETAKIS, A. (1975): La serie Mangassa de la Crete orientale (Grece): une klippe d'origine pindique externe. -C R. Acad. Sc. Paris, 281, 1719.

BONNEAU, M., BEAUDVAIS, L. & MIDDLEMISS, F.-A. (1974): L' unite de Miamou (Crete, Grece) et sa macrofaune d'age J urassique superieur (Brachiopods, Madreporaires). - Ann. soc. geoJ. Nord. 94.71-85.

BROWN, E.H. (1977): Crossite content of Ca-amphibole. -1. Petror. 18.53-72.

BRUN, J.P. .. SOKOUTIS, D. & VAN DEN DRIESSCHE, J.L.. (1994): Analogue modeling of detachment fault systems and core complexes. -Geology, 22, 319322.

BRUNN, J.H. (1956): Etude geologique du Pindos septentrional et de la Macedoine occidentale. -Ann. geaJ. Pays Hellen., 7. 1-358.

BUICK I.-S. (1991): Mylonite fabric development on Naxos. Greece. -1. Struct. GeaJ., 13. 643-655.

BURCHFIEL, B., ZHILIANG, C, HODGES, K., YUPING, L., ROYDEN, L., CHANG RONG, D. & JIENE, X. (1992): The south Thibetan detachment System, Himalayan Orogen: Extension contemporaneous with and parallel to Shortening in a collisional Mountain belt. - Geoi. Soc. Am., Spec. Pap., 269, 141.

BURG, J.P., IVANOV, Z., RICOU, E.L., OIMOR, D. & KL\IN, L. (1990): Implications of shear-sense criteria for the Tectonic evolution of the central Rhodope massif, S. Boulgaria. -Geology, 18.451-454.

CARMIGNM'Y, L. & KLIEGFIELD, R. (1990): Crustal extension in the northern Appenines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex. - Tectonics, 9, 1275-1305.

Carrera Jesus & Neuman P. Shlomo, Estimation of Aquifer Parameters Under Transient and Steady State Conditions: 1. Maximum Likelihood Method Incorporating Prior Information, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 2, Pages 199 – 210, February 1986a.

Carrera Jesus & Neuman P. Shlomo, Estimation of Aquifer Parameters Under Transient and Steady State Conditions: 2. Uniqueness, Stability and Solution Algorithms, *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 2, Pages 211 – 227, February 1986b.

CA YEUX, L. (1902): Sur la composition et l'age des terrains metamorphiques de la Crete. -e. R. Acad. Sc. Paris, 134, 1116-1119.

CHALIKIOPOYLOS, L. (1903): Sitia, die Osthalsinsel Kretas. - Veroeff d. Inst. F Meerskunde, 4.

Chiang W. and Kinzelbach W., (2001), 3D – Groundwater Modeling with PMWIN, Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York.

Chiang W., (2005), Processing Modflow Pro, WebTech360.

CHOUKROUNE, P., GAPAIS, D. & MERLE, O. (1987): Shear criteria and structural symmetry. -1. *Struct. Geol.*, 9, 525-530.

CLOOS, M. (1982): Flow melanges: numerical modeling and geological constrains on their origin in the Franciscan subduction complex, California. -*Bull. Geol. Soc. Am.*, 93, 330-345.

CRESPI, J.-M. (1986): Some guidelines for the practical application of Fry's method of strain analysis. -*J. Struct. Geol.*, 8, 799-808, 1986.

CREUTZBURG, N. (1961): Über junge Verschüttungserscheinungen auf der Insel Kreta und ihre Beziehungen zum Klima des Pleistozäns. -*Ann. Geol. d. Pays Hell.*, 12, 1-11.

CREUTZBURG, N. & SEIDEL, E. (1975): Zum Stand der Geologie des präkambriums auf Kreta. -*N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 149, 363-383.

CREUTZBURG, N., DROOGER, C.-W., MEULENKAMP, I.-E., PAPASTAMATI, I., SANNEMANN, W., SEIDEL, E. & TATARIS, A. (1977): General geological map of Crete (scale 1:200.000). -Institute of Geological and Mining Research, Athens.

