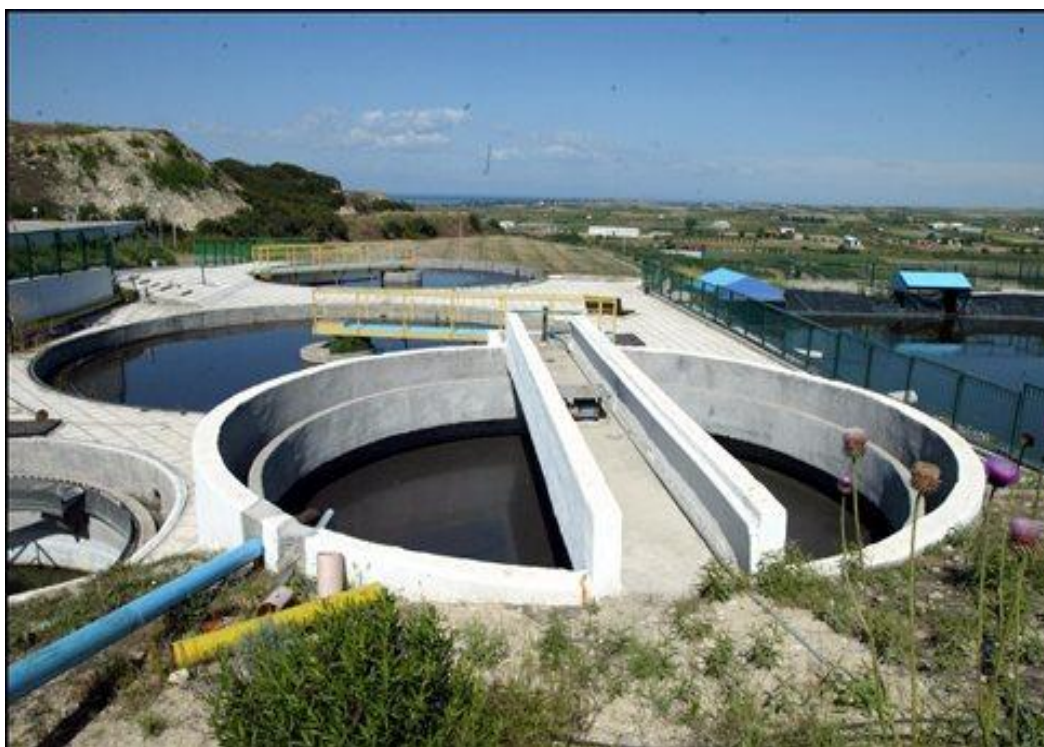


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΙΤΛΟΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ**  
**ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**  
**TITLE: STUDY OF A BIOLOGICAL CLEANING PLANT WITH**  
**FINITE ELEMENTS**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΖΑΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**  
**MERKAJ ENERIK**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Π.Α. ΚΑΚΑΒΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2014**

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Κακαβά Παναγιώτη για την άριστη συνεργασία που υπήρξε μεταξύ μας. Η εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας δεν θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί χωρίς την υποστήριξη, την κατανόηση και τις άπειρες ώρες τις οποίες μας αφιέρωσε για την ολοκλήρωση της. Θέλουμε να τον ευχαριστήσουμε για την καθοδήγησή του σε σημαντικά κομμάτια της πτυχιακής, για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μετέδωσε αλλά και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ .....	8
1.1 Ο ορισμός του βιολογικού καθαρισμού .....	8
1.2 Η ιστορική του εξέλιξη .....	9
1.3 Γενική περιγραφή μονάδος .....	10
1.4 Ο τρόπος λειτουργίας του .....	13
1.5 Οι μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων .....	14
1.6 Στάδια.....	14
1.7 Ευτροφισμός.....	16
1.7.1 Παράμετροι ευτροφισμού .....	17
1.7.2 Η κλίμακα του ευτροφισμού .....	18
1.8 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία.....	19
1.8.1 Φρεάτιο εισόδου – Αγωγός παρακάμψεως .....	19
1.8.2 Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων.....	19
1.8.3 Αντλιοστάσιο αρχικής ανυψώσεως - Μονάδα εσχάρωσης .....	19
1.8.4 Μονάδα εξάρτυσης – απολίπανσης .....	22
1.8.4.1 Αμμοσυλλέκτης .....	22
1.8.5 Λιποσυλλέκτης .....	24
1.8.6 Αυλάκι Parshall .....	25
1.8.7 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως .....	26
1.8.7.1 Αρχή λειτουργίας.....	26
1.8.7.2 Μορφή και διαστάσεις .....	27
1.8.8. Απομάκρυνση της ιλύος .....	28
1.9 Τα είδη του .....	28
1.10 Δευτεροβάθμια επεξεργασία .....	30
1.11 Τριτοβάθμια επεξεργασία .....	33
1.11.1 Χλωρίωση – Αποχλωρίωση .....	34
1.11.2 Χώρος αποχλωρίωσης.....	35
1.11.3 Εξοπλισμός χλωρίωσης – αποχλωρίωσης.....	35
1.12 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του .....	36
1.12.1 Τα πλεονεκτήματα του βιολογικού καθαρισμού.....	36
.....	36
1.12.2 Μειονεκτήματα βιολογικού καθαρισμού .....	38
1.13 Οι εφαρμογές του .....	38
1.14 Χαρακτηριστικά των Ανεπεξέργαστων Αποβλήτων .....	40
1.14.1. Παροχές .....	41
1.14.2. Στερεά συστατικά .....	41
1.14.3. Οργανικά συστατικά.....	42
1.14.3.1 Προσδιορισμός .....	43
1.14.4 Άζωτο.....	44
1.14.4.1 Προσδιορισμός .....	45
1.14.5 Φώσφορος .....	45
1.14.6 Παθογόνοι μικροοργανισμοί .....	46
1.14.7 Θερμοκρασία .....	47
1.14.8 pH και αλκαλικότητα .....	48
1.14.9. Άλλα χαρακτηριστικά .....	48
1.14.9.1 Χλωριούχα .....	49
1.14.9.2 Θείο .....	49
1.14.9.3 Βαρέα μέταλλα .....	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ .....	51
2.1 Η έννοια του ρευστού .....	51
2.2 Ιδιότητες των ρευστών .....	53
2.3 Είδη ρευστών .....	54
2.4 Τύποι ροής.....	55
2.5 Είδη ροών .....	58
2.6 Στρωτή και τυρβώδης ροή .....	58
2.7 Συνθήκη μη ολίσθησης – Οριακό στρώμα.....	60
2.8 Αριθμός Reynolds .....	61
2.9 Βασικές εξισώσεις κίνησης ρευστών .....	63
2.10 Εξίσωση συνέχειας.....	64
2.11 Βασικές έννοιες αξονομετρικών ροών.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ANSYS ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ.....	73
3.1 Εφαρμογή 1 ροή λυμάτων σε αγωγών .....	73
3.2 Εφαρμογή 2 μελέτη εκροής λυμάτων απο δεξαμενές.....	80
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	83

Πίνακας 1 Γενικό διάγραμμα επιπτώσεων του θαλάσσιου ευτροφισμού στους οργανισμούς και το οικοσύστημα.....	17
Πίνακας 2: Παράδειγμα εκτατικών και αντίστοιχων εντατικών ιδιοτήτων συστήματος .....	63

Εικόνα 1 Εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων την περίοδο 1950-1960....	10
Εικόνα 2 Μονάδα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων .....	12
Εικόνα 3 Στάδια επεξεργασίας ενός ολοκληρωμένου βιολογικού καθαρισμού. ....	16
Εικόνα 4 Απλή σχάρα .....	20
Εικόνα 5 Σχάρα με μηχανικό (αυτόματο) καθαρισμό.....	21
Εικόνα 6 Χοντροεσχάρα .....	22
Εικόνα 7 Απλός οριζόντιος αμμοσυλέκτης.....	23
Εικόνα 8 Οριζόντιοι αμμοσυλέκτες : α) ορθογωνική διατομή με αναλογικό εκχειλιστή β) παραβολική διατομή με ορθογωνικό εκχειλιστή.....	23
Εικόνα 9 Αεριζόμενος αμμοσυλέκτης σε τομή.....	24
Εικόνα 10 Λιποσυλλέκτες με ορθογωνική και κυκλική διατομή .....	25
Εικόνα 11 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως .....	26
Εικόνα 12 Κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως .....	27
Εικόνα 13 Επιφανειακή εγκατάσταση .....	29
Εικόνα 14 Υπόγεια εγκατάσταση.....	29
Εικόνα 15 Αναερόβια δεξαμενή φωσφόρου .....	30
Εικόνα 16 Δεξαμενή χλωρίωσης.....	34
Εικόνα 17 Βακτηρίδια.....	47
Εικόνα 18 Πρωτόζωα.....	47
Εικόνα 19 Υπερκρίσιμη και υποκρίσιμη ροή .....	56
Εικόνα 20 Τυρβώδη και στρωτή ροή .....	60
Εικόνα 21 Η αρχική διάταξη που χρησιμοποίησε ο Reynolds .....	61
Εικόνα 22 Αγωγοί εν σειρά.....	70
Εικόνα 23 Αγωγοί εν παραλλήλω .....	70
Εικόνα 24 Χαλύβδινος Αγωγός .....	74
Εικόνα 25 Περιβάλλον ANSYS πρόγραμμα.....	74
Εικόνα 26 Εισαγωγή στοιχείου .....	75

Εικόνα 27 Εισαγωγή γεωμετρικών στοιχείων.....	75
Εικόνα 28 Εισαγωγή στοιχείου .....	76
Εικόνα 29 Εισαγωγή μέτρου ελαστικότητας και συντελεστού τριβής του αγωγού.....	76
Εικόνα 30 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων .....	77
Εικόνα 31 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων .....	77
Εικόνα 32 Αποτελέσματα τιμών πίεσης στους κόμβους .....	78
Εικόνα 33 Διάγραμμα .....	79
Εικόνα 34 Τιμές παροχής και αριθμού Reynolds .....	81
Εικόνα 35 Μεταβολή της πίεσης κατά μήκος των αγωγών (p psi, L ft).....	81
Εικόνα 36 Τιμές κομβικών πιέσεων.....	82

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο σύγχρονος πολιτισμένος κόσμος, μεταξύ των άλλων προβλημάτων που έχει να αντιμετωπίσει, επωμίζεται να προστατεύσει το περιβάλλον, το οποίο ο ίδιος, κάθε στιγμή, με τις ανεξέλεγκτες δραστηριότητές του ρυπαίνει, προσπαθώντας στη συνέχεια να αφαιρέσει τους επιβλαβείς ρύπους και τις ουσίες εκείνες που επιβαρύνουν τη φύση, για να έχει το δικαίωμα της επιβίωσης εντός αυτής. Τα οικοσυστήματα εδάφους, αέρα, λιμνών, θαλασσών και ποταμών είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και όποιο από αυτά διαταραχτεί, επιδρά και στα άλλα, ανάλογα με το μέγεθος της ρυπάνσεως και τον κύκλο της αλυσίδας.

Είναι λοιπόν αναγκαίο, τα στοιχεία τα οποία αποτελούν τα λύματα, να διαχωρίζονται (βιολογικός καθαρισμός) οδηγούμενα στον τελικό αποδέκτη (γη, ποταμό, θάλασσα, κλπ.), να καθίστανται ακίνδυνα και φιλικά προς το περιβάλλον, απολαμβάνοντας ό,τι ακόμη δύνανται να προσδώσουν σ' αυτό, π.χ. πότισμα για ορισμένα είδη φυτών, άρδευση χώρων πρασίνου.

Τα έργα εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων έχουν πρόσφατη ιστορία στην Ελλάδα, αφού βιολογικοί καθαρισμοί οικιακών υγρών αποβλήτων μελετώνται και κατασκευάζονται συστηματικά στη χώρα μας τα τελευταία 25 – 30 χρόνια. Επιπλέον, τα τελευταία μόλις έτη, η πολιτεία και οι διάφοροι φορείς κάνουν προσπάθεια να οργανώσουν τον τομέα προστασίας περιβάλλοντος, μέσω νομοθετικού έργου και ελέγχων, χρηματοδοτήσεων μελετών και έργων, θεσμοθέτησης οργάνων και δημιουργίας σχετικών επιτροπών.

Οι Βορειοευρωπαϊκές χώρες έχουν μια εμπειρία σχεδόν 90 χρόνων στην μελέτη, κατασκευή και διαχείριση παρόμοιων εγκαταστάσεων και έχουν καταλήξει, μέσα από μια πολυετή διαδικασία δοκιμασίας, στα συστήματα εκείνα που ταιριάζουν καλύτερα στις δομές της κάθε χώρας. Για παράδειγμα, έχουν δημιουργηθεί φορείς σε επίπεδο διαδημοτικό, σε επίπεδο νομού ή περιφέρειας, ή ακόμα σε επίπεδο λεκάνης απορροής κάποιου ποταμού, με στόχο τον ουσιαστικό έλεγχο των περιοχών τους, την επιτυχία των μελετών και κυρίως την αποτελεσματική διαχείριση των έργων.

Στη χώρα μας λογικά θα έπρεπε να είχαμε διδαχθεί από τη διεθνή πρακτική και να είχαμε εφαρμόσει, ή προσαρμόσει στα δικά μας δεδομένα, κάποιο από τα ήδη δοκιμασμένα με επιτυχία συστήματα. Δυστυχώς, με τον τρόπο που ενεργούσαμε τα τελευταία χρόνια, αλλά και σε πολλά ζητήματα ενεργούμε ακόμη και σήμερα, θα χρειαστεί να περάσουμε όλες τις δυσκολίες που πέρασαν οι άλλες χώρες και θα απαιτηθούν αρκετές δεκαετίες για να φθάσουμε στο επίπεδό τους.

Τραγικό αποτέλεσμα της ανεπάρκειας θεσμών και υποδομών φαίνεται από κάποιες μελέτες, όπου διαπιστώνεται σοβαρή αστοχία περίπου στο 30 - 35% των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, ποσοστό που αυξάνεται δραματικά στα μικρά σχετικά έργα, για δήμους και κοινότητες με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο από 10 – 15.000 κατοίκους.

Για τους παραπάνω λόγους θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη σημασία:

- α) στη μέθοδο επεξεργασίας, με βάση τον πληθυσμό που πρόκειται να εξυπηρετήσει το έργο, τις ιδιαιτερότητες της περιοχής, τη θέση και τη μορφολογία του οικοπέδου στο οποίο θα γίνει το έργο,
- β) στο βαθμό επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που θα απαιτηθεί, με βάση τις ιδιαιτερότητες του αποδέκτη και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος,
- γ) στο μέγεθος και το είδος της εγκατάστασης, με βάση τις απαιτήσεις για αποτελεσματική λειτουργία και διαχείριση του έργου και τις δυνατότητες (οικολογικές και υποδομής) του φορέα του έργου.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολόκληρου του κειμένου εξίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες και δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Τζανάκης Ιωάννης  
(Υπογραφή)

Μερκαϊ Ενερίκ  
(Υπογραφή)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η επεξεργασία καθαρισμού των λυμάτων αποβλέπει στην απομάκρυνση, εξουδετέρωση ή κατάλληλη τροποποίηση των επιβλαβών χαρακτηριστικών τους, ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (επιφανειακά νερά, έδαφος) συνέπειες.

Τα αστικά λύματα, αν δεν περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιομηχανικών αποβλήτων, είναι σχετικά σταθερής ποιότητας και μπορούν να υποβληθούν σε τυποποιημένες μεθόδους επεξεργασίας καθαρισμού με δοκιμασμένα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντιθέτως τα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν δύσκολα βιοαποδομήσιμες ή τοξικές ουσίες, που παρεμποδίζουν την κανονική ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα. Γι' αυτό είναι πολλές φορές απαραίτητο τα βιομηχανικά απόβλητα, προτού οδηγηθούν στο γενικό δίκτυο συλλογής, να υποστούν μέσα στο εργοστάσιοειδική προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ή εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών.

## **1.1 Ο ορισμός του βιολογικού καθαρισμού**

Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον.

Βιολογικό καθαρισμό λέμε δηλαδή την τεχνητή διαδικασία που ακολουθούμε για να εξομοιώσουμε την λειτουργία της φύσης κατά την αδρανοποίηση των λυμάτων. Η λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού στηρίζεται στη γνωστή μέθοδο της αερόβιας επεξεργασίας. Με λίγα λόγια τροφοδοτούμε το σύστημα μας (στα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων) με λύματα και στην έξοδό του έχουμε καθαρό διαυγές νερό με ποιοτικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για διάθεση σε φυσικό αποδέκτη.

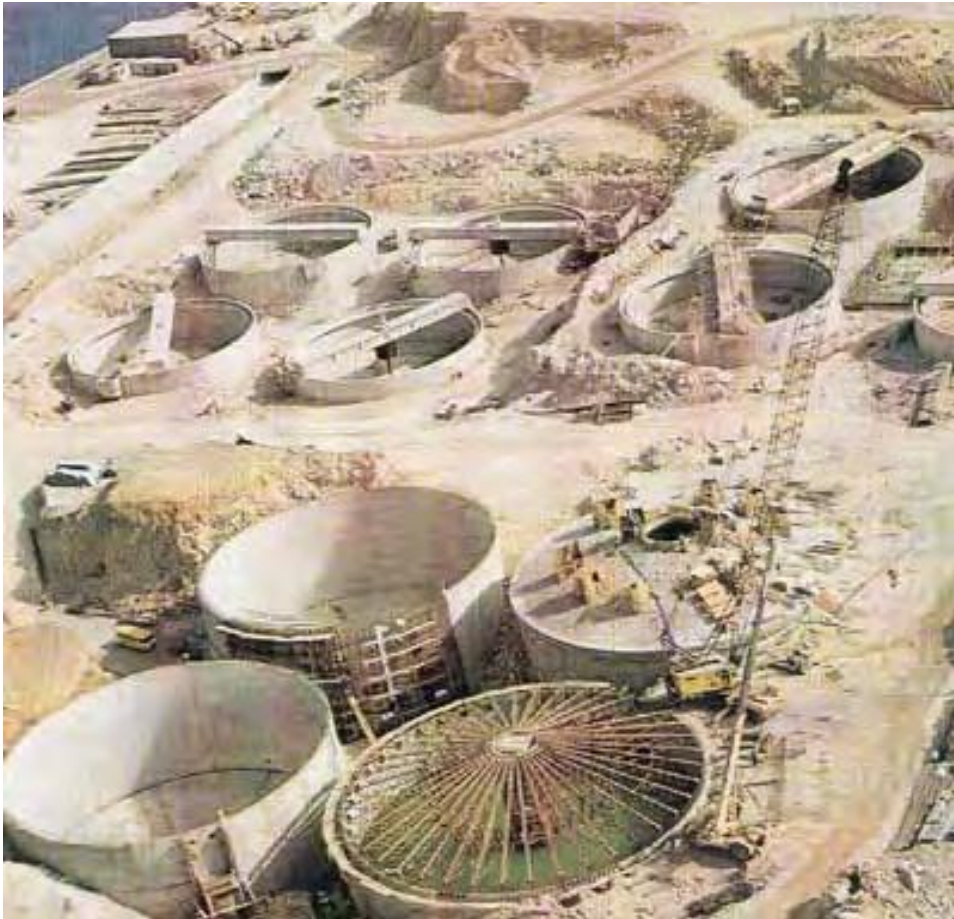


Τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων είναι μεγάλες εγκαταστάσεις με δεξαμενές στις οποίες συγκεντρώνονται τα λύματα των πόλεων, υποβάλλονται σε διαδικασίες καθαρισμού και τελικά διοχετεύονται στη θάλασσα αφού έχουν καθαριστεί σε ποσοστό έως και 95%. Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού είναι μια σύνθετη εργασία που απαιτεί το συνδυασμό βιολογικών, τεχνολογικών και οικονομικών παραγόντων

## **1.2 Η ιστορική του εξέλιξη**

Μέθοδοι απομάκρυνσης των λυμάτων υπήρχαν από τα αρχαία χρόνια κυρίως στους ανεπτυγμένους πολιτισμούς. Υπόνομοι βρέθηκαν σε ερείπια προϊστορικών πόλεων όπως η Κρήτη, και η Συρία. Υπόνομοι οι οποίοι εξυπηρετούσαν την απομάκρυνση της βροχής στην Αρχαία Ρώμη λειτουργούν ακόμα και σήμερα. Κατά τον Μεσαίωνα άρχιζαν να χτίζονται και βόθροι. Όταν γέμιζαν οι εργάτες έπρεπε να τους αδειάζουν με χρέωση του ιδιοκτήτη. Ύστερα απομακρύνονταν σε θαλάσσιες περιοχές και σε λίμνες ή ποτάμια.

Κατά το 19ο αιώνα άρχιζαν να χτίζονται καλύτερα αποχετευτικά συστήματα τα οποία βελτίωσαν την ποιότητα της ζωής. Το 20ο αιώνα πολλές πόλεις και βιομηχανίες κατάλαβαν ότι η απομάκρυνση των λυμάτων απευθείας σε ποταμιά και λίμνες προκαλούσε πολλά προβλήματα υγείας, όπως χολέρα. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Κατά το 1950 και το 1960 άρχισαν να χτίζονται οι πρώτες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 1 Εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων την περίοδο 1950-1960

### **1.3 Γενική περιγραφή μονάδος**

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα συνήθως αποτελούνται από δυο γραμμές επεξεργασίας: τη γραμμή επεξεργασίας λυμάτων και τη γραμμή επεξεργασίας ύψος. Η κάθε μια περιλαμβάνει τις παρακάτω μονάδες .(σχήμα 1.1)

#### Γραμμή επεξεργασίας λυμάτων

- Φρεάτιο εισόδου και διάταξη υπερχείλισης
- Μονάδα υποδοχής και προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων
- Αγωγός παράκαμψης λυμάτων
- Αντλιοστάσιο εισόδου λυμάτων
- Εσχάρωση
- Εξάμωση – απολίπανση
- Μεριστής παροχής

- Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης
- Δεξαμενές βιολογικής αποφωσφόρωσης, απονιτροποίησης και αερισμού
- Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης
- Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος και περίσσειας ιλύος
- Μονάδα απολύμανσης με χλωρίωση και αποχλωρίωση
- Μονάδα μεταερισμού

#### Γραμμή επεξεργασίας ιλύος

- Πάχυνση ιλύος με την αντίστοιχη μονάδα πολυηλεκτρολύτη και τα παρελκόμενα αντλιοστάσια ιλύος
- Αφυδάτωση ιλύος
- Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας στραγγιδίων από την πάχυνση και την αφυδάτωση
- Κτίριο αφυδάτωσης και χώρος αφυδατωμένης ιλύος
- Κλίνες ξηράνσεως

#### Διοικητικό κτίριο

Στο διοικητικό κτίριο υπάρχουν:

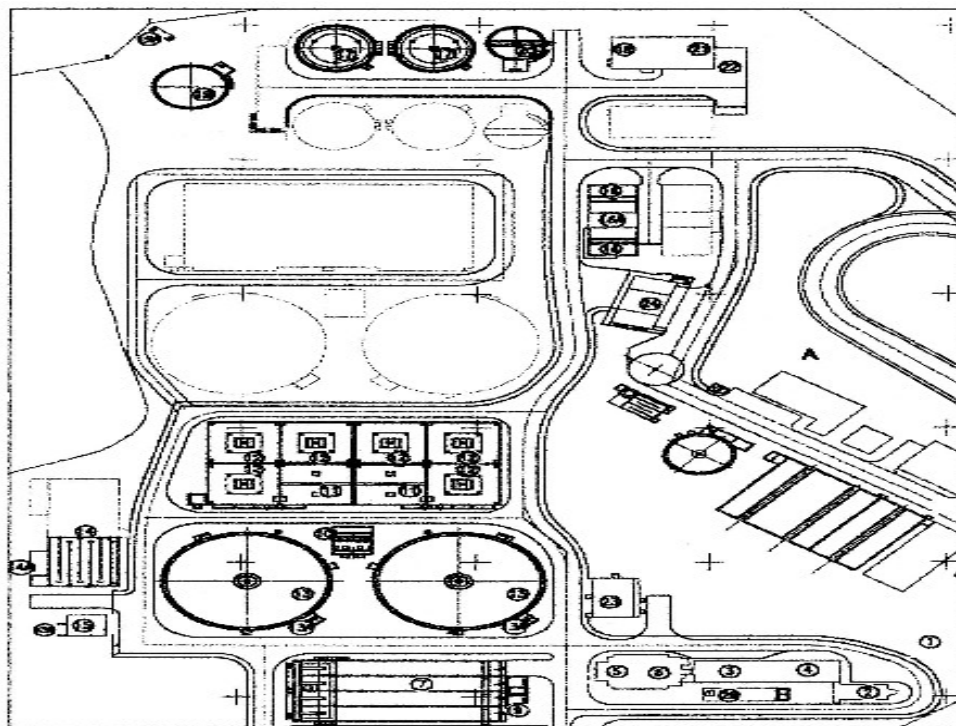
- Κεντρική αίθουσα ελέγχου όπου με τη χρήση του συστήματος αυτοματισμού λαμβάνονται, καταγράφονται και επεξεργάζονται συνεχείς πληροφορίες για τις παροχές, το pH, τη συγκέντρωση οξυγόνου και διάφορες άλλες λειτουργικές παραμέτρους των μονάδων επεξεργασίας.
- Χημικό εργαστήριο εξοπλισμένο με σύγχρονα αναλυτικά όργανα όπως: pHμετρα, συσκευή ελέγχου κροκιδώσεως, συσκευή αποστάξεως νερού, φασματοφωτόμετρο, φορητά pHμετρα, φορητά οξυγονόμετρα, υδατόλουτρα, ψυγείο δειγμάτων, αυτόματο αναλυτή N και P, κλπ.
- Αίθουσα εκπαιδεύσεως και διαλέξεων με βιβλιοθήκη και τον απαραίτητο εξοπλισμό.
- Γραφεία υπευθύνου και προσωπικού.
- Βοηθητικοί χώροι (αποθήκες, χώρους υγιεινής – αποδυτήρια, τραπεζαρία – κουζίνα κ.α.)

