



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΥΔΑΤΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ
ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ – ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
ΤΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ
ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΚ

ΑΘΗΝΑ

Περιεχόμενα

A. ΓΕΝΙΚΑ	4
B. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ	5
Γ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	6
Δ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΥΥΣ).....	8
E. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	10
E.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	11
E.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ.....	11
E.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΑΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	11
E.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	12
ΣΤ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	13
ΣΤ.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	13
ΣΤ.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ή ΔΕΙΚΤΩΝ / ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ.....	14
ΣΤ.2.1 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Κοκκώδεις Υδροφορείς.....	15
ΣΤ.2.2 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Καρστικούς Υδροφορείς	16
ΣΤ.2.3 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Ρωγματικούς Υδροφορείς.....	20
ΣΤ.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ.....	20
ΣΤ.4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	20
ΣΤ.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ / ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	21
ΣΤ.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ / ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	21
Z. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ.....	23
Z.1 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	23
Z.2 ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	24
H. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ.....	26
H.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	26
H.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΣΔΛΑΠ ΚΑΙ ΣΔΚΠ.....	26
H.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	27
H.4 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	27
H.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ / ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ – ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	27
H.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	27
H.7 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ	28
H.8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ	29
H.9 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ.....	29

Η.10ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΙΕΣΕΙΣ / ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΡΥΠΟΓΟΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	29
Η.11ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ	30
Θ. ΧΑΡΤΕΣ / ΤΟΜΕΣ	32
Θ.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ	32
Θ.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ / ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΥΔΑΤΟΣ	32
Θ.3 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ	33
Θ.4 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ	33
Θ.5 ΧΑΡΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ – ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	34
Θ.6 ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ/ΩΝ	34
Θ.7 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑΣ	34
Ι. ΣΧΕΔΙΑ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ – ΠΙΝΑΚΕΣ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	35

A. ΓΕΝΙΚΑ

Με το παρόν ορίζονται ο σκοπός, οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα αντικείμενα και οι τεχνικές προδιαγραφές, με βάση τις οποίες εκπονούνται οι μελέτες για την Τρωτότητα και Ρυπαντική Επιδεκτικότητα των Υπόγειων Υδροφορέων, που απαιτούνται σύμφωνα με τα Αναλυτικά Κείμενα Τεκμηρίωσης των Προγραμμάτων Μέτρων των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας, που θεσμοθετούνται στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Οι ανωτέρω μελέτες εκπονούνται από επιστήμονες ανάλογου γνωστικού αντικειμένου, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο ΠΔ 344/2000 (ΦΕΚ 297/Α/29.12.2000), όπως ισχύει.

Οι τεχνικές προδιαγραφές και οι απαιτούμενες επιμέρους εργασίες των μελετών για την Τρωτότητα και Ρυπαντική Επιδεκτικότητα των Υπόγειων Υδροφορέων αναφέρονται στην υπ' αριθμ. απόφαση ΔΝΣγ/32129/ΦΝ466 (ΦΕΚ 2519/Β/20.07.2017) περί Έγκρισης Κανονισμού Προεκτιμώμενων Αμοιβών μελετών και παροχής τεχνικών και λοιπών συναφών επιστημονικών υπηρεσιών κατά τη διαδικασία της παρ.8δ του άρθ. 53 του Ν.4412/2016 (Α' 147), όπως ισχύει.

B. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

Αντικείμενο του παρόντος τεύχους αποτελεί ο καθορισμός του πλαισίου των τεχνικών προδιαγραφών των απαιτούμενων εργασιών και των κατάλληλων τεχνικών και μεθόδων για την εκπόνηση μελετών προσδιορισμού και αξιολόγησης της τρωτότητας/ρυπαντικής επικινδυνότητας των υπόγειων υδροφορέων στην εξωτερική ρύπανση. Στο πλαίσιο προσδιορισμού της ενδογενούς τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων επιχειρείται μια προσπάθεια εφαρμογής τόσο κλασικών όσο και σύγχρονων μεθοδολογιών, οι οποίες βελτιστοποιούνται μέσω κατάλληλων στατιστικών και γεωχωρικών μεθόδων. Μια μελέτη τρωτότητας/ρυπαντικής επικινδυνότητας οφείλει να καλύπτει ένα μεγάλο μέρος από πολλαπλούς τομείς έρευνας τόσο φυσικούς όσο και ανθρωπογενείς, με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης όσο και της επίδρασης τους στη μελέτη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.

Η μελέτη Ζωνών Τρωτότητας/Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας Υπόγειων Υδροφορέων αποτελεί εξειδικευμένη μελέτη των Τεχνικών Προδιαγραφών των Ειδικών Υδρογεωλογικών Μελετών που αποτελούν αναπόσπαστο Παράρτημα (III) των Σχεδίων Διαχείρισης Υδάτων Λεκανών Απορροής Ποταμού (ΣΔΛΑΠ), όπως ισχύουν, εξειδικεύοντας, αναλύοντας και εμπλουτίζοντας τις εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν στην ύπαιθρο/στο πεδίο, ώστε να μελετηθεί με αξιόπιστο και αποδεκτά επιστημονικό τρόπο η τρωτότητα/ρυπαντική επιδεκτικότητα. Η ανωτέρω μελέτη συνδέεται άμεσα με το βασικό Μέτρο των ΣΔΛΑΠ ΜΧΧΒ0402 «Προστασία ΥΓΣ που εντάσσονται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών ανθρώπινης κατανάλωσης και καθορισμός θεσμικού πλαισίου προστασίας». Η σύνταξη της ανωτέρω υδρογεωλογικής μελέτης επιτρέπει την τεκμηριωμένη οριοθέτηση των ζωνών τρωτότητας/ρυπαντικής επιδεκτικότητας προσφέροντας μεγαλύτερη ασφάλεια στους υπόγειους υδροφορείς, αλλά παράλληλα γίνεται προσπάθεια να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγησή τους, με αρνητικές επιπτώσεις στις χρήσεις γης των περιοχών που περιλαμβάνονται στις ζώνες αυτές. Η υδρογεωλογική αυτή μελέτη περιγράφει, επί της ουσίας, τις κατευθυντήριες γραμμές οριοθέτησης των ζωνών τρωτότητας/ρυπαντικής επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφορέων.

Γ. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Τρωτότητα ή *ρυπαντική επιδεκτικότητα* υπόγειων νερών ή υδροφορέων είναι η ευαισθησία ή η επιδεκτικότητα απέναντι στους ρύπους. Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι οι συνθήκες που καθορίζουν το φυσικό περιβάλλον παρέχουν την δυνατότητα, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, για την φυσική προστασία των υπόγειων νερών με συνέπεια κάποιες περιοχές να είναι πιο ευάλωτες και να παρουσιάζουν μεγαλύτερη τρωτότητα από κάποιες άλλες. Η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφόρα κάτω από συγκεκριμένες πρακτικές διαχείρισης των χρήσεων γης σε μια περιοχή, με καθορισμένα χαρακτηριστικά του ρύπου και της ευαισθησίας του υδροφόρα. Έτσι η τρωτότητα του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση τόσο των χαρακτηριστικών του υδροφόρου συστήματος, όσο και της απόστασης από την πηγή ρύπανσης, των χαρακτηριστικών του ρύπου και άλλων παραγόντων που μπορεί πιθανά να αυξήσουν το ρυπαντικό φορτίο του συγκεκριμένου ρυπαντή.

Αντίθετα *ευαισθησία* του υδροφόρα είναι η ευκολία, με την οποία ένας ρύπος μεταναστεύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφόρα και είναι χαρακτηριστικό των γεωλογικών συνθηκών, της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης και ανεξάρτητη των χρήσεων γης και των χαρακτηριστικών του ρύπου. Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς προκύπτει ότι η τρωτότητα δεν ταυτίζεται με την ευαισθησία (τρωτότητα ≠ ευαισθησία). Η τρωτότητα διακρίνεται σε:

- ειδική (*specific*) που αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών και ορίζεται ως η πιθανότητα ρύπανσης του υδροφόρα ορίζοντα από ρύπο/ρύπους, που εισάγονται στην επιφάνεια του εδάφους και εκτιμάται με βάση την ενδογενή τρωτότητα και το ρυπαντικό φορτίο και το είδος του ρύπου που εφαρμόζεται σε μία συγκεκριμένη θέση ή σε μία ευρύτερη περιοχή και σε
- ενδογενής (*intrinsic*) που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφόρα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή και ορίζεται ως η ευκολία, με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φτάσει και να διαχυθεί στον υδροφόρο ορίζοντα. Πρόκειται για μια ιδιότητα, που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού συστήματος όσο και από τα χαρακτηριστικά του ευρύτερου γεωλογικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος (ακόρεστη ζώνη, εδαφικός ορίζοντας, ανάγλυφο, τοπογραφία, τροφοδοσία κ.ά.).

Πρέπει να τονιστεί ότι η έννοια της τρωτότητας δεν συνδέεται αποκλειστικά μόνο με τη ρύπανση ή τη μόλυνση των υπόγειων νερών, αλλά και με την ποσότητα αυτών, καθώς και με την επίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων π.χ. ξηρασιών στη δίαιτα των υδροφόρων. Η ακόρεστη ζώνη παίζει

σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της βραδείας κίνησης του νερού και λόγω διαφόρων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν, όπως προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων, χημικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κ.ά. Ο βαθμός εξασθένισης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου, τη συγκέντρωσή του κ.ά. Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών μεγάλες ποσότητες χημικών στοιχείων εξασθενούν και αποδομούνται από μικροοργανισμούς.

Η έννοια της τρωτότητας πρέπει να αντιμετωπίζεται σε τρία στάδια:

- 1) Το στάδιο της δυνητικής εισόδου του ρύπου στο υδατικό σύστημα, που συνδέεται με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά του ρύπου.
- 2) Το στάδιο της παραμονής του ρύπου στο υδατικό σύστημα που συνδέεται με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου και τις υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες του υδροφορέα.
- 3) Το στάδιο της άφιξης του ρύπου στο υδροληπτικό έργο, αν γίνεται εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα.

