

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα βιολογικών φίλτρων είναι μία τεχνολογία, η οποία εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση των βιολογικών φίλτρων βελτιστοποιείται όταν η ροή των αποβλήτων κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, επομένως σε μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Στην Ελλάδα, δεν υπάρχουν πολλά μεγάλα αστικά κέντρα και από τις 241 συνολικά εγκαταστάσεις επεξεργασίας, οι 147 εξυπηρετούν 500 – 10.000 κατοίκους η καθεμία., ενώ μόνο οι 9 εξυπηρετούν πάνω από 100.000 κατοίκους (*K.P. Tsagarakis et al., 2000*). Επομένως, η σημαντικότητα της χρησιμοποίησης βιολογικών φίλτρων στις αρκετές μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας που υπάρχουν στην ελληνική επικράτεια, είναι αδιαμφισβήτητη.

Πέραν της αποδοτικότητας στις χαμηλές ροές αποβλήτων, τα βιολογικά φίλτρα διαθέτουν και άλλα πλεονεκτήματα. Η λειτουργία τους είναι απλή και χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος, σε σύγκριση με άλλα συστήματα απομάκρυνσης οργανικών ουσιών (συστήματα ενεργούς ιλύος). Επίσης, η χρησιμοποίηση πολλαπλών βαθμίδων (βιολογικά φίλτρα στη σειρά) και η επανακυκλοφορία, μειώνουν κατά πολύ την απαιτούμενη έκταση γης και το κατασκευαστικό κόστος των βιολογικών φίλτρων.

Μέχρι σήμερα, δεν έχει καταστεί δυνατή η δημιουργία ενός μοντέλου που να υπολογίζει την απόδοση των φίλτρων αυτών για όλες τις δυνατές περιπτώσεις. Αντίθετα, υπάρχει μία πλειάδα μαθηματικών μοντέλων, τα οποία όμως αναφέρονται σε ειδικές συνθήκες και δεν ενδείκνυνται για γενική εφαρμογή. Ο σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να καταγραφούν και να διερευνηθούν όλα τα μοντέλα και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί μία σύγκριση των κυριοτέρων εξ αυτών. Εκτός από τα μοντέλα των βιολογικών φίλτρων, εξετάζονται και μοντέλα για τα υπόλοιπα τμήματα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας (μέτρηση ροής, εσχάρωση, εξάμμιση, πρωτοβάθμια επεξεργασία). Κάθε μοντέλο που εξετάζεται, αποτελεί τη βάση δημιουργίας ενός προγράμματος σχεδιασμού και ενός προγράμματος ελέγχου λειτουργίας σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN. Στη συνέχεια όλα τα προγράμματα σχεδιασμού ενώνονται σε ένα συνολικό, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα πρόγραμμα σχεδιασμού των κυριότερων τμημάτων μιας εγκατάστασης επεξεργασίας. Το ίδιο

συμβαίνει και με τα επιμέρους προγράμματα ελέγχου λειτουργίας. Η δομή της διπλωματικής αυτής εργασίας έχει ως εξής:

### 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γίνεται μία εισαγωγή στην έννοια των υγρών αποβλήτων, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά αυτών και παρουσιάζονται με σύντομο τρόπο όλες οι πιθανές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αυτών.

### 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Αναλύεται λεπτομερώς η θεωρία που διέπει τα βιολογικά φίλτρα: βιολογική διαδικασία, είδη και διατάξεις βιολογικών φίλτρων, χαρακτηριστικά λειτουργίας

### 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Παρουσιάζονται τα κυριότερα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (μέτρηση ροής, εσχάρωση, εξάμμιση, πρωτοβάθμια καθίζηση, βιολογικά φίλτρα) και αναπτύσσονται τα μοντέλα τους.

### 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι που κατασκευάστηκαν για τη δημιουργία των προγραμμάτων σχεδιασμού και προσομοίωσης

### 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Περιγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των μαθηματικών μοντέλων.

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρουσιάζονται τα προγράμματα σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN.

Τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες για το σχεδιασμό εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, αλλά μπορούν επίσης να γίνουν χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις, ώστε να βρεθούν τυχόν ατέλειες στη λειτουργία, οι οποίες επηρεάζουν και μειώνουν την αναμενόμενη απόδοση.

Το κυριότερο συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι ότι τα περισσότερα μοντέλα δεν προσομοιάζουν με ικανοποιητικό τρόπο την πραγματικότητα και έχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, με συνέπεια τα αποτελέσματα να μην είναι φυσιολογικά. Οι

---

αποκλίσεις αυτές οφείλονται σε τυπογραφικά λάθη και αναφορές σε διαφορετικά συστήματα μέτρησης. Αλλά ακόμη και τα ίδια μοντέλα παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στα διάφορα βιβλία και άρθρα, δείγμα της προχειρότητας με την οποία έχει αντιμετωπιστεί το όλο ζήτημα.

## **1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στην αρχή της διπλωματικής αυτής εργασίας, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μία εισαγωγή στην έννοια των υγρών αποβλήτων και της επεξεργασίας τους. Στο παρόν κεφάλαιο προσδιορίζονται τα υγρά απόβλητα, γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην επεξεργασία τους, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους με τις τυπικές τιμές τους, αναλύονται τα επιμέρους στάδια της επεξεργασίας τους και τέλος περιγράφεται η κινητική των βιολογικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην επεξεργασία τους.

## 1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Από τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης του ανθρώπινου είδους, κάθε κοινωνία παράγει υγρά, στερεά απόβλητα και ταυτόχρονα εκπέμπει αέρια. Τα υγρά απόβλητα είναι στην ουσία τα αποθέματα νερού του πληθυσμού, αφού έχουν χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία εφαρμογών.

Όταν τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα συσσωρεύονται, η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που περιέχουν, μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες συνέπειες, όπως δυσάρεστες οσμές. Επιπρόσθετα, τα μη επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιέχουν πληθώρα παθογόνων οργανισμών, οι οποίοι στη συνέχεια εναποτίθενται στο ανθρώπινο εντερικό σύστημα. Ακόμη περιέχουν θρεπτικά, που προκαλούν την υπερανάπτυξη των θαλάσσιων φυτών, ή ακόμα και τοξικές ουσίες ή ουσίες που ενδεχομένως να είναι μεταλλακτικές και καρκινογόνες. Γι' αυτούς τους λόγους, η άμεση μετακίνηση των υγρών αποβλήτων από τις πηγές δημιουργίας τους, ακολουθούμενη με επεξεργασία, επαναχρησιμοποίηση και διανομή ξανά στο περιβάλλον, είναι απαραίτητη για την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και της δημόσιας υγείας. Η γενικότερη τακτική που ακολουθείται σήμερα για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι η εξής:

- a) συλλογή των υγρών αποβλήτων
- b) διοχέτευσή τους σε αποχετευτικά συστήματα, που καταλήγουν σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας
- c) επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με ποικίλους τρόπους
- d) επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών ή διάθεσή τους στους υδάτινους αποδέκτες

Είναι φυσικό σε αρκετά μέρη του πλανήτη να διαφοροποιείται σημαντικά αυτή η διαδικασία. Για παράδειγμα, σε πολλά κράτη της Αφρικής τα υγρά απόβλητα δεν επεξεργάζονται ή η επεξεργασία τους είναι η απόλυτα στοιχειώδης. Απ' την άλλη, σε χώρες τεχνολογικά προηγμένες εφαρμόζονται προχωρημένες μέθοδοι επεξεργασίας, οι οποίες είναι οικονομικά ασύμφορες για τα περισσότερα αναπτυγμένα κράτη.

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να οριστούν ως ένας συνδυασμός των αποβλήτων σε υγρή μορφή (που παράγονται από οικίες, εμπορικές και βιομηχανικές μονάδες) και των υπογείων, των επιφανειακών και των βρόχινων νερών. Μπορούμε να τα διακρίνουμε ανάλογα με την προέλευσή τους στις ακόλουθες κατηγορίες:

- 
- i. Αστικά απόβλητα, που προέρχονται από οικιακά συγκροτήματα, γραφεία, καταστήματα, σχολεία, ξενοδοχεία κ.λ.π.
  - ii. Απόβλητα βιομηχανιών και βιοτεχνιών, που διοχετεύονται στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς ή με μερική επεξεργασία
  - iii. Επιφανειακά νερά απορροής, δηλαδή τα νερά της βροχής μαζί με τα προϊόντα έκπλυσης των δρόμων, που καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα
  - iv. Νερά διήθησης-εισροής, που δέχεται το αποχετευτικό σύστημα λόγω της μη απόλυτης στεγανότητάς του (αρμοί αγωγών, σημεία με φθορές κ.α.) και που προέρχονται από τον υδροφόρο ορίζοντα και τα νερά επιφανειακής απορροής

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στη σημερινή εποχή η κατάλληλη διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι αναγκαία και δεν αποτελεί μία επιλογή, αλλά μία υποχρέωση. Ιστορικά, η πρακτική της συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους έχει αναπτυχθεί κυρίως στα τέλη του προπερασμένου αιώνα. Παρόλα αυτά έχουν βρεθεί υπολείμματα υπονόμων σε αρχαίες πόλεις, των οποίων η χρήση για το φορτίο των υγρών αποβλήτων είναι άγνωστη. Το πολύπλοκο σύστημα αποχέτευσης της αρχαίας Ρώμης δεν περιέκλειε αποθέσεις υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα αποκλείονταν και αποβάλλονταν, όπως και από τα αποχετευτικά συστήματα του Λονδίνου, του Παρισιού και της Βοστώνης μέχρι και τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

Πριν τη σύγχρονη εποχή, οι κάτοικοι τοποθετούσαν τα βοθρολύματα σε κάδους κατά μήκος των δρόμων και εργάτες άδειαζαν τα απόβλητα σε άμαξες. Τα απόβλητα μεταφέρονταν σε αγροτικές περιοχές για απόθεση σε γεωργικές εκτάσεις. Η επινόηση της καθαριζόμενης με νερό τουαλέτας τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, άλλαξε δραστικά τις πρακτικές απόθεσης των υγρών αποβλήτων. Τα υπάρχοντα τότε συστήματα για μεταφορά των αστικών υγρών αποβλήτων σε γεωργικές εκτάσεις δεν ήταν επαρκή για τον μεγάλο όγκο των υγρών που δημιουργήθηκε από τις τουαλέτες. Οι πόλεις, αντιμέτωπες με αυτό το πρόβλημα της μεταφοράς, άρχισαν να χρησιμοποιούν φυσικά αποχετευτικά συστήματα και υπονόμους για το φορτίο των υγρών αποβλήτων, ενάντια στις συμβουλές μερικών όπως ο Edwin Chadwick, ο οποίος το 1842 ανέφερε χαρακτηριστικά: «η βροχή στα ποτάμια και τα βοθρολύματα στο έδαφος». Η κατασκευή παντοροϊκών δικτύων αποχέτευσης, δηλαδή κοινών δικτύων ομβρίων και ακαθάρτων, άρχισε στις μεγάλες πόλεις κατά το τελευταίο μισό του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Από τότε που τα δίκτυα για τα όμβρια ύδατα τελείωναν κοντά σε υδάτινους αποδέκτες, τα μεταφερόμενα υγρά απόβλητα των πόλεων κατέληγαν χωρίς επεξεργασία σε ρέματα, σε λίμνες και σε εκβολές ποταμών. Συχνά επακολουθούσε μεγάλη μόλυνση και προβλήματα υγείας (π.χ. επιδημίες) μεταφέρονταν από τις κοινωνίες που παρήγαγαν τα υγρά απόβλητα, στους χρήστες του νερού κατά μήκος των ποταμών.

Το πρώτο σύστημα υπονόμων για υγρά απόβλητα κατασκευάστηκε στο Αμβούργο της Γερμανίας το 1842, από έναν καινοτόμο Άγγλο μηχανικό, τον Lindley. Το

σύστημα του Lindley περιείχε πολλές από τις αρχές που εφαρμόζονται ακόμη και σήμερα. Οι περισσότερες από τις βελτιώσεις στα συστήματα συλλογής υγρών αποβλήτων τα τελευταία 100 χρόνια βασίζονται στα βελτιωμένα υλικά, στα αντλιοστάσια και σε άλλους μηχανισμούς.

Η ανάπτυξη τεχνολογιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθυστέρησε σημαντικά σε σχέση με την ανάπτυξη των συστημάτων συλλογή τους. Η επεξεργασία θεωρήθηκε απαραίτητη μόνο όταν είχε μειωθεί η ικανότητα αυτοκαθαρισμού των υδάτινων αποδεκτών (λόγω του μεγάλου όγκου των αποβλήτων) και οι μέχρι τότε ενοχλητικές καταστάσεις έγιναν ανυπόφορες. Διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας εφαρμόστηκαν στα τέλη του 19<sup>ου</sup> και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Στη δεκαετία του 1920 η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων εντάχθηκε στις πιο κοινές σημερινές δραστηριότητες. Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ήταν εμπειρικός και παρέμεινε έτσι μέχρι τα μισά του περασμένου αιώνα. Τα τελευταία 50 με 60 χρόνια επιτεύχθηκε μεγάλη πρόοδος στην κατανόηση των διαδικασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και οι αυθεντικές διαδικασίες σχηματοποιήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν. Όμως, η επιστήμη της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων απέχει πολύ από την στατικότητα. Εξελιγμένες διαδικασίες επεξεργασίας αναπτύχθηκαν και συνεχίζουν να αναπτύσσονται, με απώτερο σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού από τα οικιακά υγρά απόβλητα. Προβλήματα σχετιζόμενα με την ανάκτηση των υγρών αποβλήτων αποτελούν αναμφισβήτητα πρόκληση για τη φαντασία και τη δημιουργικότητα των μηχανικών.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί, επίσης, πρακτικές που αφορούν την τελική διάθεση των υγρών αποβλήτων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η πρακτική της απόθεσης στα εδάφη αντικαταστάθηκε από τα συστήματα μεταφοράς των υγρών αποβλήτων με απευθείας εκκένωση στα επιφανειακά ύδατα. Λειτουργώντας σύμφωνα με το αξίωμα «η λύση στη μόλυνση είναι η διάλυση», αξιοποιήθηκε η αφομοιωτική ικανότητα των ποταμών, πριν η επεξεργασία των αποβλήτων καθιστεί απαραίτητη. Για πολλά χρόνια, απαιτείτο ελάχιστη ή καθόλου επεξεργασία για μικρές κοινότητες που βρίσκονταν κοντά σε μεγάλα ρυάκια ή ποτάμια, ενώ απαιτείτο υψηλό επίπεδο επεξεργασίας για μεγάλες πόλεις που εκκένωναν τα λύματά τους σε μικρούς ποταμούς. Στα πρόσφατα χρόνια, η γενικότερη πολιτική για τα υγρά απόβλητα μετατοπίστηκε στην απαίτηση ενός ελάχιστου επιπέδου επεξεργασίας, ανεξαρτήτως της αφομοιωτικής ικανότητας των υδάτινων αποδεκτών. Η πρακτική που υπήρχε στις Η.Π.Α. πριν 20



χρόνια ήταν η αδειοδότηση για εκκένωση ρυπαντών μίας ορισμένης ποσότητας. Τα όρια εκκένωσης δεν προορίζονται μόνο για την αποφυγή εκκενώσεων που θα πλήξουν την ικανότητα αυτοκαθαρισμού των εδαφών, αλλά λαμβάνουν υπόψη και τις χρήσεις των υδάτινων αποδεκτών, όπως για παράδειγμα ψάρεμα και κολύμβηση.

Όπου είναι απαραίτητη, λόγω των αυστηρών ορίων, η εκτεταμένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, η ποιότητα των επεξεργασμένων εκροών συχνά προσεγγίζει αυτή των υδάτινων αποδεκτών. Αυτές οι εκροές αποτελούν μία αξιόλογη πηγή νερού, ειδικότερα στις περιοχές που τα αποθέματα νερού είναι ανεπαρκή. Γενικότερα, ενθαρρύνεται η εκμετάλλευση αυτών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, για ψυχαγωγικές δραστηριότητες που δεν απαιτούν επαφή με το ανθρώπινο σώμα (π.χ. σιντριβάνια), για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, για μερικές βιομηχανικές διαδικασίες και άλλες μη πόσιμες χρήσεις.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Peavy S. Howard, Rowe R. Donald, Tchobanoglous George, «Environmental Engineering», McGraw – Hill International Editions, N. York, 1986

## 1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: α) φυσικά, β) χημικά και γ) βιολογικά. Για τα αστικά υγρά απόβλητα ισχύουν τα ακόλουθα:

### 1.3.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Τα βασικότερα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι τα στερεά που περιέχονται σε αυτά, η θερμοκρασία, το χρώμα και η οσμή τους.

#### 1.3.1.1 Στερεά

Τα στερεά βρίσκονται διαλυμένα ή αιωρούμενα στη μάζα των υγρών αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά.

Τα ολικά στερεά (Total Solids – TS) ορίζονται σαν το υπόλειμμα δείγματος αποβλήτων μετά από εξάτμισή του στους 105 °C και μετριοούνται σε mg υπολείμματος ανά lt δείγματος. Τα ολικά στερεά διακρίνονται σε διαλυμένα και αιωρούμενα.

Τα διαλυμένα στερεά (Dissolved Solids – DS) σχετίζονται με τη συγκέντρωση των στερεών συστατικών που βρίσκονται σε διαλυμένη ή κολλοειδή μορφή στη μάζα των αποβλήτων και ορίζονται σαν τα στερεά δείγματος αποβλήτων, τα οποία περνούν μέσα από ειδικό χάρτινο φίλτρο. Προσδιορίζονται με τη ξήρανση του διηθήματος και μετριοούνται σε mg υπολείμματος μετά την ξήρανση ανά lt δείγματος.

Τα αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids – SS) ορίζονται σαν τα στερεά δείγματος αποβλήτων, που συγκρατούνται στο ειδικό χάρτινο φίλτρο και μετριοούνται σε mg συγκρατούμενων στερεών ανά lt δείγματος.

Τα αιωρούμενα στερεά διακρίνονται σε καθιζάνοντα (settleable) και μη καθιζάνοντα. Σαν καθιζάνοντα στερεά ορίζονται αυτά που καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας, σε ειδικό βαθμονομημένο κώνο και σε διάστημα μίας ώρας και μετριοούνται σε ml στερεών ανά lt δείγματος. Από χημική άποψη τα αιωρούμενα στερεά διακρίνονται επίσης σε αιωρούμενα πτητικά στερεά (Volatile Suspended Solids – VSS), αυτά που εξατμίζονται στους 550 °C, και σε αιωρούμενα μη πτητικά στερεά. Τα πρώτα συνήθως θεωρούνται οργανικά και τα δεύτερα ανόργανα.

Στερεά δεν παρατηρούνται μόνο στα ρυπασμένα υγρά απόβλητα, αλλά και στα φυσικά ύδατα. Αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά προέρχονται κατ' εξοχήν από φυσικές

πηγές και οφείλονται στην αποσάθρωση και στη διαλυτοποίηση ορυκτών που έρχονται σε επαφή με τα νερά. Επίσης, φαινόμενα, όπως αυτό του ευτροφισμού, δημιουργούν αιωρούμενα στερεά στα φυσικά νερά. Ο ευτροφισμός είναι ιδιαίτερα έντονος στην περίπτωση των λιμνών, εμφανίζεται όμως υπό ορισμένες συνθήκες και στα ποτάμια και στην θάλασσα.

Τα διαλυμένα και αιωρούμενα στερεά αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για τα υγρά απόβλητα, επειδή επηρεάζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους και την ποιότητα των τελικών αποδεκτών.

### 1.3.1.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη από εκείνη των φυσικών υδάτων, επειδή επηρεάζεται από τα θερμά απόβλητα κατοικιών, βιομηχανιών κ.λ.π. Οι τυπικές τιμές της κυμαίνονται από 10 έως 22 °C, δηλαδή σε επίπεδα μεγαλύτερα από εκείνα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, με εξαίρεση φυσικά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή των αποβλήτων.

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους. Αύξηση της θερμοκρασίας στα απόβλητα επιφέρει:

- Ανάπτυξη των μικροοργανισμών εκείνων που ευνοούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες
- Επιτάχυνση των βιολογικών διεργασιών
- Μείωση της διαλυτότητας των αερίων στη μάζα των αποβλήτων, κυρίως του οξυγόνου
- Επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων

Στα διάφορα στάδια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων η υψηλή θερμοκρασία είναι ευεργετική σε πολλές διεργασίες (καθίζηση, βιολογική επεξεργασία, απολύμανση κ.λ.π.), αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, όπως μειωμένη διαλυτότητα του οξυγόνου στον αερισμό.

### 1.3.1.3 Χρώμα

Το χρώμα των αποβλήτων είναι σημείο ένδειξης της ηλικίας τους και της προέλευσής τους. Όταν τα απόβλητα έχουν μαύρο χρώμα, τότε έχουν υποστεί σήψη, ενώ απόβλητα που έχουν γκρίζο χρώμα, δεν έχουν υποστεί σήψη. Οι μικροοργανισμοί, οι οποίοι διασπούν τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, καταναλώνουν το διαλυμένο στα απόβλητα οξυγόνο και προκαλούν την αλλαγή του χρώματος. Είναι ακόμη πιθανό, χρωστικές ουσίες από βιομηχανικά απόβλητα να προκαλούν άλλους χρωματισμούς. Οι χρωστικές αυτές ουσίες, εκτός από άλλες βλάβες που είναι πιθανό να δημιουργήσουν, δημιουργούν αισθητικά προβλήματα στους αποδέκτες.

### 1.3.1.4 Οσμή

Η οσμή των αποβλήτων, όπως και το χρώμα τους, είναι ενδεικτικό στοιχείο της κατάστασής τους. Απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν ελαφρά δυσάρεστη οσμή, ενώ εκείνα που έχουν υποστεί σήψη έχουν πολύ ενοχλητική οσμή, που οφείλεται στην έκλυση υδρόθειου. Στη δημιουργία δυσάρεστων οσμών συμμετέχουν και ουσίες από βιομηχανικά απόβλητα, κυρίως οργανικές, όπως φαινόλες, χλωροφαινόλες κ.α. Χαρακτηριστική είναι η δυσκολία ποσοτικής εκτίμησης των οσμών με αντικειμενικές μεθόδους.

## 1.3.2 Χημικά Χαρακτηριστικά

Τα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων είναι πιο σημαντικά από τα φυσικά χαρακτηριστικά, που εξετάστηκαν προηγουμένως και γενικά κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: α) *οργανικά συστατικά* β) *ανόργανα συστατικά* και γ) *αέρια*.

### 1.3.2.1 Οργανικά Συστατικά

Τα κυριότερα οργανικά συστατικά των αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- i. Πρωτεΐνες: βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και εκτός από τα αστικά περιέχονται και σε βιομηχανικά απόβλητα. Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις που αποσυντίθενται εύκολα από μικροοργανισμούς. Αποτελούνται κυρίως από C, H, O, N αλλά και S, P και Fe.

- ii. Υδρογονάνθρακες: περιέχουν C, H και O. Άλλοι διασπώνται εύκολα από μικροοργανισμούς (ζάχαρες), ενώ άλλοι δυσκολότερα (άμυλο).
- iii. Λιπίδια: περιέχονται στα αστικά απόβλητα, αφού αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου, αλλά και στα νερά επιφανειακής απορροής από την έκπλυση των δρόμων (λάδια, πετρέλαια κ.α.). Είναι ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες και δεν διαλύονται στη μάζα των αποβλήτων.
- iv. Επιφανειακά ενεργές ουσίες: περιέχονται στα αστικά αλλά και στα βιομηχανικά απόβλητα σαν συστατικά των απορρυπαντικών, σαπουνιών κ.α. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού-αέρα δημιουργώντας αφρούς. Ορισμένες δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς, ενώ άλλες είναι παράλληλα και τοξικές.
- v. Φαινόλες: περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα και δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις (>500 mg/l).
- vi. Εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα: είναι τοξικές ενώσεις επικίνδυνες για όλες τις μορφές της ζωής και καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα μέσα από την απορροή γεωργικών περιοχών.

Οι οργανικές ουσίες των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν 40-60% πρωτεΐνες, 20-40% υδρογονάνθρακες, 10-20% λιπίδια και 5-10% άλλα οργανικά συστατικά.

Όταν οι οργανικές ουσίες διοχετεύονται μέσω των αποβλήτων σε έναν υδάτινο φορέα, οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα τις χρησιμοποιούν σαν τροφές, καταναλώνοντας παράλληλα το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Όταν ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου υπερβεί την ικανότητα επανοξυγόνωσης του υδάτινου φορέα και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πέσει κάτω από μία συγκεκριμένη τιμή, το οικοσύστημα του φορέα παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα, όπως θάνατος ψαριών, δημιουργία σπητικών συνθηκών κ.α. Εκτός από τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, η διοχέτευση οργανικών ουσιών στο περιβάλλον έχει και άλλες συνέπειες, όπως η δημιουργία ενός αντιαισθητικού επιφανειακού στρώματος από λιπίδια, το οποίο δυσκολεύει τη μεταφορά οξυγόνου και ηλιακού φωτός στο φορέα, η δημιουργία αφρών από τις επιφανειακά ενεργές ουσίες και ο άμεσος θάνατος οργανισμών από τις τοξικές ουσίες.

Η μέτρηση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου είναι πρακτικά αδύνατη λόγω της πολύπλοκης σύστασής του. Έτσι για έμμεση μέτρηση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου, χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες παραμέτρους, οι οποίες υπολογίζουν το οξυγόνο που καταναλώνουν οι μικροοργανισμοί για να τραφούν από τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων:

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD)
- Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD)
- Ολικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Total Oxygen Demand, TOD)
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC)

Το BOD μετρά το οξυγόνο που καταναλώνεται για τη βιοχημική οξείδωση του μίγματος των οργανικών ενώσεων στο δείγμα με προϊόντα  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  και  $\text{H}_2\text{O}$ . Η συγκέντρωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου εκφράζεται συνήθως ως  $\text{BOD}_5$  σε  $\text{mg/l}$  και αντιστοιχεί στα  $\text{mg}$  οξυγόνου που καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς σε διάστημα 5 ημερών υπό θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  για τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε 1  $\text{lt}$  διαλύματος. Ανάλογο ορισμό με το  $\text{BOD}_5$  έχει και το  $\text{BOD}_U$  (ultimate BOD) που αντιστοιχεί στη συνολική απαίτηση οξυγόνου, μετά από παρέλευση αρκετού χρόνου (συνήθως 20 ημερών, οπότε και έχει διασπαστεί το 90-99 % της οργανικής ύλης των αποβλήτων).

Το COD εκφράζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  από ισχυρό οξειδωτικό μέσο και σε όξινες συνθήκες.

Το TOD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των οργανικών ουσιών σε τελικά σταθερά προϊόντα σε θερμοκρασία  $900^\circ\text{C}$  και με παρουσία καταλύτη. Το TOD είναι ποσοτικά μεγαλύτερο τόσο από το BOD όσο και από το COD.

Ο άνθρακας είναι το κύριο συστατικό των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Επομένως, μπορούμε να τα προσδιορίσουμε ποσοτικά μετρώντας το TOC που περιέχεται σε αυτά. Το TOC δεν μετράται άμεσα, αλλά προσδιορίζεται από τον Ολικό Άνθρακα (Total Carbon – TC) αν αφαιρέσουμε τον Ανόργανο Άνθρακα (Inorganic Carbon – IC), δηλαδή  $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$ .

Η πολύπλοκη σύνθεση των αποβλήτων δεν επιτρέπει την εξαγωγή σταθερών σχέσεων μεταξύ των προηγούμενων παραμέτρων. Μπορούμε να αναφέρουμε όμως ότι

για ανεπεξέργαστα απόβλητα ισχύουν εμπειρικά:  $BOD_5/COD = 0,4 - 0,8$  και  $BOD_5/TOC = 1,0 - 1,6$ . (Α.Ι. Στάμον, Ζ.Σ. Βογιατζής, 1984)

### 1.3.2.2 Ανόργανα Συστατικά

Τα κυριότερα ανόργανα συστατικά των υγρών αποβλήτων είναι τα ακόλουθα:

- i. Άζωτο (N): Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα αστικά απόβλητα στις παρακάτω μορφές: α) οργανικό N (πρωτεΐνες, ουρία και αμινοξέα) β) αμμωνιακό N (άλατα  $NH_4^+$  ή  $NH_3$ ). Το άζωτο είναι σημαντικό για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, επειδή είναι η κυριότερη θρεπτική ουσία για τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας. Γενικά στα αστικά απόβλητα βρίσκεται σε επαρκείς ποσότητες, ενώ στα βιομηχανικά απόβλητα είναι αναγκαία η προσθήκη επιπλέον ποσοτήτων.
- ii. Φώσφορος (P): Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, είναι από τα κυριότερα συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα αστικά απόβλητα στις παρακάτω μορφές: α) ανόργανος P σαν ορθοφωσφορικά ( $PO_4^{-3}$ ,  $HPO_4^{-3}$ ,  $H_2PO_4^{-1}$ ) και λιγότερο σαν πολυφωσφορικά (π.χ.  $P_3O_{10}^{-5}$ ,  $P_2O_7^{-4}$ ) β) οργανικός P, σε μικρότερες ποσότητες από τον ανόργανο φώσφορο.
- iii. Ενεργός Οξύτητα (pH): Το pH ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, που περιέχονται σε ένα διάλυμα, εκφρασμένη σε γραμμοϊόντα ανά λίτρο διαλύματος.
 
$$pH = -\log[H^+] \quad (I-1)$$
 Το pH είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των υγρών αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο υδάτινο περιβάλλον.
- iv. Αλκαλικότητα: Οφείλεται στην παρουσία ιόντων  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{-2}$  ή  $OH^-$  που βρίσκονται ενωμένα με τα Ca, Mg, Na, K ή  $NH_4^+$ . Η αλκαλικότητα εκφράζεται ως mg/lit  $CaCO_3$  και ρυθμίζοντας το pH των αποβλήτων, επηρεάζει τις διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας.
- v. Χλωριούχα: Περιέχονται στα αστικά απόβλητα (από το πόσιμο νερό και τα ανθρώπινα απορρίμματα), αλλά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Η κύρια

- επίδραση της παρουσίας χλωριούχων στα απόβλητα είναι η μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου στις διαδικασίες επεξεργασίας.
- vi. Ενώσεις Θείου: Το θείο είναι βασικό συστατικό των ζώντων οργανισμών και βρίσκεται στα αστικά απόβλητα σε διάφορες μορφές.
  - vii. Τοξικά Συστατικά – Βαρέα Μέταλλα: Περιέχονται κυρίως στα βιομηχανικά, αλλά και στα αστικά, απόβλητα. Είναι κυρίως ιόντα των στοιχείων: Cu, Pb, Cr, As, Bo, Ag, Ni, Mn, Cd, Zn, Fe και Hg. Πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις, τα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά και γι' αυτό η διοχέτευσή τους σε κάποια βιολογική διαδικασία επεξεργασίας επιφέρει τον θάνατο πολλών απαραίτητων μικροοργανισμών.

### 1.3.2.3 Αέρια

Τα κυριότερα αέρια που περιέχονται στα υγρά απόβλητα είναι τα ακόλουθα: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> και CH<sub>4</sub>. Απ' αυτά ξεχωρίζουν το οξυγόνο και το μεθάνιο λόγω της σπουδαιότητάς τους.

- i. Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen – DO): Το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό, αλλά και στα υγρά απόβλητα, προέρχεται από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, το οποίο διαλύεται στην επιφανειακή στοιβάδα έως ότου κορεστεί η υδάτινη μάζα. Η μεταφορά του οξυγόνου σε όλη την υπόλοιπη μάζα επιτυγχάνεται με τη φυσική ανάδευση των υδάτων και διάχυση. Στα υγρά απόβλητα, όπως και στα ρυπασμένα ύδατα, λαμβάνει χώρα βιολογική διάσπαση οργανικών φορτίων από μικροοργανισμούς, οι οποίοι καταναλώνουν οξυγόνο. Επομένως, τα επίπεδα του DO συνεχώς μειώνονται. Το διαλυμένο οξυγόνο χρησιμεύει ως παράμετρος ελέγχου της ρύπανσης των υδάτινων φορέων και πρέπει να βρίσκεται, σύμφωνα με διάφορες οδηγίες, πάνω από ορισμένα επίπεδα, ανάλογα με τις χρήσεις των νερών του φορέα. Στις διαδικασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων των αποβλήτων από τους μικροοργανισμούς. Διατηρείται στα απαραίτητα για κάθε διαδικασία επίπεδα με ειδικές διατάξεις αερισμού ή με φυσικές διαδικασίες. Έτσι το DO είναι βασική παράμετρος σχεδιασμού των παραπάνω διαδικασιών αλλά και παράμετρος ελέγχου της λειτουργίας τους.



- ii. Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>): Το μεθάνιο σχηματίζεται κατά την αναερόβια αποσύνθεση οργανικών ενώσεων των αποβλήτων από μικροοργανισμούς. Συνήθως δεν περιέχεται στα ανεπεξέργαστα απόβλητα, γιατί η παρουσία του οξυγόνου, που οδηγεί σε αερόβιες συνθήκες, εμποδίζει τον σχηματισμό του. Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας το CH<sub>4</sub> παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση της λάσπης και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, λόγω της υψηλής απόδοσης ενέργειας που παρουσιάζει κατά την καύση του.

### **1.3.3 Βιολογικά Χαρακτηριστικά**

Οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα υγρά απόβλητα είναι αρκετά σημαντικοί, γιατί χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία τους και μπορούν να συντελέσουν στην εξάπλωση ασθενειών και επιδημιών μέσω του νερού. Οι μικροοργανισμοί κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με διαφορετικά κάθε φορά κριτήρια.

Ανάλογα με την προέλευση της ενέργειας, που καταναλώνουν για την ανάπτυξή τους και με την προέλευση του άνθρακα, που περιέχεται σε αυτούς, οι μικροοργανισμοί διακρίνονται σε φωτοαυτότροφους, χημοαυτότροφους και χημοετερότροφους.

Ανάλογα με την παρουσία ή όχι οξυγόνου στο περιβάλλον που δρουν και αναπτύσσονται, οι μικροοργανισμοί μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε αερόβιους, αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες (αερόβιοι – αναερόβιοι).

Ακόμη, ανάλογα με τις θερμοκρασίες που ευνοούν περισσότερο την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, αυτοί κατατάσσονται σε ψυχρόφιλους, μεσόφιλους, θερμόφιλους και στενοθερμόφιλους.

Τα σημαντικότερα είδη μικροοργανισμών που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα είναι τα ακόλουθα: βακτήρια (κολοβακτήρια, κοπρανώδη κολοβακτήρια, κοπρικοί στρεπτόκοκκοι κ.α.), μύκητες, πρωτόζωα, άλγη (φύκη), τροχόζωα και ιοί.

Στον *Πίνακα 1-1* δίδονται τιμές για τις συγκεντρώσεις των φυσικών, χημικών και βιολογικών συστατικών στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα.

*Πίνακας 1-1*

	Εύρος Τιμών (mg/L)	Τυπική Τιμή (mg/L)
<b>Ολικά Στερεά</b>	350 - 1200	700
<b>Διαλυμένα Στερεά</b>	280 - 850	500
<b>Αιωρούμενα Στερεά</b>	100 - 350	210
▪ πτητικά	80 - 275	165
▪ μη πτητικά	20 - 75	55
<b>BOD<sub>5</sub>, 20 °C</b>	110 - 400	250
<b>COD</b>	250 - 1000	500
<b>TOC</b>	80 - 290	160
<b>Ολικό Άζωτο</b>	20 - 85	35
▪ οργανικό	8 - 35	13
▪ NH <sub>3</sub>	12 - 50	22
▪ NO <sub>3</sub>	0 - 0	0
▪ NO <sub>2</sub>	0 - 0	0
<b>Ολικός Φώσφορος</b>	4 - 15	7
▪ οργανικός	1 - 5	2
▪ ανόργανος	3 - 10	5
<b>Αλκαλικότητα (σαν CaCO<sub>3</sub>)</b>	50 - 200	100
<b>Χλωριούχα</b>	30 - 100	50
<b>Ενώσεις Θείου</b>	20 - 50	30
<b>Λίπη - Έλαια</b>	50 - 150	100
	<b>(MPN/100ml)</b>	
<b>Βακτήρια</b>		
▪ ολικά κολοβακτήρια	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	
▪ κοπρανώδη κολοβακτήρια	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	
▪ κοπρικοί στρεπτόκοκκοι	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>7</sup>	
<b>Πρωτόζωα</b>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	
<b>Ιοί</b>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	

Στη συνέχεια (Πίνακας 1-2) παρατίθενται ενδεικτικές τιμές από την ανάλυση των δειγμάτων εισόδου στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων του Αγίου Νικολάου Κρήτης, δηλαδή τιμές για τα χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων.

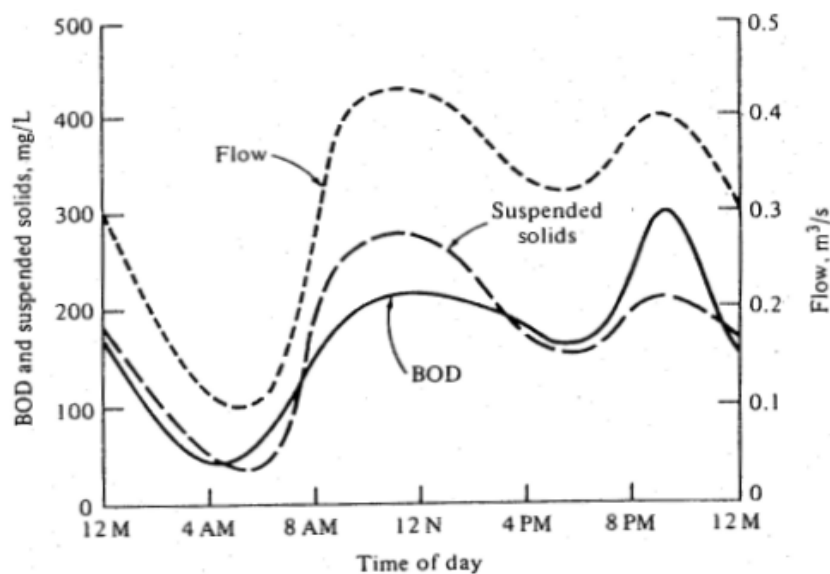
Πίνακας 1-2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	COD, mg/ltr	BOD <sub>5</sub> , mg/ltr	SS, mg/ltr
28/1/2002	7,8	1.720	610	340	265
29/3/2002 Στιγμ.	8,0	1.634	1.176	580	670
16/5/2002	7,5	1.628	720	485	305
28/6/2002	7,8	1.789	632	520	272
23/8/2002	7,9	1.750	684	496	260
4/10/2002	7,5	1.547	788	480	290
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ολικό N	Ολικός P	PO <sub>4</sub>
28/1/2002	1,8	-	-	-	-

29/3/2002 Στιγμ.	2,2	-	-	-	-
16/5/2002	<0,5	1,20	-	-	-
28/6/2002	<0,5	1,80	-	-	-
23/8/2002			-	-	-
4/10/2002	<0,5	1,60	-	-	8,90

Οι συγκεντρώσεις των παραπάνω ουσιών, όπως και οι παροχές των υγρών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, δεν παραμένουν σταθερές, αλλά μεταβάλλονται συνεχώς.

