

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

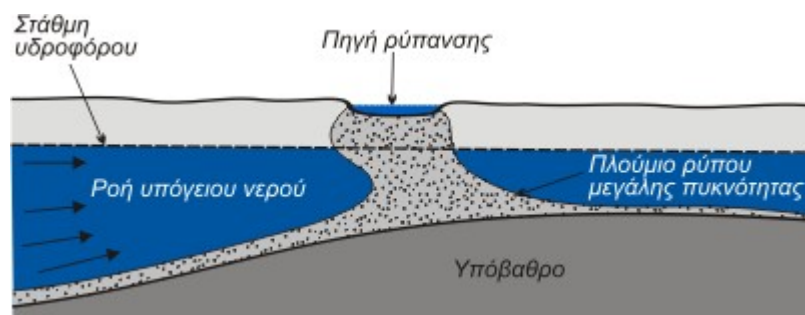
ΚΩΣΤΑΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ

Δρ. Υδρογεωλογίας Παν. Πατρών
Λέκτορας Α.Π.Θ.

ΘΕΜΑΤΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ποιότητα νερών
Πηγές και διάδοση της ρύπανσης
Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
Εδαφική διάθεση υγρών αποβλήτων
Τρωτότητα, Προστασία και Απορρύπανση υδροφορέων



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2006

ΘΕΜΑΤΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΩΣΤΑΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ

Δρ. Υδρογεωλογίας Παν. Πατρών

Λέκτορας Α.Π.Θ.

«Υδωρ αρχή πάντων»

Θαλής ο Μιλήσιος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΟΡΟΛΟΓΙΑ

1.1 Υδρολογικός κύκλος	1
1.2 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών... ..	4
1.3 Το υπόγειο νερό.....	6
1.4 Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου νερού.....	6
1.5 Ακόρεστη ζώνη.....	8
1.6 Είδη υπόγειου νερού-Υδροφόροι ορίζοντες.....	8
1.7 Υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζόντων.....	10
1.8 Κίνηση του υπόγειου νερού.....	13
1.9 Εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.....	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

2.1 Διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών.....	21
2.2 Φυσικές ιδιότητες των εδαφών.....	27
2.3 Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών.....	28
2.4 Ισοτροπία και ομοιογένεια.....	30
2.5 Τάση- Συμπιεστότητα- Καθίζηση.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

3.1 Φυσικές ιδιότητες του νερού.....	35
3.2 Δειγματοληψία υπόγειου νερού-Χημικές αναλύσεις.....	36
3.3 Φυσικοχημικές παράμετροι των νερών.....	39
3.4 Άλλα χαρακτηριστικά του νερού.....	50
3.5 Προέλευση των ιόντων... ..	53
3.6 Συσχέτιση ιόντων.....	61
3.6 Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών διαφόρων υδροφορέων.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

4.1 Το νερό ως γεωλογικός παράγοντας.....	69
4.2 Συστήματα υπόγειας ροής.....	69
4.3 Αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος.....	70
4.4 Υδρογεωλογικό περιβάλλον.....	77
4.5 Υδροχημικές φάσεις.....	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

5.1 Ρύπανση και μόλυνση.....	83
5.2 Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων.....	84
5.3 Πηγές ρύπανσης.....	85
5.4 Επιπτώσεις-Ανίχνευση της ρύπανσης.....	93
5.5 Μόλυνση των υδροφόρων από μικροοργανισμούς... ..	94
5.6 Αλληλεπίδραση ρυπαντών και εδάφους-Φυσική απορρύπανση.....	95
5.7 Διάδοση της ρύπανσης στους υδροφορίες	102
5.8 Διάδοση μη αναμειξιμων ρύπων.....	114
5.9 Εξασθένηση της ρύπανσης.....	116
5.10 Μαθηματικά μοντέλα υδάτινης ρύπανσης.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΩΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

6.1 Γενικά.....	127
6.2 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων.....	128
6.3 Μέθοδοι διάθεσης απορριμμάτων.....	130
6.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις- Διαδικασίες έγκρισης και έκδοσης άδειας λειτουργίας ΧΥΤΑ.....	132
6.5 Κριτήρια επιλογής της θέσης	134
6.6 Βαθμονόμηση των κριτηρίων επιλεξιμότητας.....	142
6.7 Δομή και τρόποι απόθεσης στους ΧΥΤΑ.....	148
6.8 Παραγωγή και μετανάστευση του βιοαερίου.....	149
6.9 Παραγωγή στραγγισμάτων.....	153
6.10 Το πρόβλημα της στεγανότητας στους ΧΥΤΑ.....	157
6.11 Τελική επικάλυψη και αποκατάσταση των ΧΥΤΑ.....	161
6.12 ΧΥΤ αδρανών και επικίνδυνων αποβλήτων.....	164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

7.1 Η έννοια της τρωτότητας.....	169
7.2 Εκτίμηση της τρωτότητας με βάση υδρογεωλογικά κριτήρια.....	172
7.3 Ανάλυση της ζώνης ανάκτησης.....	182
7.4 Περίμετρος προστασίας.....	184
7.5 Μελέτη περίπτωσης 1	189

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

8.1 Επιπτώσεις των αποβλήτων και των λυμάτων στο γεωπεριβάλλον.....	199
8.2 Το έδαφος ως μέσο επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αποβλήτων.....	202
8.3 Διάθεση λυμάτων στο έδαφος (φυσικά συστήματα επεξεργασίας).....	203
8.4 Συστήματα επεξεργασίας εδάφους-υδροφόρου (SAT).....	210
8.5 Χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων.....	212
8.6 Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων.....	216
8.7 Διάθεση της υλούς από μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων στο έδαφος.....	218

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

9.1 Γενικά.....	223
9.2 Μέθοδοι απορρύπανσης.....	224
9.3 Απονίτρωση υπόγειων νερών.....	230
9.4 Προστασία συστημάτων επιφανειακού νερού.....	233
9.5 Επεξεργασία νερού	235

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες το περιβάλλον και ειδικά οι υδατικοί πόροι έχουν υποστεί μεγάλες πιέσεις με πολλά αρνητικά αποτελέσματα. Βέβαια τα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν είναι νέα. Περίπου 2000 χρόνια πριν, τα πρώτα γραπτά κείμενα συνδέουν τον άνθρωπο με το περιβάλλον και αναγνωρίζουν το σημαντικό ρόλο του νερού.

Η αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος είναι διαχρονική και λόγω αυτής της ιδιότητας, καθώς και της συνεχούς ροής το νερό αποτελεί βασικό γεωλογικό παράγοντα. Οι ποσότητες νερού μετά τη χρήση τους επιστρέφουν ποιοτικά υποβαθμισμένες στο περιβάλλον.

Η υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών υδροσυστημάτων (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες), όσο και των υπόγειων νερών είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων επεμβάσεων που σχετίζονται με γεωργικές δραστηριότητες (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων), με τη βιομηχανία (υγρά και στερεά απόβλητα) και την οικιστική ανάπτυξη (λύματα και απορρίμματα).

Η διαχείριση των απορριμμάτων μέσω της χωροθέτησης χώρων υγειονομικής ταφής, η διάθεση αποβλήτων στο υπέδαφος, τα συστήματα εδάφους-υδροφόρου, η διαχείριση των υδατικών πόρων είναι προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας μας και απαιτούν τις βέλτιστες λύσεις προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η προστασία των υδάτινων συστημάτων αποτελεί πρώτιστο καθήκον για κάθε ένα ξεχωριστά και για ολόκληρη την κοινωνία συνολικά. Έτσι ο ρόλος του υδρογεωλόγου και τεχνικού γεωλόγου στη διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος καθίσταται σημαντικός. Για τον λόγο αυτό η εκπαίδευση του γεωλόγου σε προπτυχιακό ή μεταπτυχιακό επίπεδο σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος είναι επιτακτική, ιδίως σε θέματα που αφορούν την προστασία των υδροφόρων από τη μόλυνση και ρύπανση. Οι σημειώσεις της Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος, που απευθύνονται στους φοιτητές του Γεωλογικού τμήματος του Α.Π.Θ. στα πλαίσια του μαθήματος Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, φιλοδοξούν σε αυτό ακριβώς να συμβάλλουν.

Τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών Γιώργο Καλλέργη υπερευχαριστώ, γιατί η πολύχρονη συνεργασία μαζί του μου πρόσφερε πάρα πολλά και με έμαθε να σκέφτομαι «υδρογεωλογικά».

Τους καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Γεώργιο Σούλιο και Γεώργιο Δημόπουλο ευχαριστώ θερμά για τις πολύτιμες υποδείξεις που μου έκαναν στο στάδιο της συγγραφής των σημειώσεων αυτών.

Τους υποψηφίους διδάκτορες του Α.Π.Θ.: Τριαντάφυλλο Κακλή, Σωτηριάδη Μιχάλη, Χρίστο Μάττα, Θανάση Παύλου και το γεωλόγο MSc Μανώλη Πάτσιο για τις διορθώσεις που έκαναν στα αρχικά κείμενα.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τη φιλόλογο, MSc του ΑΠΘ, Ελένη Τζάφα για τη φιλολογική επιμέλεια του κειμένου.

ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Τα θεμελιώδη μεγέθη στην Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία και οι αντίστοιχες μονάδες στο Διεθνές Σύστημα (System International, S.I.) φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Θεμελιώδη μεγέθη και μονάδες στο σύστημα S.I.	
Μήκος (L)	1 m (meter)
Μάζα (M)	1 kg (kilogram)
Χρόνος (T)	1 s (second)
Θερμοκρασία (K)	1 K (βαθμός Kelvin)

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται οι παράγωγες μονάδες χρήσιμων μεγεθών στη Μηχανική των ρευστών.

Παράγωγα μεγέθη	Όνομα μονάδας	Σύμβολο
Ταχύτητα		$m s^{-1}$
Δύναμη	Newton (N)*	$1N=kg m s^{-2}$
Επιτάχυνση		$m s^{-2}$
Πυκνότητα		$kg m^{-3}$
Πίεση, Τάση	Pascal (Pa)	$1 Pa=N m^{-2}=m^{-1} kg s^{-2}$
Ενέργεια, Έργο	Joule (J)**	$1 J=N m=m^2 kg s^{-2}$
Ιξώδες κινηματικό		$m^2 s^{-1}$ ***
Ιξώδες δυναμικό		$Pa s$ ****
Επιφανειακή Τάση		$N m^{-1}$

* Παλαιότερα χρησιμοποιείτο σαν μονάδα μέτρησης της δύναμης το Kilopond (kp): $1kp=9,81 N$.

** Για τη μέτρηση της θερμότητας ως μορφής ενέργειας χρησιμοποιείται η θερμίδα (cal), που είναι η θερμότητα που μεταφέρεται σε 1 g νερού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C.

Ισχύει $1 cal = 4,2 Joule$

*** Στο σύστημα CGS χρησιμοποιείται το Stokes= $1 cm^2 s^{-1}$

**** Στο σύστημα CGS χρησιμοποιείται το Poise= $1 g cm^{-1} s^{-1}$

ΆΛΛΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Εκτός των μονάδων του S.I. υπάρχουν και άλλες μονάδες που είναι αποδεκτές από τη διεθνή επιτροπή μέτρων και σταθμών και παρουσιάζονται στον κάτωθι Πίνακα.

Όνομα	Σύμβολο	Ισοδυναμία με μονάδες του S.I.
Μίλι (mile)		1 μίλι (ναυτικό)=1852 m
Ångström	Å	1 Å=10 ⁻¹⁰ m
Hectare	Ha	1 ha=10 ⁴ m ²
Λίτρο	L	1 L=10 ⁻³ m ³
Τόννος	T	1 T=1000 kg
Ατμόσφαιρα	Atm	1 Atm=10 ⁵ Pascal

ΕΞΙΣΩΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Τα παράγωγα μεγέθη συνδέονται με τα θεμελιώδη (μήκος L, μάζα M, χρόνος T) με μια μαθηματική σχέση, η οποία ονομάζεται εξίσωση διαστάσεων.

Ως γνωστόν, η ταχύτητα (v) είναι το πηλίκο της μετατόπισης l (μήκος) δια του χρόνου (t). Άρα η εξίσωση διαστάσεων της ταχύτητας είναι:

$$v = \frac{[L]}{[T]} = [L^1 T^{-1}] = [L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-1}]$$

Οι αριθμοί (1, 0, -1) είναι οι διαστάσεις της ταχύτητας.

Η πίεση (P) είναι το πηλίκο της δύναμης (F) που ασκείται σε στοιχειώδες τμήμα επιφάνειας (A) δια της επιφάνειας.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot a}{A} = \frac{M \cdot L T^{-2}}{L^2} = [L^{-1} \cdot M^1 \cdot T^{-2}]$$

Οι αριθμοί (-1, 1, -2) είναι οι διαστάσεις της πίεσης.

Οι διαστάσεις ενός αδιάστατου φυσικού μεγέθους είναι (0, 0, 0).

ΠΡΟΘΕΜΑΤΑ

Τα κυριότερα προθέματα μονάδων στο S.I. είναι τα εξής:

Πολλαπλάσια	Υποπολλαπλάσια
Tera (T) 10 ¹²	pico (p) 10 ⁻¹²
Giga (G) 10 ⁹	nano (n) 10 ⁻⁹
Mega (M) 10 ⁶	micro (μ) 10 ⁻⁶
Kilo (K) 10 ³	milli (m) 10 ⁻³