Σε πολλές χώρες συντάσσονται χάρτες τρωτότητας σε κλίμακα νομού ή περιφέρειας ή ολόκληρης της χώρας, στους οποίους φαίνονται οι περιοχές που είναι ευάλωτες σε μια ενδεχόμενη ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων. Οι χάρτες αυτοί είναι μια ειδική κατηγορία υδρογεωλογικών χαρτών και επειδή είναι χρονο-εξαρτώμενοι απαιτούν ενημέρωση σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Δ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΥΥΣ)

Οι βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για τον καθορισμό και οριοθέτηση των ζωνών της τρωτότητας των υπόγειων νερών παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω. Οι πληροφορίες για τον καθορισμό των ζωνών τρωτότητας συλλέγονται κυρίως από σταθμούς ελέγχου και δίκτυα μετρήσεων, που εγκαθίστανται κατόπιν συστηματικής υδρογεωλογικής έρευνας κατάλληλης διάρκειας.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	ΤΥΠΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
Γεωμορφολογία	Στοιχεία μορφολογικού αναγλύφου και υδρογραφικού δικτύου με βάση τις απαιτήσεις του αντικειμένου μελέτης.
Γεωλογική – τεκτονική δομή	Αναλυτική προσέγγιση της γεωλογικής δομής και της τεκτονικής εξέλιξης της στενής και της ευρύτερης περιοχής επιρροής με προσανατολισμό στις ειδικές απαιτήσεις και τις ανάγκες του θέματος της τρωτότητας/ρυπαντικής επιδεκτικότητας.
Υδρογεωλογία	Αναλυτική διερεύνηση και προσέγγιση των υδρογεωλογικών συνθηκών με στόχευση στα στοιχεία που επηρεάζουν την δημιουργία και εξέλιξη του φαινομένου της τρωτότητας/ρυπαντικής επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Μετρήσεις στάθμης υπογείων υδάτων και προσδιορισμός της πιεζομετρικής επιφάνειας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, των ζωνών τροφοδοσίας και των διευθύνσεων υπόγειας ροής και αποστράγγισης. Εκτίμηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού, των συνθηκών τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων και του υδατικού ισοζυγίου.
1. Ακόρεστη Ζώνη	Πάχος της ακόρεστης ζώνης σε βασικές θέσεις και σε όλο το εύρος του υδροφορέα, ταχύτητα ροής, ρυθμός κατείσδυσης, τροφοδοσία.
2. Κορεσμένη Ζώνη & Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέα	Λιθοστρωματογραφία, γεωλογική δομή, γεωμετρία, ενεργό πορώδες, τύπος διαπερατότητας (πρωτογενές ή/και δευτερογενές πορώδες), υδραυλική αγωγιμότητα των υδροφόρων οριζόντων, τύπος υδροφορέα (ελεύθερος, ημι-ελεύθερος, υπό πίεση), μεταβολές στάθμης υπόγειου νερού, υδραυλική κλίση, κατεύθυνση ροής, επίπεδο αποκάρσωσης σε καρστικούς υδροφορείς.
Χρήσεις Νερού	Απαιτήσεις υδάτων για κάλυψη υδρευτικών αναγκών, σημεία υδροληψίας (πηγές, γεωτρήσεις) και θέσεις υδροληπτικών έργων, επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι, κατανομή τους και χρήση, παροχή και πτώσεις στάθμης των υδροφόρων πεδίων.
Υδροχημεία	Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπόγειων νερών και χωροχρονική κατανομή και εξέλιξή τους με βάση στοιχεία δικτύου δειγματοληψιών και στοχευμένων υδροχημικών αναλύσεων. Συνθήκες αλληλεπίδρασης και συνάρτηση με τα ποιοτικά δεδομένα επιφανειακών νερών και φυσικών οικοσυστημάτων.

Οι χάρτες τρωτότητας μπορούν να συνδυάζονται με χάρτες χρήσεων γης, ποιότητας νερού, πυκνότητας πληθυσμού κ.ά. και αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στη λήψη αποφάσεων, τη διαχείριση και τη νομοθεσία σε όλα τα επίπεδα της δημόσιας διοίκησης. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται, κατά κύριο λόγο, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, όπου οι επιμέρους χάρτες είναι τα θεματικά επίπεδα.

Ε. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Η ποιοτική (χημική) σύσταση του φυσικού νερού καθορίζεται από διάφορες ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες σ' αυτό. Οι πηγές προέλευσης των ουσιών αυτών άλλοτε έχουν σχέση με φυσικοχημικές διαδικασίες του περιβάλλοντος, άλλοτε αφορούν σε ανθρώπινες δραστηριότητες και άλλοτε - τις περισσότερες φορές – σε συνδυασμό και των δύο. Ορισμένες από αυτές τις διαλυμένες ουσίες ή και κάποιες αδιάλυτες στο νερό, έχουν βλαβερές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων και γενικά στο περιβάλλον. Η ορθολογική, λοιπόν, διαχείριση των υπόγειων νερών αναφορικά με την ποιότητά τους απαιτεί καταρχήν τη βασική γνώση των διαδικασιών που καθορίζουν τη σύσταση του φυσικού νερού. Η καταγραφή και ταξινόμηση των πηγών ρύπανσης (διάχυτες και σημειακές πιέσεις) των υπόγειων νερών γίνεται ανάλογα με τις δραστηριότητες ή τις διεργασίες που την προκαλούν.

Η εκτίμηση των πιέσεων και η ανάλυση των επιπτώσεών τους αποτελούν δύο από τις βασικές πτυχές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ και ειδικότερα του Άρθρου 5, σύμφωνα με την οποία «για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού/.../αναλαμβάνεται: η ανάλυση των χαρακτηριστικών της, η επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και η οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος».

Οι πιέσεις διαχωρίζονται σε:

- σημειακές πιέσεις (π.χ. Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), βιομηχανικές & κτηνοτροφικές μονάδες, διαρροές από χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ) και χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), απορροές από εξορυκτικές δραστηριότητες),
- διάχυτες πιέσεις (π.χ. γεωργικές δραστηριότητες, αστικά λύματα),
- απολήψεις υπόγειου νερού (σε περίπτωση παράκτιων υδροφορέων οι υπεραντλήσεις έχουν ως αποτέλεσμα τη διείσδυση θαλάσσιου νερού),
- τεχνητός εμπλουτισμός υπογείων υδάτων (σε περίπτωση εμπλουτισμού με μη φυσικά νερά π.χ. επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων που δεν πληρούν τις θεσμοθετημένες προδιαγραφές) και
- μεταβολή υπόγειας στάθμης και ποσότητας υπογείων νερών εξαιτίας υπογείων εκμεταλλεύσεων ή κατασκευής μεγάλων υπογείων έργων

Με βάση το κριτήριο αυτό διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ρύπανσης – πιέσεων:

α) βιομηχανικές δραστηριότητες, β) αγροτικές δραστηριότητες, γ) αστικές και οικιακές δραστηριότητες και δ) φυσικές διεργασίες.

Ε.1 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από βιομηχανικές δραστηριότητες χαρακτηρίζεται από την τεράστια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών και ενώσεων που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ρύποι. Γενικά, διακρίνονται τρεις ομάδες πηγών ρύπανσης: α) βιομηχανικά απόβλητα που διατίθενται στον αέρα, το έδαφος, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, β) διαρροές και γ) ατυχήματα. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται κυρίως σημειακές πιέσεις, αλλά και διάχυτες (π.χ. ΒΙΠΕ, ΒΙΟΠΑ). Αξιολογείται το είδος της δραστηριότητας, το είδος των αποβλήτων, ο τρόπος διάθεσης, οι πιθανές διαρροές κατά τη μεταφορά, τα πιθανά ατυχήματα κλπ.

Ε.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της ρύπανσης από αγροτικές δραστηριότητες είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατανεμημένη στο χώρο (διάχυτη πίεση), σε αντίθεση με το «σημειακό» χαρακτήρα των άλλων πηγών. Οι σημειακές πιέσεις αγροτικών δραστηριοτήτων περιλαμβάνουν κυρίως μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες. Από τις αγροτικές γενικά δραστηριότητες, ρύπανση του υπόγειου νερού προκαλούν τα ζωικά λύματα, τα άλατα των αρδεύσεων και τα διάφορα χημικά που εφαρμόζονται στους αγρούς. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου που υπάρχουν στα λιπάσματα καθώς και τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα. Μικρής έκτασης, δηλαδή, σημειακή, ρύπανση μπορεί να προκληθεί από δραστηριότητες τοπικού χαρακτήρα που αφορούν στη διάθεση αποβλήτων, ζωικών, γεωργοχημικών ή φυτικών ή από την αποθήκευση διάφορων χημικών ουσιών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κλπ. Σήμερα η πιο εκτεταμένη ρύπανση των υπόγειων νερών προέρχεται από αγροτικές δραστηριότητες και αφορά στα λιπάσματα (κυρίως αζωτούχα) και τα ζιζανιοκτόνα. Αυτό οφείλεται στην τεράστια διάδοση και έκταση της εφαρμογής τους που έχει ως στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Δευτερευόντως, αλλά μεγαλύτερης δραστηριότητας είναι οι οργανικές ενώσεις των φυτοφαρμάκων..

Ε.3 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΑΣΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Δύο είναι οι τύποι ρύπανσης των υπόγειων νερών που προέρχονται από αστικές και οικιακές δραστηριότητες: α) τα στερεά απορρίμματα και β) τα αστικά λύματα.

Αν τα στερεά απορρίμματα διατίθενται ανεπεξέργαστα σε ανοικτούς λάκκους στο έδαφος, ο κίνδυνος για ρύπανση των υπόγειων νερών από τα διασταλάζοντα υγρά είναι άμεσος. Όσον αφορά τα αστικά λύματα, οι κίνδυνοι που δημιουργούνται, όχι μόνο από την απευθείας διάθεσή τους στο έδαφος, αλλά και από τη διάθεση της λάσπης των επεξεργασμένων καταλοίπων τους, αφορούν σε

μικροβιακής και χημικής προέλευσης επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Πρέπει να τονισθεί ότι στην κατηγορία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνονται τόσο αυτά των συλλογικών δικτύων όσο και αυτά των μεμονωμένων κατοικιών που διατίθενται στο έδαφος. Τέλος, στην κατηγορία των αστικών δραστηριοτήτων συμπεριλαμβάνονται και τύποι ρύπανσης που αφορούν σε χημικές ουσίες που διαρρέουν μέσω των οδοστρωμάτων (κυρίως από ατυχήματα), σε χρήση αλατιού για αποπαγοποίηση δρόμων, σε διαρροές των αγωγών αποχέτευσης κλπ.

Ε.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η ρύπανση των υπόγειων νερών λόγω φυσικών διεργασιών (ενδογενής ρύπανση) δημιουργείται με την αύξηση των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ουσιών και αλάτων που προέρχονται από την επιφανειακή και κυρίως από την υπόγεια διακίνηση του νερού μέσω γεωλογικών σχηματισμών και πετρωμάτων. Το υπόγειο νερό από την επαφή του με αυτά τα πετρώματα (μητρικά πετρώματα) και τη διάλυση των αλάτων τους «εμπλουτίζεται» με ουσίες που υποβαθμίζουν την ποιότητά του. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου και θεικών σε υπόγεια νερά που έχουν διακινηθεί ή διακινούνται σε εβαποριτικά πετρώματα και γύψους ή οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε ιόντα σιδήρου και μαγγανίου σε οφιολιθικά πετρώματα.

