

ΑΝΔΡΕΑΣ ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ

ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΝΤΑΖΙΔΟΥ

ΑΝΤΩΝΗΣ ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2008

Για τους συγγραφείς

Ο **Ανδρέας Ανδρεαδάκης** είναι Καθηγητής στον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, Διευθυντής του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας και Διευθυντής του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων”. Είναι συγγραφέας 250 επιστημονικών εργασιών, κεφαλαίων βιβλίων και ερευνητικών εκθέσεων σχετικών με τη διαχείριση των υδατικών πόρων, την επεξεργασία και διάθεση λυμάτων, την επεξεργασία νερού, τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, τη μαθηματική προσομοίωση ρύπων σε επιφανειακούς αποδέκτες, και την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων και ιλύος

Η **Μαρίνα Πανταζίδου** είναι Επίκουρη Καθηγήτρια στον Τομέα Γεωτεχνικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Έχει πολυετή ακαδημαϊκή και επαγγελματική εμπειρία στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ελλάδα στο αντικείμενο της περιβαλλοντικής γεωτεχνικής, με ιδιαίτερη έμφαση στους τομείς χαρακτηρισμού και αποκατάστασης χώρων ρυπασμένων από επικίνδυνα απόβλητα. Τα ερευνητικά της ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν αριθμητική και φυσική προσομοίωση της κίνησης στο υπέδαφος οργανικών ρύπων που δεν αναμειγνύονται με το νερό, λήψη αποφάσεων σε θέματα περιβαλλοντικής αποκατάστασης και διδακτική της επιστήμης του μηχανικού.

Ο **Αντώνης Σταθόπουλος** είναι Καθηγητής στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και Διευθυντής του Εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του ιδίου Τομέα. Έχει δημοσιεύσει 40 άρθρα και κεφάλαια βιβλίων σε έγκριτα διεθνή περιοδικά και εκδόσεις του εξωτερικού καθώς και πάνω από 120 εργασίες σε πρακτικά συνεδρίων. Το επιστημονικό του αντικείμενο έχει έμφαση στο σχεδιασμό των μεταφορικών συστημάτων και κυρίως στη βελτιστοποίηση των μεταφορικών δικτύων και στις μεθόδους προσομοίωσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
2.1 ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΖΩΝΤΑΝΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ	15
2.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ..	16
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ	18
2.4 ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ- ΈΝΖΥΜΑ - ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ	22
2.5 ΑΕΡΟΒΙΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ	28
2.6 ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ	34
2.7 ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	38
2.8 ΑΝΟΞΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ (ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ)	40
2.9 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	41
2.10 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	42
2.11 ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	43
2.12 ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ	45
2.13 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΕΙΣ	48
2.13.1 Θερμοκρασιακή στρωμάτωση και εποχική αναστροφή υδάτινων σωμάτων ύδατος	48
2.13.2 Θερμοκρασιακή αναστροφή της ατμόσφαιρας	49
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΥΠΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ –ΑΦΟΜΟΙΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ

3.1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΥΣ	51
3.1.1 Γενική θεώρηση της ρύπανσης	51
3.1.2 Κατηγορίες ρύπανσης	55
3.1.3 Κανονισμοί ποιότητας εκροών (ΚΠΕ)	73
3.2. ΑΦΟΜΟΙΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ	73
3.2.1 Μεταφορά ύλης στο ρευστό περιβάλλον	74
3.2.2 Προσαρμογή τρισδιάστατης εξίσωσης σε προβλήματα εφαρμογής	78
3.3 ΑΠΟΞΥΓΩΝΩΣΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΟΤΑΜΟ	81
3.3.1 Απλή προσομοίωση Streeter-Phelps	82
3.3.2 Γενικευμένη προσομοίωση	87
3.4 ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΛΙΜΝΩΝ	94
3.4.1 Μαθηματική προσομοίωση ευτροφισμού λίμνης	95
3.4.2 Εμπειρικά ομοιώματα ευτροφισμού λίμνης	102
3.5 ΔΙΑΘΕΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ ΑΚΤΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ	105
3.5.1 Σύστημα διάθεσης-αρχική αραίωση	105
3.5.2 Επόμενη αραίωση. Γενικές ρυπαντικές συνέπειες της διάθεσης	115
3.5.3 Μικροβιακή ρύπανση ακτής από επιφανειακό πεδίο λυμάτων	116
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	125
4.2 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ	127
4.3 ΤΥΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ	129
4.3.1 Κροκίδωση – Καθίζηση	129
4.3.2 Διύλιση	139
4.3.3 Απολύμανση	149
4.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΔΙΑΛΥΜΕΝΩΝ ΡΥΠΑΝΤΩΝ	153
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	157