Τις πρώτες πρωινές ώρες της ημέρας, οι ροές των αποβλήτων και τα φορτία των μολυντικών ουσιών προσεγγίζουν τα ελάχιστα επίπεδα. Το μεσημέρι και τις πρώτες απογευματινές ώρες παρουσιάζονται οι μέγιστες ροές και συγκεντρώσεις. Στη συνέχεια εμφανίζεται μία μείωση μέχρι το βράδυ, οπότε και παρουσιάζονται ξανά μεγάλες ροές και αυξημένες συγκεντρώσεις. Σε διάρκεια 8 ωρών παράγεται το 50% των μολυσματικών φορτίων μίας (εργάσιμης) μέρας. Το μέγιστο ημερήσιο φορτίο μπορεί να είναι υπερδιπλάσιο του μέσου ημερήσιου. Αυτές οι διακυμάνσεις οφείλονται αποκλειστικά στον τρόπο ζωής των κατοίκων που παράγουν τα απόβλητα. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται αν εξετάσουμε τα φορτία κατά την διάρκεια μίας μη εργάσιμης ημέρας (π.χ. αργία), οπότε η κατανομή είναι σαφώς πιο ομαλή με μικρότερες αυξομειώσεις. Το *Διάγραμμα 1-1* παρουσιάζει την ημερήσια διακύμανση στην παροχή των αστικών αποβλήτων, στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων στερεών και στις τιμές του BOD.



*Διάγραμμα 1-1* Τυπική διακύμανση ροής, αιωρούμενων στερεών και BOD<sub>5</sub> σε αστικά υγρά απόβλητα

Επίσης, διακύμανση παρουσιάζεται και κατά τη διάρκεια ενός έτους. Σε κράτη με αναπτυγμένο τουρισμό, όπως η Ελλάδα, παρατηρείται μία αύξηση των φορτίων τους καλοκαιρινούς μήνες. Η αύξηση όμως των συγκεντρώσεων δεν είναι υπέρμετρη, καθώς αυξάνονται και οι όγκοι των χρησιμοποιούμενων υδάτων (περισσότερα ντους, συχνότερο πότισμα κ.α.). Η αύξηση αυτή εξαρτάται από το πλήθος των επισκεπτών της κάθε περιοχής. Έτσι, σε ορεινές και χωρίς αξιοθέατα περιοχές, οι διακυμάνσεις είναι μικρότερες απ' ό,τι σε παραθαλάσσια μέρη με ανεπτυγμένο τουρισμό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Crites Ron, Crites W. Ronald, Tchobanoglous George, «Small and Decentralized Wastewater Management Systems», McGraw-Hill, N. York, 1998
- Peavy S. Howard, Rowe R. Donald, Tchobanoglous George, «Environmental Engineering», McGraw – Hill International Editions, N. York, 1986
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984
- Οικονομόπουλος Π. Αλέξανδρος, «Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών (Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Π.Κ.)», Χανιά, 2002

## **1.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

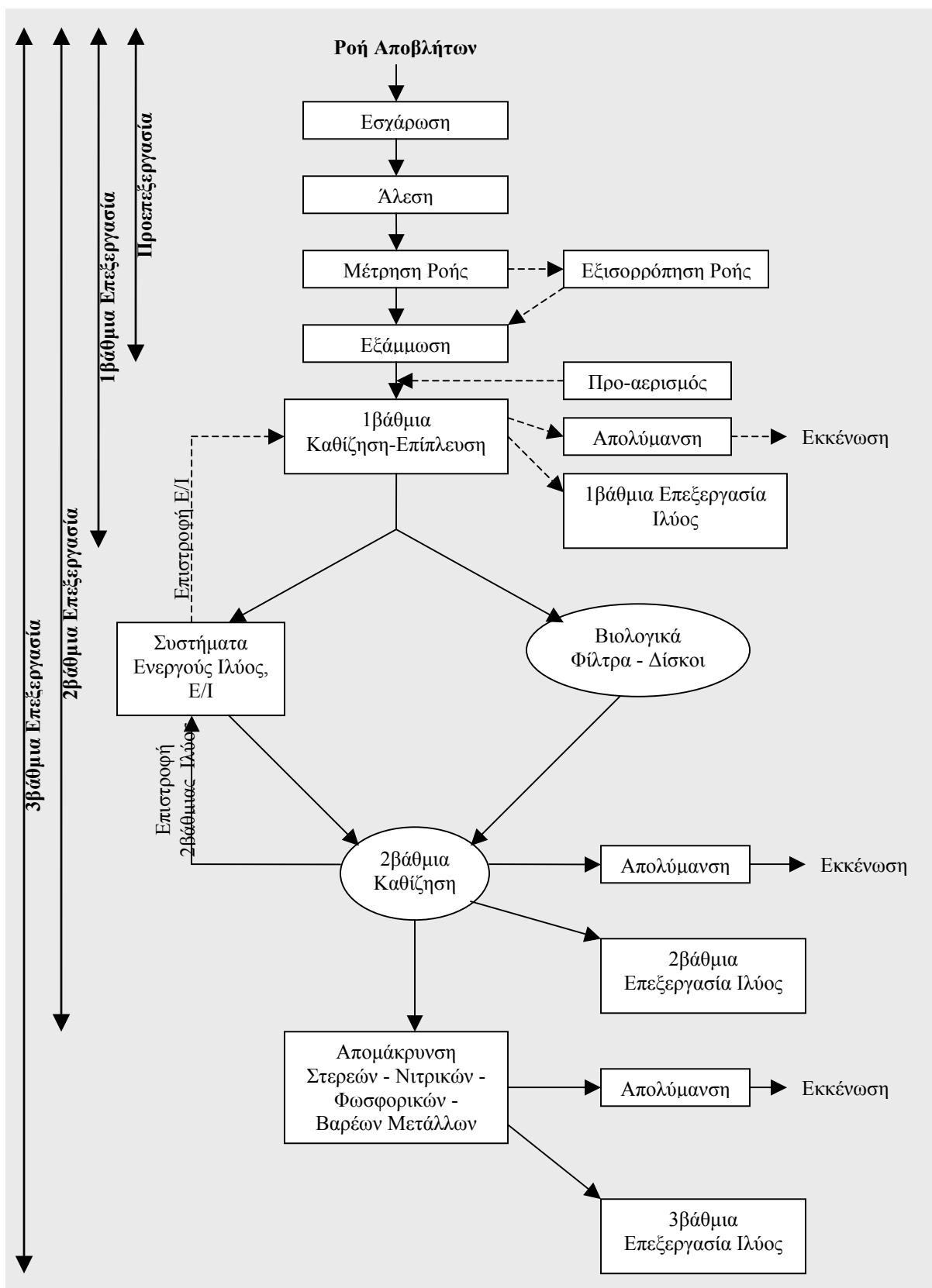
Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ.) και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θέσει κάποια όρια για την ποιότητα των υδάτων, ανάλογα με τις χρήσεις τους, με σκοπό την προστασία των υδάτινων φορέων αλλά και της δημόσιας υγείας. Οριοθετούνται κάποιες μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μολυντικών ουσιών, οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνονται. Στην Ελλάδα, η νομοθεσία έχει προσαρμοστεί με τη γενικότερη πολιτική που αποπνέει από τις οδηγίες της Ε.Ε. και οι αρμόδιοι φορείς (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., νομαρχιακή αυτοδιοίκηση, τοπική αυτοδιοίκηση) είναι υπεύθυνοι για την τήρηση των ορίων αυτών. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (1.3), τα υγρά απόβλητα έχουν αυξημένες συγκεντρώσεις ουσιών, οι οποίες κρίνονται επιβλαβείς για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο και υπερβαίνουν κατά πολύ τα επιτρεπόμενα όρια. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν αυτά επαναχρησιμοποιηθούν ή διατεθούν στους υδάτινους αποδέκτες.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες επεξεργασίας είναι πολύπλοκες και περιλαμβάνουν αρκετά στάδια και εγκαταστάσεις. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι σχεδιασμένες για να επιταχύνουν τις φυσικές διεργασίες καθαρισμού και για να απομακρύνουν από τα υγρά

απόβλητα τα μολύνοντα υλικά, τα οποία αν έφθαναν στους υδάτινους αποδέκτες, θα παρεμπόδιζαν τον αυτοκαθαρισμό τους. Οι στόχοι αυτοί επιτυγχάνονται με έναν συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Γενικότερα, μπορούμε να κατατάξουμε τα συστήματα επεξεργασίας σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) *συμβατικά συστήματα επεξεργασίας* και β) *φυσικά συστήματα επεξεργασίας*.

#### **1.4.1 Συμβατικά Συστήματα Επεξεργασίας**

Η επιλογή του είδους και του βαθμού επεξεργασίας εξαρτάται κυρίως από την επιθυμητή ποιότητα των εκροών και από άλλους παράγοντες (π.χ. διαθέσιμα χρήματα, διαθέσιμη έκταση για την ανέγερση εγκαταστάσεων κ.α.). Στη συνέχεια (βλ. *Σχήμα 1-1*) παρουσιάζεται ένας τυπικός διαχωρισμός της συμβατικής επεξεργασίας σε διάφορα στάδια, ο οποίος όμως είναι υποκειμενικός καθώς πολλές διεργασίες είναι δυνατόν στην πράξη να ανήκουν σε πολλά στάδια.



Σχήμα 1-1 Διάγραμμα ροής υγρών αποβλήτων για συμβατική επεξεργασία

Τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στο σημείο εισόδου των εγκαταστάσεων επεξεργασίας με τη βοήθεια της βαρύτητας (αν η εγκατάσταση βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος από την εξυπηρετούμενη περιοχή) ή με άντληση (αν η εγκατάσταση βρίσκεται σε υψηλότερο υψόμετρο από την εξυπηρετούμενη περιοχή). Οι εγκαταστάσεις είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε τα απόβλητα να ρέουν μέσα σε αυτές κυρίως με τη βοήθεια της βαρύτητας.

#### **1.4.1.1 Προεπεξεργασία**

Τα συστήματα προεπεξεργασίας είναι σχεδιασμένα για την αφαίρεση των μεγαλύτερων επιπλέοντων και αιωρούμενων υλικών και για την απομάκρυνση των βαρέων ανόργανων στερεών. Η ποιότητα των υγρών αποβλήτων δεν βελτιώνεται σημαντικά με την προεπεξεργασία. Ο σκοπός αυτής είναι η προστασία των αντλιοστασίων και των επακόλουθων μονάδων επεξεργασίας. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: α) *εσχάρωση*, β) *άλεση*, γ) *μέτρηση & εξισορρόπηση ροής* και δ) *εξάμμιση*.

##### α) *εσχάρωση*

Σκοπός της είναι η απομάκρυνση των μεγάλων ογκωδών αντικειμένων (κλαδιά, πλαστικά κ.α.), τα οποία μπορούν να φράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης. Η απομάκρυνση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση σχαρών, όπου συγκρατούνται τα ανεπιθύμητα αντικείμενα. Τα υγρά απόβλητα διέρχονται μέσα από αυτές τις σχάρες.

##### β) *άλεση*

Η άλεση πραγματοποιείται σε ειδικές συσκευές (θρυμματιστές, κονιοποιητές), που χρησιμοποιούνται εναλλακτικά ή σε συνδυασμό με τις σχάρες. Τα ογκώδη αντικείμενα θρυμματίζονται σε μικρότερα, παραμένουν στη μάζα των αποβλήτων και απομακρύνονται σε επόμενα στάδια.

##### γ) *μέτρηση και εξισορρόπηση ροής*

Όταν οι επόμενες διατάξεις, σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων, φορτίζονται με ομοιόμορφη ροή, τότε αυξάνεται και η απόδοσή τους. Γι' αυτό το λόγο, στην προεπεξεργασία μετράται η ροή και διοχετεύεται σε διπλανή δεξαμενή ποσότητα



αποβλήτων, αναγκαία για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων της παροχής. Οι μέθοδοι μέτρησης της ροής περιγράφονται σε επόμενο υποκεφάλαιο. Τα απόβλητα αυτά επιστρέφουν στην κύρια γραμμή ροής των αποβλήτων. Έπειτα από αυτή την διαδικασία, έχει επιτευχθεί μία παροχή αποβλήτων σχεδόν σταθερή και ομοιόμορφη.

#### δ) εξάμμωση

Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση των κόκκων της άμμου και άλλων σωματιδίων, γεωλογικής κυρίως προέλευσης, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200  $\mu\text{m}$ . Η εξάμμωση είναι απαραίτητη, γιατί τα παραπάνω σωματίδια δημιουργούν προβλήματα στις εγκαταστάσεις, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού και μείωση της απόδοσης διαφόρων μονάδων. Η εξάμμωση πραγματοποιείται σε ειδικές δεξαμενές με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και απομάκρυνση της άμμου και των άλλων ανόργανων σωματιδίων, αλλά όχι και των οργανικών στερεών.

### **1.4.1.2 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία**

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση της ανόργανης ύλης, αλλά και όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ποσοτήτων οργανικής ύλης, ώστε να μειωθεί το κόστος των μετέπειτα βιολογικών διεργασιών (απομακρύνονται σωματίδια μεγέθους 0,1 – 0,001 mm). Περιλαμβάνει τα προηγούμενα στάδια της προεπεξεργασίας, το στάδιο της καθίζησης – επίπλευσης και τις ταυτόχρονες διαδικασίες του προ-αερισμού, της απολύμανσης και της επεξεργασίας ιλύος. Σε αρκετές περιπτώσεις η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι το μοναδικό είδος επεξεργασίας που πραγματοποιείται, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να παραληφθεί, ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας που ακολουθεί.

#### α) καθίζηση – επίπλευση

Η πρωτοβάθμια καθίζηση λαμβάνει χώρα σε δεξαμενές, όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας και κάτω από την επίδραση της βαρύτητας, ενώ η επίπλευση γίνεται σε δεξαμενές, όπου τα στερεά παρασύρονται προς την επιφάνεια από φυσαλίδες αέρα, που διοχετεύονται στη μάζα των αποβλήτων με κατάλληλη διάταξη. Με τις διαδικασίες αυτές απομακρύνονται τα περισσότερα αιωρούμενα ανόργανα στερεά και μικρές ποσότητες οργανικών στερεών. Για την αφαίρεση των κολλοειδών στερεών

απαιτείται μία προηγούμενη χημική επεξεργασία. Με την προσθήκη χημικών ουσιών στα απόβλητα, προκαλείται η συνένωση των κολλοειδών σε μεγαλύτερα σωματίδια, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση.

#### β) προ-αερισμός

Η διαδικασία της επίπλευσης απαιτεί διοχέτευση αέρα στα απόβλητα. Γι' αυτό το λόγο, όταν η εγκατάσταση περιλαμβάνει δεξαμενές επίπλευσης, προηγείται το στάδιο του προ-αερισμού των αποβλήτων.

#### γ) απολύμανση

Όταν δεν ακολουθεί άλλη επεξεργασία των αποβλήτων, συνήθως σε μικρές εγκαταστάσεις με μικρά ρυπαντικά φορτία, τότε αυτά απολυμαίνονται και διοχετεύονται στους υδάτινους αποδέκτες ή επαναχρησιμοποιούνται. Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών των αποβλήτων, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών μέσω των υδάτων του αποδέκτη. Η απολύμανση πραγματοποιείται με τη χρήση χημικών ουσιών (χλώριο, όζον, βρώμιο κ.α.) ή με φυσικά μέσα (θερμότητα, ακτινοβολία). Το πιο συνηθισμένο μέσο απολύμανσης είναι το χλώριο.

#### δ) επεξεργασία ιλύος

Τα καθιζάνοντα ή επιπλέοντα στερεά, που παράγονται από την διαδικασία της καθίζησης-επίπλευσης, σχηματίζουν ένα στρώμα ιλύος και χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για να μην καταστούν επιβλαβή για το περιβάλλον.

Έπειτα το πέρας όλων αυτών των διαδικασιών, τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται κατά 50–70%, ενώ αν υφίσταται και χημική επεξεργασία για την απομάκρυνση των κολλοειδών, τότε η απόδοση φθάνει σε υψηλότερα επίπεδα, 80–90%. Το BOD<sub>5</sub>, ενδεικτικό της συγκέντρωσης οργανικών ουσιών, απομακρύνεται κατά 25–35%.

### **1.4.1.3 Δευτεροβάθμια Επεξεργασία**

Ο σκοπός αυτού του σταδίου της επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών (κολλοειδή και διαλυμένα στερεά) των αποβλήτων με βιολογικές διεργασίες. Περιλαμβάνει τα προηγούμενα στάδια της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας,

συστήματα ενεργούς ιλύος, βιολογικά φίλτρα – βιολογικούς δίσκους, δευτεροβάθμια καθίζηση, απολύμανση και δευτεροβάθμια επεξεργασία ιλύος.

#### α) συστήματα ενεργούς ιλύος

Τα συστήματα ενεργούς ιλύος χρησιμοποιούνται όταν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από δεξαμενές αερισμού, όπου οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες χρησιμοποιώντας οξυγόνο, το οποίο προστίθεται στα απόβλητα από ειδικές διατάξεις αερισμού.

#### β) βιολογικά φίλτρα – βιολογικοί δίσκοι

Τα βιολογικά φίλτρα και οι βιολογικοί δίσκοι είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των οργανικών ουσιών από μικροοργανισμούς, οι οποίοι δεν αιωρούνται στα απόβλητα. Τα βιολογικά φίλτρα αποτελούνται από κλίνες με διηθητικό μέσο πάνω στην επιφάνεια του οποίου είναι προσκολλημένοι οι μικροοργανισμοί και καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων που ρέουν μέσα στο φίλτρο, χρησιμοποιώντας οξυγόνο από την ατμόσφαιρα. Υπάρχουν διάφορα είδη βιολογικών φίλτρων, ανάλογα με τη λειτουργία τους. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στους βιολογικούς δίσκους, όπου οι μικροοργανισμοί βρίσκονται προσκολλημένοι πάνω σε επίπεδες επιφάνειες (δίσκους), που περιστρέφονται μέσα στη μάζα των αποβλήτων.

#### γ) δευτεροβάθμια καθίζηση

Η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης έπεται των συστημάτων ενεργούς ιλύος ή/και των βιολογικών φίλτρων και δίσκων. Στη δεξαμενή αυτή καθιζάνουν οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα στάδια.

#### δ) δευτεροβάθμια επεξεργασία ιλύος

Με την καθίζηση των μικροοργανισμών δημιουργείται ένα στρώμα λάσπης. Η λάσπη αυτή είτε επιστρέφει στα συστήματα ενεργούς ιλύος και στην πρωτοβάθμια καθίζηση είτε επεξεργάζεται σε δευτεροβάθμιο επίπεδο.

#### ε) απολύμανση

Η απολύμανση έχει σκοπό την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών με τη χρήση χημικών ουσιών, κυρίως χλωρίου. Πραγματοποιείται στο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, όταν δεν ακολουθεί τριτοβάθμια, ώστε οι εκκενώσεις στους υδάτινους αποδέκτες να είναι αβλαβείς για τη δημόσια υγεία ή ακόμη και να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για μη πόσιμες χρήσεις, όπως για άρδευση.

Έπειτα από το πέρας όλων αυτών των διαδικασιών, οι τιμές του BOD<sub>5</sub> και οι συγκεντρώσεις των ολικών στερεών μειώνονται κατά 85%. Όμως, δεν παρατηρείται μείωση στις τιμές των θρεπτικών στοιχείων (άζωτο, φώσφορος) και των βαρέων μετάλλων.

#### **1.4.1.4 Τριτοβάθμια Επεξεργασία**

Στην τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνονται, εκτός από τα προηγούμενα στάδια της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, για την απομάκρυνση της πλειοψηφίας των ουσιών, οι οποίες δεν έχουν απομακρυνθεί με τις έως τώρα διαδικασίες, επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος και απολύμανση.

##### α) φυσικές – χημικές – βιολογικές διεργασίες

Στις φυσικές διεργασίες περιλαμβάνονται η απομάκρυνση της αμμωνίας με εκρόφηση, των ολικών στερεών (TS) με διήθηση και των διαλυμένων στερεών (DS) με ηλεκτροδιάλυση ή αντίστροφη όσμωση. Οι χημικές διεργασίες αποτελούνται από την απομάκρυνση των νιτρικών και της αμμωνίας με ιονανταλλαγή, την απομάκρυνση του φωσφόρου με χημική καθίζηση και των διαλυμένων οργανικών ουσιών, χλωρίου και βαρέων μετάλλων με ενεργό άνθρακα. Η σημαντικότερη βιολογική διεργασία της τριτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η νιτροποίηση-απονιτροποίηση για την αφαίρεση των ενώσεων του αζώτου. Απ' όλες αυτές τις διαδικασίες επιλέγονται κάθε φορά οι απολύτως απαραίτητες για την επίτευξη του τελικού στόχου, καθώς η υιοθέτηση όλων των μεθόδων είναι οικονομικά ασύμφορη.

##### β) επεξεργασία ιλύος

Με την χρησιμοποίηση μεθόδων καθίζησης (κυρίως χημικής) στην τριτοβάθμια επεξεργασία, δημιουργείται ιλύς, όπως και στα προηγούμενα στάδια, η οποία απαιτεί άμεση επεξεργασία.

γ) απολύμανση

Έπειτα από το πέρας της τριτοβάθμιας επεξεργασίας, τα απόβλητα δεν έχουν άλλη δίοδο από τη διοχέτευσή τους στο περιβάλλον ή την επαναχρησιμοποίησή τους. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η απολύμανσή τους για τον θάνατο των παθογόνων οργανισμών, που δεν έχουν εξοντωθεί έως τώρα.

Το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Αγίου Νικολάου Κρήτης, χρησιμοποιεί συμβατικά συστήματα για την επεξεργασία των αποβλήτων. Στη συνέχεια (Πίνακας 1-3), παρουσιάζονται οι αναλύσεις από τα δείγματα εξόδου της εγκατάστασης. Αν τα δείγματα εξόδου συγκριθούν με τα αντίστοιχα δείγματα της εισόδου (Πίνακας 1-2), τότε μπορεί να προσδιοριστεί η απόδοση της εγκατάστασης.

Πίνακας 1-3

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	COD, mg/l	BOD <sub>5</sub> , mg/l	
15/2/2002	7,7	957	39		
29/3/2002	7,9	1.109	14	4	
16/5/2002	7,5	1.180	58	12	
28/6/2002	7,8	1.404	156	16	
29/7/2002	7,5	1.210	95	18	
23/8/2002	7,7	1.180	86	28	
13/9/2002	7,8	1.137	104	20	
4/10/2002	7,8	1.112	62	23	
24/10/2002	7,5	1.136	57	13	
19/11/2002	7,8		58	33	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	SS, mg/l	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ολικό N	Ολικός P
15/2/2002	19	<0,2	2,70	6,00	2,98
29/3/2002	10	<0,2	4,70		
16/5/2002	15				
28/6/2002	8	<0,5	0,50		
29/7/2002	15	<0,5	0,67		
23/8/2002	19	<4	1,20		
13/9/2002	27	<0,5	0,31		
4/10/2002	16	<0,5	0,70		
24/10/2002	28	<4	1,70		
19/11/2002	17		0,00		1,60

### **1.4.2 Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας**

Η αλληλεπίδραση νερού, εδάφους, ατμόσφαιρας, φυτικών και ζωικών οργανισμών στο φυσικό περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Τα φυσικά συστήματα χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα αυτών των διεργασιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Τα φυσικά, λοιπόν, συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ορίζονται ως τα συστήματα στα οποία η επεξεργασία διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές, βιολογικές ή συνδυασμό τους, που συμβαίνουν στο περιβάλλον έδαφος-φυτό-απόβλητο (Αγγελάκης 1989). Γενικότερα κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- I. Γήινα ή/και Εδαφικά Συστήματα: η επεξεργασία πραγματοποιείται στο έδαφος ή σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Περιλαμβάνουν τα ακόλουθα είδη:
  - a) τοπικά συστήματα
  - b) συστήματα βραδείας εφαρμογής (SR)
  - c) συστήματα ταχείας διήθησης (RI)
  - d) συστήματα επιφανειακής ροής (OF)
  - e) συνδυασμένοι τύποι συστημάτων
- II. Συστήματα Υδροχαρών Φυτών:
  - a) φυσικοί υδροβιότοποι
  - b) τεχνητοί υδροβιότοποι
  - c) συστήματα επιπλέοντων υδροχαρών φυτών
- III. Τεχνητές Λίμνες:
  - a) επαμφοτερίζουσες λίμνες
  - b) αερόβιες λίμνες
  - c) αναερόβιες λίμνες
  - d) αεριζόμενες λίμνες
  - e) λίμνες ωρίμανσης

### **1.4.3 Τωρινή Κατάσταση και Μελλοντικές Τάσεις στην Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων**

Μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1980, η συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία ήταν η πιο κοινή μέθοδος επεξεργασίας για την μείωση του B.O.D. και την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών. Στις Η.Π.Α. η απομάκρυνση θρεπτικών είχε χρησιμοποιηθεί σε ειδικές περιπτώσεις, όπου είχε παρατηρηθεί πρόβλημα στην ποιότητα των υδάτων, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης θρεπτικών. Το γενικότερο πρόβλημα του εμπλουτισμού με θρεπτικά, που οδηγεί σε ευτροφισμό, και της υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων οδήγησε στην εφαρμογή διαδικασιών απομάκρυνσης θρεπτικών και σε πολλές άλλες περιοχές. Τα τελευταία 10 χρόνια έχουν σχεδιαστεί πολλές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν συστήματα βιολογικής απομάκρυνσης θρεπτικών.

Στον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) στις Η.Π.Α., η συνολική δραστηριότητα στον σχεδιασμό εγκαταστάσεων επεξεργασίας αναμένεται να αυξηθεί περίπου 15% τα επόμενα 20 με 30 χρόνια. Στη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο Οργανισμός υπολογίζει ότι περίπου 2.300 νέες εγκαταστάσεις πρόκειται να δημιουργηθούν, οι περισσότερες από τις οποίες θα διαθέτουν μεγαλύτερο επίπεδο επεξεργασίας από αυτό της δευτεροβάθμιας. Ο σχεδιασμός τέτοιου είδους προηγμένων εγκαταστάσεων πρόκειται να αυξηθεί στο μέλλον κατά 40% (*U.S. EPA, 1997*). Είναι λοιπόν σαφές ότι οι μελλοντικές τάσεις στον σχεδιασμό εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων θα περιέχουν δραστηριότητες, που θα προάγουν υψηλά επίπεδα επεξεργασίας.

Επίσης, η υιοθέτηση των μεθόδων επεξεργασίας με φυσικά συστήματα είναι μία από τις κυριότερες μελλοντικές τάσεις, κυρίως για μικρά ρυπαντικά φορτία. Τα φυσικά συστήματα έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, έχουν μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια, είναι συμβατά με το φυσικό περιβάλλον και συμβάλουν στην αναβάθμισή του.

Σήμερα έχει αναπτυχθεί πλήθος διαδικασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που ενδεχομένως προσφέρουν οικονομικά κέρδη στην κατασκευή και στη λειτουργία τους. Αυτή η τάση θα συνεχιστεί, ιδιαιτέρως όπου έχουν αποτιμηθεί εναλλακτικά συστήματα επεξεργασίας ή όπου έχουν ιδιωτικοποιηθεί οι υπηρεσίες. Η ιδιωτικοποίηση (στον τομέα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων) καθορίζεται ως μία σύμπραξη

ιδιωτικού και δημόσιου τομέα, στην οποία ο ιδιώτης συνέταιρος διευθετεί τη χρηματοδότηση, το σχεδιασμό, την κατασκευή και την λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Σε μερικές περιπτώσεις ο ιδιώτης μπορεί να είναι και ιδιοκτήτης των εγκαταστάσεων. Οι λόγοι της ιδιωτικοποίησης εκτείνονται πέρα της δυνατότητας ή μη δημιουργίας ιδιόκτητων εγκαταστάσεων. Στις Η.Π.Α., η ανάγκη για ιδιωτική οικονομική διαχείριση είναι ο κύριος λόγος ιδιωτικοποιήσεων, ενώ η ανάγκη διατήρησης του ελέγχου στις εγκαταστάσεις είναι η πραγματική αιτία που αποτρέπει τις ιδιωτικοποιήσεις.

Νέες κατευθύνσεις στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι ευδιάκριτες σε μερικές ειδικές περιοχές της επεξεργασίας. Οι ολοένα και αυξανόμενες υγειονομικές και περιβαλλοντικές ανησυχίες, το πρόβλημα των βιομηχανικών αποβλήτων και η εφαρμογή των νέων αυστηρότερων ορίων σηματοδοτούν τις νέες αυτές κατευθύνσεις. Ακόμη, νέα σημαντικά πεδία δράσης στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι:

- Νέες μέθοδοι ανάλυσης και ελέγχου των διαδικασιών
- Αξιοπιστία και αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας
- Συνδυασμένες εκροές των οχετών
- Επιδράσεις των βρόχινων και μη μολυσματικών υδάτων
- Αυτόνομη, ξεχωριστή επεξεργασία των επιστρεφόντων ροών
- Έλεγχος οσμών και έλεγχος εκπομπών πτητικών υδρογονανθράκων
- Μετασκευή και αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Αγγελάκης Ν.Α., Τσαγκαράκης Π.Κ., «Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Αρχές Σχεδιασμού και Λειτουργίας», Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου Κρήτης
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984



## 1.5 ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ

Οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται στη δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι υπαίτιοι για ένα πλήθος βιολογικών αντιδράσεων, καθώς καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων χρησιμοποιώντας οξυγόνο. Η κινητική αυτών των αντιδράσεων είναι αρκετά σημαντική για την κατανόηση των διαδικασιών και για τον σχεδιασμό βελτιωμένων διατάξεων.

Γενικότερα, η σχέση που συνδέει το ρυθμό μεταβολής της συγκέντρωσης της ουσίας που αντιδρά (δηλαδή των οργανικών συστατικών) με το χρόνο και τη συγκέντρωση είναι η εξής:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K * C^n \quad (1-2)$$

όπου,

$C$  = συγκέντρωση της ουσίας που αντιδρά

$K$  = σταθερά του ρυθμού αντίδρασης (π.χ.  $h^{-1}$ )

$n$  = τάξη της αντίδρασης ( $n=0$ : μηδενική τάξη,  $n=1$ : πρώτη τάξη,  $n=2$ : δεύτερη τάξη)

Η τιμή της  $K$  δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων θρεπτικών, ιχνοστοιχείων κ.α.
- τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, pH κ.α.)
- τη συγκέντρωση τοξικών ουσιών
- την παρουσία καταλύτη

Για την αναγωγή της σταθεράς  $K$  σε οποιαδήποτε θερμοκρασία χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$K_T = K_{T_0} \Theta^{T-T_0} \quad (1-3)$$

όπου,

$K_T$  = σταθερά  $K$  στους  $T$  °C

$K_{T_0}$  = σταθερά  $K$  στους  $T_0$  °C (συνήθως  $T_0 = 20$  °C)

$\Theta$  = συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης

Οι βιολογικές αντιδράσεις είναι κυρίως μηδενικής και πρώτης τάξης. Στις αντιδράσεις μηδενικής τάξης ( $n=0$ ) ισχύει:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K \quad (I-4)$$

οπότε οι αντιδράσεις αυτές είναι ανεξάρτητες από τη συγκέντρωση  $C$ . Αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα παρουσία καταλύτη ανήκουν συνήθως σ' αυτήν την κατηγορία. Η σταθερά  $K$  υπολογίζεται εύκολα, εάν έχουμε τιμές για τη μεταβολή της συγκέντρωσης σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Στις αντιδράσεις πρώτης τάξης ( $n=1$ ) ισχύει:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K * C \quad (I-5)$$

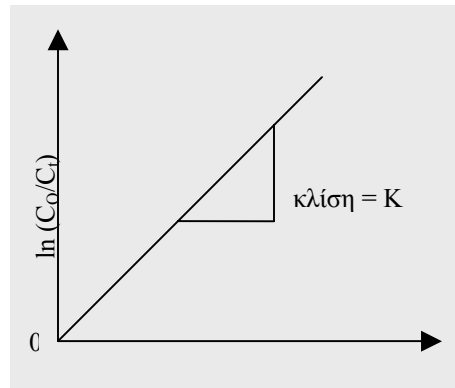
οπότε ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης είναι ανάλογος προς αυτή και μειώνεται με το χρόνο. Οι περισσότερες βιολογικές αντιδράσεις ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η προηγούμενη σχέση μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα στα όρια των συγκεντρώσεων  $C_1$  και  $C_2$  και σε χρόνους  $t_1$  και  $t_2$  αντίστοιχα.

$$\int_{C_1}^{C_2} \frac{\partial C}{\partial t} = -K \cdot \int_{t_1}^{t_2} \partial t \Leftrightarrow \ln \frac{C_1}{C_2} = K (t_2 - t_1) \quad (I-6)$$

Αν στην αρχή της αντίδρασης ( $t_1 = 0$ ) η συγκέντρωση είναι  $C_0$ , τότε η συγκέντρωση  $C_t$  σε κάθε χρονική στιγμή  $t$  δίδεται από τη σχέση:

$$C_t = C_0 * e^{-Kt} \quad (I-7)$$

Από τη σχέση I-6 διαπιστώνουμε ότι η γραφική παράσταση του  $\ln \frac{C_0}{C_t}$  συναρτήσει του χρόνου ( $t$ ) είναι ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και έχει κλίση  $K$ . Επομένως είναι δυνατό, χρησιμοποιώντας μέθοδο απλών τετραγώνων, να υπολογίσουμε την σταθερά  $K$ .



Διάγραμμα 1-2 Διάγραμμα  $\ln (C_0/C_t)$  συναρτήσει του  $t$

Όταν  $K \cdot t \ll 1$ , τότε  $e^{Kt} = 1 + K \cdot t$ . Οπότε η σχέση 1-7 απλοποιείται ως εξής:

$$C_t = C_0 \frac{1}{1 + K \cdot t} \quad (1-8)$$

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

- 
- Οικονομόπουλος Π. Αλέξανδρος, «Χημεία και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών (Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Π.Κ.)», Χανιά, 2002

## **2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ**

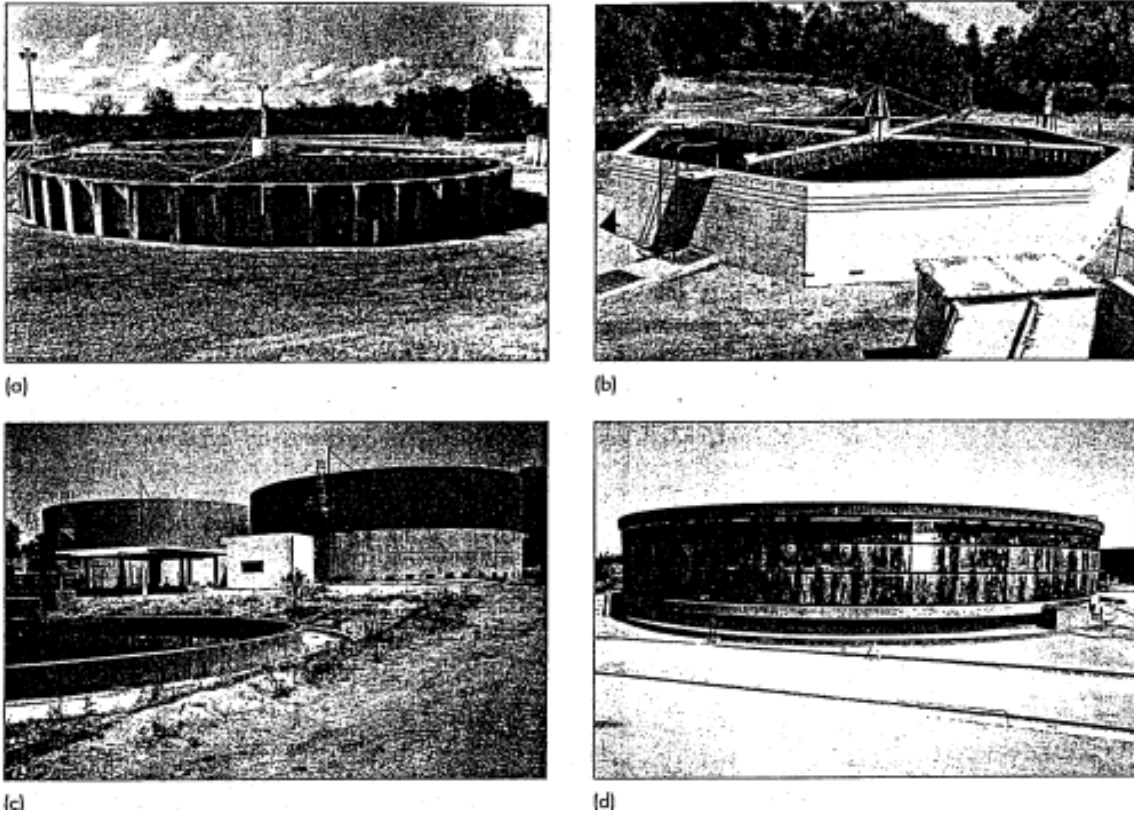
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται λεπτομερώς τα βιολογικά φίλτρα. Δηλαδή, προσδιορίζεται ο σκοπός της λειτουργίας τους, γίνεται σύντομη ιστορική αναδρομή περί των εφαρμογών τους, περιγράφεται η βιολογική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε αυτά, παρουσιάζονται τα είδη τους και οι πιθανές διατάξεις τους, αναλύονται τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (εισροή, γεωμετρία, διηθητικό μέσο, σύστημα διανομής, σύστημα αποστράγγισης, αερισμός) και παρουσιάζονται θέματα σχετικά με τη λειτουργία τους (απομάκρυνση οργανικών και νιτροποίηση, επίδραση θερμοκρασίας, προβλήματα λειτουργίας).