DAVIS, G.-H. (1983): A shear zone model for the origin of metamorphic core complex. *Geology*, 11, 342-387

DERCOURT, J. (1972): The Canadian cordillera, the Hellenides and the sea floor spreading theory. -*Can. J. Earth. Sci.*, 9, 709-743.

DEWEY, J., PITMAN, W., RYAN, W. & BONNIN, J. (1973): Plate tectonics and the

evolution of the Alpine system. -GeoJ. Soc. Am. Bull., 84, 3137-3180.

DING, Z. (1984): Some formulae for calculating the parameters of the strain ellipse. Tectonophysics, 110, 167-175.

Donker, N. H. W. (1987), Wtrbln: A computer program to calculate water balance. "Computers & Geosciences, 13(2), 95 – 122.

DUNNET, D. (1969): A technique of finite strain analysis using elliptical particles. Tectonophysics, 7, 117-136.

DURR, S., ALTHERR, R., KELLER, J., OKRISCH, M. & SEIDEL E. (1978): The median Aegean Crystalline Belt. Stratigraphy, Structure, Metamorphism. Magmatism. - In: Cloos H., Roeder D. & Schmidt K., Alps, Appenines, Hellenides, Stuttgart.

ENGELDER, J.T. (1974): Cataclasis and the generation of fault gouge. -Bull. geol. Soc. Am., 85, 1515-1522.

ETCHECOPAR, A. & VASSEUR, G. (1987): A 3-D Kinematic model of fabric development in polycrystalline aggregates: comparisons with experimental and natural examples. -1. Struct. GeoJ., 9, 705-717.

ETHERIDGE, M.A., WALL, V.J., COX, S.F. & VERNON, R.H. (1984): High fluid pressures during regional metamorphism and deformation: implications for mass transport and deformation mechanisms. -1. geophys. Res., 89, 4344-4358.

EPTING, M., KUDRASS, H. & SCHAFFER, A. (1972): Stratiographie et position des series metamorphiques aux Talea Ori. -z. dt. geol. Ges., 123, 365-370.

EVIRGEN, M. & ATAMAN, G. (1981): Study of metamorphism of the central Menderes Massif: isograds, pressure and temperature. - Yebilimleri (Hacatepe Univ.) 7, 15-26.

FASSOULAS, C., KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1994): Post-nappe stacking extension and exhumation of the HP /L T rocks in the island of Crete, Greece. Tectonics, 13, 1, 127- 138.

FASSOULAS, C., KILIAS, A., MOUNTRAKIS, D. & MARKOPOULOS, T. (1993): Miocene extension in the Psiloritis Metamorphic core complex, Central Crete, Greece. -In National Technical University of Athens (eds): Special issue dedicated to ProA. Panagos, 885-903.

FRY, N. (1979): Randomly distributions and strain measurements in rocks. Tectonophysics, 60, 89-105.

FRANTZ, L. (1992): Die polymetamorphe Entwicklung des Altkristalline auf Kreta und im Dodekanes (Griechenland): eine geologische. geochemische und petrologische Bestandsaufnahme. - (Diss). Enke Verlag, Stuttgart.

GAUTIER, P. & BRUN, J.P. (1994): Crustal-scale geometry and kinematics of lateorogenic extension in the central Aegean. Cyclades and Evvia island. *Tectonophysics*, 238, 399-424.

Gelhar W. Lynn & Axness L. Carl, Three – Dimensional Stochastic Analysis of Macrodispersion in Aquifers, *Water Resources Research*, Vol. 19, No. 1, Pages 161 – 180, February 1983.

Geological Survey, 1948 – 60, U.S.G.S. Water Supply paper, 1839 – D.

Golden Software Inc, *Surfer User's Guide – Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers*, Colorado, 2002. B. Booth & A. Mitchell, *Getting Started with ArcGis*, ESRI, USA, 2001.

GRAHAM, C. & POWEL, R. (1984): A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona schist, Southern California. *J. Met. Geol.*, 2, 13-31.

GREILING, R. (1982): The metamorphic and structural evolution of the phyllite-quartzite nappe of western Crete. -1. *Struct. geol.*, 4/3, 291-297.