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	
5.1 ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ	161
5.2 ΤΥΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΩΝ	163
5.3 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	164
5.4 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ – ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΜΙΞΗΣ	169
5.5 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΕΛ	173
5.6 ΤΥΠΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	174
5.6.1 Έργα προεπεξεργασίας	174
5.6.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία	179
5.6.3 Βιολογική (δευτεροβάθμια) επεξεργασία	182
5.6.4 Επεξεργασία ιλύος	200
5.6.5 Απολύμανση, διάθεση και επαναχρησιμοποίηση	202
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	204

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ	
6.1 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ	205
6.1.1 Εναλλακτικές δυνατότητες	205
6.1.2 Ανασκόπηση διεθνούς θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	210
6.1.3 Προτεινόμενα ποιοτικά όρια και προδιαγραφές για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην Ελλάδα	219
6.1.4 Απαιτούμενη επεξεργασία για την εξασφάλιση ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης	226
6.2 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ .	230
6.2.1 Βαρέα Μέταλλα	234
6.2.2 Μικροοργανικές ενώσεις	238
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	240

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	
7.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	241
7.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ	243
7.3 ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ, ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	249
7.3.1 Προσωρινή αποθήκευση	249
7.3.2 Συλλογή	251
7.3.3 Σταθμοί μεταφόρτωσης	253

7.4 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ: ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	254
7.4.1 Συστήματα διαλογής	255
7.4.2 Διάθεση ανακυκλωμένων υλικών στην αγορά	259
7.5 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ:	
ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ	260
7.5.1 Συστήματα λιπασματοποίησης	262
7.5.2 Διάθεση τελικού προϊόντος	263
7.6 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	264
7.6.1 Θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων	264
7.6.2 Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά παραγόμενων αερίων	266
7.6.3 Ενεργειακό ισοζύγιο και ανάκτηση ενέργειας	269
7.6.4 Συστήματα καύσης	269
7.6.5 Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	272
7.7 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ	279
7.8 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	280
7.8.1 Σχήμα I: Μέγιστη ανάκτηση υλικών και ταφή υπολοίπου	281
7.8.2 Σχήμα II: Επιλεκτική ανάκτηση υλικών, καύση με ανάκτηση ενέργειας και διάθεση τέφρας	283
7.8.3 Σχήμα III: Γενική Υγειονομική Ταφή	285
7.8.4 Συναξιολόγηση	288
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	290
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	293
8.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	293
8.2 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	294
8.3 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΩΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	295
8.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ, ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΩΡΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ	297
8.4.1 Χωροθέτηση	297
8.4.2 Διαχείριση ομβρίων	298
8.4.3 Ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση παραγόμενου στραγγίσματος και βιοαερίου	299
8.4.4 Διαχείριση στραγγίσματος και βιοαερίου	300
8.4.5 Επιλογή υλικών για τον πυθμένα και την τελική κάλυψη	
ΧΥΤΑ	301
8.4.6 Επιλογή διάταξης για τον πυθμένα ΧΥΤΑ	303
8.4.7 Έλεγχοι ευστάθειας	304

8.4.8 Παρακολούθηση στα στάδια λειτουργίας και μεταφροντίδας	305
8.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΕΙ Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΧΥΤΑ	305
8.6 ΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΓΡΗΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΥΤΑ	307
8.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ	308
8.7.1 Στρώσεις και υλικά	308
8.7.2 Αστοχία στρωμάτων πυθμένα	313
8.7.3 Ποσοτική έκφραση της προστασίας που προσφέρει ο πυθμένας	314
8.7.4 Αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού προστασίας πυθμένα	318
8.8 ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ	322
8.9 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΧΥΤΑ	324
8.10 ΈΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	327
8.11 ΕΠΑΝΕΝΤΑΞΗ ΧΥΤΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	329
8.12 ΕΥΡΥΤΕΡΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ)	330
8.13 ΚΥΡΙΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	330
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	332

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΑΙ ΗΧΗΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