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιολογικά φίλτρα χρησιμοποιούνται με σκοπό την απομάκρυνση των διαλυμένων και κolloειδών οργανικών συστατικών και την νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου των αποβλήτων. Αποτελούνται από ένα υπόστρωμα (διηθητικό μέσο), ένα σύστημα διανομής των υγρών αποβλήτων και ένα σύστημα αποστράγγισης των εκροών. Μέσα στα βιολογικά φίλτρα και πάνω από το διηθητικό μέσο δημιουργείται ένα μικροβιακό στρώμα από μικροοργανισμούς, το οποίο χρησιμοποιώντας οξυγόνο, καταναλώνει τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων, μετατρέποντάς τις σε σταθερά τελικά προϊόντα.

Τα βιολογικά φίλτρα έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η απλότητά τους και το χαμηλό κόστος λειτουργίας τους, τα έχουν αναδείξει σε μία ελκυστική επιλογή για επεξεργασία μικρών ποσοτήτων αποβλήτων σε ζεστά κυρίως κλίματα. Όμως, οι νέες οδηγίες που απαιτούν υψηλή ποιότητα στις εκροές θέτουν σε αμφισβήτηση την εφαρμογή των κλασσικών βιολογικών φίλτρων. Παρόλο που τα βιολογικά φίλτρα πολλαπλών βαθμίδων ικανοποιούν τις απαιτήσεις των εκροών από δευτεροβάθμια επεξεργασία, νέες παραλλαγές και προσαρμογές των βιολογικών φίλτρων έχουν αποδειχθεί αρκετά οικονομικότερες και αποδοτικότερες.

Στο παρελθόν, τα κύρια πλεονεκτήματα των βιολογικών φίλτρων ήταν η χρησιμοποίηση λιγότερης ενέργειας απ' ό,τι στα συστήματα ενεργούς ιλύος και η εύκολη λειτουργία τους. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονταν οι ενδεχόμενες οσμές, η πιθανή ύπαρξη εντόμων και η χαμηλή ποιότητα των εκροών. Τα ελαττώματα αυτά οφείλονταν περισσότερο στον ανεπαρκή αερισμό και στην ανεπαρκή προστασία από χαμηλές θερμοκρασίες. Με τον κατάλληλο και σωστό σχεδιασμό, τα βιολογικά φίλτρα χρησιμοποιούνται έκτοτε επιτυχώς σε πολλές εφαρμογές.



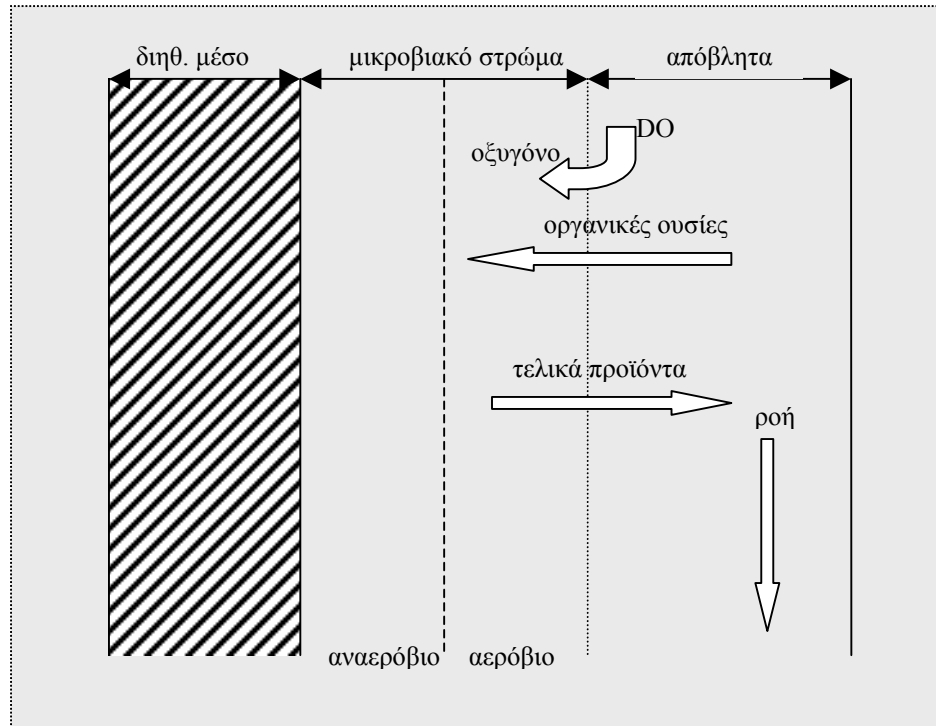
Εικόνα 2-1 Διάφορα είδη βιολογικών φίλτρων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Peavy S. Howard, Rowe R. Donald, Tchobanoglous George, «Environmental Engineering», McGraw – Hill International Editions, N. York, 1986

- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## 2.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Σχήμα 2-1 Βιολογική διαδικασία

Το μικροβιακό στρώμα αποτελείται κυρίως από βακτηρίδια, μύκητες, άλγη, πρωτόζωα, έντομα κ.α.. Δημιουργείται από διάφορους μικροοργανισμούς των αποβλήτων που προσκολλώνται πάνω στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου σε περίοδο 2 – 6 εβδομάδων από την έναρξη λειτουργίας των βιολογικών φίλτρων. Τα βακτηρίδια είναι οι οργανισμοί που κυρίως ευθύνονται για τη δημιουργία του υποστρώματος. Οι μύκητες σχηματίζουν και αυτοί μικροβιακό στρώμα, αλλά σε βιομηχανικά απόβλητα με χαμηλό pH. Τα άλγη αναπτύσσονται μονάχα στην επιφάνεια των βιολογικών φίλτρων, όπου υπάρχει παρουσία φωτός και παίρνουν έμμεσα μέρος στη βιολογική διαδικασία, διαβιβάζοντας οξυγόνο στο βιολογικό φίλτρο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα πρωτόζωα αποτελούν παράγοντα ελέγχου του πληθυσμού και του πάχους του μικροβιακού στρώματος, καθώς τρέφονται με τις οργανικές ουσίες των αποβλήτων, αλλά και με βακτηρίδια του στρώματος.

Όταν τα απόβλητα διέρχονται μέσα από ένα βιολογικό φίλτρο, οι διαλυμένες και κολλοειδείς οργανικές ουσίες θρομβώνονται και προσροφούνται πάνω στο μικροβιακό στρώμα και έπειτα διασπώνται και οξειδώνονται από τους μικροοργανισμούς του στρώματος υπό αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες. Ένα μέρος των διασπώμενων οργανικών ουσιών συντίθεται και δημιουργεί νέους μικροοργανισμούς, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το πάχος του μικροβιακού στρώματος. Όλη αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα κυρίως στην εξωτερική επιφάνεια του μικροβιακού στρώματος. Οι μικροοργανισμοί του στρώματος που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου υποσιτίζονται, αφού δεν έχουν αρκετή πρόσβαση στις οργανικές ουσίες των αποβλήτων, με αποτέλεσμα να καταναλώνουν το ίδιο τους το πρωτόπλασμα (ενδογενής φάση). Το μικροβιακό στρώμα λοιπόν αποκολλείται από το διηθητικό μέσο και ρέει μαζί με τα απόβλητα. Επίσης τα πρωτόζωα συντελούν και αυτά στην καταστροφή του μικροβιακού στρώματος, χωρίς αυτή να είναι καθοριστική, αφού μέρος των οργανικών ουσιών των αποβλήτων δημιουργεί συνεχώς νέο μικροβιακό στρώμα. Το απαιτούμενο οξυγόνο για τη βιολογική διάσπαση και οξείδωση παρέχεται από το DO των αποβλήτων. Το οξυγόνο αυτό καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια του μικροβιακού στρώματος, με συνέπεια στην εσωτερική επιφάνεια να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Εκτός από την οξείδωση των οργανικών ουσιών, το αμμωνιακό άζωτο των αποβλήτων οξειδώνεται σε  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{NO}_3^-$  από τα νιτροποιητικά βακτήρια στο κατώτερο τμήμα των βιολογικών φίλτρων.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## **2.3 ΕΙΔΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ**

### **2.3.1 Ταξινόμηση**

Τα βιολογικά φίλτρα διαχωρίζονται σε χαμηλής, μέσης, υψηλής, πολύ υψηλής φόρτισης και σε τραχιά, ανάλογα με την οργανική και υδραυλική φόρτιση που δέχονται. Πριν το 1936, χρησιμοποιούνταν βιολογικά φίλτρα που δέχονταν μονάχα μικρές φορτίσεις. Έκτοτε έρευνες απέδειξαν ότι για την απομάκρυνση των οργανικών στερεών από το οργανικό μέσο και για την αποφυγή φραξίματος είναι απαραίτητη μία υδραυλική φόρτιση τουλάχιστον  $9,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$  (W.E.F., 1998). Πολλά φίλτρα σχεδιάστηκαν για να λειτουργούν σε μία «ενδιάμεση», ονομαζόμενη, υδραυλική κατάσταση, και κατ' αυτόν τον τρόπο παρήχθησαν οι έννοιες των βιολογικών φίλτρων χαμηλής, μέσης και υψηλής φόρτισης. Τα τραχιά βιολογικά φίλτρα είναι φίλτρα υψηλής φόρτισης που λαμβάνουν υψηλό οργανικό ή υδραυλικό φορτίο. Παρόλο που αυτά τα φίλτρα έχουν υψηλό επίπεδο απομάκρυνσης οργανικού φορτίου ανά μονάδα όγκου, οι εκροές τους έχουν σημαντικές ποσότητες διαλυτού  $\text{BOD}_5$  (soluble Biochemical Oxygen Demand,  $\text{SBOD}_5$ ) και στερεών σχετιζόμενων με το  $\text{BOD}_5$  ( $\text{TSS BOD}_5$ ). Τα τραχιά βιολογικά φίλτρα χρησιμοποιούνται

ως πρώτο στάδιο για μια βιολογική επεξεργασία πολλών βαθμίδων. Η χρησιμοποίηση του πλαστικού ως διηθητικού μέσου οδήγησε στην καθιέρωση ενός νέου τύπου βιολογικών φίλτρων, των φίλτρων πολύ υψηλής φόρτισης. Αυτά χρησιμοποιούνται ως το τελευταίο μέρος μιας ολοκληρωμένης δευτεροβάθμιας επεξεργασίας και όταν το μέσο είναι συνθετικό πλαστικό, ονομάζονται και πύργοι οξείδωσης ή βιοπύργοι.

Μερικές εγκαταστάσεις βιολογικών φίλτρων είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν με δύο (2) ή περισσότερα βιολογικά φίλτρα στη σειρά. Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται φίλτρα δύο ή πολλαπλών βαθμίδων αντίστοιχα, σε αντίθεση με τα απλά βιολογικά φίλτρα που ονομάζονται φίλτρα μίας βαθμίδας. Η συνολική απόδοση (E) απομάκρυνσης BOD σε φίλτρα δύο βαθμίδων δίνεται από τη σχέση:

$$(1 - E) = (1 - E_1) (1 - E_2) \quad (2-1)$$

όπου,

$E_1, E_2$  = απόδοση πρώτου και δεύτερου φίλτρου αντίστοιχα (%)

Οι κατηγορίες των βιολογικών φίλτρων με τα κύρια σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1

<b><u>ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u></b>	<b>Χαμηλής Φόρτισης</b>	<b>Μέσης Φόρτισης</b>	<b>Υψηλής Φόρτισης</b>	<b>Πολύ Υψηλής Φόρτισης</b>	<b>Τραχιά Βιολογικά Φίλτρα</b>
<b>Διηθητικό μέσο</b>	ορυκτό	ορυκτό	ορυκτό	πλαστικό	ορυκτό / πλαστικό
<b>Υδραυλική φόρτιση (<math>\text{m}^3/\text{m}^2,\text{d}</math>)</b>	1,0 - 3,5	3,5 - 9,5	9,5 - 36,5	14,0 - 85,5	57,0 - 171,0
<b>Οργανική φόρτιση (<math>\text{kgBOD}_5/\text{m}^3,\text{d}</math>)</b>	0,08 - 0,24	0,24 - 0,48	0,48 - 2,40	$\leq 4,8$	$> 1,6$
<b>Επανακυκλοφορία</b>	ελάχιστη	συχνά	πάντα	συχνά	όχι συνήθως απαραίτητη
<b>Έντομα</b>	πολλά	αρκετά	λίγα	λίγα	λίγα
<b>Αποκόλληση μικροβιακού στρώματος</b>	διακοπτόμενη	διακοπτόμενη	συνεχής	συνεχής	συνεχής
<b>Βάθος (m)</b>	1,83 - 2,44	1,83 - 2,44	0,91 - 2,44	$\leq 12,19$	0,91 - 6,10
<b>Απόδοση απομάκρυνσης BOD (%)</b>	80 - 85	50 - 70	40 - 80	65 - 85	40 - 85
<b>Νιτροποίηση</b>	καλή	μερική	όχι	περιορισμένη	όχι

### **2.3.2 Επανακυκλοφορία**

Για την αύξηση της απόδοσης απομάκρυνσης BOD σε φίλτρα με ορυκτό διηθητικό μέσο και για την αποφυγή της ξήρανσης των φίλτρων με πλαστικό διηθητικό μέσο, σε περιόδους μικρών παροχών, είναι απαραίτητη η επανακυκλοφορία των αποβλήτων. Η επανακυκλοφορία προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- i. Τα βιολογικά φίλτρα τροφοδοτούνται συνεχώς με πιο αραιά απόβλητα.
- ii. Εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις του ημερήσιου οργανικού φορτίου και επιτυγχάνεται σχεδόν σταθερή οργανική φόρτιση.
- iii. Σε περιόδους μειωμένης παροχής (π.χ. νύχτα) εξασφαλίζεται πάντα μία ελάχιστη παροχή αποβλήτων.
- iv. Το DO των αποβλήτων της εισροής εμπλουτίζεται από τα απόβλητα της επανακυκλοφορίας.
- v. Επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή του υδραυλικού φορτίου, με αποτέλεσμα την πιο ομοιόμορφη ανάπτυξη του μικροβιακού στρώματος και την ομοιόμορφη αποκόλλησή του, ώστε να αποφεύγεται το φράξιμο των βιολογικών φίλτρων.
- vi. Αυξάνεται η υδραυλική διάβρωση του μικροβιακού στρώματος και μειώνεται ο ρυθμός ανάπτυξής του.
- vii. Ελαχιστοποιείται η παρουσία εντόμων, γιατί οι αυξημένες παροχές παρασύρουν τα αυγά τους.
- viii. Ελαχιστοποιείται η παρουσία οσμών, γιατί οι αυξημένες παροχές αερίζουν καλύτερα τα βιολογικά φίλτρα.
- ix. Αυξάνεται ο συνολικός χρόνος επαφής των οργανικών ουσιών με το μικροβιακό στρώμα.

Η επανακυκλοφορία των αποβλήτων πραγματοποιείται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Η παροχή επανακυκλοφορίας  $R$  είναι ένα σταθερό ποσοστό της παροχής εισροής  $Q$ , δηλαδή  $R/Q = \text{σταθερό}$ .
- Η παροχή επανακυκλοφορίας  $R$  είναι αντίστροφα ανάλογη της παροχής εισροής  $Q$ , δηλαδή  $RQ = \text{σταθερό}$ .
- Η παροχή επανακυκλοφορίας  $R$  είναι σταθερή και ο λόγος αυτής προς την παροχή εισροής ( $R/Q$ ) είναι μεταβλητός.

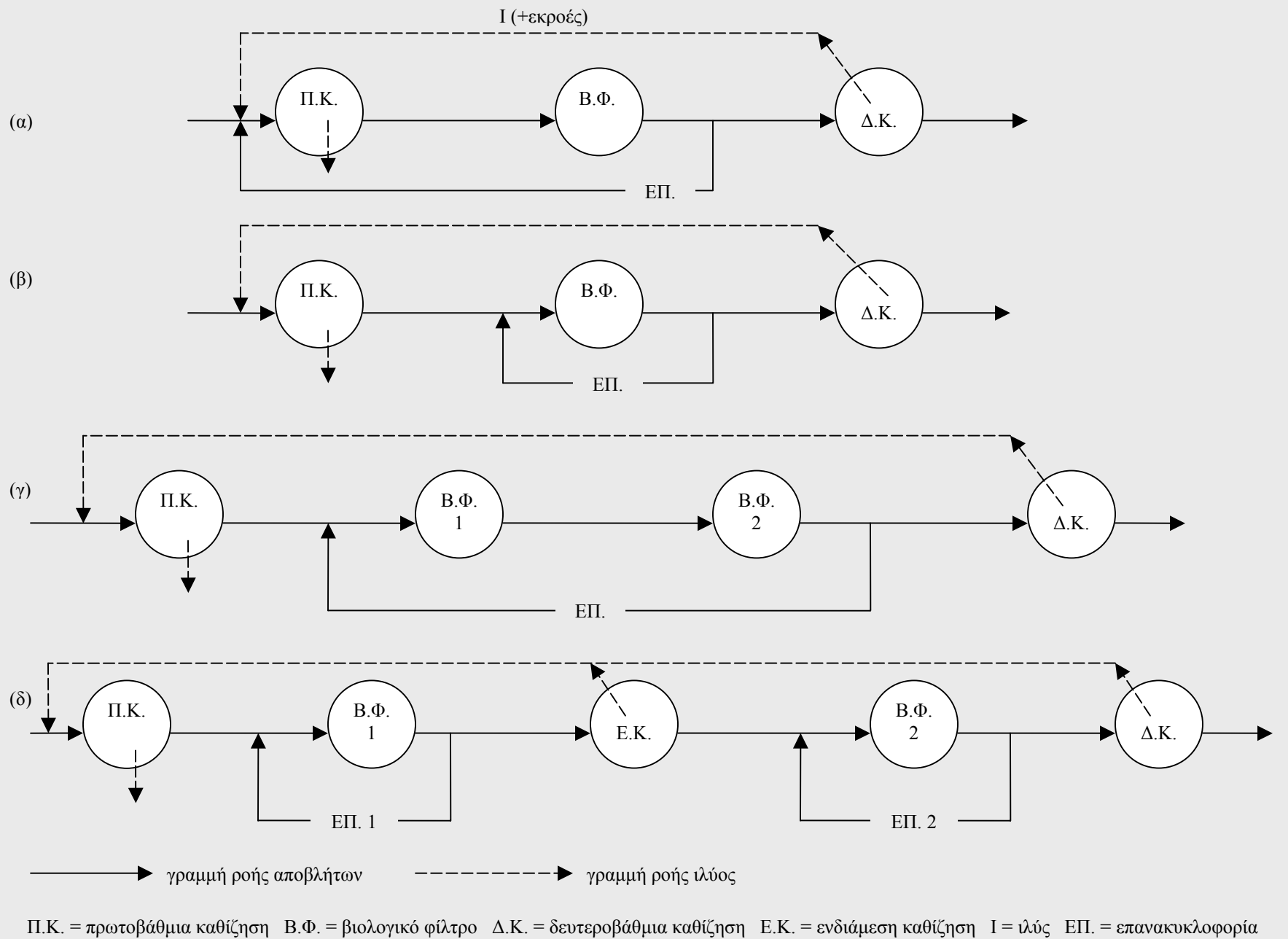
- Η παροχή επανακυκλοφορίας  $R$  είναι σταθερή, αλλά η επανακυκλοφορία πραγματοποιείται μόνο σε περιόδους μικρών παροχών.

Ο σχεδιασμός ρηχών φίλτρων με πλαστικό μέσο απαιτεί επανακυκλοφορία για να επιτευχθεί το ελάχιστο επίπεδο διαπότισης του διηθητικού μέσου. Όταν εφαρμόζονται οι ελάχιστες επιτρεπτές υδραυλικές φορτίσεις, η επανακυκλοφορία επιφέρει ελάχιστα κέρδη (*Germain, 1966*), όμως για φίλτρα με χαμηλή υδραυλική φόρτιση και υψηλά οργανικά φορτία, η ανακύκλωση των αποβλήτων βελτιώνει σημαντικά την απόδοση. Στα βιολογικά φίλτρα με ορυκτό διηθητικό μέσο και χαμηλό υδραυλικό φορτίο, η επανακυκλοφορία επιφέρει υψηλή ροή και συντελεί στη σωστή ύγρανση του μέσου (*Tchobanoglous G. et al., 2002*).

Η απόφαση για τυχόν επανακυκλοφορία των αποβλήτων και για την έκταση αυτής, βασίζεται στη σύγκριση ετήσιων κοστών διαφόρων διατάξεων, με την ίδια όμως απόδοση απομάκρυνσης οργανικών. Ο λόγος επανακυκλοφορίας των αποβλήτων ( $r$ ) είναι το πηλίκο της ανακυκλώσιμης ροής ( $R$ ) προς την αρχική ροή των αποβλήτων ( $Q$ ). Συνήθως, ο λόγος αυτός κυμαίνεται από 0,5 έως 4,0 και σπάνια  $r \leq 10$  όταν επεξεργάζονται ισχυρά βιομηχανικά απόβλητα. Έχει αποδειχθεί ότι για λόγους επανακυκλοφορίας μεγαλύτερους του 4, η απόδοση δεν βελτιώνεται στα βιολογικά φίλτρα με ορυκτό μέσο, αλλά επιπρόσθετα η διάταξη γίνεται αντιοικονομική (*Galler and Gotaas, 1964*).

### **2.3.3 Διατάξεις Βιολογικών Φίλτρων**

Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν πολλοί συνδυασμοί βιολογικών φίλτρων μίας, δύο ή πολλαπλών βαθμίδων με διαφορετικούς τρόπους επανακυκλοφορίας. Οι περισσότεροι από αυτούς απαιτούσαν η επιστρεφόμενη ροή να εισέρχεται σε δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, πριν τα βιολογικά φίλτρα. Η πρακτική αυτή επηρέαζε αρνητικά την απόδοση της πρωτοβάθμιας καθίζησης, αφού οι δεξαμενές σπάνια ήταν σχεδιασμένες για μεγάλες υδραυλικές φορτίσεις. Όμως, ακόμη και αν ήταν, ο όγκος τους έπρεπε αναγκαστικά να ήταν πολύ μεγάλος και η κατασκευή τους ήταν ασύμφορη. Έτσι, επικράτησε η τακτική της επιστροφής των εκροών απευθείας στο ίδιο το βιολογικό φίλτρο. Οι τέσσερις πιο χρησιμοποιούμενες σήμερα διατάξεις βιολογικών φίλτρων είναι οι ακόλουθες (*W.E.F., 1998*):



Σχήμα 2-2 Διατάξεις βιολογικών φίλτρων

Σύγκριση μοντέλων σχεδιασμού και προσομοίωσης συστημάτων βιολογικών φίλτρων για επεξεργασία υγρών αποβλήτων

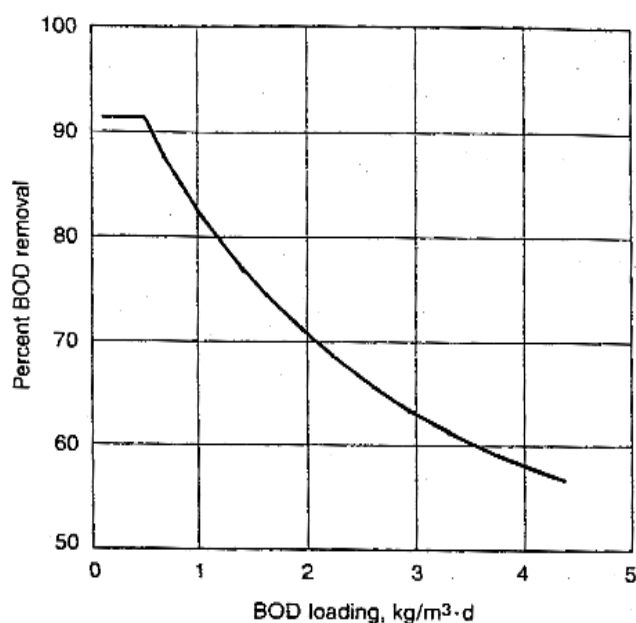
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (*4<sup>th</sup> Edition*) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## 2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

### 2.4.1 Εισροή

Λόγω της πολυπλοκότητας των βιολογικών φίλτρων (πολλά είδη διηθητικών μέσων, πολύπλοκες βιολογικές αντιδράσεις, ανομοιομορφίες του μικροβιακού στρώματος κ.α.) δεν έχει καταστεί δυνατή η δημιουργία ενός τύπου που να συσχετίζει την αποδεκτή ποσότητα υγρών αποβλήτων σε ένα βιολογικό φίλτρο με τα χαρακτηριστικά αυτού. Όμως, με βάση τις έως τώρα εφαρμογές των βιολογικών φίλτρων, μπορούμε να προσδιορίσουμε ένα εύρος τιμών για τα αποδεκτά φορτία  $BOD_5$  σε ένα βιολογικό φίλτρο. Τα φορτία αυτά κυμαίνονται από 0,3 έως 4,0  $kg\ BOD/m^3 \cdot d$ . Ακόμη, όλα τα μαθηματικά μοντέλα, που έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό της απόδοσης στα βιολογικά φίλτρα, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση των εισερχόμενων ποσοτήτων  $BOD_5$  οδηγεί σε μείωση της απόδοσης και επομένως σε κακή ποιότητα των εκροών. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύει την άποψη ότι τα βιολογικά φίλτρα ενδείκνυνται για εγκαταστάσεις επεξεργασίας μικρής ισχύος. Στο *Διάγραμμα 2-1* παρουσιάζεται η συσχέτιση απόδοσης και εισερχόμενων ποσοτήτων  $BOD_5$  για βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο και θερμοκρασία 20 °C.



*Διάγραμμα 2-1* Διάγραμμα συσχέτισης απόδοσης με οργανική φόρτιση



### 2.4.2 Γεωμετρία

Το γεωμετρικό σχήμα των βιολογικών φίλτρων είναι συνήθως κυλινδρικό και σπανιότερα ορθογωνικό. Στα κυλινδρικά βιολογικά φίλτρα, η διάμετρος είναι τις περισσότερες φορές μεγαλύτερη από 6,0m. Το σχήμα εξαρτάται από τη φόρτιση, το διηθητικό μέσο και το σύστημα διανομής των αποβλήτων.

Τα βιολογικά φίλτρα περιβάλλονται από ένα τοίχωμα, σκοπός του οποίου είναι να συγκρατεί το διηθητικό μέσο, να το προστατεύει από χαμηλές θερμοκρασίες, να επιτρέπει τον αερισμό και να δίνει τη δυνατότητα στο βιολογικό φίλτρο να πλημμυρίζεται για λόγους συντήρησης. Τα βιολογικά φίλτρα με ορυκτό μέσο διαθέτουν τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 0,20 – 0,30m, από τούβλα ή από τσιμεντόλιθους. Αντίθετα, τα βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο δεν απαιτούν τοιχώματα, αφού το διηθητικό μέσο στηρίζεται μόνο του και δεν δημιουργούνται προβλήματα εντόμων και φραξίματος, ώστε να είναι απαραίτητο το πλημμύρισμα του φίλτρου. Συνήθως όμως κατασκευάζεται ένα περίβλημα από σκυρόδεμα, ξύλο και φύλλα χάλυβα ή υαλοβάμβακα με ειδικό σκελετό υποστήριξης, μονάχα για την προστασία του βιολογικού φίλτρου από χαμηλές θερμοκρασίες και για τον περιορισμό της ροής μέσα στα όρια του φίλτρου.

Το βάθος των βιολογικών φίλτρων δεν είναι σταθερό για όλα τα φίλτρα και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από την οργανική και υδραυλική φόρτιση, τον χρόνο επαφής των αποβλήτων με το μικροβιακό στρώμα, τις υδραυλικές απώλειες στο βιολογικό φίλτρο, την απαιτούμενη επιφάνεια του φίλτρου και την απαιτούμενη ποιότητα εκροής. Η συσχέτιση του βάθους με τους παραπάνω παράγοντες απεικονίζεται εμφανέστερα στα μαθηματικά μοντέλα, που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Η επίδραση του βάθους του διηθητικού μέσου στην απόδοση των βιολογικών φίλτρων αποτελεί ένα πεδίο συνεχών ερευνών και αμφισβητήσεων. Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι ο όγκος, και όχι το βάθος, επηρεάζει την απόδοση (Brown and Caldwell - 1978, Bruce and Merkens – 1970 and 1973, Dow chemical Company – 1964 and 1967, Galer and Gotaas – 1964, Kincannon and Stover – 1982 and NRC – 1946). Άλλοι πάλι υποστηρίζουν ότι για ένα σταθερό όγκο, η απόδοση βελτιώνεται όσο αυξάνεται το βάθος (Parker – 1984 and Poon et al. – 1984). Τα πιο πρόσφατα μαθηματικά μοντέλα για εύρεση της απόδοσης προβλέπουν ασήμαντη αύξηση της απόδοσης για βαθύτερα βιολογικά φίλτρα του ίδιου όγκου (Logan et al – 1987). Η

ελάχιστη αυτή αύξηση στην απόδοση οφείλεται πιθανότατα στη μεγαλύτερη υδραυλική φόρτιση, που δέχονται τα βαθιά φίλτρα. Τα βιολογικά φίλτρα χαμηλής φόρτισης με ορυκτό διηθητικό μέσο κατασκευάζονται συνήθως με βάθος 1,8 – 3,0m, ενώ στα φίλτρα μέσης και υψηλής φόρτισης με ορυκτό μέσο το βάθος είναι 0,9 – 1,8m. Στα φίλτρα χαμηλής φόρτισης, η αύξηση του βάθους επιφέρει αύξηση του βαθμού νιτροποίησης. Στα βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο, το ελάχιστο απαιτούμενο βάθος, ώστε να εξασφαλίζεται αρκετός χρόνος επαφής και καλή διασπορά των αποβλήτων στο μέσο, είναι 3,00m, ενώ το μέγιστο είναι 12,00m και εξαρτάται από το κόστος άντλησης των αποβλήτων και το κόστος κατασκευής του τοιχώματος.

### **2.4.3 Διηθητικό Μέσο**

Το διηθητικό μέσο ενός βιολογικού φίλτρου μπορεί να είναι ένα οποιοδήποτε ανθεκτικό και χημικά αδρανές υλικό. Συνήθως χρησιμοποιούνται κοκκώδη ορυκτά υλικά, όπως χαλίκια, σπασμένες πέτρες, σκουριά υψικαμίνων κ.λ.π. Το διηθητικό μέσο μπορεί να είναι και πλαστικό με τη μορφή τυποποιημένων κύβων, που αποτελούνται από πλαστικά φύλλα με αυλάκια, ή με τη μορφή δακτυλίων και κυλίνδρων, που χρησιμοποιούνται όπως τα ορυκτά μέσα. Οι τυποποιημένοι κύβοι κατασκευάζονται συνήθως από P.V.C., ενώ οι δακτύλιοι και οι κύλινδροι κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο και χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη ειδική επιφάνειά τους. Τα πλαστικά διηθητικά μέσα είναι ελαφριά και διευκολύνουν την κατασκευή βιολογικών φίλτρων με μεγάλο βάθος (βιολογικοί πύργοι), περιορίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την επιφάνεια των βιολογικών φίλτρων.

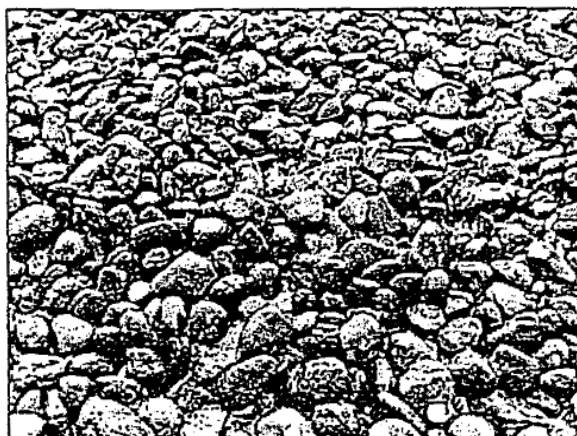
Ειδική επιφάνεια του διηθητικού μέσου είναι η επιφάνειά του ανά μονάδα όγκου του. Όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική επιφάνεια, τόσο αυξάνεται η απόδοση των βιολογικών φίλτρων. Στα κοκκώδη ορυκτά μέσα, μέρος της επιφάνειάς τους παραμένει αδρανές, επειδή οι επιφάνειες επαφής μεταξύ των κόκκων δεν βρέχονται από τα απόβλητα.

Ο όγκος των διακένων ορίζεται σαν τον όγκο των κενών του διηθητικού μέσου, ανάμεσα στα οποία περνούν τα υγρά απόβλητα, αλλά και ο αέρας. Ο μεγάλος όγκος διακένων (απαντάται κυρίως στα πλαστικά διηθητικά μέσα) επιτρέπει την εφαρμογή αυξημένων υδραυλικών φορτίσεων και τη μεγαλύτερη μεταφορά οξυγόνου στο βιολογικό φίλτρο.

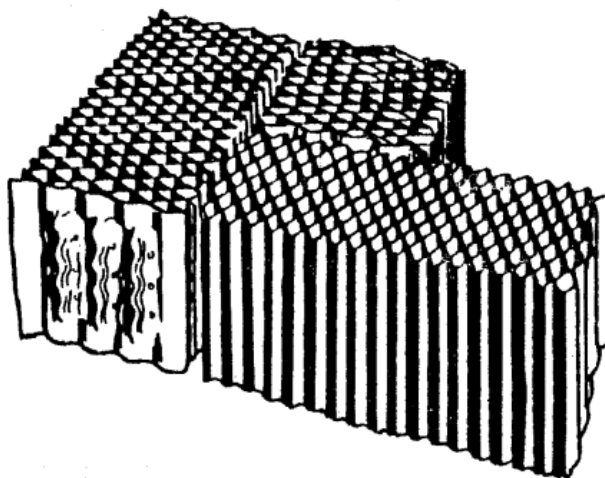
Το μέγεθος του μέσου είναι σημαντικό για την απόδοση και για τη λειτουργία των βιολογικών φίλτρων. Το μεγάλο μέγεθος προϋποθέτει μικρή ειδική επιφάνεια και έχει ως συνέπεια μικρή απόδοση, αλλά και το μικρό μέγεθος μπορεί να προκαλέσει φράξιμο στο βιολογικό φίλτρο. Στη συνέχεια (Πίνακας 2-2) παρουσιάζονται τυπικές τιμές για το μέγεθος, την ειδική επιφάνεια και τον όγκο διακένων διαφόρων διηθητικών μέσων.

Πίνακας 2-2

Διηθητικό μέσο	Μέγεθος (mm)	Ειδική επιφάνεια (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Όγκος διακένων (%)
Χαλίκια	25 - 65	55 - 70	40 - 50
Γρανίτης	25 - 75	100	46
Σκουριά υψικαμίνου	50 - 75	55 - 65	40 - 50
Πλαστικό σε τυποποιημένους κύβους	600x600x1200	80 - 100	94 - 97
Πλαστικοί δακτύλιοι	20 - 65	75 - 250	-



Εικόνα 2-2 Ορυκτό διηθητικό μέσο (χαλίκια)



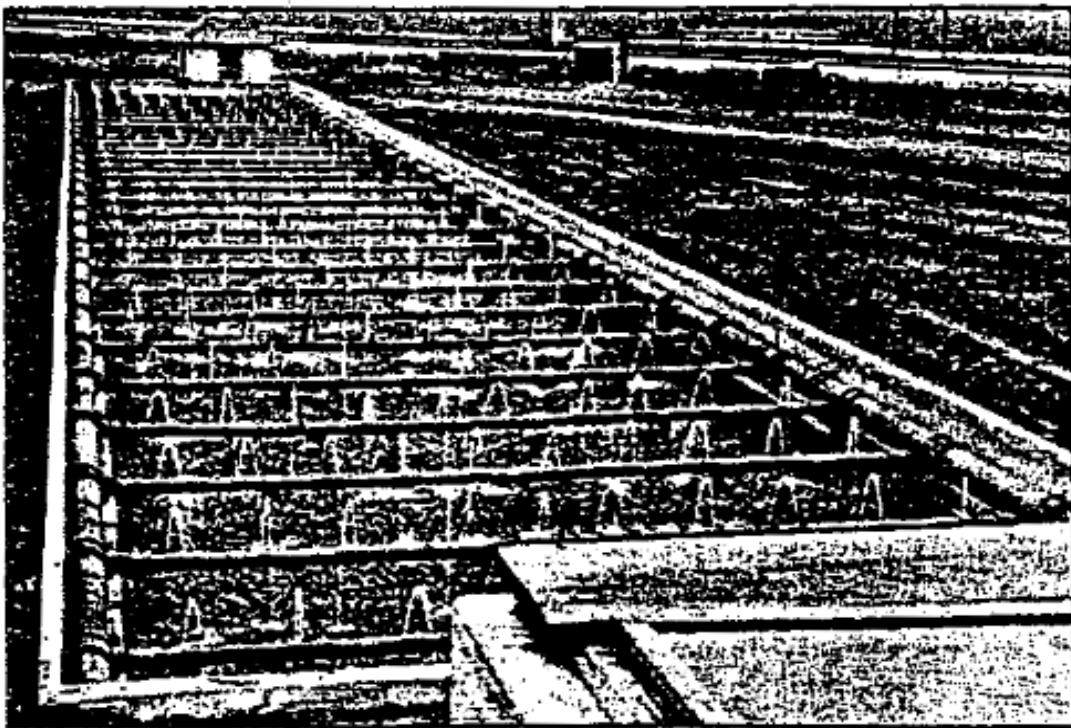
Εικόνα 2-3 Πλαστικό διηθητικό μέσο (φύλλα με αυλάκια σε τυποποιημένους κύβους)

#### 2.4.4 Διανομή των Αποβλήτων

Τα απόβλητα πρέπει να διανέμονται με ομοιόμορφο τρόπο σε όλη την επιφάνεια των βιολογικών φίλτρων, ώστε να γίνεται εκμετάλλευση όλης της επιφάνειας του διηθητικού μέσου και να αναπτύσσεται ομοιόμορφα το μικροβιακό στρώμα. Η διανομή των αποβλήτων γίνεται με ένα σύστημα αγωγών (διανομείς) και μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων οπών (ακροφυσίων). Οι διανομείς διακρίνονται στους εξής τύπους:

##### 1. *Ακίνητοι Διανομείς*

Τέτοιοι διανομείς χρησιμοποιούνται συνήθως σε ορθογωνικά βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο. Το σύστημα διανομής είναι οικονομικό, τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά, αφού τα ακροφύσια είναι κατασκευασμένα από πλαστικό και οι αγωγοί από P.V.C. (Εικόνα 2-4). Οι αγωγοί καλύπτουν όλη την επιφάνεια του μέσου και είναι τοποθετημένοι κατά τέτοιον τρόπο, ώστε τα ακροφύσια να σχηματίζουν (ανά 3) ισόπλευρα τρίγωνα. Τα απόβλητα εκτοξεύονται από τα ακροφύσια σε διάφορες αποστάσεις, ανάλογα με το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος.