## Άλλα κτίρια

- Κτίριο φυσητήρων
- Κτίριο μετασχηματιστή ισχύος
- Ηλεκτρομηχανουργείο και αποθήκες

## Άλλοι χώροι

Χώροι σταθμεύσεως, χώροι πρασίνου, καθώς και άλλοι χώροι για περαιτέρω επέκταση της μονάδας, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΧΕΔΙΟΥ**

1	Φρεάτιο άφιξης λυμάτων	14	Δεξαμενή χλωρίωσης
2	Φρεάτιο εισόδου	15	Κτίριο χλωρίωσης
3	Αντλιοστάσιο εισόδου	16	Παχυντές ιλύος
4	Εσχάρωση	16A	Αντλιοστάσιο παχυμένης ιλύος
5	Εξάμιμωση-απολίπανση	17	Αναερόβιοι χωνευτές
6	Μεριστής παροχής	18	Κτίριο χωνευτών
7	Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης	19	Αεριοφυλάκιο
8	Υπερχειλιστές	19A	Πυρσός καύσης βιοαερίου
9	Αντλιοστάσιο πρωτοβάθμιας ιλύος	20	Δευτεροβάθμιας παχυντής ιλύος
10	Αντλιοστάσιο ενδιάμεσης άντλησης	21	Κτίριο αφυδάτωσης
11	Δεξαμενές απονιτροποίησης	22	Χώρος αφυδατωμένης ιλύος
12	Δεξαμενές αερισμού	23	Υποσταθμός
13	Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης	24	Κτίριο διοίκησης
13A	Αντλιοστάσιο περιοσμείας ιλύος	26	Κτίριο απόσχισης

**Εικόνα 2 Μονάδα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων**

## **1.4 Ο τρόπος λειτουργίας του**

Στον βιολογικό καθαρισμό ουσιαστικά οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο βιοαντιδραστήρα διασπών τους οργανικούς ρύπους και τρέφονται από αυτούς, ενώ ταυτόχρονα πολλαπλασιάζονται. Πιο συγκεκριμένα μέσα στο βιοαντιδραστήρα υπάρχει μεγάλος αριθμός ετεροτροφικών μικροοργανισμών, που αποτελούν τη βιολογική ίλη (λάσπη), ενώ παράλληλα, μέσω ενός συστήματος αερισμού, διοχετεύεται στη μάζα των αποβλήτων αέρας, που είναι απαραίτητος για τη διεργασία, και γίνεται συνεχής ανάδευση του νερού και της βιολογικής μάζας. Έτσι τα βοθρολύματα καθαρίζονται έως και 95%.

Συχνά, αντί για αέρας διοχετεύεται στα απόβλητα καθαρό οξυγόνο, που αυξάνει την απόδοση του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή την ικανότητα επεξεργασίας αποβλήτων ανά μονάδα όγκου του. Οι μικροοργανισμοί διασπών τους οργανικούς ρύπους και τρέφονται από αυτούς, ενώ παράλληλα πολλαπλασιάζονται. Όταν πλέον οι μικροοργανισμοί καταναλώσουν όλη την ποσότητα των οργανικών ουσιών που έχουν την ικανότητα να διασπάσουν και ολοκληρωθεί η βιολογική διεργασία, αρχίζουν να καταναλώνουν το δικό τους οργανικό υλικό, οπότε μειώνεται η συνολική τους μάζα. Τότε τα απόβλητα διοχετεύονται σε μία δεξαμενή καθίζησης, όπου οι εναπομείναντες ζώντες μικροοργανισμοί διαχωρίζονται και επαναδιοχετεύονται στο βιοαντιδραστήρα, ενώ το καθαρισμένο νερό μπορεί να μεταβιβαστεί σε υδάτινους αποδέκτες στο περιβάλλον.

Μετά το διαχωρισμό των μικροοργανισμών, στη δεξαμενή καθίζησης παραμένει ένα υπόλειμμα (ιλύς) από στερεά υλικά, οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομήθηκαν, νεκρούς μικροοργανισμούς κ.λπ. Η ιλύς αυτή πρέπει να αδρανοποιηθεί πριν απορριφθεί στο περιβάλλον, πρέπει επομένως να υποστεί επεξεργασία-συμπύκνωση (πάχυνση), αερόβια ή αναερόβια ζύμωση για τη διάσπαση των μακρομοριακών οργανικών ενώσεων, αφυδάτωση και τελικά απόθεση στο περιβάλλον ή καύση.

## **1.5 Οι μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων**

Οι διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων, με εξαίρεση τις καθαρά χημικές, αποτελούν απομίμηση (με ελεγχόμενες ευνοϊκές συνθήκες) των διαφόρων διεργασιών που γίνονται στη φύση.

Οι πιο συνηθισμένες διαδικασίες καθαρισμού που χρησιμοποιούνται είναι:

- α) εσχάρωση: για τα χοντρά υλικά,
- β) εξάμμωση: για τα βαριά υλικά (χαλίκια, άμμος),
- γ) απολίπανση: για τα επιπλέοντα υλικά (λάδια, λίπη, κλπ.),
- δ) καθίζηση: για την απομάκρυνση μέρους των αιωρουμένων λεπτών στερεών. Συνήθως διακρίνεται σε απλή (1βάθμια), μετά από βιολογική επεξεργασία (2βάθμια) και με χημική υποστήριξη (κροκύδωση),
- ε) χημική κροκύδωση: για τα κολλοειδή υλικά (οργανικά και ανόργανα),
- στ) βιολογική επεξεργασία: για τα πολύ λεπτά ή διαλυμένα οργανικά υλικά,
- ζ) χημική επεξεργασία: για τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά (οξέα, άλατα).
- η) απολύμανση: για τους παθογόνους παράγοντες.

Διευκρινίζεται ότι ανά περίπτωση δεν εφαρμόζονται ταυτοχρόνως όλες οι ανωτέρω επεξεργασίες, αλλά ο καταλληλότερος συνδυασμός με βάση την ποιότητα και ποσότητα των αποβλήτων, την οικονομικότητα, τις τοπικές συνθήκες και τις επιθυμητές χρήσεις του αποδέκτη της τελικής απορροής, λαμβάνοντας υπ' όψιν την προστασία του περιβάλλοντος, τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας καθώς και την ποιότητα της ζωής.

Στην εικόνα 3 φαίνονται τα διάφορα στάδια/βαθμοί επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων, με κατάλληλο συνδυασμό των οποίων είναι δυνατό να επιτευχθεί ο κάθε φορά απαιτούμενος βαθμός καθαρισμού των λυμάτων.

## **1.6 Στάδια**

Για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων έχουν διαμορφωθεί τρία κυρίως στάδια καθαρισμού που χρησιμοποιούν είτε βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας, (σχήμα είτε χημικές, ή ακόμη και συνδυασμό βιολογικών και χημικών μεθόδων επεξεργασίας:

α) Πρωτοβάθμιος ή μηχανικός καθαρισμός: περιλαμβάνει σχάρισμα, εξάμμωση και απολίπανση και κυρίως πρωτοβάθμια καθίζηση με απαραίτητο συμπλήρωμα την επεξεργασία της λάσπης, η οποία πάντως δεν είναι εξ ολοκλήρου μηχανική επεξεργασία. Ο μηχανικός καθαρισμός μπορεί να ελαττώσει το ρυπαντικό φορτίο (στερεά, οργανικά, μικρόβια), κατά μέσον όρο, έως 35 – 50% περίπου.

β) Δευτεροβάθμιος καθαρισμός: η δευτεροβάθμια επεξεργασία καθαρισμού χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση κατά το δυνατό των πολύ λεπτών και διαλυμένων ουσιών. Η επεξεργασία αυτή αποτελείται, είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζομένων αιωρημάτων με δευτεροβάθμια καθίζηση, είτε από χημική υποστήριξη της αρχικής απλής καθιζήσεως με κροκύνωση σε συνδυασμό με άλλες χημικές διεργασίες κυρίως όμως για τα βιομηχανικά απόβλητα.

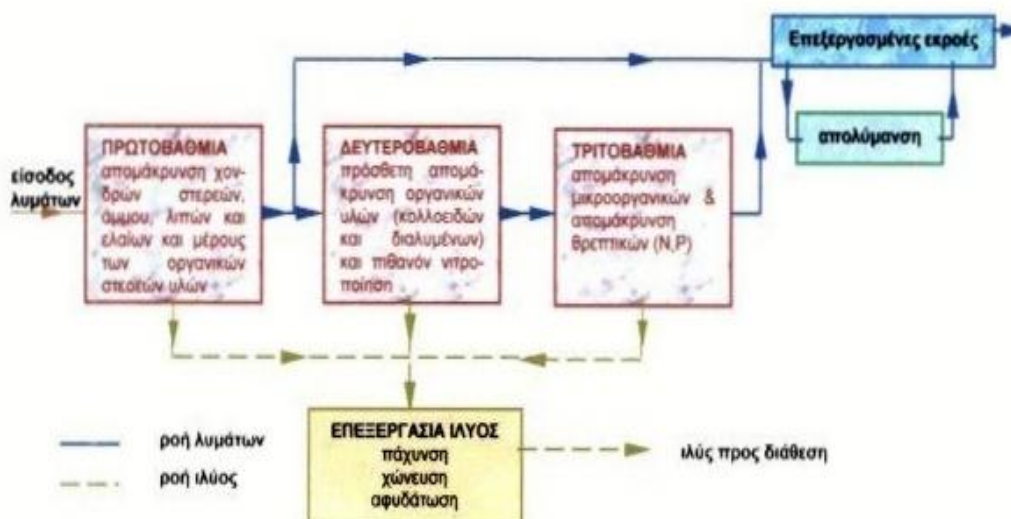
Η δευτεροβάθμια επεξεργασία καθαρισμού και ειδικότερα η βιολογική, η οποία δίνει σε σημαντικό βαθμό οξειδωμένα προϊόντα (π.χ. NO<sub>3</sub>), αποτελεί συνήθως το τελικό στάδιο και χαρακτηρίζεται ως «πλήρης». Μολονότι και σήμερα εξακολουθεί να θεωρείται επαρκής σαν τελικό στάδιο καθαρισμού, σε ειδικές περιπτώσεις γίνεται πιο προχωρημένος καθαρισμός (3βάθμιος).

Η ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου (BOD<sub>5</sub>, αιωρούμενα στερεά, κολοβακτηριοειδή) κατά το δευτεροβάθμιο καθαρισμό (σε συνδυασμό με τον πρωτοβάθμιο) είναι κατά μέσον όρο της τάξεως του 80 – 90 %.

γ) Τριτοβάθμιος ή προχωρημένος καθαρισμός: αποτελεί συνέχεια των προηγούμενων σταδίων και συμπληρώνεται με την απομάκρυνση κυρίως του αζώτου (με την μορφή αμμωνίας NH<sub>3</sub> ή νιτρικών NO<sub>3</sub>) και του φωσφόρου (PO<sub>4</sub>), είτε για την αντιμετώπιση των κινδύνων ευτροφισμού του τελικού αποδέκτη (λίμνη, θάλασσα), είτε και για επαναχρησιμοποίηση της τελικής απορροής για δευτερεύουσες χρήσεις ή ακόμη και για ύδρευση, ύστερα από περαιτέρω επεξεργασίες (απολύμανση, ενεργό άνθρακα).

Οι εφαρμοζόμενες διαδικασίες είναι φυσικές (π.χ. αερισμός για NH<sub>3</sub>), χημικές (ιζηματοποίηση για PO<sub>4</sub>) ή βιολογικές (ανάπτυξη μικροφυκών, απονιτροποίηση).

Και στα τρία στάδια καθαρισμού μπορεί να εφαρμοσθεί μόνιμα ή περιοδικά απολύμανση της τελικής απορροής, συνήθως με χλωρίωση.



Εικόνα 3 Στάδια επεξεργασίας ενός ολοκληρωμένου βιολογικού καθαρισμού.

## 1.7 Ευτροφισμός

Ευτροφισμός είναι η οικολογική δυσμενή κατάσταση που δημιουργείται στους υδάτινους αποδέκτες (κυρίως σε λίμνες ή κλειστές θάλασσες) από τη μεγάλη συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων (ουσιαστικά του αζώτου και του φωσφόρου), η οποία καταλήγει στην υπερανάπτυξη των υδροχαρών φυτών και γενικά των αυτότροφων οργανισμών. Οι νεκρές οργανικές ύλες που τελικά αφήνουν με το θάνατο τους, δεσμεύουν το οξυγόνο για τη βιοαποδόμηση τους, με δυσμενείς συνέπειες για τις ανώτερες μορφές ζωής και το περιβάλλον. Τελικά, η αυξημένη παραγωγή υλικών που καθιζάνουν στον πυθμένα, επιταχύνει και τη γήρανση του υδάτινου αποδέκτη.

Παρότι το φαινόμενο του ευτροφισμού εμφανίζεται με ιδιαίτερη συχνότητα και οξύτητα στις λίμνες και τους ταμειυτήρες, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται όλο και πιο συχνά και στα ποτάμια, ιδιαίτερα στις εκβολές, καθώς και στο θαλάσσιο περιβάλλον, κυρίως σε κλειστές θάλασσες, όπου δεν είναι μεγάλος ο ρυθμός ανανέωσης των υδάτων.

Ετυμολογικά ο όρος ευτροφισμός αναφέρεται περισσότερο στα αίτια προβλήματος παρότι στα αποτελέσματα. Εξάλλου, ο εθτροφισμός έχει χαρακτηριστεί μεταφορικά ως διαδικασία ηλικιώσεως ή γηράνσεως των λιμνών, δίνοντας έμφαση περισσότερο στα αποτελέσματα παρά στα αίτια. Η άποψη αυτή περικλείει κατά κάποιον τρόπο και τα δύο σημερινά



προβλήματα , δηλαδή τον πολιτιστικό ή ανθρωπογενή ευτροφισμό, καθώς και το φυσικό, που από πάντα υπήρχε.

Από γεωλογική άποψη οι λίμνες δεν είναι τίποτε περισσότερο από προσωρινά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης. Σχηματίζονται από γεωλογικά ή φυσικά αίτια και εξαφανίζονται μακροπρόθεσμα με τη διαδικασία του φυσικού ευτροφισμού, που οδηγεί στο γέμισμα των λιμνών με ιζήματα και θρεπτικά υλικά. Έτσι οι λίμνες βρίσκονται κάτω από τη διπλή δράση της πλήρωσης και του ευτροφισμού τους, που επιταχύνεται, όσο οι λίμνες γίνονται ρηχότερες, για να μετατραπούν τελικά σε έλη και βάλτους. Πάντως , η παραπάνω διαδικασία του φυσικού ευτροφισμού είναι πολύ βραδύρρυθμη και απαιτεί αιώνες ή χιλιετηρίδες, για να ολοκληρωθεί. Η σημασία της είναι περιορισμένη και πρακτικά μηδενική, σε σύγκριση με τον ανθρωπογενή ευτροφισμό, που μέσα σε λίγες μόνο δεκαετίες δημιουργεί οξύτατα προβλήματα και επηρεάζει έντονα τις συνθήκες ζωής.

Φάσεις Ευτροφισμού	Οικολογική Ομάδα			
	Μακροφύκη	Φυτοπλαγκτόν	Βένθος	Ψάρια
Εμπλουτισμός	Αύξηση	Αύξηση	Αύξηση	Αύξηση
Αρχική επίπτωση	Μεταβολές στη σύνθεση των ειδών			
Δευτερογενής επίπτωση	Σκίαση σε μεγάλα βάθη	Εξάρσεις τοξικών φυκών	Επιπτώσεις στην συμπεριφορά	
Ακραίες Επιπτώσεις	Μαζική αύξηση φυκών	Τοξικές επιπτώσεις	Θνησιμότητα ειδών	
Τελικές επιπτώσεις	Αναερόβιες συνθήκες και μαζικοί θάνατοι			

Πίνακας 1 Γενικό διάγραμμα επιπτώσεων του θαλάσσιου ευτροφισμού στους οργανισμούς και το οικοσύστημα

### 1.7.1 Παράμετροι ευτροφισμού

Ο ευτροφισμός εξαρτάται από ένα πλήθος μακρο-θρεπτικών και μικρο-θρεπτικών συστατικών. Στα μακρο-θρεπτικά συστατικά περιλαμβάνονται ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο, το άζωτο , ο φώσφορος, το θείο, το κάλιο, το μαγνήσιο, και το ασβέστιο, ενώ μικρο-θρεπτικά συστατικά θεωρούνται ο σίδηρος, το βάριο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, το μολυβδαίνιο, το μαγνήσιο, το κοβάλτιο, το νάτριο και το χλώριο. Τα περισσότερα από τα στοιχεία αυτά δεν είναι δυνατό να τεθούν υπό έλεγχο.

Οι παράμετροι που σχετίζονται με το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι:

1. Η διαφάνεια του νερού,
2. Το μικροβιακό φορτίο
3. Ο οργανικός φώσφορος και το οργανικό άζωτο
4. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>) και
5. Ο κορεσμός του οξυγόνου κοντά στο βυθό (%)

### **1.7.2 Η κλίμακα του ευτροφισμού**

Ο ευτροφισμός ως μορφή ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος παρουσιάζει μια ιδιομορφία σχετικά με άλλες μορφές ρύπανσης, όπως είναι π.χ η ρύπανση από υδρογονάνθρακες, φυτοφάρμακα κ.λ.π, διότι είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι φυσικές διεργασίες του ευτροφισμού, από αυτές που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η ιδιομορφία αυτή αντανακλάται και στη δυσκολία της εκτίμησης του επιπέδου του ευτροφισμού σε ένα υδάτινο οικοσύστημα.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτίμηση του ευτροφισμού είναι :

1. Οι συγκεντρώσεις σε θρεπτικά άλατα, τα οποία και αποτελούν το αίτιο του φαινομένου.
2. Το φυτοπλαγκτό, του οποίου η αύξηση της βιομάζας είναι τελικό αποτέλεσμα του φαινομένου.

Ανάλογα με το στάδιο του ευτροφισμού σε κάποιο υδάτινο οικοσύστημα, το οικοσύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

1. Ολιγότροφο
2. Μεσότροφο
3. Εύτροφο
4. Δύστροφο

## **1.8 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία**

### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

#### **1.8.1 Φρεάτιο εισόδου – Αγωγός παρακάμψεως**

Μέσω του κυρίου αποχετευτικού αγωγού τα λύματα της εξυπηρετούμενης περιοχής καταλήγουν στο φρεάτιο εισόδου. Από το φρεάτιο εισόδου τα λύματα κατά τη κανονική λειτουργία της εγκατάστασης διοχετεύονται προς το αντλιοστάσιο εισόδου. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει η δυνατότητα να οδηγηθούν με διάταξη υπερχειλίσεως προς τον αγωγό παρακάμψεως.

Ο αγωγός παρακάμψεως καταλήγει στο φρεάτιο αρχής του αγωγού διάθεσης και συνδέονται μαζί του όλες οι δεξαμενές της εγκαταστάσεως, ώστε να είναι δυνατή η εύκολη εκκένωσή τους σε περίπτωση που αυτό κριθεί αναγκαίο.

#### **1.8.2 Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων**

Απέναντι από το κτίριο της εσχάρωσης και κοντά στην είσοδο της εγκαταστάσεως υπάρχει το κτίριο υποδοχής και προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων (ισχύει για μονάδες επεξεργασίας που είναι σχεδιασμένες να δέχονται βοθρολύματα) που φθάνουν στην εγκατάσταση με βυτιοφόρα. Εδώ μετά από εσχάρωση, προαερισμό και προσθήκη χημικών για την απομάκρυνση των θειούχων ενώσεων, τα βοθρολύματα οδηγούνται στο φρεάτιο εισόδου της εγκαταστάσεως για να γίνει η επιπλέον επεξεργασία τους μαζί με τα λύματα του αποχετευτικού δικτύου.

#### **1.8.3 Αντλιοστάσιο αρχικής ανυψώσεως - Μονάδα εσχάρωσης**

Το κτίριο εσχάρωσης περιλαμβάνει εντός του το αντλιοστάσιο αρχικής ανυψώσεως και τη μονάδα εσχάρωσης με τον βοηθητικό εξοπλισμό τους. Στο αντλιοστάσιο αρχικής ανυψώσεως οδηγούνται τα λύματα από το φρεάτιο εισόδου και μέσω των αντλιών του ανυψώνονται στη μονάδα εσχάρωσης ώστε στη συνέχεια η κίνησή τους μέσα στην εγκατάσταση να

γίνει με την βαρύτητα. Διαθέτει κι αυτό διάταξη αυτόματης υπερχειλίσεως προς τον αγωγό παρακάμψεως.

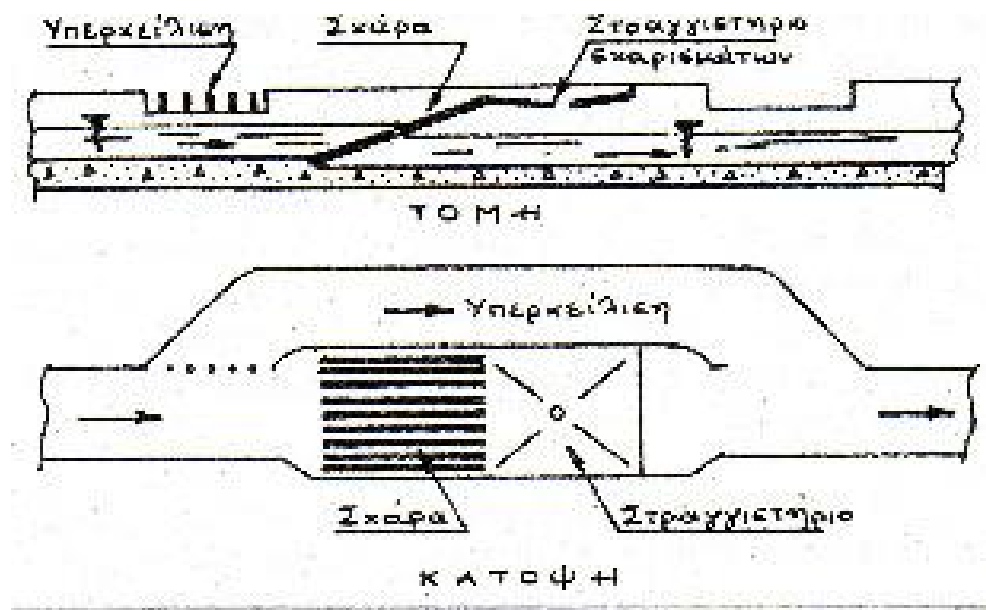
Σκοπός της σχάρας είναι να συγκρατήσει τα παρασυρόμενα σχετικά μεγάλα υλικά, για να προφυλάξει τις επόμενες εγκαταστάσεις από μηχανικές εμφράξεις και φθορές.

Οι σχάρες της μονάδος αποτελούνται συνήθως από παράλληλες σιδερένιες ράβδους με διάκενα και διακρίνονται σε:

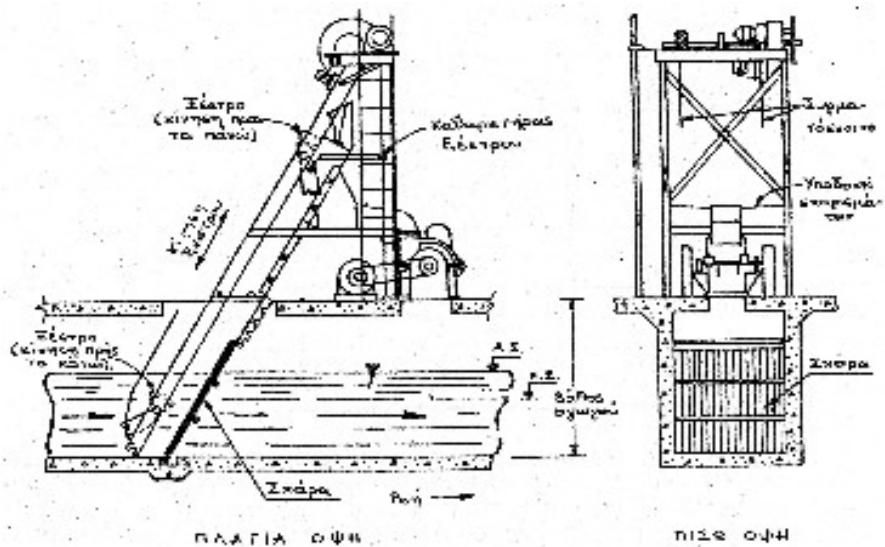
- α) Χοντρές με καθαρά ανοίγματα και διαστάσεις 40 – 150 mm
- β) Μέσες με καθαρά ανοίγματα και διαστάσεις 20- 40 mm
- γ) Λεπτές με καθαρά ανοίγματα και διαστάσεις 5 – 20 mm

Οι ταχύτητες προσεγγίσεως των λυμάτων στις σχάρες πρέπει να μην είναι μικρότερες των 0,3 – 0,5 m/sec, ενώ οι ταχύτητες διελεύσεως μέσα από τα διάκενα μεγαλύτερες από 0,7 – 1,0 m/sec.

Οι σχάρες είτε καθαρίζονται χειρωνακτικά (Εικ. 4), οπότε η κλίση τους είναι περίπου 300 με το έδαφος, είτε αυτόματα (μηχανικά), οπότε είναι σχεδόν κατακόρυφες (Εικ. 4).



Εικόνα 4 Απλή σχάρα



Εικόνα 5 Σκάρα με μηχανικό (αυτόματο) καθαρισμό

Τα σχαρίσματα συλλέγονται σε αυτόματη ταινία μεταφοράς και στράγγισης, κατόπιν συμπιέζονται σε μηχανικό συμπιεστή για τη μείωση του όγκου τους και στη συνέχεια γίνεται η διάθεσή τους. Η διάθεση των σχαρισμάτων γίνεται με χώνευση, ταφή, καύση, διάθεση με τα απορρίμματα ή με άλεση. Η άλεση χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα του απλού σχαρίσματος, που τεμαχίζει μηχανικά τα σχαρίσματα τα οποία ακολουθούν την πορεία των λυμάτων ούτως ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα διαθέσεως.

Στη συνέχεια τα στραγγίσματα συλλέγονται στο δίκτυο στραγγισμάτων και επιστρέφουν στο αντλιοστάσιο αρχικής ανυψώσεως. Το κτίριο εσχάρωσης είναι κατάλληλα αεριζόμενο και διαθέτει μηχανισμό απόσμησης. Μετά την εσχάρωση τα λύματα οδηγούνται στην μονάδα εξάμμωσης – απολίπανσης.



