



Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

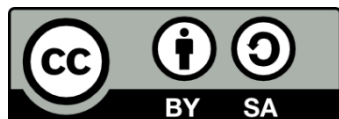
Ενότητα 7: Τρωτότητα υπόγειων υδροφορέων

Κώστας Βουδούρης

Επίκουρος Καθηγητής Γεωλογίας, Α.Π.Θ. σε συνεργασία με την

Νεραντζή Καζάκη

Δρ. Υδρογεωλογίας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Τρωτότητα υπόγειων υδροφορέων

Τρωτότητα, δυναμικό ρύπανσης, εκτίμηση
τρωτότητας, περίμετρος προστασίας.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

Περιεχόμενα ενότητας

1. Ορισμός.
2. Είδη τρωτότητας.
3. Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας.
4. Περίμετρος προστασίας.
5. Μελέτη περίπτωσης.



Σκοποί ενότητας

- Η κατανόηση της έννοιας της τρωτότητας και της επικινδυνότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση.
- Η εκμάθηση της τεχνικής DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας των νερών στη ρύπανση.
- Ο τρόπος κατασκευής χαρτών τρωτότητας με τη χρήση GIS.
- Η κατανόηση της έννοιας της περιμέτρου προστασίας.





Τρωτότητα

Ορισμός

Ορισμός 1/2

Τρωτότητα ή ρυπαντική επιδεκτικότητα ή ευαλωσιμότητα (vulnerability) υπόγειων νερών ή υδροφόρων οριζόντων είναι η ευαισθησία ή η επιδεκτικότητα απέναντι στους ρύπους. Η τρωτότητα σχετίζεται με την ευκολία με την οποία ένας ρύπος, που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να φθάσει στον υδροφόρο ορίζοντα.



Ορισμός 2/2

Πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν τον όρο **ευαισθησία του υδροφόρου ή επιδεκτικότητα** (aquifer sensitivity ή intrinsic susceptibility), που είναι το μέτρο της ευκολίας με την οποία τα νερά εισέρχονται και κινούνται στον υδροφόρο ορίζοντα.

Είναι χαρακτηριστικό του υδροφόρου ορίζοντα, των υπερκείμενων στρωμάτων και των υδρολογικών συνθηκών και ανεξάρτητο των χημικών χαρακτηριστικών του ρύπου και της πηγής του.



Είδη τρωτότητας

Η τρωτότητα διακρίνεται σε:

- ειδική (specific) που αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών.
- γενική ή ιδιοτρωτότητα (intrinsic) που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή (ταυτίζεται κατά πολλούς με την ευαισθησία του υδροφορέα).



Γενικά για την τρωτότητα 1/3

1. Έτσι, η ειδική 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. Με άλλα λόγια η τρωτότητα του υπόγειου νερού στη ρύπανση εξαρτάται από την ευαισθησία ή επιδεκτικότητα του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και τον τύπο του ρυπαντή και την απόσταση από την πηγή ρύπανσης.
2. Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στην παραδοχή ότι το φυσικό περιβάλλον μπορεί να προστατεύσει σε κάποιο βαθμό το υπόγειο νερό. Συνεπώς κάποιες περιοχές είναι πιο ευάλωτες από κάποιες άλλες.



Γενικά για την τρωτότητα 2/3

3. 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 μικρο-οργανισμών κ.ά.
4. Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου και τη συγκέντρωσή του κ.λπ.
5. Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών μεγάλες ποσότητες χημικών στοιχείων εξασθενούν και αποικοδομούνται από μικροοργανισμούς.



Γενικά για την τρωτότητα 3/3

Σύμφωνα με τον Στουρνάρα (1996) 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.



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

1/7

Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για την εκτίμηση της τρωτότητας διακρίνονται σε:

- Μεθόδους βαθμονόμησης (rating methods). Περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών (index methods) και υβριδικές μεθόδους (hybrid methods), που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους.
- Στατιστικές μεθόδους (statistical methods).
- Μεθόδους προσομοίωσης (simulating models).



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

2/7

Οι χάρτες τρωτότητας για την κατασκευή τους απαιτούν πολλές πληροφορίες:

- Τοπογραφικά δεδομένα, κλιματικά στοιχεία, υφή εδάφους.
- Υδρογεωλογικά δεδομένα (είδος υδροφορέα, πάχος και υλικό ακόρεστης ζώνης, στάθμη υπόγειου νερού, κ.λπ.).
- Ποιοτικά δεδομένα του υπόγειου νερού.
- Χρήσεις γης.



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

3/7

Ο LeGrand (1964) 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.

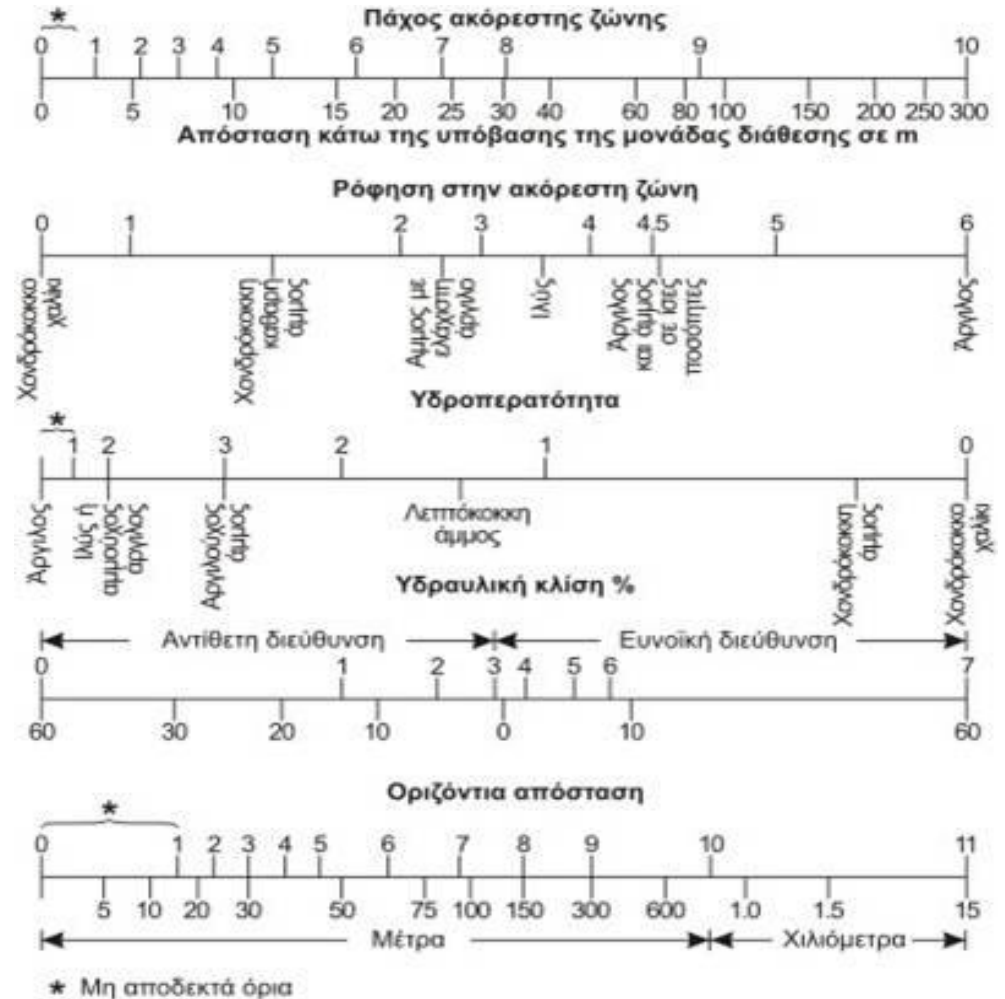
Σύμφωνα με το διάγραμμα LeGrand, καθώς και το σύνολο της βαθμολογίας σε μια περιοχή, αυτή χαρακτηρίζεται:

- πολύ χαμηλής τρωτότητας (>12 βαθμοί).
- μέτριας τρωτότητας (8-12 βαθμοί).
- μεγάλης τρωτότητας (4-8 βαθμοί).
- πολύ μεγάλης τρωτότητας (<4 βαθμοί).