*Εικόνα 2-4 Βιολογικό φίλτρο με ορυκτό μέσο και ακίνητο σύστημα διανομής (περίπου 1920)*

## 2. Περιστρεφόμενοι διανομείς

Είναι το πιο συνηθισμένο είδος διανομέων και χρησιμοποιείται συνήθως στα κυκλικά βιολογικά φίλτρα. Οι διανομείς είναι 2 ή 4 ακτινωτοί βραχίονες, πάνω στους οποίους είναι τοποθετημένα τα ακροφύσια. Οι διανομείς στηρίζονται σε κατακόρυφη κεντρική κολώνα υποστήριξης και περιστρέφονται με σταθερό σημείο το κέντρο της κυκλικής δεξαμενής (Εικόνα 2-5). Η περιστροφή μπορεί να πραγματοποιείται με την αντιδρώσα δύναμη της εκτόξευσης των αποβλήτων ή/και με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα για μεγάλους και βαρείς διανομείς (Εικόνα 2-6). Για υψηλές ταχύτητες περιστροφής του διανομέα η ποσότητα των υγρών αποβλήτων, που αποβάλλεται στη διάρκεια μίας περιστροφής και σε ένα συγκεκριμένο σημείο από ένα ακροφύσιο του διανομέα, δηλαδή η δόση της περιστροφικής διανομής, είναι χαμηλή. Στο παρελθόν, οι τυπικές ταχύτητες των διανομέων ήταν 0,5 – 2,0 min/περιστροφή. Για διανομείς με δύο (2) ή τέσσερις (4) βραχίονες η ταχύτητα ήταν αντίστοιχα 10 ή 60 sec/περιστροφή (Tchobanoglous G. et.al, 2002). Αποτελέσματα διαφόρων ερευνών κατέληξαν στο ότι η μείωση της ταχύτητας περιστροφής επιφέρει αύξηση στην απόδοση των βιολογικών φίλτρων. Ο Hawkes (1963) απέδειξε ότι ένα βιολογικό φίλτρο με ορυκτό μέσο και ταχύτητα 30 - 50 min/περιστροφή υπερτερεί ενός αντίστοιχου φίλτρου με ταχύτητα 1 - 5 min/περιστροφή. Εκτός από την αυξημένη απομάκρυνση BOD<sub>5</sub>, οι μικρές ταχύτητες επιφέρουν, ελάττωση στον πληθυσμό των εντόμων και μείωση των οσμών. Ακόμη, η ταχύτητα περιστροφής των διανομέων είναι ρυθμιστικός παράγοντας του πάχους του μικροβιακού στρώματος. Η ταχύτητα περιστροφής ενός διανομέα μπορεί να προσδιοριστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$n = \frac{0,00044 * q_t}{a * DR} \quad (2-2)$$

όπου,

n = ταχύτητα περιστροφής του διανομέα (περιστρ./min)

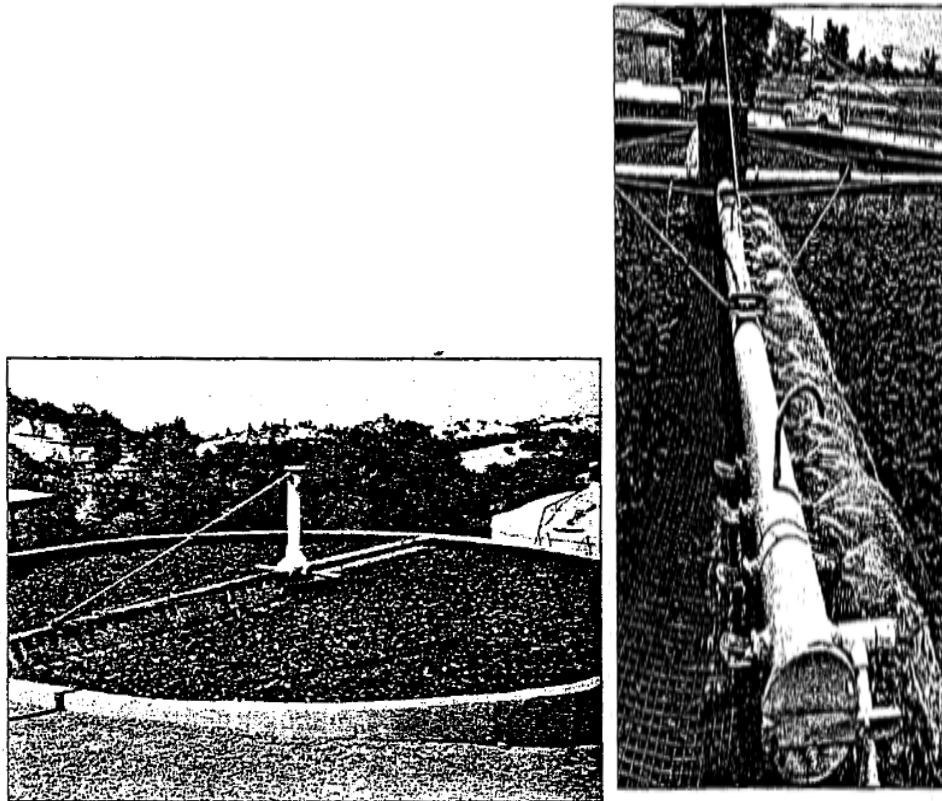
q<sub>t</sub> = συνολική υδραυλική φόρτιση (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,d)

[q<sub>t</sub> = q + q<sub>r</sub>, όπου q: υδραυλική φόρτιση των αποβλήτων της εισροής, q<sub>r</sub>: υδραυλική φόρτιση των αποβλήτων της επανακυκλοφορίας]

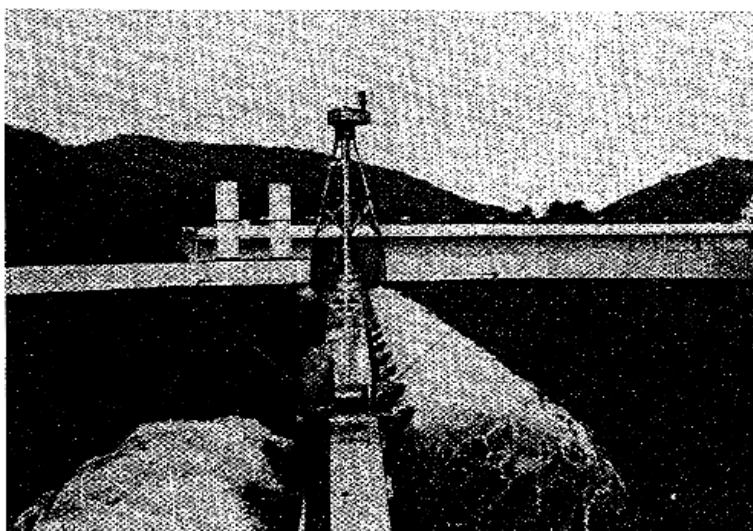
a = αριθμός των βραχιόνων στο περιστροφικό σύστημα διανομής

DR = δόση της περιστροφικής διανομής (cm)

Η δόση (DR) της περιστροφικής διανομής (cm) μπορεί να υπολογιστεί με εμπειρικό τρόπο πολλαπλασιάζοντας το οργανικό φορτίο ( $\text{kg BOD/m}^3, \text{d}$ ) με τον συντελεστή 0,30. Μεταξύ των διανομέων και του διηθητικού μέσου πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον 15cm.



*Εικόνα 2-5 Βιολογικά φίλτρα με περιστρεφόμενο σύστημα διανομής αποτελούμενο από 2 & 4 βραχίονες*



*Εικόνα 2-6 Ηλεκτρικά κινούμενος διανομέας με ταχύτητα 4-70 min/περιστρ. σε εγκατάσταση της Βόρειας Καρολίνας των Η.Π.Α.*

### 3. Μετακινούμενοι μη περιστρεφόμενοι διανομείς

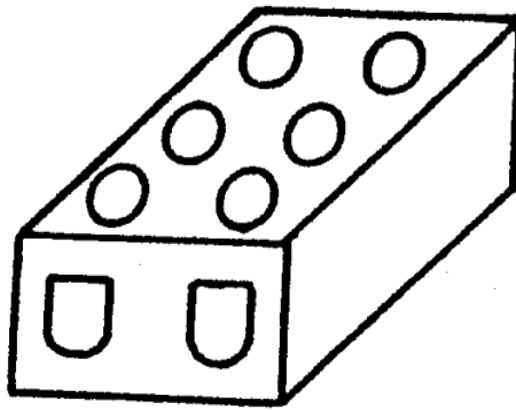
Το είδος αυτό χρησιμοποιείται σε ορθογωνικά βιολογικά φίλτρα. Οι διανομείς κινούνται κατά μήκος του βιολογικού φίλτρου με τη αντίδραση των εκτοξευόμενων αποβλήτων ή με κινητήρα.

Για την επιλογή του κατάλληλου είδους διανομέα για μια συγκεκριμένη περίπτωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το διαθέσιμο υδραυλικό ύψος, οι διακυμάνσεις της παροχής, η γεωμετρία του βιολογικού φίλτρου, ο επιθυμητός τρόπος διανομής των αποβλήτων στο διηθητικό μέσο, καθώς επίσης και το υλικό κατασκευής του διανομέα, η συμπεριφορά του κάτω από διακυμάνσεις της παροχής και η ευκολία συντήρησής του (Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., 1984).

Για να μην επηρεάζονται οι βιολογικές διεργασίες σε ένα βιολογικό φίλτρο, πρέπει το μικροβιακό στρώμα να διατηρείται συνεχώς υγρό. Αυτό επιτυγχάνεται και με τους δύο τρόπους διανομής των αποβλήτων, δηλαδή με τη συνεχή (σταθερή ή μεταβαλλόμενη) και με τη διακοπτόμενη διανομή. Και οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρύτατα.

#### 2.4.5 Σύστημα Αποστράγγισης

Στο πάτωμα των βιολογικών φίλτρων βρίσκεται το σύστημα αποστράγγισης των εκροών. Στα βιολογικά φίλτρα με ορυκτό μέσο, το πάτωμα είναι συνήθως μια πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάχους 0,10 – 0,15m και με κλίση 0,5 – 5,0% προς τα κύρια κανάλια αποστράγγισης, ανάλογα με το μέγεθος του φίλτρου. Πάνω στην πλάκα του πατώματος, τοποθετούνται προκατασκευασμένοι διάτρητοι κυβόλιθοι από σκυρόδεμα (Εικόνα 2-7). Τα απόβλητα από το διηθητικό μέσο, εισέρχονται στις οπές των κυβόλιθων και περνούν στη συνέχεια στα κύρια κανάλια αποστράγγισης. Τα κανάλια αποστράγγισης είναι ορθογωνικής ή ημικυκλικής διατομής και σχεδιάζονται για ταχύτητες ροής 0,6 – 0,9m/s και για πλήρωση 50%, η οποία επιτρέπει τον αερισμό των βιολογικών φίλτρων. Επίσης, μπορούν να προεκτείνονται και έξω από το τοίχωμα των βιολογικών φίλτρων, ώστε να είναι προσπελάσιμα. Όλα τα κανάλια αποστράγγισης καταλήγουν στον κεντρικό αγωγό συλλογής των εκροών. Στα βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο, το πολύπλοκο αυτό σύστημα μπορεί να αντικατασταθεί από οικονομικότερες και απλούστερες κατασκευές αποστράγγισης των αποβλήτων.



Εικόνα 2-7 Κυβόλιθος αποστράγγισης από σκυρόδεμα

#### 2.4.6 Αερισμός

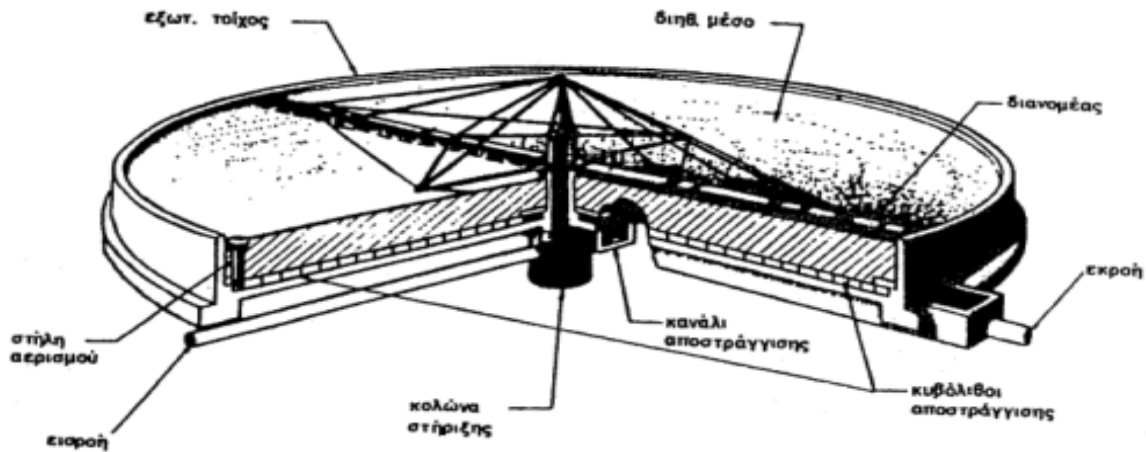
Ο αερισμός των βιολογικών φίλτρων πραγματοποιείται για να παρέχεται οξυγόνο στους αερόβιους μικροοργανισμούς και για να καθαρίζονται τα βιολογικά φίλτρα από τα αέρια, τα οποία παράγονται σαν αποτέλεσμα των βιολογικών διαδικασιών.

Η παροχή αέρα στα βιολογικά φίλτρα γίνεται από την ατμόσφαιρα, λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών που υπάρχουν μεταξύ του αέρα της ατμόσφαιρας και του αέρα που κυκλοφορεί στα διάκενα των βιολογικών φίλτρων. Οι θερμοκρασιακές αυτές διαφορές δημιουργούν διαφορές πίεσης και κατά συνέπεια ρεύματα. Επομένως, το καλοκαίρι, που τα υγρά απόβλητα έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του αέρα στα διάκενα, ο αέρας στα διάκενα ψύχεται και αλληλεπιδρώντας με το θερμό αέρα της ατμόσφαιρας, δημιουργείται ρεύμα προς τα κάτω. Η αντίθετη διαδικασία συμβαίνει το χειμώνα. Στη συνέχεια, το οξυγόνο του αέρα διαλύεται στα απόβλητα, που ρέουν στο μικροβιακό στρώμα, και διαχέεται σε αυτό.

Ο σωστός αερισμός των βιολογικών φίλτρων είναι σημαντικός για τη σωστή λειτουργία τους, καθώς αποφεύγεται η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Έτσι εκτός από τα συστήματα αποστράγγισης που βοηθούν στον αερισμό (πλήρωση μέχρι 50%), χρησιμοποιούνται περιφερειακές στήλες αερισμού και οπές-φρεάτια στο διηθητικό μέσο με συνολική επιφάνεια τουλάχιστον  $0,025 \text{ m}^2/\text{m}^2$  επιφάνειας του βιολογικού φίλτρου για φίλτρα με ορυκτό μέσο, ενώ για φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο 5 – 10% της συνολικής επιφάνειας του φίλτρου.



Στην *Εικόνα 2-8* παρουσιάζεται ένα τυπικό κυλινδρικό βιολογικό φίλτρο με ορυκτό διηθητικό μέσο (χαλίκια), όπου είναι εμφανές το σύστημα διανομής, το διηθητικό μέσο, το σύστημα αποστράγγισης και το σύστημα αερισμού.



*Εικόνα 2-8* Τυπικό βιολογικό φίλτρο με χαλίκια

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## 2.5 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

### 2.5.1 Απομάκρυνση Οργανικών και Νιτροποίηση

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, κύριος στόχος των βιολογικών φίλτρων είναι η απομάκρυνση των οργανικών συστατικών που δέχονται από τις εισροές των υγρών αποβλήτων. Στα βιολογικά φίλτρα όταν θα γίνεται αναφορά σε οργανική φόρτιση, αυτή θα εκφράζεται σε ( $\text{kgBOD}_5/\text{m}^3\text{,d}$ ). Το οργανικό φορτίο ( $\text{BOD}_5$ ) είναι το άθροισμα του διαλυτού  $\text{BOD}_5$  ( $\text{SBOD}_5$ ) και των στερεών των σχετιζόμενων με το  $\text{BOD}_5$  ( $\text{TSS BOD}_5$ ). Δηλαδή:

$$\text{BOD}_5 = \text{SBOD}_5 + \text{TSS BOD}_5 = \text{SBOD}_5 + f (\text{TSS}) \quad (2-3)$$

όπου,

$$f = \text{TSS BOD}_5 / \text{TSS}$$

Οι τιμές του όρου  $f$  ποικίλουν από 0,2 έως 0.9  $\text{mg/mg}$  ανάλογα με το επίπεδο της επεξεργασίας, τις φορτίσεις και τη θερμοκρασία.

Στα βιολογικά φίλτρα εκτός από την απομάκρυνση των διαλυμένων και κολλοειδών οργανικών συστατικών, επιτυγχάνεται και νιτροποίηση των υγρών αποβλήτων. Υπάρχουν δύο (2) είδη προσεγγίσεων στον σχεδιασμό διαδικασιών που προωθούν την νιτροποίηση στα βιολογικά φίλτρα. Είτε ένα ταυτόχρονο σύστημα απομάκρυνσης οργανικού φορτίου και νιτροποίησης είτε τριτοβάθμια επεξεργασία έπειτα από δευτεροβάθμια αφαίρεση του BOD.

Ο βαθμός νιτροποίησης εξαρτάται από το βάθος του βιολογικού φίλτρου, τη θερμοκρασία και την υδραυλική και οργανική φόρτιση. Είναι ανάλογος με το βάθος και τη θερμοκρασία και αντιστρόφως ανάλογος με τις φορτίσεις. Επομένως, σε βιολογικά φίλτρα χαμηλής φόρτισης επιτυγχάνεται καλός βαθμός νιτροποίησης, ενώ για μεγαλύτερες φορτίσεις απαιτούνται περισσότερες βαθμίδες ή συνδυασμός με συστήματα ενεργούς ιλύος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι βιολογικά φίλτρα με διηθητικό μέσο χαλίκια και οργανική φόρτιση  $0,05 - 0,16 \text{ kg/m}^3\text{,d}$  επιτυγχάνουν νιτροποίηση 75 – 95%.

### 2.5.2 Επίδραση Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία των αποβλήτων έχει σημαντικό ρόλο στις βιολογικές διαδικασίες. Η αύξησή της επιφέρει αύξηση της απόδοσης και έτσι το καλοκαίρι παρατηρούνται

υψηλότερες αποδόσεις στα βιολογικά φίλτρα. Η επίδραση της θερμοκρασίας των αποβλήτων στην απόδοση των βιολογικών φίλτρων παρουσιάζεται καλύτερα στην ακόλουθη σχέση:

$$E_T = E_{20} * 1,035^{(T-20)} \quad (2-4)$$

όπου,

$E_T$  = απόδοση του βιολογικού φίλτρου σε  $T$  °C

$E_{20}$  = απόδοση του βιολογικού φίλτρου σε 20 °C

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων (°C)

### **2.5.3. Προβλήματα Λειτουργίας**

Τα βιολογικά φίλτρα παρουσιάζουν αρκετές φορές προβλήματα στη λειτουργία τους, όπως η δημιουργία οσμών και η παρουσία εντόμων ή ακόμη και σαλιγκαριών. Οι οσμές μπορούν να δημιουργηθούν από την μη υπερφόρτιση των φίλτρων και αντιμετωπίζονται εκ των προτέρων με τον κατάλληλο σχεδιασμό διατάξεων αερισμού και εκ των υστέρων με πλημμύρισμα του βιολογικού φίλτρου. Τα σαλιγκάρια επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των βιολογικών φίλτρων, αφού μπορούν να προκαλέσουν φράξιμο των καναλιών αποστράγγισης και φθορά στον εξοπλισμό. Στα μέτρα αντιμετώπισής τους περιλαμβάνονται η μείωση της ταχύτητας περιστροφής των διανομέων, η αύξηση του pH σε τιμές γύρω στο εννιά (9), η χλωρίωση των αποβλήτων, η προσθήκη ένυδρου θεικού χαλκού σε ποσότητα 0,4 g/L (*W.E.F., 2000*) και η προσθήκη βιοκτόνων ουσιών. Το περιοδικό πλημμύρισμα του βιολογικού φίλτρου δεν επηρεάζει τα σαλιγκάρια, αλλά μειώνει σημαντικά την παρουσία εντόμων.

### **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Crites Ron, Crites W. Ronald, Tchobanoglous George, «Small and Decentralized Wastewater Management Systems», McGraw-Hill, N. York, 1998
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

### **3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:** **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (μέτρηση ροής, εσχάρωση, εξάμμωση, πρωτοβάθμια καθίζηση, βιολογικά φίλτρα) και αναπτύσσονται τα μοντέλα τους, δηλαδή οι τύποι και οι σχέσεις που διέπουν τη λειτουργία τους. Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια (4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Σχεδιασμός και Έλεγχος Λειτουργίας) για να δημιουργηθούν οι αλγόριθμοι και τα προγράμματα σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας των διαφόρων διατάξεων.

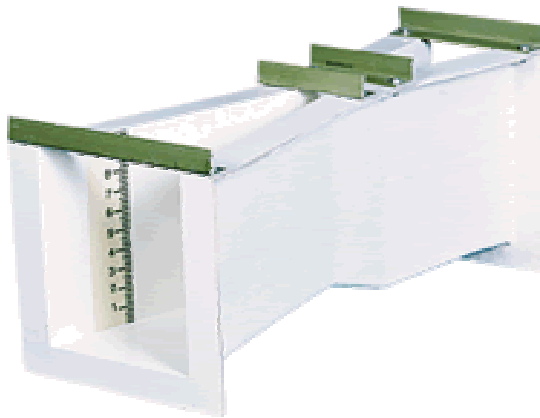
### 3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΟΗΣ

Σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι απολύτως απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος μέτρησης της ροής των εισερχόμενων αποβλήτων. Δεν νοείται επεξεργασία αποβλήτων χωρίς να γνωρίζουμε την ποσότητα και τη ροή αυτών. Επίσης η μέτρηση της ροής είναι απαραίτητη, ώστε αν αυτή είναι ανομοιόμορφη να εξομαλυνθεί αργότερα σε δεξαμενές εξισορρόπησης, με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας των διατάξεων καθαρισμού των αποβλήτων.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι μέτρησης της ροής. Οι πιο χρησιμοποιούμενες στην Ελλάδα είναι οι αγωγοί Parshall, τα φράγματα και οι ηλεκτρονικές μέθοδοι.

#### 3.1.1 Αγωγοί Parshall

Ο αγωγός Parshall είναι μία εξέλιξη του αγωγού Ventouri και ανακαλύφθηκε από τον Mr. Ralph L. Parshall. Είναι μία διάταξη με στένωση, η οποία τοποθετείται μέσα στο κανάλι ροής των αποβλήτων.



Εικόνα 3-1 Αγωγός Parshall

Η ροή σχετίζεται άμεσα με το ύψος των αποβλήτων μέσα στον αγωγό και ιδιαίτερα πριν τη στένωση. Υπάρχει η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της ροής:

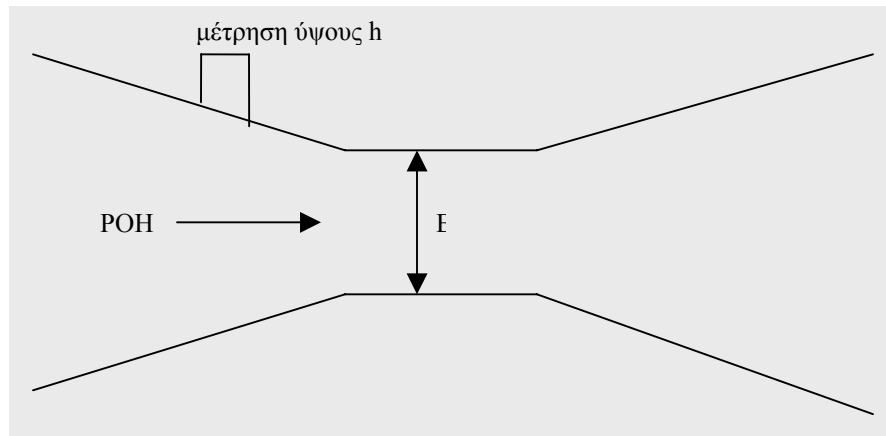
$$Q = 4Bh^{1,522B^{0,026}} \quad (3-1)$$

όπου,

$Q$  = ροή αποβλήτων (cfs)

$B$  = πλάτος στένωσης (ft)

$h$  = ύψος αποβλήτων στα ανάντη της στένωσης (ft)

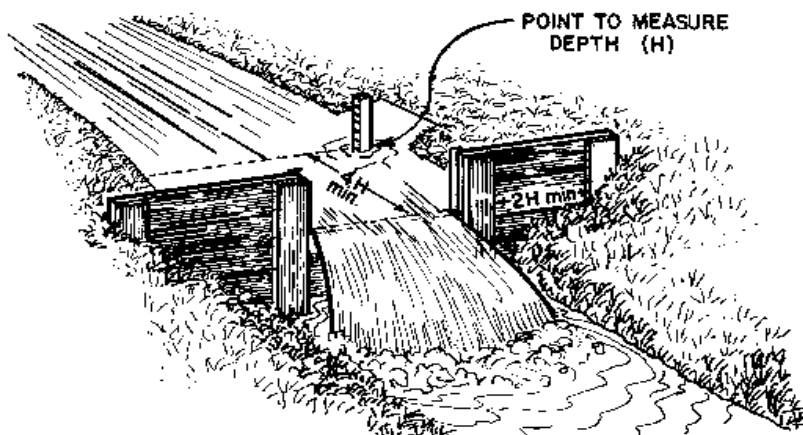


Σχήμα 3-1 Κάτοψη αγωγού Parshall

Οι αγωγοί Parshall έχουν αρκετά πλεονεκτήματα: η απώλεια ύψους είναι ελάχιστη, είναι αυτοκαθαριζόμενοι και δεν αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα βλαβών.

### 3.1.2 Φράγματα

Η χρήση φραγμάτων αποτελεί έναν άλλο τρόπο μέτρησης της ροής των αποβλήτων. Τα φράγματα τοποθετούνται σε ένα κανάλι, ώστε να μη διαταράσσεται η ροή από την τύρβη και με τέτοιο τρόπο, ώστε το βάθος ροής λίγο πριν την εγκοπή του φράγματος να μπορεί να παρατηρηθεί και να καταγραφεί. Το βάθος αυτό σχετίζεται μέσω τύπων με τη ροή των αποβλήτων. Υπάρχουν αρκετά είδη φραγμάτων ανάλογα με το σχήμα της εγκοπής τους, δηλαδή φράγματα με ορθογώνια εγκοπή, φράγματα με τραπεζοειδή εγκοπή και φράγματα τύπου V (30°, 45°, 60°, 90°). Οι τύποι αυτοί των φραγμάτων με τις αντίστοιχες σχέσεις υπολογισμού της ροής παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Εικόνα 3-2 Φράγμα με ορθογώνια εγκοπή

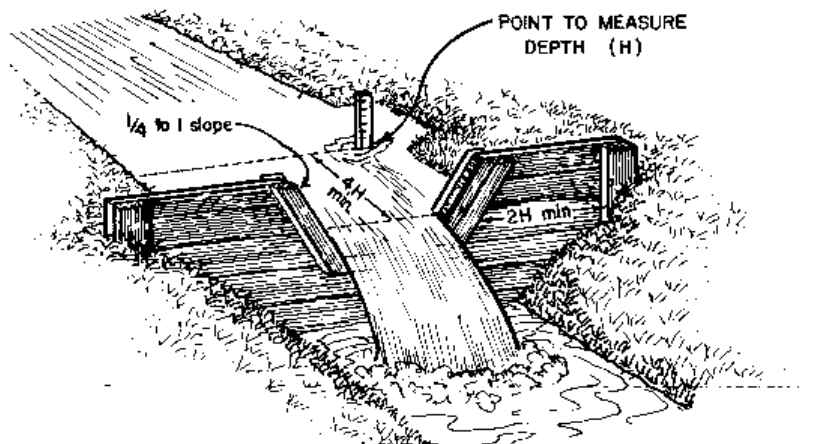
$$Q = 3,367 * L * H^{1.5} \quad (3-2)$$

όπου,

Q = ροή αποβλήτων (cfs)

L = πλάτος εγκοπής (ft)

H = βάθος ροής στα ανάντη της εγκοπής (ft)



Εικόνα 3-3 Φράγμα με τραπεζοειδή εγκοπή

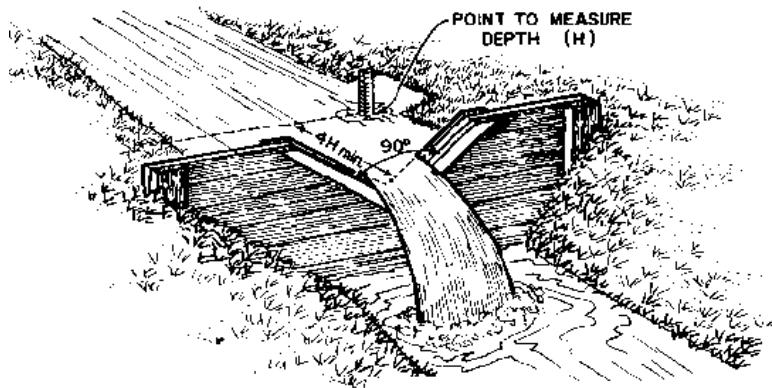
$$Q = 3,367 * L * H^{1.5} \quad (3-3)$$

όπου,

Q = ροή αποβλήτων (cfs)

L = πλάτος της βάσης της εγκοπής (ft)

H = βάθος ροής στα ανάντη της εγκοπής (ft)



Εικόνα 3-4 Φράγμα τύπου V 90°

$$\text{για } 30^\circ: Q = 0,685 H^{2,45} \quad (3-4)$$

$$\text{για } 45^\circ: Q = 1,035 H^{2,50} \quad (3-5)$$

$$\text{για } 60^\circ: Q = 1,443 H^{2,50} \quad (3-6)$$

$$\text{για } 90^\circ: Q = 2,500 H^{2,50} \quad (3-7)$$

όπου,

$Q$  = ροή αποβλήτων (cfs)

$H$  = βάθος ροής στα ανάντη της εγκοπής (ft)

### 3.1.3 Ηλεκτρονικές Μέθοδοι

Η ροή των αποβλήτων μπορεί να μετρηθεί επίσης και με ηλεκτρονικά μέσα, δηλαδή με αισθητήρες που τοποθετούνται σε διάφορα σημεία των καναλιών ροής. Η ηλεκτρονική μέτρηση προσδίδει σαφώς πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από αυτά των προηγούμενων μεθόδων. Στη συνέχεια απεικονίζονται διάφοροι αισθητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μετρήσεις ροής.



Εικόνα 3-5 Αισθητήρες ροής



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### *Άρθρα*

- «Flow Measurement, Sampling and Process Control», Chapter 18, TM 5-814-3/AFM 88-11, Volume III
- Minnesota Pollution Control Agency, Water/Wastewater Technical Review and Guidance/#5.20, «Design Flow and Loading Determination Guidelines for Wastewater Treatment Plants», U.S.A., 2002

### *Ιστοσελίδες*

- Accura-flo  
([www.accuraflo.com](http://www.accuraflo.com))
- Flowmeter Directory – The Comprehensive Flowmeter Resource  
([www.flowmeterdirectory.com](http://www.flowmeterdirectory.com))
- Eesiflo – Measuring Flow Worldwide  
([www.eesiflo.com](http://www.eesiflo.com))
- Colorado Water Resources Research Institute  
([www.cwrri.colostate.edu](http://www.cwrri.colostate.edu))
- LMNO Engineering, Research and software, Ltd  
([www.lmnoeng.com](http://www.lmnoeng.com))
- Free Flow Inc – Manufactures of Primary Elements for Open Channel Flow Measurement  
([www.freeflowinc.com](http://www.freeflowinc.com))

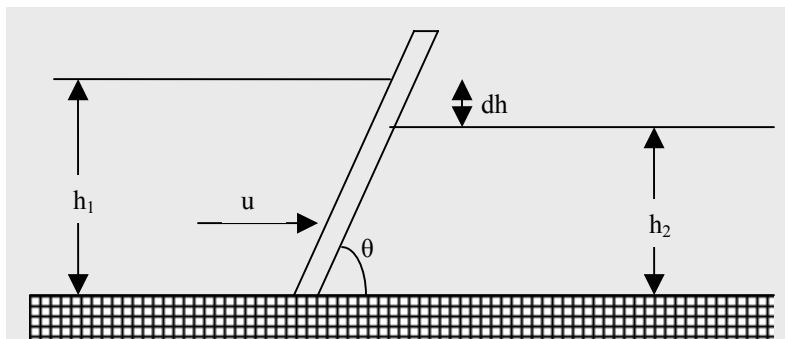
## 3.2 ΕΣΧΑΡΩΣΗ

Η πρώτη επεξεργασία στην οποία υπόκεινται τα υγρά απόβλητα είναι αυτή της εσχάρωσης. Σκοπός της εσχάρωσης είναι η απομάκρυνση των μεγάλων ογκωδών αντικειμένων (κλαδιά, πλαστικά κ.α.), τα οποία μπορούν να φράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης. Οι διατάξεις εσχάρωσης περιλαμβάνουν χονδρά κόσκινα και λεπτά κόσκινα.

### 3.2.1 Χονδρά Κόσκινα

Τα χονδρά κόσκινα κατηγοριοποιούνται σε σχάρες ή σε πλέγματα, ανάλογα με την απόσταση ανάμεσα στις υπάρχουσες μπάρες. Και τα δύο είδη των χονδρών κόσκινων αποτελούνται από μία κατακόρυφη διάταξη με παράλληλες μπάρες, οι οποίες ισαπέχουν μεταξύ τους και συγκρατούν τα ογκώδη αντικείμενα που περιέχονται στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα. Στις σχάρες η απόσταση ανάμεσα στις μπάρες είναι 5,0-10,1 cm και στα πλέγματα είναι 0,65-5,0 cm. Αν ο καθαρισμός των διατάξεων από τα κατακρατούμενα αντικείμενα πραγματοποιείται χειροκίνητα, τότε η απόσταση πρέπει να είναι 2,5-4,4 cm και η διάταξη πρέπει να έχει μία κλίση 30-45° με το οριζόντιο επίπεδο. Αντίθετα, αν ο καθαρισμός είναι μηχανοκίνητος, τότε η κλίση αυτή είναι της τάξεως των 60°. (*Ten States Standards, GLUMRB 1996, Illinois EPA 1998*)

Στη συνέχεια (Σχήμα 3-2) παρουσιάζεται η τομή μία διάταξης εσχάρωσης, όπου  $h_1$  και  $h_2$  είναι τα υδραυλικά ύψη πριν και μετά τη διάταξη αντίστοιχα,  $\theta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται με το οριζόντιο επίπεδο,  $u$  η ταχύτητα της ροής όταν αυτή πλησιάζει τη διάταξη και  $dh$  οι υδραυλικές απώλειες.



Σχήμα 3-2 Τομή διάταξης εσχάρωσης

Αν εφαρμόσουμε την εξίσωση Bernoulli, καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση που συνδέει την ταχύτητα της ροής, όταν αυτή πλησιάζει το κόσκινο, με την ταχύτητα της ροής, όταν τα απόβλητα περνούν μέσα από τη διάταξη εσχάρωσης:

$$dh = \frac{1}{0,7} \left( \frac{V^2 - u^2}{2g} \right) \quad (3-8)$$

όπου,

$dh$  = απώλεια ύψους (m)

$V$  = ταχύτητα ροής διαμέσου του κόσκινου (m/s)

$u$  = ταχύτητα της ροής όταν αυτή προσεγγίζει τη διάταξη (m/s)

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Ο Kirschmer το 1926 διατύπωσε την ακόλουθη σχέση για να περιγράψει τις απώλειες στα υδραυλικά ύψη, που δημιουργούνται με τη χρησιμοποίηση χονδρών κόσκινων για εσχάρωση των αποβλήτων:

$$dh = B \left( \frac{w}{b} \right)^{4/3} \frac{u^2}{2g} \sin \theta \quad (3-9)$$

όπου,

$dh$  = απώλεια ύψους (m)

$w$  = μέγιστο πλάτος της διάταξης που έρχεται σε επαφή με τη ροή των αποβλήτων (m)

$b$  = άθροισμα αποστάσεων ανάμεσα στις μπάρες (m)

$u$  = ταχύτητα της ροής όταν αυτή προσεγγίζει τη διάταξη (m/s)

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$\theta$  = γωνία της διάταξης με το οριζόντιο επίπεδο

$B$  = παράγοντας του σχήματος των μπάρων (αδιάστατος αριθμός)

Πίνακας 3-1

<b>ΣΧΗΜΑ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΡΩΝ</b>	<b>B</b>
Ορθογώνιο με τραχείς άκρες	2,42
Ορθογώνιο με ημικύκλια πρόσοψη	1,83
Κυκλικό	1,79
Ορθογώνιο με μπρος και πίσω ημικύκλια όψη	1,67
Σχήμα δακρίου	0,76

### 3.2.2 Λεπτά Κόσκινα

Τα λεπτά κόσκινα χρησιμοποιούνται και αυτά για την εσχάρωση των υγρών αποβλήτων στο στάδιο της προεπεξεργασίας τους. Μπορούν να αποτελούνται από σύρματα ακινητοποίησης, από διάτρητα πιάτα ή από μπάρες που έχουν μικρή απόσταση ανάμεσά τους (0,06-0,25 in). Τα λεπτά κόσκινα μπορούν επίσης να είναι περιστρεφόμενα ή σταθερά (*US EPA 1987a*).