9.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.	333
9.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ	341
9.3 ΌΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ.	346
9.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΚΑΣ. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ.	352
9.4.1 Πρότυπα εκπομπών	352
9.4.2 Πρότυπα διάχυσης	353
9.5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕΣΟΚΛΙΜΑΚΑΣ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ (ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ)	364
9.6 ΗΧΗΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	371
9.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	373
9.8 ΑΝΤΙΘΟΡΥΒΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ	375
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	378

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σημερινές πολιτισμένες κοινωνίες χαρακτηρίζονται από εκτεταμένες επεμβάσεις του ανθρώπου στο περιβάλλον, επεμβάσεις οι οποίες με τη βοήθεια της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας συνεχώς επεκτείνονται και δίνουν τη δυνατότητα για επίλυση ζωτικών κοινωνικών, οικονομικών και πολιτισμικών προβλημάτων. Ο Πολιτικός Μηχανικός αποτελεί κύριο φορέα της επέμβασης του ανθρώπου στο περιβάλλον, καθώς με τα υδραυλικά, συγκοινωνιακά και δομικά έργα τα οποία μελετά και εκτελεί επιφέρει σημαντικές αλλοιώσεις στο φυσικό περιβάλλον και διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό το οικιστικό περιβάλλον.

Εντούτοις η τεχνολογική - οικονομική ανάπτυξη έχει δυσμενείς παρενέργειες, οι οποίες έγιναν ιδιαίτερες έντονες και αισθητές κατά τις τελευταίες δεκαετίες, με σημείο αιχμής τη ρύπανση. Τα παραπάνω προβλήματα, δημιουργήματα σε μεγάλο βαθμό της σύγχρονης τεχνολογίας, καλείται να αντιμετωπίσει ένα σύνολο τεχνολογιών που στεγάζονται κάτω από τον γενικό όρο "Περιβαλλοντική Τεχνολογία". Κυριότερα γενικά αντικείμενα των περιβαλλοντικών τεχνολογιών, με πολλές όμως επί μέρους εξειδικεύσεις, είναι η μελέτη της ρύπανσης των υδάτων, του εδάφους και της ατμόσφαιρας και οι τεχνολογίες επεξεργασίας και διάθεσης των υγρών, στερεών και αέριων αποβλήτων.

Η δομή του βιβλίου αντανακλά τα επιμέρους αυτά γνωστικά αντικείμενα. Μετά τις εισαγωγικές παρατηρήσεις (Κεφάλαιο 1), στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση βασικών οικολογικών εννοιών και βιολογικών διεργασιών, ώστε να δοθεί το αναγκαίο γνωστικό υπόβαθρο. Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται οι κύριες μορφές ρύπανσης, τα φαινόμενα μεταφοράς ύλης στο υδάτινο περιβάλλον, η αφομοιωτική ικανότητα των υδατίνων σωμάτων και μελετάται η ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων για τους συνήθεις τρόπους διάθεσης ρύπων στο υδάτινο περιβάλλον. Στα Κεφάλαια 4 και 5 γίνεται η περιγραφή τυπικών συστημάτων επεξεργασίας νερού και λυμάτων αντίστοιχα και στο Κεφάλαιο 6 εξετάζονται οι δυνατότητες και προϋποθέσεις επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων και της ιλύος. Το Κεφάλαιο 7 εξετάζει εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, ενώ ειδικότερη αναφορά στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, στην ενδεχόμενη ρύπανση υπογείων υδάτων και στα μέτρα εξυγίανσής των γίνεται στο Κεφάλαιο 8. Τέλος στο Κεφάλαιο 9 εξετάζεται η ατμοσφαιρική και ηχητική ρύπανση, κυρίως από τη σκοπιά του Πολιτικού Μηχανικού.

Το βιβλίο αποτελεί τη βάση για τη διδασκαλία του μαθήματος “Περιβαλλοντική Τεχνολογία” του Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Στόχος του βιβλίου είναι να προσφέρει θεμελιακές γνώσεις για τις διεργασίες που συντελούν στη ρύπανση του περιβάλλοντος και για τις κυριότερες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες και να δημιουργήσει ένα καλό υπόβαθρο για την εν συνεχεία γνωστική κίνηση του φοιτητή και του νέου μηχανικού προς διάφορες επί μέρους περιβαλλοντικές ειδικότητες

Η ύλη του βιβλίου διαμορφώθηκε σταδιακά κατά τα τελευταία 12 χρόνια και σε σημαντικό βαθμό βασίζεται στα περιεχόμενα προηγούμενων διδακτικών βοηθημάτων που εκδόθηκαν το 1996, το 2000 και το 2003 από το ΕΜΠ. Οι συγγραφείς θεωρούν χρέος τους να μνημονεύσουν τη συμβολή του αείμνηστου καθηγητή Δ. Χριστούλα και των συναδέλφων Μ. Καββαδά, Α. Στάμου και Κ. Χατζημπήρου στις προηγούμενες εκδόσεις, καθώς και άλλων συναδέλφων, συνεργατών και σπουδαστών που με τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους συνέβαλαν στη διαμόρφωση της ύλης της παρούσας έκδοσης. Και φυσικά τον εκδοτικό οίκο Συμμετρία για την εμπιστοσύνη του και τις χρήσιμες υποδεί-

ξεις των στελεχών του. Τέλος ως προς τη δομή του βιβλίου σημειώνεται ότι την κύρια ευθύνη για τα Κεφάλαια 2-7 έχει ο Α. Ανδρεαδάκης, για το Κεφάλαιο 8 η Μ. Πανταζίδου και για το Κεφάλαιο 9 ο Α. Σταθόπουλος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

2.1 Μεταβολισμός ζωντανών οργανισμών

Κάθε ζωντανός οργανισμός είναι ένα ανοιχτό σύστημα που ανταλλάσσει με το περιβάλλον ύλη και ενέργεια. Ο οργανισμός παίρνει με διάφορους τρόπους από το περιβάλλον όλες τις χημικές ουσίες που χρειάζονται για την σύνθεση του υλικού του, ενώ αποβάλλει στο περιβάλλον τις ουσίες που δεν είναι πλέον χρήσιμες για τις λειτουργίες του. Επίσης ο οργανισμός παίρνει από το περιβάλλον ενέργεια σε κατάλληλες μορφές, την οποία χρησιμοποιεί για να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες χημικές αντιδράσεις της σύνθεσης, για να κινηθεί, να ρυθμίσει την θερμοκρασία του κ.λπ. και τελικώς την αποβάλλει στο περιβάλλον, κυρίως με τη μορφή της θερμότητας.

Το σύνολο των διαδικασιών που συμβαίνουν στο εσωτερικό ενός οργανισμού και με τις οποίες πραγματοποιούνται,

- η αποδόμηση σύνθετων οργανικών ενώσεων σε απλές
- η ανασύνθεση των απλών οργανικών ενώσεων σε κυτταρικό υλικό

- η πρόσληψη αποθήκευση και αξιοποίηση της απαιτούμενης, για τη σύνθεση και τις άλλες λειτουργίες του οργανισμού, ενέργειας

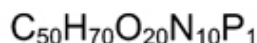
ονομάζεται μεταβολισμός. Ειδικότερα, η διαδικασία αποδόμησης σύνθετων οργανικών ενώσεων σε απλές ονομάζεται καταβολισμός, ενώ η διαδικασία σύνθεσης κυτταρικού υλικού από τις απλές οργανικές ενώσεις ονομάζεται αναβολισμός.

Οι παραπάνω διαδικασίες του μεταβολισμού αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία της λειτουργίας των οικοσυστημάτων δεδομένου ότι αποτελούν τους βασικούς συνδετικούς κρίκους του ζωντανού οργανισμού με το περιβάλλον του. Οι διαδικασίες αυτές θα εξετασθούν στη συνέχεια στο επίπεδο βασικά του κυττάρου, για χαρακτηριστικές κατηγορίες μικροοργανισμών.

2.2 Χημική σύσταση του κυττάρου

Τα χημικά στοιχεία που βρίσκονται σε όλες τις οργανικές ενώσεις είναι τα C, H, O, ενώ και το N και ο P συμμετέχουν σε πάρα πολλές οργανικές ουσίες και θεωρούνται επίσης βασικά στοιχεία για την ζωή. Άλλα 6 στοιχεία, τα: S, Na, Mg, Cl, Ca, K συμμετέχουν στις διαδικασίες της ζωής κατά μικρότερα αλλά πάντως σημαντικά ποσοστά. Υπάρχουν τουλάχιστον άλλα 25 χημικά στοιχεία που συμμετέχουν σε βασικές βιολογικές λειτουργίες αλλά απαιτούνται σε πολύ μικρές ποσότητες. Τα σημαντικότερα απ αυτά τα ιχνοστοιχεία είναι: F, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Se, Mo, Sn, I.

Παρά το γεγονός ότι η ποσοστιαία συμμετοχή των βασικών στοιχείων στη σύσταση της ζωντανής ύλης μπορεί να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τον οργανισμό, συχνά προτείνεται ο ακόλουθος εμπειρικός τύπος σύστασης του κυτταρικού υλικού:



Σύμφωνα με τον τύπο αυτό η κατά βάρος συμμετοχή του άνθρακα ανέρχεται σε περίπου 50%, ενώ οι συμμετοχές του N και P δεν ξεπερνούν τα 10-12% και 2-3%, αντίστοιχα.

Οι οργανικές ουσίες που σχηματίζονται από τα παραπάνω χημικά στοιχεία μπορούν να διακριθούν σε 4 κύριες κλάσεις πολυμερών ενώσεων: τους πολυσακχαρίτες, τα λιπίδια, τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα.

Οι πολυσακχαρίτες είναι πολυμερείς υδατάνθρακες του τύπου $(\text{CH}_2\text{O})_n$ με $n > 3$. Υδρολύονται εύκολα ή δύσκολα σε απλούς υδατάνθρακες (μονοσακχαρίτες). Βασικοί πολυσακχαρίτες είναι το άμυλο και η κυτταρίνη. Το άμυλο υδρολύεται εύκολα και χρησιμοποιείται ως τροφή από πολλούς οργανισμούς. Η κυτταρίνη, αποτελεί την πιο άφθονη οργανική ένωση στον πλανήτη, αλλά λίγοι οργανισμοί μπορούν να την υδρολύσουν όπως π.χ. η αγελάδα και ο τερμίτης, που έχουν κατάλληλα βακτηρίδια στο πεπτικό τους σύστημα, ενώ ο άνθρωπος δεν μπορεί. Το ξύλο και το βαμβάκι είναι παραδείγματα υλικών πλούσιων σε κυτταρίνη.

Τα λιπίδια περιλαμβάνουν τα λίπη και τα έλαια και γενικότερα οργανικές ενώσεις που διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες (π.χ. βενζίνη ή αιθέρα), αλλά είναι πρακτικά αδιάλυτες στο νερό. Τα λίπη και τα έλαια αποτελούνται από C, H και O, υδρολύονται εύκολα ή δύσκολα σε οργανικά οξέα και γλυκερίνη και είναι πλούσια σε ενεργειακό απόθεμα.

Οι πρωτεΐνες είναι πολυμερείς ενώσεις που συνήθως έχουν μεγάλη πολυπλοκότητα και υψηλό μοριακό βάρος (από 600 μέχρι πάνω από 1.000.000). Περιέχουν C, O, H, N σε αντίστοιχα μέσα ποσοστά κατά βάρος: 50%, 23%, 7%, 16%. Σε όλες σχεδόν τις πρωτεΐνες συμμετέχει και το S με ποσοστό μέχρι 3%. Οι πρωτεΐνες συμμετέχουν στις περισσότερες βιολογικές λειτουργίες, όπως π.χ. ως καταλύτες (ένζυμα) στις βιοχημικές αντιδράσεις, ως δομικά στοιχεία των κυττάρων ή ως μεταφορείς ύλης (π.χ. μεταφορά οξυγόνου στα κύτταρα από την αιμογλοβίνη).

Τα νουκλεϊκά οξέα είναι εξαιρετικά σύνθετες ενώσεις και αποτελούνται από εκατοντάδες έως χιλιάδες νουκλεοτίδια. Ανάλογα με τον υδατάνθρακα που αποτελεί την βάση του διακρίνουμε το DNA (δισοξυριβονουκλεϊκό οξύ) και το RNA (ριβονουκλεϊκό οξύ). Έχουν ελικοειδή μορφή σχηματίζοντας διπλή ή απλή έλικα. Ο βιολογικός ρόλος του DNA είναι κρίσιμος, δεδομένου ότι περιέχει τα χρωμοσώματα

με την γενετική πληροφορία για την δομή και λειτουργία του κάθε οργανισμού. Όταν το κύτταρο διαιρεθεί, το κάθε θυγατρικό κύτταρο διαθέτει ένα πλήρες αντίγραφο DNA του μητρικού κυττάρου που έχει καταγραμμένες όλες τις κληρονομικές πληροφορίες. Το RNA μεταφέρει στα διάφορα σημεία του κυττάρου τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στο DNA και σε ορισμένους οργανισμούς παίζει επίσης τον ρόλο διατήρησης της γενετικής πληροφορίας.

2.3 Κατηγορίες οργανισμών

Χαρακτηριστικό όλων των οργανισμών είναι ότι αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κύτταρα τα οποία είτε είναι όμοια μεταξύ τους είτε είναι διαφοροποιημένα και εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες. Υπάρχει επίσης και ένα άλλο είδος ζωντανών όντων, οι ιοί, οι οποίοι δεν αποτελούνται από κύτταρα. Είναι τελείως στοιχειώδεις μορφές ζωής που δεν μπορούν να επιτελέσουν με αυτάρκεια τις βασικές βιολογικές λειτουργίες αλλά είναι μόνο σε θέση να προσβάλλουν διάφορα κύτταρα και να εκμεταλλεύονται τις κυτταρικές λειτουργίες για να πολλαπλασιαστούν. Πρόκειται δηλαδή για παράσιτα, η επιβίωση των οποίων γίνεται εις βάρος άλλων οργανισμών (τους ξενιστές).

Οι οργανισμοί είναι δυνατό να καταταγούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα κριτήρια που χρησιμοποιεί κανείς. Με βάση την πολυπλοκότητα της βιολογικής τους οργάνωσης οι οργανισμοί διακρίνονται σε πρώτιστα και σε ανώτερους οργανισμούς.

- Τα **πρώτιστα** είναι όλοι οι μονοκύτταροι οργανισμοί καθώς και αυτοί που αποτελούνται από περισσότερα κύτταρα αλλά χωρίς διαφοροποίηση λειτουργιών. Χαρακτηρίζονται από μικρό βαθμό πολυπλοκότητας και διακρίνονται σε βακτηρίδια, μύκητες, άλγη και πρωτόζωα. Τα **βακτηρίδια** αποτελούνται από ένα μικρό και σχετικά ατελές κύτταρο και συνιστούν την πιο στοιχειώδη αυτάρκη βιολογική οντότητα. Οι μύκητες είναι πολυκύτταροι οργανισμοί ενώ τα άλγη και τα πρωτόζωα μπορεί να είναι μονοκύτταρα ή πολυκύτταρα, αλλά έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και τελειότερη οργάνωση από τα βακτηρίδια. Από πλευράς λειτουργίας τα μεν άλγη μπο-

ρούν να χαρακτηριστούν ως πρωτόγονα φυτά, τα δε πρωτόζωα ως πρωτόγονα ζώα.

- Στους **ανώτερους οργανισμούς** ανήκουν τα φυτά και τα ζώα. Χαρακτηρίζονται από διαφοροποίηση των κυττάρων τους και σημαντικό βαθμό οργάνωσης και πολυπλοκότητας.

Εκτός από την πολυπλοκότητα της βιολογικής οργάνωσης, ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των οργανισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος μεταβολισμού, που τα χαρακτηρίζει. Τυπικοί διαχωρισμοί είναι οι ακόλουθοι:

Ετεροτροφικός-Αυτοτροφικός μεταβολισμός: Η διάκριση σχετίζεται με το είδος του άνθρακα που απαιτείται για τη δόμηση του κυτταρικού υλικού (πολυσακχαρίτες, λιπίδια, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα). Αν ως πηγή άνθρακα χρησιμοποιούνται μόνον απλές οργανικές ενώσεις, δηλαδή άνθρακας σε οργανική μορφή, τότε ο μεταβολισμός (ειδικότερα ο αναβολισμός) χαρακτηρίζεται ως ετεροτροφικός και οι οργανισμοί ως **ετεροτροφικοί**. Αν ως πηγή άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανόργανος άνθρακας (π.χ. CO₂ ή ανθρακικές ρίζες), ο οποίος μέσω του μεταβολισμού μετατρέπεται σε οργανικό άνθρακα, τότε ο μεταβολισμός χαρακτηρίζεται ως αυτοτροφικός και οι οργανισμοί ως **αυτοτροφικοί** (χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι φυτικοί οργανισμοί, όπως τα άλγη και τα φυτά αλλά και ορισμένα βακτηρίδια).