ΣΤ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΣΤ.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας έχουν εισαχθεί διάφορα πρότυπα που βασίζονται σε διάφορα υδρογεωλογικά κριτήρια όπως: είδος υδροφορέων, πάχος ακόρεστης ζώνης, ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, κοκκομετρία, συντελεστή υδροπερατότητας κ.ά. Τα κυριότερα πρότυπα για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδροφόρων οριζόντων που έχουν εισαχθεί είναι των: Le Grand, Evans και Dienemann. Ο **Le Grand** εισήγαγε την έννοια του δυναμικού ρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων με κριτήρια: πάχος ακόρεστης ζώνης, υδροπερατότητα, υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας, οριζόντια απόσταση από την πηγή ρύπανσης, προσρόφηση και απορρόφηση στην ακόρεστη ζώνη. Σύμφωνα με το διάγραμμα Le Grand, καθώς και το σύνολο της βαθμολογίας σε μια περιοχή, αυτή χαρακτηρίζεται α) πολύ χαμηλής τρωτότητας (>12 βαθμοί), β) μέτριας τρωτότητας (8-12 βαθμοί), γ) μεγάλης τρωτότητας (4-8 βαθμοί) και δ) πολύ μεγάλης τρωτότητας (<4 βαθμοί).

Ο **Evans** εισήγαγε τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (*Geographical Information System, GIS*) στην αξιολόγηση της τρωτότητας. Για το λόγο αυτό πολλαπλασιάζεται κάθε παράγοντας που επιδρά στην πιθανή ρύπανση (χαρακτηριστικά ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, λιθοφασικά χαρακτηριστικά των υλικών της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, υδραυλική αγωγιμότητα, φυτοκάλυψη, τοπογραφία κ.ά.) με ένα συντελεστή βαρύτητας. Έτσι προκύπτει ένας τελικός **δείκτης δραστικότητας**, η τιμή του οποίου καθορίζει το δυναμικό ρύπανσης για τον εξεταζόμενο υδροφόρο ορίζοντα. Όσο μεγαλύτερες τιμές έχει ο δείκτης δραστικότητας, τόσο υψηλότερο είναι το δυναμικό ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα και αντίστροφα.

Οι σχηματισμοί της ακόρεστης ζώνης που καλύπτουν τον υδροφόρο ορίζοντα, συμβάλλουν σημαντικά στην προστασία του υδροφορέα. Οι κατεισδύουσες ρυπογόνες ουσίες φιλτράρονται και αποικοδομούνται εντός αυτών. Ανάλογα με τη λιθολογική και στρωματογραφική σύνθεση, καθώς και την υδροπερατότητα των πετρωμάτων πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα ενδιαφέροντος διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις ως προς την προστασία του:

1) Ευνοϊκές συνθήκες: Το υδροφόρο στρώμα προστατεύεται από τη ρύπανση λόγω της παρουσίας υλικών στη βάση της ακόρεστης ζώνης που παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Ως τέτοια διαλαμβάνονται οι άργιλοι, οι ιλυόλιθοι, οι πηλοί, οι λεπτόκοκκοι άμμοι και τα διάφορα μίγματα τους.

2) Μέτριες συνθήκες: Το υδροφόρο στρώμα έχει καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού όταν και εφόσον η ακόρεστη ζώνη και το υδροφόρο στρώμα έχουν καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού. Τέτοια υλικά είναι η πηλούχος, λεπτόκοκκη άμμος με περιορισμένο κλάσμα από άργιλο και σε ιλύ.

3) Δυσμενείς συνθήκες: Το υδροφόρο στρώμα έχει ελάχιστη ή καθόλου ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Επομένως, οι αποθέσεις και τα πετρώματα με μεγάλο ενεργό πορώδες, μεγάλη υδροπερατότητα και με δυνατότητα ανάπτυξης ταχείας υπόγειας ροής εντός αυτών, παρουσιάζονται με δυσμενείς συνθήκες προστασίας. Τέτοια είναι τα αμμοχάλικα, οι αδρόκοκκες άμμοι και γενικά όλα τα αποκαρστωμένα και διαρρηγμένα πετρώματα.

ΣΤ.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ή ΔΕΙΚΤΩΝ / ΥΠΕΡΘΕΣΗΣ

Οι μέθοδοι αυτές λαμβάνουν υπόψη τη χωρική μεταβολή διαφόρων παραμέτρων (υδρογεωλογικών, εδαφικών, μορφολογικών, κλιματολογικών κ.ά.) κατατάσσοντας κάθε παράμετρο, που θεωρητικά επηρεάζει την πιθανότητα ρύπανσης του υδροφορέα, σε μια κλίμακα και καταλήγουν σε μία αθροιστική τιμή, η οποία χαρακτηρίζει την τρωτότητα του υδροφορέα. Εκτός της κατάταξης των διαφόρων παραμέτρων εισάγουν και συντελεστές σχετικού βάρους για κάθε παράγοντα. Σκοπός της εν λόγω μεθόδου είναι η χρησιμοποίηση μιας πολυπαραμετρικής προσέγγισης και αξιολόγησης τόσο της ενδογενούς τρωτότητας όσο και του κινδύνου ρύπανσης ώστε να καταστεί εφικτή η χαρτογράφηση χωρικών ζωνών τρωτότητας του υπόγειου νερού στην εξωτερική ρύπανση (π.χ. νιτρικά ιόντα- NO_3).

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται αφορούν αφενός στοιχεία ενδογενούς τρωτότητας, όπως είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, η ενεργή κατείσδυση, το μέσο του υδροφορέα, το έδαφος, η κλίση αναγλύφου του εδάφους, η επίδραση της ακόρεστης ζώνης, η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα, καθώς επίσης και δεδομένα ρυπαντικού φορτίου, όπως είναι οι χρήσεις γης και οι δυνητικές σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης. Στο πλαίσιο της μελέτης διερευνάται η επίδραση των αλλαγών των τιμών τόσο της σχετικής βαρύτητας μεταξύ των παραμέτρων όσο και της εσωτερικής βαθμονόμησης των στοιχείων της κάθε παραμέτρου, είτε μεμονωμένα είτε και σε συνδυασμό μεταξύ τους, ώστε μέσω κατάλληλων στατιστικών μεθόδων (έλεγχος συντελεστών συσχέτισης, μέσος όρος ομαδοποιημένων τιμών) και παραμετρικών αλλαγών (προσθήκες ή αφαιρέσεις κριτηρίων, ομαδοποίηση παραμετρικών τιμών), να προκύψουν κάθε φορά βελτιωμένα αποτελέσματα μοντέλου που να επαληθεύονται σε ικανοποιητικό βαθμό με μετρούμενες τιμές συγκέντρωσης στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιούνται σε 5 κατηγορίες από Πολύ Χαμηλή Τρωτότητα έως Πολύ Υψηλή Τρωτότητα με διαφορετικό χρωματισμό. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών μέσω της δημιουργίας κατάλληλου χάρτη αποτελούν ένα βασικό εργαλείο διαχείρισης για όλους τους αρμόδιους φορείς στο πλαίσιο άσκησης πολιτικής για την προστασία των υπόγειων υδροφορέων.

ΣΤ.2.1 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Κοκκώδεις ΥδροφορείςΜέθοδος DRASTIC

Η μέθοδος DRASTIC λαμβάνει υπόψη της επτά παραμέτρους, από τα αρχικά γράμματα των οποίων προκύπτει το ακρωνύμιο: Βάθος του υδροφορέα ορίζοντα (*Depth to groundwater*), Φυσικός εμπλουτισμός (*Recharge*), Τύπος των υλικών του υδροφορέα (*Aquifer type media*), Εδαφικός τύπος (*Soil media*), Τοπογραφία (*Topography*), Επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης (*Impact of the vadose zone media*), Υδραυλική αγωγιμότητα (*hydraulic Conductivity*). Οι παράμετροι αυτές εισάγονται σε μια απλή γραμμική εξίσωση, αφού αναχθούν από τη φυσική κλίμακα διακύμανσής τους σε μια δεκαβάθμια σχετική κλίμακα.

Μέθοδος NRA

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σε συντελεστές που επιδρούν στην επέκταση της ρύπανσης στο έδαφος, σε φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους που καθορίζουν την ικανότητά του να αραιώνει, να δεσμεύει ή να αδρανοποιεί τους ρύπους. Από πλευράς εδαφών, θεωρούνται 3 κατηγορίες:

Εδάφη υψηλής διηθητικής ικανότητας: H1: Εδάφη με υδροφόρο ορίζοντα σε μικρό βάθος, με υδροφόρο πέτρωμα σε μικρό βάθος, πεδινά και τυρφώδη εδάφη με μόνιμη παρουσία νερού, H2: Αμμώδη εδάφη με μικρό ποσοστό συμμετοχής οργανικού υλικού, H3: Αμμώδη εδάφη με μέτριο ποσοστό συμμετοχής οργανικού υλικού, H4: Εδάφη σε αστικές περιοχές ή κοντά σε ορυχεία

Εδάφη μέτριας διηθητικής ικανότητας: I1: Εδάφη ιλυώδη και αργιλώδη, χωρίς την παρουσία νερού, με μικρό ποσοστό συμμετοχής σε οργανικό υλικό (εδάφη ορυχείων), I2: Εδάφη πεδινά, τυρφώδη, με αγροτική δραστηριότητα, Εδάφη μικρής διηθητικής ικανότητας

Εδάφη μικρής διηθητικής ικανότητας: L: Εδάφη με χαρακτηριστικό ορίζοντα, που δεν επιτρέπει την κατείσδυση του νερού, ορεινά εδάφη με μόνιμη παρουσία τύρφης, κορεσμένης σε νερό.

Μέθοδος BREEUWSMA

Η μέθοδος αυτή είναι μία πρόταση αποτίμησης της εδαφικής ποιότητας στο πεδίο αντιμετώπισης των ρύπων με βάση τρεις εδαφικές ιδιότητες: α) Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (κυρίως στοιχεία η ορυκτολογική σύσταση του αργιλικού εδαφικού τμήματος και το είδος των κατιόντων στο σύστημα υπεδαφικό νερό – ρύπος), β) Το χρόνο κίνησης του νερού (κυρίως στοιχεία η περατότητα του εδάφους και το ιξώδες του συστήματος υπεδαφικό νερό – ρύπος) και γ) Την ικανότητα απορρόφησης φωσφορικού άλατος.