**Εικόνα 6 Χοντροσεγάρα**

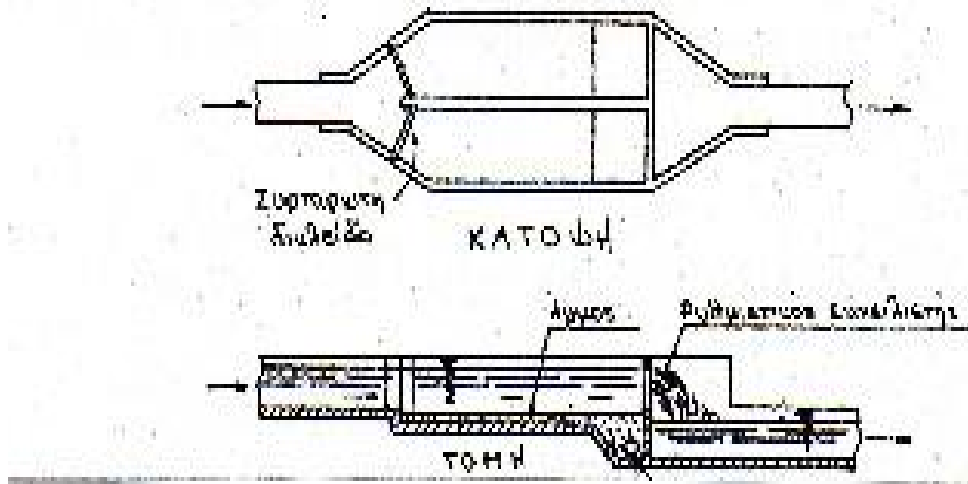
### **1.8.4 Μονάδα εξάρτυσης – απολίπανσης**

#### **1.8.4.1 Αμμοσυλλέκτης**

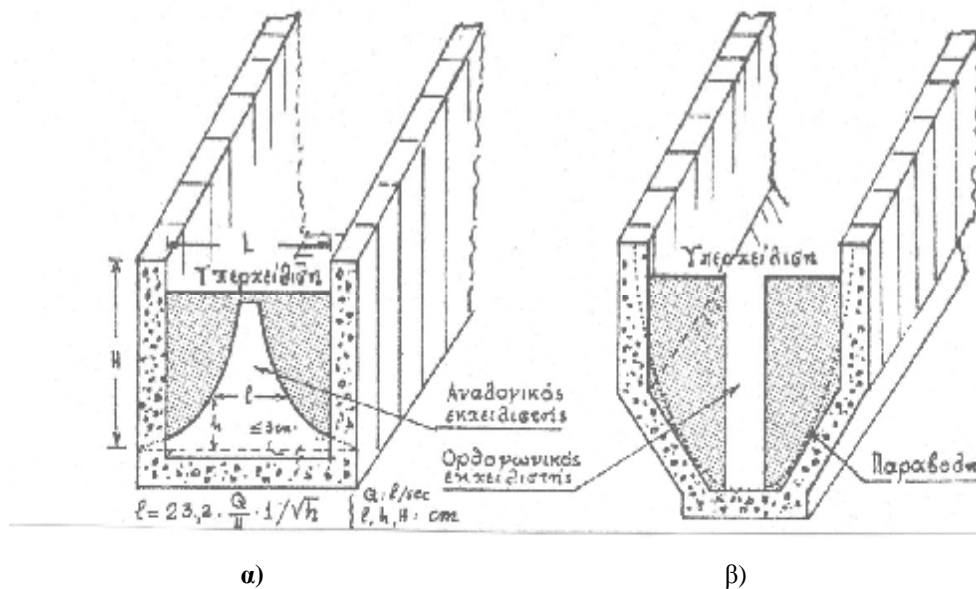
Σκοπός του αμμοσυλλέκτη είναι να συγκρατήσει τα παρασυρόμενα υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος διαμετρήματος συνήθως μεγαλύτερα από 0,15 – 0,20 mm, κυρίως ανόργανα (άμμος, χαλίκια, μέταλλα, κλπ.) για την προστασία των εγκαταστάσεων, προς αποφυγή μηχανικών φθορών (στις αντλίες) ή εμφράξεων (στις σωληνώσεις) και κυρίως την αποφυγή του συχνού καθαρισμού της δεξαμενής χωνεύσεως από τα αδρανή ιζήματα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι αμμοσυλλεκτών, οι οριζόντιοι και οι αεριζόμενοι: Οι οριζόντιοι (Εικ. 7) αποτελούνται από ευθύγραμμο αυλάκι με οριζόντια ροή, όπου η αντίστοιχη ταχύτητα διατηρείται σταθερή, ανεξάρτητα από την παροχή και τη στάθμη πληρώσεως, με κατάλληλη μορφή της διατομής και τοποθέτηση στην έξοδο ειδικού εκχειλιστού. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταξύ άλλων είτε ορθογωνικό

αυλάκι με αναλογικό εκχειλιστή, είτε παραβολικό αυλάκι με ορθογωνικό εκχειλιστή (Εικ. 8). Η μορφή του αναλογικού εκχειλιστή δίνεται από τη σχέση:  $l = 23,2 \cdot Q / H \cdot 1 / \sqrt{h}$ , όπου  $Q$ : l/ sec και  $l, h, H$ : cm.



Εικόνα 7 Απλός οριζόντιος αμμοσυλέκτης

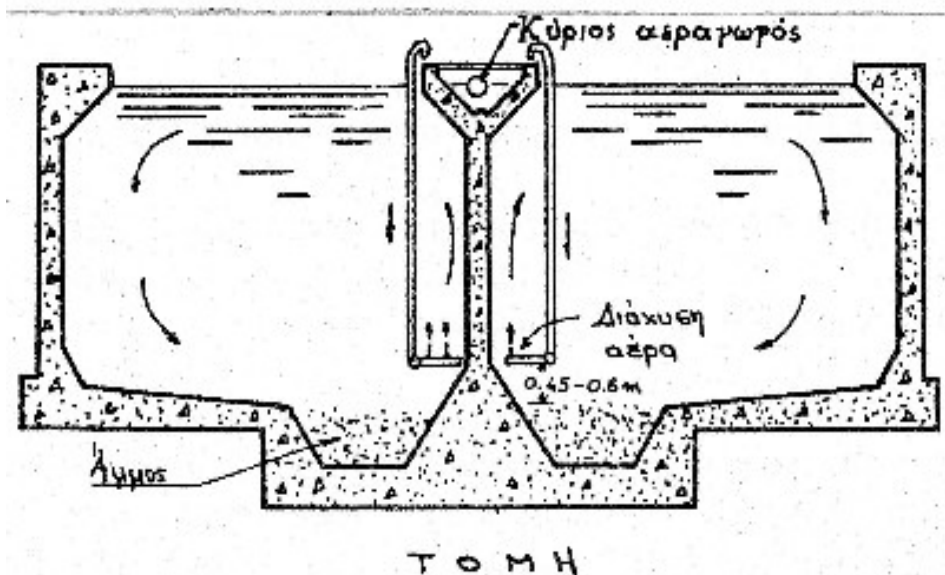


Εικόνα 8 Οριζόντιοι αμμοσυλέκτες : α) ορθογωνική διατομή με αναλογικό εκχειλιστή β) παραβολική διατομή με ορθογωνικό εκχειλιστή

Οι αεριζόμενοι αμμοσυλλέκτες (Εικ. 8), που είναι οι συνηθέστεροι, δημιουργούν με την κατάλληλη διάταξη του αερισμού ελικοειδή ροή των λυμάτων και μπορούν να εξασφαλίσουν με τη ρύθμιση του αέρα σχεδόν πλήρη απομάκρυνση της άμμου, που ταυτόχρονα πλένεται καλά και απαλλάσσεται από τις οργανικές προσμίξεις.

Ο χρόνος παραμονής είναι συνήθως 3 λεπτά για τη μέγιστη παροχή. Η ποσότητα της άμμου στους αμμοσυλλέκτες μπορεί να κυμαίνεται από 7,5 – 90 l / 1000 m<sup>3</sup> (μέση 30 l / 1000m<sup>3</sup>).

Η άμμος, που συλλέγεται στους οριζοντίους αμμοσυλλέκτες, περιέχει πολλά οργανικά υλικά (50 % και περισσότερο), γι' αυτό πρέπει να πλένεται προτού διατεθεί, εκτός αν ενταφιαστεί και σκεπασθεί αμέσως.



Εικόνα 9 Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης σε τομή

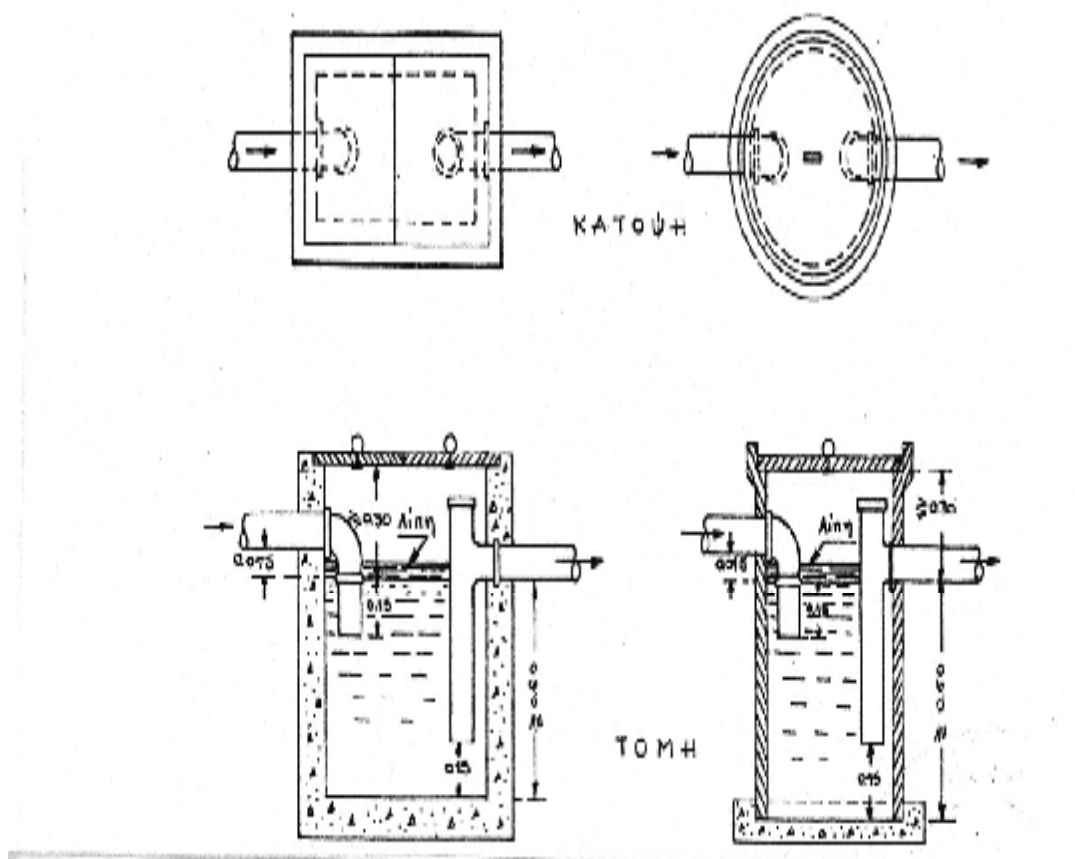
### 1.8.5 Λιποσυλλέκτης

Ο λιποσυλλέκτης (Εικ. 10) διαμορφώνεται σαν παγίδα για την συγκράτηση των επιπλεόντων γενικά υλικών και ουσιών, μεταξύ των οποίων λίπη και λάδια. Δεν είναι πάντα απαραίτητος, αν δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα επιπλεόντων και η δεξαμενή καθιζήσεως έχει κατάλληλο μηχανισμό για τον εξαφρισμό. Σε μονάδες με σχετικά μεγάλες ποσότητες λίπους (εστιατόρια, σφαγεία, βιομηχανίες λιπαρών τροφίμων κλπ.) τοποθετούνται συνήθως λιποσυλλέκτες αμέσως μετά την εγκατάσταση.

Η χωρητικότητά τους υπολογίζεται με χρόνο παραμονής 3 – 5 λεπτά και με δυναμικότητα αποθηκείσεως 40l λίπους ανά 1/sec παροχή. Η θερμοκρασία στην έξοδο πρέπει να είναι μικρότερη από 35ο C. Η απόδοση φθάνει τα 80 – 90 % στη συγκράτηση λίπους, που πρέπει να απομακρύνεται τακτικά.

Σε εγκαταστάσεις με λάδια ή εύφλεκτα υγρά (καθαριστήρια, σταθμοί αυτοκινήτων, διύλιστήρια πετρελαίου κλπ.) χρησιμοποιούνται ειδικοί ελαιοδιαχωριστήρες.





Εικόνα 10 Λιποσυλλέκτες με ορθογωνική και κυκλική διατομή

### 1.8.6 Αυλάκι Parshall

Τα λύματα μετά την εξάμμωση καταλήγουν σε αυλάκι τύπου Parshall. Στο αυλάκι αυτό γίνεται μέτρηση και αυτόματη καταγραφή της παροχής των λυμάτων που εισάγονται στην εγκατάσταση. Οι μετρούμενες παροχές καταγράφονται σε όργανο στιγμιαίας ένδειξης παροχής και αθροιστικό καταγραφικό συνολικής παροχής.

Το *αυλάκι Parshall* αποτελείται από ένα συγκλίνον τμήμα εισόδου, από το λαιμό και από ένα αποκλίνον τμήμα εξόδου. Καθώς η ροή διέρχεται δια μέσου της στένωσης του λαιμού παρατηρείται ανύψωση της στάθμης ανάντη έτσι ώστε να αποκαθίστανται συνθήκες κρισίμου ροής.

Η στάθμη του υγρού ( $h$ ) μετράται σε κατάλληλες θέσεις ανάντη και κατόντη ( $h_a$  και  $h_b$ ) και οι τιμές  $h_a$  και  $h_b / h_a$  αποτελούν τις μεταβλητές με τη βοήθεια των οποίων υπολογίζεται η παροχή. Τα αυλάκια Parshall επιτρέπουν ικανοποιητική μέτρηση και όταν η ροή συμπαρασύρει αιωρούμενο υλικό διότι οι σχετικά μεγάλες ταχύτητες στο λαιμό δεν επιτρέπουν κατακάθιση του υλικού αυτού. Ο υπολογισμός της παροχής γίνεται με τη βοήθεια σχέσεων της μορφής:

$$Q = Ch_a^n$$

Όπου:  $Q$  = παροχή δια μέσου του αυλακιού

$h_a$  = ύψος της στάθμης υγρού ανάντη

$C, n$  = συντελεστές που εξαρτώνται από το πλάτος ( $W$ ) του λαιμού

### 1.8.7 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως

#### 1.8.7.1 Αρχή λειτουργίας

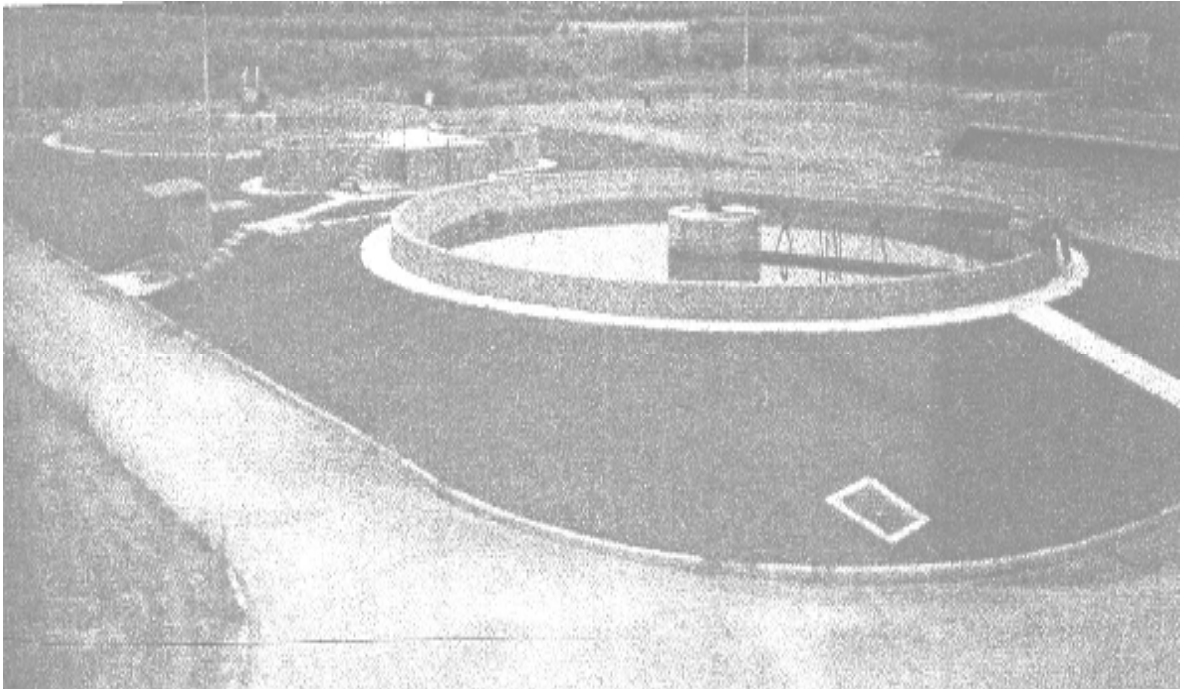
Ύστερα από την προκαταρκτική επεξεργασία καθαρισμού ακολουθεί η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως η οποία αποτελεί την πρώτη βασική μονάδα καθαρισμού που αποσκοπεί στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στη σημαντική ελάττωση της ταχύτητας ροής των λυμάτων, οπότε ελαττώνεται και η συρτική ικανότητα, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα αιωρούμενα υλικά (σίδηρα ξύλα κλπ.) να καθιζάνουν στον πυθμένα (Εικ.10)



Εικόνα 11 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως

### 1.8.7.2 Μορφή και διαστάσεις

Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθιζήσεως έχουν συνήθως μορφή, είτε ορθογωνική με ροή των υγρών κατά μήκος της μεγάλης πλευράς, είτε κυκλική με ακτινωτή ροή από το κέντρο στην περιφέρεια (Εικ.11), είτε τέλος ανεστραμμένη κωνική με λοξή ροή από την κορυφή προς τα επάνω και έξω.



Εικόνα 12 Κυκλική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθιζήσεως

Οι ορθογωνικές δεξαμενές κατασκευάζονται με μήκη μέχρι 90 m (συνήθως 30 m) και πλάτος μέχρι 25 m, ενώ οι κυκλικές με διάμετρο μέχρι 60 m (συνήθως 12 – 30 m). Τα βάθη εκλέγονται συνήθως από 2 – 4 m. Στις ορθογωνικές δεξαμενές ισχύουν οι σχέσεις: Μήκος / Πλάτος =  $1/d = 4/1 - 8/1$  και Μήκος / Βάθος =  $1/B = 11,5/1$ . Ο πυθμένας κατασκευάζεται με κλίση περίπου 1 % για τις ορθογωνικές δεξαμενές και 8 – 12 % για τις κυκλικές. Τέλος ο χώρος συγκεντρώσεως της λάσπης έχει κλίση πλευρών: 1,2 : 1 – 2 : 1.

### **1.8.8. Απομάκρυνση της ιλύος**

Η ιλύς, που καθιζάνει στον πυθμένα, έχει σημαντικό οργανικό φορτίο, γι' αυτό πρέπει να απομακρύνεται συνεχώς με μηχανικό σάρωθρο (αλυσίδα με ξέστρα) ή με άλλον αποτελεσματικό τρόπο, γιατί αν παραμένει, μετά από λίγες ώρες, κυρίως το καλοκαίρι, θα αρχίσει η αναερόβια αποδόμηση και η δημιουργία σοβαρών δυσοσμίων. Η σάρωση της ιλύος γίνεται αντίθετα στη ροή των υγρών και με ταχύτητα 1 – 2 cm / sec, αν και έχει χρησιμοποιηθεί ταχύτητα 0,5 cm / sec σε εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος.

Ταυτοχρόνως με την ιλύ ο ίδιος μηχανισμός αφαιρεί συνήθως και τα επιπλέοντα υλικά από τη δεξαμενή (ξάφρισμα). Η είσοδος και έξοδος των υγρών στη δεξαμενή πρέπει να γίνεται ομοιόμορφα με εγκάρσιο αυλάκι μεγάλου μήκους, για να εξασφαλίζεται μικρή ταχύτητα υπερχειλίσεως.

**Υυπ.=  $Q / d_{υπ.} = 75 - 120 \text{ m}^3 / \text{m ημ. με μέγιστο } 250 \text{ m}^3 / \text{m ημ.}$  Όπου:**

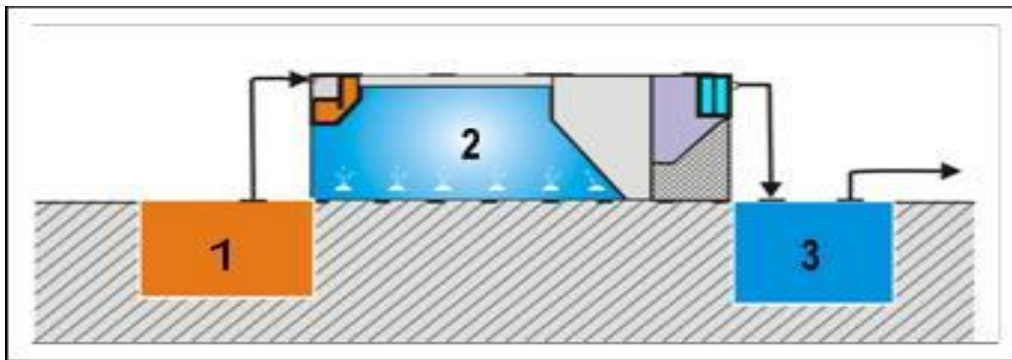
**Υυπ.=** ταχύτητα υπερχειλίσεως

**dυπ.** = διάμετρος αυλακιού υπερχειλίσεως

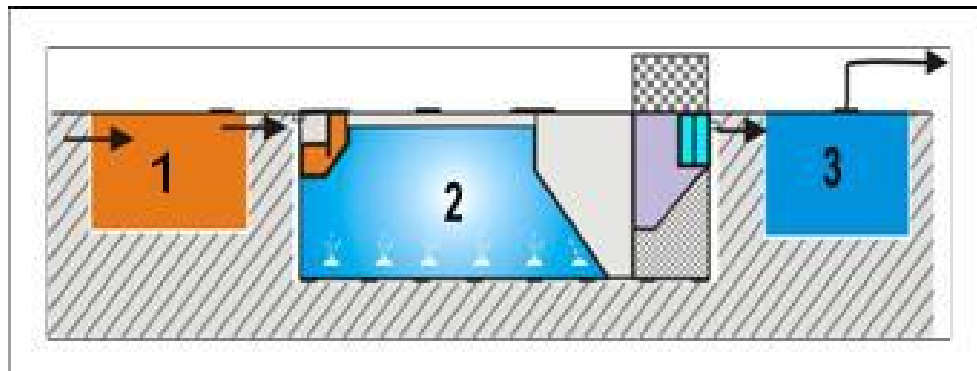
**Q** = παροχή δια μέσου του αυλακιού υπερχειλίσεως

### **1.9 Τα είδη του**

Υπάρχουν αρκετά είδη βιολογικού καθαρισμού με διαφορετικές απαιτήσεις αλλά και με διαφορετικές δυνατότητες. Για παράδειγμα υπάρχουν οι υπόγειοι βιολογικοί καθαρισμοί και οι επιφανειακοί. Ο βιολογικός καθαρισμός τύπου CONTAINER μπορεί να τοποθετηθεί υπεργείως. Μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη θέση ανάλογα με τις μελλοντικές ανάγκες του ιδιοκτήτη



Εικόνα 13 Επιφανειακή εγκατάσταση



Εικόνα 14 Υπόγεια εγκατάσταση

Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί υπογείως δημιουργώντας ανάλογη εκσκαφή, με επιπλέον δυνατότητα μελλοντικής μετεγκατάστασης. Έτσι μπορούμε να εξοικονομήσουμε αρκετό χώρο και να αποφύγουμε τις δυσάρεστες οσμές.

Ένα παράδειγμα υπόγειου βιολογικού καθαρισμού είναι αυτό της Τζιάς ο οποίος είναι και ο πρώτος στο είδος του σε ολόκληρη την Ελλάδα. Λειτουργεί σε ένα εγκαταλειμμένο λατομείο, έκτασης χιλίων τετραγωνικών μέτρων στην Τζιά και Το συνολικό κόστος των έργων κατασκευής του κτιριακού κελύφους, της επιχωμάτωσης και της μετέπειτα αποκατάστασης του επιφανειακού χώρου εκτιμάται σε περίπου 800.000 ευρώ. Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης λύσης είναι η εκμηδένιση, πρακτικά, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού, καθώς δημιουργείται μια υπόγεια, αθέατη υποδομή, χωρίς προβλήματα θορύβου και χωρίς εκπομπές οσμών στο περιβάλλον.

## 1.10 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Στη δευτεροβάθμια επεξεργασία αναλαμβάνει η βιοτεχνολογία να μας παρέχει μεθόδους καθαρισμού των αποβλήτων. Εδώ οι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας συνιστώνται στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να λειτουργήσει ένας βιολογικός αντιδραστήρας. Υπάρχουν δύο βιολογικές διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

**Οι αερόβιες διεργασίες:** Είναι διεργασίες κατά τις οποίες οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το ελεύθερο διαλυμένο οξυγόνο (DO) που υπάρχει στο νερό. Είναι χρήσιμο να ξέρουμε ότι η συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου οξυγόνου σε καθαρό αποσταγμένο νερό είναι περίπου 9mg/l στους 25°C και ότι το DO είναι μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ελέγχεται στις αερόβιες διαδικασίες. Τα προϊόντα της αερόβιας διαδικασίας θεωρούνται ότι έχουν μικρή επίδραση στο περιβάλλον. Αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το νερό (H<sub>2</sub>O), τα νιτρικά, τα θειικά, τα φωσφορικά και καινούρια κύτταρα.



Εικόνα 15: Αναερόβια δεξαμενή φωσφόρου

**Οι αναερόβιες διεργασίες:** Πρόκειται για διεργασίες στις οποίες οι μικροοργανισμοί παίρνουν το απαραίτητο για να ζήσουν οξυγόνο από το δεσμευμένο οξυγόνο που υπάρχει στα οργανικά άλατα {νιτρικά NO<sub>3</sub>, θειικά SO<sub>4</sub>, και φωσφορικά PO<sub>4</sub>) που υπάρχουν στα απόβλητα. Στα προϊόντα της αναερόβιας διαδικασίας περιλαμβάνονται το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το φωσφορικό άλας (PH<sub>3</sub>), το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S) και νέα κύτταρα. Το μεθάνιο είναι πολύ ποιοτικό καύσιμο και η αναερόβια διαδικασία πολλές φορές ρυθμίζεται, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή του. Οι αερόβιες διαδικασίες είναι αυτές με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και είναι πολύ χρήσιμο να περιγράψουμε τις τρεις διαδικασίες που συνθέτουν την αερόβια ομάδα:

**Αποσύνθεση οργανικού υποστρώματος:** Ετερότροφοι οργανισμοί εκμεταλλεύονται τον οργανικό άνθρακα για να αναπτυχθούν. Το οργανικό περιεχόμενο των αποβλήτων υδρολύεται και απορροφάται από τα κύτταρα. Το διαλυμένο οξυγόνο DO χρησιμοποιείται επίσης σ' αυτή τη διαδικασία για να οξειδώσει μέρος της απορροφώμενης οργανικής ύλης και να παραχθεί ενέργεια χρήσιμη στους οργανισμούς.

**Νιτροποίηση:** Μετά τη μείωση του οργανικού άνθρακα αναπτύσσεται ένα διαφορετικό είδος αερόβιων οργανισμών που είναι ικανοί να αποσυνθέσουν την διαλυμένη στο νερό αμμωνία χρησιμοποιώντας οξυγόνο στη διαδικασία αυτή και μειώνοντας περαιτέρω το BOD της εξόδου. Σ' αυτή τη διαδικασία που περιλαμβάνει δύο στάδια χρησιμοποιούνται ειδικευμένα βακτήρια, ό-πως είναι τα Nitrosomonas και Nitrobacter. Οι οργανισμοί αυτοί είναι αερόβιοι αυτότροφοι. Η νιτροποίηση απαιτεί μέσο χρόνο παραμονής περισσότερο από 10 μέρες και έναν λόγο τροφής προς μικροοργανισμούς (F/M) μικρότερο από 0.3.