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

4/7



Εικ.7.1: Βαθμονόμηση για την εκτίμηση της τρωτότητας ελεύθερων αλλουβιακών υδροφορέων.



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

5/7

Η μεθοδολογία **DRASTIC** (Aller et al., 1987) ανήκει στις μεθόδους δεικτών και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών με βάση υδρογεωλογικές παραμέτρους. Η λέξη DRASTIC προκύπτει από τα ακρωνύμια των:

D (Depth) βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού.

R (Recharge) ενεργή κατείσδυση.

A (Aquifer) υδροφορέας.

S (Soil) έδαφος.

T (Topography) κλίση αναγλύφου.

I (Impact of the vadose zone) επίδραση της ακόρεστης ζώνης.

C (Hydraulic Conductivity of the aquifer) συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας.



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

6/7

Ο δείκτης DRASTIC (DI) υπολογίζεται από την σχέση:

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

όπου r εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και ο δείκτης w τη βαρύτητα καθεμιάς.

Παίρνει τιμές 1-10 με τις υψηλότερες τιμές να υποδηλώνουν μεγάλο δυναμικό ρύπανσης. Ο δείκτης w παίρνει τιμές από 1 έως 5.



Μέθοδοι εκτίμησης της τρωτότητας

7/7

Η βαρύτητα κάθε παραμέτρου στην μεθοδολογία **DRASTIC** φαίνεται στον κάτωθι Πίνακα 7.1.

| Παράμετρος | Βαρύτητα | Βαρύτητα για φυτοφάρμακα |
|--|----------|--------------------------|
| D Βάθος στάθμης υπόγειου νερού | 5 | 5 |
| R Ενεργή κατείσδυση | 4 | 4 |
| A Υδροφορέας | 3 | 3 |
| S Έδαφος | 2 | 5 |
| T Κλίση αναγλύφου | 1 | 3 |
| I Επίδραση της ακόρεστης ζώνης | 5 | 4 |
| C Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας | 3 | 2 |



Καρστικοί σχηματισμοί 1/5

Η μεθοδολογία που έχει εισαχθεί για τη μελέτη της τρωτότητας των καρστικών υδροφόρων και τον καθορισμό ζωνών προστασίας λέγεται **ΕΡΙΚ**, από τα ακρονύμια των λέξεων:

Ε (Epikarst) επικάρστ.

Ρ (Protective cover) προστατευτικό κάλυμμα.

Ι (Infiltration conditions) συνθήκες κατείσδυσης.

Κ (Karst network development) ανάπτυξη καρστικού δικτύου.



Καρστικοί σχηματισμοί 2/5

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα COST 620 (2003) για την εκτίμηση και χαρτογράφηση της γενικής τρωτότητας (intrinsic vulnerability) σε καρστικούς υδροφόρους εισάγονται παράγοντες:

- 1) παράγοντας **O**: υπερκείμενα στρώματα (overlying layers).
- 2) παράγοντας **C**: συγκέντρωση ροής (concentration of flow).
- 3) παράγοντας **P**: βροχομετρικό καθεστώς (precipitation regime).
- 4) παράγοντας **K**: ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου (karst network development).



Καρστικοί σχηματισμοί 3/5

Ο πρώτος παράγοντας (**O**) σχετίζεται με την προστατευτικότητα των υπερκείμενων στρωμάτων του υδροφόρου ορίζοντα (έδαφος, υπέδαφος, μη καρστικά πετρώματα, ακόρεστη καρστική ζώνη) και εξαρτάται από τα πάχη και τις υδραυλικές ιδιότητες αυτών.

Ο δεύτερος παράγοντας (**C**) αναγνωρίζει ότι σε μια καρστική περιοχή τα υπερκείμενα προστατευτικά στρώματα μπορεί να διαπεραστούν από απορροή, η οποία συγκεντρώνεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μετά εισέρχεται στο καρστικό υδροφόρο σύστημα π.χ. διαμέσου μιας δολίνας ή μιας καταβόθρας.



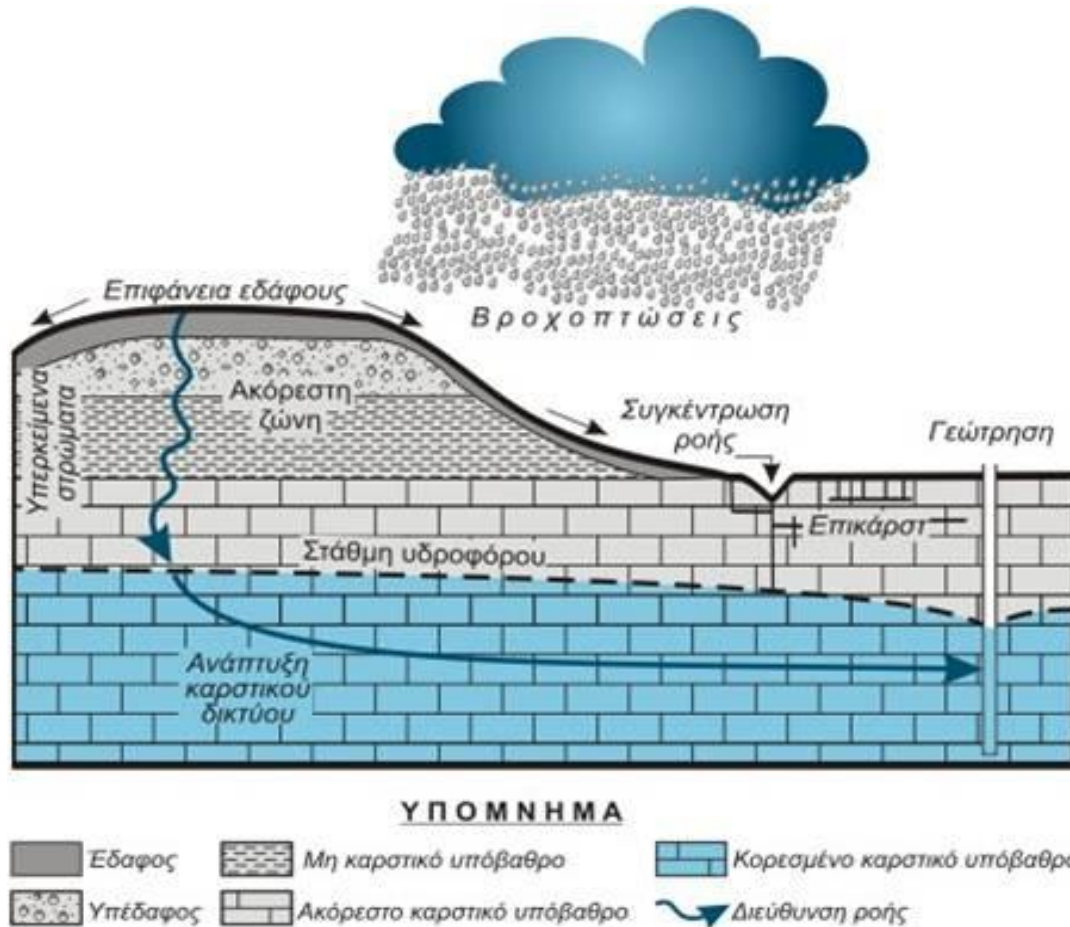
Καρστικοί σχηματισμοί 4/5

Ο τρίτος παράγοντας (**P**) λαμβάνει υπόψη τα ετήσια κατακρημνίσματα της περιοχής, καθώς και την ένταση αυτών. Υψηλές εντάσεις επιταχύνουν τη μεταφορά των ρύπων και συνεπώς αυξάνουν την τρωτότητα.

Ο τέταρτος παράγοντας (**K**) περιγράφει το βαθμό καρστοποίησης του υδροφόρου.



Καρστικοί σχηματισμοί 5/5



Εικ.7.2: Ενοιολογικό μοντέλο λειτουργίας ενός καρστικού υδροφόρου συστήματος.

Περίμετρος προστασίας

Σε κάθε υδροληπτικό έργο καθορίζεται μια **περίμετρος προστασίας** για την ποιοτική προστασία του υπό εκμετάλλευση υδροφόρου ορίζοντα. Τα κριτήρια καθορισμού της περιμέτρου προστασίας ποικίλλουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους κανόνες υγιεινής, τα πρότυπα ποσιμότητας κ.λπ. και περιλαμβάνουν ένα κατάλογο από απαγορευτικές ανθρώπινες δραστηριότητες που μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των υπόγειων νερών. Οι επιπτώσεις των διαφόρων πηγών ρύπανσης εξαρτώνται από την απόσταση από το υδροληπτικό έργο, τις ιδιότητες του ρύπου, καθώς και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου ορίζοντα και τη φύση των υλικών πάνω από αυτόν.



Περίμετρος προστασίας

Ζώνη προστασίας I (άμεσης προστασίας ή απαγορευμένη ζώνη).

Η ζώνη αυτή προφυλάσσει τον άμεσο χώρο γύρω από το υδροληπτικό έργο από κάθε μορφή επίδρασης που μπορεί να προκύψει από επιφανειακούς παράγοντες. Στην περίπτωση γεώτρησης περιλαμβάνει τον χώρο γύρω της σε ακτίνα 10-30m. Στην περίπτωση πηγής περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις, την πλησιέστερη περιοχή ανάντη αυτής (>20m) και τον χώρο κατόντη (2-5m).



Περίμετρος προστασίας

Ζώνη προστασίας II (ζώνη μικροβιολογικής προστασίας ή ζώνη 50 ημερών).

Η ζώνη αυτή έχει σκοπό να προφυλάξει το υδροληπτικό έργο από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, ιδιαίτερα από μια ενδεχόμενη μικροβιακή μόλυνση. Επειδή τα μικρόβια και ιδίως οι παθογόνοι μικροοργανισμοί έχουν χρόνο ζωής στον υδροφόρο ορίζοντα περίπου 50 ημέρες, ονομάζεται ζώνη μικροβιολογικής προστασίας ή ζώνη 50 ημερών. Η εξαφάνιση των μικροβίων εξαρτάται από την ταχύτητα ροής, τη λιθολογική σύσταση του υδροφορέα, τις διαδικασίες προσρόφησης, το χημισμό του υπόγειου νερού, το πάχος της ακόρεστης ζώνης κ.λπ.



Περίμετρος προστασίας

Ζώνη προστασίας III (ζώνη χημικής προστασίας ή επιτηρούμενη ζώνη).

Καλύπτει την απομακρυσμένη περιοχή τροφοδοσίας της γεώτρησης και περιβάλλει τη ζώνη II. Η ζώνη αυτή έχει σκοπό να προστατεύσει τον υδροφόρο ορίζοντα από χημικές ουσίες και ραδιενεργά απόβλητα. Επεκτείνεται σε απόσταση μέχρι 2000m από το υδροληπτικό έργο.



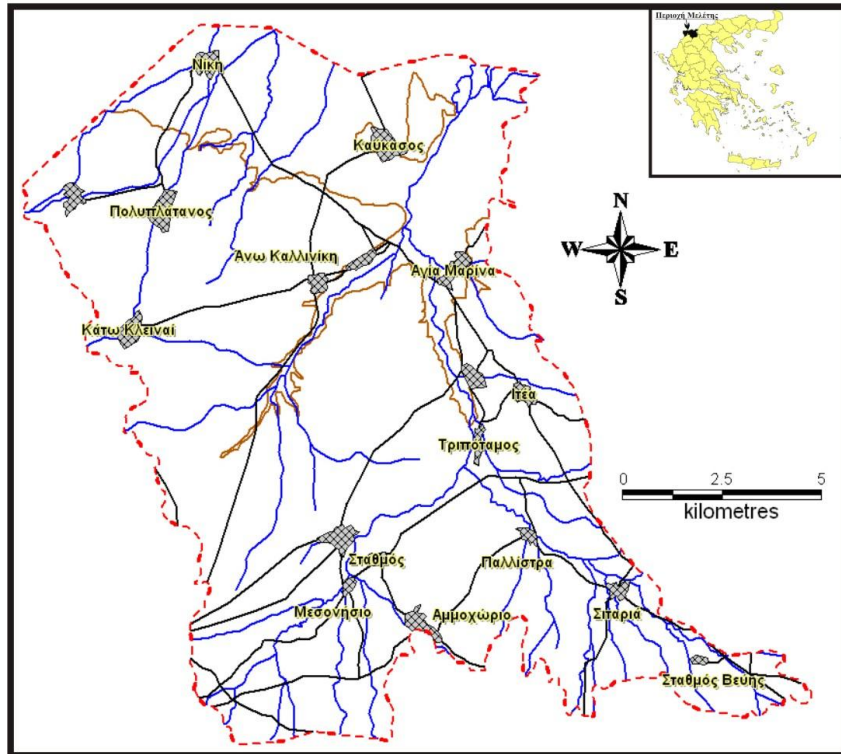


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Λεκάνη Φλώρινας

Μελέτη περίπτωσης

Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 1/18



Εικ.7.3: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

Η περιοχή μελέτης έχει έκταση $184,1\text{km}^2$, μέσο υψόμετρο 622m και ήπιο ανάγλυφο.

Η πεδιάδα της Φλώρινας περιβάλλεται από τρεις σημαντικούς ορεινούς όγκους Βαρνούντα, Βέρνο και Βόρα και αποστραγγίζεται από πολλούς χείμαρρους, παροδικής κυρίως ροής.

Το κλίμα της περιοχής είναι ηπειρωτικό και χαρακτηρίζεται από μια ξηρή-θερμή και μια υγρή-ψυχρή εποχή. Η μέση θερμοκρασία για την περίοδο 1973-1998 στο σταθμό της Άνω Καλλινίκης είναι $16,6^\circ\text{C}$. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 640mm .



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 2/18

Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού (D)

Το βάθος του υπόγειου νερού είναι σημαντικό γιατί καθορίζει τον χρόνο που ταξιδεύει ένας ρύπος για να φθάσει στο υδροφόρο. Με βάση την πιεζομετρία της περιόδου Μάιος 2007, η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 1 έως 40m από επιφάνεια εδάφους. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 5 και η βαθμονόμηση έγινε ως εξής:

$$D < 2,5m \rightarrow 10 \text{ βαθμοί}$$

$$2,5m < D < 5m \rightarrow 9 \text{ βαθμοί}$$

$$5m < D < 10m \rightarrow 7 \text{ βαθμοί}$$

$$10m < D < 15m \rightarrow 5 \text{ βαθμοί}$$

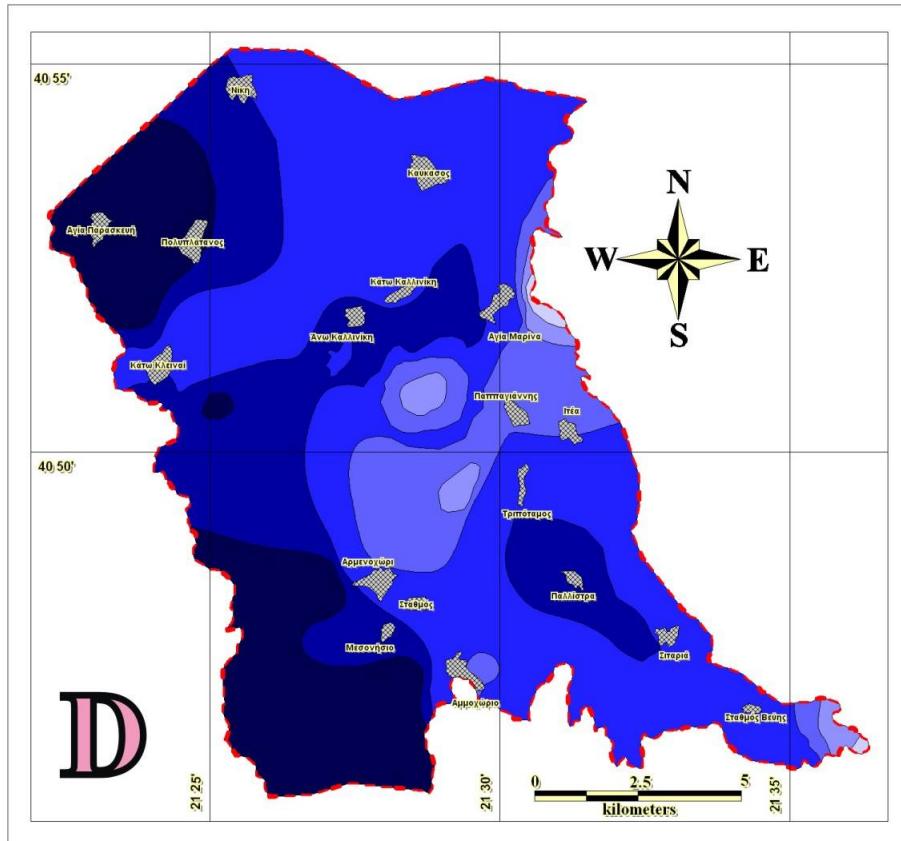
$$15m < D < 20m \rightarrow 3 \text{ βαθμοί}$$

$$20m < D < 25m \rightarrow 2 \text{ βαθμοί}$$

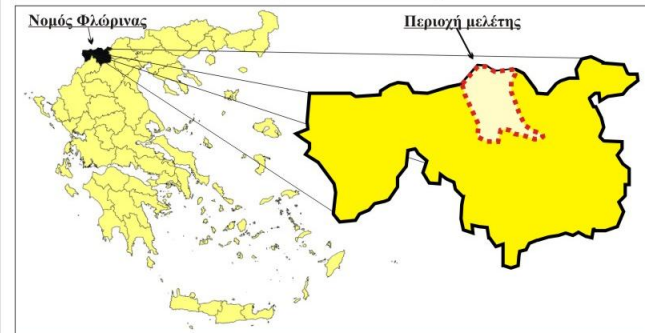
$$D > 25m \rightarrow 1 \text{ βαθμός}$$



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 3/18



| Βάθος του νερού (m) | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|---------------------|-------------|----------------------|
| 0-2,5 | 10 | |
| 2,5-5 | 9 | |
| 5-10 | 7 | |
| 10-15 | 5 | |
| 15-20 | 3 | |
| 20-25 | 2 | |
| >25 | 1 | |



Εικ.7.4: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα DrDw.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 4/18

Εμπλουτισμός (R)

Ο εμπλουτισμός αντιπροσωπεύει την ετήσια ποσότητα του νερού σε mm που κατεισδύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφόρα. Η μεταφορά των ρύπων από την επιφάνεια, λόγω της βροχόπτωσης που κατεισδύει στην ακόρεστη ζώνη είναι σημαντικός μηχανισμός. Στην περιοχή έρευνας η κατείσδυση κυμαίνεται από 21 έως 79mm. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 4 και η βαθμονόμηση έγινε ως εξής:

$R > 93\text{mm} \rightarrow 10$ βαθμοί

$80\text{mm} < R < 93\text{mm} \rightarrow 8$ βαθμοί

$60\text{mm} < R < 80\text{mm} \rightarrow 5$ βαθμοί

$50\text{mm} < R < 60\text{mm} \rightarrow 4$ βαθμοί

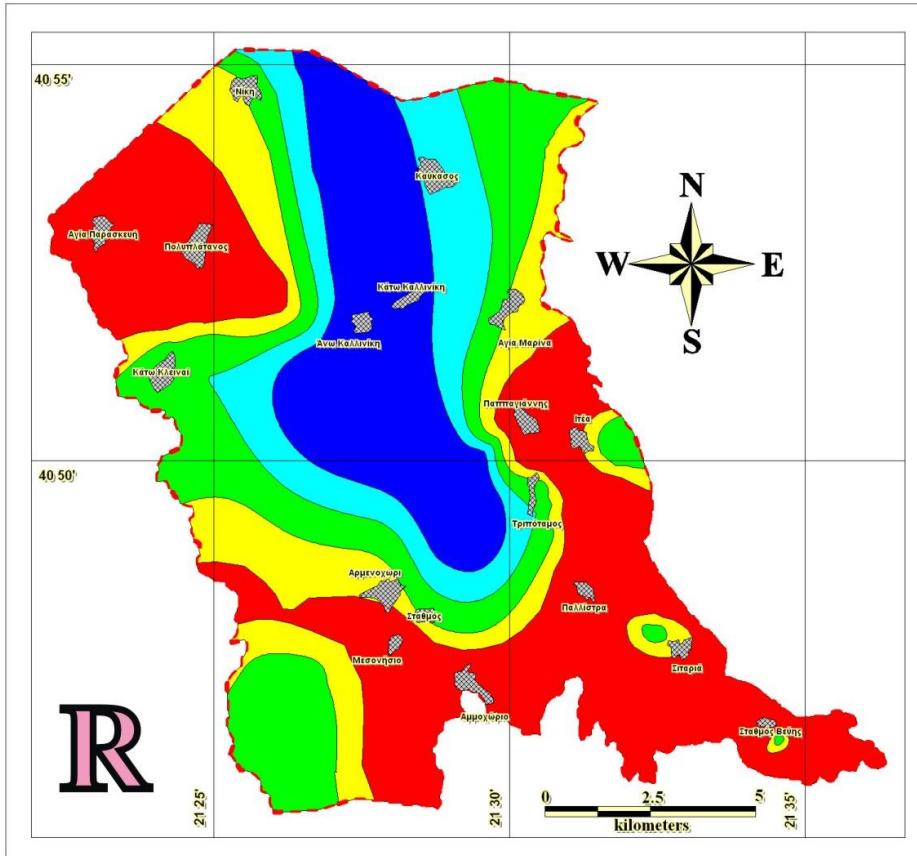
$40\text{mm} < R < 50\text{mm} \rightarrow 3$ βαθμοί

$30\text{mm} < R < 40\text{mm} \rightarrow 2$ βαθμοί

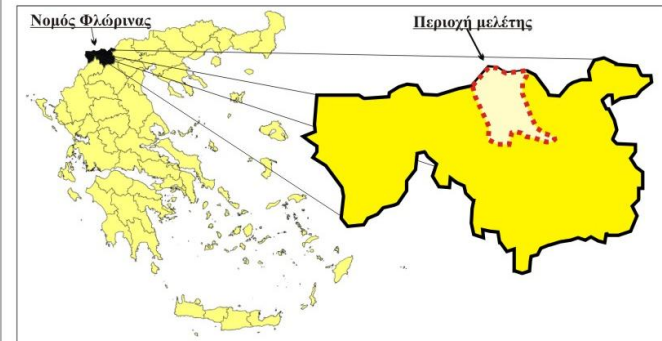
$R < 30\text{mm} \rightarrow 1$ βαθμοί



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 5/18



| Εμπλουτισμός(mm/year) | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| 60-80 | 5 | Red |
| 50-60 | 4 | Yellow |
| 40-50 | 3 | Green |
| 30-40 | 2 | Cyan |
| <30 | 1 | Blue |



Εικ.7.5: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα RrRw.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 6/18

Υδροφόρο μέσο (Α)

Γενικά τα αδρομερή υλικά εμφανίζουν μεγαλύτερη υδροπερατότητα και μικρή ικανότητα εξασθένησης των ρύπων. Με βάση τη λιθολογική περιγραφή από 40 λιθολογικές τομές γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας το υδροφόρο μέσο ταξινομήθηκε ως: κροκάλες (βαθμοί 7), χαλίκια (βαθμοί 6), χαλίκια-άμμος (βαθμοί 4) και άμμος-χαλίκια-άργιλος (βαθμοί 2). Όσο πιο χονδρόκοκκο είναι το υλικό του υδροφορέα τόσο μεγαλύτερη τιμή δόθηκε στη βαθμονόμηση, ενώ σε πιο λεπτόκοκκο υλικό του υδροφόρου δόθηκε μικρότερη τιμή. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 3.

Κροκάλες - Χαλίκια → 7 βαθμοί

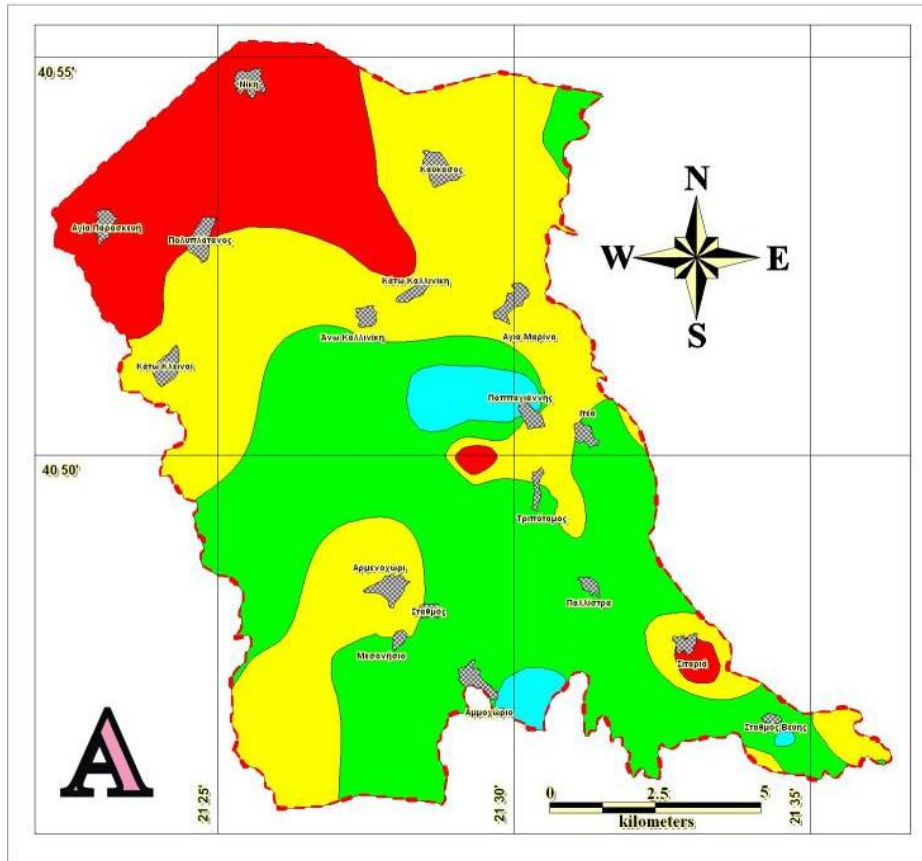
Χαλίκια → 6 βαθμοί

Χαλίκια - Άμμος → 4 βαθμοί

Άμμος - Χαλίκια - Άργιλος → 2 βαθμοί



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 7/18



| Τύπος υδροφόρου | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| Κροκάλες-Χαλίκια | 7 | |
| Χαλίκια | 6 | |
| Χαλίκια-Αμμος | 4 | |
| Αμμος-Χαλίκια-Αργίλος | 2 | |



Εικ.7.6: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα ArAw.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 8/18

Εδαφικό κάλυμα (S)

Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί και πολλές ουσίες αποδομούνται από μικροοργανισμούς. Στα λεπτόκοκκα υλικά δόθηκε μικρή τιμή καθώς το ρυπαντικό φορτίο εξασθενεί σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ τα ποιο χονδρόκοκκα βαθμονομήθηκαν με μεγαλύτερη τιμή καθώς συμβάλουν σε μικρότερο βαθμό στην εξασθένηση των ρύπων. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 2.

Αμμώδης → 8 βαθμοί

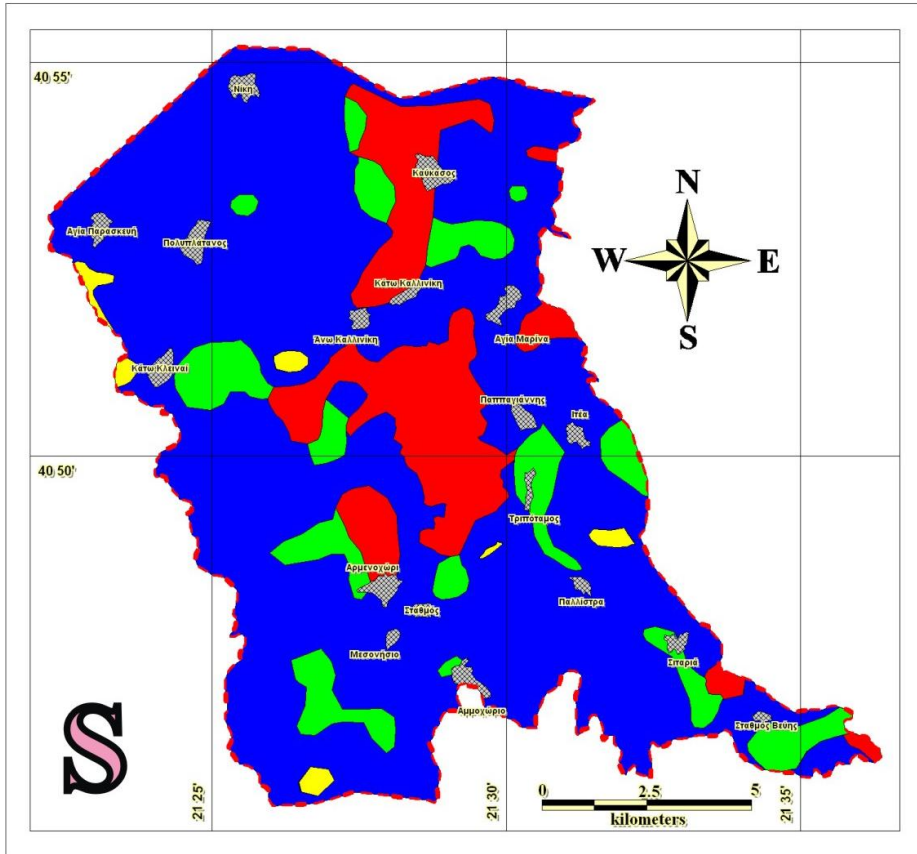
Αμμοπηλώδης → 6 βαθμοί

Ιλυοπηλώδης → 4 βαθμοί

Αργιλώδης → 2 βαθμοί



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 9/18



| Έδαφος | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|-------------|-------------|----------------------|
| Αμμώδης | 8 | Yellow |
| Αμμοπηλώδης | 6 | Blue |
| Ιλλοπηλώδης | 4 | Green |
| Αργιλώδης | 2 | Red |



Εικ.7.7: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα SrSw.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 10/18

Τοπογραφία (T)

Οι μικρές κλίσεις που ευνοούν την κατείσδυση σχετίζονται με υψηλή τρωτότητα, ενώ αντίθετα οι μεγάλες κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή και σχετίζονται με μικρό δυναμικό ρύπανσης. Το ανάγλυφο της περιοχής του αλλουβιακού υδροφορέα είναι ήπιο (κλίση <3%) και ο καθορισμός των κλίσεων έγινε με βάση το ψηφιακό υπόβαθρο του εδάφους (DEM). Οι μικρές κλίσεις βαθμονομήθηκαν με υψηλή τιμή, ενώ μεγάλες κλίσεις βαθμονομήθηκαν με χαμηλή τιμή. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 1.

0 – 2 → 10 βαθμοί

2 – 6 → 9 βαθμοί

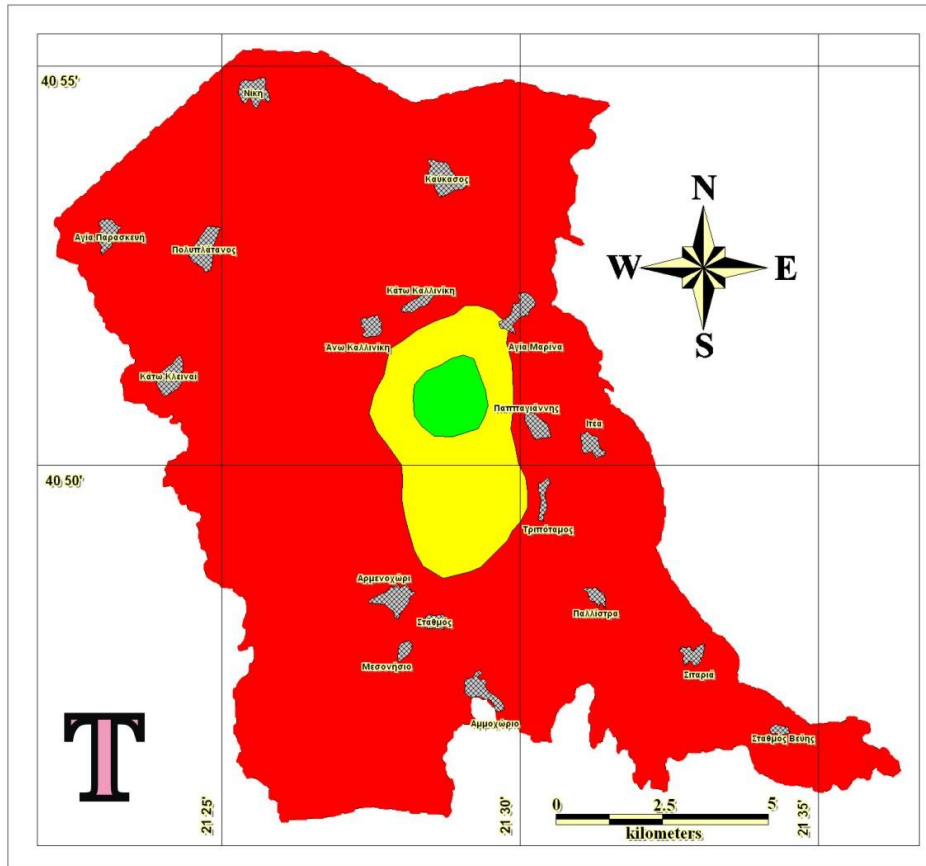
6 – 12 → 5 βαθμοί

12 – 18 → 3 βαθμοί

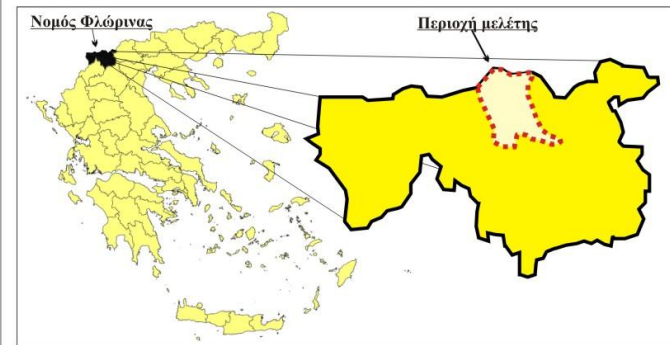
>18 → 1 βαθμοί



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 11/18



| Κλίση % | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|---------|-------------|----------------------|
| 0-2 | 10 | Red |
| 2-6 | 9 | Yellow |
| 6-12 | 5 | Green |
| 12-18 | 3 | Cyan |
| >18 | 1 | Blue |



Εικ.7.8: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα TrTw.

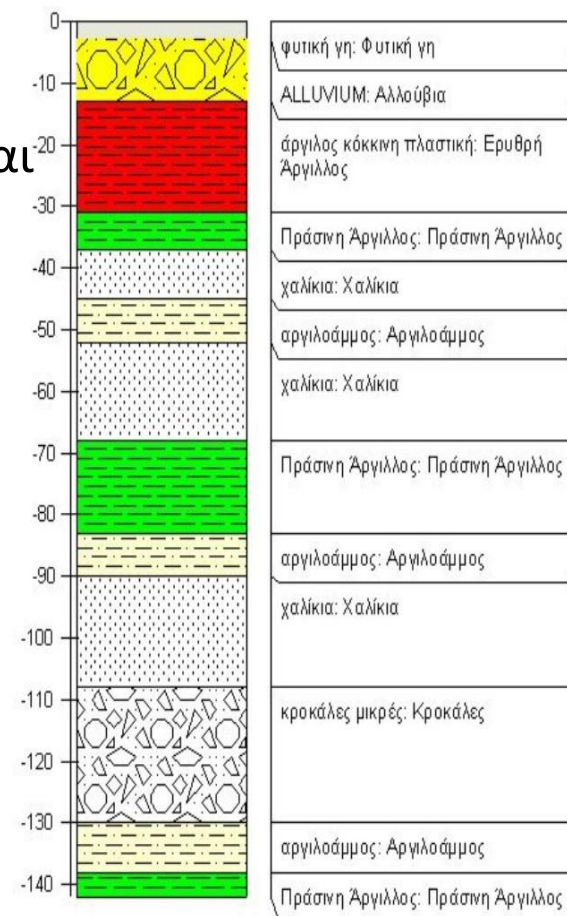


Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 12/18

Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

Τα χαρακτηριστικά της καθορίζουν τον δρόμο κίνησης και τη συγκέντρωση των ρύπων. Το μεγάλο πάχος της ακόρεστης ζώνης και η παρουσία αργιλικών ορυκτών συμβάλλουν στη μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 5 και η βαθμονόμηση έγινε ως εξής:

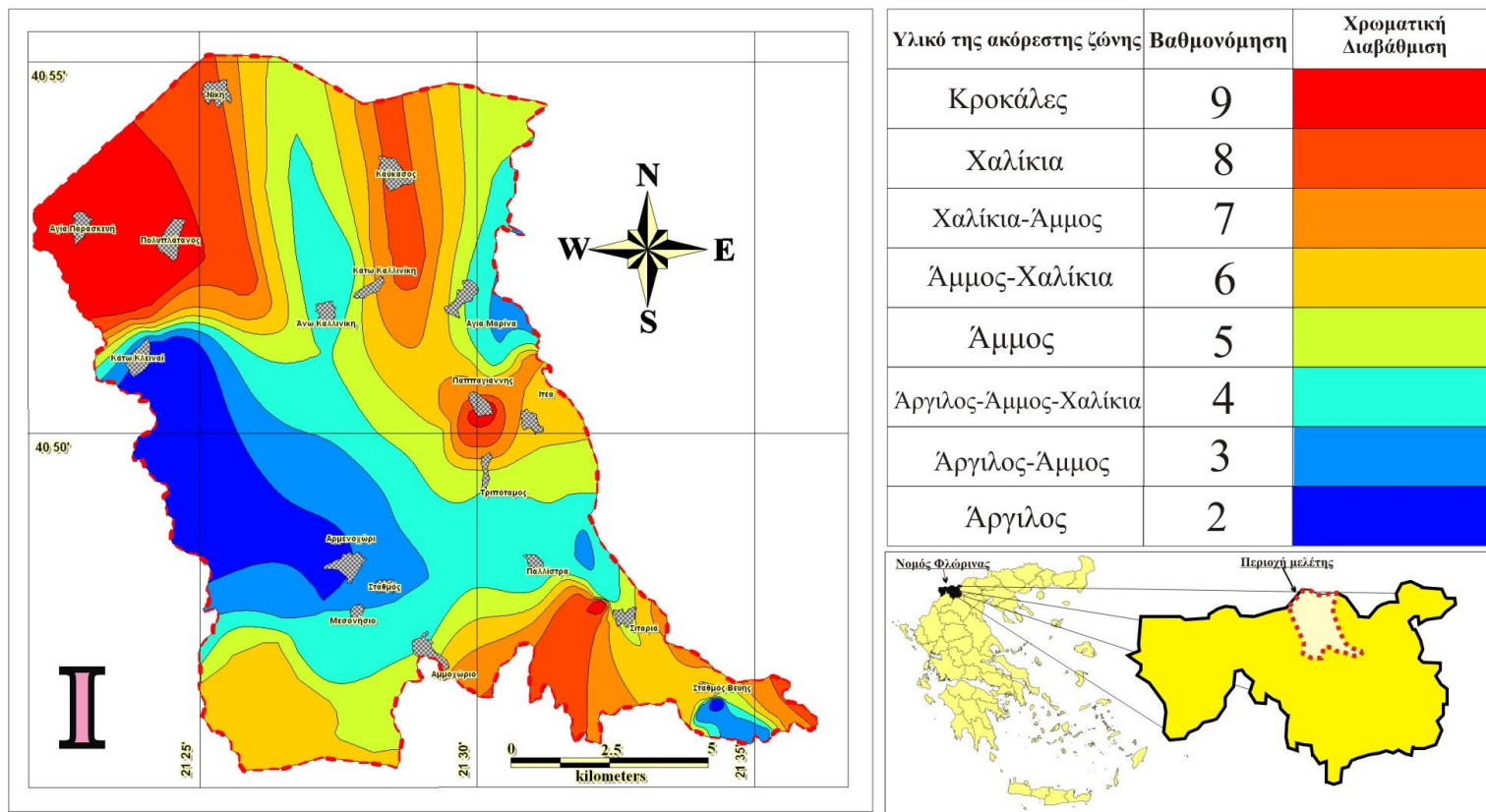
- Κροκάλες → 9
- Χαλίκια → 8
- Χαλίκια – Άμμος → 7
- Άμμος – Χαλίκια → 6
- Άμμος → 5
- Άργιλος – Άμμος – Χαλίκια → 4
- Άργιλος – Άμμος → 3
- Άργιλος → 2



Εικ.7.9:Λιθολογική τομή περιοχής έρευνας.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 13/18



Εικ.7.10: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα Irlw.

Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 14/18

Υδραυλική αγωγιμότητα (C)

Η υδραυλική αγωγιμότητα ελέγχει την ευκολία κίνησης του υπόγειου νερού στην κορεσμένη ζώνη και κατά συνέπεια και των ρύπων. Η υδραυλική αγωγιμότητα προσδιορίσθηκε από την επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 3 και η βαθμονόμηση έγινε ως εξής:

$$C > 10\text{m/d} \rightarrow 7 \text{ βαθμοί}$$

$$4 > C > 10\text{m/d} \rightarrow 6 \text{ βαθμοί}$$

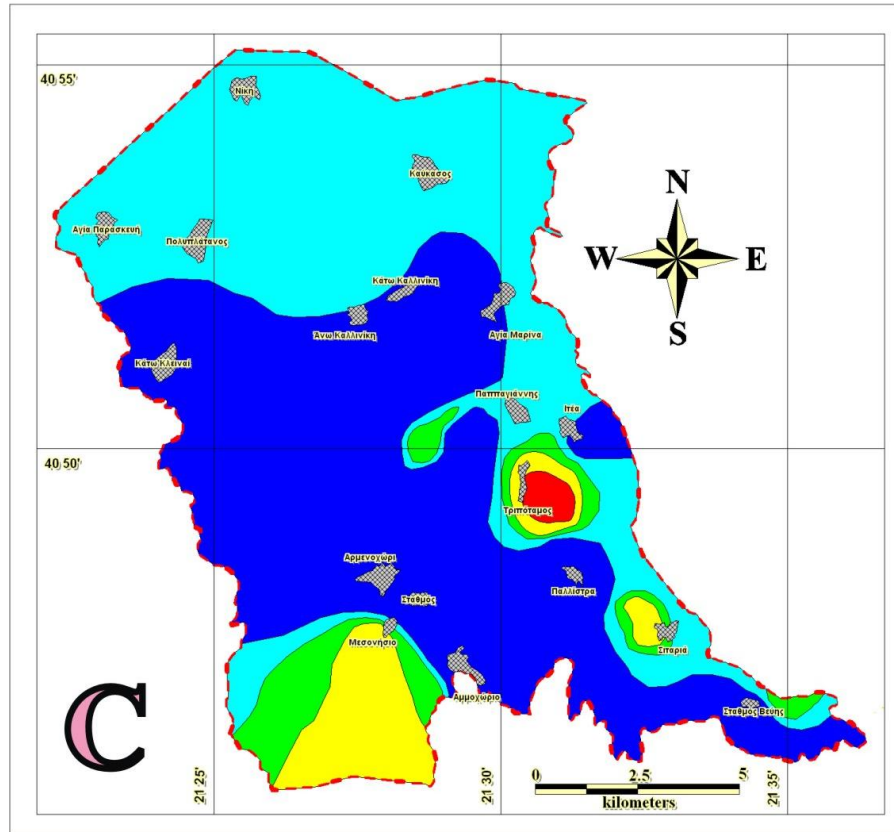
$$2 > C > 4\text{m/d} \rightarrow 4 \text{ βαθμοί}$$

$$1 > C > 2\text{m/d} \rightarrow 3 \text{ βαθμοί}$$

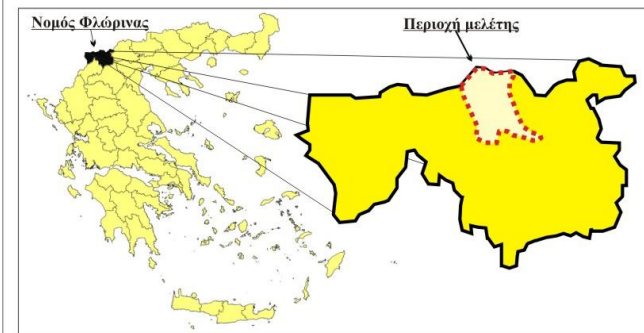
$$C < 1\text{m/d} \rightarrow 2 \text{ βαθμοί}$$



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 15/18



| Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/day) | Βαθμονόμηση | Χρωματική Διαβάθμιση |
|-------------------------------|-------------|----------------------|
| >10 | 7 | Red |
| 4-10 | 6 | Yellow |
| 2-4 | 4 | Green |
| 1-2 | 3 | Cyan |
| <1 | 2 | Blue |



Εικ.7.11: Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα CrCw.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 16/18

Αποτελέσματα

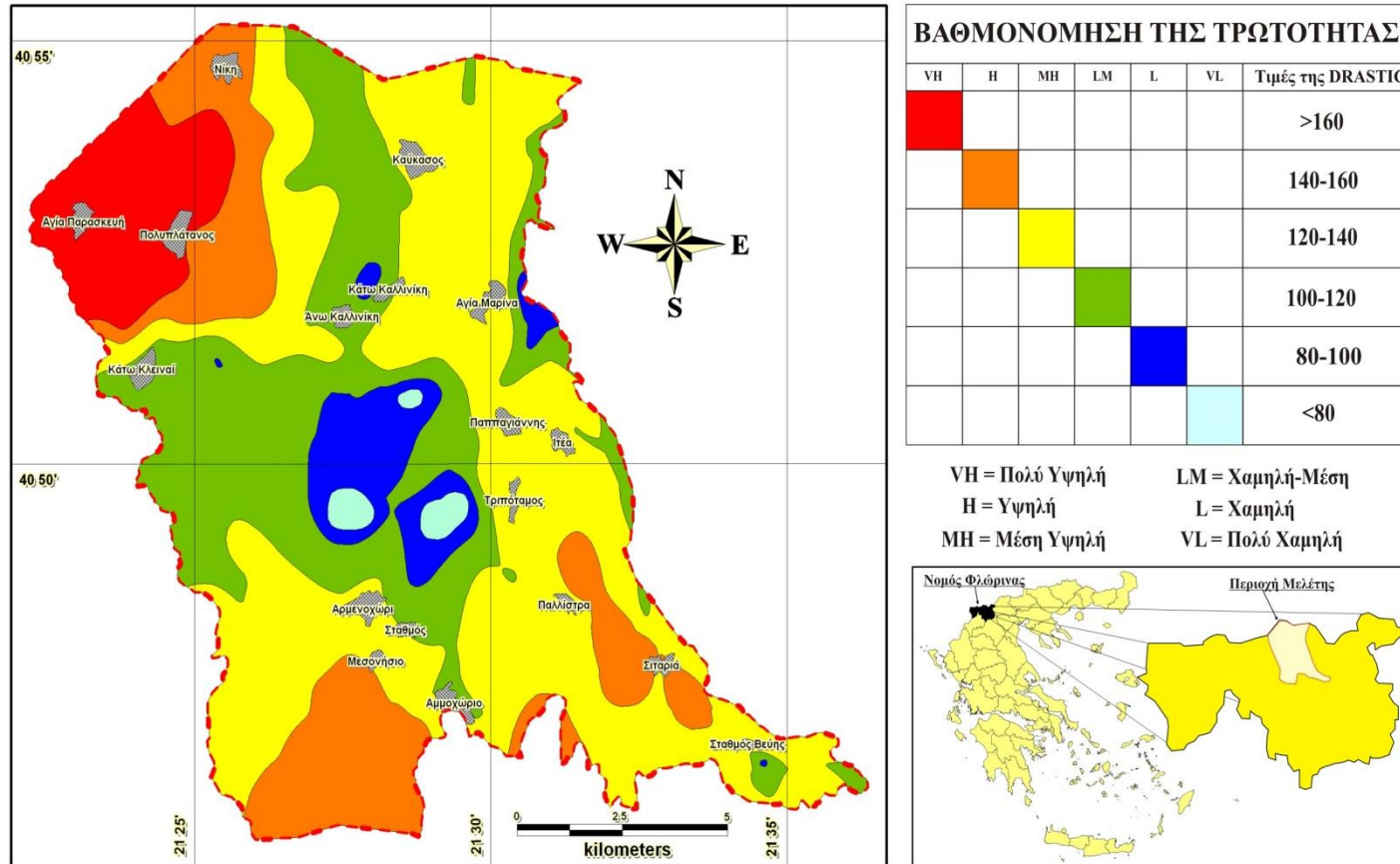
Οι τιμές του δείκτη DRASTIC χωρίστηκαν σε 6 κλάσεις, όπως φαίνεται στο υπόμνημα του χάρτη στην εικόνα 7.11. Με βάση τις τιμές του δείκτη DRASTIC, όπως προέκυψε από τη σχέση

$$DI=DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+Irlw+CrCw$$

κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης τρωτότητας για τον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας (Εικόνα 7.11). Οι υψηλές τιμές αντιπροσωπεύουν μεγάλο δυναμικό για ρύπανση του υδροφορέα ή υψηλή τρωτότητα. Υψηλή διακινδύνευση τρωτότητας (>160) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης διακινδύνευσης (120-140) καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (80-100) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα. Να σημειωθεί ότι τιμές είναι σχετικές σε μια θέση και χαμηλό δυναμικό δεν σημαίνει ότι ο υδροφορέας δεν κινδυνεύει από ρύπανση, αλλά είναι σχετικά λιγότερο ευάλωτος από άλλες θέσεις με υψηλό δείκτη DRASTIC.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 17/18



Εικ.7.12: Τελικός χάρτης τρωτότητας.



Εκτίμηση τρωτότητας υπόγειων νερών στη λεκάνη Φλώρινας 18/18

Συμπεράσματα – Χρησιμότητα Χάρτη Τρωτότητας

Υψηλή τρωτότητα (>160) εμφανίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του υδροφορέα και σχετίζεται κυρίως με το μικρό βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού. Ο τομέας μέσης τρωτότητας (120-140) καλύπτει το Ανατολικό τμήμα του, ενώ ο τομέας χαμηλής τρωτότητας (80-100) καταλαμβάνει μικρή έκταση στο κεντρικό τμήμα του υδροφορέα.

Ο χάρτης τρωτότητας μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο στους φορείς της δημόσιας διοίκησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης που χαράσσουν πολιτική στον τομέα των υδάτων.

Με βάση τον χάρτη τρωτότητας μπορεί να γίνει ο βέλτιστος χωροταξικός σχεδιασμός για την προστασία των υπόγειων νερών από την εξωτερική ρύπανση, καθώς επίσης και χάραξη ζωνών προστασίας των υδροληπτικών έργων.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 7.1: <Βαθμονόμηση για την εκτίμηση της τρωτότητας ελεύθερων αλλουβιακών υδροφορέων><System for evolution of contamination potential of some waste disposal sites><Journal Amer. Water Works Association, Vol. 56, 959-974><LeGrand, H.E.><1964><Από Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Β΄, Εκδόσεις ΤΕΕ, 2000><Καλλέργης Γ.Α.>

Εικόνα 7.2: <Εννοιολογικό μοντέλο λειτουργίας ενός καρστικού υδροφόρου συστήματος><Άδεια από τον εκδότη><ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009 ><Βουδούρης Κ.>

Εικόνα 7.3: <Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><Ν. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>

Εικόνα 7.4: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα DrDw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><Ν. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>

Εικόνα 7.5: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα RrRw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><Ν. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>

Εικόνα 7.6: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα ArAw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><Ν. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 7.7: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα SrSw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>
- Εικόνα 7.8: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα TrTw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>
- Εικόνα 7.9: <Λιθολογική τομή περιοχής έρευνας><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>
- Εικόνα 7.10: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα IrIw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>
- Εικόνα 7.11: <Γεωγραφική κατανομή του παράγοντα CrCw><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>
- Εικόνα 7.12: <Τελικός χάρτης τρωτότητας><Εκτίμηση της τρωτότητας του υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας με τη μέθοδο DRASTIC και τη χρήση GIS><3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονία, Θεσσαλονίκη><N. Καζάκης, Κ. Βουδούρης, Α. Παύλου, Ο. Πατρικάκη><2008>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακας 7.1: <Βαρύτητα κάθε παραμέτρου στην μεθοδολογία DRASTIC>

[Άλλες Αναφορές](http://estia.hua.gr:8080/dspace/bitstream/123456789/2104/1/Ρίζος,Σπυρίδων><ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ><Διπλωματική εργασία του Σπυρίδωνα Ρίζου,2013><Από ΨΗΦΙΑΚΟ ΑΠΟΘΕΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ></p></div><div data-bbox=)

Aller L., Bennet T., Lehr JH., Petty RJ., Hackett G. 1987, DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. EPA/600/2-87/035. United States Environmental Protection Agency.

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20007KU4.PDF?Dockey=20007KU4.PDF>

Βουδούρης Κ., ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2009

LeGrand H.E. 1964, System for evolution of contamination potential of some waste disposal sites, Journal Amer. Water Works Association, Vol. 56, 959-974

Στουρνάρας Γ. 1996, Ειδικά θέματα Υδρογεωλογίας. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών



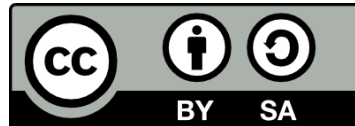
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κώστας Βουδούρης, Νεραντζή Καζάκη. «Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων. Τρωτότητα υπόγειων υδροφορέων». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS190/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Δέσποινα Σιμελετίδου
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο, 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