HALL, R. (1997): Basement and cover rock history in western Tethys: HT-LP metamorphism associated with extensional rifting of Gondwana. -In Audley-Charles,

M.G. & Hallam, A. (eds): *Gondwana and Tethys*. *Geol. Soc. spec. Publ.*, 37, 41-50.

HALL, R. & AUDLEY-CHARLES, M.G. (1983): The structure and regional significance of the Talea orogenic belt, Crete. -*J. Struct. Geol.*, 5, 167-179.

HALL, R., AUDLEY-CHARLES, M.G. & CARTER, D.I. (1984): -The significance of Crete for the evolution of the eastern Mediterranean. -*Geol. soc. spec. publ.*, 17, 49-516.

HANCOCK, M. (1985): Brittle microtectonics: Principles and practice. -1. *Struct. Geol.*, 7, 3/4, 437-457.

HANNA, S. & FRY, N. (1979): A comparison of methods of strain determination in rocks from southwest Dided (Pembrokeshire) and adjacent areas. -1. *Struct. Geol.*, 1, 156-162

HARMS, T., JAYKO, A. & BLAKE, M.-C. jr (1992): Kinematic evidence for extensional unroofing of the Franciscan complex along the Coast Range Fault, northern Diablo Range, California. -*Tectonics*, 11, 228-241.

Hiscock K., (2005), *Hydrogeology Principles and Practice*, Blackwell Publishing, 2nd Edition.

HOBBS, B. (1971): The analysis of strain in folded layers. -*Tectonophysics*, 6, 353-401.

HOBBS, B. MEANS, W. & VILLIAMS, P. (1970): An outline of structural geology. John Wiley & Sons, Inc. New York, 571pp.

HOBBS, B.E. & ORD, A. & TEYSSIER, C. (1986): Earthquakes in the ductile regime. Pure & Appl. Geophys., 124, 309-336.

HSU, T. (1966): The characteristics of coaxial and non-coaxial strain-paths. -1. Strain. Am. J. Sci., 264, 216-222.

HYNES, A.J. & NISBET, E.G. & SMITH, A.G., WELLAND, W.J.P. & REX, D.C. (1972): Spreading and emplacement ages of some ophiolites in the Othris region (eastern central Greece). -2. dt. Geol. J., 123, 455-468.

JACOBSSON, V., MAKRIS, J., RICHTER, D., BACHMANN, H.G., DOERT, D., GIESE, P. & RISCH, H. (1976): Alpidischer Gebirgsbau und Krustenstruktur des Peloponnes.-2. dt. Geol. Ges., 127, 337-363.

KARAKITSIOS, V. (1979): Contribution a l'etude geologique des Hellenides. Etude de la region de Sellia (Crete moyenne, Grece). -These 3e cycle, de. Univ. P. et M. Curie. Paris, 155pp.

KARAKITSIOS, V. (1977): La structure tectonique d'Attique et d'ile d'Eubee -Proc. 6th Int. Geol. Congr. Aegean Region, 211-228.

KAUFFMAN, G., KOCKEL, F. & MOLLAT, H. (1976): Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (Northern Greece). -Bull. Soc. geol. France, 18, 225-230.

KILIAS, A., SOTIRIADIS, L. & MOUNTRAKIS, D. (1986): New data concerning the structural geology of the Western Crete. The transgressive carbonate mass of the Herospilion Area. -Geol. Geoph. res. Special Issue, 101-110, 20-223.

KILIAS, A., FRISCH, W., RASCHBACHER, L. & SFEIKOS, A (1990): Structural evolution and P-T conditions of metamorphism of blue schists of E. Thessaly (Greece). -Bull. Geol. Soc. Greece, XXI/1, 81-99.

KILIAS, A., FASSOULAS, C., PRINIOTAKIS, M., FRISCH, W. & SFEIKOS, A (1991): Deformation and HP/LT Metamorphic conditions at the tectonic window of Kranea (W. Thessaly, N. Greece). -2. dt. Geol. Ges., 142, 87-96p.

KILIAS, A., FASSOULAS, C. & MOYNTIAKIS, D. (1994): Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis "Metamorphic core complex", in the central part of the Hellenic arc (Crete, Greece), -Geol. Rundsch, 83, 417-430.