**Απονιτροποίηση:** Είναι η βιολογική απομάκρυνση των νιτρικών (NO<sub>3</sub>). Αερόβιοι ετερότροφοι οργανισμοί συντελούν σ' αυτή την απομάκρυνση, καθώς κάτω από ανοξικές συνθήκες απορροφούν το απαραίτητο γι' αυτούς οξυγόνο από τα νιτρώδη και νιτρικά που ήδη έχουν δημιουργηθεί κατά τη νιτροποίηση. Με τον τρόπο αυτό, τα προϊόντα της νιτροποίησης μετατρέπονται σε αέριο άζωτο. Από μηχανικής απόψεως τα είδη των βιολογικών αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται είναι τρία: η ενεργός ιλύς, τα βιολογικά φίλτρα και οι λίμνες αερισμού.

**Η διεργασία της ενεργού ιλύος:** Τα αεριζόμενα απόβλητα μπορούν να συντηρήσουν μια μάζα ελεύθερα αιωρούμενων μικροοργανισμών (που αποτελούν την ενεργό ιλύ) και καταναλώνουν την οργανική ύλη των αποβλήτων ως τροφή. Αυτή η διεργασία έχει υλοποιηθεί τεχνολογικά από μια διαδικασία συνεχούς ανατροφοδότησης που περιλαμβάνει μια δεξαμενή αερισμού και μια δεξαμενή καθίζησης. Η ενεργός ιλύς αναπτύσσεται μέσα στη δεξαμενή αερισμού όπου και ευνοείται η ανάπτυξη της λόγω του διαλυμένου οξυγόνου του οποίου η συγκέντρωση μέσα στο μικτό υγρό ελέγχεται και ρυθμίζεται. Αυτό το μικτό υγρό ρέει στη συνέχεια σε μια δεξαμενή καθίζησης όπου τα μεγάλα σωματίδια ιλύος (βιοκροκίδες) καθιζάνουν στον πυθμένα και υπερχειλίζει σχετικά καθαρό υγρό από τη δεξαμενή. Ένα μέρος της ιλύος αποβάλλεται από το σύστημα αλλά ένα ποσοστό τροφοδοτείται πίσω στη δεξαμενή αερισμού για να διατηρηθεί ο πληθυσμός των μικροοργανισμών σε υψηλά επίπεδα.

**Βιολογικά φίλτρα:** Στη διαδικασία αυτή τα απόβλητα ψεκάζονται σε ένα μέσο (πληρωτικό υλικό) ικανό να συντηρήσει ένα πληθυσμό μικροοργανισμών. Το πληρωτικό υλικό αποτελείται από χαλίκια ή πλαστικό. Οι μικροοργανισμοί ζουν και πολλαπλασιάζονται προσκολλημένοι στο πληρωτικό υλικό και αφαιρούν την αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη από τα απόβλητα. Τέλος χρησιμοποιείται και μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης για την απομάκρυνση της αποκολλούμενης από τα βιολογικά φίλτρα ιλύος από τα απόβλητα.

**Λίμνες αερισμού:** Το σύστημα αυτό που χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος αλλά την υψηλή απαίτηση σε έκταση γης αποτελείται από τετράγωνες λίμνες βάθους 1 με 1,5 μέτρο. Χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ένα αερόβιο διάλυμα ιλύος πάνω από ένα αναερόβιο. Διαφορετικές παραλλαγές της εν λόγω διαδικασίας εφαρμόζονται για διαφορετικούς λόγους (για παράδειγμα ελαφρά φορτισμένες λίμνες χρησιμοποιούνται για τον εξευγενισμό του υγρού που εκρέει από ένα βιολογικό καθαρισμό).



### **1.11 Τριτοβάθμια επεξεργασία**

Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποτελείται από μια ομάδα διαδικασιών που ακολουθούνται στο τέλος της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για να επιτύχει συγκεκριμένους στόχους. Ο Wilson (1981) απαριθμεί τις παρακάτω διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην τριτοβάθμια επεξεργασία.

**Απομάκρυνση στερεών:** Είναι σχεδιασμένη για τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου υγρού και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία αυτή είναι τα μικροφίλτρα, η επιφανειακή ροή σε έκταση γης που καλύπτεται με γρασίδι, η ταχεία διήθηση στο υπέδαφος μέσω στρώματος από χαλίκια και τα φίλτρα άμμου.

**Απολύμανση:** Περιλαμβάνει μεθόδους μείωσης του πιο πιθανού αριθμού μικροοργανισμών MPN/ml της ποσοτικής ανάλυσης εντός καθορισμένων ορίων. Μερικές από τις μεθόδους που είδαμε στην απομάκρυνση στερεών μπορούν να συμβάλλουν και στην απολύμανση. Όπου αυτοί δεν επαρκούν, τότε χρησιμοποιούνται απολυμαντικές ουσίες όπως το χλώριο.

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (μ/ο), ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών από νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μ/ο, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.

Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης σε μια ΕΕΑΑ με ΠΑ είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χλωρίωση, έχει το βασικό μειονέκτημα της δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον που διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων, από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες. Είναι λοιπόν προφανές ότι στο υδάτινο περιβάλλον

δεν πρέπει να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες χλωρίου, που προκύπτουν από την αλόγιστη χρήση του στη διαδικασία της χλωρίωσης.

### **1.11.1 Χλωρίωση – Αποχλωρίωση**

Το πιο συνηθισμένο απολυμαντικό μέσο είναι το υποχλωριώδες νάτριο ( $\text{NaOCl}$ ). Διατίθεται στο εμπόριο σε υγρή μορφή με περιεκτικότητα χλωρίου κατά βάρος μικρότερη από 15%<sup>10</sup>.

#### **Δεξαμενή χλωρίωσης**

Επαφή  $\text{NaOCl}$  με τα λύματα γίνεται στη δεξαμενή χλωρίωσης (ΒΧΛ), που καλείται και δεξαμενή επαφής. Η ΒΧΛ πρέπει να εξασφαλίζει τον απαραίτητο χρόνο επαφής με τα απόβλητα (ΘΒΧΛ), ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός χρόνος απομάκρυνσης των παθογόνων μ/ο.



**Εικόνα 16: Δεξαμενή χλωρίωσης**

### 1.11.2 Χώρος αποχλωρίωσης

Οι αντιδράσεις και της αποχλωρίωσης γίνονται σχεδόν ακαριαία και έτσι δεν απαιτείται δεξαμενή αποχλωρίωσης. Η αποχλωρίωση γίνεται με την τοπική διοχέτευση του διοξειδίου του θείου σε περιοχές (π.χ. φρεάτιο εκροής ΒΧΛ) με ισχυρή ανάμιξη και χρόνο παραμονής στην παροχή αιχμής ίσο με 30-60 sec. Οι συνιστάμενες συγκεντρώσεις είναι συνήθως 1.0-1.6 mg/l στη μέση παροχή και 2.0- 5.0 mg/l στην παροχή αιχμής.

Η διοχέτευση διοξειδίου του θείου, μεγαλύτερων από αυτό που απαιτούνται οδηγούν σε κατανάλωση του DO και κατά συνέπεια σε μείωση της συγκέντρωσής του, αύξηση του BOD και πτώση του pH των νερών του αποδέκτη. Οι επιδράσεις αυτές είναι ανεπιθύμητες και μπορεί να αποφευχθούν με τον κατάλληλο έλεγχο του συστήματος αποχλωρίωσης.

### 1.11.3 Εξοπλισμός χλωρίωσης – αποχλωρίωσης

Ο εξοπλισμός ενός συστήματος χλωρίωσης – αποχλωρίωσης αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:1) Δεξαμενές αποθήκευσης υποχλωριώδους νατρίου. Αυτές είναι συνήθως δυο από ανθεκτικό υλικό και έχουν όγκο ικανό για αποθήκευση NaOCl 10-30 ημερών, ανάλογα με τις δυνατότητες συχνής ή όχι προμήθειας NaOCl στην ΕΕΑΑ.Δοχεία ημερησίας κατανάλωσης. Είναι συνήθως δυο και έχουν όγκο ικανό για την αποθήκευση της ημερησίας κατανάλωσης NaOCl. Τροφοδοτούνται με σωλήνες με βαρύτητα από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Τα δοχεία αυτά μπορεί και να παραλείπονται.

Δοσομετρικές αντλίες (χλωριωτές), οι οποίοι είναι διαφραγματικού τύπου με μεταβλητή παροχή. Οι αντλίες λειτουργούν συνέχεια δίνοντας παροχή NaOCl που είναι ανάλογη της παροχής αποβλήτων στη ΕΕΑΑ (ώστε να διατηρείται η συγκέντρωση του χλωρίου στη ΒΧΛ στα επιθυμητά επίπεδα), σύμφωνα με το αναλογικό σήμα του μετρητή παροχής. Παράλληλα, μπορεί να λειτουργούν και δεχόμενες σήματα από τον μετρητή υπολειμματικού χλωρίου κατάντη της ΒΧΛ, ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο η ποσότητα το διοχετευμένου χλωρίου στο υδάτινο αποδέκτη.

Χαλύβδινοι κύλινδροι αποθήκευσης του υγροποιημένου υπό πίεση διοξειδίου του θείου. Δοσομετρικές διατάξεις (θειωτές) παροχέτευσης του διοξειδίου του θείου, ανάλογες των χλωριωτών.

Διατάξεις διοχέτευσης του χλωρίου και διοξειδίου του θείου σε θέσεις που εξασφαλίζεται η πλήρης ανάμιξη με κατάλληλα μέσα π.χ. με αναμικτήρες.

Σύστημα ελέγχου των χλωριωτών και θειωτών με βάση το υπολειμματικό χλώριο και την παροχή. εξοπλισμός της χλωρίωσης και της αποχλωρίωσης εγκαθίσταται σε κατάλληλο κτίριο, που συνήθως αποτελείται από χωριστούς χώρους, όπου βρίσκονται:

(α) δεξαμενές αποθήκευσης του

(β) οι κύλινδροι αποθήκευσης διοξειδίου του θείου και

(γ) οι δοσομετρικές αντλίες με τα δοχεία ημερήσιας κατανάλωσης.

**Απομάκρυνση θρεπτικών:** Όταν διαθέτουμε το παραγόμενο επεξεργασμένο υγρό στο περιβάλλον, τότε είναι σημαντικό να εξασφαλίσουμε ότι δεν δια-ταράσσεται η οικολογική ισορροπία. Οι ενώσεις αζώτου και φωσφόρου που περιέχονται στο υγρό αυτό μπορεί να προκαλέσουν την αλματώδη ανάπτυξη των αλγών σε ποτάμια ή στη θάλασσα και αυτό είναι κάτι που πρέπει να

αποφευχθεί. Η απομάκρυνση του φωσφόρου γίνεται τόσο με χημικό όσο και με βιολογικό τρόπο, ενώ η απομάκρυνση του αζώτου γίνεται με τις βιολογικές διαδικασίες νιτροποίησης και απονιτροποίησης.

## **1.12 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του**

### **1.12.1 Τα πλεονεκτήματα του βιολογικού καθαρισμού**

Ο βιολογικός καθαρισμός με την εφαρμογή της αποτελεσματικής τεχνολογίας μπορεί ουσιαστικά να λύσει όλα τα προβλήματα των υγρών λυμάτων. Είναι από όλους αναγνωρισμένο, ότι η πιο αποτελεσματική βιολογική τεχνολογία του καθαρισμού υγρών λυμάτων είναι αερόβια, δηλαδή με την χρησιμοποίηση των βακτηριδίων «που αναπνέουν» με το οξυγόνο του αέρα. Τα πλεονεκτήματα των αερόβιων διαδικασιών είναι ότι

αποτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των νοσογόνων βακτηριδίων καθώς και την δυσοσμία.

Γενικότερα τα πλεονεκτήματα των εγκαταστάσεων βιολογικού καθαρισμού είναι πολλά και μπορούμε να τα χωρίσουμε σε πλεονεκτήματα για την τοπική κοινωνία (Δήμο ή Κοινότητα) και πλεονεκτήματα για τον ιδιώτη:

#### **Για τον Δήμο:**

- Δεν απαιτείται η κατασκευή αποχετευτικού δικτύου με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση σημαντικών χρηματικών πόρων οι οποίοι μπορούν να κατευθυνθούν σε άλλες παραγωγικές δράσεις.
- Κατασκευάζεται μόνο μια εγκατάσταση υποδοχής και επεξεργασίας νεροπλυμάτων.
- Αποφεύγεται η επιβολή εφάπαξ και μηνιαίου τέλους αποχέτευσης στους δημότες.
- Αποφεύγεται η ταλαιπωρία των κατοίκων από τα έργα κατασκευής του αποχετευτικού δικτύου.

#### **Για τον ιδιώτη:**

- Το επεξεργασμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πότισμα ή και για άλλες χρήσεις, μειώνοντας τον λογαριασμό του νερού και εξοικονομώντας πολύτιμο πόσιμο νερό.
- Απαλλάσσεται από την υποχρέωση καταβολής τέλους σύνδεσης στο αποχετευτικό δίκτυο αλλά και από τα μηνιαία τέλη χρήσης υπονόμων.
- Απαλλάσσεται από το συχνό άδειασμα του βόθρου. Ο οικιακός βιολογικός πρέπει να αδειάζει μια φορά κάθε 1-2 χρόνια.
- Συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος στην περιοχή του.
- Δεν δημιουργεί δυσοσμίες και θόρυβο .
- Ελάχιστη συντήρηση και έξοδα.
- Προστασία του περιβάλλοντος(π.χ. μόλυνση του Υδροφόρου ορίζοντα).
- Απλή και ασφαλής λειτουργία.

#### **Πλεονεκτήματα του ατομικού συστήματος βιολογικού καθαρισμού:**

- Είναι ένα πλήρως βιομηχανοποιημένο προϊόν.

- Δεν απαιτεί μόνιμες εγκαταστάσεις από μπετόν.
- Δεν απαιτείται οικοδομική άδεια.
- Εγκαθίσταται υπό και επί του εδάφους.
- Κατασκευάζεται από πλήρως αντιδιαβρωτικά υλικά.
- Το σύστημα λειτουργεί με πλήρη εφεδρικό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για την απρόσκοπτη συνεχή λειτουργία του.

### **1.12.2 Μειονεκτήματα βιολογικού καθαρισμού**

Τα μειονεκτήματα του βιολογικού καθαρισμού είναι ελάχιστα. Κάποια από αυτά είναι ότι ίσως υπάρχει δυσοσμία ή ενοχλητικός θόρυβος όταν το σύστημα υπερφορτίζεται. Επίσης όσο αναφορά τα συστήματα που χρησιμοποιούν καυστικά χημικά (δεν ισχύει για όλα τα συστήματα βιολογικού καθαρισμού) θα πρέπει να γνωρίζουν πως διαλύουν εύκολα, αποτελεσματικά και άμεσα τα συσσωρευμένα λιπαρά όμως :

- Προκαλούν σημαντική φθορά στους σωλήνες και σε ολόκληρη την εγκατάσταση,
- Έχουν υψηλό και επαναλαμβανόμενο κόστος,
- Είναι ανθυγιεινά και επικίνδυνα και γι' αυτό απαιτούνται ειδικές στολές για τη χρήση τους,
- Διασπώνται δύσκολα και μολύνουν το περιβάλλον,
- Δεν διατηρούν το αποχετευτικό δίκτυο καθαρό, απλά το καθαρίζουν όταν έχει ήδη φράξει, με αποτέλεσμα σε περιόδους αιχμής το πρόβλημα να εμφανίζεται αιφνιδιαστικά και με μεγάλη ένταση.
- Εξολοθρεύουν τους μικροοργανισμούς του βιολογικού καθαρισμού μειώνοντας έτσι την απόδοση του.

### **1.13 Οι εφαρμογές του**

Σήμερα που υπάρχει ευαισθητοποίηση αναφορικά με τη διάθεση και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και υπάρχουν σε λειτουργία πολλές εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού (μικρές εξοχικές κατοικίες έως ξενοδοχεία και μικρές βιοτεχνίες και βιομηχανίες). Το σύστημα

επεξεργασίας σχεδιάζεται για να παρέχει ασφαλές νερό το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση του περιβάλλοντος χώρου ή άλλες χρήσης.

Η εφαρμογή προχωρημένων διεργασιών όπως ο ενεργός άνθρακας και οι ρητίνες απιονισμού μπορούν να εξασφαλίσουν υψηλής καθαρότητας νερό το οποίο είναι κατάλληλο για χρήση εντός της μονάδας παραγωγής ή και στο σπίτι (για το καζανάκι της τουαλέτας) συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων νερού του δικτύου. Αυτό αποδεικνύεται και από τις παρακάτω μετρήσεις :

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ		
	ΟΖΟΝΩΣΗ	U.V.	ΧΛΩΡΙΩΣΗ
απομάκρυνση κολοβακτηριδίων	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή
απομάκρυνση ιών	πολύ καλή	καλή	μέτρια
πιθανότητες επανανάπτυξης μικροοργανισμών	καμία	σημαντική	ελάχιστη
επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον του αποδέκτη	καμία	καμία	αύξηση διαλυτών στερεών
παραπροϊόντα απολύμανσης	κανένα	κανένα	αλογονοφόρμα
επικινδυνότητα παραπροϊόντων	μηδενική	μηδενική	μεγάλη
επικινδυνότητα χρησιμοποιούμενων χημικών	καμία	καμία	μεγάλη
κόστος εγκατάστασης	σημαντικό	σημαντικό	μέσο
κόστος λειτουργίας και συντήρησης	μέσο	σημαντικό	μέσο
προσωπικό λειτουργίας	δεν απαιτείται επιπλέον προσωπικό	1 άτομο/βάρδια	1 άτομο/βάρδια
απαιτούμενη έκταση	μέση	μικρή	μεγάλη

Έτσι το καθαρό πλέον νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε :

- Τουριστικά καταλύματα
- Ξενοδοχεία
- Επιπλωμένα Διαμερίσματα .
- Camping, κατασκηνώσεις
- Κατοικίες
- Δήμους
- Κοινότητες
- Εργοτάξια
- Βιομηχανίες
- Βιοτεχνίες

- Πάσης φύσεως αστικά λύματα
- Βιολογικό καθαρισμό αυτοκινήτου
- Βιολογικό καθαρισμό επίπλων
- Πλοία
- Σε εγκαταστάσεις παραγωγής οργανικών λιπασμάτων, φυτωρίων
- Για καθαρισμό των υδάτων των ιχθυοτροφείων
- Σε χώρους υγιεινής ταφής απορριμμάτων για τον καθαρισμό των διασταλαζόντων υδάτων.

Επίσης η επεξεργασία της λάσπης με τη αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διαδικασία σ' ένα κλειστό χώρο χωρίς αέρα, που επιτρέπει μια σημαντική εξουδετέρωση των οργανικών υλικών διαμέσου μιας βακτηριακής ζύμωσης που παράγει μεθάνιο. Το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύσιμο υλικό και να συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή θερμοηλεκτρικής ενέργειας .

### **1.14 Χαρακτηριστικά των Ανεπεξέργαστων Αποβλήτων**

Τα βασικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων τα οποία καθορίζουν τον σχεδιασμό μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Ανεπεξέργαστων Αποβλήτων (ΕΕΑΑ) είναι τα εξής:

1. Παροχές.
2. Στερεά συστατικά.
3. Οργανικά συστατικά.
4. Άζωτο.
5. Φώσφορος.
6. Παθογόνοι μικροοργανισμοί.
7. Θερμοκρασία.
8. pH και αλκαλικότητα.
9. Άλλα χαρακτηριστικά.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά αυτά



### **1.14.1. Παροχές**

Οι υπόνομοι ακαθάρτων αποχετεύουν τρεις κυρίως κατηγορίες υγρών:

- Λύματα.
- Βιομηχανικά λύματα
- Άντληση υπόγειων νερών, που μπαίνουν στο δίκτυο από ατέλειες των συνδέσεων ή ρήγματα των αγωγών.

#### **α. Λύματα**

Η παροχή των λυμάτων μιας κατοικημένης περιοχής δεν είναι χρονικά σταθερή. Μεταβάλλεται περιοδικά στη διάρκεια του 24ώρου, της εβδομάδας και του χρόνου, εκτός με τη συνεχή αύξηση με την πάροδο των ετών.

#### **β. Βιομηχανικά απόβλητα**

Προκειμένου τα βιομηχανικά απόβλητα να φθάσουν με το δίκτυο υπονόμων ή απευθείας στην αστική εγκατάσταση για επεξεργασία, πρέπει να γίνει συστηματική ποιοτική και ποσοτική απογραφή κυρίως για τις υδροβόρες λεγόμενες βιομηχανίες με επισήμανση της χρονικής κατανομής της παροχής στη διάρκεια της ημέρας και της εβδομάδας.

#### **γ. Διήθηση**

Η ποσότητα των υπόγειων νερών, που εισδύουν στο δίκτυο υπονόμων, εξαρτάται γενικά από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και τη στεγανότητα της κατασκευής.

### **1.14.2. Στερεά συστατικά**

Τα ολικά στερεά συστατικά (Total Solids TS) βρίσκονται αιωρημένα (αιωρούμενα στερεά, Suspended Solids – SS) ή διαλυμένα (διαλυμένα στερεά, Dissolved Solids – DS) στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά ή εξαερώσιμα στερεά (Volatile Solids – VS) και ανόργανα (αδρανή, σταθερά ή μη εξαερώσιμα Volatile ή Fixed Solids – FS) στερεά.

Από άποψη ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος μεγάλη σημασία έχουν τα SS, γιατί κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο φορέα συσσωρεύονται στον πυθμένα δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα. Τα DS προκαλούν τη θολότητα του υδάτινου αποδέκτη.

### **1.14.3. Οργανικά συστατικά**

Τα κυριότερα οργανικά συστατικά των αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- *Πρωτεΐνες:* Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις αποτελούμενες κυρίως από άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο που αποσυντίθεται εύκολα από τους μικροοργανισμούς.
- *Υδρογονάνθρακες:* Περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο, και οξυγόνο. Ορισμένοι (ζάχαρες) διασπώνται εύκολα από μικροοργανισμούς, ενώ άλλοι (άμυλο) δυσκολότερα.
- *Λιπίδια :* Αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου. Βρίσκονται και στα νερά των επιφανειακών απορροών από την έκπλυση των δρόμων (λάδια, πετρέλαια κ.λπ.). Είναι ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες, που δεν διαλύονται στη μάζα των αποβλήτων. Η τυπική σύσταση των αστικών αποβλήτων είναι 40 – 60% πρωτεΐνες, 25 – 50% υδρογονάνθρακες και τα 10% λιπίδια.
- *Επιφανειακές ενεργές ουσίες:* Περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, σαπουνιών κ.τ.λ. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού – αέρα δημιουργώντας αφρούς.
- *Φαινόλες (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH):* Περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα. Δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις (>500mg/l).
- *Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα:* Είναι τοξικές ενώσεις επικίνδυνες για όλες τις μορφές ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα με τις απορροές γεωργικών περιοχών.

Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος όταν οι οργανικές ουσίες διοχετευτούν σε ένα υδάτινο φορέα, οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα τις χρησιμοποιούν ως τροφή καταναλώνοντας παράλληλα το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Όταν ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου ξεπεράσει την ικανότητα επανοξυγόνωσης του φορέα και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου γίνει μικρότερη από μια ορισμένη τιμή, ανατρέπεται η ισορροπία του οικοσυστήματος του φορέα με αποτέλεσμα το θάνατο ψαριών και τη δημιουργία σηπτικών συνθηκών.

Εκτός από τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, που είναι η κύρια επίπτωση της διοχέτευσης οργανικών ουσιών στο περιβάλλον, άλλα προβλήματα είναι η δημιουργία επιφανειακού αντιαισθητικού στρώματος από τα λιπίδια, ενδεικτικού της ρύπανσης (που παράλληλα δυσκολεύει τη μεταφορά του οξυγόνου και του ηλιακού φωτός στο φορέα), η δημιουργία αφρών από τις επιφανειακά ενεργές ουσίες και ο άμεσος θάνατος οργανισμών από τις τοξικές ουσίες.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας, επειδή η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών γίνεται κυρίως από μικροοργανισμούς με κάποια βιολογική διαδικασία, προβλήματα μπορεί να προέλθουν από τη παρουσία οργανικών ουσιών που διασπώνται δύσκολα ή καθόλου, από την παρουσία τοξικών ουσιών θανατηφόρων για τους μικροοργανισμούς και από την παρουσία λιπιδίων, που εμποδίζουν τη μεταφορά οξυγόνου στους μικροοργανισμούς. Ιδιαίτερα τα λιπίδια παρά το γεγονός ότι επιπλέον και μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα, δημιουργούν προβλήματα στη μεταφορά των αποβλήτων μέσα από τους αγωγούς καθώς και στη λειτουργία διαφόρων μονάδων επεξεργασίας (π.χ. με τη δημιουργία επιφανειακού στρώματος στις δεξαμενές των ΕΕΑΑ που μειώνει τον ωφέλιμο όγκο τους ή τη λειτουργικότητα).

#### **1.14.3.1 Προσδιορισμός**

Η μέτρηση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων είναι πρακτικά αδύνατη λόγω της πολύπλοκης σύστασης τους. Έτσι ως μέτρο των οργανικών συστατικών, αλλά και γενικότερα του ρυπαντικού φορτίο τους, χρησιμοποιείται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδώσει

πλήρως τα οργανικά συστατικά τους, που εκφράζεται συνήθως ως BOD ή COD<sup>11</sup>.

#### **1.14.4 Άζωτο**

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα αστικά απόβλητα στις παρακάτω μορφές:

A) Οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, ουρία και αμινοξέα)

B) Αμμωνιακό άζωτο (αμμωνιακά άλατα ή αμμωνία)

Ως προϊόν οξείδωσης των προηγούμενων μορφών το άζωτο μπορεί να υπάρχει ως νιτρικά και νιτρώδη. Οι κύριες μετατροπές που υφίστανται οι παραπάνω μορφές αζώτου κατά τη διοχέτευση τους σε κάποιο υδάτινο φορέα ή στις μονάδες μιας ΕΕΑΑ είναι οι παρακάτω:

- 1) Μετατροπή του οργανικού αζώτου σε αμμωνιακό από αερόβια ή αναερόβια βακτηρίδια.
- 2) Οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρώδη από ειδικά αερόβια - νιτροποιητικά βακτήρια (Nnitrosamines).
- 3) Περαιτέρω οξείδωση των νιτρωδών σε νιτρικά από ειδικά αερόβια – νιτροποιητικά βακτηρίδια (Nitrobacteria).
- 4) Αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και τελικά σε αέριο άζωτο από αερόβια – αναερόβια βακτηρίδια. Η αγωγή γίνεται κυρίως σε αέριο άζωτο σε αναερόβιες συνθήκες και σε μικρό ποσοστό σε αμμωνία.

Οι μετατροπές (2) και (3) αποτελούν τη νιτροποίηση και η (4) την απονιτροποίηση.