Μέθοδος GOD

Η μέθοδος αυτή έχει ως σκοπό τη μελέτη της τρωτότητας του υδροφορέα ενάντια στην κατακόρυφη διήθηση των ρύπων μέσα στην ακόρεστη ζώνη χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πλευρική μετανάστευση των ρύπων στην κορεσμένη ζώνη. Ο δείκτης GOD που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και χαρτογράφηση της τρωτότητας του υδροφόρου ορίζοντα που προκαλείται από τη ρύπανση υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό της επίδρασης των 3 παραμέτρων χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση: $GOD = C_a \times C_l \times C_d$

όπου, C_a είναι ο τύπος του υδροφορέα, C_l είναι η λιθολογία της ακόρεστης ζώνης και C_d είναι το βάθος της επιφάνειας του νερού. Οι δείκτες GOD χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες και ποικίλλουν μεταξύ των ακραίων τιμών που κυμαίνονται από 0 έως 1.

Μέθοδος AVI

Η μέθοδος AVI (Aquifer Vulnerability Index) βασίζεται στον υπολογισμό ενός παράγοντα υδραυλικής αντίστασης. Ο παράγοντας υδραυλικής αντίστασης αντιστοιχεί σε ένα κατά προσέγγιση χρόνο διαδρομής του νερού από την επιφάνεια του εδάφους που κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω περνώντας από τα διαδοχικά στρώματα της ακόρεστης ζώνης μέχρι να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Στη μέθοδο AVI το πάχος κάθε στρώματος της ακόρεστης ζώνης και ο υπολογισμός του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για κάθε στρώμα βασίζεται στη λιθολογική περιγραφή που προκύπτει από τα αποτελέσματα γεωτρητικών μελετών στην περιοχή μελέτης.

ΣΤ.2.2 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Καρστικούς Υδροφορείς

Το καρστικό μέσο είναι το πλέον ευαίσθητο και ευάλωτο σε επιβαρύνσεις της ποιότητας του νερού, ιδιαιτέρως στις περιπτώσεις που οι ανθρακικοί σχηματισμοί εκτείνονται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Η φύση του καρστ είναι τέτοια, ώστε αρκετοί φυσικοί μηχανισμοί αντιμετώπισης ή εξασθένισης των ρύπων να μην εμφανίζονται ή να εμφανίζονται υποβαθμισμένοι (διήθηση, κατακράτηση, προσρόφηση). Αντίθετα, οι μεγάλες ταχύτητες ροής στα καρστικά πεδία οδηγούν σε γρήγορη και μεγάλη αραίωση τους ρύπους και τους μεταφέρουν με μεγάλες ταχύτητες σε μεγάλες αποστάσεις.

Μέθοδος EPIK

Η μεθοδολογία αυτή προκύπτει από τα ακρωνύμια των λέξεων: E (Epikarst) επικάρστ, P (Protective cover) προστατευτικό κάλυμμα, I (Infiltration conditions) συνθήκες κατέλδυσης, K (Karst network development) ανάπτυξη καρστικού δικτύου και στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι εξής βασικοί παράμετροι: (Α) η τοπογραφική επιφάνεια και μεταβολή της κλίσης, (Β) το πάχος, η δομή και η

ορυκτολογία του εδάφους, (Γ) η σύνδεση του υδροφόρου ορίζοντα με το επιφανειακό νερό, (Δ) η τροφοδοσία, (Ε) τα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης, (Στ) τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και (Ζ) οι χρήσεις γης.

Μέθοδος COP

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα COST 620 για την εκτίμηση και χαρτογράφηση της γενικής τρωτότητας σε καρστικούς υδροφόρους εισάγονται τέσσερις (4) παράγοντες: 1) παράγοντας Ο: υπερκείμενα στρώματα (overlying layers), 2) παράγοντας C: συγκέντρωση ροής (concentration of flow), 3) παράγοντας P: καθεστώς κατακρημνισμάτων (precipitation regime) και 4) παράγοντας K: ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου (karst network development).

Μέθοδος PI

Η μέθοδος βασίζεται σε μοντέλο πηγής ρύπανσης (επιφάνεια εδάφους) – διαδρομής ρύπου (στρώματα ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα) – στόχου προστασίας ενός καρστικού μέσου (επιφάνεια υδροφόρου ορίζοντα). Η ονομασία της μεθόδου προέρχεται από τα αρχικά των δύο παραγόντων που λαμβάνει υπόψη, του προστατευτικού καλύμματος (P) και των συνθηκών κατείσδυσης (I). Ο παράγοντας P αντιπροσωπεύει την προστατευτική ιδιότητα των στρωμάτων μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα. Εκτιμάται από $P=1$ για πολύ μικρό βαθμό προστασίας, μέχρι $P=5$ για το μέγιστο βαθμό προστασίας, ο οποίος αφορά σε υπερκείμενα στρώματα πολύ μεγάλου πάχους. Ο παράγοντας I περιγράφει τις συνθήκες κατείσδυσης, ιδιαιτέρως το βαθμό στον οποίο ο ρύπος, λόγω πλευρικής επιφανειακής και υπεδαφικής ροής ως συνάρτηση της παρουσίας καταβοθρών, καταφέρνει να προσπεράσει το προστατευτικό κάλυμμα.

Μέθοδος SINTACS

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκτίμηση και αξιολόγηση συγκεκριμένων παραμέτρων και συνθηκών που είναι οι εξής: α) Βάθος επιφάνειας υπόγειου νερού (S). Η παράμετρος αυτή έχει τις ίδιες κατηγορίες βαθμολόγησης με την DRASTIC και οι μεταβολές της αφορούν είτε στον προσδιορισμό της πιεζομετρικής επιφάνειας υπό κανονικές συνθήκες και αγνοώντας τις οριακές τιμές που προέρχονται από πλημμύρες, είτε πολλαπλασιάζοντας την αποτίμηση των συνθηκών για 3 τύπους καρστ, β) Δράση ενεργού κατείσδυσης (I). Η μέθοδος απαιτεί ότι τα ενεργά κατακρημνίσματα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με συγκεκριμένο συντελεστή κατείσδυσης, συναρτήσει της υφής και του πάχους του εδαφικού καλύμματος. Ο συντελεστής αυτός πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που το έδαφος εμφανίζει αρκετό πάχος. Στην περίπτωση που

το μέσο πάχος αυτό είναι μικρότερο από 1 μέτρο πρέπει να χρησιμοποιείται ο αντίστοιχος συντελεστής για καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους, γ) Ικανότητα εξασθένισης ρύπων της ακόρεστης ζώνης (N). Στην πραγματικότητα η παράμετρος αυτή, πρακτικώς θεωρείται απύουσα σε καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους, χωρίς καμία αναφορά στο πάχος και στο βαθμό καρστικοποίησης. Μεγάλη ετερογένεια σημαίνει μεγαλύτερη προς την κορεσμένη ζώνη, αλλά η τυρβώδης ροή, σε συνθήκες αερισμού, επιτρέπει την παραμονή κάποιων ρύπων, δ) Ικανότητα εξασθένισης ρύπων των υπερκείμενων στρωμάτων (T). Βαθμολογείται με μια αποδεκτή διάκριση των συνθηκών, ε) Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα (A). Η παράμετρος αυτή υπάρχει τόσο σε αυτή τη μέθοδο όσο και στη DRASTIC, ενώ άλλες μέθοδοι αντιμετωπίζουν μόνο το επικάρστω (στ) Φάσμα υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα (C). Ως προς τη θεώρηση της παραμέτρου ισχύει ό,τι και προηγουμένως και Υδρολογικός ρόλος της τοπογραφικής κλίσης (S). Επιτρέπει τη θεώρηση της επιφανειακής απορροής σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες συνθήκες στην μεταφορά ή την αντιμετώπιση των ρύπων.

Μέθοδος VULK

Η ονομασία της μεθόδου προέρχεται από τα αρχικά των όρων τρωτότητα (**v**ulnerability) και καρστ (**k**arst). Περιλαμβάνει μια απλή διαδικασία για τη χαρτογράφηση του χρόνου μεταφοράς του ρύπου στην περίπτωση της τρωτότητας του υδατικού συστήματος και της τρωτότητας της υδροληψίας. Το πρόγραμμα επιτρέπει τον υπολογισμό του χρόνου μεταφοράς του ρύπου σε επιλεγμένα σημεία και με τη βοήθεια του συστήματος GIS, την κατασκευή χαρτών εξασθένισης και μέγιστων συγκεντρώσεων του ρύπου. Στον υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη πέντε συνολικά υποσυστήματα μεταξύ του σημείου εισόδου του ρύπου και του τελικού σημείου – στόχου: το έδαφος, το υπέδαφος, το μη καρστικό πέτρωμα, το ακόρεστο και το κορεσμένο καρστικό πέτρωμα. Οι παράγοντες που υπολογίζονται είναι ο παράγοντας O (υπερκείμενα στρώματα) και ο παράγοντας K (βαθμός ανάπτυξης καρστικού συστήματος).

Μέθοδος LEA

Το όνομα της μεθόδου προέρχεται από τα αρχικά της Localized European Approach. Πρόκειται για μέθοδο που αντιμετωπίζει το πρόβλημα έλλειψης λεπτομερών σχημάτων εκτίμησης και προτείνει πλαίσιο λύσεων προσαρμοσμένων στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες, σε μορφή υδρογεωλογικών συνθηκών και διαθέσιμων στοιχείων. Η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί και να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική της μεθόδου PI. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι ο παράγοντας O (υπερκείμενα στρώματα) και C (συγκέντρωση της ροής). Η συγκέντρωση της ροής εκτιμάται σε συνδυασμό με την ύπαρξη καταβοθρών, δολινών ή άλλων καρστικών διεισδυτικών γεωμορφών,

που χαρακτηρίζονται από μεγάλες συγκεντρώσεις ροής. Παράγοντες που επηρεάζουν επίσης την παράμετρο αυτή είναι η τοπογραφία, η βλάστηση, η παρουσία εδάφους και η χωρική κατανομή των παραγόντων αυτών.

Μέθοδος RISKE

Με τη μέθοδο RISKE γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης της εσωτερικής τρωτότητας ή τρωτότητας κατείσδυσης, δηλαδή της μεγαλύτερης ή μικρότερης ευκολίας με την οποία το νερό θα φτάσει μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους. Προκειμένου να γίνει αυτό απαιτείται η χαρτογράφηση πέντε κριτηρίων (α) του Υδροφόρου σχηματισμού (R), (β) της Κατείσδυσης (I), (γ) του Εδαφικού καλύμματος (S), (δ) του Βαθμού Καρστικοποίησης (K) και (ε) του Επικάρστ (E). Το κάθε κριτήριο βαθμονομείται σε 5 τάξεις από το 0 έως το 4 από την μικρότερη προς τη μεγαλύτερη τιμή της τρωτότητας.