KLIGFIELD, R., CARMIGNANI, L. & OWENS, W. (1981): Strain analysis of a Northern Apennine shear zone using deformed marble breccias. -T. Struct. Geol., 3, 421-436.

KNIPPE, R.J. (1989): Deformation mechanisms-recognition from natural tectonites. -1. Struct. Geol., 11, 127-146.

KNIPE, R.J. & LAW, R.D. (1987): The influence of crystallographic orientation and grain boundary migration in microstructural and textural evolution in an S-C mylonite. -Tectonophysics, 135, 153-169.

KOBER, L. (1952): Leitlinien der Tektonik Jugoslawiens. -Serb. Akad. Wiss., 189.

KOCKEL, F. & WALTER, H. (1968): Zur Geologischen Entwicklung des Sudlichen Serbomazedonischen massivs (Nordgriechenland). -Bulg. Akad. Sc. Bull. Geol. Inst. Geot.Str. Lyth. KH. XVII, 133-142.

KOENIG, H. & KUSS, S. (1980): Neue Daten zur Biostratigraphie des permotriadischen Autochthons der Insel Kreta. -N.Ih. Geol. Palaont. Mh., 1980,525.

KOPP, K.-O., OTI, E. (1977): Spezialkartierungen in Umkreis neuer Fossilfunde im Trypali und Tripolitsa-Kalken West-Kretas. -N. Ib. Geol. Palaont. Mh., 1977,(5),217-238.

KRAHL, J. (1982): The significance of the Blue-schists in the area of Monastery Preveli, south-western part of central Crete, Greece. -In H.E.A. T., proc., vol. 1, 298-305, Athens.

KRAHL, J., HERBART, H. & KATZENBERGER, S. (1982): Subdivision of the allochthonous Ophiolites-bearing formation upon the Pindos group. south-western part of central Crete, Greece. -In H.E.A. T., proc., vol. 1, 32-1-3-1-2., Athens.

KRAHL, J., KAUFMANN, G., KOZUR, H., RICHTER, D., FORSTER, O. & HEINRITZI, F. (1983): Neue Daten zur Biostratigraphie und zur tektonischen Lagerung der Phyllit-Gruppe und der Trypali-Gruppe auf der Insel Kreta (Griechenland). -Geol. Rdsch., 72, 1147-1166.

KRANTZ, R.L. (1983): Microcracks in rocks. A review. - Tectonophysics. 100,449-480.

Kresic N., (2006), Hydrogeology and Groundwater Modeling, 2nd Edition 2007.

KRONBERG, P., MEYER, W. & PILGER, A. (1970): Geologie der Rila-Rhodope Masse zwischen Strimon und Nestos. -Seith. Genf. Jb .. 83. 133-180.

KUSS, S.-E. & THORBECKE, G. (1974): Die praneogenen Gesteine der Insel Kreta und ihre korellierbarkeit im agalschen Raum. -Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg, 64,39-75.

LAW, R.D. (1987): Heterogeneous deformation and quartz crystallographic fabric transitions: natural examples from the Stack of Glencoul, northern Assynt. -1. Struct. Geol., 9, 819-833.

LEE, J. & LISTER, G. (1992): Late Miocene ductile extension and detachment faulting, Mykonos, Greece. -Geology, 20, 121-124.

LE PICHON, X. & ANGELIER, J. (1979): The Hellenic Arc and Trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 69, 1-42.

LE PICHON, X., CHAMOT-ROOKE, N., HUCHON, P & LUXEY, P. (1993): Implications des nouvelles mesures de géodésie spatiale en Grèce et en Turquie sur l'extrusion latérale de l'Arc taurique et de l'Égée. -*C.R. Acad. Sci. Paris.*, 316, 983-990.

LIN, S. & WILLIAMS, F. P. (1992): The geometrical relationship between the stretching lineation and the movement direction of shear zones. -*J. struct. Geol.*, 14, 491-497.

LISLE, R. (1977): Clastic grain shape and orientation in relation to cleavage from Aberystwyth grits, Wales. - *Tectonophysics*, 39, 381-395.

LISLE, R. (1985): *Geological strain analysis*. -Pergamon Press, Oxford.