Χημικοσυνθετικός-Φωτοσυνθετικός μεταβολισμός: Η διάκριση σχετίζεται με τον τρόπο πρόσληψης της απαιτούμενης, για τη σύνθεση και τις άλλες λειτουργίες του οργανισμού, ενέργειας. Αν η ενέργεια προσλαμβάνεται μέσω εξώθερμων χημικών αντιδράσεων, τότε ο μεταβολισμός (και ειδικότερα ο καταβολισμός) χαρακτηρίζεται ως χημικοσυνθετικός και οι οργανισμοί ως **χημικοσυνθετικοί**. Αν η ενέργεια προσλαμβάνεται από το ηλιακό φως μέσω της φωτοσύνθεσης, τότε ο μεταβολισμός χαρακτηρίζεται ως φωτοσυνθετικός και οι οργανισμοί ως **φωτοσυνθετικοί** (χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι φυτικοί οργανισμοί).

Σε κάθε περίπτωση η ενέργεια την οποία προσλαμβάνουν οι οργανισμοί (είτε χημικοσυνθετικά μέσω των εξώθερμων χημικών αντιδράσεων, είτε φωτοσυνθετικά από το ηλιακό φως) αποθηκεύεται και στη

συνέχεια αποδίδεται προκειμένου να επιτελεσθούν ενδόθερμες αντιδράσεις (π.χ. αντιδράσεις σύνθεσης με τις οποίες απλές οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε κυτταρικό υλικό). Παρά τις διαφορές τους όλα τα κύτταρα χρησιμοποιούν τον ίδιο φορέα αποθήκευσης της ενέργειας. Πρόκειται για το νουκλεοτίδιο αδενοσίνη που ενώνεται με φωσφορικές ρίζες $(\text{PO}_4)^{\ominus}$ και σχηματίζει την διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και την τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP). Η προσθήκη ενός $(\text{PO}_4)^{\ominus}$ στην ADP είναι ενδόθερμη (προσθήκη ενέργειας), οπότε προκύπτει η ενεργειακά πλουσιότερη ATP. Η μετατροπή $\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$ σημαίνει αποθήκευση, ενώ η μετατροπή $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$ σημαίνει χρησιμοποίηση ενέργειας από το κύτταρο.

Οργανοτροφικός-Λιθοτροφικός μεταβολισμός: Πολλές από τις διαδικασίες μεταβολισμού βασίζονται σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, στις οποίες παρατηρείται ροή ηλεκτρονίων από τους δότες (ενώσεις που οξειδώνονται) στους αποδέκτες (ενώσεις που ανάγονται). Κατά τη ροή ηλεκτρονίων από δότες, που βρίσκονται σε χαμηλότερο (συνήθως αρνητικό) δυναμικό αναγωγής σε σύγκριση με τους αποδέκτες των ηλεκτρονίων, αποδίδεται ενέργεια (εξώθερμη αντίδραση), ενώ αντίθετα η μεταφορά ηλεκτρονίων από δότες που έχουν υψηλότερο δυναμικό αναγωγής σε σχέση με τους αποδέκτες προϋποθέτει προσθήκη ενέργειας (ενδόθερμη αντίδραση). Η ενέργεια μίας εξώθερμης αντίδρασης αποθηκεύεται με μετατροπή της διφωσφορικής αδενοσίνης σε τριφωσφορική, ενώ η απαιτούμενη για μία ενδόθερμη αντίδραση ενέργεια εξασφαλίζεται με μετατροπή της τριφωσφορικής αδενοσίνης σε διφωσφορική.

Η διάκριση μεταξύ οργανοτροφικού και λιθοτροφικού μεταβολισμού σχετίζεται με τη φύση του δότη ηλεκτρονίων, δηλαδή με τη φύση της ουσίας που οξειδώνεται κατά την οξειδοαναγωγή. Αν ο δότης ηλεκτρονίων είναι οργανική ένωση (οργανικός άνθρακας) τότε ο μεταβολισμός χαρακτηρίζεται ως οργανοτροφικός και οι οργανισμοί ως **οργανοτροφικοί**. Αν ο δότης ηλεκτρονίων είναι ανόργανη ένωση τότε ο μεταβολισμός χαρακτηρίζεται ως λιθοτροφικός και οι οργανισμοί ως **λιθοτροφικοί**.

Αερόβιος-Αναερόβιος μεταβολισμός: Η διάκριση σχετίζεται με τη φύση του τελικού αποδέκτη ηλεκτρονίων κατά την οξειδοαναγωγή. Αν τελι-