Μέθοδος PaPRIKa

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια εξειδικευμένη κατηγορία ανάλυσης καρστικών υδροφορέων, προερχόμενη από το συνδυασμό των επιμέρους μεθόδων RISKE και EPIK. Τόσο η δομή όσο και ο μηχανισμός λειτουργίας των καρστικών υδροφορέων λαμβάνονται υπόψη ώστε να προκύψει η κατάλληλη μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση της τρωτότητας του ρύπου, αλλά και της άφιξης του ρύπου στην υδροληψία. Η ονομασία PaPRIKa είναι το ακρωνύμιο των 4 παραγόντων της μεθόδου, δηλαδή, Pa που είναι η προστασία των υδροφορέων περιλαμβάνει την προστασία (P) λαμβάνοντας υπόψη το εδαφικό κάλυμμα, την ακόρεστη ζώνη και το επικάρστ, τον τύπο του υδροφορέα (R), I την κατείσδυση (I) και τον βαθμό καρστικοποίησης (Ka).

Μέθοδος PRESK

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, γίνεται ποσοτικοποίηση των κριτηρίων P, R, E, S, K. Το κριτήριο P (Protection) περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που έχουν προστατευτικό ρόλο σε πιθανή ρύπανση των καρστικών υδροφόρων οριζόντων. Το κριτήριο R αφορά στους σχηματισμούς που υδροφορούν και καθορίζεται από τη φύση των γεωλογικών σχηματισμών και της τεκτονικής, η οποία τα επηρεάζει άμεσα. Το κριτήριο E (επικάρστ), αντιστοιχεί στο ανώτερο τμήμα του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος είτε καλύπτεται από έδαφος είτε όχι. Η παρουσία μίας ζώνης επικάρστ στο σώμα ενός καρστικού σχηματισμού μειώνει την τρωτότητά του, αντί να την αυξάνει. Το κριτήριο S (έδαφος) αφορά στους εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι βρίσκονται πάνω από τους καρστικούς υδροφορείς και δημιουργούν ένα προστατευτικό κάλυμμα. Παίζουν, δηλαδή, έναν προστατευτικό και ρυθμιστικό ρόλο για τους υδροφόρους αυτούς, απέναντι στους ρύπους εκείνους

που πιθανόν να εισέλθουν στο υδροφόρο σύστημα από την επιφάνεια του εδάφους.

ΣΤ.2.3 Μέθοδοι Εκτίμησης Τρωτότητας σε Ρωγματικούς Υδροφορείς

Μέθοδος SCALDI

Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη 5 κριτήρια, τα οποία επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση της δομής του υδροφόρου ορίζοντα και της υπόγειας ροής του νερού μέσα στο μέσο ασυνεχειών και είναι η τοπογραφική κλίση (S), το εδαφικό κάλυμμα (C), το υδροφόρο πέτρωμα (A), οι χρήσεις γης (L) και ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών (DI).

Μέθοδος DRASTIC – F_m

Η μέθοδος αυτή είναι μια τροποποιημένη έκδοση της μεθόδου DRASTIC, όπου λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη διαφορά ότι λαμβάνεται επίσης υπόψη η πυκνότητα των ασυνεχειών, η οποία είναι το κύριο χαρακτηριστικό του μέσου ασυνεχειών. Το κριτήριο F_m αποτελεί το επιπλέον κριτήριο, το οποίο εισάγει στην παραμετρική μέθοδο το χαρακτηριστικό εκείνο των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων που επηρεάζει την τρωτότητα. Ανάλογα με την τιμή της πυκνότητας των ασυνεχειών στην περιοχή μελέτης, το κριτήριο F_m χωρίζεται σε τέσσερις κλάσεις, από χαμηλό βαθμό τρωτότητας (δείκτης 0) έως υψηλό βαθμό τρωτότητας (δείκτης 3). Είναι κατανοητό ότι μικρή τιμή πυκνότητας ασυνεχειών αντιστοιχεί σε χαμηλό δείκτη τρωτότητας, ενώ υψηλή τιμή πυκνότητας ασυνεχειών αντιστοιχεί σε μεγάλο δείκτη τρωτότητας, καθώς όσο πιο κατακερματισμένο είναι ένα σκληρό πέτρωμα, τόσο πιο εύκολα μπορεί να διεισδύσει ένας ρύπος στα βαθύτερα στρώματα και να φτάσει μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα.

ΣΤ.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ

Οι στατιστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν απλή περιγραφική στατιστική των συγκεντρώσεων διαφόρων επιλεγμένων ρυπαντών (π.χ. NO_3 , Cl, SO_4 , As, Cr κ.ά.), ιστογράμματα συχνοτήτων καθώς και ανάλυση συσχέτισης (π.χ. συγκέντρωση νιτρικών ιόντων με το βάθος). Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σύνθετη ανάλυση συσχέτισης (παραγοντική ανάλυση, ανάλυση κατά ομάδες, λογιστική ανάλυση συσχέτισης, ανάλυση διακριτοποίησης κ.ά.), που ενσωματώνει τα αποτελέσματα μερικών παραμέτρων και προβλέπει τις πιθανότητες εμφάνισης της ρύπανσης.

ΣΤ.4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την βαθμονόμηση των κριτηρίων του μοντέλου δύναται να χρησιμοποιηθεί η ημιποσοτική μέθοδος της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης (AHP – Analytical Hierarchy Process), η οποία δίνει την ευκαιρία στον κάθε μελετητή/επιστήμονα να κρίνει τη σπουδαιότητα μεταξύ των κριτηρίων του

μοντέλου και μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών να αποδώσει την τελική βαθμονόμηση των κριτηρίων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που έχει αναπτυχθεί για σύνθετα προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων, τα οποία περιλαμβάνουν ποσοτικές ή ποιοτικές πτυχές ενός προβλήματος κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ταυτόχρονα ένα σημαντικό μεθοδολογικό πλαίσιο αποφάσεων και ένα επιχειρησιακό γράφημα λήψης αποφάσεων. Η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης προσεγγίζει τη λήψη αποφάσεων με την διάταξη των σημαντικών συστατικών ενός προβλήματος σε μια ιεραρχική δομή μειώνοντας τις σύνθετες αποφάσεις σε μια σειρά απλών συγκρίσεων, τις δυαδικές συγκρίσεις, μεταξύ των στοιχείων της ιεραρχικής απόφασης.

ΣΤ.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ / ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για τον έλεγχο αξιοπιστίας της αρχικής – πρότυπης μεθόδου, καθώς επίσης και της μετέπειτα βελτιστοποίησης, απαιτείται ο έλεγχος συσχέτισης των τιμών του μοντέλου με τις τιμές συγκέντρωσης του εκάστοτε δείκτη ρύπανση (π.χ. νιτρικά). Η αναθεώρηση της κλίμακας μετατροπής (*rating scale*) επιτυγχάνεται με τη χρήση του αριθμητικού μέσου της συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου κάθε μιας από τις κλάσεις κάθε παραμέτρου, όπως ορίζονται στο αρχικό μοντέλο.

Τέλος, επισημαίνεται ότι οι μέθοδοι δεικτών / υπέρθεσης, αν και φαίνεται να δίνουν τιμές ενδογενούς τρωτότητας στατιστικά και γεωγραφικά σχετικές με την κατανομή των εκάστοτε ρύπων της περιοχής μελέτης, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν (με τις αρχικές τιμές και βάρη των παραμέτρων), διότι οι μέθοδοι χρησιμοποιούν συντελεστές για κάθε παράγοντα που έχουν προκύψει από την εκτίμηση των ερευνητών χωρίς δυνατότητα προσαρμογής στις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες, αλλά και στο γεγονός ότι δεν λαμβάνουν υπόψη το ρυπαντικό φορτίο, το οποίο μαζί με την ενδογενή τρωτότητα συνδιαμορφώνει το δυναμικό ρύπανσης ενός υδροφορέα.

ΣΤ.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ / ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η βαθμονόμηση και τροποποίηση της αρχικής εξίσωσης της εκάστοτε μεθόδου έχει ως σκοπό την όσο το δυνατό, ακριβέστερη και ρεαλιστικότερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων για την εκάστοτε υπό μελέτη περιοχή δίνοντας μια σαφή και ακριβή εικόνα των επιμέρους τμημάτων μιας περιοχής, που κρίνονται ευάλωτα και επιρρεπή σε ρύπανση για να δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες για έγκαιρη και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Για την ανάλυση ευαισθησίας/βαθμονόμησης, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο μέθοδοι ανάλυσης: η πρώτη αφορά στο αποτέλεσμα του τελικού χάρτη των ζωνών τρωτότητας των υπόγειων νερών μετά την αφαίρεση μίας ή περισσότερων παραμέτρων και καταδεικνύει την επίδραση της κάθε παραμέτρου στο τελικό αποτέλεσμα, η δεύτερη αφορά στην επίδραση της βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου και εξετάζει τη σχέση

μεταξύ της ενεργού βαρύτητας και της θεωρητικής. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται αντιληπτό αν η σχετική βαρύτητα των παραμέτρων μεταξύ τους και η σχετική βαρύτητα της βαθμονόμησης της κάθε παραμέτρου εκτιμώνται σωστά.

Αφαίρεση μίας Παραμέτρου κάθε φορά: Μία από τις εφαρμοζόμενες μεθόδους είναι η ανάλυση ευαισθησίας για κάθε μία παράμετρο της χρησιμοποιούμενης μεθόδου, μέσω της διαδικασίας αφαίρεσης παραγόντων (*factor removal*). Στην πραγματικότητα, η ανάλυση ευαισθησίας επισημαίνει την παράμετρο εκείνη που είναι σημαντικά ευκολότερη στο να προκαλέσει εκτεταμένη ρύπανση στον υδροφόρα.