LISTER, G.-S. & WILLIAMS, P.-T. (1979): Fabric development in shear zones, theoretical controls and observed phenomena. -*J. Struct. Geol.*, 1, 283-299.

LISTER, G.-S. & HOBBS, B.-E. (1980): The simulation of fabric development during plastic deformation and its application to quartzite: the influence of deformation history. -*J. Struct. Geol.*, 2, 355-370.

LISTER, G.-S. & WILLIAMS, P.-T. (1983): The partitioning of deformation in flowing rock masses. - *Tectonophysics*, 92, 1-33.

LISTER, G.-S. & SNOKE, A.-W. (1984): S-C Mylonites. -*J. Struct. Geol.*, 6, 617-138.

LISTER, G.-S. & DAVIS, G.-A. (1989): The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. -*J. Struct. Geol.*, 11, 65-94.

LISTER, G.-S., BANGA, G. & FEENSTRA, A. (1984): Metamorphic core complexes of Cordilleran type in the Cyclades, Aegean Sea, Greece. -*Geology*, 12, 221-225.

MARINOS, G. (1957): Zur Gliederung Ostgriechenlands in tektonische zonen. -*Geol. Rdsch.* 46. 2, 421-426.

MATTHEWES, P., BOND, R. & VAN DEN BERG, J. (1971): Analysis and structural implications of a kinematic model of similar folding. -*Tectonophysics*, 12, 129-154.

Mantoglou A., Papantoniou M., & Giannouloupoulos P., (2004), "Management of coastal Aquifers based on nonlinear optimization and evolutionary algorithms", *Journal of Hydrology* 297, p. 209 – 228.

Mantoglou A., (2003), "Pumping Management of coastal Aquifers using Analytical Models of Saltwater Intrusion", *Water Resources Research* 39 (12).

Mantoglou A. and P. Giannouloupoulos, «Sustainable Yield of Coastal Aquifers Using

Simulation and Optimization: Application to Santorini Island», International Conference “Protection and Restoration of the Environment VII”, Mykonos, Greece, 2004.

Mc Donald M. and Harbaugh A., (1988), A Modular Three – Dimensional Finite – Difference Ground Water Flow Model, U.S. Geological Survey.

MERCIER, J. (1968): Etude geologique des zones Internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). Contribution a l'etud~ du metamorphisme et de l'evolution magmatique des zones inernes des Hellenides. - Theses, Paris]966, Ann. Geoi.Pa.:/sHellen, 20. 1-792.

MERCIER. L. M., SOREL, D. & SIMEAKIS, K. (1987): Changes in the state at' stress in the overriding plate of a subduction zone: the Aegean Arc from the Pliocene to the Present. -Ann. Tectonicae, I, 20-39

MEULENKAMP, J-E.. JONKERS, A & SPPAK P. (1977): Late Miocene to early Pliocene development of Crete. - VI Col. Geoi. Aegean region, Athen. 269-280

MEULENKAMP, J.-E., WORTEL, M.-J.-R., VAN WAMEL, W.-A, SPAKM-\N, W. & HOOGERDUYNSTRATING, E. (1988): On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late Middle Miocene. -Tectonophysics,]46, 203-215.

MILLER, D.-M. & CHRISTIE, J.-M. (1981): Comparison of quartz microfabric with strain in recrystallized quartzite. -1. Struct. Ceoi., 3, 129-141.

Morris & Johnson, (1967), “Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil materials, as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S.

MOUNTRAKIS, D., SAPOUNTZIS, E., KILLAS. A, ELEITHERIADIS. G., & CHRISTOFIDES, G., (1983): Paleogeographic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continentl area. Canad.1. Ear. Sc., 20, 1673-1681.

MOUNTRAKIS, D., KILIAS, A & ZOUROS, N. (1993): Kinematic analysis and Tertiary evolution of Pindos-Vourinos Ophiolites (Epirus-Western Macedonia, Greece). -Bull. Geoi. Soc. Greece, XXII/I,.

OLENSEN, N.O. (1987): Plagioclase fabric development in a high grade shear zone, Jotunheimen, Norway. - Tectonophysics,]42, 291-308.