Η ακόλουθη σχέση περιγράφει τις απώλειες στα υδραυλικά ύψη, που δημιουργούνται με τη χρησιμοποίηση λεπτών κόσκινων για εσχάρωση των αποβλήτων:

$$dh = \frac{1}{2g} \left( \frac{u}{C} \right)^2 = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{CA} \right)^2 \quad (3-10)$$

όπου,

$dh$  = απώλεια ύψους (m)

$u$  = ταχύτητα της ροής διαμέσου της διάταξης (m/s)

$C$  = συντελεστής ροής (αδιάστατος αριθμός)

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = ροή διαμέσου της διάταξης (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = επιφάνεια των ενεργών κενών του βυθιζόμενου τμήματος της διάταξης (m<sup>2</sup>)

Ο συντελεστής  $C$  εξαρτάται από το μέγεθος των κενών, από τη διάμετρο και τη σύνθεση των συρμάτων και από το ποσοστό της ελεύθερης για τη ροή, επιφάνειας της διάταξης. Μία τυπική τιμή του για καθαρό λεπτό κόσκινο είναι 0,60. Εκτός από τις προαναφερθείσες παραμέτρους, οι απώλειες ύψους επηρεάζονται από τη μέθοδο και τη συχνότητα καθαρισμού των κόσκινων και από το είδος και την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών στα υγρά απόβλητα.

### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

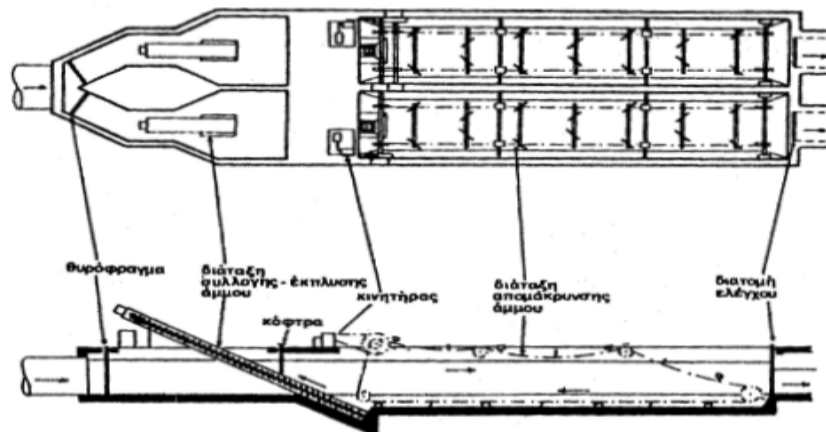
### 3.3 ΕΞΑΜΜΩΣΗ

Η άμμος προέρχεται από τα αστικά απόβλητα, τα βρόχινα νερά, τα βιομηχανικά απόβλητα και τα υπόγεια ύδατα. Αποτελείται από αδρανή ανόργανη ύλη (βράχοι, χαλίκια, στάχτη, θραύσματα μετάλλων κ.α.) και σε μικρότερο ποσοστό από οργανικά σωματίδια (σπόροι, υπολείμματα φαγητού κ.α.). Όλες αυτές οι ουσίες μπορούν να προκαλέσουν φθορά στο μηχανολογικό εξοπλισμό και να δημιουργήσουν ιζήματα με ενδεχόμενη επίπτωση το φράξιμο αντλιών και σωληνώσεων.

Οι εξαμμοτές είναι αναγκαίοι για κάθε εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ώστε να απομακρυνθεί σε ικανοποιητικό βαθμό η ανόργανη κυρίως ύλη, που βρίσκεται στα απόβλητα με τη μορφή άμμου. Τοποθετούνται συνήθως μετά τις διατάξεις άλεσης και πριν την πρωτοβάθμια καθίζηση. Οι εξαμμοτές είναι κυρίως δύο ειδών: εξαμμοτές σταθερής ταχύτητας ροής (χειροκίνητα ή μηχανοκίνητα καθαριζόμενοι) και αεριζόμενοι εξαμμοτές ή διατάξεις εξάμμωσης τύπου «στροβίλου». Οι χειροκίνητα καθαριζόμενοι εξαμμοτές έχουν τουλάχιστον δύο θαλάμους εξάμμωσης για τη διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας τους.

#### 3.3.1 Εξαμμοτές Σταθερής Ταχύτητας Ροής

Είναι επιμήκη και σταθερά κανάλια, στα οποία η ταχύτητα ροής των αποβλήτων παραμένει πάντα σταθερή, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της παροχής, και περίπου ίση με 0,30 m/s. Με αυτόν τον τρόπο, οι συνθήκες καθίζησης της άμμου στους εξαμμοτές αυτούς παραμένουν οι ίδιες και εξασφαλίζεται πάντα το ίδιο ποσοστό απομάκρυνσής της.



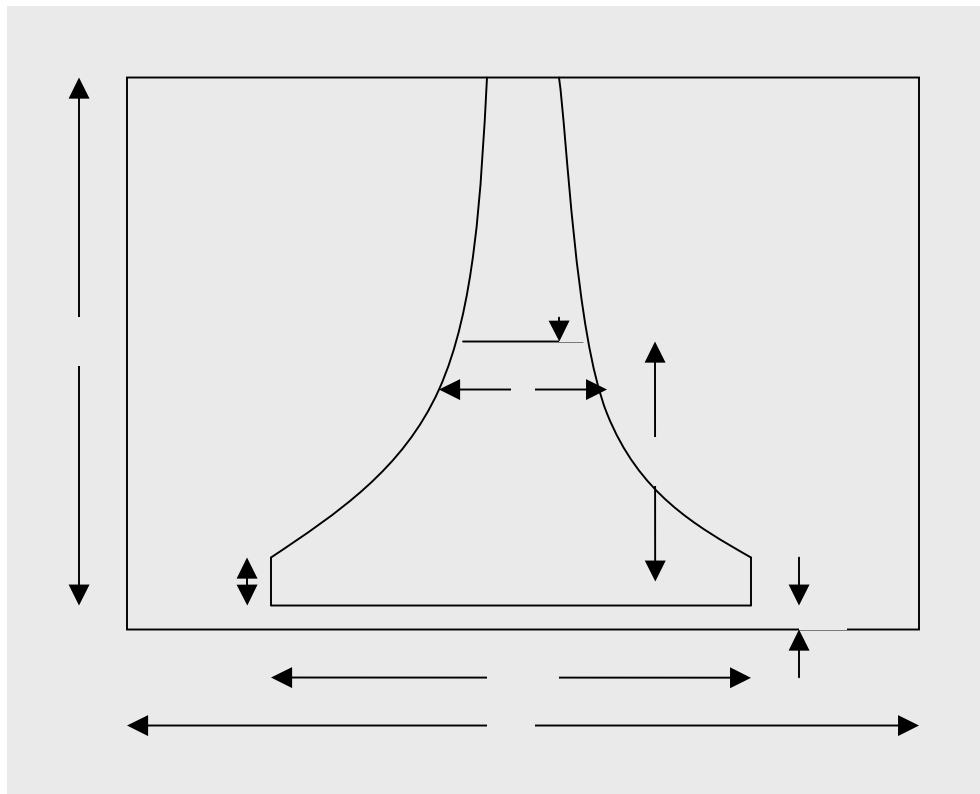
Εικόνα 3-6 Κάτοψη και τομή εξαμμοτή σταθερής ροής με δύο κανάλια

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται μία σταθερή ταχύτητα ροής, διαχωρίζει τους εξαμμοτές σταθερής ροής σε δύο κατηγορίες:

- Εξαμμοτές ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο τους.
- Εξαμμοτές παραβολικής διατομής με στένωση Parshall στο κατάντη άκρο τους.

### 3.3.1.1 Εξαμμοτές Ορθογωνικής Διατομής με Αναλογικό Υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο τους

Οι εξαμμοτές αυτοί μπορούν να αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κανάλια ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο τους. Η τυπική διατομή ενός τέτοιου υπερχειλιστή φαίνεται στη συνέχεια (Σχήμα 3-3).



Σχήμα 3-3 Διατομή αναλογικού υπερχειλιστή

Ο πυθμένας του ορθογωνικού καναλιού πρέπει να βρίσκεται 150 – 300mm (απόσταση  $z$  στο Σχήμα 3-3) κάτω από τη στέψη του υπερχειλιστή, ώστε να μην παρασύρεται η άμμος που έχει καθιζήσει και να υπάρχει χώρος για τη συσσώρευσή της και τον εξοπλισμό απομάκρυνσής της.

Η παροχή του υπερχειλιστή ισούται με τη συνολική μέγιστη παροχή διαιρεμένη με τον αριθμό των καναλιών και υπολογίζεται βάσει του ύψους ροής μέσα στον υπερχειλιστή:

$$Q = Q_{\max} / n \quad (3-11)$$

$$Q = C W h \sqrt{2ga} \quad (3-12)$$

όπου,

$Q$  = παροχή του υπερχειλιστή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\max}$  = μέγιστη παροχή ροής ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$n$  = αριθμός καναλιών

$C$  = σταθερά του υπερχειλιστή ( $C \approx 0,62$ )

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$W, a$  = χαρακτηριστικά μεγέθη του υπερχειλιστή (m) ( $a_{\text{typ}}=0,05\text{m}$ )

$h$  = βάθος ροής (m)

$l$  = ανώτερο πλάτος ροής (m)

Τα μεγέθη  $l, W, h$  συνδέονται μεταξύ τους με την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{l}{w} = 1 - \frac{2}{180} \text{ τοξ εφ} \left( \frac{h - \frac{2a}{3}}{a} \right)^{0.5} \quad (3-13)$$

Η ταχύτητα ροής στο ορθογωνικό κανάλι του εξαμμοτή είναι σταθερή και ίση με  $0,30 \text{ m/s}$ , αν είναι επιθυμητή η πλήρης απομάκρυνση της άμμου. Η ταχύτητα προσδιορίζεται ακόμη από τη σχέση:

$$V = \frac{Q}{A} = C \frac{W}{b} \sqrt{2ga} \quad (3-14)$$

όπου,

$V$  = ταχύτητα ροής (m/s)

$A = b \cdot h$  = εμβαδόν διατομής καναλιού ( $\text{m}^2$ )

$b$  = πλάτος του ορθογωνικού καναλιού (m)

Το βάθος του εξαμμοτή ( $H$ ) εξαρτάται από το βάθος ροής στη διατομή ελέγχου ( $h$ ) και για λόγους ασφαλείας λαμβάνει διπλάσιες τιμές από αυτό:

$$H = 2 h + z \quad (3-15)$$

Το μήκος του εξαμμοτή (L) προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L = a \frac{V}{V_s} h \quad (3-16)$$

όπου,

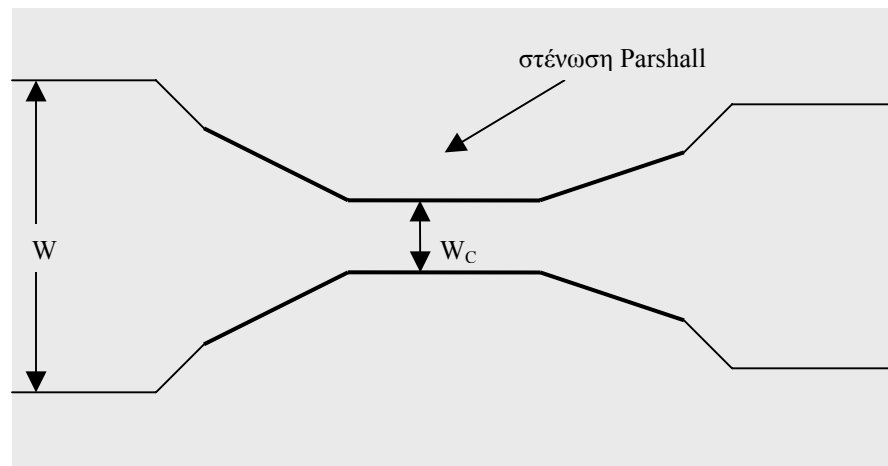
a = συντελεστής ασφάλειας για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισόδου – εξόδου (τύρβεις κ.λ.π.) (a = 1,0 - 1,5)

$V_s$  = ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων που απομακρύνονται κατά 100% (m/s)

Ο χρόνος παραμονής στον εξαμμοτή (t) υπολογίζεται από την ταχύτητα ροής (V) και το μήκος του εξαμμοτή (L) και είναι συνήθως της τάξης των 45 – 90 sec.

### 3.3.1.2 Εξαμμοτές Παραβολικής Διατομής με Στένωση Parshall στο κατάντη άκρο τους

Οι εξαμμοτές αυτοί μπορούν να αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κανάλια παραβολικής διατομής με στένωση Parshall στο κατάντη άκρο τους. Η τυπική διατομή μιας τέτοιας στένωσης φαίνεται στη συνέχεια (Σχήμα 3-4).



Σχήμα 3-4 Διατομή στένωσης Parshall

Η παροχή στη στένωση ισούται με τη συνολική μέγιστη παροχή διαιρεμένη με τον αριθμό των καναλιών και υπολογίζεται επίσης από τη Σχέση 3-18:

$$Q = Q_{\max} / n \quad (3-17)$$

$$Q = K W_c h^{3/2} \quad (3-18)$$



όπου,

$Q$  = παροχή στη στένωση ( $m^3/s$ )

$Q_{\max}$  = μέγιστη παροχή ροής ( $m^3/s$ )

$n$  = αριθμός καναλιών

$K$  = σταθερά της στένωσης

$W_c$  = πλάτος της στένωσης (m)

$h$  = βάθος ροής στο κανάλι του εξαμωτή (m)

Η ταχύτητα ροής στο παραβολικό κανάλι του εξαμωτή είναι σταθερή και ίση με 0,30 m/s, αν είναι επιθυμητή η πλήρης απομάκρυνση της άμμου. Η ταχύτητα προσδιορίζεται ακόμη από τη σχέση:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{KWch^{3/2}}{K'h^{3/2}} = \frac{K}{K'} W_c \quad (3-19)$$

όπου,

$V$  = ταχύτητα ροής (m/s)

$A = K'h^{3/2} = \frac{2}{3} hW = \text{εμβαδόν παραβολικής διατομής καναλιού (m}^2\text{)}, \text{ όπου } W \text{ το πλάτος}$

του καναλιού

$K' = \text{σταθερά της παραβολικής διατομής}$

Στη στένωση, όπου η ροή είναι κρίσιμη, ισχύουν τα ακόλουθα:

Βάθος Ροής:  $h_c = V_c^2/g \quad (3-20)$

Επιφάνεια Διατομής:  $A_c = W_c h_c \quad (3-21)$

Παροχή:  $Q = W_c h_c V_c \quad (3-22)$

Κρίσιμη Ταχύτητα:  $V_c = \left[ \frac{2g}{3,1} \left( h + \frac{V^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (3-23)$

Το βάθος (H) του εξαμωτή και το μήκος του (L) υπολογίζονται όπως και στους εξαμωτές ορθογωνικής διατομής με αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο τους, δηλαδή με τη βοήθεια των Σχέσεων 3-15 και 3-16, με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει ο όρος  $z$  στη Σχέση 3-15. Παρόμοια, ο χρόνος παραμονής στον εξαμωτή (t) υπολογίζεται από την ταχύτητα ροής (V) και το μήκος του εξαμωτή (L) και είναι συνήθως της τάξης των 45 – 90 sec.

### **3.3.2 Αεριζόμενοι Εξαμμοτές**

Οι αεριζόμενοι εξαμμοτές αποτελούνται από έναν ορθογώνιο θάλαμο. Κατά μήκος της μιας πλευράς του θαλάμου εισάγεται αέρας με διαχυτήρες, ο οποίος προκαλεί σπειροειδή ροή των υγρών αποβλήτων. Με τη ρύθμιση της παροχής του αέρα, μπορούμε να επιτύχουμε την κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής η οποία θα επιτρέψει την απομάκρυνση της άμμου. Η άμμος καθιζάνει στον πυθμένα της διάταξης και συσσωρεύεται σε χοάνη, απ' όπου απομακρύνεται στη συνέχεια.

Η ταχύτητα περιστροφής των αποβλήτων είναι συνήθως 0,30 m/s. Αν είναι μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, η άμμος συμπαρασύρεται με τη ροή, ενώ εάν είναι μικρότερη, περιέχονται πολλά οργανικά στα στερεά που καθιζάνουν. Για ένα τυπικό σύστημα αεριζόμενης εξάμμωσης απαιτούνται 0,15 – 0,75 m<sup>3</sup> αέρα /min για κάθε m του μήκους του θαλάμου (τυπική τιμή: 0,30 m<sup>3</sup>/min/m). Συνήθως, οι διαστάσεις ενός αεριζόμενου συστήματος εξάμμωσης είναι οι ακόλουθες:

Βάθος:  $H = 2 - 5 \text{ m}$

Μήκος:  $L' = 7,5 - 20 \text{ m}$

Πλάτος:  $W = 2,5 - 7 \text{ m}$

Το μήκος που υπολογίζεται από τις σχέσεις πάντα προσανξάνεται κατά 15%, για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισροής – εκροής, δηλ:  $L' = 1,15 L$ . Για να επιτευχθεί ταχύτητα περιστροφής 0,30 m/s πρέπει να τηρούνται οι εξής αναλογίες:  $W/H = 1 - 5$  (τυπική τιμή: 2) και  $L'/W = 0,4 - 5$ . Για τη μέγιστη παροχή, ο χρόνος παραμονής (t) είναι 2 – 5 min (τυπική τιμή: 3 min).

### **3.3.3 Απομακρυνόμενη Άμμος**

Με τη χρήση των εξαμμοτών, παράγονται ποσότητες ιζήματος, οι οποίες πρέπει να απομακρυνθούν ή ακόμη και να επεξεργαστούν. Στους εξαμμοτές σταθερής ροής, ανάλογα με το πόσο καλά είναι σχεδιασμένοι, μπορούν να καθιζάνουν οργανικά στερεά σε ποσοστό μέχρι και 50%. Τα οργανικά στερεά έχουν δυσάρεστη οσμή και προσελκύουν έντομα και γι' αυτό οι εξαμμοτές πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλες διατάξεις έκπλυσης και καθαρισμού της συλλεγόμενης άμμου, όπως υδροκυκλώνες. Αντίθετα, οι αεριζόμενοι εξαμμοτές, λόγω του είδους της ροής, δεν παρουσιάζουν τέτοιου είδους προβλήματα.

Οι παραγόμενες ποσότητες άμμου μπορούν να ταφούν, να χρησιμοποιηθούν σαν υλικό επίχωσης ή επιφανειακής κάλυψης, να ξηραθούν σε κλίνες ξήρανσης και να αποτεφρωθούν, εφόσον υπάρχουν μονάδες αποτέφρωσης για την επεξεργασία της λάσπης.

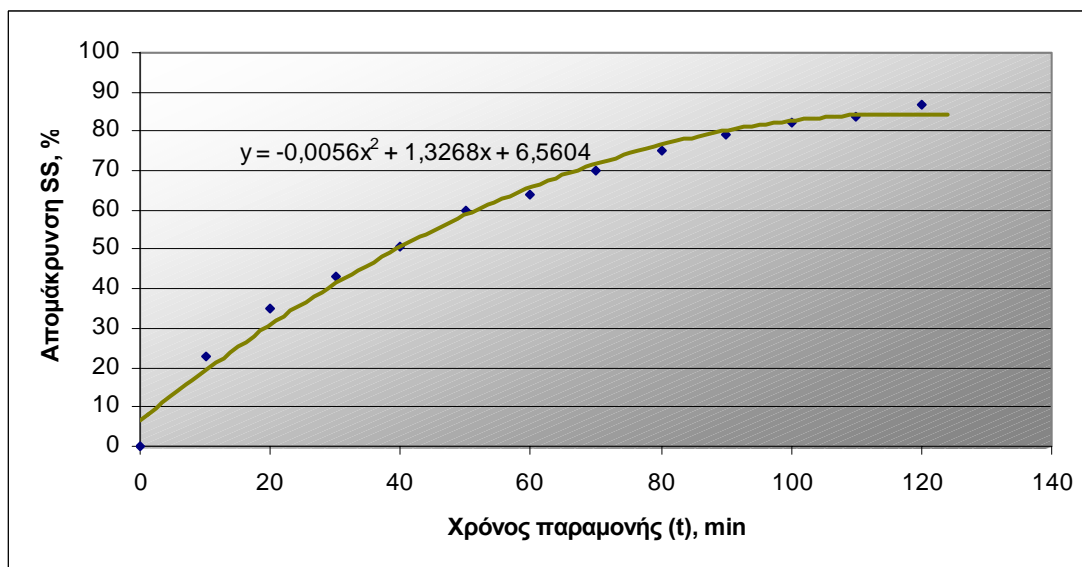
#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

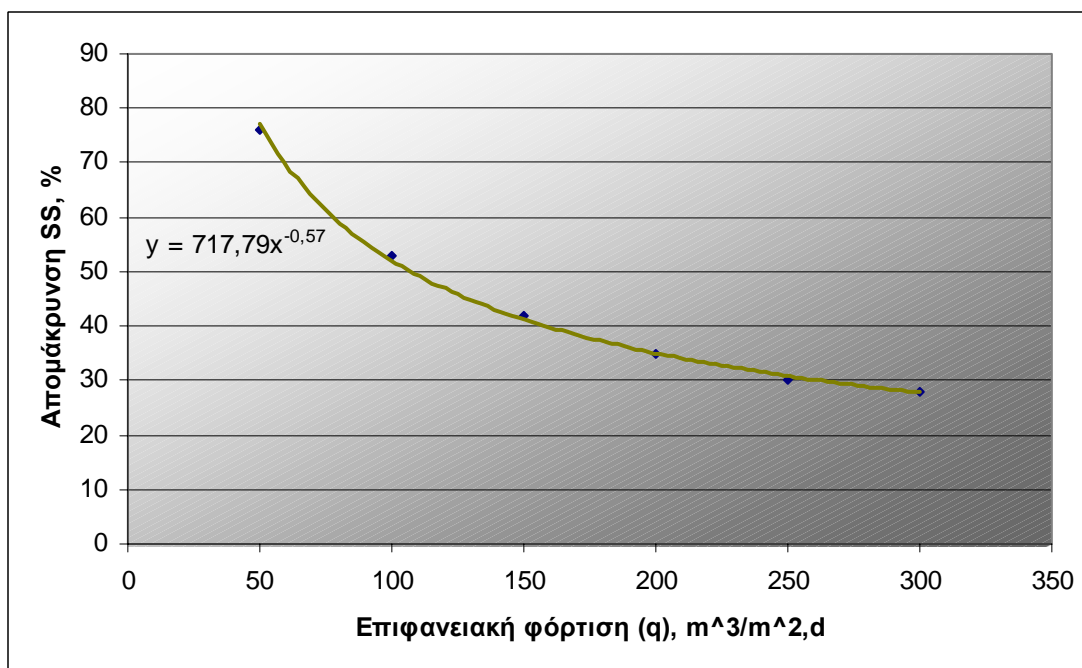
### 3.4 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Σκοπός της πρωτοβάθμιας καθίζησης (ή και επίπλευσης) είναι η απομάκρυνση των περισσότερων ανόργανων συστατικών και ενός μέρους των οργανικών συστατικών των υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, με την καθίζηση και την επίπλευση σε ειδικές δεξαμενές απομακρύνονται σωματίδια μεγέθους 0,001 – 0,1 mm. Χαρακτηριστικό της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι ότι τα σωματίδια συνενώνονται καθώς καθιζάνουν, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάμετρός τους και κατά συνέπεια η ταχύτητα καθίζησής τους. Έτσι οι τροχιές των σωματιδίων είναι καμπύλες και όχι ευθείες, όπως στην διαδικασία της εξάμμωσης.

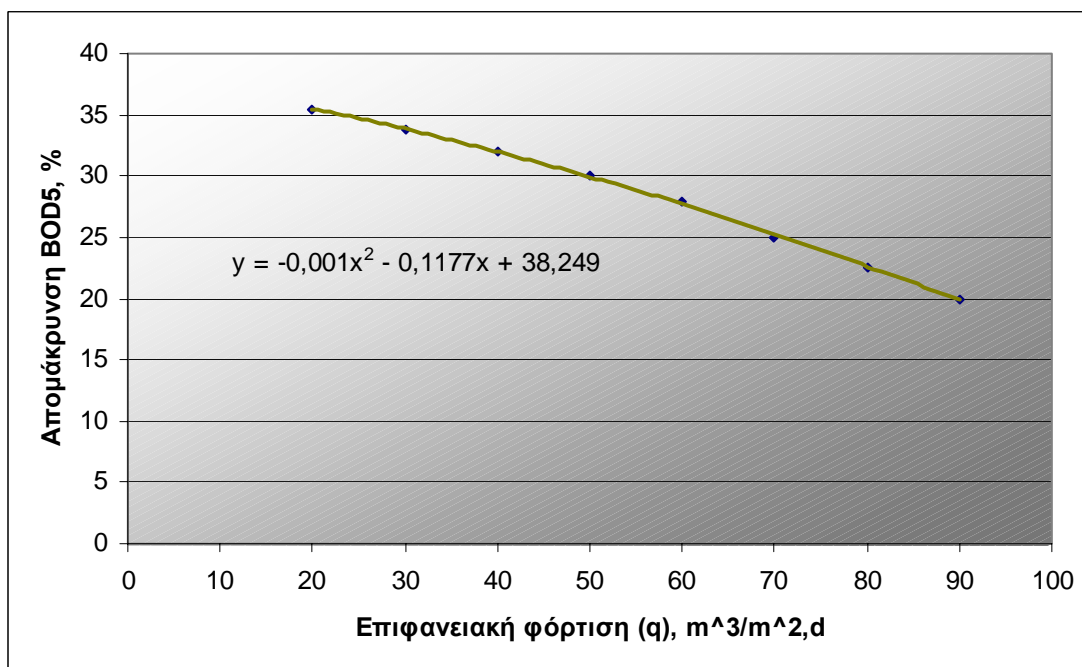
Στην πρωτοβάθμια καθίζηση απομακρύνεται το 50 – 70 % των αιωρούμενων στερεών (Suspended Solids – SS) και το 25 – 35 % του BOD<sub>5</sub>. Για τη συσχέτιση της απομάκρυνσης των SS και BOD<sub>5</sub>, αλλά και της συγκέντρωσης των στερεών της λάσπης (C<sub>λ</sub>), με το χρόνο παραμονής (t) και την επιφανειακή φόρτιση (q) διεξάγονται πειράματα σε ειδική στήλη που προσομοιάζει τη δεξαμενή καθίζησης. Από τα πειράματα αυτά προκύπτουν κάποια διαγράμματα, τα οποία διαφέρουν ανάλογα με τη σύσταση των υγρών αποβλήτων. Για συνηθισμένα αστικά απόβλητα έχουν προκύψει τα διαγράμματα, που παρουσιάζονται στη συνέχεια. Με τη βοήθεια του προγράμματος Excel του Microsoft Office βρέθηκαν οι συναρτήσεις από τις οποίες προέκυψαν τα διαγράμματα και οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία μοντέλων σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.



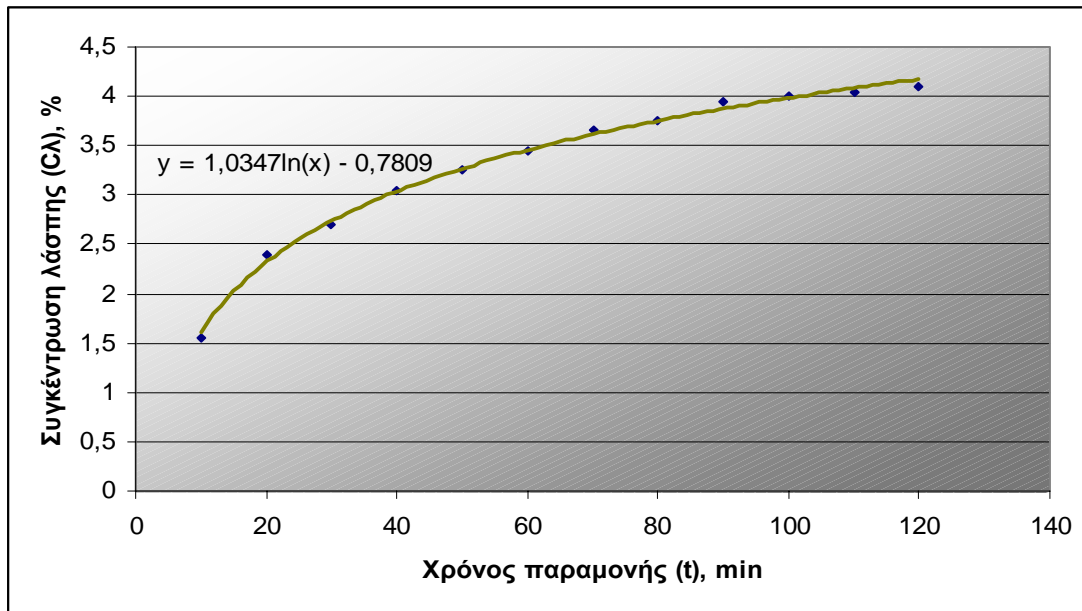
Διάγραμμα 3-1 % απομάκρυνση SS σαν συνάρτηση του χρόνου παραμονής (t)



Διάγραμμα 3-2 % απομάκρυνση SS σαν συνάρτηση της επιφανειακής φόρτισης (q)



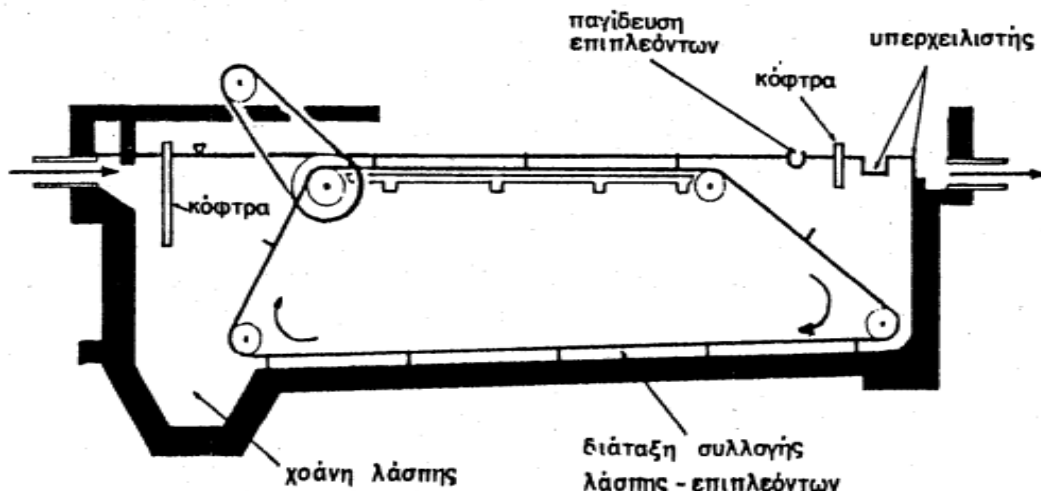
Διάγραμμα 3-3 % απομάκρυνση BOD<sub>5</sub> σαν συνάρτηση της επιφανειακής φόρτισης (q)



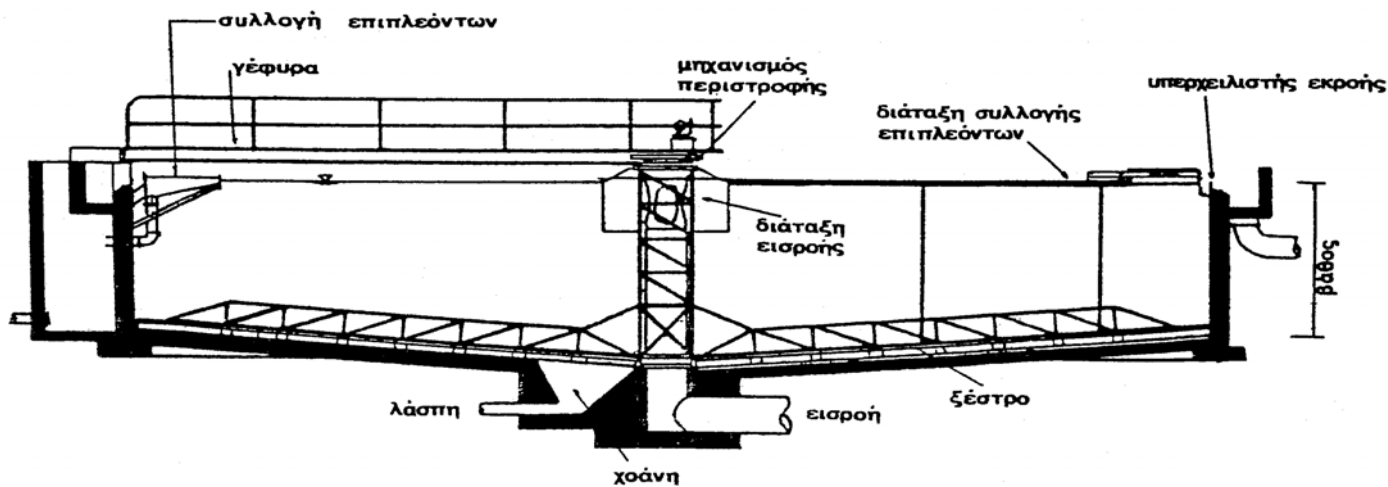
Διάγραμμα 3-4 Συγκέντρωση λάσπης ( $C_\lambda$ ) σαν συνάρτηση του χρόνου παραμονής (t)

Η επιφανειακή φόρτιση (q) και ο χρόνος παραμονής (t) που προσδιορίζονται με τον παραπάνω τρόπο πρέπει να διαιρεθούν και να πολλαπλασιαστούν αντίστοιχα με έναν συντελεστή ασφαλείας 1,25 – 1,75 (τυπική τιμή: 1,75), ώστε να ληφθούν υπόψη οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ πειραματικής διάταξης και πραγματικής δεξαμενής (συνθήκες εισροής – εκροής, τύρβη, ρεύματα από διαφορές θερμοκρασιών κ.λ.π.).

Γενικότερα υπάρχουν δύο είδη δεξαμενών καθίζησης, οι ορθογωνικές και οι κυκλικές. Η επιλογή του σχήματος, του μεγέθους και του αριθμού των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης εξαρτάται από το κόστος, το διαθέσιμο χώρο, τις ειδικές συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης και από υπάρχοντες κανονισμούς. Τα κατασκευαστικά κόστη ορθογωνικών και κυκλικών δεξαμενών είναι περίπου τα ίδια, με τις κυκλικές δεξαμενές σχετικά φθηνότερες. Ο αριθμός των δεξαμενών πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της εγκατάστασης κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες συντήρησης ή βλάβης. Στις ακόλουθες εικόνες απεικονίζονται οι τομές των δύο ειδών δεξαμενών.



Εικόνα 3-7 Τομή ορθογωνικής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης



Εικόνα 3-8 Τομή κυκλικής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Για τις ορθογωνικές δεξαμενές ισχύει:  $V = W * H * L$  (3-24)

ενώ για τις κυκλικές:  $V = \pi * r^2 * H$  (3-25)

όπου:

$V$  = όγκος δεξαμενής ( $m^3$ )

$W$  = πλάτος δεξαμενής (m)

$H$  = βάθος δεξαμενής (m)

$L$  = μήκος δεξαμενής (m)

$r$  = ακτίνα δεξαμενής (m)

Οι τιμές των διαστάσεων των δεξαμενών πρέπει να κινούνται σε ορισμένα πλαίσια, ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Αυτά τα πλαίσια περιγράφονται στον Πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-2

	ορθογωνική δεξαμενή		κυκλική δεξαμενή	
	εύρος	τυπική τιμή	εύρος	τυπική τιμή
<b>Βάθος H, (m)</b>	2,5 - 5,0	3,0	2 - 4	3,0
<b>Πλάτος W, (m)</b>	3 - 24	6 - 10	-	-
<b>Μήκος L, (m)</b>	15 - 90	25 - 40	-	-
<b>L / W</b>	> 3/1	-	-	-
<b>W / H</b>	1/1 - 2,25/1	-	-	-
<b>Διάμετρος d, (m)</b>	-	-	3,6 - 60	12 - 45
<b>Κλίση πυθμένα, (%)</b>	-	1	6 - 16	8

Γενικότερα και στα δύο είδη δεξαμενών, χρησιμοποιείται η μέση παροχή (Q) για το σχεδιασμό τους, για την οποία ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$Q = A * q \quad (3-26)$$

$$Q = V / t \quad (3-27)$$

όπου:

Q = μέση παροχή (m<sup>3</sup>/d)

A = εμβαδόν οριζόντιας τομής δεξαμενής (m<sup>2</sup>)

q = επιφανειακή φόρτιση (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,d)

t = χρόνος παραμονής (d)

Ακόμη, και στα δύο είδη δεξαμενών χρησιμοποιούνται υπερχειλιστές (συνήθως φράγματα τύπου V), ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητα της ροής. Στις ορθογωνικές δεξαμενές οι υπερχειλιστές τοποθετούνται στην είσοδό τους και κατά μήκος του πλάτους τους, ενώ στις κυκλικές δεξαμενές τοποθετούνται κατά μήκος της περιφέρειας τους. Η φόρτιση των υπερχειλιστών δεν έχει μεγάλη επίδραση στην απόδοση των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης και συνήθως είναι 125 – 500 m<sup>3</sup>/m μήκους, d (τυπική τιμή: 250 m<sup>3</sup>/m μήκους, d).

Η μάζα των στερεών της λάσπης που κατακάθονται στις δεξαμενές είναι:

$$M = a * C_{αρχ}^{SS} * Q \quad (3-28)$$

όπου,

M = μάζα στερεών λάσπης (Kg/d)



$a$  = ποσοστό απομάκρυνσης

$C_{αρχ}^{SS}$  = αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών ( $Kg/m^3$ )

Από τη μάζα αυτή υπολογίζεται η παροχή της λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής:

$$Q_{\lambda} = \frac{M}{1000 C_{\lambda} s} \quad (3-29)$$

όπου,

$Q_{\lambda}$  = παροχή λάσπης ( $m^3/d$ )

$C_{\lambda}$  = συγκέντρωση λάσπης (%)

$s$  = ειδική βαρύτητα λάσπης (1,02 – 1,05, τυπική τιμή: 1,03)

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

## 3.5 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

### 3.5.1 Παρουσίαση των Μοντέλων

Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσπάθειες για να εκφραστεί μαθηματικά η διαδικασία της απομάκρυνσης οργανικών ουσιών μέσω βιολογικών φίλτρων και η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου σε αυτά και έχουν προταθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα. Όμως, λόγω των ιδιοτεροτήτων των βιολογικών φίλτρων, κανένα από τα μαθηματικά μοντέλα δεν περιγράφει με ακρίβεια τις παραπάνω διαδικασίες και δεν είναι αποδεκτό για γενική εφαρμογή στο σχεδιασμό βιολογικών φίλτρων.