Z. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

Z.1 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η μελέτη των Ζωνών Τρωτότητας / Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας των Υπόγειων Υδροφορέων περιλαμβάνει τις ακόλουθες βασικές εργασίες:

1. Γεωλογική Χαρτογράφηση σε κλίμακα από 1:5.000 έως 1:25.000 (ανάλογα με τη συνολική έκταση της υπό μελέτη περιοχής) και σε ακτίνα τουλάχιστον τέτοια που να καλύπτει την έκταση του ΥΥΣ.
2. Απογραφή (πλέον των δεδομένων ΕΜΣΥ ή ΣΑΜΥ που θα παραδοθούν στο μελετητή με ευθύνη της αναθέτουσας αρχής) υδροληπτικών έργων (γεωτρήσεις και πηγάδια) εντός του ΥΥΣ σε συνάρτηση και με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντούν στην υπό μελέτη περιοχή. Στην περίπτωση που τα στοιχεία αυτά είναι ελλιπή (π.χ. μόνο συντεταγμένες) και συμπληρώνονται από τον μελετητή θα θεωρούνται νέα απογραφή.
3. Σύνταξη Υδρολιθολογικού χάρτη, αντίστοιχης κλίμακας με αυτή του βασικού γεωλογικού χάρτη, με υδρογεωλογικά στοιχεία, με αναφορά στο είδος του υπό μελέτη ΥΥΣ, της έκτασης και της χρήσης του.
4. Δειγματοληψία υπόγειου νερού σε δίκτυο από αριθμό υδροληπτικών έργων (γεωτρήσεις, πηγάδια), όπου αυτό είναι εφικτό, σύμφωνα με τα αναλυτικά πρωτόκολλα δειγματοληψιών και αναλύσεων, όπως είναι αναρτημένα στον ιστότοπο της Γενικής Γραμματείας Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων, και εκτέλεση χημικής ανάλυσης κύριων ιόντων, τουλάχιστον 1 – 2 περιόδων (κατά κύριο λόγο στην υψηλή και χαμηλή περίοδο), καθώς επίσης και των απαιτούμενων, κατά περίπτωση, ιχνοστοιχείων. Σε περίπτωση που υφίστανται πρόσφατες χημικές αναλύσεις, τότε δεν απαιτείται η εκτέλεσή της.
5. Σύνταξη υδροχημικού χάρτη, αντίστοιχης κλίμακας με αυτή του βασικού γεωλογικού χάρτη, με αποτύπωση της χωρικής κατανομής των κυριότερων παραμέτρων στην ίδια κλίμακα και έκταση.
6. Σύνταξη μεθόδων κατάταξης – βαρύτητας ή δεικτών/υπέρθεσης των υπόγειων υδροφορέων, καθώς και της έντασης – διασποράς της τρωτότητας. Οι μέθοδοι αυτές παρέχουν απλούς αλγόριθμους που εμπεριέχουν ένα μεγάλο εύρος χωρικών πληροφοριών (πολυκριτηριακή ανάλυση), οι οποίες απεικονίζονται σε αντίστοιχους θεματικούς χάρτες μέσω στατιστικής προσέγγισης (συντελεστές συσχέτισης, μέσος όρος ομαδοποιημένων τιμών, προσθήκες ή αφαιρέσεις κριτηρίων, ομαδοποίηση παραμετρικών τιμών) και ανάλυσης ευαισθησίας/βαθμονόμησης (ημυποσοτική μέθοδος της διαδικασίας αναλυτικής ιεράρχησης –

ΑΗΡ). Σκοπός της μεθόδου είναι η χρησιμοποίηση μιας πολυπαραμετρικής προσέγγισης και αξιολόγησης του κινδύνου τρωτότητας ώστε να καταστεί εφικτή η χαρτογράφηση χωρικών ζωνών ρυπαντικής επιδεκτικότητας του ΥΥΣ. Στον τελικό χάρτη εμφανίζονται οι διαφορετικές περιοχές ευαισθησίας στην τρωτότητα του ΥΥΣ.

7. Σύνταξη Χάρτη Καταγραφής Σημείων Εμφάνισης Νερού και Καταγραφής Σημειακών και Διάχυτων Πιέσεων και Ρυπογόνων Δραστηριοτήτων, στην ίδια κλίμακα και έκταση.
8. Σύνταξη Χάρτη Ζωνών Τρωτότητας / Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας των Υπόγειων Υδροφορέων και Προτεινόμενων Μέτρων στην ίδια κλίμακα και έκταση. Προτείνεται η χρήση 5 κατηγοριών ζωνών Τρωτότητας / Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας σε ανάλογη διακριτή, χρωματική κλίμακα (Πολύ Υψηλή Τρωτότητα-T5, Υψηλή Τρωτότητα-T4, Μέτρια Τρωτότητα-T3, Χαμηλή Τρωτότητα-T2, Πολύ Χαμηλή Τρωτότητα-T1).
9. Ανάλυση των προτεινόμενων μέτρων αντιμετώπισης/περιορισμού της τρωτότητας. Προτάσεις με ανάλυση και τεκμηρίωση της εφαρμογής τους για λήψη μέτρων (περιοριστικά ή/και απαγορευτικά) ανά ζώνη τρωτότητας και για δράσεις και παρεμβάσεις για τον σταδιακό περιορισμό της.

2.2 ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Κατά περίπτωση και ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις συγκεκριμένων περιοχών περιλαμβάνονται και οι ακόλουθες επικουρικές εργασίες:

1. Μέτρηση στάθμης υπόγειου νερού σε δίκτυο από αριθμό υδροληπτικών έργων (γεωτρήσεις, πηγάδια), όπου αυτό είναι εφικτό, για τον καθορισμό της πιεζομετρικής επιφάνειας των υπόγειων υδροφόρων και των ετήσιων ή υπερετήσιων μεταβολών τους.
2. Σύνταξη πιεζομετρικού χάρτη αντίστοιχης κλίμακας με αυτή του βασικού γεωλογικού χάρτη, με αποτύπωση των στοιχείων του δικτύου μετρήσεων στάθμης των υπόγειων νερών και παρουσίαση ισοπιεζομετρικών καμπυλών με ενδείξεις διευθύνσεων και κλίσεων υπόγειας ροής, όπου αυτό είναι εφικτό ανάλογα με την πυκνότητα των σημείων παρατήρησης και δειγματοληψίας.
3. Εκτέλεση δοκιμαστικής άντλησης, όπου αυτό είναι εφικτό και εφόσον υπάρχει τέτοια δυνατότητα να πραγματοποιείται άντληση τουλάχιστον 24 ωρών συνεχούς/σταθερής παροχής και κατ' ελάχιστο τρεις (3) δίωρες βαθμίδες αυξανόμενης παροχής με επαναφορά. Σε περίπτωση που έχει ήδη εκτελεσθεί δοκιμαστική άντληση πρόσφατα, τότε δεν απαιτείται η εκτέλεσή της.

4. Υδρογεωλογική – Υδρολιθολογική τομή, με στοιχεία υδροχημείας, στην ίδια ή σε μεγαλύτερη κλίμακα με αυτή του υδρογεωλογικού χάρτη με σκοπό να δοθεί η γεωλογική δομή, τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά, η στάθμη του υπόγειου νερού και τα στοιχεία που συνθέτουν το υδρογεωλογικό και υδροχημικό καθεστώς.

Η. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Βασικό τμήμα της μελέτης αποτελούν τόσο οι εργασίες υπαίθρου, η συλλογή, η αποτύπωση και η ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων όσο και η δημιουργία των δευτερογενών δεδομένων και ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μέσω ενδεδειγμένων προσεγγίσεων συσχέτισης. Επιπλέον, παρατίθενται στατιστικά διαγράμματα και πίνακες, όπως προκύπτουν μέσω της ανάλυσης πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων στο πλαίσιο εφαρμογής των προαναφερόμενων μεθόδων έρευνας και μελέτης. Επίσης, παρουσιάζονται χάρτες και αναλυτικά στατιστικά στοιχεία φυσικοχημικών και υδροχημικών αναλύσεων δειγμάτων από σημαντικό αριθμό υδροληπτικών έργων της ευρύτερης περιοχής μελέτης (εφόσον υφίστανται), καθώς επίσης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν σε ό,τι αφορά χωρική και ποσοτική κατανομή των παραμέτρων που εξετάζονται. Η μελέτη των Ζωνών Τρωτότητας/Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφορέων, ενδεικτικά και όχι περιοριστικά, δύναται να περιλαμβάνει, κατά περίπτωση, τα ακόλουθα:

Η.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Περιλαμβάνει το ιστορικό της ανάθεσης με σύντομη περιγραφή του έργου, το αντικείμενο της μελέτης, τον στόχο της μελέτης, τη μεθοδολογία εκπόνησής της με τις εργασίες προς εκτέλεση (όπως δημιουργία κατάλληλου καννάβου υδρογεωτρήσεων και πηγαδιών, οργάνωση δικτύου για δειγματοληψίες στον ρηχό και βαθύτερο υδροφορέα, πραγματοποίηση τουλάχιστον 1-2 χρονοσειρών υδρομετρήσεων στάθμης και φυσικοχημικών μετρήσεων, πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων, χάραξη πιεζομετρίας, εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου κλπ.), την υφιστάμενη υδρευτική/αρδευτική κατάσταση, τα δημογραφικά/πληθυσμιακά στοιχεία, τη γεωγραφική θέση/διοικητική υπαγωγή της υπό μελέτη περιοχής και τις διάφορες πιέσεις (σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης ΥΥΣ). Επιπλέον, τη συλλογή, μελέτη και αξιολόγηση υφιστάμενων στοιχείων, μετρήσεων, τεχνικών εκθέσεων και μελετών που αναφέρονται στην περιοχή ενδιαφέροντος και αφορούν στο αντικείμενο κατάρτισης του σχεδίου οριοθέτησης Ζωνών Τρωτότητας/Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας και ανάλογα με τη συμβολή τους στους άμεσους στόχους της μελέτης.

Η.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΣΔΛΑΠ ΚΑΙ ΣΔΚΠ

Περιγράφονται τα Επιφανειακά και Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΕΥΣ και ΥΥΣ) της λεκάνης απορροής, με βάση τα Σχέδια Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας και των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ), όπως ισχύουν αναλύοντας την υφιστάμενη ποιοτική (χημική) και ποσοτική κατάσταση, τις διάφορες πιέσεις (πλήθος, είδος, σημειακές και διάχυτες ρυπογόνες εστίες, απολήψεις ύδατος κ.ά.), τις

προστατευόμενες και ευπρόσβλητες περιοχές, εάν υφίστανται, οι περιορισμοί ή/και απαγορεύσεις ανά ΕΥΣ και ΥΥΣ με βάση το Αναλυτικό Κείμενο Τεκμηρίωσης των Προγραμμάτων Μέτρων των ΣΔΛΑΠ και ΣΔΚΠ, όπως ισχύουν κ.ά.

Η.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των γεωμορφολογικών ενότητων που συναποτελούν την ευρύτερη περιοχή μελέτης, όπως η μορφή ανάγλυφου (ψηφιακό μοντέλο εδάφους – DEM), οι εδαφικές κλίσεις, οι τοπογραφικές ζώνες, η υπογραφική καμπύλη και άλλες χαρακτηριστικές γεωμορφές. Καθορίζονται και οριοθετούνται οι γεωμορφολογικές ενότητες κατά μήκος της περιοχής μελέτης με βάση τα χαρακτηριστικά του εδαφικού αναγλύφου και τις γεωμορφολογικές διεργασίες.