ORD, A & CHRISTIE, J.M. (1984): Flow stresses from microstructures in mylonitic quartzites from the Moine Thrust Zone, Assynt area, Scotland. -J. Struct. Geoi., 639 65

PAPANIKOLAOU, D. (1984): The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. -Spec. Pub! Ceol. Soc. London,] 7. 551-561.

PAPANIKOLAOU, D. (1987): Tectonic evolution of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea, Greece). -In: Helgeson H.-C & Schuling R.-D. (eds), Chemical Transport in Metasomatic Processes. 429-450.

PAPASTAMATIOY, J. & REICHEL, M. (1956): Sur l'age des phyllades de l'île de Crète. - *Eclogae geol. helv.*, 49, 147-149.

PARASKEVAIDIS, I. (1961): Über die Geologie des östlichen Asteroussiagebirges auf der Insel Kreta. - *Ann. Geol. d. Pays Hell.*, 12, 139-148.

PASCHIER C-W. (1982): Pseudotachylite and the development of ultra-mylonite bands in the St. Bathelémy Massif, Pyrenees. - *Struct. Geol.*, 1, 69-79.

PASCHIER C-W. & SIMPSON C (1986): Porphyroclast systems as kinematic indicators. - *Struct. Geol.*, 8, 831-843.

PAVLIDES, S., MOYNTRAKHS, D., KILIAS, A & TRANOS, M. (1990): The role of strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. - *Ann. Tectonicae*, IV /2, 196-211.

PEACH, C & LISLE, R. (1979): A Fortran IV program for the analysis of tectonic strain using deformed elliptical markers. - *Comput. Geo-Sci.* 5, 325-334.

PLATT, J.-P. (1975): Metamorphic and deformational processes in the Franciscan Complex, California: Some insights from the Catalina schist terrane. - *Bull. Geol. Soc. Am.*, 86, 1337-1347.

PLATT, J.-P. (1986): Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. - *Geol. Soc. America Bull.*, 97, 1037-1053.

PLATT, J.-P. (1987): The uplift of high-pressure-low-temperature metamorphic rocks. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A321, 87-103.

PLATT, J.-P. (1988): The mechanics of frontal imbrication: a first-order analysis. - *Geol. Resch.*, 77/2, 357-389.

PLATT, J.-P. & BEHRMANN H. J. (1986): Structures and fabrics in a crustal-scale shear zone, Betic Cordillera, SE Spain. - *Struct. Geol.*, 8, 15-33.

PLATT, J.-P. & VISSERS R.-L.-M. (1989): Extensional collapse of thickened continental lithosphere: a working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc. - *Geology*, 17, 350-343.

POIRIER, J.P. (1985): *Creep of Crystals*. -Cambridge University Press.

POWELL, C. (1979): A morphological classification of rock cleavage. - *Tectonophysics*, 53, 21-34.

RAMSEY, J. (1967): *Jointing and fracturing of rocks*. - (J. R. Van der Hill, New York, 568.

RAMSAY, G. J. & HUBER, M. (1983/1987): The techniques of modern structural geology. vol. 1 & 2. -Academic press Inc. XII + 307 S. & XII + 700 S.

RATSCHBACHER, L. (1987): Quantification of deformation: Evaluation and comparison of strain-analysis techniques in metaconglomerates and phyllites of the Veitsch Nappe (eastern Alps). - *J. Geol. Palaeont.*, 6, 332-356.

RATSCHBACHER, L., MERLE, O., DAVY, P. & COBBOLD, P. (1990a): Lateral extrusion in the Eastern Alps. Part 1: Boundary conditions and experiments scaled for gravity. - *Tectonics*, 10, 245-256.

RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., LINZER, H.-G. & MERLE, O. (1990b): Lateral extrusion in the Eastern Alps. Part 2: Structural analysis. - *Tectonics*, 10, 257-271.

RATSCHBACHER, L., WENK, H. R. & SINTUBIN, M. (1991): Calcite textures: examples from nappes with strain-path partitioning. - *J. Struct. Geol.*, 13, 369-384.

RATSCHBACHER, L., RILLER, O., MESCHÉDE, M., HERMANN, O. & FRISCH, W. (1991): Second look at suspect terranes in southern Mexico. - *Geology*, 19, 1233-1236.