Τα μοντέλα αυτά που υπάρχουν προέρχονται είτε από θεωρητική προσέγγιση της διαδικασίας (διάχυση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων στο μικροβιακό στρώμα, αντίδραση διάσπασης α' τάξης και ισοζύγιο μάζας στο μικροβιακό στρώμα) είτε βασίζονται σε εμπειρικές εξισώσεις, οι οποίες προέρχονται από πειράματα και παρατηρήσεις σε μεγάλο αριθμό βιολογικών φίλτρων. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό βιολογικών φίλτρων με σκοπό την απομάκρυνση BOD ή με σκοπό την νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου των αποβλήτων ή και τα δύο. Όλα τα μαθηματικά μοντέλα, που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, αναλύονται στη συνέχεια:

#### 3.5.1.1 Μοντέλο N.R.C. (National Research Council)

Το μοντέλο N.R.C. (1946) δημιουργήθηκε από εκτενείς παρατηρήσεις σε 34 βιολογικά φίλτρα με ορυκτό διηθητικό μέσο, που χρησιμοποιούνταν σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις των Η.Π.Α.. Η ανάλυση των δεδομένων στο μοντέλο αυτό στηρίζεται σε δύο βασικές αρχές:

- Η επαφή μεταξύ του μέσου και της οργανικής ύλης που απομακρύνεται εξαρτάται από τις διαστάσεις του φίλτρου και από το πόσες φορές θα εισέλθουν τα απόβλητα στο φίλτρο.
- Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η επαφή, τόσο βελτιώνεται η απόδοση.

Επίσης, στο μοντέλο N.R.C. απεικονίζεται η αντίστροφη σχέση που έχουν η οργανική φόρτιση με την απόδοση. Για βιολογικά φίλτρα μίας βαθμίδας, η απόδοση υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E = \frac{100}{1 + 0,4432 \sqrt{\frac{W}{VF}}} \quad (3-30)$$

όπου,

$E$  = απόδοση απομάκρυνσης BOD στους 20 °C (%)

$W$  = οργανικό φορτίο, χωρίς την επανακυκλοφορία (kg/d)

$V$  = όγκος του διηθητικού μέσου (m<sup>3</sup>)

$F$  = συντελεστής επανακυκλοφορίας

Για βιολογικά φίλτρα δύο βαθμίδων, οι αποδόσεις στο πρώτο και στο δεύτερο φίλτρο προσδιορίζονται από τις σχέσεις:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0,4432 \sqrt{\frac{W_1}{VF_1}}} , E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0,4432}{1 - E_1} \sqrt{\frac{W_2}{VF_2}}} \quad (3-31), (3-32)$$

όπου,

$E_1, E_2$  = απόδοση απομάκρυνσης BOD στο 1<sup>ο</sup> και στο 2<sup>ο</sup> φίλτρο στους 20 °C (%)

$W_1, W_2$  = οργανικό φορτίο στο 1<sup>ο</sup> και στο 2<sup>ο</sup> φίλτρο, χωρίς την επανακυκλοφορία (kg/d)

$F_1, F_2$  = συντελεστές επανακυκλοφορίας στο 1<sup>ο</sup> και στο 2<sup>ο</sup> φίλτρο

Ο συντελεστής επανακυκλοφορίας αναπαριστά τον αριθμό των ανακυκλώσεων της οργανικής ύλης και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{1 + r}{(1 + 0,1r)^2} \quad (3-33)$$

όπου,

$r$  = λόγος επανακυκλοφορίας

Η επίδραση της θερμοκρασίας των αποβλήτων στην απόδοση απομάκρυνσης του BOD απεικονίζεται στην ακόλουθη σχέση:

$$E_T = E_{20} (1,035)^{T-20} \quad (3-34)$$

όπου,

$E_T$  = απόδοση απομάκρυνσης BOD στους T °C (%)

$E_{20}$  = απόδοση απομάκρυνσης BOD στους 20 °C (%)

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων (°C)

Το μοντέλο N.R.C. δημιουργήθηκε από παρατηρήσεις σε στρατιωτικά αστικά απόβλητα, τα οποία είναι πιο ισχυρά από τα συνηθισμένα αστικά. Επίσης, η σχέση υπολογισμού της απόδοσης στο δεύτερο φίλτρο (3-32) προϋποθέτει την ύπαρξη δεξαμενής ενδιάμεσης καθίζησης ανάμεσα στα δύο φίλτρα. Στο μοντέλο έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην οργανική φόρτιση, ενώ η υδραυλική παραβλέπεται. Γι' αυτούς τους λόγους, η εφαρμογή του μοντέλου N.R.C. παρουσιάζει συχνά μεγάλες αποκλίσεις.

### 3.5.1.2 Μοντέλο I.W.E.M. (Institution of Water and Environmental Management)

Το Ινστιτούτο Ύδατος και Περιβαλλοντικής Διαχείρισης ανέπτυξε το 1988 ένα μοντέλο για την εύρεση των ποσοτήτων οργανικών ουσιών στις εκροές βιολογικών φίλτρων με τυχαίο διηθητικό μέσο (συμπεριλαμβανομένου του ορυκτού) ή/και με αρθρωτό πλαστικό διηθητικό μέσο:

$$\frac{L_e}{L_o} = \frac{1}{1 + K\theta^{(T-15)} \frac{A_s^m}{q^n}} \quad (3-35)$$

όπου,

$L_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$L_o$  = BOD εισόδου (mg/L)

$K$  = κινητικός συντελεστής ( $m^{-1}$ ,  $d^{-1}$ )

$\theta$  = θερμοκρασιακός συντελεστής

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων ( $^{\circ}C$ )

$A_s$  = ειδική επιφάνεια διηθητικού μέσου ( $m^2/m^3$ )

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $m^3/m^2, d$ )

$m, n$  = συντελεστές

Το μοντέλο I.W.E.M. προέρχεται από παρατηρήσεις σε βιολογικά φίλτρα, που επεξεργάζονται ισχυρά αστικά απόβλητα με συγκεντρώσεις εκροής από την πρωτοβάθμια επεξεργασία: 360 mg/L BOD<sub>5</sub>, 240 mg/L TSS, 52 mg/L αμμωνιακό άζωτο και συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με το μοντέλο N.R.C. Οι τιμές των συντελεστών  $K$ ,  $\theta$ ,  $m$  και  $n$  λαμβάνονται από τον Πίνακα 3-3 και εξαρτώνται από το διηθητικό μέσο που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 3-3

Συντελεστής	Τυχαίο μέσο	Αρθρωτό πλαστικό μέσο
<b>K</b>	0,0204	0,400
<b>θ</b>	1,111	1,089
<b>m</b>	1,407	0,7324
<b>n</b>	1,249	1,396

### 3.5.1.3 Μοντέλο Velz

Η πρώτη προσπάθεια να περιγραφεί μαθηματικά, αλλά όχι από εμπειρικά στοιχεία, η διαδικασία απομάκρυνσης του BOD στα βιολογικά φίλτρα, έγινε από τον Velz το 1948, ο οποίος δημιούργησε ένα μοντέλο που βασίζεται στη συσχέτιση της απόδοσης με το βάθος του φίλτρου:

$$\frac{L_D}{L_O} = 10^{-K D} \quad (3-36)$$

όπου,

$L_O$  = BOD εισόδου (mg/L)

$L_D$  = BOD που απομακρύνεται σε βάθος D (mg/L)

D = βάθος φίλτρου (ft)

K = σταθερά αντίδρασης α' τάξης ( $d^{-1}$ )

Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται για όλες τις υδραυλικές φορτίσεις των φίλτρων (χαμηλές, μέσες, υψηλές, πολύ υψηλές). Αρχικά ο Velz υποστήριξε ότι ο συντελεστής K είναι σταθερός και ανεξάρτητος της υδραυλικής φόρτισης. Όμως, νέες έρευνες (Albertson and Davies – 1984, Dow Chemical Company – 1964) έδειξαν ότι ο συντελεστής K εξαρτάται από την υδραυλική φόρτιση και για φίλτρα υψηλής φόρτισης και θερμοκρασία 20 °C είναι  $K_{20} = 0,1505 d^{-1}$ , ενώ για φίλτρα χαμηλής φόρτισης είναι  $K_{20} = 0,175 d^{-1}$ . Η συσχέτιση του συντελεστή K με τη θερμοκρασία δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_t = K_{20} * 1,047^{T-20} \quad (3-37)$$

όπου,

$K_t$  = συντελεστής K σε θερμοκρασία t ( $d^{-1}$ )

$K_{20}$  = συντελεστής K σε θερμοκρασία 20 °C ( $d^{-1}$ )

T = θερμοκρασία αποβλήτων (°C)

### 3.5.1.4 Μοντέλο Schulze

Το 1960, ο Schulze διατύπωσε ότι ο χρόνος επαφής των αποβλήτων με το μικροβιακό στρώμα είναι ανάλογος του βάθους του φίλτρου και αντιστρόφως ανάλογος της υδραυλικής φόρτισης:

$$t = \frac{C * D}{q^n} \quad (3-38)$$

όπου,

$t$  = χρόνος επαφής (min)

$C$  = σταθερά του διηθητικού μέσου

$D$  = βάθος του βιολογικού φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $L/m^2, min$ )

$n$  = υδραυλική σταθερά του διηθητικού μέσου

Συνδυάζοντας την προηγούμενη σχέση με την α' τάξης εξίσωση απομάκρυνσης του BOD και τη θεωρία του Velz, ο Schulze κατέληξε στο ακόλουθο μοντέλο:

$$\frac{L_e}{L_o} = e^{-\frac{kD}{q^n}} \quad (3-39)$$

όπου,

$L_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$L_o$  = BOD εισόδου (mg/L)

$k$  = πειραματικά προσδιοριζόμενη σταθερά ( $d^{-1}$ )

$D$  = βάθος του βιολογικού φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $m^3/m^2, d$ )

$n$  = σταθερά, χαρακτηριστική του διηθητικού μέσου

Η σχέση (3-39) είναι παρόμοια με την (3-36), με τη διαφορά ότι η σταθερά  $K$  στο μοντέλο του Velz δεν λαμβάνει υπόψη της την υδραυλική φόρτιση, ενώ η σταθερά  $k$  του μοντέλου του Schulze την λαμβάνει. Ο Schulze θέλοντας να προσδιορίσει τη σταθερά  $k$ , βρήκε ότι για ορυκτό διηθητικό μέσο βάθους 1,8 m και θερμοκρασία 20 °C,  $k = 0,69 d^{-1}$ .

Επίσης, για ορυκτό μέσο η σταθερά  $n$  είναι 0,67. Η αναγωγή του συντελεστή  $k$  σε οποιαδήποτε θερμοκρασία των αποβλήτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$k_T = k_{20} * 1,035^{T-20} \quad (3-40)$$

όπου,

$k_t$  = συντελεστής  $k$  σε θερμοκρασία  $t$  ( $d^{-1}$ )

$k_{20}$  = συντελεστής  $k$  σε θερμοκρασία 20 °C ( $d^{-1}$ )

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων (°C)

### 3.5.1.5 Μοντέλο Germain

Το 1966, ο Germain εφάρμοσε το μοντέλο Schulze σε βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο, ως εξής:

$$\frac{L_e}{L_o} = e^{-\frac{kD}{q^n}} \quad (3-41)$$

όπου,

$L_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$L_o$  = BOD εισόδου, μη συμπεριλαμβανομένου αυτού της επανακυκλοφορίας (mg/L)

$k$  = συντελεστής μέσου και ικανότητας επεξεργασίας των αποβλήτων ( $(L/s)^n/m^2$ )

$D$  = βάθος του βιολογικού φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση, μη συμπεριλαμβανομένης αυτής της επανακυκλοφορίας ( $L/m^2, s$ )

$n$  = σταθερά, χαρακτηριστική του διηθητικού μέσου

Οι τιμές των  $k$  και  $n$  εξαρτώνται από τον σχηματισμό του μέσου, την απόδοση καθίζησης και την υδραυλική φόρτιση. Ο συντελεστής  $k$  είναι μία συνάρτηση των χαρακτηριστικών των αποβλήτων, του βάθους, της επιφάνειας και της διευθέτησης του διηθητικού μέσου. Ο Germain βρήκε ότι ο συντελεστής  $k$  για βιολογικό φίλτρο με πλαστικό μέσο βάθους 6,6 m, που επεξεργάζεται αστικά απόβλητα είναι  $k = 0,24 (L/s)^n/m^2$  και η πιο αποδεκτή τιμή της σταθεράς  $n$  είναι  $n = 0,5$ . Η Dow Chemical Company και άλλοι ερευνητές, για να προσδιορίσουν τον συντελεστή  $k$ , πραγματοποίησαν πειράματα σε 140 πιλοτικές μονάδες με βάθος 6 – 7m και ειδική επιφάνεια του μέσου  $A = 90 m^2/m^3$ . Το αποτέλεσμα αυτών των ερευνών ήταν η

υιοθέτηση μίας τιμής για το συντελεστή  $k$ , η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για το σχεδιασμό φίλτρων με πλαστικό μέσο:  $k_{20} = 0,210 \text{ (L/s)}^{0,5}/\text{m}^2$  για αστικά υγρά απόβλητα με θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$ , εισροή BOD  $150 \text{ mg/L}$  και βάθος φίλτρου  $6,1 \text{ m}$ . Η αναγωγή του συντελεστή  $k$  σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, πραγματοποιείται με τη σχέση (3-40). Για να συγκριθούν τιμές των συντελεστών  $k$ , πρέπει αυτοί να αναχθούν στο ίδιο βάθος και στην ίδια οργανική φόρτιση. Έτσι οι Albertson και Davies το 1984 διατύπωσαν την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{k_2}{k_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{0,5} \left( \frac{So_1}{So_2} \right)^{0,5} \quad (3-42)$$

όπου,

$k_1$  = συντελεστής αναφερόμενος σε βάθος  $D_1$

$k_2$  = συντελεστής αναφερόμενος σε βάθος  $D_2$

$So_1$  = οργανικό φορτίο στο φίλτρο με βάθος  $D_1$

$So_2$  = οργανικό φορτίο στο φίλτρο με βάθος  $D_2$

### 3.5.1.6 Μοντέλο Eckenfelder

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, οι Eckenfelder και Barnhart δημιούργησαν το ακόλουθο μοντέλο, χρησιμοποιώντας τη βασική σχέση απομάκρυνσης του BOD και θεωρώντας ότι ο χρόνος επαφής είναι ανάλογος του βάθους και αντιστρόφως ανάλογος της υδραυλικής φόρτισης:

$$\frac{S_e}{S_o} = \exp \left[ \frac{-k A_s^{m+1} D}{q^n} \right] \quad (3-43)$$

όπου,

$S_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$S_o$  = BOD εισόδου (mg/L)

$k$  = σταθερά βασισμένη στο  $SBOD_5$

$A_s$  = ειδική επιφάνεια διηθητικού μέσου ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

$D$  = βάθος φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $\text{m}^3/\text{m}^2, \text{d}$ )

$m, n$  = σταθερές



Η (3-43) γράφεται και με την παρακάτω μορφή:

$$\frac{S_e}{S_o} = \exp \left[ \frac{-KD}{q^n} \right] \quad (3-44)$$

Η (3-44) είναι ουσιαστικά ίδια με τη σχέση του μοντέλου Germain και έχει βρεθεί να έχει εφαρμογή σε βιολογικά φίλτρα με διάφορα μέσα. Διάφορες τιμές των σταθερών  $K$  και  $n$  δίνονται στον Πίνακα 3-4 (Βογιατζής Σ.Ζ., Στάμου Ι.Α., 1984):

Πίνακας 3-4

<b>Διηθητικό Μέσο</b>	<b>Μέγεθος (mm)</b>	<b><math>A_s</math> (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>S_o</math> (mg/L)</b>	<b>D (m)</b>	<b>q (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,d)</b>	<b>n</b>	<b>K (20°C)</b>
<b>Πέτρες</b>	25	142	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>2,4</b>	<b>2,07</b>
<b>Πέτρες</b>	64	90	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>3,8</b>	<b>1,64</b>
<b>Χαλίκι στρογγυλό</b>	25	145	200 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>3,0</b>	<b>1,67</b>
<b>Χαλίκι στρογγυλό</b>	64	65	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>5,4</b>	<b>1,30</b>
<b>Κλίνκερ</b>	25	202	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>2,56</b>	<b>2,39</b>
<b>Κλίνκερ</b>	64	123	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>0,84</b>	<b>2,12</b>
<b>Σκουριά υφικάμινου</b>	25	199	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>0,30</b>	<b>0,85</b>
<b>Σκουριά υφικάμινου</b>	64	108	220 - 320	1,8	0,9 - 1,1	<b>0,75</b>	<b>1,99</b>
<b>Πλαστικό (κύβοι)</b>	-	90	200	6,6	29 - 235	<b>0,50</b>	<b>1,25</b>
<b>Πλαστικό (κύβοι)</b>	-	90	200	3,7	58 - 235	<b>0,45</b>	<b>1,05</b>
<b>Χαλίκι</b>	64 και 10	49	200	3,7	30 - 88	<b>0,49</b>	<b>0,27</b>
<b>Σκουριά υφικάμινου</b>	40 και 60	138	112 - 196	1,8	4,7 - 12	<b>1,0</b>	<b>2,85</b>
<b>Γρανίτης</b>	25 - 75	95	186 - 226	1,8	2 - 15	<b>0,40</b>	<b>1,00</b>
<b>Πλαστικοί δακτύλιοι</b>	20	250	186 - 226	1,8	2 - 15	<b>0,70</b>	<b>1,72</b>
<b>Πλαστικοί δακτύλιοι</b>	40	115	186 - 226	1,8	2 - 15	<b>0,31</b>	<b>0,90</b>
<b>Πλαστικοί δακτύλιοι</b>	64	75	186 - 226	1,8	2 - 15	<b>0,276</b>	<b>0,81</b>

Αν λάβουμε υπόψη και την επανακυκλοφορία, το μοντέλο Eckenfelder έχει ως εξής:

$$\frac{S_e}{S_o} = \frac{\exp \left[ \frac{-kD}{q^n} \right]}{1 + r + r * \exp \left[ \frac{-kD}{q^n} \right]} \quad (3-45)$$

όπου,

$S_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$S_o$  = BOD εισόδου (mg/L)

$r$  = λόγος επανακυκλοφορίας (=R/Q)

$k$  = σταθερά βασισμένη στο SBOD<sub>5</sub> ((L/s)<sup>0.5</sup>/m<sup>2</sup>)

$D$  = βάθος φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $L/m^2, s$ )

$n$  = σταθερά χαρακτηριστική του διηθητικού μέσου ( $= 0,5$ )

Τα μοντέλα Eckenfelder, Germain, Schulze και Velz είναι βασικά τα ίδια και έχουν παρόμοιους περιορισμούς. Έχουν αποδειχτεί αποτελεσματικά στην εύρεση των ποσοτήτων BOD στις εκροές, αλλά όταν αλλάζει η διάταξη των τμημάτων της εγκατάστασης, επηρεάζεται και ο συντελεστής  $k$  (ή  $K$ ), με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικούς συντελεστές για το ίδιο διηθητικό μέσο και τα ίδια υγρά απόβλητα.

### 3.5.1.7 Μοντέλο Galler – Gotaas

Το 1964, οι Galler και Gotaas προσπάθησαν να υπολογίσουν την απόδοση σε βιολογικά φίλτρα με ορυκτό διηθητικό μέσο (χαλίκια) και δημιούργησαν το ακόλουθο μοντέλο, το οποίο είναι μια εμπειρική σχέση που έχει προκύψει από στατιστική ανάλυση της απόδοσης 322 βιολογικών φίλτρων:

$$Se = \frac{0.408(S_o + rSe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} d^{0.25}} \quad (3-46)$$

όπου,

$S_e$  = BOD<sub>5</sub> εξόδου (mg/L)

$S_o$  = BOD<sub>5</sub> εισόδου (mg/L)

$r$  = λόγος επανακυκλοφορίας ( $=R/Q$ )

$Q$  = παροχή εισροής ( $m^3/d$ )

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων ( $^{\circ}C$ )

$D$  = βάθος φίλτρου (m)

$d$  = διάμετρος φίλτρου (m)

Το μοντέλο μπορεί να επεκταθεί και για βιολογικά φίλτρα δεύτερης βαθμίδας ως εξής:

$$Se = \frac{0.408(S_o + rSe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} d^{0.25} (1-E_1)^{0.4}} \quad (3-47)$$

όπου,

$E_1$  = απόδοση βιολογικού φίλτρου πρώτης βαθμίδας

Το μοντέλο Galler – Gotaas θεωρεί την επανακυκλοφορία, την υδραυλική φόρτιση, το βάθος του φίλτρου και τη θερμοκρασία των αποβλήτων σημαντικές παραμέτρους για τον υπολογισμό της απόδοσης. Τα βαθιά βιολογικά φίλτρα ανταποκρίνονται καλύτερα σ' αυτήν την ανάλυση. Οι Galler και Gotaas διαπίστωσαν ακόμη ότι η επανακυκλοφορία βελτιώνει την απόδοση, εφόσον ο λόγος της (r) δεν υπερβαίνει το ανώτατο όριο του 4.

### 3.5.1.8 Μοντέλο Kincannon – Stover

Το 1982, οι Kincannon και Stover ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο, βασισμένο στη συσχέτιση της τάξης της ειδικής αξιοποίησης του υποστρώματος και του ολικού οργανικού φορτίου, η οποία ακολουθεί την κινητική Monod. Το μοντέλο έχει ως εξής:

$$A_s = \frac{8,34 Q S_o}{\mu_{\max} S_o (S_o - S_e)} - K_b \quad (3-48)$$

όπου,

$A_s$  = ολική επιφάνεια διηθητικού μέσου (1000 sq ft)

$Q$  = παροχή εισροής (mgd)

$S_e$  = SBOD εξόδου (mg/L)

$S_o$  = SBOD εισόδου (mg/L)

$\mu_{\max}$  = μέγιστη τάξη της ειδικής αξιοποίησης του υποστρώματος του  $A_s$  (lb BOD<sub>5</sub>/d/1000 sq ft)

$K_b$  = αναλογική σταθερά του  $A_s$  (lb/d/1000 sq ft)

Οι βιοκινητικές σταθερές  $\mu_{\max}$ ,  $K_b$  προσδιορίζονται από πειράματα σε πιλοτικές εγκαταστάσεις και από το γράφημα της φόρτισης BOD<sub>5</sub> συναρτήσεως του αντιστρόφου της απομάκρυνσης. Στο γράφημα αυτό, η τομή με τον y-άξονα δίνει την τιμή  $\mu_{\max}^{-1}$  και η κλίση δίνει την τιμή του  $K_b$ . Στα μειονεκτήματα αυτού του μοντέλου συγκαταλέγονται η δυσκολία εύρεσης των συντελεστών  $\mu_{\max}$ ,  $K_b$  και η μη επιρροή της απόδοσης από το βάθος του φίλτρου.

### 3.5.1.9 Μοντέλο Lamb – Owen

Οι Lamb και Owen πρότειναν την ακόλουθη σχέση για να προσδιορίσουν την απόδοση σε ένα βιολογικό φίλτρο:

$$\frac{S_e}{S_o - S_e} = K \frac{Q}{V A_s} \quad (3-49)$$

όπου,

$S_e$  = BOD εξόδου (mg/L)

$S_o$  = BOD εισόδου (mg/L)

$V$  = όγκος φίλτρου ( $m^3$ )

$Q$  = παροχή εισροής ( $m^3/d$ )

$A_s$  = ειδική επιφάνεια διηθητικού μέσου ( $m^2/m^3$ )

Η σταθερά  $K$  εξαρτάται από τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση:

$$K = 7,2 \exp(1,35 - 0,09T) \quad (3-50)$$

όπου,

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων ( $^{\circ}C$ )

Στο μοντέλο Lamb – Owen δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του βάθους στην απόδοση απομάκρυνσης του βιολογικού φίλτρου, αλλά μόνο ο όγκος.

### 3.5.1.10 Μοντέλο Bruce – Merckens

Οι Bruce και Merckens πρότειναν την ακόλουθη σχέση για προσδιορισμό της απόδοσης σε βιολογικά φίλτρα υψηλής φόρτισης:

$$\frac{S_e}{S_o} = \exp \left[ -K \frac{A_s V}{Q} \right] \quad (3-51)$$

όπου,

$S_e$  = BOD εκροής μετά τη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης (mg/L)

$S_o$  = BOD εισροής (mg/L)

$A_s$  = ειδική επιφάνεια διηθητικού μέσου ( $m^2/m^3$ )

$V$  = όγκος φίλτρου ( $m^3$ )

$Q$  = παροχή εισροής ( $m^3/d$ )

Η σταθερά  $K$  εξαρτάται από τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση:

$$K = -K' (1,08)^{T-15} \quad (3-52)$$

όπου,

$K' = 0,027 - 0,060$  (τυπική τιμή: 0,037)

$T$  = θερμοκρασία αποβλήτων ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.5.1.11 Μοντέλο Oleskiewicz

Ο Oleskiewicz έδωσε την παρακάτω σχέση, με βάση το μοντέλο του Eckenfelder και για περιπτώσεις που το τελευταίο δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα:

$$\frac{Se}{So} = \exp \left[ -\frac{KAsD}{qSo} \right] \quad (3-53)$$

όπου,

$S_e$  = BOD εκροής (mg/L)

$S_o$  = BOD εισροής (mg/L)

$As$  = ειδική επιφάνεια διηθητικού μέσου ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

$K$  = σταθερά

$D$  = βάθος φίλτρου (m)

$q$  = υδραυλική φόρτιση ( $\text{m}^3/\text{m}^2, \text{d}$ )

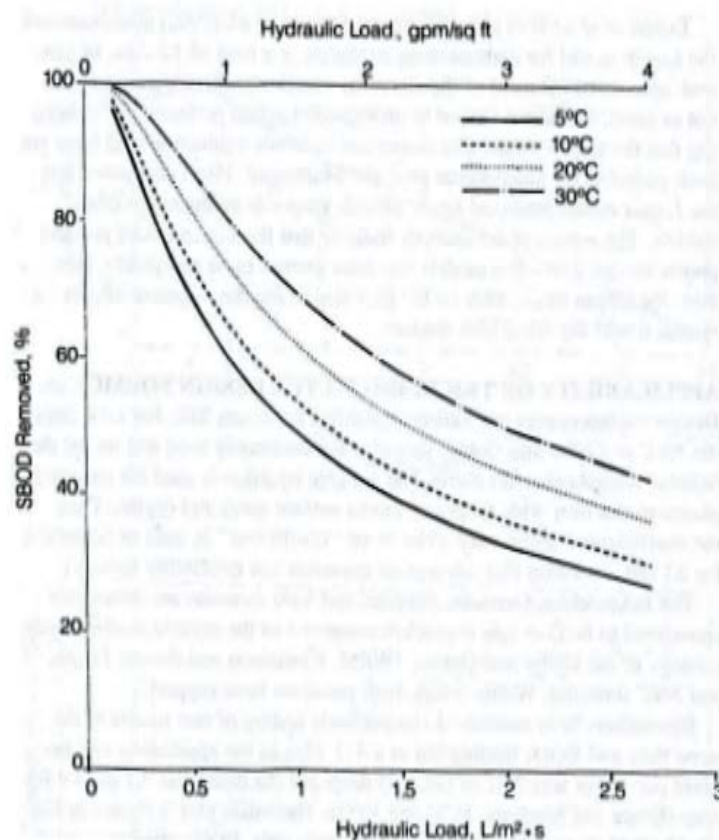
Χαρακτηριστικές τιμές της σταθεράς  $K$  για αστικά απόβλητα δίνονται στον Πίνακα 3-5 (Βογιατζής Σ.Ζ., Στάμου Ι.Α., 1984):

Πίνακας 3-5

<b>So</b> <b>(mg/L)</b>	<b>διηθητικό</b> <b>μέσο</b>	<b>K</b>
280	6 διαφορετικά είδη	10
200 – 250	8 διαφορετικά είδη	45 – 50
266	Πλαστικό	20

### 3.5.1.12 Μοντέλο Logan

Το μοντέλο Logan (*Logan et al., 1987a, 1987b, 1990*) είναι ένα χαρακτηριστικό δείγμα της νέας γενιάς μοντέλων εύρεσης απόδοσης σε βιολογικά φίλτρα, που έχουν παρουσιαστεί πρόσφατα. Το μοντέλο Logan εφαρμόζεται μόνο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη μορφή λογισμικού πακέτου, διότι η χρησιμοποίηση των μαθηματικών του εξισώσεων είναι δύσκολη και αρκετά χρονοβόρα. Σκοπός του είναι η πρόβλεψη της απόδοσης απομάκρυνσης SBOD σε βιολογικά φίλτρα με πλαστικό διηθητικό μέσο σαν συνάρτηση της γεωμετρίας του μέσου. Οι δημιουργοί του μοντέλου Logan υποστηρίζουν ότι η βαθμονόμηση σε πιλοτικές μονάδες δεν είναι απαραίτητη, καθώς κινητικές σταθερές (π.χ.  $k_{20}$  και  $n$  στο μοντέλο Germain) δεν χρειάζεται να προσδιοριστούν. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δίδονται με ευπαρουσίαστο και εύχρηστο τρόπο. Στο Διάγραμμα 3-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή του μοντέλου.



Διάγραμμα 3-5 Απόδοση απομάκρυνσης SBOD (για φίλτρο βάθους 6m με XF-98 διηθητικό μέσο ειδικής επιφάνειας  $98 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) για διάφορες θερμοκρασίες συναρτήσεως της υδραυλικής φόρτισης

### 3.5.1.13 Μοντέλο σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων για απομάκρυνση BOD & ταυτόχρονη νιτροποίηση (Μοντέλο Daigger)

Η απόδοση της νιτροποίησης για τα βιολογικά φίλτρα με ορυκτό διηθητικό μέσο είχε συσχετιστεί με το ογκομετρικό φορτίο BOD (*U.S. EPA, 1975*). Για απόδοση 90 % συνιστάται λιγότερο από 0,08 kg BOD/m<sup>3</sup>,d ογκομετρικό φορτίο. Σε μία φόρτιση της τάξης των 0,22 kg BOD/m<sup>3</sup>,d πρέπει να αναμένεται απόδοση λιγότερη από 50 %. Επίσης, οι μεγάλοι λόγοι επανακυκλοφορίας (r) βελτιώνουν την απόδοση της νιτροποίησης.

Αργότερα αποδείχθηκε ότι η απόδοση δεν σχετίζεται με το ογκομετρικό φορτίο BOD, αλλά με την οργανική φόρτιση στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου. Οι Parker και Richards (1986) σύγκριναν την απόδοση νιτροποίησης σε δύο φίλτρα με ορυκτό και πλαστικό μέσο, αλλά με το ίδιο οργανικό φορτίο στην επιφάνειά του, και διαπίστωσαν ότι η απόδοση δεν μεταβλήθηκε εξαιτίας των διαφορετικών μέσων. Μία οργανική φόρτιση στην επιφάνεια του διηθητικού μέσου της τάξης των 2,4 g BOD/m<sup>2</sup>,d είναι απαραίτητη για  $\geq 90$  % απομάκρυνση NH<sub>4</sub>-N.

Ο Daigger το 1994 βρήκε ότι η οξειδωση του BOD και του αμμωνιακού αζώτου σε φίλτρα με πλαστικό μέσο, μπορεί να χαρακτηριστεί από τον ογκομετρικό βαθμό οξειδωσης, ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$VOR = \frac{[So + 4,6(NOx)]Q}{V * 10^3 (g / kg)} \quad (3-54)$$

όπου,

VOR = ογκομετρικός βαθμός οξειδωσης (kg/m<sup>3</sup>,d)

So = BOD εισροής (g/m<sup>3</sup>)

NOx = ποσότητα αμμωνιακού αζώτου που οξειδώνεται (g/m<sup>3</sup>)

Q = παροχή εισροής (m<sup>3</sup>/d)

V = όγκος διηθητικού μέσου (m<sup>3</sup>)

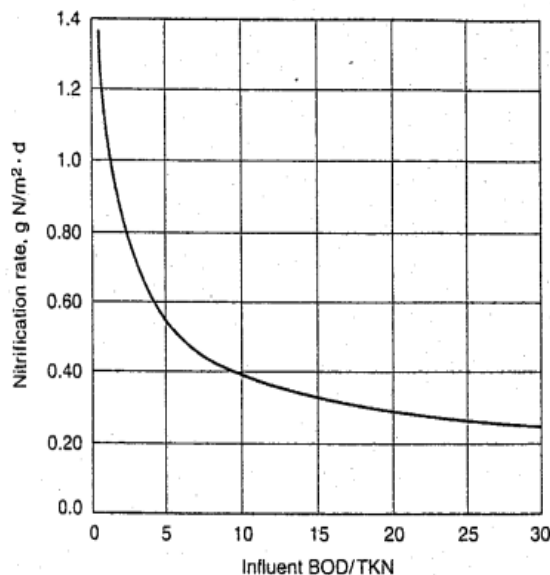
Χρησιμοποιώντας δεδομένα από διάφορες έρευνες, οι Okey και Albertson (*WEF, 2000*) βρήκαν ότι στα συνδυασμένα συστήματα βιολογικών φίλτρων υπάρχει μία γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στο βαθμό ειδικής νιτροποίησης (g/m<sup>2</sup>,d) και στο λόγο BOD / TKN των εισελθόντων αποβλήτων. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στην επόμενη εξίσωση και στο *Διάγραμμα 3-6* που ακολουθεί.

$$R_n = 0,82 \left( \frac{BOD}{TKN} \right)^{-0,44} \quad (3-55)$$

όπου,

$R_n$  = βαθμός ειδικής νιτροποίησης ( $\text{g/m}^2, \text{d}$ )

$\left( \frac{BOD}{TKN} \right)$  = λόγος BOD προς TKN των εισερχόμενων αποβλήτων ( $\text{g/g}$ )

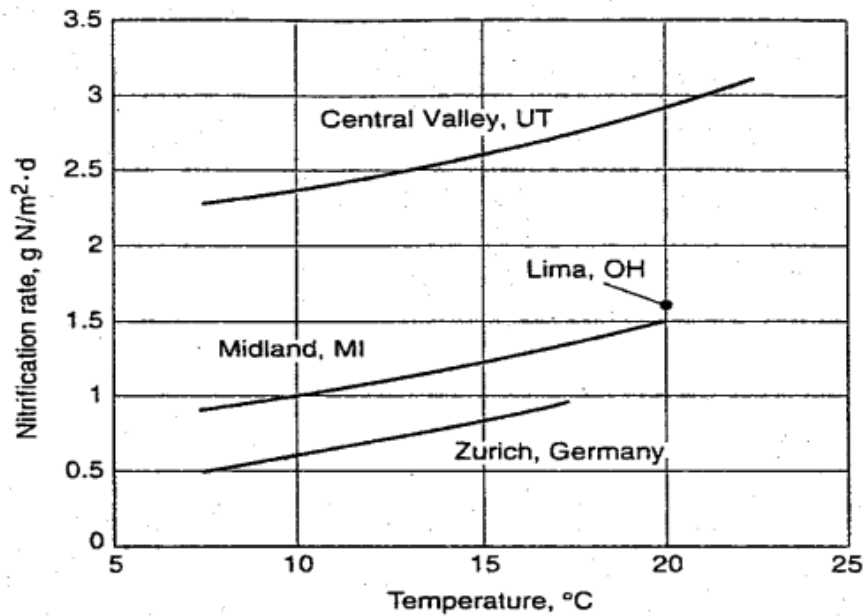


Διάγραμμα 3-6 Επίδραση του λόγου BOD / TKN στο βαθμό νιτροποίησης βιολογικών φίλτρων με πλαστικό μέσο, χρησιμοποιούμενα για απομάκρυνση BOD και νιτροποίηση

### 3.5.1.14 Μοντέλο σχεδιασμού βιολογικών φίλτρων για τριτοβάθμια νιτροποίηση

Στα βιολογικά φίλτρα που χρησιμοποιούνται, έπειτα από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, για την τριτοβάθμια νιτροποίηση των αποβλήτων, λαμβάνει χώρα μία πληθώρα διαδικασιών. Η συγκέντρωση σε BOD των αποβλήτων που εισέρχονται είναι γύρω στα 10 mg/L και ενίοτε < 5 mg/L. Η απόδοση αυτών των φίλτρων εξαρτάται από το φορτίο του αμμωνιακού αζώτου που δέχονται, από τη διαθεσιμότητα οξυγόνου, από τη θερμοκρασία των αποβλήτων και από το διηθητικό μέσο. Οι τιμές του  $\text{NH}_4\text{-N}$  στην εκροή των φίλτρων διαφέρουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το καλοκαίρι είναι < 1,0 mg/L και το χειμώνα διακυμαίνονται από 1,0 έως 4,0 mg/L. Η υδραυλική φόρτιση λαμβάνει τιμές 0,40 – 1,0  $\text{L/m}^2, \text{s}$ . Ο βαθμός νιτροποίησης είναι της τάξης των 1,0 – 3,0  $\text{g/m}^2, \text{d}$  και εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η εξάρτηση αυτή απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3-7, όπου παρουσιάζονται μετρήσεις σε διάφορους βιοπύργους με πλαστικό μέσο.