Η.4 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία μιας περιοχής αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες διαμόρφωσης του υδρολογικού κύκλου και επομένως, απαιτείται η μελέτη και ανάλυση της χωροχρονικής κατανομής κάθε μετεωρολογικού παράγοντα ξεχωριστά, αλλά και η διερεύνηση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Εκτιμώνται, λοιπόν, οι παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου, όπως είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η δυνητική/πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή, η κατείσδυση, οι πλευρικές εισροές/εκροές από και προς την υδρογεωλογική λεκάνη και η δίαιτα των επιφανειακών και υπόγειων νερών λαμβάνοντας υπόψη τα μετεωρολογικά δεδομένα των πλησιέστερων στην υπό μελέτη περιοχή σταθμών.

Η.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ / ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ – ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Περιγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αναπτύσσονται μέσα στην ευρύτερη περιοχή (με έκταση ανάλογη της υδρολογικής λεκάνης που μελετάται) και επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της εξεταζόμενης υπόγειας υδροφορίας, καθώς και οι τεκτονικές μακροδομές (ρήγματα, πτυχώσεις, επωθήσεις κλπ.), που απαντούν. Περιγράφονται, επιπλέον, οι γεωλογικές διεργασίες αποσάθρωσης, διάβρωσης και κερματισμού. Γίνεται καταγραφή της οριζόντιας και κατακόρυφης εξάπλωσης των γεωλογικών στρώσεων μέσω των διαθέσιμων γεωλογικών τομών. Αναφέρονται τα στρωματογραφικά, λιθολογικά και τεκτονικά τους χαρακτηριστικά.

Η.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Εξετάζονται τα υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και οριοθετούνται τα υπόγεια υδατικά συστήματα και οι

διάφοροι τύποι υδροφόρων, που αναπτύσσονται σε αυτά. Για την υπόγεια κίνηση του νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς πέραν της στρωματογραφίας ελέγχονται και πρόσθετα γεωλογικά χαρακτηριστικά, όπως ρήγματα, πτυχώσεις και κάθε μορφής ασυνέχειες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την κίνηση του υπόγειου νερού. Στο πλαίσιο της μελέτης εξετάζονται, κατ' ελάχιστο, τα ακόλουθα:

- Διαχωρισμός και προσδιορισμός της χωρικής εξάπλωσης των υδρολιθολογικών ενοτήτων και αποτύπωση των ορίων της υδρολογικής και της υδρογεωλογικής λεκάνης τους.
- Εκτίμηση της υδροπερατότητας και υδροχωρητικότητας των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής και άλλων υδραυλικών παραμέτρων, όπως κατείσδυσης και επιφανειακής απορροής, με βάση τα διαθέσιμα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδρομετεωρολογικά στοιχεία. Εκτενής αναφορά των διαμορφωμένων υδροφόρων οριζόντων ανά υδρολιθολογική ενότητα με αναφορά στο πάχος και το βάθος ανάπτυξής τους.
- Εκτίμηση της αλληλεξάρτησης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων μέσω αμφίδρομων υπόγειων πλευρικών μεταγγίσεων.
- Καταγραφή της παρουσίας πηγών και της παροχής τους, εάν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία και καταγραφή της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού/υδραυλικού φορτίου για την αποτύπωση της χωρικής και χρονικής κατανομής της πιεζομετρίας. Καταγραφή υφιστάμενων στοιχείων πιεζομετρίας με βάση υφιστάμενες μελέτες.
- Στοιχεία καταγραφής και μετρήσεων στάθμης στα Σημεία Εμφάνισης Ύδατος διαχρονικά, όπου είναι εφικτό.
- Εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής της υπόγειας στάθμης και των συνθηκών εκμετάλλευσης της υπόγειας υδροφορίας.
- Καταγραφή των ιδιοτήτων της ακόρεστης ζώνης με σαφή αναφορά στο πάχος, στο βάθος ανάπτυξης και στα εδαφολογικά της χαρακτηριστικά (κοκκομετρική διαβάθμιση κ.ά.).
- Εκτίμηση των φυσικών μηχανισμών των γεωλογικών στρωμάτων ως προς τη δυνατότητά τους να προστατέψουν την υπόγεια υδροφορία από εν δυνάμει ρυπογόνες δραστηριότητες.

Η.7 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ

Αποτυπώνονται τα στοιχεία χρήσεων / κάλυψης γης από διάφορες βάσεις δεδομένων (π.χ. CORINE, ΟΠΕΚΕΠΕ κλπ.) με την περιγραφή τους στην ευρύτερη περιοχή και περιγράφονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή, όπως τα χαρακτηριστικά βλάστησης, η εδαφική κάλυψη, η διηθητικότητα και η αποθηκευτικότητα της επιφάνειας του

εδάφους. Αποτυπώνονται οι θεσμοθετημένες προστατευόμενες περιοχές, όπως NATURA, Ζώνες Ειδικής Προστασίας, Τόποι Κοινοτικής Σημασίας, Ειδικές Ζώνες Διατήρησης, Αρχαιολογικοί Χώροι κ.ά.

Η.8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

Παρουσιάζονται συνοπτικά, εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμαστικές αντλήσεις ή υπάρχουν διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα, τα αποτελέσματα υφιστάμενων μελετών που αναφέρονται κυρίως στον προσδιορισμό της υδαταγωγιμότητας (T) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (K) της γεώτρησης. Δίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης, εάν έχει εκτελεσθεί στο πλαίσιο της μελέτης. Εκτιμάται, επίσης, η υδροδυναμικότητα και η παροχευευστικότητα της υπόγειας υδροφορίας.

Η.9 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Γίνεται εκτίμηση της χημικής κατάστασης της υπόγειας υδροφορίας και προσδιορίζονται πιθανές υψηλές τιμές φυσικού υποβάθρου. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο τα στοιχεία του δικτύου παρακολούθησης μαζί με πρόσθετα στοιχεία που συγκεντρώνονται στο πλαίσιο εκπόνησης της μελέτης. Επίσης, δίνονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης νερού των εξεταζόμενων υδροσημείων παρατήρησης. Αναγνωρίζονται οι υδροχημικοί τύποι του υπόγειου νερού, το οποίο εν συνεχεία ταξινομείται ανάλογα με τις φυσικοχημικές σταθερές, τις συγκεντρώσεις σε ανιόντα και κατιόντα, τις ιοντικές σχέσεις, τους δείκτες κορεσμού σε βασικά ανθρακικά και πυριτικά ορυκτά.

Δίνονται υδροχημικά διαγράμματα (π.χ. Piper, Exp. Durov, Richards, Wilcox, Gibbs, Doneen, Schoeller, Chebotarev, Sulin, Boxplot, λογαριθμικό, ακτινωτά – αραχνοειδή, πίτες κ.ά.) με βάση την υδροχημική σύσταση του υπόγειου νερού για την ορυκτολογική – πετρογραφική προέλευσή του, τον χρόνο παραμονής εντός των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών κ.ά. Επιπλέον, εφόσον τα δεδομένα επαρκούν, δύναται να γίνει στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών και φυσικοχημικών (θερμοκρασία νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH, διαλυμένο οξυγόνο) παραμέτρων.

Η.10 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΙΕΣΕΙΣ / ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΡΥΠΟΓΟΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Καταγράφονται, επικαιροποιούνται και αποτυπώνονται σε ανάλογης κλίμακας χάρτη οι σημειακές και οι διάχυτες δυνητικές πηγές ρύπανσης εντός της ευρύτερης περιοχής μελέτης που δύναται να προκαλέσουν ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου δυναμικού και σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση στην περιοχή μελέτης (ρύπανση από αστικά λύματα, αγροτική δραστηριότητα, κτηνοτροφία, βιομηχανικές μονάδες κ.ά.), ώστε να καθοριστούν οι επιτρεπόμενες χρήσεις, οι

περιορισμοί και απαγορεύσεις τόσο για τις υφιστάμενες (αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί όροι κατά την ανανέωση αδειών χρήσης) όσο και για τις νέες δραστηριότητες που δύνανται να αναπτυχθούν, ώστε να μειωθεί σημαντικά ο κίνδυνος ενδεχόμενης ρύπανσης της περιοχής τροφοδοσίας της υπό μελέτη περιοχής.

Η.11 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΖΩΝΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ

Γίνεται οριοθέτηση των Ζωνών Τρωτότητας / Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας των Υπόγειων Υδροφορέων και αναλύονται τα προτεινόμενα μέτρα ανά ζώνη. Ειδικότερα προβλέπεται (ενδεικτικά και όχι περιοριστικά):

- Δημιουργία χάρτη ζωνών τρωτότητας του ΥΥΣ κατάλληλης μεθοδολογίας και ανάλογης κλίμακας, στον οποίο να αποτυπώνονται οι περιοχές που δυνητικά καθίστανται πιο ευάλωτες, καθώς επίσης και ανάλυση κινδύνου με τις αντίστοιχες αναλύσεις ευαισθησίας και αβεβαιότητας με αναλυτική περιγραφή των βημάτων και των πρωτογενών δεδομένων που έχουν χρησιμοποιηθεί.
- Υποβολή προγράμματος ποιοτικής και ποσοτικής παρακολούθησης της υπόγειας υδροφορίας για τον μελλοντικό έλεγχο αυτής και δημιουργία Βάσης Δεδομένων των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων του υπόγειου νερού.
- Εφαρμογή περισσότερων της μίας μεθόδου για συγκριτική αξιολόγηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και για συνδυαστική χρήση (ένωση, τομή, υπέρθεση, αλληλεπικάλυψη) των παραγόμενων χαρτών ζωνών τρωτότητας/ρυπαντικής επιδεκτικότητας.
- Συμπεράσματα με ερμηνεία και αξιολόγηση των ευρημάτων των επιμέρους εργασιών και προσδιορισμό των τελικών προτάσεων.