REINECKE, T. (1982): Remnants of a Late Cretaceous high temperature belt on the island of Anafi (Cyclades, Greece). - *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, 151, 7-182.

Reilly, T. & A. Goodman, (1985), «Quantitative analysis of saltwater – freshwater relationships in groundwater systems – a historical perspective», U.S. Geological Survey, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn.

RENTZ, C. (1947): Eine zusammenfassende Übersicht über die Mesozoischen Fauna der Insel Kreta, - *Eel. geol. Helv.*, 40, 379-384.

Richard G. Allen & Luis S. Pereira & Dirk Raes & Martin Smith, FAO Irrigation and Drainage Paper, No 56, 2000.

RING, O. (1989): Tectonogenesis of the Penninic/Austroalpine Boundary zone: The Arosa zone. - *Diss., Tuebinger Geowissenschaftlich Arbeiten*, A3, 178p., Tuebingen.

RING, U. & MERLE, O. (1992): Forethrusting, backfolding and lateral gravitational escape in the northern part of the Western Alps (Monte Rosa region). - *Bull. Geol. Soc. Am.*, 104, 901-914.

RUBIE, D. (1984): A thermal-tectonic model for High-pressure metamorphism and deformation in the Sesia zone, western Alps. - *J. Geol.*, 92, 21-36.

RUITER, E.H. (1983): Pressure solution in nature theory and experiment. - *J. Geol. Soc.*, 140, 725-740.

SANDERSON, D. (1982): Models of strain variation in nappes and thrust sheets: a review. - *Tectonophysics*, 88, 201-233.

SANNEMANN, W. & SEIDEL, E. (1976): Die Trias-Schichten von RawduchajNWKreta. Ihre Stellung im Kretischen Deckenbau. -N lb. GeoJ. Palaontol., Mh., 1976, 221-228.

SCHERMER, E.R., LUX, D.R. & BURCHFIEL, B.C. (1989): Age and tectonic significance of metamorphic events in the Mt. Olympus region, Greece. -Bull. Geol. Soc. Greece, 23, 13-27.

SCHMID, S.M. (1982): Microfabric studies as conditions of deformation mechanisms and flow laws operative in mountain building. -In Hsu, K.L. (ed): Mountain Building Processes. Academic Press., London, 95-110.

SCHMID, S.M. & CASEY, M. (1986): Complete fabric analysis of some commonly observed quartz C Axis patterns. -In Hobbs, B.E. & Heard, M.C. (eds): Mineral and Rock Deformation Laboratory Studies- The Paterson volume, Am. Geophys. Union Geophys. Monogr., 36.

SCHMID, S.M., PANOZZO, R. & BAUER, S. (1987): Simple shear experiments on calcite rocks: rheology and microfabric (Special Research Paper). -1. Struct. Geol., 9, 747-778.

SEIDEL, E. (1968): Trias-Oligozän und Pindosserie in der Raion von Paleochori (SW Kreta Griechenland). -Diss.; Univ. Würzburg.

SEIDEL, E. (1971): Die Pindos-Serie in West Kreta. auf der Insel Gavdos und im Kedros-Gebiet (Mittelkreta). -N lb. Geol. Palaont. Abh., 137, 443-460.

SEIDEL, E. (1977): Lawsonite-bearing meta-sediments in the Phyllite-Quartzite series of SW-Crete (Greece). -N lb. Mi ... Abh .. 130, 134-1

SEIDFEL, E. (1978): Zur petrologie der Phyllit-Quarzit-Serie Kretas ... Habilitation, Techn. Univ. Braunschweig, 145 S.

SEIDEL, E. & OKRUSCH, M. (1976): Eo-Alpine metamorphism in the uppermost unit of the Cretan nappe system- petrology and geochronology. -Contr. Min. Petrology, 57, 259-275.

SEIDEL, E., OKRUSCH, M., KREUZER, H., RASCHKA, H. & HARRE, W. (1981): Eo-Alpine metamorphism in the uppermost unit of the Cretan nappe system, petrology and geochronology: Part 2. Synopsis of high temperature metamorphics and associated ophiolites.-Contr. Min. Petrology, 76, 351-361.

