

**Σ. Π. ΤΣΩΝΗΣ**  
*Αναπληρωτής Καθηγητής*  
*Πανεπιστημίου Πατρών*

# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

 **Παρισωτηρίου**  
Ε Κ Α Δ Ο Χ Ε Ι Ε

ΑΘΗΝΑ 2004

# Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	xv
----------------	----

## Κεφάλαιο 1

<b>Προέλευση των Αστικών Λυμάτων .....</b>	<b>1</b>
--	----------

Εισαγωγή .....	1
1.1 Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης .....	2
1.2 Αστικά λύματα από μικτά και από χωριστικά δίκτυα.....	4
1.3 Βοηθολύματα .....	7

## Κεφάλαιο 2

<b>Παροχή των Αστικών Λυμάτων .....</b>	<b>9</b>
---	----------

Εισαγωγή .....	9
2.1 Διακυμάνσεις της παροχής αστικών λυμάτων .....	10
2.2 Εκτίμηση της παροχής .....	15
2.3 Μέτρηση της παροχής .....	17
2.3.1 Ανάλυση Parshall .....	18
2.3.2 Ανάλυση Palmer-Bowlus .....	21

## Κεφάλαιο 3

<b>Ποιοτικά Χαρακτηριστικά των Αστικών Λυμάτων .....</b>	<b>23</b>
--	-----------

Εισαγωγή .....	23
3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά.....	25
3.1.1 Στερεά .....	25
3.1.2 Θολότητα .....	29
3.1.3 Χρώμα .....	31
3.1.4 Οσμή .....	32

3.1.5	Θερμοκρασία .....	32
3.2	Χημικά χαρακτηριστικά .....	33
3.2.1	Χημικά συστατικά των λυμάτων .....	33
3.2.2	Τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης του οργανικού υλικού ..	35
3.3	Μετρήσεις για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού.....	37
3.3.1	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο .....	37
3.3.2	Θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο .....	40
3.3.3	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο.....	41
3.3.4	Προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα .....	46
3.3.5	Σχολιασμός για τις παραμέτρους ΧΑΟ, ΒΑΟ <sub>5</sub> και ΟΟΑ .....	49
3.4	Ανόργανα συστατικά στα λύματα .....	49
3.4.1	Άζωτο .....	50
3.4.1.1	Αμμωνιακό άζωτο .....	50
3.4.1.2	Οργανικό άζωτο.....	50
3.4.1.3	Οξειδωμένες μορφές αζώτου .....	51
3.4.2	Θειικά .....	51
3.4.3	Φώσφορος.....	52
3.4.4	Προσδιορισμός με την τεχνική της ιοντικής χρωματογραφίας .....	52
3.5	Βιολογικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά.....	53
3.6	Μελέτες προσδιορισμού των χαρακτηριστικών .....	54
3.7	Δειγματοληψία .....	54
3.7.1	Συντήρηση των δειγμάτων .....	55
3.8	Τιμές για τα χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων .....	55

#### **Κεφάλαιο 4**

##### **Διεργασίες και Εγκαταστάσεις**

##### **Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων..... 57**

Εισαγωγή .....	57	
4.1	Γενική διάταξη της εγκατάστασης επεξεργασίας.....	58
4.2	Διεργασίες για την επεξεργασία των λυμάτων .....	60
4.3	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα .....	63

#### **Κεφάλαιο 5**

##### **Προεπεξεργασία των Αστικών Λυμάτων ..... 65**

Εισαγωγή .....	65	
5.1	Εσχαρισμός .....	66
5.1.1	Χονδρές εσχάρες .....	68
5.1.2	Μεσαίες εσχάρες .....	68

5.1.3	Λεπτές εσχάρες .....	74
5.2	Πολτοποιητές και τριβεία .....	77
5.3	Ποσότητα των εσχαρισμάτων .....	85
5.4	Στοιχεία υδραυλικού σχεδιασμού .....	86
5.5	Εξάμμιση .....	88
5.5.1	Μακρόστενοι αμμοσυλλέκτες οριζόντιας ροής .....	90
5.5.2	Τετραγωνικός αμμοσυλλέκτης οριζόντιας ροής .....	97
5.5.3	Λεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες .....	99
5.5.4	Κυκλικοί αμμοσυλλέκτες .....	103
5.6	Εξισορρόπηση .....	105
5.6.1	Σχεδιασμός δεξαμενών εξισορρόπησης .....	106
5.6.2	Προσδιορισμός του απαιτούμενου όγκου δεξαμενής .....	107
5.6.3	Εξομάλυνση της διακύμανσης του οργανικού φορτίου .....	108
5.6.4	Παρατηρήσεις για το σχεδιασμό της δεξαμενής εξισορρόπησης .....	114
5.6.5	Εξοπλισμός δεξαμενών εξισορρόπησης .....	116
5.6.6	Εξισορρόπηση σε νέες και υπάρχουσες εγκαταστάσεις .....	116

## Κεφάλαιο 6

### Η Διεργασία της Καθίζησης στην Επεξεργασία Αστικών Λυμάτων ..... 117

Εισαγωγή .....	117
6.1 Καθίζηση τύπου I .....	119
6.1.1 Καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων σε ιδανική δεξαμενή .....	121
6.1.2 Σχεδιασμός δεξαμενών καθίζησης τύπου I .....	128
6.1.2.1 Πειραματική στήλη για μελέτη καθίζησης τύπου I .....	128
6.2 Καθίζηση τύπου II .....	133
6.2.1 Απόδοση αφαίρεσης με βάση τις ισοαφαίρετικές καμπύλες .....	137
6.2.2 Απόδοση αφαίρεσης για διάφορους υδραυλικούς χρόνους παραμονής .....	138
6.2.3 Μεταφορά των πειραματικών στοιχείων σε τιμές σχεδιασμού .....	139
6.3 Καθίζηση τύπου III και Καθίζηση τύπου IV .....	140
6.3.1 Καθίζηση τύπου III (καθίζηση κατά ζώνες) .....	141
6.3.2 Πειραματική διάταξη για μέτρηση του ρυθμού καθίζησης κατά ζώνες .....	144
6.3.3 Ταχύτητα καθίζησης κατά ζώνες και ροή στερεών .....	145

6.3.4	Δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης μετά από ενεργό ιλύ ..	147
6.3.5	Θεωρία ροής στερεών .....	148
6.4	Καθίζηση τύπου IV .....	154
6.5	Σχεδιασμός δεξαμενών καθίζησης .....	157
6.6	Πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων .....	158
6.6.1	Τυπική πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων .....	158
6.6.1.1	Ορθογωνικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης .....	160
6.6.1.2	Κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης .....	167
6.6.1.3	Παράμετροι σχεδιασμού δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης .....	171
6.6.1.4	Αναμενόμενη απόδοση δεξαμενών απλής πρωτοβάθμιας καθίζησης .....	173
6.6.2	Επιβελτιωμένη πρωτοβάθμια καθίζηση αστικών λυμάτων ....	175
6.6.2.1	Επιβελτίωση με κροκιδωση-θρόμβωση και ιζηματοποίηση .....	175
6.6.2.2	Επιβελτίωση με προαερισμό .....	176

## Κεφάλαιο 7

### Στοιχεία για τους Μικροοργανισμούς ..... 177

Εισαγωγή .....	177
7.1 Στοιχεία βιολογίας .....	177
7.1.1 Ταξινόμηση των μικροοργανισμών .....	178
7.1.2 Βακτήρια .....	182
7.1.3 Μύκητες .....	187
7.1.4 Φύση .....	188
7.1.5 Πρωτόζωα .....	190
7.1.6 Τροχόζωα .....	194
7.1.7 Νηματώδη .....	195
7.1.8 Παρατήρηση στο μικροσκόπιο .....	196
7.2 Εισαγωγή στον μικροβιακό μεταβολισμό .....	196
7.2.1 Συνθήκες λειτουργίας-ανάπτυξης ενός συστήματος μικροοργανισμών .....	202
7.2.2 Ενεργειακές μεταβολές σε συστήματα μικροοργανισμών ....	203
7.3 Ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών .....	209
7.3.1 Ανάπτυξη καθαρής καλλιέργειας μικροοργανισμών σε κλειστό σύστημα .....	209
7.3.2 Κινητική έκφραση Monod .....	213
7.3.3 Αποσύνθεση των μικροοργανισμών .....	214
7.3.4 Ανάπτυξη σε μκτές καλλιέργειες μικροοργανισμών .....	215

**Κεφάλαιο 8****Μέθοδοι και Διεργασίες Βιολογικής Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων ..... 217**

Εισαγωγή .....	217
8.1 Βιοχημικές διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων .....	218
8.2 Ταξινόμηση βιοχημικών διεργασιών για τη βιολογική επεξεργασία .....	220
8.2.1 Βιοχημικές μετατροπές .....	220
8.2.1.1 Αφαίρεση διαλυτού οργανικού υλικού .....	220
8.2.1.2 Σταθεροποίηση αιωρούμενου οργανικού υλικού .....	221
8.2.1.3 Μετατροπή διαλυτού ανόργανου υλικού .....	221
8.2.2 Το βιοχημικό περιβάλλον .....	222
8.2.3 Διαμόρφωση του βιοχημικού αντιδραστήρα .....	223
8.2.3.1 Αντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας .....	223
8.2.3.2 Αντιδραστήρες προσκολλημένης βιομάζας .....	225
8.3 Μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων .....	227
8.3.1 Ενεργός ύψος .....	227
8.3.2 Συστήματα βιολογικής αφαίρεσης θρεπτικών συστατικών .....	231
8.3.3 Αερόβια χώνευση .....	237
8.3.4 Αναερόβια χώνευση και αναερόβια επεξεργασία .....	238
8.3.5 Λίμνες επεξεργασίας .....	241
8.3.6 Βιολογικοί αντιδραστήρες με ρευστοποιημένη κλίη .....	244
8.3.7 Βιολογικοί αντιδραστήρες με περιστρεφόμενο μέσο επαφής .....	246
8.3.8 Αντιδραστήρες με προσκολλημένη βιομάζα σε σταθερό πληρωτικό υλικό .....	246

**Κεφάλαιο 9****Συστήματα Τύπου Ενεργού Ιλύος ..... 249**

Εισαγωγή .....	249
9.1 Διάφοροι τύποι συστημάτων ενεργού ιλύος .....	252
9.1.1 Τύποι που διαφοροποιούνται με βάση τη διαμόρφωση και τον αερισμό .....	252
9.1.1.1 Συμβατικό ή κλασικό σύστημα ενεργού ιλύος .....	252
9.1.1.2 Σύστημα ενεργού ιλύος με βηματοειδή τροφοδότηση .....	253
9.1.1.3 Σύστημα ενεργού ιλύος πλήρους ανάμειξης .....	254
9.1.1.4 Σύστημα ενεργού ιλύος με ανοξικό επιλογήα .....	255
9.1.1.5 Σύστημα ενεργού ιλύος τύπου επαφής-σταθεροποίησης .....	256
9.1.1.6 Σύστημα παρατεταμένου αερισμού .....	257
9.1.1.7 Σύστημα ενεργού ιλύος με καθαρό οξυγόνο .....	258

9.1.2	Άλλα συστήματα τύπου ενεργού ιλύος .....	258
9.2	Λειτουργικές παράμετροι συστημάτων ενεργού ιλύος .....	259
9.2.1	Ποιοτικά χαρακτηριστικά .....	265
9.2.1.1	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο .....	265
9.2.1.2	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο .....	266
9.2.1.3	Αιωρούμενο υλικό .....	270
9.2.1.4	Αζωτούχα συστατικά .....	271
9.3	Κινητική για αφαίρεση οργανικού υλικού και παραγωγή βιομάζας .....	273
9.3.1	Τροφодότηση με διαλυτό βιοαποδοσούμενο οργανικό υλικό .....	275
9.3.1.1	Παραγωγή ενεργού βιομάζας .....	278
9.3.1.2	Παραγωγή συνολικής βιομάζας (ενεργού και θρυμμάτων) .....	279
9.3.2	Τροφодότηση με διαλυτό και αιωρούμενο υλικό .....	281
9.3.3	Παρατηρούμενη απόδοση μετατροπής .....	282
9.3.4	Απαίτηση οξυγόνου .....	284
9.4	Κριτήρια σχεδιασμού και λειτουργία συστημάτων ενεργού ιλύος .....	284
9.4.1	Οργανική φόρτιση .....	285
9.4.2	Χρόνος κράτησης στερεών .....	287
9.4.3	Αιωρούμενα στερεά στη δεξαμενή αερισμού .....	288
9.4.4	Οργανικό υλικό και αιωρούμενα στερεά στην επεξεργασμένη εκροή .....	289
9.4.5	Συντελεστής ασφαλείας .....	290
9.4.6	Δεύτερη όγκου ιλύος .....	292

## **Κεφάλαιο 10**

### **Συστήματα Αιωρούμενης Βιομάζας**

#### **για Αφαίρεση Οργανικού Υλικού**

#### **και Θρεπτικών Συστατικών..... 299**

Εισαγωγή .....	299	
10.1	Αερόβια βιολογική οξειδωση .....	300
10.2	Νιτροποίηση .....	301
10.3	Απονιτροποίηση .....	305
10.4	Κινητική ανάλυση συστημάτων επεξεργασίας με περισσότερες από μια βιολογικές διεργασίες .....	308
10.4.1	Στοιχειομετρία βιοχημικών αντιδράσεων .....	308
10.4.2	Διάφοροι τρόποι έκφρασης της στοιχειομετρίας των αντιδράσεων .....	309
10.4.3	Ρυθμός μετατροπής σε βιοχημικές αντιδράσεις .....	315

10.4.4	Διάφοροι τρόποι παρουσίασης της στοχειομετρίας .....	316
10.4.5	Στοιχεία σχετικά με την ενδογενή αναπνοή .....	318
10.4.5.1	Η παραδοσιακή προσέγγιση .....	318
10.4.5.2	Η θεώρηση λύσης και νέας ανάπτυξης (lysis-regrowth) .....	318
10.4.6	Κινητική ανάλυση ανάπτυξης ετερότροφων μικροοργανισμών με παραδοχή του παραδοσιακού μοντέλου ενδογενούς αναπνοής .....	320
10.4.7	Κινητική ανάλυση ανάπτυξης ετερότροφων μικροοργανισμών με παραδοχή του μοντέλου lysis-regrowth για την ενδογενή αναπνοή .....	323
10.4.8	Το μοντέλο ενεργού υλός No.1 της IAWPRC .....	324
10.4.8.1	Γενικά για την λογική του μοντέλου .....	325
10.4.8.2	Τα διάφορα συστατικά που περιλαμβάνονται στο μοντέλο .....	330
10.4.8.3	Οι διεργασίες που περιλαμβάνει το μοντέλο .....	332
10.5	Διαλυτό οργανικό υλικό μικροβιακής προέλευσης .....	336
10.6	Συστήματα επεξεργασίας για βιολογική αφαίρεση αζώτου .....	337
10.6.1	Το σύστημα Ludzak-Ettinger .....	338
10.6.2	Το τροποποιημένο σύστημα Ludzak-Ettinger .....	339
10.6.3	Σύστημα νιτροποίησης-απονιτροποίησης με βηματική τροφοδότηση λυμάτων.....	339
10.6.4	Σύστημα μετααπονιτροποίησης χωρίς προσθήκη άνθρακα .....	340
10.6.5	Σύστημα Bardenpho τεσσάρων σταδίων.....	340
10.6.6	Αφαίρεση αζώτου σε συστήματα με διακοπτόμενη τροφοδότηση και διαδοχικούς λειτουργικούς κύκλους.....	341
10.6.7	Η μέθοδος Bio-denitro .....	342
10.6.8	Συστήματα οξειδωτικών τάφρων .....	343
10.6.8.1	Οξειδωτική τάφρος με συνεχή λειτουργία των βουρτσών αερισμού .....	344
10.6.8.2	Οξειδωτική τάφρος με διακοπτόμενο αερισμό ..	344
10.6.9	Συστήματα μετααπονιτροποίησης με εξωτερική πηγή άνθρακα .....	345
10.6.9.1	Σύστημα με ταυτόχρονη οξείδωση οργανικού υλικού και νιτροποίηση και χωριστή απονιτροποίηση .....	345
10.6.9.2	Σύστημα με χωριστή οξείδωση οργανικού υλικού, χωριστή νιτροποίηση και χωριστή απονιτροποίηση .....	346



10.6.10	Σχεδιασμός συστημάτων βιολογικής αφαίρεσης αζώτου .....	346
10.7	Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου .....	347
10.7.1	Βιολογική αφαίρεση φωσφόρου από το κύριο ρεύμα επεξεργασίας .....	349
10.7.2	Αφαίρεση φωσφόρου από πλευρικό ρεύμα (μέθοδος Phostrip) .....	350
10.8	Επεξεργασία για ταυτόχρονη αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου .....	351
10.8.1	Η μέθοδος A <sup>2</sup> /O .....	352
10.8.2	Η τροποποιημένη μέθοδος Bardenpho (5 σταδίων) .....	353
10.8.3	Η μέθοδος UCT .....	354
10.8.4	Η τροποποιημένη μέθοδος UCT (Modified UCP, MUCP) .....	354
10.8.5	Η μέθοδος VIP .....	354
10.8.6	Συστήματα επαναλαμβανόμενων λειτουργικών κύκλων ....	355
10.8.7	Άλλα συστήματα για ταυτόχρονη βιολογική αφαίρεση αζώτου και φωσφόρου .....	356
10.9	Σχεδιασμός συστημάτων βιολογικής αφαίρεσης φωσφόρου και αζώτου .....	356

## Κεφάλαιο 11

<b>Συστήματα Αερισμού .....</b>	<b>359</b>
Εισαγωγή .....	359
11.1 Μηχανισμός μεταφοράς οξυγόνου .....	360
11.2 Τυπικά συστήματα αερισμού .....	361
11.3 Μεταφορά οξυγόνου σε καθαρό νερό .....	363
11.4 Εκτίμηση της μεταφοράς οξυγόνου σε υγρά απόβλητα .....	364
11.5 Συστήματα αερισμού με διάχυση αέρα .....	367
11.5.1 Πορώδεις διαχύτες .....	368
11.5.2 Μη πορώδεις διαχύτες .....	370
11.5.3 Άλλα συστήματα αερισμού με διάχυση .....	371
11.6 Μηχανικά συστήματα αερισμού .....	372
11.6.1 Αεριστήρες κατακόρυφου άξονα και χαμηλής ταχύτητας .....	373
11.6.2 Επιφανειακοί αεριστήρες κατακόρυφου άξονα και υψηλής ταχύτητας .....	375
11.6.3 Διατάξεις επιφανειακού αερισμού με οριζόντιο άξονα ....	376
11.6.4 Συστήματα αερισμού με αναρρόφηση αέρα .....	377
11.7 Άλλα συστήματα αερισμού .....	378
11.8 Γενικά για τα συστήματα αερισμού .....	379

**Κεφάλαιο 12****Συστήματα Προσκολλημένης Βιομάζας ..... 381**

Εισαγωγή .....	381
12.1 Σταλαγματικά φίλτρα.....	383
12.1.1 Κατάταξη των σταλαγματικών φίλτρων.....	390
12.1.2 Απόδοση αφαίρεσης οργανικού υλικού.....	394
12.1.2.1 Εμπειρικές σχέσεις .....	395
12.1.2.2 Άλλες σχέσεις .....	398
12.2 Αερόβιες περιστρεφόμενες μονάδες προσκολλημένης βιομάζας ..	401
12.2.1 Μονάδες περιστρεφόμενων βιοδίσκων.....	402
12.2.2 Μονάδες με περιστρεφόμενα μέσα επαφής .....	404

**Κεφάλαιο 13****Απολύμανση ..... 411**

Εισαγωγή .....	411
13.1 Απολύμανση με χλώριο και υποχλωριώδη άλατα.....	413
13.1.1 Μοριακό χλώριο .....	413
13.1.2 Υποχλωριώδη άλατα .....	415
13.1.3 Σχηματισμός χλωραμινών μετά από προσθήκη χλωρίου ή υποχλωριωδών αλάτων .....	417
13.1.4 Χλωρίωση μετατροπής .....	419
13.1.5 Τριαλομεθάνια .....	421
13.1.6 Άλλα παραπροϊόντα απολύμανσης .....	422
13.1.7 Συστήματα χλωρίωσης με χλώριο .....	423
13.1.8 Συστήματα χλωρίωσης με υποχλωριώδη άλατα.....	425
13.1.9 Αποχλωρίωση .....	428
13.1.10 Σχεδιασμός δεξαμενών χλωρίωσης.....	429
13.2 Απολύμανση με όζον .....	431
13.3 Απολύμανση με υπεριώδη εσομβολία (UV).....	436
13.3.1 Σχεδιασμός συστημάτων UV για απολύμανση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.....	440

**Κεφάλαιο 14****Ύλος ..... 445**

Εισαγωγή .....	445
14.1 Χαρακτηριστικά και ποσότητες της παραγόμενης ύλης .....	447
14.1.1 Ειδικά συστατικά-χαρακτηριστικά της ύλης.....	449
14.2 Διαχείριση της ύλης .....	450
14.2.1 Αξιοποίηση σε επωφελείς χρήσεις .....	450
14.2.2 Μη επωφελείς χρήσεις .....	451

14.3	Επεξεργασία της υλός	451
14.3.1	Μείωση του όγκου	452
14.3.2	Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών	452
14.3.3	Μείωση του ρυπαντικού φορτίου, των οσμών και της προσέλκυσης φορέων μόλυνσης	453
14.4	Στάδια και διεργασίες επεξεργασίας της υλός	453
14.4.1	Αντλίες μεταφοράς υλός	453
14.4.2	Άλλες διατάξεις μεταφοράς υλός	459
14.5	Προεπεξεργασία της υλός	459
14.6	Πάχυνση της υλός	460
14.6.1	Πάχυνση με καθίζηση	460
14.6.2	Πάχυνση με επίπλευση	462
14.6.3	Πάχυνση σε φιλτροταινίες βαρύτητας	464
14.6.4	Πάχυνση με περιοτρεφόμενα κυλινδρικά τύμπανα	465
14.6.5	Πάχυνση με φυγοκέντριση	467
14.7	Σταθεροποίηση	469
14.7.1	Αλκαλική σταθεροποίηση	470
14.7.2	Αναερόβια χώνευση	472
14.7.3	Αερόβια χώνευση	477
14.7.4	Λιπασματοποίηση της υλός	480
14.8	Αφυδάτωση της υλός	485
14.8.1	Φυσικές μέθοδοι αφυδάτωσης της υλός	485
14.8.1.1	Συμβατικές κλίνες ξήρανσης	485
14.8.1.2	Κλίνες ξήρανσης με επιστρωμένες επιφάνειες κυκλοφορίας	486
14.8.1.3	Κλίνες αφυδάτωσης με πυθμένα από στοιχεία σφηνοειδών σχισμών στράγγισης	489
14.8.1.4	Κλίνες αφυδάτωσης υποβοηθούμενες από εφαρμογή κενού	490
14.8.1.5	Λίμνες αφυδάτωσης υλός	492
14.8.1.6	Άλλες φυσικές μέθοδοι αφυδάτωσης της υλός	493
14.8.2	Μηχανικές μέθοδοι αφυδάτωσης της υλός	494
14.8.2.1	Αφυδάτωση με φυγοκέντριση	494
14.8.2.2	Αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσα	494
14.8.2.3	Αφυδάτωση με περιστροφική πρέσα	496
14.8.2.4	Αφυδάτωση με κοχλιωτή πρέσα	496
14.9	Θερμική επεξεργασία μη αφυδατωμένης υλός	497
14.10	Θερμική ξήρανση της υλός	499
14.11	Καύση της υλός	503
<b>Βιβλιογραφία</b>		<b>505</b>

## Κεφάλαιο 1

# Πρόελευση των αστικών λυμάτων

### Εισαγωγή

Στις ημέρες μας θεωρείται απαραίτητη ανάγκη για έναν οικισμό η επάρκεια πόσιμου νερού, η ύπαρξη συστήματος διαχείρισης των παραγομένων αποβλήτων και η διασφάλιση αποδεκτής ποιότητας για το περιβάλλον. Το πόσιμο νερό, που αποτελεί θείο δώρο για τον άνθρωπο, μετατρέπεται μετά από τη χρήση του σε υγρά απόβλητα τα οποία είναι ενοχλητικά. Εκεί που τελειώνει το δίκτυο ύδρευσης αρχίζει η παραγωγή των υγρών αποβλήτων που τροφοδοτούν το δίκτυο αποχέτευσης. Η απ' ευθείας αποχέτευση (διάθεση) των υγρών αποβλήτων σε ένα φυσικό (αυθίτως υδάτινο) αποδέκτη δεν αποτελεί λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα περιέχουν διάφορους τύπους σπιν που βρίσκονται σε αιωρούμενη ή κολλοειδή ή διαλυτή μορφή. Οι σπιαντιζές ουσίες εγγυμονούν κινδύνους για τους φυσικούς αποδέκτες και η απ' ευθείας διάθεση των υγρών αποβλήτων δε θεωρείται σήμερα αποδεκτή πρακτική.

Τα υγρά απόβλητα πρέπει να υποβάλλονται πριν από τη διάθεσή τους σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αμβλύνονται οι επιπτώσεις στους αποδέκτες. Ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων έχει κυρίως ως στόχο την προστασία των υδατικών πόρων. Για την επιτυχή διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη η γνώση της προέλευσής τους και των χαρα-

κτηριστικών τους ώστε να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία που είναι αποδεκτή από τους ρυθμούς αυτοκαθαρισμού του αποδέκτη διάθεσής τους. Οι υδάτινοι αποδέκτες γλιτωγχάνουν αποδόμηση των οργανικών συστατικών με τα οποία φορτίζονται (από τη διάθεση υγρών αποβλήτων) εφ' όσον η φόρτιση που δέχονται διατηρείται κάτω από το επίπεδο που αντιστοιχεί στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους.

Εάν ένας υδάτινος αποδέκτης έχει φορτιστεί πέραν των επιπέδων που αντιστοιχούν στην ικανότητα αυτοκαθαρισμού του αρχίζει η εμφάνιση προβλημάτων και παύει να είναι υγιής. Όταν λοιπόν ο υδάτινος αυτός αποδέκτης χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως υδατικός πόρος, απ' όσον γίνεται υδροληψία νερού που προορίζεται για πόσιμο, απαιτούνται πολυδάπανες διεργασίες για την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που ισχύουν για την ποιότητα του πόσιμου νερού.

Η αποχέτευση των οικιακών λυμάτων (υγρά απόβλητα που παράγονται από την κατοικία) είναι μια γνωστή πρακτική από την αρχαιότητα. Η επεξεργασία (καθαρισμός) όμως των οικιακών λυμάτων όπως εφαρμόζεται σήμερα αποτελεί σχετικά πρόσφατη εξέλιξη. Διάφορες ασθένειες που ταλαιπώρησαν την ανθρωπότητα κατά το παρελθόν αφού εκδηλώθηκαν υπό μορφή επιδημιών είναι δυνατόν να μεταδοθούν μέσω του πόσιμου νερού. Μόλις όμως πριν από 100 περίπου χρόνια κατάλαβαν οι άνθρωποι αυτό το γεγονός και συνειδητοποίησαν ότι το πόσιμο νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους ρύπανση. Το πόσιμο νερό όμως δε λαμβάνεται μόνο από σχετικά καλά προστατευμένους υπόγειους υδατικούς πόρους αλλά και από επιφανειακά νερά τα οποία είναι συνήθως οι πιο πρόσφοροι αποδέκτες για τα υγρά απόβλητα.

Η λύση θα ήταν να κρατηθούν τα υγρά απόβλητα μακριά από τα επιφανειακά νερά αλλά κάτι τέτοιο σε έναν αριθμό περιπτώσεων δεν ήταν δυνατόν και έτσι προέκυψε η ανάγκη για την επεξεργασία (καθαρισμό) των υγρών αποβλήτων. Το πρόβλημα των υγρών αποβλήτων γινόταν όλο και πιο έντονο από τις αρχές του 20ου αιώνα και ιδιαίτερα μετά από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο οπότε παρατηρήθηκε έντονη συγκέντρωση πληθυσμών στα αστικά κέντρα και ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη.

### 1.1 Τα υγρά απόβλητα μιας πόλης

Τα υγρά απόβλητα τα οποία συλλέγονται με το σύστημα αποχέτευσης μιας πόλης προέρχονται από τις κατοικίες, από τα κτίρια που στεγάζονται διάφορες υπηρεσίες, από βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες και πιθα-



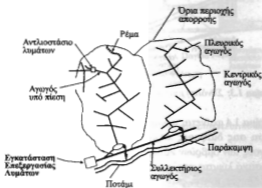
λης ή αιώμα και να απαιτείται πλήρης επεξεργασία προκειμένου να επιτραπεί η διάθεσή τους. Η ροή στους υπονόμους περιλαμβάνει σε πολλές περιπτώσεις και συνεισφορές από εισχωρήσεις/εισορές (infiltration, inflow). Οι εισχωρήσεις οφείλονται σε είσοδο νερού από σημεία ελαττωματικών συνδέσεων, από ρωγμές των αγωγών ή από πορώδη τοιχώματα των υπονόμων. Οι εισροές αντιστοιχούν σε είσοδο νερού διαφόρων ειδικών προελεύσεων και περιτηρείται κυρίως σε περιόδους που έχουμε βροχοπτώσεις.

## 1.2 Αστικά λύματα από μικτά και από χωριστικά δίκτυα

Η παροχή των λυμάτων στο δίκτυο αποχέτευσης κατά τις χρονικές περιόδους που έχουμε βροχοπτώσεις (υγρές περιόδους) δεν είναι η ίδια με την παροχή κατά τις ξηρές περιόδους. Η παροχή υγρής περιόδου εμπεριέχει και τη συνιστώσα των εισχωρήσεων/εισορών ενώ η παροχή ξηρής περιόδου (DWF, Dry Weather Flow) βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματική παραγωγή λυμάτων από τις διάφορες δραστηριότητες. Η παροχή ξηρής περιόδου για τα ευρωπαϊκά δεδομένα είναι στην περιοχή των 200 λίτρων ανά κάτοικο και ημέρα (200 L/capita d) και για τα αμερικανικά δεδομένα είναι 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη. Σε περιόδους που συμβαίνουν έντονες βροχοπτώσεις είναι πιθανόν τα λύματα που αντιστοιχούν να υπερβαίνουν τις ανοχές για υδραυλική φόρτιση. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται παράκαμψη της επί πλέον παροχής λυμάτων. Η παράκαμψη γίνεται είτε αμέσως πριν από την είσοδο στην εγκατάσταση επεξεργασίας είτε σε κατάλληλες θέσεις της διαδρομής του δικτύου αποχέτευσης.

Είναι φανερό ότι η παροχή υγρής περιόδου που αναφέρεται σε ένα χωριστικό σύστημα αποχέτευσης είναι διαφορετική από την παροχή που θα αντιστοιχούσε εάν το σύστημα αποχέτευσης ήταν μιστό. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η διαμόρφωση ενός μικτού συστήματος αποχέτευσης. Παρατηρούμε ότι τόσο τα όμβρια όσο και τα αστικά λύματα αποχετεύονται από τους ίδιους αγωγούς οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί κατά μήκος των δρόμων καθώς και σε άλλες περιοχές όπου παράγονται υγρά απόβλητα ή γενικότερες υγρές απορροές προς αποχέτευση. Όταν η παροχή πριν από την είσοδο στο συλλεκτήριο αγωγό είναι πάνω από ένα επίπεδο τότε γίνεται παράκαμψη μέρους των μικτών απορροών (αστικών λυμάτων και ομβρίων). Σημειώνεται ότι σε μερικές περιπτώσεις ενδέχεται να χρειάζεται να γίνεται παράκαμψη και μέρους της παροχής που εισέρχεται στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Η παράκαμψη αυτή μπορεί να γίνεται προς δεξιμενή (λί-

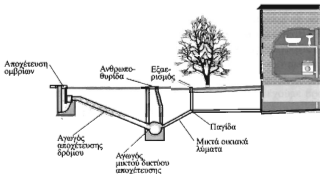
μνη) κράτησης ή προς κάποιον παρακείμενο αποδέκτη. Όταν η παράκαμψη γίνεται προς δεξαμενή κράτησης ακολουθεί επεξεργασία σε περιόδους κατά τις οποίες παρατηρούνται μικρότερες παροχές στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας.



Σχήμα 1.2: Γενική διαμόρφωση μικτού αποχετευτικού δικτύου.

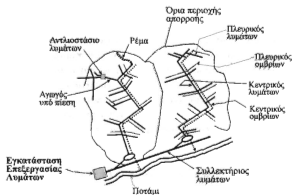
Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται σύνδεση μιας κατοικίας σε ένα μικτό αποχετευτικό δίκτυο. Τα πρώτα συστήματα αποχέτευσης που κατασκευάστηκαν σε πόλεις σκόπευαν στην απαγωγή των ομβρίων και στη διάθεσή τους σε παρακείμενους υδάτινους αποδέκτες. Μεταγενέστερα άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα συστήματα αποχέτευσης ομβρίων και για την απαγωγή οικιακών λυμάτων και άλλων τύπων υγρών αποβλήτων. Με την πάροδο του χρόνου όμως και καθώς οι παροχές των αστικών λυμάτων αυξάνονταν άρχισαν να εμφανίζονται σημαντικά προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών νερών που αποτελούσαν τους αποδέκτες του αποχετευτικού δικτύου. Η κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ήταν η λύση για τη διαφύλαξη της ποιότητας των αποδεκτών διάθεσης. Όμως οι παρακάμπτόμενες παροχές σε περιπτώσεις εντόνων βροχοπτώσεων δημιουργούσαν σημαντικά προβλήματα στους αποδέκτες. Έτσι προέκυψε η ανάγκη για τη χρησιμοποίηση χωριστών συστημάτων αποχέτευσης όπου υπάρχουν δύο διαφορετικά δίκτυα από τα οποία το ένα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τα όμβρια και το άλλο για τα αστικά λύματα καθώς και για άλλα υγρά απόβλητα.