Από άποψη επίδρασης στο περιβάλλον, κατά τη διοχέτευση σε ένα υδάτινο οικοσύστημα αποβλήτων που περιέχουν αμμωνιακό άζωτο απαιτείται η κατανάλωση οξυγόνου για την οξείδωση του αζώτου σε νιτρώδη ή και σε νιτρικά ιόντα. Επιπλέον η αμμωνία είναι τοξική στα ψάρια (όριο 2,5 mg/l), ενώ τα νιτρικά ιόντα χρησιμοποιούνται από τα φύκια και άλλα υδρόβια φυτά για την ανάπτυξη τους. Έτσι, υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου στο υδάτινο οικοσύστημα, σε συνδυασμό και με την παρουσία φωσφόρου, μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών και άλλων υδρόβιων φυτών (καθεστώς ευτροφισμού).

Η περιεκτικότητα σε άζωτο έχει μεγάλη σημασία κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, διότι αποτελεί μια από τις κυριότερες θρεπτικές

ουσίες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διεργασίες. Σε ορισμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας, όπου οι συνθήκες ευνοούν τη μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα με ταυτόχρονη κατανάλωση οξυγόνου (νιτροποίηση), πρέπει να εξασφαλίζεται και η παροχή αυτής της ποσότητας οξυγόνου, πλέον της απαραίτητης για την οξείδωση των οργανικών ουσιών (BOD). Σε αντίθετη περίπτωση, το οξυγόνο που υπάρχει καταναλώνεται για τους σκοπούς της νιτροποίησης με αποτέλεσμα να μην επαρκεί και για την απαιτούμενη απομάκρυνση (οξείδωση) των οργανικών ουσιών.

Στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, όπου οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν τη διαδικασία της απονιτροποίησης, αντιμετωπίζεται επίσης, το πρόβλημα της προσκόλλησης των στερεών ουσιών στο αέριο άζωτο που απελευθερώνεται. Κατά τη διαδικασία δε της απολύμανσης με χλώριο η παρουσία αμμωνίας οδηγεί στο σχηματισμό χλωραμινών, οι οποίες μειώνουν την απόδοση της χλωρίωσης αλλά και τη συγκέντρωση της αμμωνίας στις υγρές επεξεργασμένες εκροές.

#### **1.14.4.1 Προσδιορισμός**

Το άζωτο εκφράζεται συνήθως ως οργανικό άζωτο ( $N_{org}$ ), ως ολικό άζωτο (ολικό N ή TKN) και ως νιτρικά ( $NO_3-N$ ) ή νιτρώδη ( $NO_2-N$ ). Το ολικό άζωτο που αποτελεί το άθροισμα του οργανικού αζώτου ( $N_{org}$ ) και της αμμωνίας προσδιορίζεται με τη μέθοδο Kjeldahl, σε ειδικά φασματοφωτόμετρα. Το αμμωνιακό άζωτο, τα νιτρικά και τα νιτρώδη προσδιορίζονται οπτικά σε ειδικά φασματοφωτόμετρα, σε χρωματόμετρα, με ειδικά τεστ ή και ηλεκτροχημικά (μόνο τα νιτρικά και το αμμωνιακό άζωτο). Το οργανικό άζωτο υπολογίζεται με αφαίρεση του αμμωνιακού αζώτου από το ολικό άζωτο.

#### **1.14.5 Φώσφορος**

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζωντανών οργανισμών και περιέχεται στα απόβλητα στις παρακάτω μορφές:

A) Ανόργανος φώσφορος, κυρίως ως ορθοφωσφορικά ( $PO_4^{-3}$ ,  $HPO_4^{-3}$ ,  $H_2PO_4$ ) ή και ως πολυφωσφορικά (π.χ.  $P_3O_{10}^{-5}$ ,  $P_2O_7^{-4}$ ).

B) Οργανικός φώσφορος, σε μικρότερες ποσότητες απ' ότι ο ανόργανος.

Τα πολυφωσφορικά σε υδάτινο διάλυμα υδρολύονται σε ορθοφωσφορικά που μπορούν να καταναλωθούν απ' ευθείας από διάφορους μικροοργανισμούς. Η διοχέτευση αποβλήτων που περιέχουν φώσφορο σε ένα υδάτινο φορέα ευνοεί, σε συνδυασμό με την παρουσία αζώτου, το φαινόμενο του ευτροφισμού. Σημειώνεται ότι συχνά ο φώσφορος είναι ο καθοριστικός παράγοντας του φαινόμενου του ευτροφισμού και έτσι η απομάκρυνση του από τα απόβλητα έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, ιδίως λόγω της αυξανόμενης χρήσης του στην παραγωγή των απορρυπαντικών.

Στις βασικές διαδικασίες επεξεργασίας ο φώσφορος είναι απαραίτητος στους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διαδικασίες. Στα αστικά απόβλητα βρίσκεται σε αρκετές ποσότητες. Στις βιολογικές διαδικασίες τα πολυφωσφορικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά και έτσι η εκροή των ΕΕΑΑ περιέχει κυρίως ορθοφωσφορικά, σε ποσοστό περίπου 80%. Ο φώσφορος εκφράζεται ως ολικός φώσφορος (οργανικός και ανόργανος) και ως ανόργανος φώσφορος (ορθοφωσφορικά και πολυφωσφορικά).

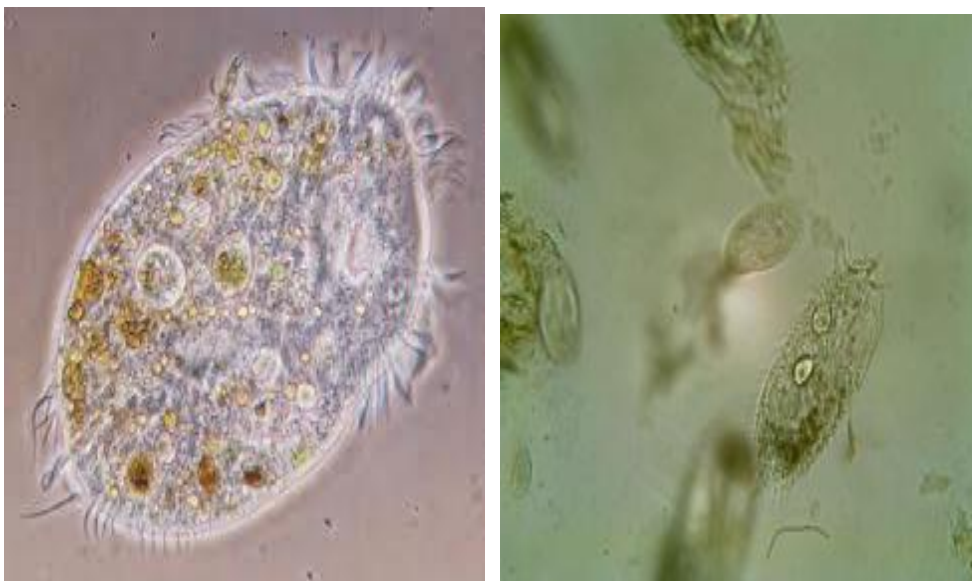
#### **1.14.6 Παθογόνοι μικροοργανισμοί**

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως προϊόντα αποβολών ασθενών ή φορέων ασθενειών και μπορούν να μεταφέρουν και να προκαλέσουν ασθένειες μέσου του νερού στον άνθρωπο, όπως χολέρα, δυσεντερία, τυφοειδή πυρετό, ηπατίτιδα κ.τ.λ.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι κυρίως βακτηρίδια, πρωτόζωα και ιοί (εικ. 1, 2). Επειδή βρίσκονται στους υδάτινους φορείς σε μικρές συγκεντρώσεις και σε μεγάλη ποικιλία ειδών, η ανίχνευση και ο ποσοτικός προσδιορισμός του κάθε είδους τους είναι πρακτικά αδύνατος. Έτσι, αντί για προσδιορισμό κάθε είδους παθογόνων μικροοργανισμών (μ/ο) γίνεται ο προσδιορισμός ενδεικτικών μ/ο, που η παρουσία τους στο νερό σημαίνει και τη πιθανή παρουσία παθογόνων μ/ο.



Εικόνα 17 Βακτηρίδια



Εικόνα 18 Πρωτόζωα

#### 1.14.7 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι ένας σημαντικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους. Η αύξηση της επιφέρει γρηγορότερη ανάπτυξη των μ/ο και κατά συνέπεια επιτάχυνση των βιοχημικών αντιδράσεων. Παράλληλα, επιφέρει και μείωση του βαθμού διαλυτότητας των αερίων (π.χ. του διαλυμένου οξυγόνου) στη μάζα των αποβλήτων.

Η υψηλή θερμοκρασία είναι ευεργετική σε πολλές διεργασίες επεξεργασίας (καθίζηση, βιολογική επεξεργασία, απολύμανση κ.τ.λ.), αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, όπως π.χ. μειωμένη διαλυτότητα του οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού, ταχύτερη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών κ.α.

Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα (τόσο λόγω του αυξημένου ρυθμού κατανάλωσης του όσο και της μειωμένης διαλυτότητας του φορέα (θάνατος οργανισμών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών).

#### **1.14.8 pH και αλκαλικότητα**

Το pH είναι ένα χαρακτηριστικό των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο υδάτινο περιβάλλον. Οι αυξομειώσεις του μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές δημιουργώντας ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Το pH επηρεάζει όλες τις διεργασίες επεξεργασίας και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κ.τ.λ. Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν συγκεκριμένες τιμές pH για τη βέλτιστη απόδοση τους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος του.

Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία ιόντων  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , ή  $\text{OH}^-$  που βρίσκονται ενωμένα με τα Ca, Mg, Na ή K. Η παρουσία των παραπάνω ιόντων στα αστικά απόβλητα οφείλεται στο πόσιμο νερό καθώς και στις εισροές στο αποχετευτικό σύστημα. Η αλκαλικότητα είναι σημαντική παράμετρος γιατί ρυθμίζει το pH των αποβλήτων και κατά συνέπεια διάφορες διεργασίες επεξεργασίας. Η αλκαλικότητα εκφράζεται συνήθως ως mg/l  $\text{CaCO}_3^{\circ}$ .

#### **1.14.9. Άλλα χαρακτηριστικά**

Άλλα χαρακτηριστικά που έχουν σημασία για μια ΕΕΑΑ είναι τα ακόλουθα:

- Χλωριούχα
- Θείο
- Βαριά μέταλλα



#### **1.14.9.1 Χλωριούχα**

Περιέχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απόβλητα (περίπου 6 gr/κατ.), αλλά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Η διοχέτευση τους σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί στην ένωσή τους με ορισμένα οργανικά συστατικά. Το προϊόν της αντίδρασης αυτής είναι τοξικές ενώσεις που έχουν μακροπρόθεσμα αρνητικά αποτελέσματα στην ποιότητα των νερών του φορέα. Η παρουσία τους σε μεγάλες συγκεντρώσεις και όταν το νερό του φορέα χρησιμοποιείται για ύδρευση, δίνει στο νερό υφάλμυρη γεύση.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας η κύρια επίδραση της παρουσίας των χλωριούχων στα απόβλητα είναι η μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου. Επηρεάζουν επίσης τον προσδιορισμό του COD.

#### **1.14.9.2 Θείο**

Το θείο είναι βασικό χαρακτηριστικό των ζώντων οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα σε διάφορες μορφές. Η σημαντικότερη από τις ενώσεις του θείου είναι τα θειικά, γιατί η παρουσία τους στα απόβλητα δημιουργεί προβλήματα που οφείλονται στο σχηματισμό υδρόθειου και θειικού οξέος. Σε αναερόβιες συνθήκες τα θειικά ανάγονται σε θειούχα και στη συνέχεια σε υδρόθειο και θειικό οξύ από βακτηρίδια.

Βασικό πρόβλημα που δημιουργεί η παρουσία του υδρόθειου είναι η έκλυση δυσάρεστων οσμών, που είναι δυνατόν να συμβεί στο αποχετευτικό δίκτυο και στις ΕΕΑΑ. Όταν στη μάζα των αποβλήτων περιέχεται σίδηρος, αυτός ενώνεται με το υδρόθειο σχηματίζοντας θειούχο σίδηρο, που δίνει ένα μαύρο χρώμα τόσο στα απόβλητα όσο και στην παραγόμενη λάσπη. Το κύριο πρόβλημα του θειικού οξέος είναι η διάβρωση που προκαλεί στους αγωγούς αποχέτευσης.

#### **1.14.9.3 Βαρέα μέταλλα**

Περιέχονται κυρίως στο βιομηχανικά, αλλά και στα αστικά απόβλητα (εξαιτίας του πόσιμου νερού). Διάφορα ιόντα, όπως π.χ. Cu, Pb, Cr, As, Bo, Ag, Ni, Mn, Cd, Zn, Fe, Hg, σε ορισμένες συγκεντρώσεις είναι τοξικά για

διάφορους οργανισμούς, όπως ακριβώς και διάφορες οργανικές ενώσεις που περιέχονται σε εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα κ.τ.λ.

Η διοχέτευση βαρέων μετάλλων σε ένα οικοσύστημα (υδάτινος φορέας ή βιολογική διεργασία επεξεργασίας) μπορεί να επιφέρει το θάνατο πολλών οργανισμών με τις ανάλογες συνέπειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

**Ρευστομηχανική** (ή **Μηχανική των Ρευστών**) είναι ο κλάδος της Μηχανικής που μελετά την κινηματική και τη δυναμική των ρευστών. Η αλματώδης πρόοδος της Ρευστομηχανικής τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη της Αεροδυναμικής, της Υδροδυναμικής, της Αεροθερμодυναμικής, της Χημικής Μηχανικής, της Μαγνητοϋδροδυναμικής, της Ρεολογίας, της Εμβιορευστομηχανικής κ.τ.λ. Οι αντλίες, οι ανεμιστήρες, οι στρόβιλοι ατμού, αέρα ή νερού, οι κινητήρες των αεροσκαφών και των οχημάτων γενικότερα, η ροή των ποταμών και των υπόγειων ρευμάτων, η πτήση των αεροσκαφών, η πτήση των πυραύλων στην ατμόσφαιρα, η κίνηση των πλοίων και των υποβρυχίων είναι μερικές εφαρμογές της Ρευστομηχανικής.

### **2.1 Η έννοια του ρευστού**

**Ρευστό** λέγεται κάθε ουσία που έχει την ιδιότητα να παραμορφώνεται συνεχώς (να ρέει) όταν υφίσταται την επίδραση διατμητικών τάσεων (εφαπτομενικών δυνάμεων ανά μονάδα επιφάνειας του ρευστού) οσοδήποτε μικρή και αν είναι η τάση αυτή. Αυτό σημαίνει ότι τα υγρά και τα αέρια χαρακτηρίζονται ως ρευστά.

**Διατμητική τάση ( $\tau$ )** ενός ρευστού, ονομάζουμε το πηλίκο της δύναμης που ασκείται στο ρευστό προς την επιφάνεια που ασκείται η δύναμη, δηλαδή,

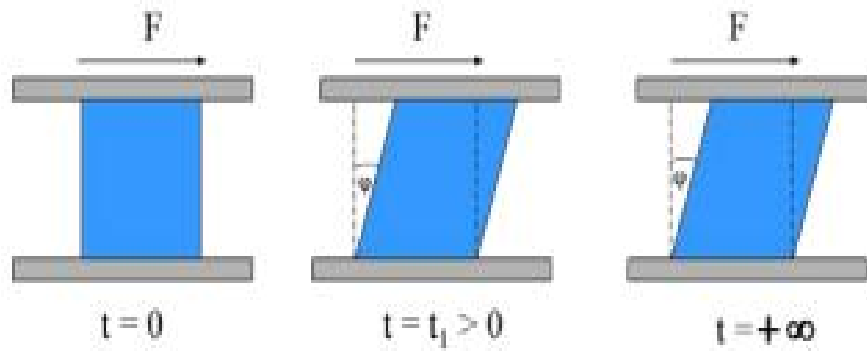
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

όπου  $F$  η δύναμη που ασκείται στο ρευστό πάνω στην επιφάνεια  $A$ . Για να διακρίνουμε τη διαφορά της στερεής από τη ρευστή κατάσταση, θα συγκρίνουμε τη συμπεριφορά ενός στερεού και ενός ρευστού. Ένα στερεό μπορεί να παραμορφώνεται κάτω από την επίδραση μιας διατμητικής τάσης, αλλά η παραμόρφωση δεν είναι μόνιμη, ενώ ένα ρευστό υφίσταται μόνιμη

παραμόρφωση κάθε χρονική στιγμή. Για να γίνει κατανοητό αυτό θεωρούμε δύο παράλληλες πλάκες, όπου η κάτω δεν κινείται. Ονομάζουμε A το κομμάτι της άνω πλάκας που έρχεται σε επαφή με το στερεό ή το υγρό. Εφαρμόζοντας δύναμη F στην επιφάνεια A, έχουμε τη δημιουργία

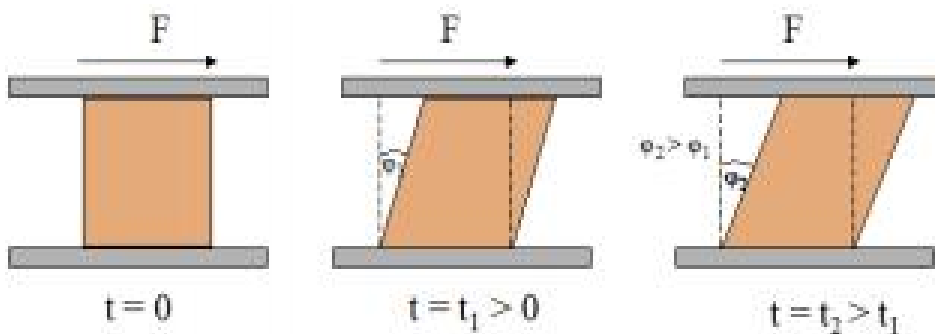
διατμητικής τάσης 
$$\tau = \frac{F}{A}$$

Σε κάθε στερεό σώμα, όσο η διατμητική τάση παραμένει σταθερή (σχήμα 1), η παραμόρφωση του στερεού παραμένει σταθερή (δηλαδή, δεν αλλάζει η γωνία παραμόρφωσης  $\varphi$ ), ενώ όταν σταματήσει να επιδρά η διατμητική τάση, το στερεό επανέρχεται στην αρχική του μορφή.



Σχήμα 1: Συμπεριφορά στερεού υπό την επίδραση μιας συνεχούς διατμητικής τάσης

Σε κάθε ρευστό όσο η διατμητική τάση παραμένει σταθερή (Σχήμα 2), η παραμόρφωση του ρευστού αλλάζει (δηλαδή, αλλάζει η γωνία παραμόρφωσης  $\varphi$ ), ενώ όταν σταματήσει να επιδρά η διατμητική τάση, το ρευστό δεν επανέρχεται στην αρχική του μορφή.



Σχήμα 2: Συμπεριφορά ρευστού υπό την επίδραση μιας συνεχούς διατμητικής τάσης

Τα στερεά χωρίζονται σε κρυσταλλικά και άμορφα, ενώ τα ρευστά σε υγρά και αέρια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν κάποιες ενδιάμεσες καταστάσεις, όπως η οδοντόκρεμα και τα χρώματα βαφής, τα οποία άλλοτε

συμπεριφέρονται σαν στερεά (για διατμητική τάση μικρότερη μιας κρίσιμης τιμής) και άλλοτε σαν ρευστά (για διατμητική τάση μεγαλύτερη αυτής της κρίσιμης τιμής).

**Διεπιφανειακή τάση ( $\gamma$ )** ονομάζουμε την εφαπτόμενη δύναμη που ασκείται στην επιφάνεια μεταξύ δύο ρευστών ή μεταξύ ρευστού και στερεού που προκαλείται από τη διαφορά έλξης ανάμεσα στα μόρια κάθε φάσης. Η διεπιφανειακή τάση εκφράζει δύναμη ανά εμβαδό ή ενέργεια ανά εμβαδό.

## 2.2 Ιδιότητες των ρευστών

**Η πυκνότητα ( $\rho$ )** είναι βασικό μέγεθος στα ρευστά. Για να ορίσουμε την πυκνότητα ενός ρευστού, θεωρούμε όγκο  $\delta V$  με αντίστοιχη μάζα  $\delta m$  και για σταθερό χρόνο  $t$  πρέπει να υπολογίσουμε τον κρίσιμο όγκο  $\delta V^*$ , όπου σταθεροποιείται η τιμή της πυκνότητας και ισχύει:

$$\rho(x, y, z, t) = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V^*} \frac{\delta m}{\delta V} \quad (2)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι:

αν  $\delta V \ll \delta V^*$  έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις του λόγου  $\frac{\delta m}{\delta V}$  και

αν  $\delta V \gg \delta V^*$  δεν έχουμε σχεδόν καμία διακύμανση του λόγου  $\frac{\delta m}{\delta V}$

**Ιξώδες (ή συνεκτικότητα)**, που συμβολίζεται με  $\mu$ , είναι η ιδιότητα των ρευστών που τους δίνει την δυνατότητα να αντιστέκονται σε κάθε προσπάθεια αλλαγής της μορφής τους. Το ιξώδες είναι το ρευστομηχανικό αντίστοιχο της γνωστής τριβής από την Μηχανική.

**Κινηματικό ιξώδες ( $\nu$ )** λέγεται ο λόγος του ιξώδους  $\mu$  προς την πυκνότητα του ρευστού  $\rho$ , δηλαδή,

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

Υπόθεση του συνεχούς μέσου λέγεται η υπόθεση σύμφωνα με την οποία οι ιδιότητες του ρευστού μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο με τρόπο συνεχή. Το μοντέλο αυτό αποτελεί τη βάση της διερεύνησης των προβλημάτων της ροής των ρευστών.

## 2.3 Είδη ρευστών

### Νευτώνεια και μη Νευτώνεια

Ρευστά Νευτώνεια λέγονται τα ρευστά στα οποία η διατμητική τάση ( $\tau$ ) ευθέως ανάλογη της ταχύτητας μεταβολής της γωνιακής παραμόρφωσης ( $\phi$ ), δηλαδή, ισχύει:

$$\tau = \mu \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

ή

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad (5)$$

όπου  $\mu$  είναι το ιξώδες του ρευστού και  $\frac{\delta m}{\delta V}$  η βαθμίδα της ταχύτητας. Τα πιο σπουδαία και τα πιο κοινά ρευστά (νερό, αέρας) είναι Νευτώνεια.

**Μη Νευτώνεια** λέγονται τα ρευστά στα οποία δεν ισχύει ο παραπάνω πειραματικός νόμος του Νεύτωνα (4).

### Ιδανικό (ανιξώδες) και πραγματικό (ιξώδες) ρευστό

**Ιδανικό (ή ανιξώδες)** λέγεται κάθε ρευστό που έχει ιξώδες ίσο με το μηδέν ( $\mu = 0$ ). Στα ιδανικά ρευστά δεν αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις και η μόνη επιφανειακή δύναμη που ενεργεί σε αυτά είναι η πίεση.

**Πραγματικό (ή ιξώδες)** λέγεται κάθε ρευστό που δεν έχει μηδενικό ιξώδες ( $\mu \neq 0$ ).

### Ασυμπίεστο και συμπιεστό ρευστό.

**Ασυμπίεστο** λέγεται κάθε ρευστό, στο οποίο οι αλλαγές στον όγκο ή στην πυκνότητα, όταν μεταβάλλεται η πίεση ή η θερμοκρασία είναι αμελητέες. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ένα ρευστό που έχει σταθερή πυκνότητα είναι ασυμπίεστο. Η μαθηματική σχέση που ικανοποιεί ένα ασυμπίεστο ρευστό είναι:

$$\nabla \cdot \rho \underline{v} = 0 \quad (6)$$

Επιπλέον, όταν το ρευστό είναι ασυμπίεστο δεν υπάρχει αλλαγή της πυκνότητας ούτε στη μεταβολή του χρόνου, ούτε στη μεταβολή των χωρικών συντεταγμένων, δηλαδή,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0, \frac{\partial \rho}{\partial y} = 0, \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

**Συμπιεστό** λέγεται κάθε ρευστό το οποίο παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση σε κάθε μεταβολή του όγκου. Αυτό σημαίνει ότι το συμπιεστό ρευστό αντιδρά σε αλλαγές της πίεσης προσαρμόζοντας τον όγκο και την πυκνότητά του. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ένα ρευστό που δεν έχει αμελητέα πυκνότητα είναι συμπιεστό.

### Ομογενές και μη ομογενές ρευστό

**Ομογενές** λέγεται κάθε ρευστό με ομοιόμορφες ιδιότητες μέσα – έξω. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή της πυκνότητας είναι συνεχής και ότι η κλίση της πυκνότητας του ρευστού είναι μηδέν, δηλαδή,

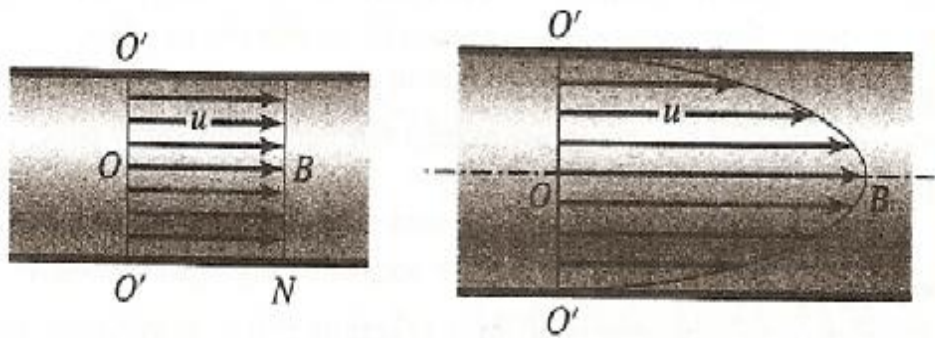
$$\nabla \rho = 0 \quad (8)$$

**Μη ομογενές** λέγεται κάθε ρευστό το οποίο δεν έχει ομοιόμορφες ιδιότητες μέσα – έξω, οπότε η μεταβολή της πυκνότητας δεν είναι συνεχής.

## 2.4 Τύποι ροής

**Ροή** λέγεται η κίνηση ενός ρευστού σε μια ορισμένη περιοχή του χώρου, που ονομάζεται **πεδίο ροής**.

Εκτός από τη ροή των διαφόρων ειδών ρευστών, δηλαδή: πραγματική, ιδεατή, ασυμπίεστη και συμπιεστή, υπάρχουν και διάφορες άλλες ταξινομήσεις της ροής. Η ροή μπορεί να είναι: μόνιμη ή μεταβαλλόμενη ως προς το χρόνο. Μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης. Μπορεί να είναι στροφική ή άστροφη. Επίσης μπορεί να είναι υπερκρίσιμη ή υποκρίσιμη (βλ. εικόνα 17).