SEIDEL, E., KREUZER, H. & HARRE, W. (1982): A Late Oligocene/Early Miocene High Pressure Belt in the external Hellenides. -Geol. J., 23, 165-206.

SENGOR, A.M.C. (1979): Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications. -Nature, 279, 590-609.

SENGOR, A.M.C., GÖRÜR, N. & SAROGLOU, F. (1985): Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape. Turkey as a case study. -In:

Biddle K., Christie-Blick N.: strike-slip deformation, basin formation. And sedimentation, *Tusla Spec. Pub. Soc. Eon. Palaeont.*, 37, 227-244.

SHACKLETON M. R. & RIES C. A. (1984): Relation between regionally consistent stretching lineations and plate motions. -*f. Struct. Geol.*, 6, 111-117.

SIBSON, R.H. (1986): Brecciation processes in fault zones. Inferences from earthquake rupturing. -*Pure and Appl. Geophys.*, 124, 159-175.

SIMPSON, C. & SCHMID, S. (1983): An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. -*GeoJ. Soc. Am. Bull.*, 94, 1281-1288.

SIMPSON, C. & DE PAOR G. D. (1993): Strain and kinematic analysis in general shear zones. -*f. Struct. Geol.*, 15, 1-20.

SMITH, A.G (1971): Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic. -*GeoJ. Soc. Am. Bull.*, 82, 2039-2071.

SWART H. J. (1962): On the determination of polymetamorphic mineral associations and its application to the Bosnian area (central Pyrenees). -*GeoJ. Rdsch.*, 52, 3, 65.

SUPPE, J. (1989): Principles of structural geology -Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

TAPPONNIER, P., (1977): Evolution tectonique du system alpin en Mediterranee; poinconnement et ecrasement rigide-plastique. -*Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7, 19, 437-460

THEYE, T., SEIDEL, E. & VIDAL, O. (1992): Carpholite, sudoite and chloritoid in low high-pressure metapelites from Crete and the Peloponnese, Greece. -*Bull. f. Mineral.*, 4, 487-507.

Todd D., (1980), *Groundwater Hydrology*, Second Edition, John Wiley & Sons Inc, New York.

THORBECKE, G. (1973): Die Gesteine der Ophiolith-Decke von Anogia/Mittelheta. -*Jahrb. Naturforsch. Gesell. Freiburg*, 63, 81-92

TWISS, R.J. (1986): Variable sensitivity piezometric equations for dislocation density and sub-grain diameter and their relevance to olivine and quartz. -In Hobbs,

B.E. & Heard, M.C. (eds): *Mineral and Rock Deformation Laboratory Studies- The Paterson volume*, *Am. Geophys. Un. Geophys. Monogr.*, 36.

VICENTE, J. C. (1970): Etude geologique de l'île de Gavdos (Grèce), la plus meridionale de l'Europe. -*Bull. Geol. Soc. France*, (7), XII, 481-495.

Watermark Computing, *Groundwater Data Utilities, Part A: Overview*, 1999a

Watermark Computing, *Groundwater Data Utilities, Part B: Program Descriptions*, 1999b

WHITE, S.H., BURROWS, S.E., CARRERAS, J., SHAW, N.D. & HUMPHREYS, J.C. (1980): On mylonites in ductile shear zones. -J. Struct. Geol., 2, 175-189

WHITE, S.H., BRETHERTON, P.G. & RUTHERFORD, E.H. (1986): Fault-zone reactivation: kinematics and mechanisms. -Phil. Trans. R. Soc. Lond., A317, 81-97.

WILLIAMS F. P. (1985): Multiply deformed terrains-problems of correlation .. 1. Struct. Geol., 7, 269-280.

WURM, A. (1950): Zur Kenntnis des Metamorphismus der Insel Kreta. -Neues Jahrb. Geol. Paläont., Monatsh., 206-239.

ZAGER, D. (1972): Sedimentologie der Tripolitsakarbonate im nördlichen Mittelkreta. -Diss., Univ. Freiburg, 1-165 .

ZAMBETAKIS-LEKKAS, A. (1977): La serie de Mangassa. Stratigraphie, Paleogeographie, Tectonique. - VI Callaquirm on the Geology of the Aegean region, I, 103-109.