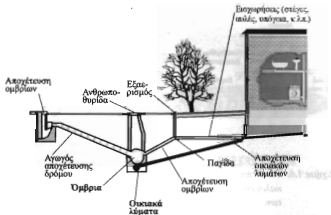


Σχήμα 1.3: Σύνδεση μιας κατοικίας σε μικτό αποχετευτικό δίκτυο.

Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται η διαμόρφωση ενός χωριστικού δικτύου. Παρατηρούμε ότι στις διάφορες περιοχές της πόλης υπάρχουν παράλληλα με τους αγωγούς των ομβρίων και οι αγωγοί αποχέτευσης των αστικών λυμάτων. Τα αστικά λύματα απολήγουν σε έναν κεντρικό συλλεκτήριο αγωγό ο οποίος τα οδηγεί στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Η αποχέτευση των ομβρίων γίνεται στους αποδέκτες διάθεσής τους και με τρόπο που υπαγορεύεται κυρίως από την τοπογραφία της περιοχής. Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται η σύνδεση μιας κατοικίας σε χωριστικό αποχετευτικό δίκτυο.



Σχήμα 1.4: Γενική διαμόρφωση ενός χωριστικού αποχετευτικού δικτύου.

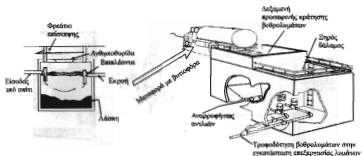


Σχήμα 1.5: Σύνδεση μιας κατοικίας σε χωριστικό αποχρύτετικό δίκτυο.

### 1.3 Βοθρολύματα

Είναι γνωστό ότι ακόμη και σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού σε διάφορες χώρες (και ιδιαίτερα στις λιγότερο ανεπτυγμένες) δεν είναι συνδεδεμένο σε δίκτυο αποχέτευσης και εξυπηρετείται με συστήματα βόθρων. Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται διάθεση σε συστήματα βόθρων ακόμη και υγρών αποβλήτων από βιοτεχνίες ή και από βιομηχανίες.

Τα συστήματα βόθρων για να λειτουργούν αποτελεσματικά θα πρέπει να εκκενώνονται κατά διαστήματα (ανάλογα με τη λόγση σχεδιασμού τους) και τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν κατ' αυτόν τον τρόπο είναι γνωστά ως **βοθρολύματα**. Ο σηπτικός βόθρος είναι η δεξαμενή όπου τροφοδοτούνται τα λύματα και πρέπει να είναι στεγανός. Στο σηπτικό βόθρο γίνεται καθίζηση και κατακράτηση αιωρούμενου υλικού καθώς και μερική αποδόμηση οργανικού υλικού. Η εκροή από το σηπτικό βόθρο θα πρέπει να διατίθεται προσεκτικά διότι πρόκειται ουσιαστικά για λήματα τα οποία έχουν μετατραπεί σε σηπτικά και διαφέρουν από τα φρέσκα κοπριάς στο χρώμα τους που από ξανθό (στα φρέσκα) έχει γίνει μαύρο στα σηπτικά. Σε μερικές περιπτώσεις (και φυσικά σε περιοχές που αυτό επιτρέπεται) η εκροή από το σηπτικό βόθρο οδηγείται προς διάθεση στο υπέδαφος. Η διάθεση αυτή γίνεται είτε με παροχέτευση σε απορροφητικό βόθρο είτε με τροφοδόσή τους σε υπεδάφιο πεδίο διάθεσης.



Σχήμα 1.6: Τα συστήματα βόθρων αποτελούν πηγές υγρών αποβλήτων τα οποία καλούνται να αντιμετωπίσουν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Όταν δεν επιτρέπεται η εδαφική διάθεση των λυμάτων η εκροή της σηπτικής δεξαμενής πρέπει να είναι σφραγισμένη. Στην περίπτωση αυτή η δεξαμενή δε λειτουργεί ως σηπτικός βόθρος αλλά ως δεξαμενή κράτησης των τροφοδοτούμενων λυμάτων τα οποία και θα πρέπει να εκκενώνονται με τη βοήθεια βυτιοφόρων οχημάτων πριν παρουσιασθούν προβλήματα υπερχείλισεων. Ακόμη όμως και στις περιπτώσεις που η δεξαμενή λειτουργεί ως σηπτικός βόθρος είναι απαραίτητο να γίνεται εκκένωσή της κάθε 1-2 έτη ώστε να απομακρύνεται η λάσπη η οποία έχει προκύψει. Τα βυτιοφόρα μεταφέρουν τα βοθρολύματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας και αδειάζουν είτε απ' ευθείας στο κανάλι εισόδου είτε σε ένα σταθμό υποδοχής βοθρολυμάτων. Ουσιαστικά λοιπόν στην περίπτωση των βοθρολυμάτων η μεταφορά γίνεται με βυτιοφόρα οχήματα ενώ στην περίπτωση των αστικών λυμάτων η μεταφορά γίνεται με τους αγωγούς του αποχετευτικού δικτύου.