Διάγραμμα 3-7 Επίδραση της θερμοκρασίας στο βαθμό νιτροποίησης βιοπύργων, χρησιμοποιούμενων για την τριτοβάθμια νιτροποίηση των αποβλήτων

Η ακόλουθη εμπειρική σχέση (*WEF 2000*) χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί ο βαθμός νιτροποίησης σε φίλτρα που προορίζονται για τριτοβάθμια νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου των αποβλήτων.

$$r_n(Z, T) = r_{n, \max}(T) \left( \frac{N}{K_n + N} \right) e^{-rZ} \quad (3-56)$$

όπου,

$r_n(Z, T)$  = βαθμός νιτροποίησης σε βάθος  $Z$  και θερμοκρασία  $T$  ( $\text{g/m}^2, \text{d}$ )

$r_{n, \max}(T)$  = μέγιστος βαθμός νιτροποίησης σε θερμοκρασία  $T$  ( $\text{g/m}^2, \text{d}$ )

$N$  = συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $\text{mg/L}$ )

$K_n$  = σταθερά ταχύτητας ( $\text{mg/L}$ )

$r$  = εμπειρική σταθερά, περιγράφει την ελάττωση της απόδοσης συναρτήσει του βάθους

$Z$  = βάθος του βιολογικού φίλτρου ( $\text{m}$ )

Η σταθερά  $K_n$  έχει αποδεκτή τιμή  $1,5 \text{ mg/L}$  (*Grady et al., 1999*). Η τιμή της σταθεράς  $r_{n, \max}$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της μεταφοράς οξυγόνου στο μέσο και στο μικροβιακό στρώμα. Η ανάγωγή της από τους  $10^\circ\text{C}$  σε οποιαδήποτε θερμοκρασία  $T$  γίνεται με την ακόλουθη σχέση:

$$r_{n, \max}(T) = r_{n, \max}(10) * 1,045^{T-10} \quad (3-57)$$

Οι τιμές για τις σταθερές  $r_{n,\max}(T)$ ,  $K_n$  και  $r$  που υπάρχουν στη βιβλιογραφία δεν είναι αξιόπιστες, γιατί έχουν ληφθεί από λίγα βιολογικά φίλτρα και δεν έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που επεξεργάζονται τα φίλτρα αυτά. Συνιστάται, πριν την εφαρμογή της σχέσης (3-56), να υπολογίζονται οι σταθερές με τη διεξαγωγή πειραμάτων και μετρήσεων σε πιλοτικές μονάδες.

### **3.5.2 Εφαρμοσιμότητα των Μοντέλων**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα βιολογικό φίλτρο είναι περίπλοκες και εξαρτώνται από μια πληθώρα παραγόντων. Γι' αυτό το λόγο κανένα από τα μαθηματικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν δεν μπορεί να εφαρμοστεί για όλα τα πιθανά είδη φίλτρων και όλες τις δυνατές διατάξεις τους. Στους Πίνακες 3-6 και 3-7 παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα μοντέλα (εκτός του Logan, γιατί πρόκειται για λογισμικό πακέτο) και οι περιπτώσεις κατά τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ώστε να προσδιοριστεί η απόδοση των βιολογικών φίλτρων. Όπου στον πίνακα παρουσιάζεται κενό (-) στα δεδομένα, τα συγκεκριμένα μοντέλα χρησιμοποιούνται σπάνια ή έχουν πάψει να χρησιμοποιούνται και η βιβλιογραφία δεν παρέχει αυτές τις πληροφορίες.

### **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- American Society of Civil Engineers (ASCE), Water Environment Federation (WEF), «Design of Municipal Wastewater Treatment Plants - MOP 8», WEF, U.S.A., 1998
- Burton L. Franklin, Stensel H. David, Tchobanoglous George, «Wastewater Engineering - Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> Edition) », McGraw-Hill, N. York, 2002
- Lee C., Lin Shundar, «Water and Wastewater Calculations Manual», McGraw – Hill, N. York, 2001
- Βογιατζής Ζ.Σ., Στάμου Α.Ι., «Βασικές Αρχές και Σχεδιασμός Συστημάτων Επεξεργασίας Αποβλήτων», Αθήνα, 1984

Πίνακας 3-6

Μοντέλα	Σκοπός		
	απομάκρυνση BOD	νιτροποίηση	απομάκρυνση BOD & νιτροποίηση
N.R.C.	X		
I.W.E.M.	X		
Velz	X		
Schulze	X		
Germain	X		
Eckenfelder	X		
Galler - Gotaas	X		
Kincannon - Stover	X		
Lamb - Owen	X		
Bruce - Merkens	X		
Oleskiewicz	X		
Daigger			X
3βάθμιας νιτροποίησης		X	

Πίνακας 3-7

Μοντέλα	Διηθητικό μέσο		Απόβλητα		Επανακυκλοφορία		Βαθμίδες		Πειραματικός προσδιορισμός σταθερών & συντελεστών	Θερμοκρασία παραμέτρων
	ορυκτό	πλαστικό	αστικά	βιομηχανικά	με	χωρίς	1	2		
N.R.C.	X		X		X	X	X	X		
I.W.E.M.	X	X	X			X	X			X
Velz	X	X	X	X		X	X		X	
Schulze	X	X	X	X		X	X		X	
Germain		X	X	X		X	X		X	
Eckenfelder	X	X	X	X	X	X	X		X	
Galler - Gotaas	X		X		X		X	X		X
Kincannon - Stover	-	-	-	-		X	X		X	
Lamb - Owen	-	-	-	-		X	X			X
Bruce - Merkens	-	-	-	-		X	X			X
Oleskiewicz	X	X	X			X	X		X	
Daigger		X	X	X		X	X			
3βάθμιας νιτροποίησης		X	X	X		X	X		X	

## **4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:** **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα προγράμματα, στη γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας των διαφόρων διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στα στάδια της μέτρησης της ροής, της εσχάρωσης, της εξάμμωσης, της πρωτοβάθμιας καθίζησης και των βιολογικών φίλτρων. Στο τέλος δημιουργούνται δύο συνολικά προγράμματα για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Θεωρήθηκε σκόπιμο για την καλύτερη κατανόηση των προγραμμάτων, πριν από την παρουσίαση του κάθε ενός, να προηγείται η ανάπτυξη του αντίστοιχου αλγόριθμου, που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του προγράμματος.

## 4.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΟΗΣ

### 4.1.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ο χρήστης επιλέγει αν θέλει να χρησιμοποιήσει αγωγό Parshall ή φράγμα για να μετρήσει τη ροή.
2. Αν επιλέξει αγωγό Parshall, εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και το επιθυμητό ύψος (h) ροής των αποβλήτων στο σημείο μέτρησης του αγωγού.
3.  $Q = 4Bh^{1,522} B^{0,026} \rightarrow$  με διαδοχικές δοκιμές υπολογίζεται το πλάτος (B) της στένωσης του αγωγού.
4. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα. Αν ναι, τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_1\_output*. Αν όχι, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή.
5. Αν ο χρήστης επιλέξει φράγμα για τη μέτρηση της ροής, ερωτάται αν επιθυμεί το φράγμα να είναι ορθογωνικό ή τύπου V.
6. Αν το φράγμα θα είναι ορθογωνικό, ο χρήστης εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και το επιθυμητό ύψος (h) ροής των αποβλήτων στο σημείο μέτρησης.
7.  $Q = 3,367 * L * H^{1,5} \rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος της εγκοπής του φράγματος (L).
8. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα. Αν ναι, τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_1\_output*. Αν όχι, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή.
9. Αν ο χρήστης επιλέξει φράγμα τύπου V, ερωτάται για το μέγεθος της γωνίας που θέλει να έχει η εγκοπή του φράγματος. Καλείται να επιλέξει μεταξύ 30°, 45°, 60° και 90°.
10. Αν η γωνία είναι 30°, ο χρήστης εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και από τη σχέση  $Q = 0,685 H^{2,45}$  υπολογίζεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής.
11. Αν η γωνία είναι 45°, ο χρήστης εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και από τη σχέση  $Q = 1,035 H^{2,50}$  υπολογίζεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής.
12. Αν η γωνία είναι 60°, ο χρήστης εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και από τη σχέση  $Q = 1,443 H^{2,50}$  υπολογίζεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής.
13. Αν η γωνία είναι 90°, ο χρήστης εισάγει τη μέγιστη ροή (Q) και από τη σχέση  $Q = 2,500 H^{2,50}$  υπολογίζεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής.

14. Σε κάθε μία από τις 4 περιπτώσεις, ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα. Αν ναι, τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_1\_output*. Αν όχι, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή.

#### **4.1.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας**

1. Ο χρήστης ερωτάται αν χρησιμοποιεί αγωγό Parshall ή φράγμα για να μετρήσει τη ροή.
2. Αν χρησιμοποιεί αγωγό Parshall, ερωτάται για το πλάτος (B) της στένωσης και για το παρατηρούμενο ύψος της ροής (h).
3.  $Q = 4 B h^{1,522} B^{0,026} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
4. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στον αγωγό, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.
5. Αν ο χρήστης χρησιμοποιεί φράγμα, καλείται να επιλέξει μεταξύ ορθογωνικού φράγματος και φράγματος τύπου V.
6. Αν το φράγμα είναι ορθογωνικό, ερωτάται για το πλάτος της εγκοπής (L) και για το παρατηρούμενο ύψος της ροής (h).
7.  $Q = 3,367 * L * H^{1,5} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
8. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στο φράγμα, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.
9. Αν το φράγμα είναι τύπου V, ο χρήστης καλείται να επιλέξει αν η γωνία της εγκοπής είναι 30°, 45°, 60° ή 90°.
10. Αν είναι 30°, εισάγεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής και από τη σχέση  $Q = 0,685 H^{2,45}$ , υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
11. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στο φράγμα, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.

12. Αν είναι  $45^\circ$ , εισάγεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής και από τη σχέση  $Q = 1,035 H^{2,50}$ , υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
13. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στο φράγμα, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.
14. Αν είναι  $60^\circ$ , εισάγεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής και από τη σχέση  $Q = 1,443 H^{2,50}$ , υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
15. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στο φράγμα, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.
16. Αν είναι  $90^\circ$ , εισάγεται το βάθος της ροής (H) στα ανάντη της εγκοπής και από τη σχέση  $Q = 2,500 H^{2,50}$ , υπολογίζεται η ροή (Q) [Αν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή].
17. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με τη ροή που υπάρχει στο φράγμα, ο χρήστης ξανατρέχει το πρόγραμμα. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Flow\_measurement\_2\_output*.

**Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας διατάξεων μέτρησης της ροής (Flow\_measurement\_1, Flow\_measurement\_2) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.**

## 4.2 ΕΣΧΑΡΩΣΗ

### 4.2.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ο χρήστης επιλέγει αν θέλει να χρησιμοποιήσει λεπτά ή χονδρά κόσκινα για την εσχάρωση των αποβλήτων.
2. Αν επιλέξει λεπτά κόσκινα, ερωτάται για τη μέγιστη ροή (Q) και για την επιθυμητή απώλεια ύψους (dh).
3.  $dh = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{CA} \right)^2$ , όπου  $g=9,81\text{m}^3/\text{s}$  και  $C=0,60 \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια των ανοιγμάτων (A) του λεπτού κόσκινου.
4. Αν ο χρήστης δεν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα, του ζητείται να ξανατρέξει το πρόγραμμα με διαφορετικό dh. Αν είναι ικανοποιημένος, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Screening\_1\_output*.
5. Αν ο χρήστης επιλέξει χονδρά κόσκινα, ερωτάται για τη μέγιστη ροή (Q), για την επιθυμητή απώλεια ύψους (dh), για το αν το κόσκινο θα καθαρίζεται χειροκίνητα ή μηχανοκίνητα (επηρεάζει τη γωνία (θ) με το οριζόντιο επίπεδο), για το σχήμα των μπάρων (επηρεάζει το συντελεστή B) και για την απόσταση μεταξύ δύο μπάρων (clor).
6.  $dh = B \left( \frac{w}{b} \right)^{4/3} \frac{u^2}{2g} \sin\theta$  και με την υπόθεση  $w=b \rightarrow$  υπολογίζεται η ταχύτητα της ροής (u) όταν αυτή προσεγγίζει τη διάταξη.
7.  $A=Q/u \rightarrow$  υπολογίζεται το εμβαδόν (A) της διατομής του καναλιού
8. Με την σχεδιαστική υπόθεση ότι (ύψος καναλιού) =  $1,5 * (\text{πλάτος καναλιού}) \rightarrow d=1,5w$ , υπολογίζονται από το A τα d,w.
9. Ο αριθμός των ανοιγμάτων (n) είναι  $w/clor$  και ο αριθμός των μπάρων (nb) είναι  $n-1$ .
10. Αν προκύπτει αρνητικός αριθμός μπάρων (nb), το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή.
11. Το πλάτος της σχάρας ισούται με το πλάτος του καναλιού ( $\text{width}=w$ ) και το ύψος της ισούται με  $\text{height} = d/\sin(\theta)$ .



12. Αν ο χρήστης δεν είναι ικανοποιημένος με τα αποτελέσματα, του ζητά να ξανατρέξει το πρόγραμμα με διαφορετικό  $dh$ . Αν είναι ικανοποιημένος, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Screening\_1\_output*.

#### **4.2.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας**

1. Ο χρήστης ερωτάται αν χρησιμοποιεί λεπτά ή χονδρά κόσκινα για την εσχάρωση των αποβλήτων.
2. Αν χρησιμοποιεί λεπτά, ζητούνται η ροή ( $Q$ ) και η επιφάνεια των ανοιγμάτων ( $A$ ).
3.  $dh = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{CA} \right)^2$ , όπου  $g=9,81 \text{ m}^3/\text{s}$  και  $C=0,60 \rightarrow$  υπολογίζεται η απώλεια ύψους ( $dh$ ).
4. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με την πραγματική απώλεια ύψους στη διάταξη του χρήστη, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Screening\_2\_output*.
5. Αν ο χρήστης χρησιμοποιεί χονδρά κόσκινα, ζητείται η ροή ( $Q$ ), το πλάτος (width) της σχάρας, το ύψος (height), η γωνία ( $\theta$ ) με το οριζόντιο επίπεδο, ο αριθμός των μπάρων ( $nb$ ), το πλάτος της κάθε μία μπάρας ( $bw$ ) και το σχήμα των μπάρων (καθορίζει το συντελεστή  $B$ ).
6. Το πλάτος της σχάρας (width) ισούται με το πλάτος του καναλιού ( $w$ ).
7.  $d = \text{height} * \sin(\theta) \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος του καναλιού ( $d$ ).
8.  $A = w * d \rightarrow$  υπολογίζεται το εμβαδόν ( $A$ ) της κάθετης προς τη ροή επιφάνειας.
9.  $V = Q/A \rightarrow$  υπολογίζεται η ταχύτητα της ροής ( $V$ ) διαμέσου του κόσκινου.
10.  $b = w - (bw * nb) \rightarrow$  υπολογίζεται το άθροισμα των αποστάσεων ( $b$ ) ανάμεσα στις μπάρες.
11.  $dh = B \left( \frac{w}{b} \right)^{4/3} \frac{u^2}{2g} \sin\theta$ ,  $dh = \frac{1}{0,7} \left( \frac{V^2 - u^2}{2g} \right) \rightarrow$  υπολογίζονται η ταχύτητα της ροής (u) όταν αυτή προσεγγίζει τη διάταξη και οι απώλειες ύψους ( $dh$ ).
12. Αν  $A$  ή  $u$  ή  $dh$  ή  $Q < 0$ , το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή.
13. Αν το αποτέλεσμα δεν συμβαδίζει με την πραγματική απώλεια ύψους στη διάταξη του χρήστη, το πρόγραμμα ξανατρέχει από την αρχή. Αν συμβαδίζει, το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Screening\_2\_output*.

Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας διατάξεων εσχάρωσης (Screening\_1, Screening\_2) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

### 4.3 ΕΞΑΜΜΩΣΗ

#### 4.3.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

13. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να χρησιμοποιήσει εξαμμοτή σταθερής ροής ή αεριζόμενο εξαμμοτή.
14. Αν επιλέξει σταθερής ροής, καλείται να διαλέξει μεταξύ εξαμμοτή σταθερής ροής με κανάλι ορθογωνικής διατομής και αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του και εξαμμοτή σταθερής ροής με κανάλι παραβολικής διατομής και στένωση Parshall στο κατάντη άκρο του.
15. Αν διαλέξει το 1<sup>ο</sup> είδος εξαμμοτή, καλείται να εισάγει τη μέγιστη ( $Q_{max}$ ) και την ελάχιστη ( $Q_{min}$ ) ροή. Πραγματοποιείται έλεγχος, ώστε  $Q_{max} > Q_{min}$ . Εισάγεται ο επιθυμητός χρόνος συγκράτησης ( $t$ ).
16. Για  $n=1$  (1 κανάλι):  $Q=Q_{max}/n$
17.  $A=Q/V$ , όπου  $V=0,30\text{m/s}$  για 100% απόδοση  $\rightarrow$  υπολογίζεται το εμβαδόν ( $A$ ) της κάθετης προς τη ροή επιφάνειας.
18.  $Le = V*t \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος ( $Le$ ) του καναλιού του εξαμμοτή.
19.  $height = Vs*t$ , όπου  $Vs$  (ταχύτητα καθίζησης) =  $0,022 \text{ m/s} \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος ροής ( $height$ ) στο κανάλι του εξαμμοτή.
20.  $H=2*height \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος ( $H$ ) του καναλιού του εξαμμοτή.
21.  $b=A/height \rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος ( $b$ ) του καναλιού του εξαμμοτή.
22. Αν  $b/H > 1,1$  ή  $b > 1,5 \text{ m}$ , τότε  $n=n+1$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 4<sup>ο</sup> βήμα. Διαφορετικά, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 11<sup>ο</sup> βήμα.
23.  $Q = C W h \sqrt{2ga}$ , όπου  $C=0,62$ ,  $a=0,05\text{m}$  και  $g=9,81\text{m}^3/\text{s} \rightarrow$  υπολογίζεται το χαρακτηριστικό πλάτος ( $W$ ) του υπερχειλιστή.
24.  $\frac{l}{w} = 1 - \frac{2}{180} \text{ τοξ εφ} \left( \frac{h - \frac{2a}{3}}{a} \right)^{0.5} \rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος ροής ( $l$ ) στον υπερχειλιστή

25. Ελέγχεται αν η ελάχιστη ροή ( $Q_{min}$ ) δίνει ύψος ροής (height) μικρότερο από 0,05m.  
Αν ναι, ο χρήστης καλείται να ξανατρέξει το πρόγραμμα με διαφορετικό χρόνο συγκράτησης (t). Αν όχι, το πρόγραμμα τερματίζει και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Grit\_chambers\_1\_output*.
26. Αν ο χρήστης διαλέξει το 2<sup>ο</sup> είδος εξαμμωτή, καλείται να εισάγει τη μέγιστη ροή ( $Q_{max}$ ) και το χρόνο συγκράτησης (t).
27. Για  $n=1$  (1 κανάλι):  $Q=Q_{max}/n$
28.  $A=Q/V$ , όπου  $V=0,30\text{m/s}$  για 100% απόδοση  $\rightarrow$  υπολογίζεται το εμβαδόν (A) της κάθετης προς τη ροή επιφάνειας.
29.  $Le = V*t \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος ( $Le$ ) του καναλιού του εξαμμωτή.
30.  $height = V_s*t$ , όπου  $V_s$  (ταχύτητα καθίζησης) = 0,022 m/s  $\rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος ροής (height) στο κανάλι του εξαμμωτή.
31.  $H=2*height \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος (H) του καναλιού του εξαμμωτή.
32.  $b=A/height \rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος (b) του καναλιού του εξαμμωτή.
33. Αν  $b/H > 1,1$  ή  $b > 1,5$  m, τότε  $n=n+1$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 15<sup>ο</sup> βήμα. Διαφορετικά, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 22<sup>ο</sup> βήμα.
34. Από τις σχέσεις:  $V = \frac{Q}{A} = \frac{KWch^{3/2}}{K'h^{3/2}} = \frac{K}{K'} W_C$  και  $A = K'h^{3/2} = \frac{2}{3} hW$  προκύπτει  
ότι  $K' = \frac{2}{3} * \frac{W}{\sqrt{h}}$ , όπου  $K'$  = σταθερά της παραβολικής διατομής.
35.  $\lambda=1,5*K'$ , όπου  $\lambda$  η σταθερά στην εξίσωση  $W=\lambda*\sqrt{h}$ . Η εξίσωση αυτή χρησιμεύει στο σχεδιασμό της παραβολικής διατομής του καναλιού, όπου  $W$  = το πλάτος του καναλιού και  $h$  = το ύψος ροής.
36.  $V_c = \left[ \frac{2g}{3,1} \left( h + \frac{V^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \rightarrow$  υπολογίζεται η κρίσιμη ταχύτητα ( $V_c$ ) στη στένωση του αγωγού Parshall.
37.  $h_c = V_c^2/g \rightarrow$  υπολογίζεται τον ύψος ροής ( $h_c$ ) στη στένωση του αγωγού Parshall.
38.  $Q = W_c h_c V_c \rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος της στένωσης ( $W_c$ ).
39. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Grit\_chambers\_1\_output*.
40. Αν ο χρήστης επιλέξει αεριζόμενο εξαμμωτή, εισάγονται η μέγιστη ροή ( $Q_{max}$ ), ο χρόνος συγκράτησης (t) και το επιθυμητό πλάτος (W) του θαλάμου.

41.  $\text{Volume} = Q_{\max} * t \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος (Volume) του θαλάμου εξάμμωσης.
42.  $H = W / 2$  (σχεδιαστική παραδοχή)  $\rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος (H) του θαλάμου.
43.  $\text{Volume} = H * W * L \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος (L) του θαλάμου.
44.  $L' = 1,15 L \rightarrow$  το μήκος που υπολογίζεται από τις σχέσεις προσαυξάνεται κατά 15%, για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισροής – εκροής.
45. Πρέπει  $0,4 < L/W < 5$  (περιορισμός για τη σωστή λειτουργία του θαλάμου εξάμμωσης).  
Αν δεν ισχύει, ο χρήστης καλείται να ξανατρέξει το πρόγραμμα με διαφορετικό χρόνο συγκράτησης (t). Αν ισχύει, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 34<sup>ο</sup> βήμα.
46.  $Q_{\text{air}} = 0,30 * L' \rightarrow$  υπολογίζεται η παροχή ( $Q_{\text{air}}$ ) του αέρα στο θάλαμο.
47. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Grit\_chambers\_1\_output*.

### **4.3.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας**

1. Ο χρήστης ερωτάται αν χρησιμοποιεί εξαμμοτή σταθερής ροής ή αεριζόμενο εξαμμοτή.
2. Αν χρησιμοποιεί εξαμμοτή σταθερής ροής, καλείται να επιλέξει μεταξύ εξαμμοτή με κανάλι ορθογωνικής διατομής και αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του και εξαμμοτή με κανάλι παραβολικής διατομής και στένωση τύπου Parshall στο κατάντη άκρο του.
3. Αν επιλέξει το 1<sup>ο</sup> είδος, εισάγονται ο αριθμός (n) των καναλιών του εξαμμοτή, η συνολική ροή ( $Q_{\max}$ ), το πλάτος (b), το ύψος (H) και το μήκος (L) του κάθε καναλιού και ο χρόνος συγκράτησης (t).
4.  $V = L/t \rightarrow$  υπολογίζεται η ταχύτητα ροής (V) μέσα στο κανάλι του εξαμμοτή.
5. Για 100% εξάμμωση πρέπει  $V = 0,30 \text{ m/s}$ .
6. Ο χρήστης καλείται να απαντήσει αν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα της ταχύτητας. Αν όχι, το πρόγραμμα ξανατρέχει και ο χρήστης μπορεί να εισάγει διαφορετικό χρόνο συγκράτησης (t). Αν ναι, η απόδοση εξάμμωσης είναι περίπου 100% και το πρόγραμμα τερματίζεται.
7. Αν επιλέξει το 2<sup>ο</sup> είδος, εισάγονται ο αριθμός (n) των καναλιών του εξαμμοτή, η συνολική ροή ( $Q_{\max}$ ), το πλάτος (W), το ύψος (H) και το μήκος (L) του κάθε καναλιού και ο χρόνος συγκράτησης (t).
8.  $V = L/t \rightarrow$  υπολογίζεται η ταχύτητα ροής (V) μέσα στο κανάλι του εξαμμοτή.

9.  $Q=Q_{\max}/n \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή (Q) σε κάθε κανάλι.
10.  $W \cdot H = \frac{2}{3} \cdot h \cdot W \rightarrow$  υπολογίζεται το βάθος ροής (h) στο κάθε κανάλι.
11.  $V_c = \left[ \frac{2g}{3,1} \left( h + \frac{V^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \rightarrow$  υπολογίζεται η κρίσιμη ταχύτητα ( $V_c$ ) στη στένωση του αγωγού Parshall.
12.  $h_c = V_c^2/g \rightarrow$  υπολογίζεται τον ύψος ροής ( $h_c$ ) στη στένωση του αγωγού Parshall.
13. Για 100% εξάμμωση πρέπει  $V=0,30\text{m/s}$ .
14. Ο χρήστης καλείται να απαντήσει αν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα της ταχύτητας. Αν όχι, το πρόγραμμα ξανατρέχει και ο χρήστης μπορεί να εισάγει διαφορετικό χρόνο συγκράτησης (t). Αν ναι, η απόδοση εξάμμωσης είναι περίπου 100% και το πρόγραμμα τερματίζεται.
15. Αν ο χρήστης επιλέξει αεριζόμενο εξαμμοτή, εισάγονται η ροή (Q), το πλάτος (W), το ύψος (H) και το μήκος (L) του θαλάμου εξάμμωσης.
16. Για 100% εξάμμωση πρέπει  $V=0,30\text{m/s}$ .
17. Για να επιτευχθεί αυτή η ταχύτητα, πρέπει οι διαστάσεις του θαλάμου να τηρούν κάποιες αναλογίες.
18. Αν  $1,5 < W/H < 2,5$  και  $0,4 < L/W < 5,0$ , τότε  $V \approx 0,30\text{m/s}$  και το πρόγραμμα τερματίζεται. Σε αντίθετη περίπτωση, το πρόγραμμα τερματίζεται πάλι με την προειδοποίηση ότι ο θάλαμος εξάμμωσης δεν επιτυγχάνει 100% απόδοση.

Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας διατάξεων εξάμμοσης (Grit\_chamber\_1, Grit\_chamber\_2) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

## 4.4 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

### 4.4.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ορθογωνικές ή κυκλικές δεξαμενές για την πρωτοβάθμια καθίζηση των αποβλήτων.
2. Αν επιλέξει ορθογωνικές, ζητούνται η μέση ροή ( $Q_{in}$ ), η αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών ( $C_{ssin}$ ) και το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης των SS ( $a_{SS}$ ).
3. Από τα Διαγράμματα 3-1, 3-2, 3-3, υπολογίζεται το ποσοστό ( $a_{BOD}$ ) της απομάκρυνσης  $BOD_5$ , η επιφανειακή φόρτιση ( $q$ ) και ο χρόνος συγκράτησης ( $t$ ).
4. Για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ πειραματικής διάταξης και πραγματικής δεξαμενής (συνθήκες εισροής – εκροής, τύρβη, ρεύματα από διαφορές θερμοκρασιών κ.λ.π.),  $t = t * 1,75$  και  $q = q / 1,75$ .
5. Για  $n=1$ :  $Q_{in} = Q_{in} / n$
6.  $H = \frac{Volume}{A} = \frac{Q_{in} * t}{Q_{in} / q} = q * t \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος ( $H$ ) της δεξαμενής.
7.  $W = 1,5 * H$  (σχεδιαστικός περιορισμός)  $\rightarrow$  υπολογίζεται το πλάτος ( $W$ ) της δεξαμενής.
8.  $L = \frac{Q_{in} * t}{W * H} \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος ( $L$ ) της δεξαμενής.
9. Αν  $H > 5,0m$  ή  $W > 24,0m$  ή  $L > 40,0m$ , τότε  $n=n+1$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 5<sup>ο</sup> βήμα. Διαφορετικά ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 10<sup>ο</sup> βήμα.
10.  $L_{ov} = W \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος ( $L_{ov}$ ) του υπερχειλιστή.
11.  $q_{ov} = Q_{in} / L_{ov} \rightarrow$  υπολογίζεται η φόρτιση ( $q_{ov}$ ) του υπερχειλιστή.
12.  $Q_{in} = n * Q_{in}$ ,  $M_{sl} = a_{SS} * C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η μάζα ( $M_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
13. Από το Διάγραμμα 3-4 προκύπτει η συγκέντρωση ( $C_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
14.  $Q_{sl} = \frac{M_{sl}}{1000 * C_{sl} * 1,03} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή ( $Q_{sl}$ ) στο ίζημα της δεξαμενής.

15.  $Min = C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η αρχική μάζα (Min) των SS.
16.  $M_{out} = Min - M_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική μάζα (Mout) των SS.
17.  $C_{ssout} = C_{ssin} * (1 - \frac{aSS}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική συγκέντρωση ( $C_{ssout}$ ) των SS.
18.  $Q_{out} = Q_{in} - Q_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική ροή ( $Q_{out}$ ).
19. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Primary\_sedimentation\_1\_output*.
20. Αν ο χρήστης επιλέξει κυκλικές δεξαμενές, ζητούνται η μέση ροή ( $Q_{in}$ ), η αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών ( $C_{ssin}$ ) και το επιθυμητό ποσοστό απομάκρυνσης των SS (aSS).
21. Από τα Διάγραμμα 3-1, 3-2, 3-3, υπολογίζεται το ποσοστό (aBOD) της απομάκρυνσης  $BOD_5$ , η επιφανειακή φόρτιση (q) και ο χρόνος συγκράτησης (t).
22. Για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ πειραματικής διάταξης και πραγματικής δεξαμενής (συνθήκες εισροής – εκροής, τύρβη, ρεύματα από διαφορές θερμοκρασιών κ.λ.π.),  $t = t * 1,75$  και  $q = q / 1,75$ .
23. Για  $n=1$ :  $Q_{in} = Q_{in} / n$
24.  $d = \sqrt{\frac{4 * Q_{in}}{\pi * q}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος (d) της κυκλικής δεξαμενής.
25.  $H = \frac{4 * Q_{in} * t}{\pi * d^2} \rightarrow$  υπολογίζεται το ύψος (H) της δεξαμενής.
26. Αν  $H > 5,0m$  ή  $d > 45,0m$  τότε  $n=n+1$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 23<sup>ο</sup> βήμα. Διαφορετικά ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 27<sup>ο</sup> βήμα.
27.  $L_{ov} = \pi * d \rightarrow$  υπολογίζεται το μήκος ( $L_{ov}$ ) του υπερχειλιστή.
28.  $q_{ov} = Q_{in} / L_{ov} \rightarrow$  υπολογίζεται η φόρτιση ( $q_{ov}$ ) του υπερχειλιστή.
29.  $Q_{in} = n * Q_{in}$ ,  $M_{sl} = aSS * C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η μάζα ( $M_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
30. Από το Διάγραμμα 3-4 προκύπτει η συγκέντρωση ( $C_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
31.  $Q_{sl} = \frac{M_{sl}}{1000 * C_{sl} * 1,03} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή ( $Q_{sl}$ ) στο ίζημα της δεξαμενής.
32.  $Min = C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η αρχική μάζα (Min) των SS.
33.  $M_{out} = Min - M_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική μάζα (Mout) των SS.

34.  $C_{ssout} = C_{ssin} * (1 - \frac{aSS}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική συγκέντρωση ( $C_{ssout}$ ) των SS.
35.  $Q_{out} = Q_{in} - Q_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική ροή ( $Q_{out}$ ).
36. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Primary\_sedimentation\_1\_output*.

#### **4.4.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας**

1. Ζητούνται από τον χρήστη ο αριθμός των δεξαμενών (n), η αρχική ροή ( $Q_{in}$ ) των αποβλήτων στην είσοδο της δεξαμενής και η αρχική συγκέντρωση των SS ( $C_{ssin}$ ).
2. Ο χρήστης καλείται να επιλέξει αν χρησιμοποιεί ορθογωνικές ή κυκλικές δεξαμενές.
3. Αν χρησιμοποιεί ορθογωνικές, καλείται να εισάγει το πλάτος (W), το βάθος (H) και το μήκος (L) της κάθε δεξαμενής.
4. Πρέπει να τηρούνται οι περιορισμοί:  $L/W > 3$  και  $1,00 < W/H < 2,25$ . Αν δεν τηρούνται, ο χρήστης καλείται να εισάγει ξανά τις διαστάσεις της δεξαμενής. Αν τηρούνται, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 5<sup>ο</sup> βήμα.
5.  $Q_{in} = Q_{in}/n$ ,  $t = (L * W * H) / Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται ο χρόνος συγκράτησης (t).
6.  $q = Q_{in} / (L * W) \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφανειακή φόρτιση (q).
7.  $t = t/1,75$ ,  $q = q * 1,75$  και από τα *Διαγράμματα 3-1, 3-2, 3-3* υπολογίζονται τα ποσοστά απομάκρυνσης των SS και του BOD<sub>5</sub> (aSS, aBOD).
8.  $Q_{in} = n * Q_{in}$ ,  $M_{sl} = aSS * C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η μάζα ( $M_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
9. Από το *Διάγραμμα 3-4* προκύπτει η συγκέντρωση ( $C_{sl}$ ) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
10.  $Q_{sl} = \frac{M_{sl}}{1000 * C_{sl} * 1,03} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή ( $Q_{sl}$ ) στο ίζημα της δεξαμενής.
11.  $M_{in} = C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η αρχική μάζα ( $M_{in}$ ) των SS.
12.  $M_{out} = M_{in} - M_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική μάζα ( $M_{out}$ ) των SS.
13.  $C_{ssout} = C_{ssin} * (1 - \frac{aSS}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική συγκέντρωση ( $C_{ssout}$ ) των SS.
14.  $Q_{out} = Q_{in} - Q_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική ροή ( $Q_{out}$ ).
15. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Primary\_sedimentation\_2\_output*.



16. Αν ο χρήστης χρησιμοποιεί κυκλικές δεξαμενές, καλείται να εισάγει τη διάμετρο (d) και το βάθος (H) της κάθε δεξαμενής.
17. Πρέπει να τηρείται ο περιορισμός:  $2,00 < H < 4,00$ . Αν δεν τηρείται, ο χρήστης καλείται να εισάγει ξανά το βάθος της δεξαμενής. Αν τηρείται, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο 18<sup>ο</sup> βήμα.
18.  $Q_{in} = Q_{in}/n$ ,  $t = \frac{\pi * d^2 * H}{4 * Q_{in}} \rightarrow$  υπολογίζεται ο χρόνος συγκράτησης (t).
19.  $q = \frac{4 * Q_{in}}{\pi * d^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφανειακή φόρτιση (q).
20.  $t = t/1,75$ ,  $q = q*1,75$  και από τα Διαγράμματα 3-1, 3-2, 3-3 υπολογίζονται τα ποσοστά απομάκρυνσης των SS και του BOD<sub>5</sub> (aSS, aBOD).
21.  $Q_{in} = n * Q_{in}$ ,  $M_{sl} = aSS * C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η μάζα (M<sub>sl</sub>) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
22. Από το Διάγραμμα 3-4 προκύπτει η συγκέντρωση (C<sub>sl</sub>) των SS στο ίζημα της δεξαμενής.
23.  $Q_{sl} = \frac{M_{sl}}{1000 * C_{sl} * 1,03} \rightarrow$  υπολογίζεται η ροή (Q<sub>sl</sub>) στο ίζημα της δεξαμενής.
24.  $M_{in} = C_{ssin} * Q_{in} \rightarrow$  υπολογίζεται η αρχική μάζα (M<sub>in</sub>) των SS.
25.  $M_{out} = M_{in} - M_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική μάζα (M<sub>out</sub>) των SS.
26.  $C_{ssout} = C_{ssin} * (1 - \frac{aSS}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική συγκέντρωση (C<sub>ssout</sub>) των SS.
27.  $Q_{out} = Q_{in} - Q_{sl} \rightarrow$  υπολογίζεται η τελική ροή (Q<sub>out</sub>).
28. Το πρόγραμμα τερματίζεται και τα αποτελέσματα τυπώνονται στο αρχείο *Primary\_sedimentation\_2\_output*.

Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης (Primary\_sedimentation\_1, Primary\_sedimentation\_2) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

## 4.5 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Από τα 14 μοντέλα που περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο 3.5.1 επιλέχθηκαν τα μοντέλα NRC, Galler-Gotaas, Germain και Eckenfelder για να αναλυθούν περαιτέρω και να δημιουργηθούν αλγόριθμοι και προγράμματα για το σχεδιασμό και τον έλεγχο λειτουργίας βιολογικών φίλτρων. Αυτά τα τέσσερα μοντέλα αναφέρονται και σε πλαστικό και σε ορυκτό διηθητικό μέσο, περιλαμβάνουν φίλτρα χαμηλής έως και πολύ υψηλής φόρτισης και είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα.

### 4.5.1 Μοντέλο NRC

#### 4.5.1.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ζητείται από τον χρήστη να εισάγει τιμές για τη μέγιστη σχεδιαστική παροχή (Q), για το BOD εισροής (Lo), το BOD εκροής (Le) και τη θερμοκρασία των αποβλήτων (T).
2.  $E_T = \frac{Lo - Le}{Lo} * 100 \rightarrow$  υπολογίζεται η ζητούμενη απόδοση ( $E_T$ ) στους T °C.
3.  $E_T = E_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται η ζητούμενη απόδοση ( $E_{20}$ ) στους 20 °C.
4. Αρχικά θεωρούμε ότι ο λόγος επανακυκλοφορίας (r) είναι  $r = 0$  και από τη σχέση  $F = \frac{1+r}{(1+0,1r)^2}$  υπολογίζουμε τον συντελεστή επανακυκλοφορίας (F).
5.  $W = Q * Lo \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο (W).
6.  $E_{20} = \frac{100}{1 + 0,4432 \sqrt{\frac{W}{VF}}} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).
7.  $BODLR = W / V \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
8. Αν  $BODLR < 0,08$ , τότε  $r = r + 0,5$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 4<sup>ο</sup> βήμα.
9. Αν  $0,08 \leq BODLR \leq 0,24$ , τότε το φίλτρο είναι χαμηλής φόρτισης και θεωρείται αρχική τιμή για το βάθος του:  $D = 1,8$  m.
10.  $A = V / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου (A).