Εικόνα 19 Υπερκρίσιμη και υποκρίσιμη ροή

### Ασυμπίεστη και Συμπιεστή Ροή

**Ασυμπίεστη** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, κατά την οποία οι μεταβολές της πυκνότητας σε όλη την έκταση του πεδίου ροής είναι αμελητέες και ισχύει:

$$\nabla \cdot \underline{v} = 0 \quad (9)$$

**Συμπιεστή** ονομάζεται η ροή στην οποία οι μεταβολές της πυκνότητας είναι σημαντικές. Στη μελέτη ασυμπίεστης ροής σε νευτώνεια ρευστά, χρειαζόμαστε μόνο δύο ιδιότητες, την πυκνότητα  $\rho$  και το ιξώδες του ρευστού  $\mu$ . Αντιθέτως για τα μη νευτώνεια ρευστά χρειαζόμαστε πρόσθετες παραμέτρους για να χαρακτηρισθούν επαρκώς. Για να χαρακτηρίσουμε μια ροή ως συμπιεστή ή ασυμπίεστη χρησιμοποιούμε τον αδιάστατο **αριθμό Mach (NMa)**, για τον οποίο ισχύει:

$$N_{Ma} = \frac{U}{C} \quad (10)$$

όπου  $U$  είναι η χαρακτηριστική ταχύτητα της ροής και  $C$  η ταχύτητα του ήχου στο ρευστό. Με τη βοήθεια του αριθμού Mach, έχουμε ότι:

Αν  $NMa \leq 0.3$ , η ροή χαρακτηρίζεται ως ασυμπίεστη, ενώ

Αν  $NMa > 0.3$ , η ροή χαρακτηρίζεται ως συμπιεστή.

### Γραμμική (στρωτή) και Τυρβώδης (στροβιλώδης) Ροή

**Γραμμική (ή στρωτή)** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, κατά την οποία η κίνηση κάθε στοιβάδας του ρευστού είναι ομαλή σε σχέση με τις διπλανές στοιβάδες. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη στρωτή ροή η μόνη κίνηση που



παρατηρείται είναι κατά τη διεύθυνση της ροής, αφού κατά την κάθετη διεύθυνση δεν υπάρχει συνιστώσα ταχύτητας.

**Τυρβώδης (ή στροβιλώδης)** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού που χαρακτηρίζεται από την χαώδη κίνηση του ρευστού, οπότε και όλα τα σωματίδια κινούνται σε ακανόνιστες τροχιές.

### Σταθερή και μεταβαλλόμενη ροή

**Σταθερή** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, στο οποίο δεν υπάρχουν χρονικά μεταβαλλόμενα πεδία.

**Μεταβαλλόμενη** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, στο οποίο τα πεδία ροής εξελίσσονται με τον χρόνο.

### Μονοδιάστατη, Δισδιάστατη και Τρισδιάστατη Ροή

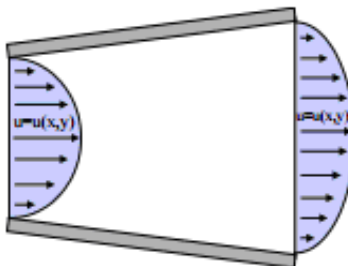
**Μονοδιάστατη** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται ως προς μία χωρική μεταβλητή, δηλαδή,  $u = u(x, t)$ .

**Δισδιάστατη** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται ως προς δύο χωρικές μεταβλητές, δηλαδή,  $u = u(x, y, t)$ .

**Τρισδιάστατη** ονομάζεται η ροή ενός ρευστού, όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται ως προς τρεις χωρικές μεταβλητές, δηλαδή,  $u = u(x, y, z, t)$ .



Σχήμα 3: Μονοδιάστατη ροή ρευστού, ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες



Σχήμα 4: Δισδιάστατη ροή ρευστού, ανάμεσα σε δυο παράλληλες πλάκες

Για παράδειγμα οι κινήσεις των αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα εξετάζονται στον τρισδιάστατο χώρο, ροές σε κανάλια, ποταμούς κ.τ.λ.

θεωρούνται δισδιάστατες, ενώ ροή σε κάθε είδους δίκτυο σωληνώσεων θεωρείται μονοδιάστατη (κατά τη διεύθυνση του άξονα των αγωγών).

## **2.5 Είδη ροών**

Όταν μιλάμε για ρευστή ροή συχνά εννοούμε τη ροή ιδεατού ρευστού. Για ένα τέτοιο ρευστό δεχόμαστε ότι δεν έχει ιξώδες. Πρόκειται φυσικά για μια εξιδανικευμένη κατάσταση που στην πραγματικότητα δεν υπάρχει. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις τεχνικών προβλημάτων όπου μια τέτοια παραδοχή είναι χρήσιμη. Όταν γίνεται λόγος για ροή πραγματικού ρευστού εισάγονται στο πρόβλημα και οι επενέργειες της συνεκτικότητας. Αυτή προκαλεί την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων μεταξύ γειτονικών στοιχείων του ρευστού, όταν αυτά κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Στην περίπτωση ιδεατού ρευστού που ρέει σε ευθύγραμμο αγωγό, όλα τα σωματίδια κινούνται σε παράλληλες γραμμές με την ίδια ταχύτητα. Στη ροή πραγματικού ρευστού η ταχύτητα κάθε σωματιδίου που πρόσκειται σε τοίχωμα θα είναι μηδενική. Ωστόσο η ταχύτητα αυτή αυξάνεται απότομα σε μικρή απόσταση από το τοίχωμα και δημιουργείται ένα διάγραμμα ταχυτήτων.

Η ροή μπορεί να ταξινομηθεί σε **ροή ασυμπίεστου και ροή συμπιεστού ρευστού**. Επειδή τα υγρά είναι σχετικώς ασυμπίεστα, γενικά τα θεωρούμε στο σύνολο τους ως ασυμπίεστα ρευστά.

Εκτός από τη ροή των διαφόρων ειδών ρευστών, δηλαδή: **πραγματική, ιδεατή, ασυμπίεστη και συμπιεστή**, υπάρχουν και διάφορες άλλες ταξινομήσεις της ροής. Η ροή μπορεί να είναι: **μόνιμη η μεταβαλλόμενη** ως προς το χρόνο. Μπορεί να είναι **στρωτή η τυρβώδης**. Μπορεί να είναι **στροφική η άστροφη**. Επίσης μπορεί να είναι **υπερκρίσιμη η υποκρίσιμη**.

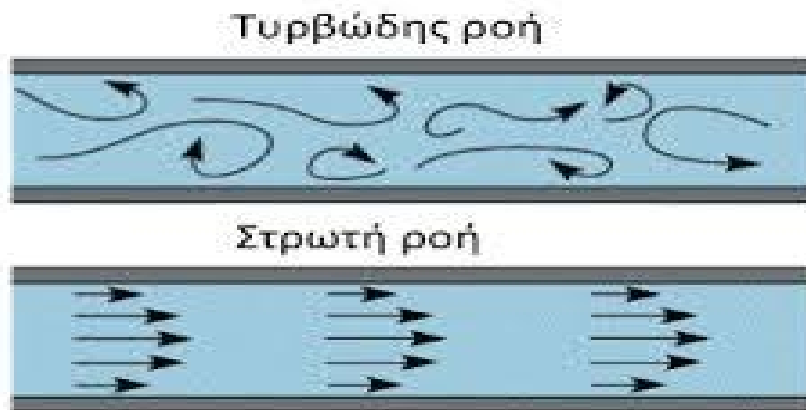
## **2.6 Στρωτή και τυρβώδης ροή**

Το αν σε κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα έχουμε στρωτή η τυρβώδη ροή, η πόσο περισσότερο εμφανίζεται η καθεμία απ' αυτές, είναι εξαιρετικά

σημαντικό εξαιτίας των ισχυρά διαφορετικών επενεργειών που έχουν αυτά τα δυο διαφορετικά είδη ροών σε πολλά χαρακτηρίστηκα, στα οποία περιλαμβάνονται η απώλεια της ενέργειας, οι κατανομές των ταχυτήτων και η ανάμειξη των μεταφερόμενων υλών. Ο Osborn Reynolds απέδειξε το 1883 ότι υπάρχουν δυο τελείως διαφορετικά είδη ρευστής ροής. Ο Reynolds ενέχυσε ένα λεπτό σαν κλώστη, ρεύμα χρωματισμένου υγρού, με πυκνότητα ίδια με του νερού, στην είσοδο ενός μεγάλου γυάλινου σωλήνα μέσα στον οποίο το νερό έρεε από μια δεξαμενή. Μια βάνα στο άκρο εξόδου του επέτρεπε να μεταβάλλει τη ροή. Όταν η ταχύτητα στο σωλήνα ήταν μικρή, το χρωματισμένο υγρό ήταν ορατό σαν ευθεία γραμμή σε όλο το μήκος του σωλήνα, δείχνοντας έτσι ότι τα σωματίδια του νερού κινούνταν σε παράλληλες ευθείες. Καθώς η ταχύτητα του νερού αύξανε βαθμιαία με το άνοιγμα της βαλβίδας, υπήρχε ένα σημείο στο οποίο η ροή άλλαζε. Η γραμμή πρώτα γινόταν κυματιστή και σε μικρή απόσταση από την είσοδο διασπώταν σε πάμπολλους στροβίλους, πέρα από τους οποίους, το χρώμα διαχέονταν ομοιόμορφα, έτσι ώστε δεν μπορούσαν να διακριθούν γραμμές ροής. Μετέπειτα παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι σε αυτό τον τελευταίο τύπο ροής οι ταχύτητες υπόκεινται διαρκώς σε ακανόνιστες διακυμάνσεις. Ο πρώτος τύπος ροής είναι γνωστός ως **στρωτή, γραμμική, η συνεκτική ροή.**

Η σημασία των όρων αυτών είναι ότι το ρευστό φαίνεται να κινείται σαν να ολισθαίνουν φύλλα απειροστού πάχους πάνω σε παρακείμενα στρωματά, ότι τα σωματίδια του ρευστού κινούνται σε διακεκριμένες και παρατηρήσιμες τροχιές η γραμμές ροής και επίσης ότι η ροή είναι χαρακτηριστική ενός ιξώδους ρευστού η είναι μια ροή στην οποία παίζει σημαντικό ρόλο η συνεκτικότητα. Ο δεύτερος τύπος ροής είναι γνωστός ως τυρβώδης. Ένα χαρακτηριστικό της τυρβώδους ροής είναι το ακανόνιστο της, όπου δεν υπάρχει καθορισμένη συχνότητα όπως στην κυματική δράση, ούτε παρατηρήσιμος σχηματισμός όπως στην περίπτωση μεγάλων στροβίλων. Μεγάλοι στροβίλοι και ακανόνιστες κινήσεις μεγάλων ρευστών μαζών, που μπορούν να αποδοθούν σε πρόδηλες αιτίες ανατάραξης, δεν αποτελούν τυρβώδη ροή, αλλά μπορούν να περιγράψουν ως διαταραγμένη ροή. Αντίθετα την τυρβώδη ροή είναι δυνατό να τη συναντήσουμε σε ένα φαινομενικά πολύ πιο ήπιο ρεύμα και σε ένα ρεύμα στο οποίο δεν βρίσκονται φανερές πηγές διαταραχής. Η τυρβώδης ροή χαρακτηρίζεται από

τις διακυμάνσεις της ταχύτητας σε όλα τα σημεία του ροϊκού πεδίου. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στο ότι το ρευστό κινείται σαν παρά πολλά διακριτά σωματίδια η «πακέτα» τα οποία ονομάζονται δίνες και σπρώχνουν η μια την άλλη κατά τυχαίο τρόπο. Παρότι μικρές, ακόμα και οι πιο μικρές δίνες είναι μακροσκοπικές ως προς το μέγεθος, κατά πολύ μεγαλύτερες από τις μοριακές διαστάσεις των σωματιδίων της στρωτής ροής. Οι δίνες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά και με την γενική ροή. Σ' αυτές οφείλεται η αποτελεσματική ικανότητα ανάμιξης της τυρβώδους ροής. Συχνά οφείλονται σε περιστροφή, ειδικά κοντά στα σύνορα και γι' αυτό ακόμα και οι ίδιες οι δίνες συχνά περιστρέφονται. Αλλάζουν σχήμα και μέγεθος με το χρόνο καθώς κινούνται κατά μήκος της ροής. Κάθε δίνη διαχέει την ενέργεια της σε ιξώδη διάτμηση με το περιβάλλον της και τελικά εξαφανίζεται. Νέες δίνες σχηματίζονται συνεχώς. Μεγάλες δίνες έχουν μικρότερες δίνες στο εσωτερικό τους και δημιουργούν τυρβασμό μικρότερης κλίμακας. Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας που προκαλούνται είναι γρήγορες και ακανόνιστες και συχνά μπορούμε να τις εντοπίσουμε με ειδικές διατάξεις.



Εικόνα 20 Turβώδη και στρωτή ροή

## 2.7 Συνθήκη μη ολίσθησης – Οριακό στρώμα

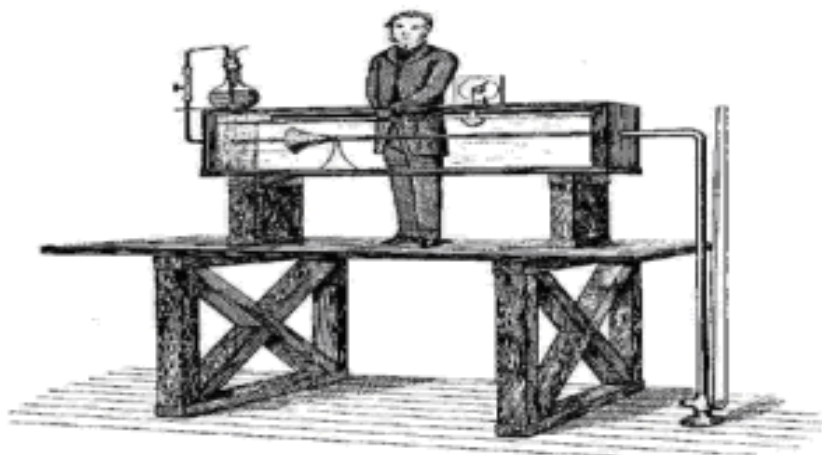
Για τη μελέτη και ανάλυση προβλημάτων ιξώδους ροής, έχουμε μια βασική συνθήκη, τη **συνθήκη μη ολίσθησης**. Σύμφωνα με αυτή (και κάτω από την υπόθεση του συνεχούς μέσου), η ροή ενός ρευστού επηρεάζεται από την παρουσία στερεών τοιχωμάτων. Το αποτέλεσμα είναι το ρευστό να μην ολισθαίνει πάνω στη στερεή επιφάνεια, δηλαδή, η σχετική ταχύτητα

των πραγματικών ρευστών ως προς το στερεό τοίχωμα είναι μηδέν ή ισοδύναμα ότι η εφαπτομενική ταχύτητα κοντά στα τοιχώματα είναι μηδέν.

**Οριακό στρώμα** είναι η στοιχειώδης περιοχή του ρευστού που ακουμπά στην στερεή επιφάνεια και η ροή είναι πιο αργή από ότι στο υπόλοιπο ρευστό. Στο οριακό στρώμα η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται από την τιμή 0 (πάνω στην επιφάνεια) μέχρι την τιμή  $u_\infty$  που είναι η ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος, όπου η ροή θεωρείται ιδανική. Αλλιώς, είναι το «στρώμα» του ρευστού με ακαθόριστο προφίλ ταχύτητας μέχρι να αποκατασταθεί το αναπτυγμένο. Επιπλέον, πρέπει να γνωρίζουμε ότι καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια των στερεών τοιχωμάτων, η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται, μέχρι να αποκτήσει μια συγκεκριμένη τιμή, οπότε και παραμένει σταθερή.

## 2.8 Αριθμός Reynolds

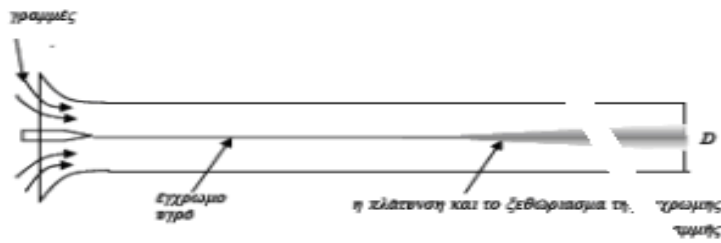
Ο Reynolds το 1883 για να αναγνωρίσει το χαρακτηριστικό μιας ροής που μεταβάλλει μια ροή από τυρβώδη σε στρωτή, εκτέλεσε ένα πείραμα με το οποίο ξεκίνησε ιστορικά την μελέτη ροής ρευστών σε κυλινδρικούς αγωγούς.



Εικόνα 21 Η αρχική διάταξη που χρησιμοποίησε ο Reynolds

Για το πείραμα αυτό χρησιμοποίησε μια συσκευή έκχυσης έγχρωμου υγρού μέσα σε νερό και παρατήρησε την εξέλιξη της ροής σε κυλινδρικό σωλήνα.

Το πείραμα αυτό επανέλαβε πολλές φορές και με σωλήνες διαφορετικών διαμέτρων, ώστε να βρει, αλλά και να επαληθεύσει το συμπέρασμά του.



Σχήμα 5: Η στρωτή ροή στο πείραμα Reynolds



Σχήμα 2.7: Η τυρβώδης ροή στο πείραμα Reynolds

Ο Reynolds διαπίστωσε ότι το είδος της ροής καθορίζεται από την τιμή που θα έχει ένας αριθμός. Ο αριθμός αυτός ονομάστηκε **αριθμός Reynolds** (**N<sub>Re</sub>**), ο οποίος είναι αδιάστατος και εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας ( $\rho \cdot U$ ) προς τις ιξώδες δυνάμεις ( $\frac{\mu}{D}$ ).

Σε ένα κυλινδρικό αγωγό ισχύει ότι:

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot U \cdot D}{\mu} \quad (11)$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού,  $U$  η ταχύτητα του ρευστού,  $D$  η διάμετρος του σωλήνα και  $\mu$  το ιξώδες του ρευστού.

Γενικά ο αριθμός Reynolds ορίζεται ως:

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu} \quad (12)$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του ρευστού,  $U$  η χαρακτηριστική βαθμωτή ταχύτητα του ρευστού,  $L$  το χαρακτηριστικό βαθμωτό μήκος του ρευστού και  $\mu$  το ιξώδες του ρευστού. Καλό είναι να γνωρίζουμε ότι αναλόγως της γεωμετρίας του προβλήματος η κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds διαφέρει.

## 2.9 Βασικές εξισώσεις κίνησης ρευστών

### Θεώρημα μεταφοράς του Reynolds

**Εκτατικές ιδιότητες (N(t))** ενός ρευστού, λέγονται οι ιδιότητες που εξαρτώνται από την έκταση ή την ποσότητα του συστήματος. Η τιμή κάθε εκτατικής ιδιότητας είναι το άθροισμα όλων των υποσυστημάτων που την αποτελούν. Παραδείγματα εκτατικών ιδιοτήτων είναι ο όγκος (που είναι το άθροισμα των επιμέρους όγκων) και η μάζα (που είναι το άθροισμα των επιμέρους μαζών).

**Εντατικές ιδιότητες (η)** ενός ρευστού, λέγονται οι ιδιότητες που είναι ανεξάρτητες από την έκταση ή την ποσότητα του συστήματος. Η τιμή κάθε εντατικής ιδιότητας δεν είναι προσθετική και δεν αλλάζει με την ποσότητα του υλικού στο σύστημα. Παραδείγματα εντατικών ιδιοτήτων είναι η πίεση, η θερμοκρασία, η πυκνότητα του ρευστού κ.τ.λ. Επιπλέον είναι καλό να γνωρίζουμε ότι εντατικές ιδιότητες είναι επίσης όλες εκείνες που ορίζονται ανά μονάδα μάζας ή όγκου.

Εκτατικές Ιδιότητες N(t)	Εντατικές ιδιότητες η
M	l
P	v
-	-

**Πίνακας 2:** Παράδειγμα εκτατικών και αντίστοιχων εντατικών ιδιοτήτων συστήματος

Θεωρούμε ένα ρευστό με όγκο συστήματος  $V_m(t)$  και αντίστοιχη επιφάνεια  $A_m(t)$ , το **θεώρημα μεταφοράς του Reynolds** εκφράζεται από τη σχέση:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV = \iiint_{V_m(t)} \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV + \iint_{A_m(t)} \eta \rho \underline{v} \cdot \hat{\underline{n}} dA \quad (13)$$

όπου η οι εντατικές ιδιότητες του ρευστού, ρ η πυκνότητα του ρευστού,

$\underline{v}$  το διάνυσμα της ταχύτητας και

$\hat{\underline{n}}$  το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια ελέγχου  $A_m(t)$ .

Η ερμηνεία των όρων της σχέσης (13) φαίνεται ακολούθως:

$$\frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV = \iiint_{V_m(t)} \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV + \iint_{A_m(t)} \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA$$

<div style="border: 1px solid gray; background-color: #f0f0f0; padding: 5px; width: 100%;">                 χρονική μεταβολή του ολοκλήρωματος όγκου των εντατικών ιδιοτήτων             </div>	<div style="border: 1px solid gray; background-color: #f0f0f0; padding: 5px; width: 100%;">                 ολοκλήρωμα όγκου στον υλικό όγκο του συστήματος             </div>	<div style="border: 1px solid gray; background-color: #f0f0f0; padding: 5px; width: 100%;">                 επιφανειακό ολοκλήρωμα στην υλική επιφάνεια του συστήματος             </div>
---	--	---

Το μεγάλο πλεονέκτημα του θεωρήματος μεταφοράς του Reynolds είναι ότι

επιτρέπει την έκφραση ενός πολύπλοκου όρου  $\frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV$  σαν

$$\left( \iiint_{V_m(t)} \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV, \iint_{A_m(t)} \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA \right),$$

άθροισμα δύο απλούστερων όρων των οποίων ο υπολογισμός είναι ευκολότερος.

## 2.10 Εξίσωση συνέχειας

Σε ένα σύστημα οι εκτατικές ιδιότητες ( $N(t)$ ) και οι εντατικές ιδιότητες ( $\eta$ ), συνδέονται με τη σχέση:

$$N(t) = \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV \tag{14}$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού και  $V_m(t)$  ο όγκος του συστήματος. Τότε:

$$\Rightarrow \frac{dN(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV \tag{14}$$

και από το θεώρημα μεταφοράς του

Reynolds (2.1.2) έχουμε:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV = \iiint_{V_m(t)} \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV + \iint_{A_m(t)} \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA \tag{15}$$

Αν θεωρήσουμε όγκο ελέγχου  $V$  και επιφάνεια ελέγχου  $A$ , επιλέγουμε τη χρονική στιγμή  $t$  για την οποία ισχύουν  $V_m(t) = V$  και  $A_m(t) = A$ , οπότε η (15) γίνεται:



$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV = \iiint_V \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV + \iint_A \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA \quad (16)$$

Προσέχουμε ότι στον όρο  $\frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV$  δεν ακολουθούμε την αντικατάσταση  $V_m(t) = V$ , αφού στον όρο υπάρχει διαφορικό ως προς  $t!!!$  Η

εξίσωση (16) λέγεται «γέφυρα», διότι μέσω του όρου  $\frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \eta \rho dV$  συνδέει το σύστημα, με τον όγκο και την επιφάνεια ελέγχου μέσω του αθροίσματος

$$\iiint_V \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV + \iint_A \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA.$$

Η ερμηνεία των όρων της σχέσης (16) φαίνεται ακολούθως:

$\frac{dN(t)}{dt}$	$= \iiint_V \frac{\partial(\eta\rho)}{\partial t} dV$	$+ \iint_A \eta \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA$
ρυθμός αύξησης των εκτατικών ιδιοτήτων του συστήματος	ρυθμός αύξησης των εκτατικών ιδιοτήτων που περιέχονται στον όγκο ελέγχου τη χρονική στιγμή $t$	ρυθμός εκροής από την επιφάνεια ελέγχου τη χρονική στιγμή $t$

Θέτουμε στην γέφυρα (16) όπου  $N(t) = M$  και όπου  $\eta = 1$  και έχουμε :

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{V_m(t)} \rho dV = \iiint_V \frac{\partial\rho}{\partial t} dV + \iint_A \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA \quad (17)$$

Όμως από την αρχή διατήρησης της μάζας έχουμε ότι  $\left\{ \frac{dM}{dt} \right\} \Sigma = 0$  οπότε η (17) δίνει:

$\iiint_V \frac{\partial\rho}{\partial t} dV + \iint_A \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA = 0$	ολοκληρωτική μορφή ισοζυγίου μάζας
---	------------------------------------

Η ερμηνεία των όρων της σχέσης φαίνεται ακολούθως:

$\iiint_V \frac{\partial\rho}{\partial t} dV$	$+ \iint_A \rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA$	$= 0$
ο ρυθμός αύξησης της μάζας μέσα στον όγκο ελέγχου	ρυθμός εκροής μάζας από την επιφάνεια του ελέγχου	

Το πρόσημο του όρου  $\rho \underline{\underline{\hat{n}}} dA$  εξαρτάται από την διεύθυνση της ταχύτητας ροής  $\underline{\underline{v}}$  σε σχέση με το ορθομοναδιαίο κάθετο διάνυσμα  $\underline{\underline{\hat{n}}}$

στην επιφάνεια. Ειδικότερα, αν έχουμε  $\int \rho \underline{v} \cdot \hat{n} dA < 0$  ότι η ταχύτητα ροής

$\underline{v}$  έχει φορά προς το εσωτερικό του όγκου ελέγχου, αν  $\int \rho \underline{v} \cdot \hat{n} dA > 0$

έχουμε ότι η ταχύτητα ροής  $\underline{v}$  έχει φορά προς τα έξω.

Σύμφωνα με το θεώρημα απόκλισης του Gauss θέτοντας  $A = \rho * V$  έχουμε ότι:

$$\iiint_V \nabla \cdot \rho \underline{v} dV = \iint_A \rho \underline{v} \cdot \hat{n} dA, \text{ οπότε γίνεται:}$$

$$\iiint_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \iiint_V \nabla \cdot \rho \underline{v} dV = 0 \Leftrightarrow \iiint_V \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \underline{v} \right) dV = 0$$

(18)

Όμως η σχέση ισχύει για οποιαδήποτε τιμή του όγκου  $V$  οπότε από την ( ) βρίσκουμε:

$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \underline{v} = 0$	Εξίσωση συνέχειας
--	-------------------

(19)

Ο όρος  $\rho \underline{v}$  εκφράζει την μέση πυκνότητα της ροής ενώ η εξίσωση

συνέχειας δηλώνει ότι ρυθμός αύξησης της μάζας ανά μονάδα όγκου  $\left( \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)$

και ο ρυθμός εκροής ανά μονάδα όγκου  $\nabla \cdot \rho \underline{v}$  έχουν άθροισμα μηδέν.

Όπως ήδη αναφέραμε τα ασυμπίεστα ρευστά έχουν σταθερή πυκνότητα,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0,$$

οπότε  $\rho =$  σταθερό και οπότε από την εξίσωση συνέχειας (19)

βρίσκουμε ότι :  $\nabla \cdot \rho \underline{v} = 0 \Leftrightarrow \rho \nabla \cdot \underline{v} = 0 \Leftrightarrow \nabla \cdot \underline{v} = 0, \text{ αν } \rho \neq 0.$

Αν  $\underline{v} = u \underline{i} + v \underline{j} + w \underline{k}$ , τότε από την , παίρνουμε ότι:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(20)

## 2.11 Βασικές έννοιες αξονομετρικών ροών

**Εισαγωγικές έννοιες:**

**Γραμμές ροής (ή ροϊκές γραμμές)** λέγονται οι καμπύλες, των οποίων η εφαπτομένη σε κάθε σημείο τους συμπίπτει με το διάνυσμα της ταχύτητας, δηλαδή, ισχύει ότι:

$$\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \times \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{0}, t > 0 \quad (21)$$

Όπου  $\mathbf{r}(t)$  το διάνυσμα θέσης και

$\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$  η ταχύτητα του ρευστού.