Ενδεικτικά, αναφέρονται μέτρα που συνδέονται με τις 5 κατηγορίες των ζωνών τρωτότητας, όπως αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή του γεωχωρικού μοντέλου: Ζώνη 5 – πολύ υψηλός κίνδυνος = δυνατότητα απαγόρευσης εκτέλεσης νέων έργων ή επέκταση χρήσης υφιστάμενων, Ζώνη 4 – υψηλός κίνδυνος = δυνατότητα ανόρυξης γεωτρήσεων με συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους, Ζώνη 3 – μέτριος κίνδυνος = δυνατότητα προσδιορισμού βέλτιστης παροχής, φυσικοχημικές αναλύσεις υπογείων υδάτων τουλάχιστον 1 φορά έτος (τέλος ξηρής περιόδου) και ανάλυση αποτελεσμάτων τους βάσει υδροχημικών διαγραμμάτων. Επιπλέον, οι ζώνες τρωτότητας /ρυπαντικής επιδεκτικότητας να διατίθενται σε μορφή raster, καθώς επίσης και σε αρχεία τύπου shp σε κατάλληλο προβολικό σύστημα (ΕΓΣΑ 87).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών μέσω της δημιουργίας κατάλληλου χάρτη αποτελούν ένα βασικό εργαλείο διαχείρισης για όλους τους αρμόδιους φορείς στο πλαίσιο άσκησης πολιτικής για την προστασία των υπόγειων υδροφορέων. Η χαρτογράφηση, επομένως, των ζωνών αυτών αποτελεί μία τεχνική ποσοτικοποίησης και απεικόνισης κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι εφικτή η χρησιμοποίηση και η εφαρμογή της κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την περιβαλλοντική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Θ. ΧΑΡΤΕΣ / ΤΟΜΕΣ

Όλα τα στοιχεία της αξιολόγησης των διαθέσιμων σχετικών μελετών, ερευνών και βιβλιογραφίας καθώς και των παρατηρήσεων της έρευνας πεδίου/υπαίθρου, τα οποία είναι δυνατόν να αποτυπωθούν, θα απεικονίζονται σε αντίστοιχους χάρτες, ενδεικτικά αναφέρεται από 1:5.000 έως 1:25.000 (ανάλογα με τη συνολική έκταση της υπό μελέτη περιοχής). Οι υδρολιθολογικές τομές δύνανται να απεικονίζονται εντός των χαρτών.

Θ.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Στον γεωλογικό χάρτη:

- διαχωρίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί με διάκριση των γεωλογικών ορίων τους (ορατό, μεταβατικό ή ασαφές, καλυμμένο), περιλαμβάνοντας τα όρια των προαλπικών, αλπικών, Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών,
- αποτυπώνονται όλα τα τεκτονικά στοιχεία αλπικής και μεταλπικής παραμόρφωσης και αναγράφεται ο βαθμός αποσάθρωσης, ενώ προσδιορίζεται το είδος και το εύρος τυχόν κατακόρυφων κινήσεων και

Η χαρτογράφηση πραγματοποιείται επί τοπογραφικού υποβάθρου αντίστοιχης κλίμακας, με την αποτύπωση των στοιχείων των ερευνητικών εργασιών υπαίθρου στην ακρίβεια που η κάθε κλίμακα επιτρέπει. Στο υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη γίνεται αναλυτική περιγραφή για κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

Θ.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ / ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΥΔΑΤΟΣ

Η υδρολιθολογική κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών σκοπεύει στη διάκριση μεταξύ υδροπερατών, ημιπερατών, ημιπερατών έως υδροστεγανών και πρακτικά υδροστεγανών σχηματισμών, με στόχο τη δημιουργία του υδρολιθολογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής. Ο χάρτης αυτός θα προέρχεται από την αξιολόγηση και την προσαρμογή υφιστάμενων γεωλογικών χαρτογραφήσεων με βάση και τις παρατηρήσεις από την έρευνα πεδίου. Θα περιλαμβάνει:

- την οριζόντια εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών και τα μακροτεκτονικά τους χαρακτηριστικά,
- την οριζόντια κατανομή των υδρολιθολογικών ενοτήτων, όπως έχουν προκύψει από την ομαδοποίηση ομοειδών γεωλογικών σχηματισμών με αντίστοιχη κατάταξή τους με βάση την υδροπερατότητά τους, καθώς και άλλα υδραυλικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν την υδροφορία τους,

- την καταγραφή των Σημείων Εμφάνισης Νερού (υδρογεωτρήσεις, πηγάδια, πηγές), εάν υπάρχουν, με χρήση GPS,
- τα όρια των Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων με βάση τα ΣΔΛΑΠ, όπως ισχύουν,
- τα συνδεδεμένα Επιφανειακά Υδατικά Συστήματα με βάση τα ΣΔΛΑΠ, όπως ισχύουν και τα χαρακτηριστικά τους (μόνιμη, εποχική, φυσική, τεχνητή κ.ά.),
- τις μετρήσεις στάθμης/υδραυλικού φορτίου παράγοντας ισοπιεζομετρικές καμπύλες, εάν είναι δυνατό να χαραχτούν,
- την εκτίμηση με υδρογεωλογικά κριτήρια, ανά υδρολιθολογική ενότητα, των συντελεστών υδροπερατότητας, κατείσδυσης και επιφανειακής απορροής.

Με τη βοήθεια του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος και σε συνδυασμό με επιτόπου γεωλογικές και υδρογεωλογικές παρατηρήσεις, κατασκευάζεται ο υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής. Σύμφωνα με το πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων, το σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών κατατάσσεται σε επιμέρους υδρολιθολογικούς τύπους βάσει της παραγωγικότητας – αποδοτικότητας των υδροφορέων, της γεωγραφικής και στρωματογραφικής τους θέσης, του είδους της υδροπερατότητας (πρωτογενής – δευτερογενής) και των λιθολογικών – ιζηματολογικών τους χαρακτηριστικών.

Θ.3 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Αποτυπώνεται η διεύθυνση κίνησης και η ταχύτητα του υπόγειου νερού μέσω των ισοσταθμικών καμπυλών ανά περίοδο μέτρησης στάθμης ή/και από παλαιότερες διαχρονικά μετρήσεις στάθμης, καθώς επίσης εκτιμώνται και οι συνθήκες τροφοδοσίας – εκφόρτισης των υπόγειων υδροφορέων. Επιπλέον, είναι δυνατόν να εντοπιστούν περιοχές, στις οποίες έχει προκληθεί ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας, λόγω αντλήσεων. Οι πιεζομετρικές στάθμες εξαρτώνται από το είδος του υπόγειου υδροφορέα και μεταβάλλονται κατά τις διάφορες εποχές του έτους, ανάλογα με τη δίαιτα του υδροφορέα. Η κίνηση του υπόγειου νερού στην υδρολογική λεκάνη ελέγχεται τόσο από την τεκτονική δομή των γεωλογικών σχηματισμών όσο και από την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά. Σχετικά με την πυκνότητα των σημείων μέτρησης, τα υδροσημεία που θα επιλέγονται θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο, σχηματίζοντας ένα πυκνό και αντιπροσωπευτικό κάρναβο για την αξιόπιστη χάραξη της μεταβολής της πιεζομετρικής επιφάνειας.

Θ.4 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

Κατανέμεται χωρικά η ποιοτική κατάσταση (υγρή – ξηρή περίοδος) και η υδρογεωχημική προέλευση

των υπόγειων νερών, βάσει των κυκλικών διαγραμμάτων (ΠΙΤΕΣ), STIFF διαγραμμάτων κ.ά. Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται με βάση το Σύνολο Διαλυμένων Στερεών (TDS). Δύναται βοηθητικά – υποστηρικτικά να αποτυπωθούν σε διακριτούς χάρτες οι χωρικές κατανομές των φυσικοχημικών παραμέτρων, χημικών παραμέτρων μεμονωμένα, ιοντικών λόγων κ.ά. Η χωρική παρουσίαση των κατανομών δίνει τη δυνατότητα για καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και επιπλέον, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την αλληλεπίδραση των υδροφορέων και των συνθηκών της υπόγειας ροής.

Θ.5 ΧΑΡΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ – ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Καταγράφονται και αποτυπώνονται όλες οι δυνητικά ρυπογόνες εστίες που ενδεχομένως να υποβαθμίζουν την ποιοτική κατάσταση του υπόγειου νερού, καθώς και οι πιέσεις, ανθρωπογενούς κυρίως προέλευσης που δύνανται να περιορίσουν και να υποβαθμίσουν τα υπόγεια υδατικά αποθέματα εξαιτίας της υπεράντλησης των υδροληπτικών έργων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης μαζί με τις προστατευόμενες περιοχές. Ο χάρτης αυτός μπορεί να περιέχει ενδεικτικά στοιχεία χημισμού της υπόγειας υδροφορίας, στην περίπτωση που τέτοια στοιχεία είναι διαθέσιμα και μπορούν να συνδεθούν με τις αναγνωρισμένες πιέσεις.

Θ.6 ΧΑΡΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ / ΡΥΠΑΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ/ΩΝ

Ο χάρτης τρωτότητας είναι ένας χάρτης, σκοπός του οποίου είναι ο διαχωρισμός μιας περιοχής σε περισσότερες τάξεις, καθεμία από τις οποίες θα αντιπροσωπεύει διαφορετικό δυναμικό ρυπαντικής επιδεκτικότητας. Η χαρτογράφηση της τρωτότητας δύναται να περιλαμβάνει τον συνδυασμό περισσότερων θεματικών χαρτών, στους οποίους απεικονίζονται οι φυσικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για τη δημιουργία του τελικού χάρτη τρωτότητας του υπόγειου νερού. Στον τελικό χάρτη τρωτότητας εμφανίζονται οι διαφορετικές περιοχές ευαισθησίας του υδροφορέα ορίζοντα. Η χαρτογράφηση, επομένως, της τρωτότητας είναι μία τεχνική ποσοτικοποίησης και απεικόνισής της κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η χρησιμοποίηση και η εφαρμογή της κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την περιβαλλοντική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Θ.7 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑΣ

Η σύνταξη των υδρογεωλογικών / υδρολιθολογικών τομών γίνεται στην ίδια ή σε μεγαλύτερη κλίμακα με αυτή του υδρογεωλογικού χάρτη με σκοπό να δοθεί η γεωλογική δομή, τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά, η στάθμη του υπόγειου νερού και τα στοιχεία που συνθέτουν το υδρογεωλογικό και υδροχημικό καθεστώς.

I. ΣΧΕΔΙΑ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ – ΠΙΝΑΚΕΣ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Στο Παράρτημα δύνатаι να παρουσιάζονται χαρακτηριστικά στοιχεία της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, όπως τομές γεωτρήσεων, σκαριφήματα, φωτογραφική απεικόνιση των κυριότερων γεωλογικών, γεωτεχνικών και γεωμορφολογικών στοιχείων πεδίου, ορθοφωτοχάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, καθώς και κάθε άλλη πληροφορία ή στοιχεία που κρίνονται απαραίτητα να επισυναφθούν στην ανωτέρω μελέτη για την πληρέστερη τεκμηρίωσή της. Επίσης, θα πρέπει να επισυνάπτονται είτε εντός κειμένου είτε ως Παράρτημα όλοι οι χρησιμοποιηθέντες πίνακες, τα γραφήματα και τα διαγράμματα που σχετίζονται με την ποσοτική ανάλυση, αξιολόγηση, ερμηνεία και χάραξη των ζωνών Τρωτότητας / Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφορέων.