



Εκμετάλλευση και Προστασία των Υπόγειων Υδατικών Πόρων

Ενότητα 10: Οριοθέτηση ζωνών προστασίας γεωτρήσεων
Μέθοδος ιχνηλάτισης σωματιδίων

Αναπληρωτής Καθηγητής Νικόλαος Θεοδοσίου
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



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.





Οριοθέτηση ζωνών προστασίας γεωτρήσεων Μέθοδος ιχνηλάτισης σωματιδίων



Ιχνηλάτηση Σωματιδίων

Ο υπολογισμός της ζώνης προστασίας γίνεται με την μέθοδο που λέγεται «ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ» (PARTICLE TRACKING).

Η συγκεκριμένη αριθμητική μέθοδος χρησιμοποιεί ως κριτήριο οριοθέτησης αυτό του χρόνου άφιξης, δηλαδή υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτεί ο ρύπος να φτάσει στην γεώτρηση με την κίνηση του νερού.

Ως μηχανισμός μεταφοράς του ρύπου θεωρείται η συναγωγή.

Η κατακόρυφη κίνηση του νερού αγνοείται και ο υδροφορέας θεωρείται ομογενής.



Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου «Ιχνηλάτισης Σωματιδίων»

- Επιτρέπει το γρήγορο και με ακρίβεια υπολογισμό των εξισώσεων ροής σε υδροφορείς.
- Λαμβάνει υπόψη υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.
- Παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής σε υδροφορέα με πολλές γεωτρήσεις.
- Βασίζεται σε δεδομένα με τοπικό χαρακτήρα.
- Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων ανάλογα με το χρονικό βήμα που επιλέγει.
- Γενικά δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα από τις μεθόδους καθορισμού κυκλικής περιοχής.



Τα μειονεκτήματα της μεθόδου «Ιχνηλάτισης Σωματιδίων»

- Υποθέτουμε ομογενή υδροφορέα.
- Υπολογισμός μόνο της δυσδιάστατης κίνησης του νερού.
- Δεν λαμβάνει υπόψη τη διασπορά και τη διάχυση.



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (1/6)

Τα σωματίδια ξεκινούν από γνωστή θέση και ο υπολογισμός της τροχιάς που ακολουθούν γίνεται μέσω των ταχυτήτων του Darcy:

$$q_x(x, y) = K \cdot I \cdot \cos a + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_i}{2 \cdot \pi \cdot b} \cdot \frac{(x - x_i)}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right\}$$

$$q_y(x, y) = K \cdot I \cdot \sin a + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_i}{2 \cdot \pi \cdot b} \cdot \frac{(y - y_i)}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right\}$$

Όπου

- K = η υδραυλική αγωγιμότητα (m/day)
- I = η υδραυλική κλίση (%)
- α = η γωνία ανάμεσα στον άξονα X και στη ροή του υπόγειου φορέα ($^\circ$)
- Q_i = η παροχή της i γεώτρησης (m^3/day) - θετική για πηγάδι φόρτισης
- n = το πλήθος των γεωτρήσεων
- (x, y) = οι συντεταγμένες του σημείου (m)
- (x_i, y_i) = οι συντεταγμένες της i γεώτρησης (m)
- b = το πάχος του υδροφορέα (m)



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (2/6)

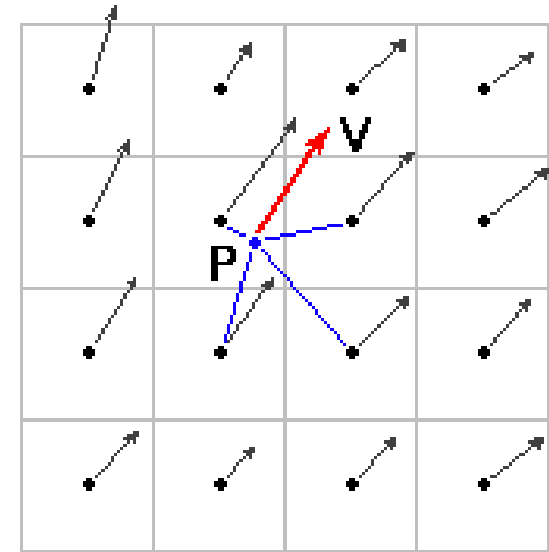
Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μέσες ταχύτητες:

$$v_x = q_x / n_e$$

$$v_y = q_y / n_e$$

όπου n_e = το ενεργό πορώδες

$$V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$



Σχήμα 1: Ανάλυση ταχυτήτων.



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (3/6)

Έχοντας υπολογίσει τις μέσες ταχύτητες μπορούμε να βρούμε την κίνηση των σωματιδίων στο πεδίο.

Αυτό γίνεται υπολογίζοντας τις αποστάσεις dx και dy που διανύει το σωματίδιο στο αντίστοιχο χρόνο dt προς τις διευθύνσεις x και y .

Δηλαδή :

$$dx = v_x \cdot dt$$

$$dy = v_y \cdot dt$$



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (4/6)

- Το χρονικό βήμα Δt το επιλέγουμε εμείς ανάλογα με την ακρίβεια που απαιτείται.
- Πολλές φορές χρησιμοποιείται, ταυτόχρονα, και ένας πολλαπλασιαστής βήματος m που σε κάθε επανάληψη ο οποίος αυξάνει ή μειώνει ανάλογα το χρονικό βήμα.



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (5/6)

Στη συνέχεια υπολογίζεται η επόμενη θέση (x,y) του σωματιδίου με τη χρήση των απλών τύπων:

$$x_{i+1} = x_i + dx = x_i + v_x \cdot dt$$

$$y_{i+1} = y_i + dy = y_i + v_y \cdot dt$$

όπου (x_i, y_i) είναι η θέση του σωματιδίου τη χρονική στιγμή t και (x_{i+1}, y_{i+1}) η θέση τη χρονική στιγμή $t+dt$.

Με τους παραπάνω τύπους υπολογίζουμε τις γραμμές ορθής ροής (forward particle tracking).



Περιγραφή και λύση του προβλήματος (6/6)

Για την εύρεση της ζώνης επιρροής χρησιμοποιούμε τους αντίστοιχους τύπους της αντίστροφης ροής (backward particle tracking)

$$x_{i+1} = x_i - dx = x_i - v_x \cdot dt$$

$$y_{i+1} = y_i - dy = y_i - v_y \cdot dt$$



Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου ιχνηλάτισης σωματιδίων (1/3)

$I = \eta$ υδραυλική κλίση (%)	1		
$\alpha = \eta$ γωνία ανάμεσα στον άξονα X και στη ροή του υπόγειου φορέα (°)	30	$\sin(\alpha)=0.500$	$\cos(\alpha)=0.866$
$(x, y) =$ οι συντεταγμένες του σημείου (m)	100	150	
$Q_i = \eta$ παροχή της i γεώτρησης (m^3/day) - θετική για πηγάδι φόρτισης	-40		
$n =$ το πλήθος των γεωτρήσεων	1		
$(x_i, y_i) =$ οι συντεταγμένες της i γεώτρησης (m)	120	170	
$b =$ το πάχος του υδροφορέα (m)	10		
$K = \eta$ υδραυλική αγωγιμότητα (m/day)	0.5		
$ne =$ το ενεργό πορώδες	0.2		
$dt =$ το χρονικό βήμα	1		

$$q_x(x, y) = K \cdot I \cdot \cos a + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_i}{2 \cdot \pi \cdot b} \cdot \frac{(x - x_i)}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right\}$$

$q_x(x, y) = 0.4489 \quad v_x(x, y) = q_x(x, y) / ne = 2.245$

$q_y(x, y) = 0.2659 \quad v_y(x, y) = q_y(x, y) / ne = 1.330$

$$q_y(x, y) = K \cdot I \cdot \sin a + \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_i}{2 \cdot \pi \cdot b} \cdot \frac{(y - y_i)}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right\}$$

$dx = v_x \cdot dt = 2.2446 \quad x(i+1) = x_i + dx = 102.245$

$dy = v_y \cdot dt = 1.3296 \quad y(i+1) = y_i + dy = 151.330$

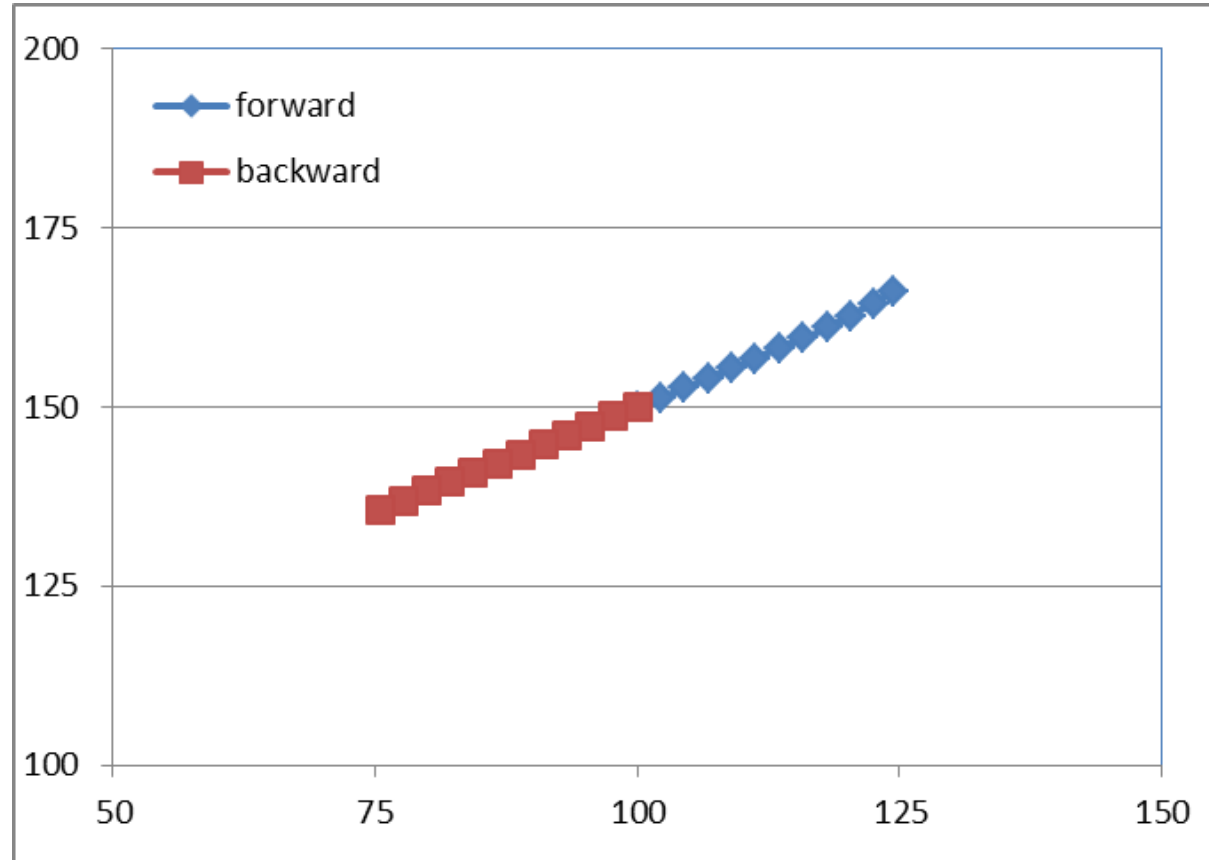
$x(i-1) = x_i - dx = 97.755$

$y(i-1) = y_i - dy = 148.670$



Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου ιχνηλάτισης σωματιδίων (2/3)

$x(i+1)$	$y(i+1)$	$x(i-1)$	$y(i-1)$
100	150	100	150
102.245	151.330	97.755	148.670
104.495	152.669	95.516	147.349
106.751	154.021	93.281	146.034
109.014	155.389	91.050	144.725
111.284	156.778	88.822	143.420
113.560	158.196	86.598	142.120
115.838	159.654	84.377	140.823
118.110	161.169	82.158	139.529
120.348	162.763	79.942	138.238
122.492	164.452	77.728	136.950
124.443	166.180	75.516	135.663



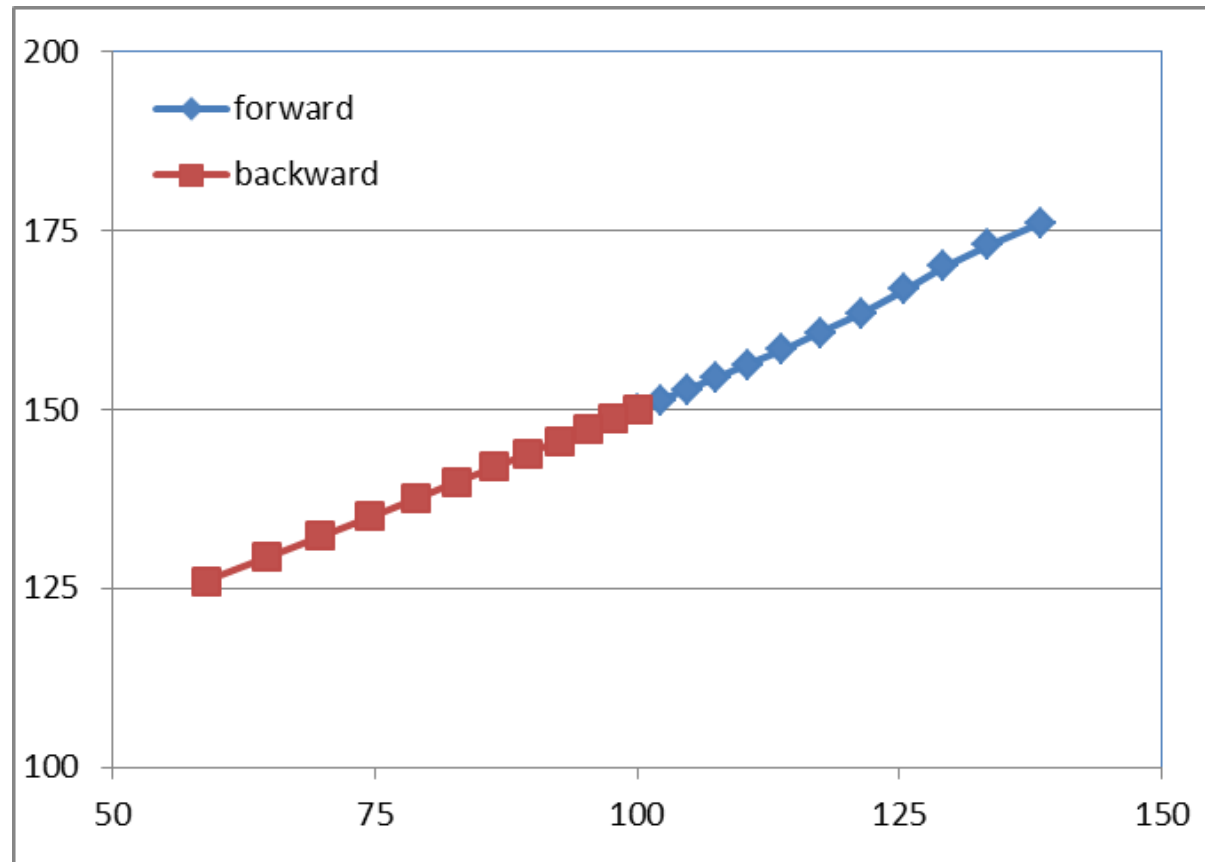
Σχήμα 2: Γραμμή Ροής με τη μέθοδο της ιχνηλάτισης των σωματιδίων.



Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου ιχνηλάτισης σωματιδίων (3/3)

$x(i+1)$	$y(i+1)$	$x(i-1)$	$y(i-1)$
100	150	100	150
102.245	151.330	97.755	148.670
104.720	152.803	95.292	147.217
107.451	154.441	92.588	145.627
110.466	156.269	89.620	143.886
113.794	158.329	86.362	141.980
117.463	160.684	82.785	139.892
121.452	163.462	78.858	137.604
125.471	166.802	74.546	135.094
129.182	170.025	69.810	132.342
133.470	172.970	64.609	129.323
138.501	176.084	58.897	126.010

(Για χρονικό πολλαπλασιαστή 1.10)



Σχήμα 3: Γραμμή Ροής με τη μέθοδο της ιχνηλάτισης των σωματιδίων.



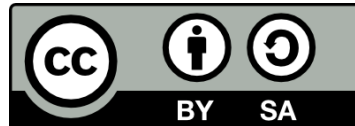
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Νικόλαος Θεοδοσίου.
«Εκμετάλλευση και Προστασία των Υπόγειων Υδατικών Πόρων. Οριοθέτηση
ζωνών προστασίας γεωτρήσεων. Μέθοδος ιχνηλάτισης σωματιδίων».
Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS373/>



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: <Γιάννης Αυγολούπης>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό 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.