**Ογκομετρική ροή Q** του ρευστού λέγεται ο όγκος του ρευστού που περνά από μια συγκεκριμένη επιφάνεια ανά μονάδα χρόνου. Από τον ορισμό είναι φανερό ότι η ογκομετρική ροή είναι παροχή. Στην περίπτωση της μη επίπεδης επιφάνειας η ογκομετρική ροή δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \iint_S \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} \quad (22)$$

Όπου  $\mathbf{v}$  η ταχύτητα του ρευστού και  $d\mathbf{S}$  η διαφορική επιφάνεια. Όμως ισχύει  $d\mathbf{S} = \mathbf{n} \cdot ds$  για  $\mathbf{n}$  το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια και  $ds$  η στοιχειώδεις επιφάνεια, οπότε η (22) γίνεται :

$$Q = \int_S \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} \cdot ds \quad (23)$$

Επιπλέον, αν η επιφάνεια S περικλείει έναν όγκο V από το θεώρημα απόκλισης του Gauss η σχέση (23) γίνεται:

$$Q = \iiint_V (\nabla \cdot \mathbf{v}) \cdot dV \quad (24)$$

**Μεσημβρινό επίπεδο** σε ένα σύστημα συντεταγμένων  $(\mathbf{n}, s, i_\phi)$  με αξιωματική εξάρτηση  $\phi$ , λέγεται κάθε επίπεδο που διέρχεται από τον κατακόρυφο άξονα. **Αξονοσυμμετρική ροή** ενός ρευστού, λέγεται η ροή στην οποία ισχύουν:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \phi} = \mathbf{0} \quad (25)$$

και

$$\underline{i}_\phi \cdot \underline{v} = 0 \quad (26)$$

Όπου  $\phi$  η αζιμουθιακή γωνία,

$\underline{v}$  η ταχύτητα του ρευστού και

$\underline{i}_\phi$  το μοναδιαίο διάνυσμα του αζιμουθίου  $\phi$

Η σχέση (25) δηλώνει ότι η ταχύτητα  $\underline{v}$  είναι ανεξάρτητη της αζιμουθιακής γωνίας, ενώ η σχέση (26) δηλώνει ότι αζιμουθιακή

συνιστώσα της ταχύτητας  $\underline{i}_\phi \cdot \underline{v}$  είναι παντού μηδέν ή  $\underline{i}_\phi \perp \underline{v}$ , οπότε η ροή είναι ίδια σε κάθε μεσημβρινό επίπεδο.

**Ροϊκή συνάρτηση  $\psi$  (ή ροϊκή συνάρτηση Stokes)** σε τρισδιάσταση

ασυμπίεστη ροή με αξονοσυμμετρία στο σημείο  $\underline{R}(\underline{r}, t)$  λέγεται το πηλίκο της ογκομετρικής ροής  $Q$  του ρευστού προς την επιφάνεια του μοναδιαίου κυκλικού δίσκου, δηλαδή,

$$\psi = \psi(\underline{R}, t) = \frac{Q}{2\pi}, t > 0 \quad (27)$$

Επιπλέον, αφού η ροή πάνω στον άξονα συμμετρίας είναι μηδέν, η ροϊκή συνάρτηση μηδενίζεται πάνω στον άξονα συμμετρίας, δηλαδή,

$$\psi(\underline{r} = 0, z, t) = 0, t > 0 \quad (28)$$

**Στροβιλισμός ενός πεδίου ροής (ή γωνιακή ταχύτητα περιστροφής)** είναι

το Διάνυσμα  $\underline{\omega}$ , για το οποίο ισχύει:

$$\underline{\omega} = \frac{1}{2} \cdot \nabla \times \underline{v} \quad (29)$$

## 2.12 Μοντελοποίηση με Πεπερασμένα στοιχεία

Για ασυμπίεστα ρευστά, όπου η πυκνότητα του είναι σταθερή, ισχύει η αρχή διατήρησης παροχής, δηλ:

$$Q_1=Q_2=V_1*A_1=V_2*A_2 \quad (30)$$

Σε περίπτωση στρωτής ροής, η παροχή συνδέεται με την πτώση πίεσης κατά μήκος του αγωγού. Η σχέση είναι:

$$Q = \frac{\rho D^4}{128\mu} * \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (31)$$

Η πτώση πίεσης για τυρβώδη ροή εκφράζεται συναρτήσει της απώλειας :

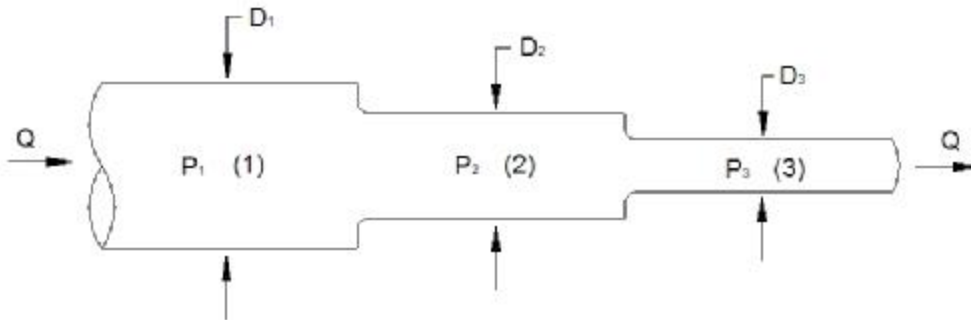
$$H_{\text{loss}} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = f * \frac{LV^2}{2Dg} \quad (32)$$

Όπου  $f$  είναι ο συντελεστής τριβής ο οποίος εξαρτάται από την τραχύτητα του αγωγού και τον αριθμό Reynolds. Επίσης για τυρβώδη ροή ισχύει :

$$Q^2 = \frac{\rho^2 D^5}{f 8\mu} * \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (33)$$

Όταν συγκρίνουμε τυρβώδη ροή με στρωτή υπογραμμίζουμε ότι στην περίπτωση τυρβώδους ροής η σχέση μεταξύ παροχής και πτώσης πίεσης είναι μη γραμμική.

### Αγωγοί εν σειρά



Εικόνα 22 Αγωγοί εν σειρά

Στην περίπτωση αυτή ισχύει :

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = \text{constant} \quad (34)$$

και

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = \text{constant} \quad (35)$$

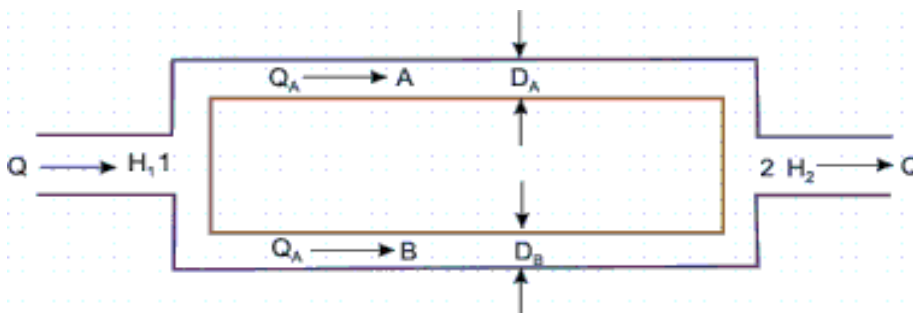
Όταν εκφράσουμε την παροχή συναρτήσει της ταχύτητας του ρευστού έχουμε :

$$V_1 * D_1^2 = V_2 * D_2^2 = V_3 * D_3^2 = \dots = \text{constant} \quad (36)$$

Σε αγωγούς σε σειρά η ολική πτώση πίεσης είναι:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots \quad (37)$$

### Αγωγοί εν παραλλήλω



Εικόνα 23 Αγωγοί εν παραλλήλω

Η αρχή διατήρησης μάζας είναι :

$$m_{\text{total}} = m_1 + m_2 \quad (38)$$

και για μια ασυμπίεστη ροή έχουμε :

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 \quad (39)$$

Για αγωγούς εν' παραλλήλω η πτώση πίεσης σε κάθε παράλληλο κλάδο είναι η ίδια και σχετίζεται σύμφωνα με :

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (40)$$

Η συμπεριφορά της ροής του ρευστού μέσα σε ένα τμήμα σωλήνα διαμορφώνεται από ένα στοιχείο με δύο κόμβους. Η περιγραφή του στοιχείου δίνεται από τη σχέση μεταξύ του ρυθμού ροής και της πτώσης πίεσης όπως :

$$Q = \frac{\rho D^4}{128m} * \frac{P_i - P_{i+1}}{L} = C(P_i - P_{i+1}) \quad (41)$$

όπου ο συντελεστής ροής αντίσταση  $c$  δίνεται από :

$$C = \frac{\rho D^4}{128Lm} \quad (42)$$

Επειδή υπάρχουν δύο κόμβοι ανά στοιχείο, απαιτείται να δημιουργήσουμε δύο εξισώσεις για κάθε στοιχείο. Αυτές οι εξισώσεις πρέπει να περιλαμβάνουν την κομβική πίεση και την παροχή της αντίστασης του στοιχείου. Θεωρούμε τις κομβικές παροχές  $Q_i$  και  $Q_{i+1}$  και κομβικές πιέσεις  $P_i$  και  $P_{i+1}$  ανά στοιχείο, οι οποίες σχετίζονται με τις εξισώσεις:

$$Q_i = C(P_i - P_{i+1}) \quad (43)$$

και

$$Q_{i+1} = C(P_{i+1} - P_i) \quad (44)$$

Οι εξισώσεις (43,44) διαμορφώθηκαν έτσι ώστε η διατήρηση της μάζας να είναι ικανοποιημένη, καθώς και το άθροισμα του  $Q_i$  και του  $Q_{i+1}$  είναι μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι υπό μόνιμες συνθήκες το στοιχείο, αυτό που ρέει σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο πρέπει να ρέει προς τα έξω. Οι Εξισώσεις (43,44) μπορεί να εκφραστούν σε μορφή πίνακα με :

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} \dot{y} = \begin{bmatrix} C & -C \\ C & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_{i+1} \end{bmatrix} \dot{y} = \begin{bmatrix} \frac{\rho D^4}{128Lm} & -\frac{\rho D^4}{128Lm} \\ \frac{\rho D^4}{128Lm} & \frac{\rho D^4}{128Lm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \end{bmatrix} \dot{y} \quad (45)$$

Ο πίνακας ροής αντίστασης του στοιχείου τότε δίνεται από:

$$[R]^{(e)} = \begin{bmatrix} \frac{\rho D^4}{128Lm} & -\frac{\rho D^4}{128Lm} \\ \frac{\rho D^4}{128Lm} & \frac{\rho D^4}{128Lm} \end{bmatrix} \quad (46)$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση. (45) σε όλα τα στοιχεία και τη συναρμολόγηση τους που οδηγεί στο σχηματισμό του ολικού πίνακα ροής το μητρώο της ροής αντίστασης, και το μητρώο πίεσης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ANSYS ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ

### **3.1 Εφαρμογή 1 ροή λυμάτων σε αγωγών**

Λύματα σε θερμοκρασία 10 °C ρέουν σε κυκλικό χαλύβδινο αγωγό (συντελεστής τριβής  $f=0.016$ ) διαμέτρου  $d=6$  in (15.24 cm) με μέση ταχύτητα  $v =132$  in/sec (3.3528 m/sec). Προσδιορίστε την πτώση πίεσης  $\Delta p$ , για μήκος αγωγού  $L=2400$  in (60.96 m). Το ειδικό βάρος των λυμάτων είναι περίπου 1.0. Ανάλυση, υποθέσεις και μοντελοποίηση του προβλήματος

Η παροχή του ρευστού εισέρχεται ως κομβική ποσότητα στην αρχή του αγωγού. Η πίεση εξόδου θεωρείται μηδενική ως πίεση αναφοράς.

Απαιτείται επαναληπτική λύση για να υπολογίσουμε την πτώση πίεσης κατά μήκος του αγωγού. Απαιτούνται οι κάτωθι ποσότητες

Διατομή αγωγού  $A= \pi d^2/4 =28.274$  in<sup>2</sup> (182.4 cm<sup>2</sup>)

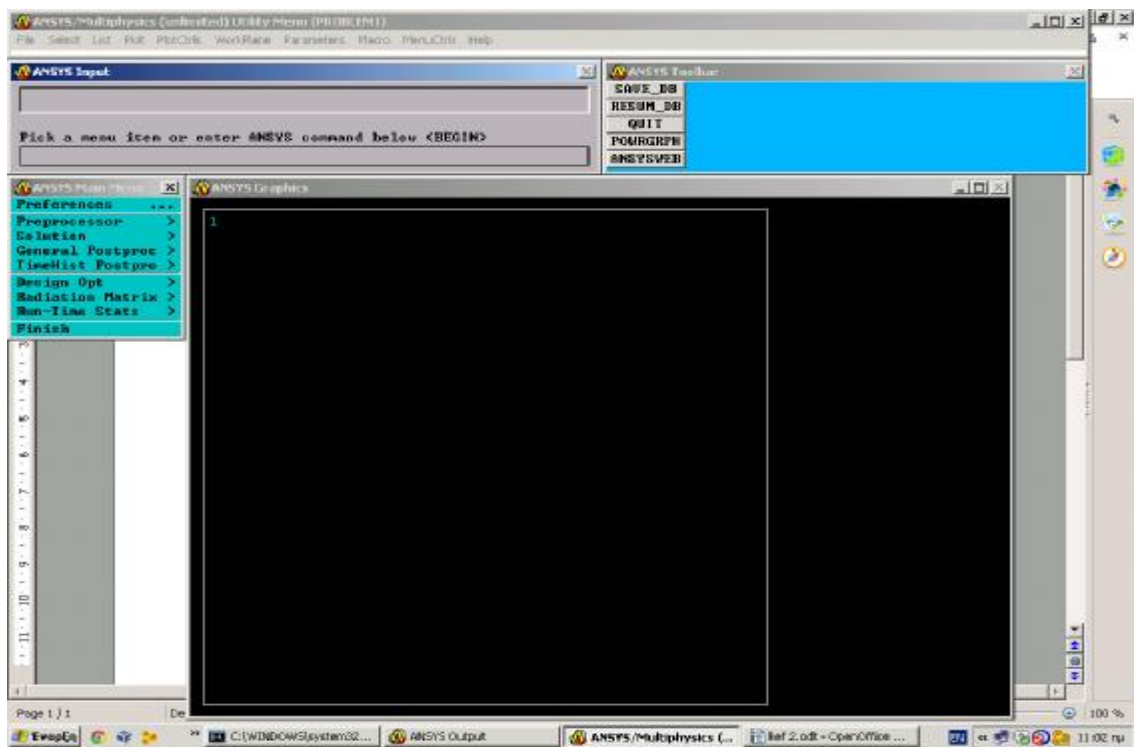
Πυκνότητα λυματος  $\rho=1.0 \cdot 62.4=62.4$  lbf/ft<sup>3</sup> $=8.411$  (10<sup>-5</sup>) lbf-sec<sup>2</sup>/in<sup>4</sup>

Παροχή  $w=rgvA=121.3$  lbf/sec



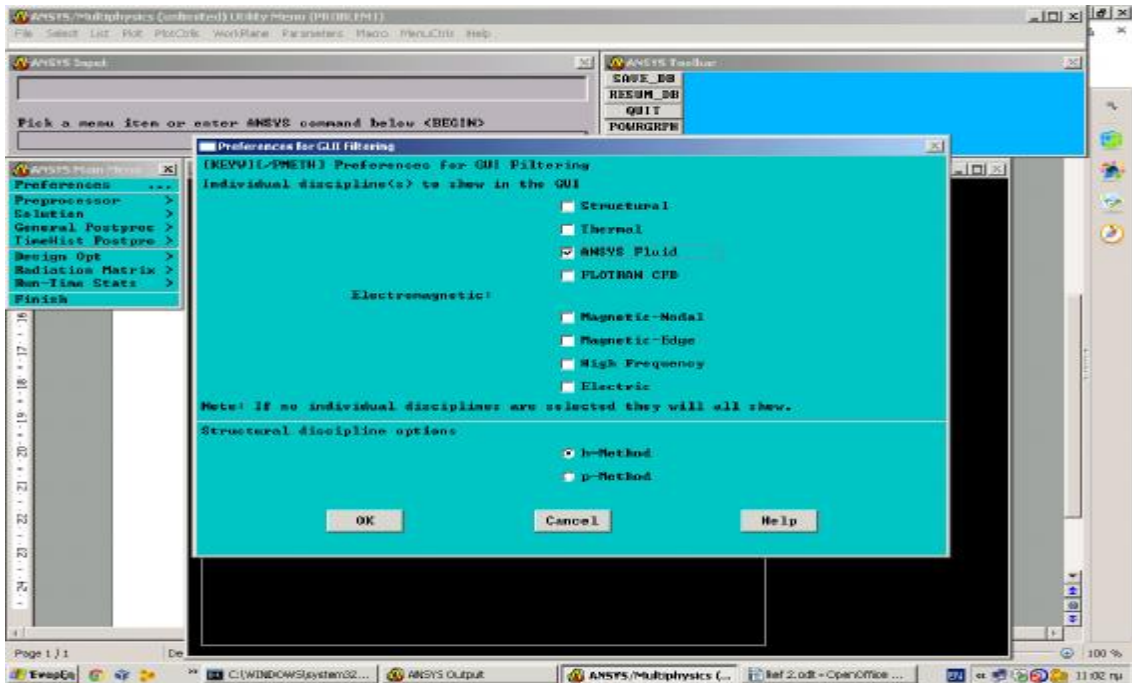
Εικόνα 24 Χαλύβδινος Αγωγός

## Επίλυση με το ANSYS



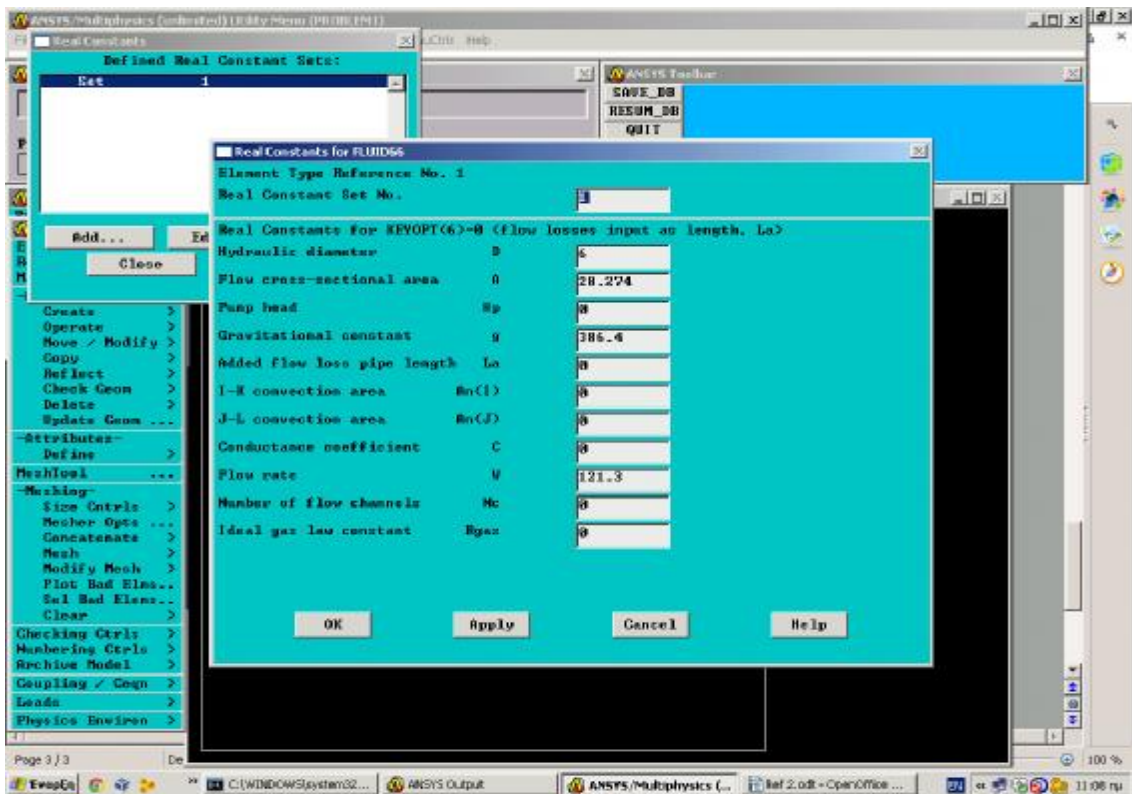
Εικόνα 25 Περιβάλλον ANSYS πρόγραμμα

Επιλέγουμε το ANSYS FLUID διότι το πρόβλημα είναι ρευστομηχανικής

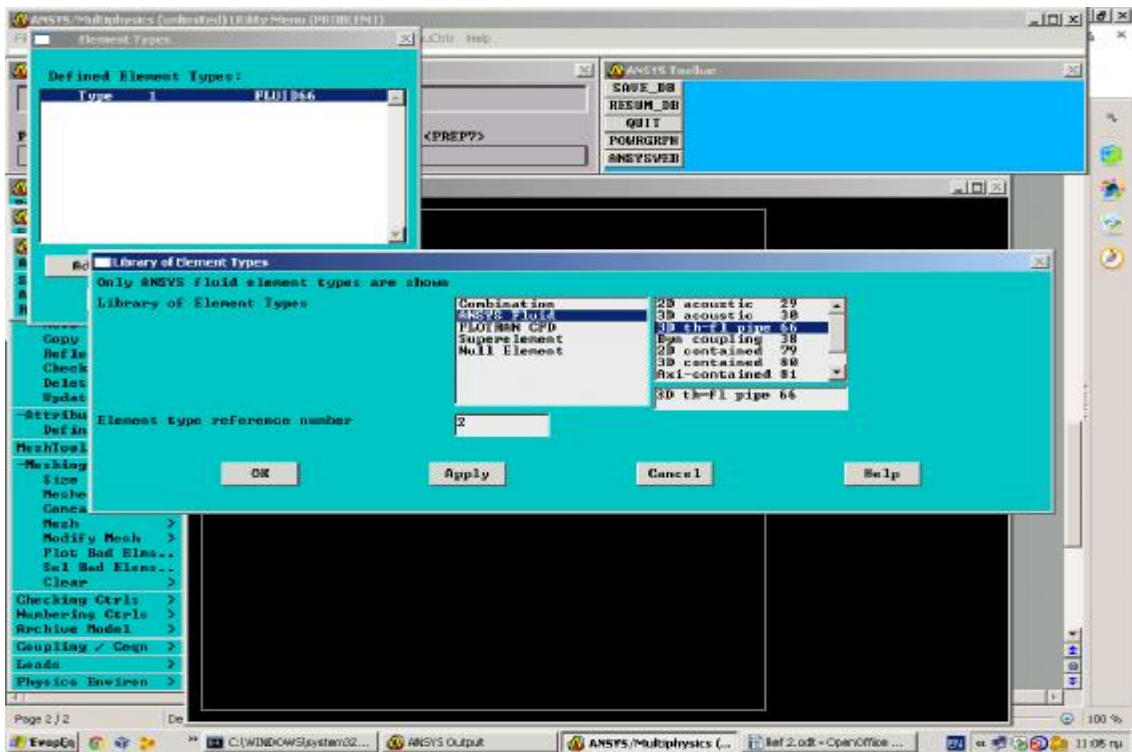


Εικόνα 26 Εισαγωγή στοιχείου

Στο επόμενο στάδιο επιλέγουμε το είδος πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιήσουμε για την επίλυση του προβλήματος



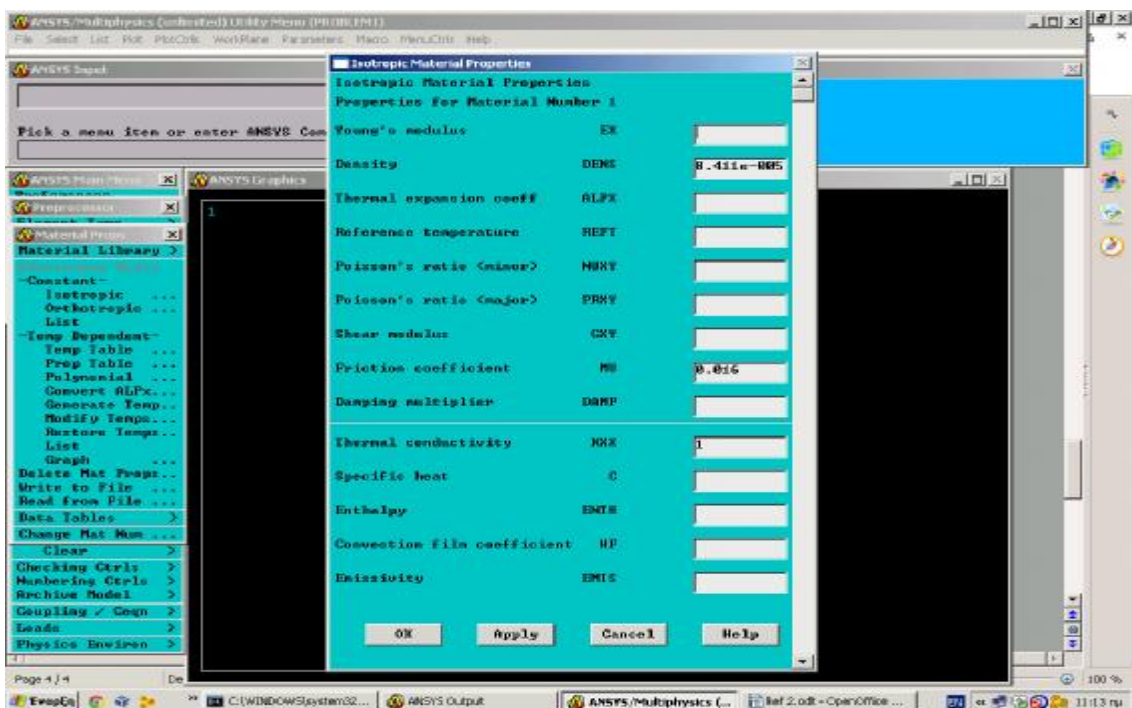
Εικόνα 27 Εισαγωγή γεωμετρικών στοιχείων



Εικόνα 28 Εισαγωγή στοιχείου

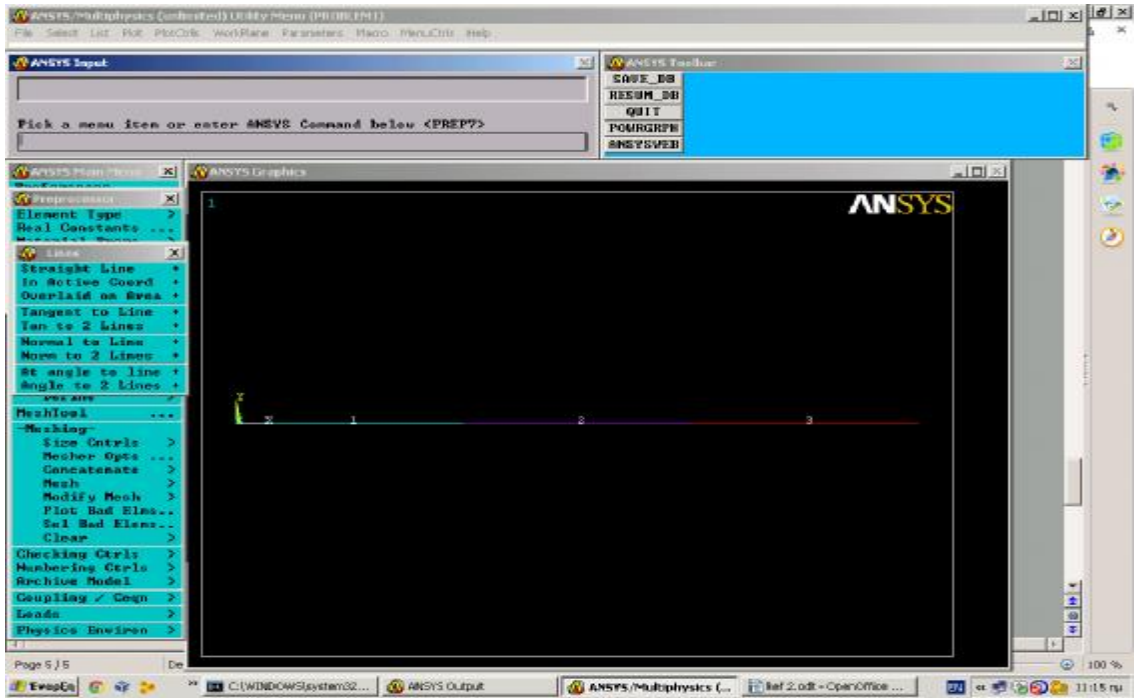
Εισάγουμε τις ιδιότητες του λύματος

Εισάγουμε την πυκνότητα του ρευστού (λύματος) και τον συντελεστή τριβής του αγωγού



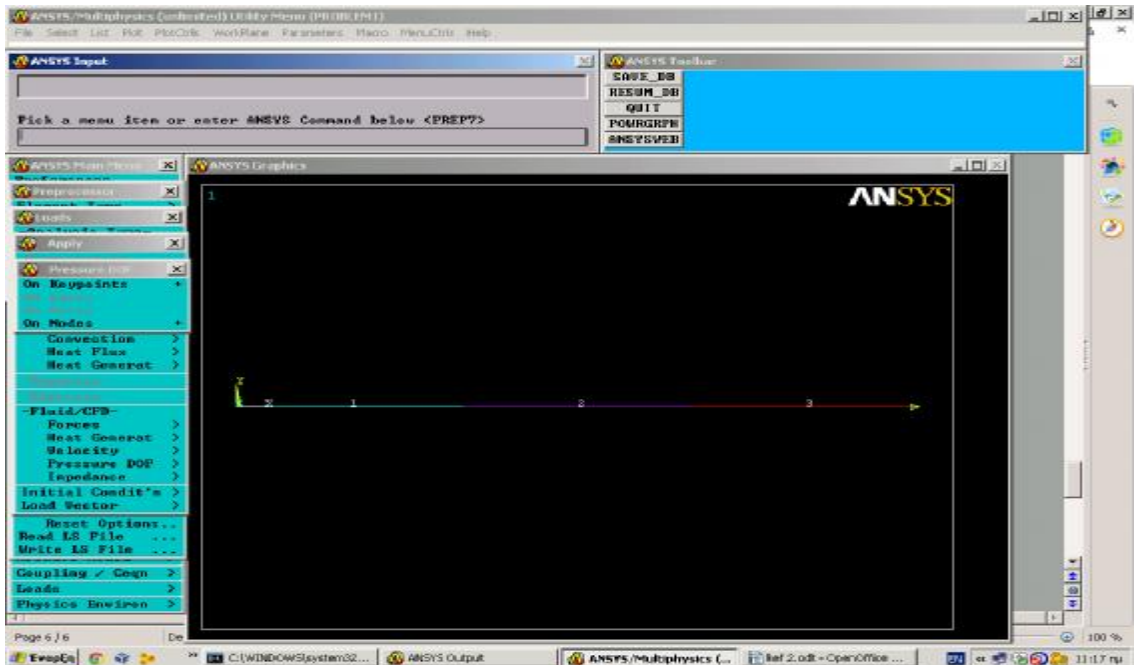
Εικόνα 29 Εισαγωγή μέτρου ελαστικότητας και συντελεστή τριβής του αγωγού

Κατασκευάζουμε το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων για τον αγωγό



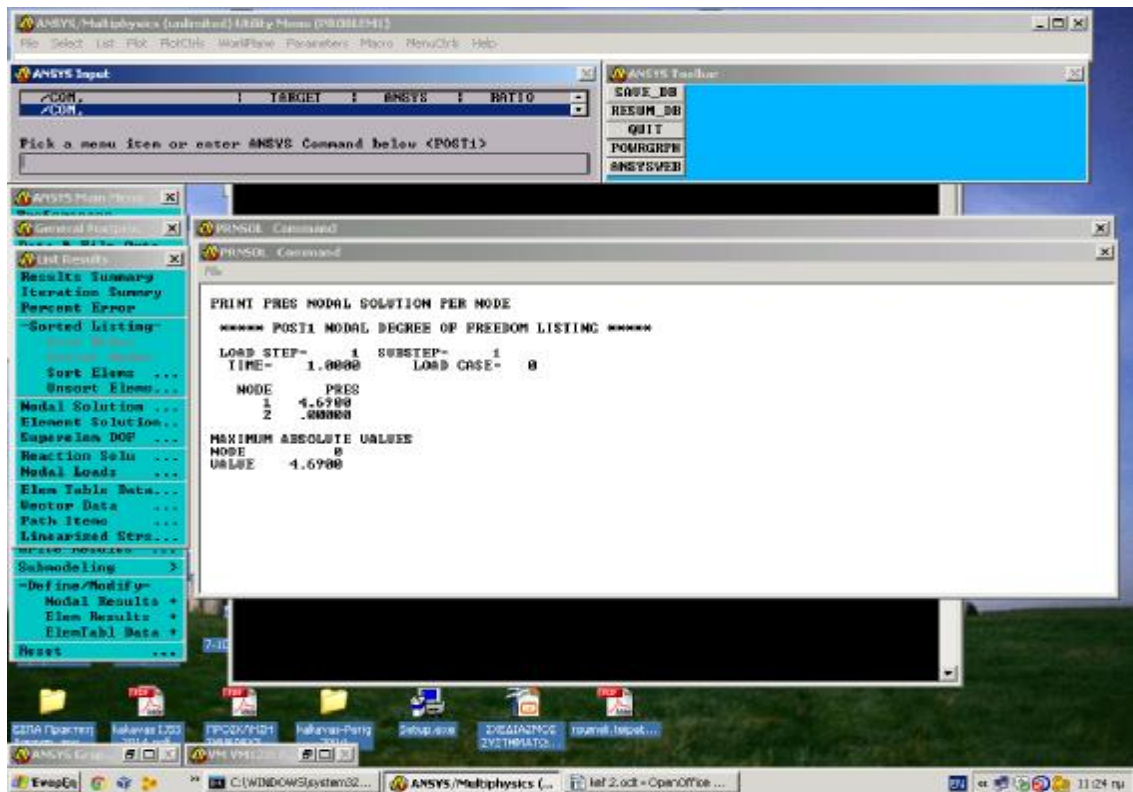
Εικόνα 30 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων

Εισάγουμε τις οριακές συνθήκες στα άκρα του αγωγού



Εικόνα 31 Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων

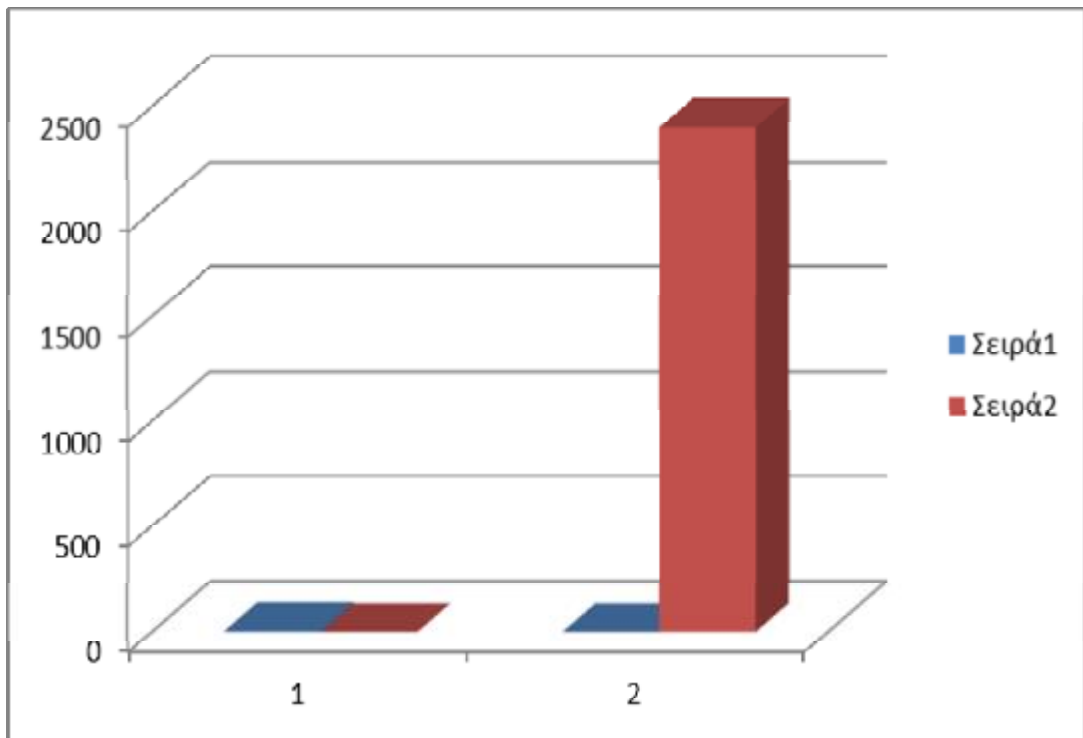
## Επίλυση του προβλήματος με το ANSYS



Εικόνα 32 Αποτελέσματα τιμών πίεσης στους κόμβους

Αποτελέσματα :

Η πτώση πίεσης είναι  $\Delta p = 4.69$  psi



Εικόνα 33 Διάγραμμα

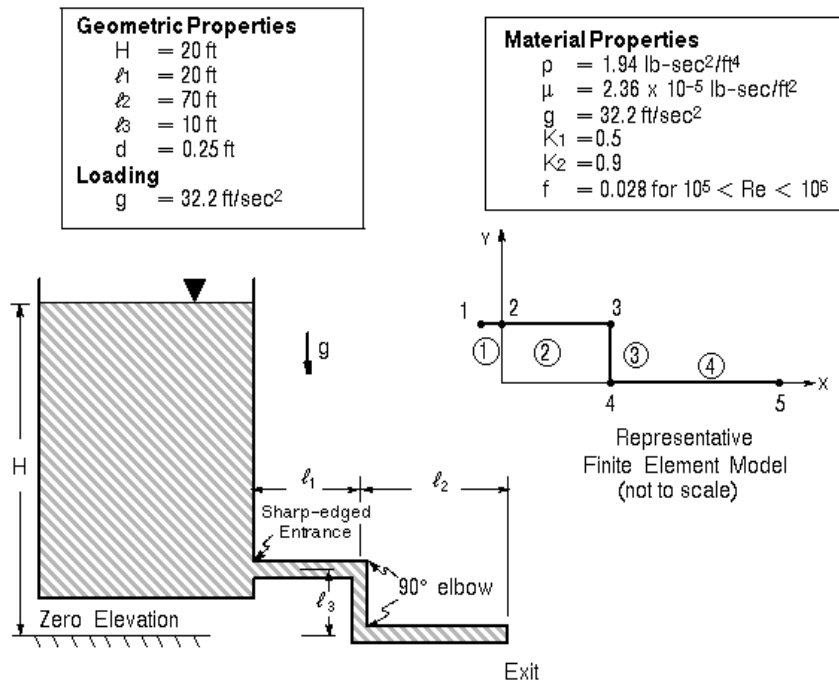
### 3.2 Εφαρμογή 2 μελέτη εκροής λυμάτων απο δεξαμενές

Λύμα πυκνότητας  $\rho$  και ιξώδους  $\mu$  εκρέει από μεγάλη δεξαμενή σε σύστημα αγωγών. Προσδιορίστε τον αριθμό  $Re$  και την παροχή  $w$  μέσω σωλήνων με συντελεστή τριβής  $f$  και διάμετρο  $d$ . Οι συντελεστές απώλειας για γωνία 90 μοιρών είναι  $k_1$  και  $k_2$  αντίστοιχα.

Τα γεωμετρικά στοιχεία της δεξαμενής αναγράφονται κατωτέρω.

Το ύψος της δεξαμενής είναι  $h-L_3 = 10$  ft το οποίο ενεργεί σαν ισχύ της αντλίας. Η πίεση εξόδου του λύματος θεωρείται 0, η λύση απαιτεί μια επαναληπτική μέθοδο. Ο συντελεστής τριβής είναι 0.025 και η διατομή του σωλήνα είναι  $A = \pi d^2/4 = 0.049$  ft<sup>2</sup>.

1

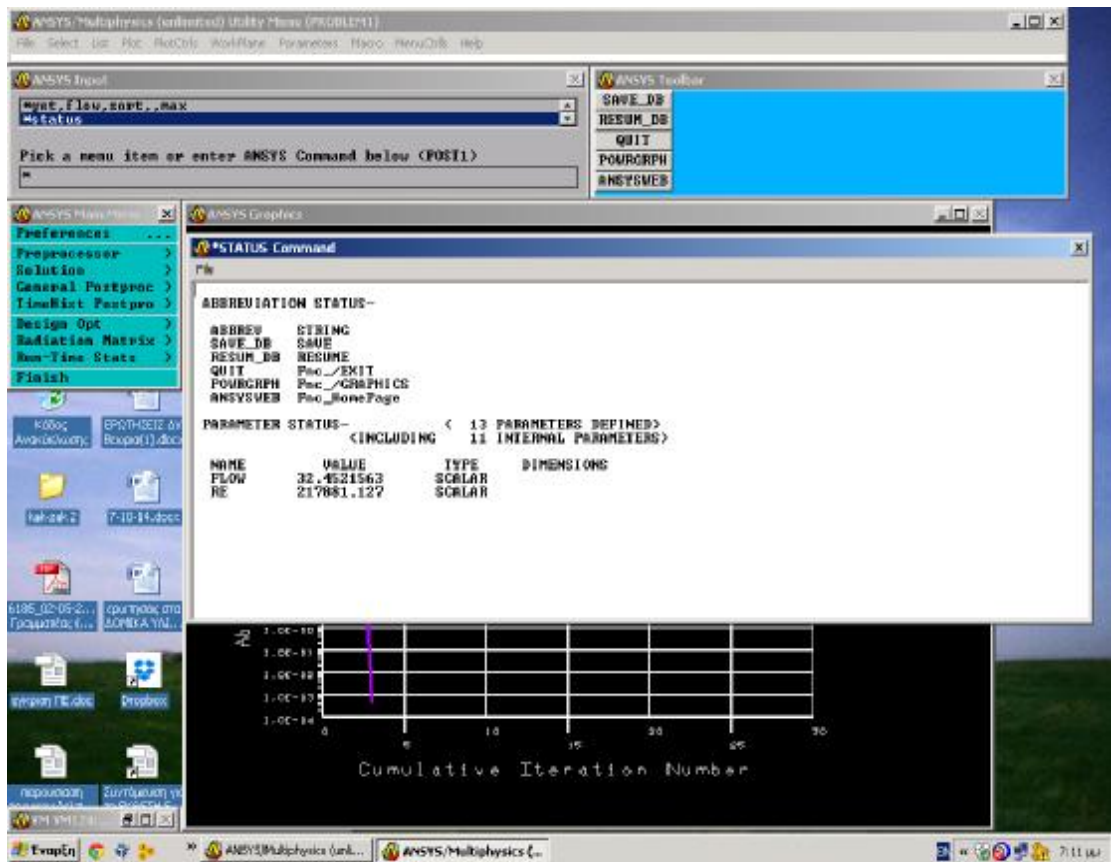


Η επίλυση του προβλήματος έγινε με το πρόγραμμα ANSYS-FLUID. Το σύστημα των αγωγών εξόδου αναλύεται σε πεπερασμένα στοιχεία όπως φαίνεται στο ανωτέρω σχήμα. Τα γεωμετρικά στοιχεία καθώς και οι ιδιότητες του λύματος εισάγονται στο πρόγραμμα ANSYS καθώς και οι συντελεστές τριβής των αγωγών και της γωνίας που σχηματίζουν μεταξύ τους. Η παροχή εκροής και ο συντελεστής Reynolds υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του ANSYS. Οι τιμές των είναι  $w=32.45$  lb/sec και  $Re=217881,127 = 2,2(10^5)$  όπως φαίνεται στο σχήμα. Η πίεση στους πέντε κόμβους



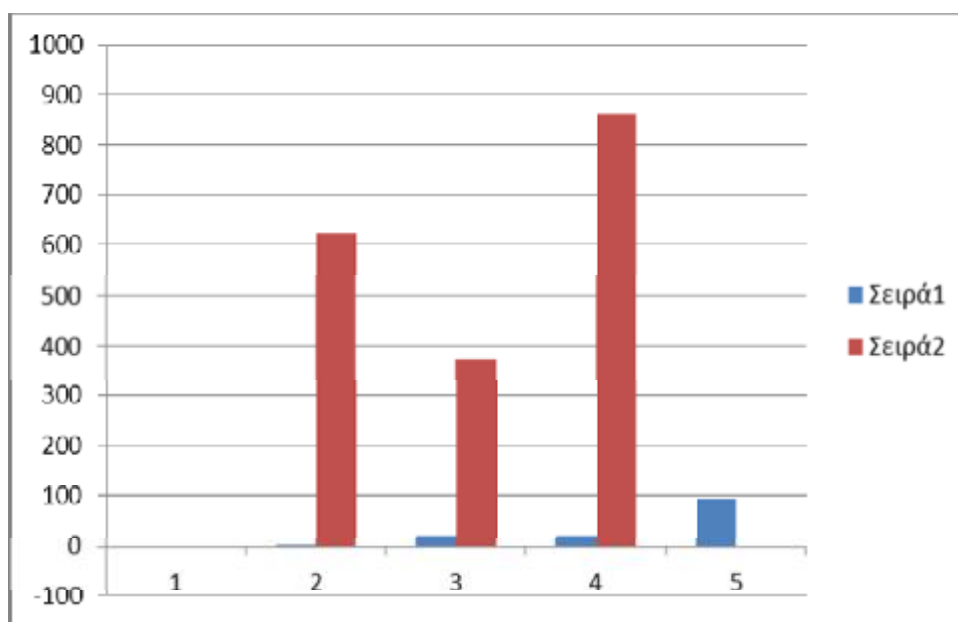
υπολογίστηκε με ο ANSYS και τα αποτελέσματα αναγράφονται στο σχήμα.

Οι τιμές είναι

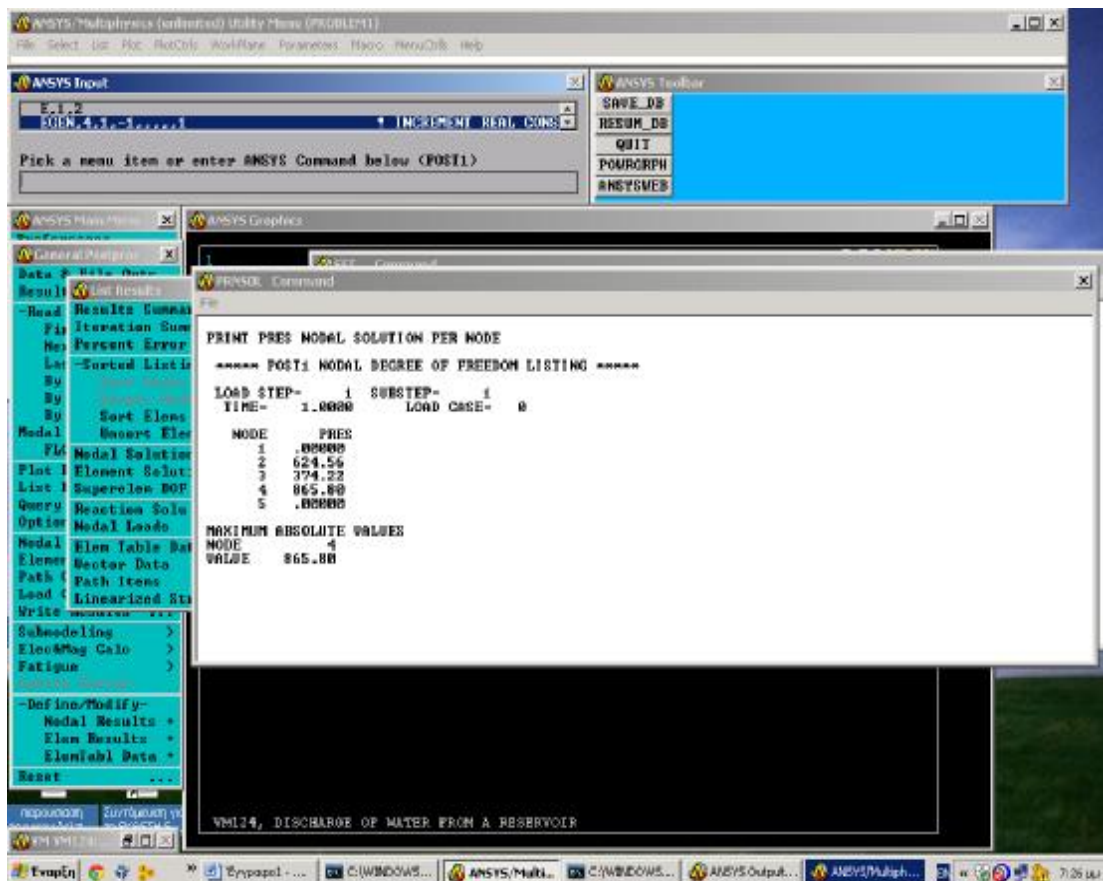


Εικόνα 34 Τιμές παροχής και αριθμού Reynolds

Κόμβος	1	2	3	4	5
Πίεση	0	624.56	374,22	865,00	0



Εικόνα 35 Μεταβολή της πίεσης κατά μήκος των αγωγών (p psi, L ft)



Εικόνα 36 Τιμές κομβικών πιέσεων

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με τη μελέτη βιολογικών καθαρισμού εγκαταστάσεων αστικών λυμάτων. Η μελέτη ροής λυμάτων σε κλειστούς αγωγούς με πεπερασμένα στοιχεία, πρόγραμμα ANSYS έδειξε ότι η ροή των λυμάτων ακολουθεί την ίδια διαδικασία με την αντίστοιχη της ροής του νερού σε κλειστούς αγωγούς. Μελετήσαμε στρωτή και τυρβώδη ροή σε λύματα και παρατηρούμε ότι η ταχύτητα ροής εξαρτάται από την διαφορά πίεσης στα άκρα του αγωγού καθώς και από τον συντελεστή τριβής του αγωγού. Το συντελεστή τριβής τον πήραμε από πίνακες και η ταχύτητα ροής υπολογίστηκε από την παροχή των λυμάτων. Η παροχή υπολογίστηκε από τον αριθμό των κατοίκων της περιοχής μελέτης και συνήθως αντιστοιχεί σε 50 lt/κάτοικο/ημέρα.

Επίσης μελετήσαμε με πεπερασμένα στοιχεία την ροή λυμάτων από δεξαμενές σε βιολογικές εγκαταστάσεις. Υπολογίσαμε την πίεση σε διαφορετικά σημεία του αγωγού εξόδου των λυμάτων από τη δεξαμενή και βρήκαμε ότι η πίεση εξαρτάται από την διαφορά ύψους των αγωγών στην έξοδο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. ΤΣΟΓΚΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, «ΔΙΚΤΥΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ "ΙΩΝ", ΑΘΗΝΑ 1998.
2. ΤΣΩΝΗΣ ΣΤ., «ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ 2004.
3. ΣΤΑΜΟΥ Α. – ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ Ζ., «ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΗ Τ.Ε.Ε., ΑΘΗΝΑ 1994.
4. METCALF – EDDY, «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, ΑΘΗΝΑ 2007.
5. ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ, «ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΑΘΗΝΑ 1990.
5. FINITE ELEMENTS ANALYSIS <<THEORY AND APPLICATION WITH ANSYS THIRD EDITION SAEED MOAVENI>>
6. ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ – ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ» (Ε.Δ.Ε.Υ.Α.), ΛΑΡΙΣΑ 1999.
7. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ Α. – ΜΑΜΑΗΣ Δ. – ΚΑΤΣΙΡΗ Α., «ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΗ Ε. Α. Π, ΠΑΤΡΑ 2001.
8. ΚΟΥΡΗΣ Δ. – ΒΛΑΣΤΟΣ Θ. – ΜΠΙΡΜΠΙΛΗ Τ. – ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ Γ. ΧΡΙΣΤΟΥΛΑΣ Δ. – ΚΟΡΑΣ Α. – ΤΣΟΥΤΣΟΣ Θ., «ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ, ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΕΡΓΑ», ΕΚΔΟΣΗ Ε. Α. Π, ΠΑΤΡΑ 2001.
9. ΘΕΟΔΩΡΑΤΟΣ Π. – ΚΑΡΑΚΑΣΙΔΗΣ Ν. «ΥΓΙΕΙΝΗ – ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ "ΙΩΝ" ΑΘΗΝΑ 1997.
10. ΚΑΡΒΟΥΝΗΣ ΣΩΤ. – ΓΕΩΡΓΑΚΕΛΟΣ ΔΗΜ., «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2003.

11. ΦΙΛΙΟΣ ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΣ, «ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ " ΙΩΝ " , ΑΘΗΝΑ 2003.
12. ΜΗΝΙΑΙΟ ΤΕΧΝΙΚΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ «Ο ΘΕΡΜΟΪΔΡΑΥΛΙΚΟΣ», ΤΕΥΧΟΣ 153, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2004.
13. ΒΛΥΣΙΔΗΣ Α (2004) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ. ΕΜΠ ΑΘΗΝΑ
14. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ Ε (2002) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ. ΕΜΠ ΑΘΗΝΑ
15. ΜΑΡΚΑΝΤΩΝΑΤΟΣ Μ (1990) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ. ΑΘΗΝΑ
16. ΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Κ ΚΑΙ ΜΑΜΑΗΣ (2006) ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΚΑΘΙΖΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΙΛΥΟΣ. ΕΜΠ. ΑΘΗΝΑ
17. <http://www.aquastar.gr/bioclear.html>
18. <http://el.wikipedia.org/> %BD
19. <http://hellas.teipir.gr/Thesis/Eordaia/greek/Biologikos%20Katharismos.htm>
20. <http://www.brentas.gr/brentas/index.php>
21. <http://www.bioaction.gr/Arfra4.htm>
22. [http://toneropigizois.blogspot.com/2010/04/blog-post\\_19.html](http://toneropigizois.blogspot.com/2010/04/blog-post_19.html)
23. <http://www.ecomec.gr>