11.  $\text{diam} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).
12.  $\text{HLR} = \frac{(1+r)Q}{A} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
13. Αν  $\text{HLR} < 1,0$ , τότε  $D = D + 0,05$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 10<sup>ο</sup> βήμα.
14. Αν  $\text{HLR} > 3,5$ , τότε η υδραυλική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
15. Αν  $1,0 \leq \text{HLR} \leq 3,5$ , τότε από τη σχέση  $n_{rec} = \frac{0,00044 * \text{HLR}}{0,6 * \text{BODLR}}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα ( $n_{rec}$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $n_{rect} = 1 / n_{rec}$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα ( $n_{rect}$ ). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 31<sup>ο</sup> βήμα.
16. Αν στο 7<sup>ο</sup> βήμα ίσχυε  $0,24 \leq \text{BODLR} \leq 0,48$ , τότε το φίλτρο είναι μέσης φόρτισης και θεωρείται αρχική τιμή για το βάθος του:  $D = 1,8 \text{ m}$ .
17.  $A = V / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου (A).
18.  $\text{diam} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).
19.  $\text{HLR} = \frac{(1+r)Q}{A} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
20. Αν  $\text{HLR} < 3,5$ , τότε  $D = D + 0,05$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 17<sup>ο</sup> βήμα.
21. Αν  $\text{HLR} > 9,5$ , τότε η υδραυλική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
22. Αν  $3,5 \leq \text{HLR} \leq 9,5$ , τότε από τη σχέση  $n_{rec} = \frac{0,00044 * \text{HLR}}{0,6 * \text{BODLR}}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα ( $n_{rec}$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $n_{rect} = 1 / n_{rec}$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα ( $n_{rect}$ ). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 31<sup>ο</sup> βήμα.
23. Αν στο 7<sup>ο</sup> βήμα ίσχυε  $0,48 \leq \text{BODLR} \leq 2,40$ , τότε το φίλτρο είναι υψηλής φόρτισης και θεωρείται αρχική τιμή για το βάθος του:  $D = 0,9 \text{ m}$ .

24.  $A = V / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου (A).
25.  $\text{diam} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).
26.  $\text{HLR} = \frac{(1+r)Q}{A} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
27. Αν  $\text{HLR} < 9,5$ , τότε  $D = D + 0,05$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 24<sup>ο</sup> βήμα.
28. Αν  $\text{HLR} > 36,5$ , τότε η υδραυλική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
29. Αν  $9,5 \leq \text{HLR} \leq 36,5$ , τότε από τη σχέση  $n_{rec} = \frac{0,00044 * \text{HLR}}{0,6 * \text{BODLR}}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $n_{rect} = 1 / n_{rec}$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 31<sup>ο</sup> βήμα.
30. Αν στο 7<sup>ο</sup> βήμα ίσχυε  $\text{BODLR} > 2,4$ , τότε η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
31. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα.
32. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
33. Αν όχι, ζητείται από τον χρήστη να αυξήσει το λόγο επανακυκλοφορίας (r) μέχρι την τιμή 4,0.
34.  $F = \frac{1+r}{(1+0,1r)^2} \rightarrow$  υπολογίζεται ο νέος συντελεστής επανακυκλοφορίας (F).
35.  $E_{20} = \frac{100}{1+0,4432\sqrt{\frac{W}{VF}}} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).
36.  $A = V / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου (A).
37.  $\text{diam} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).
38.  $\text{BODLR} = W / V \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
39.  $\text{HLR} = \frac{(1+r)Q}{A} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).

40. Αν  $1,0 < \text{HLR} < 3,5$  και  $0,08 < \text{BODLR} < 0,24$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 44ο βήμα.
41. Αν  $3,5 < \text{HLR} < 9,5$  και  $0,24 < \text{BODLR} < 0,48$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 44ο βήμα.
42. Αν  $9,5 < \text{HLR} < 36,5$  και  $0,48 < \text{BODLR} < 2,40$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 44ο βήμα.
43. Διαφορετικά, τα δεδομένα δίνουν οργανική ή υδραυλική φόρτιση έξω από τα όρια και ζητείται από τον χρήστη νέα τιμή  $r$ . Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 34<sup>ο</sup> βήμα.
44. 
$$\text{nrec} = \frac{0,00044 * \text{HLR}}{0,6 * \text{BODLR}} \rightarrow \text{υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση } \text{nrect} = 1 / \text{nrec} \text{ υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα.}$$
45. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα.
46. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
47. Αν όχι, ζητείται από τον χρήστη να αυξήσει το βάθος (D) μέχρι την τιμή 2,4 m.
48.  $A = V / D \rightarrow \text{υπολογίζεται η επιφάνεια του φίλτρου (A).}$
49. 
$$\text{diam} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).}$$
50. 
$$\text{HLR} = \frac{(1+r)Q}{A} \rightarrow \text{υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).}$$
51. Αν  $1,0 < \text{HLR} < 3,5$  και  $0,08 < \text{BODLR} < 0,24$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 55ο βήμα.
52. Αν  $3,5 < \text{HLR} < 9,5$  και  $0,24 < \text{BODLR} < 0,48$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 55ο βήμα.
53. Αν  $9,5 < \text{HLR} < 36,5$  και  $0,48 < \text{BODLR} < 2,40$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 55ο βήμα.
54. Διαφορετικά, τα δεδομένα δίνουν οργανική ή υδραυλική φόρτιση έξω από τα όρια και ζητείται από τον χρήστη νέα τιμή D. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 48<sup>ο</sup> βήμα.
55. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα.
56. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

57. Αν όχι, γίνεται σχεδιασμός για φίλτρα 2 βαθμίδων.
58.  $(1-E_T) = (1-E_{1T})(1-E_{2T})$  και θεωρώντας ότι  $E_{1T} = E_{2T} = E_{iT} \rightarrow$  υπολογίζεται η ζητούμενη απόδοση ( $E_{iT}$ ) του κάθε φίλτρου στους  $T\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
59.  $E_{iT} = E_{i20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται η ζητούμενη απόδοση ( $E_{i20}$ ) του κάθε φίλτρου στους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
60.  $r$  και  $D$  λαμβάνονται οι τιμές που έχουν καταχωρηθεί πριν το  $55^{\circ}$  βήμα και θεωρείται ότι τα δύο φίλτρα έχουν το ίδιο βάθος ( $D$ ) και τον ίδιο λόγο επανακυκλοφορίας ( $r$ ).
61.  $W_1 = Q * L_o \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $W_1$ ).
62.  $E_{i20} = \frac{100}{1 + 0,4432 \sqrt{\frac{W_1}{V_1 F}}} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $V_1$ ).
63.  $A_1 = V_1 / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $A_1$ ).
64.  $\text{diam}_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $\text{diam}_1$ ).
65.  $\text{BODLR}_1 = W_1 / V_1 \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $\text{BODLR}_1$ ).
66.  $\text{HLR}_1 = \frac{(1+r)Q}{A_1} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση του  $1^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $\text{HLR}_1$ ).
67. Αν  $1,0 < \text{HLR}_1 < 3,5$  και  $0,08 < \text{BODLR}_1 < 0,24$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 71ο βήμα.
68. Αν  $3,5 < \text{HLR}_1 < 9,5$  και  $0,24 < \text{BODLR}_1 < 0,48$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 71ο βήμα.
69. Αν  $9,5 < \text{HLR}_1 < 36,5$  και  $0,48 < \text{BODLR}_1 < 2,40$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 71ο βήμα.
70. Διαφορετικά, τα δεδομένα δίνουν οργανική ή υδραυλική φόρτιση έξω από τα όρια και ζητούνται από τον χρήστη νέες τιμές για  $r$  και  $D$ . Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το  $61^{\circ}$  βήμα.
71.  $W_2 = W_1 (1-E_{iT}) \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο του  $2^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $W_2$ ).
72.  $E_{i20} = \frac{100}{1 + \frac{0,4432}{1-E_{i20}} \sqrt{\frac{W_2}{V_2 F}}} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του  $2^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $V_2$ ).
73.  $A_2 = V_2 / D \rightarrow$  υπολογίζεται η επιφάνεια του  $2^{\text{ου}}$  φίλτρου ( $A_2$ ).

74.  $\text{diam}_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{diam}_2$ ).
75.  $\text{BODLR}_2 = W_2 / V_2 \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{BODLR}_2$ ).
76.  $\text{HLR}_2 = \frac{(1+r)Q}{A_2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{HLR}_2$ ).
77. Αν  $1,0 < \text{HLR}_2 < 3,5$  και  $0,08 < \text{BODLR}_2 < 0,24$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 81ο βήμα.
78. Αν  $3,5 < \text{HLR}_2 < 9,5$  και  $0,24 < \text{BODLR}_2 < 0,48$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 81ο βήμα.
79. Αν  $9,5 < \text{HLR}_2 < 36,5$  και  $0,48 < \text{BODLR}_2 < 2,40$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 81ο βήμα.
80. Διαφορετικά, τα δεδομένα δίνουν οργανική ή υδραυλική φόρτιση έξω από τα όρια και ζητούνται από τον χρήστη νέες τιμές για  $r$  και  $D$ . Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 61<sup>ο</sup> βήμα.
81.  $\text{nrec}_1 = \frac{0,00044 * \text{HLR}_1}{0,6 * \text{BODLR}_1} \rightarrow$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{nrec}_1$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $\text{nrect}_1 = 1 / \text{nrec}_1$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{nrect}_1$ ).
82.  $\text{nrec}_2 = \frac{0,00044 * \text{HLR}_2}{0,6 * \text{BODLR}_2} \rightarrow$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{nrec}_2$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $\text{nrect}_2 = 1 / \text{nrec}_2$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $\text{nrect}_2$ ). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα.

#### 4.5.1.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για την παροχή των αποβλήτων ( $Q$ ), την εισερχόμενη συγκέντρωση BOD ( $Lo$ ), τη θερμοκρασία ( $T$ ) των αποβλήτων και τον αριθμό ( $n$ ) των φίλτρων.
2. Αν  $n=1$ , τότε ζητούνται τιμές για το βάθος ( $D$ ), τη διάμετρο ( $\text{diam}$ ) και το λόγο επανακυκλοφορίας ( $r$ ) του φίλτρου.
3.  $W = Q * Lo \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο ( $W$ ).

4.  $F = \frac{1+r}{(1+0,1r)^2} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής επανακυκλοφορίας (F).
5.  $V = \frac{\pi * D * diam^2}{4} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).
6.  $E_{20} = \frac{100}{1+0,4432\sqrt{\frac{W}{VF}}} \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση του φίλτρου ( $E_{20}$ ) στους 20 °C.
7.  $E_T = E_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση του φίλτρου ( $E_T$ ) στους T °C.
8.  $Le = Lo(1 - \frac{E_T}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD (Le) και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.
9. Αν στο 1<sup>ο</sup> βήμα ίσχυε  $n = 2$ , τότε ζητούνται από τον χρήστη τιμές για το βάθος ( $D_1$ ,  $D_2$ ), τη διάμετρο ( $diam_1$ ,  $diam_2$ ) και το λόγο επανακυκλοφορίας ( $r_1$ ,  $r_2$ ) των δύο φίλτρων.
10.  $W_1 = Q * Lo \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $W_1$ ).
11.  $F_1 = \frac{1+r_1}{(1+0,1r_1)^2} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής επανακυκλοφορίας του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $F_1$ ).
12.  $V_1 = \frac{\pi * D_1 * diam_1^2}{4} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $V_1$ ).
13.  $E_{120} = \frac{100}{1+0,4432\sqrt{\frac{W_1}{V_1F_1}}} \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $E_{120}$ ) στους 20°C.
14.  $E_{1T} = E_{120} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $E_{1T}$ ) στους T °C.
15.  $Le_1 = Lo (1 - \frac{E_{1T}}{100}) \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD ( $Le_1$ ) από το 1<sup>ο</sup> φίλτρο.
16.  $W_2 = Q * Le_1 \rightarrow$  υπολογίζεται το οργανικό φορτίο του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $W_2$ ).
17.  $F_2 = \frac{1+r_2}{(1+0,1r_2)^2} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής επανακυκλοφορίας του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $F_2$ ).
18.  $V_2 = \frac{\pi * D_2 * diam_2^2}{4} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $V_2$ ).



$$19. E_{220} = \frac{100}{1 + \frac{0,4432}{1 - E_{120}} \sqrt{\frac{W_2}{V_2 F_2}}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η απόδοση του } 2^{\text{ου}} \text{ φίλτρου (E}_{220}\text{) στους}$$

20°C.

$$20. E_{2T} = E_{220} (1,035)^{T-20} \rightarrow \text{υπολογίζεται η απόδοση του } 2^{\text{ου}} \text{ φίλτρου (E}_{2T}\text{) στους T } ^\circ\text{C}.$$

$$21. Le = Le_1 (1 - \frac{E_{2T}}{100}) \rightarrow \text{υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD (Le) από το } 2^{\text{o}} \text{ φίλτρο.}$$

$$22. E_T = \frac{Lo - Le}{Lo} * 100 \rightarrow \text{υπολογίζεται η συνολική απόδοση των 2 φίλτρων (E}_T\text{) στους}$$

T °C και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

23. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.

24. Αν όχι, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.

25. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

## 4.5.2 Μοντέλο Galler-Gotaas

### 4.5.2.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ζητείται από τον χρήστη να εισάγει τιμές για τη μέγιστη σχεδιαστική παροχή (Q), για το BOD εισροής (Lo), το BOD εκροής (Le) και τη θερμοκρασία των αποβλήτων (T).

2. Αρχικά θεωρείται  $r = 0$  και  $D = 0,9 \text{ m}$ .

$$3. Le = \frac{0.408(Lo + rLe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1 + r)^{0.78} (1 + 3.28D)^{0.67} diam^{0.25}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η διάμετρος (diam) του φίλτρου.}$$

$$4. BODLR = \frac{4 * Q * Lo}{\pi * D * diam^2} \rightarrow \text{υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).}$$

$$5. HLR = \frac{4Q(1 + r)}{\pi * diam^2} \rightarrow \text{υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).}$$

6. Αν  $9,5 < HLR < 36,5$  και  $0,48 < BODLR < 2,40$ , τότε από τη σχέση

$$nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR} \text{ υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα}$$

λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 17<sup>ο</sup> βήμα.

7. Διαφορετικά,  $D = D + 0,05$  (μέχρι  $D = 1,8$  m) και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 3<sup>ο</sup> βήμα.
8. Θεωρείται  $r = 0$  και  $D = 1,8$  m.
9.  $Le = \frac{0.408(Lo + rLe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} diam^{0.25}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος (diam) του φίλτρου.
10.  $BODLR = \frac{4 * Q * Lo}{\pi * D * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
11.  $HLR = \frac{4Q(1+r)}{\pi * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
12. Αν  $BODLR < 0,08$  ή  $HLR < 1,0$ , τότε  $D = D + 0,05$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 9<sup>ο</sup> βήμα, μέχρι  $D = 2,4$  m, οπότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 19<sup>ο</sup> βήμα.
13. Αν  $1,0 < HLR < 3,5$  και  $0,08 < BODLR < 0,24$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 17<sup>ο</sup> βήμα.
14. Αν  $3,5 < HLR < 9,5$  και  $0,24 < BODLR < 0,48$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 17<sup>ο</sup> βήμα.
15. Αν  $9,5 < HLR < 36,5$  και  $0,48 < BODLR < 2,4$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 17<sup>ο</sup> βήμα.
16. Σε κάθε διαφορετική περίπτωση, η οργανική ή η υδραυλική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.

17. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα.
18. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
19. Αν όχι, το βάθος (D) παραμένει σταθερό και θα αυξάνεται ο λόγος επανακυκλοφορίας (r) με αρχική τιμή 0,5.
20.  $Le = \frac{0.408(Lo + rLe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} diam^{0.25}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος (diam) του φίλτρου.
21.  $BODLR = \frac{4 * Q * Lo}{\pi * D * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
22.  $HLR = \frac{4Q(1+r)}{\pi * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
23. Αν  $BODLR < 0,08$  ή  $HLR < 1,0$ , τότε  $r = r + 0,1$  και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 20<sup>ο</sup> βήμα, μέχρι  $r = 4,0$ , οπότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 30<sup>ο</sup> βήμα.
24. Αν  $1,0 < HLR < 3,5$  και  $0,08 < BODLR < 0,24$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 28<sup>ο</sup> βήμα.
25. Αν  $3,5 < HLR < 9,5$  και  $0,24 < BODLR < 0,48$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 28<sup>ο</sup> βήμα.
26. Αν  $9,5 < HLR < 36,5$  και  $0,48 < BODLR < 2,4$ , τότε από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα έως τώρα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 28<sup>ο</sup> βήμα.
27. Σε κάθε διαφορετική περίπτωση, η οργανική ή η υδραυλική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.

28. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα.
29. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
30. Αν όχι, γίνεται σχεδιασμός για φίλτρα 2 βαθμίδων.
31.  $r$  και  $D$  λαμβάνονται οι τιμές που έχουν καταχωρηθεί πριν το 28<sup>ο</sup> βήμα και θεωρείται ότι τα δύο φίλτρα έχουν το ίδιο βάθος ( $D$ ) και τον ίδιο λόγο επανακυκλοφορίας ( $r$ ).
32. Θεωρείται  $diam_1 = diam / 2$ .
33.  $Le_1 = \frac{0.408(Lo + rLe_1)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} diam_1^{0.25}} \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου από το 1<sup>ο</sup> φίλτρο BOD ( $Le_1$ ).
34.  $E_1 = \frac{Lo - Le_1}{Le_1} \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης ( $E_1$ ) του 1<sup>ου</sup> φίλτρου.
35.  $BODLR_1 = \frac{4 * Q * Lo}{\pi * D * diam_1^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $BODLR_1$ ).
36.  $HLR_1 = \frac{4Q(1+r)}{\pi * diam_1^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση του 1<sup>ου</sup> φίλτρου ( $HLR_1$ ).
37. Αν  $1,0 < HLR < 3,5$  και  $0,08 < BODLR < 0,24$  ή  $3,5 < HLR < 9,5$  και  $0,24 < BODLR < 0,48$  ή  $9,5 < HLR < 36,5$  και  $0,48 < BODLR < 2,4$ , τότε ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 39<sup>ο</sup> βήμα.
38. Σε διαφορετική περίπτωση, η οργανική ή η υδραυλική φόρτιση του 1<sup>ου</sup> φίλτρου είναι εκτός ορίων και ζητούνται από τον χρήστη νέες τιμές για το βάθος ( $D$ ) και τον λόγο επανακυκλοφορίας ( $r$ ) του κάθε φίλτρου. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 32<sup>ο</sup> βήμα.
39.  $Le = \frac{0,408(Le_1 + rLe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3,28D)^{0.67} diam_2^{0.25} (1 - E_1/100)^{0.4}} \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου από το 2<sup>ο</sup> φίλτρο BOD ( $Le$ ).
40.  $BODLR_2 = \frac{4 * Q * Le_1}{\pi * D * diam_{21}^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $BODLR_2$ ).
41.  $HLR_2 = \frac{4Q(1+r)}{\pi * diam_2^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση του 2<sup>ου</sup> φίλτρου ( $HLR_2$ ).

$$42. nrec_1 = \frac{0,00044 * HLR_1}{0,6 * BODLR_1} \rightarrow \text{υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα του } 1^{ου}$$

φίλτρου ( $nrec_1$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect_1 = 1 / nrec_1$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα του  $1^{ου}$  φίλτρου ( $nrect_1$ ).

$$43. nrec_2 = \frac{0,00044 * HLR_2}{0,6 * BODLR_2} \rightarrow \text{υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα του } 2^{ου}$$

φίλτρου ( $nrec_2$ ) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect_2 = 1 / nrec_2$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα του  $2^{ου}$  φίλτρου ( $nrect_2$ ).

Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα.

#### 4.5.2.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για την παροχή των αποβλήτων (Q), την εισερχόμενη συγκέντρωση BOD ( $Lo$ ), τη θερμοκρασία (T) των αποβλήτων και τον αριθμό (n) των φίλτρων.

2. Αν  $n=1$ , τότε ζητούνται τιμές για το βάθος (D), τη διάμετρο (diam) και το λόγο επανακυκλοφορίας (r) του φίλτρου.

$$3. Le = \frac{0.408(Lo + rLe)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r)^{0.78} (1+3.28D)^{0.67} diam^{0.25}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD (Le).}$$

$$4. E = \frac{Lo - Le}{Lo} * 100 \rightarrow \text{υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης (E) και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.}$$

5. Αν στο  $1^{ο}$  βήμα ίσχυε  $n = 2$ , τότε ζητούνται από τον χρήστη τιμές για το βάθος ( $D_1$ ,  $D_2$ ), τη διάμετρο ( $diam_1$ ,  $diam_2$ ) και το λόγο επανακυκλοφορίας ( $r_1$ ,  $r_2$ ) των δύο φίλτρων.

$$6. Le_1 = \frac{0.408(Lo + r_1 Le_1)^{1.19} Q^{0.13}}{T^{0.15} (1+r_1)^{0.78} (1+3.28D_1)^{0.67} diam_1^{0.25}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου από το } 1^{ο} \text{ φίλτρο BOD (Le}_1\text{).}$$

$$7. E_1 = \frac{Lo - Le_1}{Lo} * 100 \rightarrow \text{υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης (E}_1\text{) του } 1^{ου} \text{ φίλτρου.}$$

$$8. \quad Le = \frac{0,408(Le_1 + r_2 Le)^{1,19} Q^{0,13}}{T^{0,15} (1 + r_2)^{0,78} (1 + 3,28 D_2)^{0,67} diam_2^{0,25} (1 - E_1/100)^{0,4}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η}$$

συγκέντρωση του εξερχόμενου από το 2<sup>ο</sup> φίλτρο BOD (Le).

$$9. \quad E_2 = \frac{Le_1 - Le}{Le_1} * 100 \rightarrow \text{υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης (E}_2\text{) του 2}^{ου}\text{ φίλτρου.}$$

$$10. \quad E = \frac{Lo - Le}{Lo} * 100 \rightarrow \text{υπολογίζεται η συνολική απόδοση απομάκρυνσης (E) των δύο}$$

φίλτρων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

11. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.

12. Αν όχι, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.

13. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

### 4.5.3 Μοντέλο Germain

#### 4.5.3.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ζητείται από τον χρήστη να εισάγει τιμές για τη μέγιστη σχεδιαστική παροχή (Q), για το BOD εισροής (Lo), το BOD εκροής (Le) και τη θερμοκρασία των αποβλήτων (T).
2. Πραγματοποιείται ένας βρόγχος επανάληψης για το βάθος (D) με αρχική τιμή 4,0 m, τελική 12,0 m και βήμα 0,05 m. Ο βρόγχος αυτός περιλαμβάνει:

- $k_{20} = 0,21 \left( \frac{6,1}{D} \right)^{0,5} \left( \frac{150}{Lo} \right)^{0,5} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο συντελεστής k στους 20 } ^\circ\text{C.}$

- $k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο συντελεστής k στους T } ^\circ\text{C.}$

- $HLR = \left( \frac{k * D}{\ln Lo/Le} \right)^2 \rightarrow \text{υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).}$

- $diam = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * HLR}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).}$

- $V = \frac{\pi * D * diam^2}{4} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).}$

- $BODLR = \frac{Q * Lo}{V} \rightarrow \text{υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).}$

- Αν  $HLR < 14,0$ , ο βρόγχος συνεχίζει να επαναλαμβάνεται.

- Αν  $HLR > 85,5$  ή  $BODLR > 4,8$ , τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
- Αν  $14,0 < HLR < 85,5$  και  $BODLR < 4,8$ , τότε σταματάει η επανάληψη του βρόγχου και ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 3<sup>ο</sup> βήμα.
- Αν  $HLR < 14,0$  και  $D = 12,0$  m, τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.

$$3. \quad nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR} \rightarrow \text{υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα}$$

λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα.

4. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.

5. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

6. Αν όχι, ζητείται από τον χρήστη νέα τιμή για το επιθυμητό βάθος (D).

$$7. \quad k_{20} = 0,21 \left( \frac{6,1}{D} \right)^{0,5} \left( \frac{150}{Lo} \right)^{0,5} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο συντελεστής k στους } 20^\circ \text{C}.$$

$$8. \quad k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο συντελεστής k στους } T^\circ \text{C}.$$

$$9. \quad HLR = \left( \frac{k * D}{\ln Lo / Le} \right)^2 \rightarrow \text{υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR)}.$$

$$10. \quad diam = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * HLR}} \rightarrow \text{υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam)}.$$

$$11. \quad V = \frac{\pi * D * diam^2}{4} \rightarrow \text{υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V)}.$$

$$12. \quad BODLR = \frac{Q * Lo}{V} \rightarrow \text{υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR)}.$$

13. Αν  $HLR < 14,0$  ή  $HLR > 85,5$  ή  $BODLR > 4,8$ , τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ζητείται από τον χρήστη νέα τιμή για το βάθος (D). Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 7<sup>ο</sup> βήμα.

$$14. \quad \text{Διαφορετικά, από τη σχέση } nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR} \text{ υπολογίζονται οι περιστροφές του}$$

διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 4<sup>ο</sup> βήμα.

### 4.5.3.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για την παροχή των αποβλήτων (Q), την εισερχόμενη συγκέντρωση BOD ( $L_o$ ), τη θερμοκρασία (T) των αποβλήτων, το βάθος (D) και τη διάμετρο (diam) του φίλτρου.
2.  $k_{20} = 0,21 \left( \frac{6,1}{D} \right)^{0,5} \left( \frac{150}{L_o} \right)^{0,5} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους 20 °C.
3.  $k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους T °C.
4.  $HLR = \frac{4 * Q}{\pi * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
5.  $\frac{L_e}{L_o} = e^{-\frac{kD}{HLR^{0,5}}} \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD ( $L_e$ ).
6.  $E = \frac{L_o - L_e}{L_o} * 100 \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης (E) και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.
7. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.
8. Αν όχι, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
9. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

### 4.5.4 Μοντέλο Eckenfelder

#### 4.5.4.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ζητείται από τον χρήστη να εισάγει τιμές για τη μέγιστη σχεδιαστική παροχή (Q), για το BOD εισροής ( $L_o$ ), το BOD εκροής ( $L_e$ ) και τη θερμοκρασία των αποβλήτων (T).
2. Πραγματοποιείται ένας βρόγχος επανάληψης για τον λόγο επανακυκλοφορίας (r) με αρχική τιμή 0, τελική 4,0 και βήμα 0,1. Μέσα στο βρόγχο αυτό πραγματοποιείται ένας άλλος βρόγχος επανάληψης για το βάθος (D) με αρχική τιμή 4,0 m, τελική 12,0 m και βήμα 0,05 m. Οι δύο βρόγχοι περιλαμβάνουν:
  - $k_{20} = 0,21 \left( \frac{6,1}{D} \right)^{0,5} \left( \frac{150}{L_o} \right)^{0,5} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους 20 °C.
  - $k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους T °C.



- $\frac{L_e}{L_o} = \frac{\exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]}{1 + r + r * \exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
  - $diam = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * HLR}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).
  - $V = \frac{\pi * D * diam^2}{4} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).
  - $BODLR = \frac{Q * L_o}{V} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
  - Αν  $HLR < 14,0$ , ο βρόγχος συνεχίζει να επαναλαμβάνεται.
  - Αν  $HLR > 85,5$  ή  $BODLR > 4,8$ , τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
  - Αν  $14,0 < HLR < 85,5$  και  $BODLR < 4,8$ , τότε σταματάει η επανάληψη του βρόγχου και ο αλγόριθμος μεταπηδά στο 3<sup>ο</sup> βήμα.
  - Αν  $HLR < 14,0$  και  $r = 4,0$  και  $D = 12,0$  m, τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
3.  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR} \rightarrow$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα.
4. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.
5. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
6. Αν όχι, ζητούνται από τον χρήστη νέες τιμές για το επιθυμητό βάθος (D) και για τον επιθυμητό λόγο επανακυκλοφορίας (r).
7.  $k_{20} = 0,21 \left(\frac{6,1}{D}\right)^{0,5} \left(\frac{150}{L_o}\right)^{0,5} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους 20 °C.
8.  $k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους T °C.
9.  $\frac{L_e}{L_o} = \frac{\exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]}{1 + r + r * \exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
10.  $diam = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * HLR}} \rightarrow$  υπολογίζεται η διάμετρος του φίλτρου (diam).

11.  $V = \frac{\pi * D * diam^2}{4} \rightarrow$  υπολογίζεται ο όγκος του φίλτρου (V).
12.  $BODLR = \frac{Q * Lo}{V} \rightarrow$  υπολογίζεται η οργανική φόρτιση (BODLR).
13. Αν  $HLR < 14,0$  ή  $HLR > 85,5$  ή  $BODLR > 4,8$ , τότε η υδραυλική ή η οργανική φόρτιση είναι εκτός ορίων και ζητούνται από τον χρήστη νέες τιμές για το βάθος (D) και τον λόγο επανακυκλοφορίας (r). Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 7<sup>ο</sup> βήμα.
14. Διαφορετικά, από τη σχέση  $nrec = \frac{0,00044 * HLR}{0,6 * BODLR}$  υπολογίζονται οι περιστροφές του διανομέα (nrec) σε ένα λεπτό και από τη σχέση  $nrect = 1 / nrec$  υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για μία περιστροφή του διανομέα (nrect). Παρουσιάζονται στον χρήστη τα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 4<sup>ο</sup> βήμα.

#### 4.5.4.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για την παροχή των αποβλήτων (Q), την εισερχόμενη συγκέντρωση BOD (Lo), τη θερμοκρασία (T) των αποβλήτων, το βάθος (D), τη διάμετρο (diam) του φίλτρου και τον λόγο επανακυκλοφορίας (r).
2.  $k_{20} = 0,21 \left( \frac{6,1}{D} \right)^{0,5} \left( \frac{150}{Lo} \right)^{0,5} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους 20 °C.
3.  $k = k_{20} (1,035)^{T-20} \rightarrow$  υπολογίζεται ο συντελεστής k στους T °C.
4.  $HLR = \frac{4 * Q}{\pi * diam^2} \rightarrow$  υπολογίζεται η υδραυλική φόρτιση (HLR).
5.  $\frac{L_e}{L_o} = \frac{\exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]}{1 + r + r * \exp\left[-\frac{kD}{HLR^{0,5}}\right]} \rightarrow$  υπολογίζεται η συγκέντρωση του εξερχόμενου BOD (Le).
6.  $E = \frac{Lo - Le}{Lo} * 100 \rightarrow$  υπολογίζεται η απόδοση απομάκρυνσης (E) και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.
7. Ο χρήστης ερωτάται αν είναι ικανοποιημένος από τα αποτελέσματα.
8. Αν όχι, ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται από το 1<sup>ο</sup> βήμα.
9. Αν ναι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

**Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας βιολογικών φίλτρων (NRC\_1, NRC\_2, Galler-Gotaas-1, Galler-Gotaas\_2, Germain\_1, Germain\_2, Eckenfelder\_1, Eckenfelder\_2) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.**

## 4.6 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

### 4.6.1 Αλγόριθμος Σχεδιασμού

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για τη μέγιστη ( $Q_{max}$ ), την ελάχιστη ( $Q_{min}$ ) και τη μέση ( $Q_{ave}$ ) παροχή των αποβλήτων, την αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (SS) και την αρχική συγκέντρωση  $BOD_5$  (BOD). Οι τιμές αυτές εισάγονται, όπου χρειαστούν, στις διαδικασίες τύπου *Subroutine*.
2. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να σχεδιάσει διάταξη μέτρησης ροής.
3. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Flow\_measurement\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Flow\_measurement\_1*.
4. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
5. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να σχεδιάσει διάταξη εσχάρωσης των αποβλήτων.
6. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Screening\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Screening\_1*.
7. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
8. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να σχεδιάσει διάταξη εξάμμωσης των αποβλήτων.
9. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Grit\_chambers\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Grit\_chambers\_1*.
10. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
11. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να σχεδιάσει δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης των αποβλήτων.
12. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Primary\_sedimentation\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Primary\_sedimentation\_1*.
13. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
14. Ο χρήστης ερωτάται αν επιθυμεί να σχεδιάσει βιολογικά φίλτρα.
15. Αν όχι, το πρόγραμμα τερματίζεται.
16. Αν ναι, τότε ερωτάται αν τα βιολογικά φίλτρα θα έχουν ορυκτό ή πλαστικό διηθητικό μέσο.
17. Αν έχουν ορυκτό μέσο, τότε καλείται η διαδικασία *NRC\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *NRC\_1*, και στη συνέχεια καλείται η διαδικασία *Galler\_Gotaas\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Galler\_Gotaas\_1*. Το BOD εισροής στις

διαδικασίες αυτές είναι το ίδιο με το αρχικό BOD ή με το BOD εκροής από την πρωτοβάθμια καθίζηση, αν αυτή υπάρχει.

18. Αν έχουν πλαστικό μέσο, τότε καλείται η διαδικασία *Germain\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Germain\_1*, και στη συνέχεια καλείται η διαδικασία *Eckenfelder\_1*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Eckenfelder\_1*. Το BOD εισροής στις διαδικασίες αυτές είναι το ίδιο με το αρχικό BOD ή με το BOD εκροής από την πρωτοβάθμια καθίζηση, αν αυτή υπάρχει.

#### **4.6.2 Αλγόριθμος Ελέγχου Λειτουργίας**

1. Ζητούνται από τον χρήστη τιμές για την παροχή (Q) των αποβλήτων, την αρχική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (SS) και την αρχική συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> (BOD). Οι τιμές αυτές εισάγονται, όπου χρειαστούν, στις διαδικασίες τύπου *Subroutine*.
2. Ο χρήστης ερωτάται αν η εγκατάσταση διαθέτει διάταξη μέτρησης της ροής.
3. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Flow\_measurement\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Flow\_measurement\_2*.
4. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
5. Ο χρήστης ερωτάται αν η εγκατάσταση διαθέτει διάταξη εσχάρωσης των αποβλήτων.
6. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Screening\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Screening\_2*.
7. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
8. Ο χρήστης ερωτάται αν η εγκατάσταση διαθέτει διάταξη εξάμμωσης των αποβλήτων.
9. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Grit\_chambers\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Grit\_chambers\_2*.
10. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
11. Ο χρήστης ερωτάται αν η εγκατάσταση διαθέτει δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης των αποβλήτων.
12. Αν ναι, τότε καλείται η διαδικασία *Primary\_sedimentation\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Primary\_sedimentation\_2*.
13. Αν όχι, ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα.
14. Ο χρήστης ερωτάται αν η εγκατάσταση διαθέτει βιολογικά φίλτρα.
15. Αν όχι, το πρόγραμμα τερματίζεται.

16. Αν ναι, τότε ερωτάται αν τα βιολογικά φίλτρα έχουν ορυκτό ή πλαστικό διηθητικό μέσο.
17. Αν έχουν ορυκτό μέσο, τότε καλείται η διαδικασία *NRC\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *NRC\_2*, και στη συνέχεια καλείται η διαδικασία *Galler\_Gotaas\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Galler\_Gotaas\_2*. Το BOD εισροής στις διαδικασίες αυτές είναι το ίδιο με το αρχικό BOD ή με το BOD εκροής από την πρωτοβάθμια καθίζηση, αν αυτή υπάρχει.
18. Αν έχουν πλαστικό μέσο, τότε καλείται η διαδικασία *Germain\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Germain\_2*, και στη συνέχεια καλείται η διαδικασία *Eckenfelder\_2*, η οποία είναι ίδια με το πρόγραμμα *Eckenfelder\_2*. Το BOD εισροής στις διαδικασίες αυτές είναι το ίδιο με το αρχικό BOD ή με το BOD εκροής από την πρωτοβάθμια καθίζηση, αν αυτή υπάρχει.

**Τα προγράμματα, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 90/95, σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (DESIGN, SIMULATION) παρουσιάζονται στο Παράρτημα.**

## **5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:** **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν τα προγράμματα σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας των διαφόρων διατάξεων επεξεργασίας και ειδικότερα των βιολογικών φίλτρων. Το κάθε πρόγραμμα που αναφέρεται σε βιολογικά φίλτρα είναι βασισμένο σε διαφορετικό μαθηματικό μοντέλο. Έπειτα από μελέτη όλης της νεότερης βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν 14 μαθηματικά μοντέλα για την εύρεση της απόδοσης σε συστήματα βιολογικών φίλτρων. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται περισσότερο και κάποια λιγότερο. Επίσης, κάθε μοντέλο ενδείκνυται για συγκεκριμένα φίλτρα και για συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας. Συγκρίνοντας τα προγράμματα μεταξύ τους, προκύπτουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για τα μαθηματικά μοντέλα των βιολογικών φίλτρων. Τα συμπεράσματα αυτά παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Αρκετά μοντέλα (Lamb – Owen, Bruce – Merkens, Oleskiewicz) βρέθηκαν να υπάρχουν σε παλαιά κυρίως βιβλία, ενώ σε βιβλία και άρθρα από το 1997 και μετά, τα συγκεκριμένα μοντέλα δεν αναφέρονται καθόλου. Η ελλιπής αυτή πληροφόρηση δεν επέτρεψε να δημιουργηθούν προγράμματα σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας βασισμένα στα μοντέλα αυτά και μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα συγκεκριμένα μοντέλα δεν χρησιμοποιούνται πλέον για την εύρεση της απόδοσης.
- Παρατηρήθηκαν αρκετές σημαντικές διαφορές στους μαθηματικούς τύπους των ίδιων μοντέλων, ανάμεσα στα διάφορα βιβλία που μελετήθηκαν. Συχνά οι τύποι αναφέρονταν σε διαφορετικό σύστημα μέτρησης (British and S.I.), αλλά και όταν ανάχθηκαν στο ίδιο σύστημα οι διαφορές εξομαλύνονταν, αλλά δεν έπαυαν να υπάρχουν. Δημιουργήθηκαν προγράμματα για όλες τις πιθανές εκδοχές του ίδιου μοντέλου και στο τέλος υιοθετήθηκε η εκδοχή που προσομοίαζε περισσότερο την πραγματικότητα. Για παράδειγμα, με τη χρησιμοποίηση των τύπων του W.E.F. (Water Environment Federation) για το μοντέλο του Eckenfelder, υπολογίστηκε ότι ένα βιολογικό φίλτρο που δέχεται  $15.000 \text{ m}^3/\text{d}$  και έχει βάθος 8,0 m, πρέπει να έχει διάμετρο 0,5 m!
- Ακόμη, σε αρκετά μοντέλα ήταν εμφανή κάποια τυπογραφικά λάθη, τα οποία αν δεν είχαν παρατηρηθεί, αλλά ενσωματώνονταν μέσα στα προγράμματα, θα αλλοίωναν κατά πολύ τα αποτελέσματα. Το αξιοσημείωτο είναι πως τα ίδια τυπογραφικά λάθη υπήρχαν και σε παλαιότερες εκδόσεις των ίδιων βιβλίων, πράγμα που αποδεικνύει την προχειρότητα με την οποία παρουσιάζονται οι τύποι ακόμη και σε έργα μεγάλων εκδοτικών οίκων, που ανατίθενται σε πολυάριθμη ομάδα συγγραφέων. Είναι ακόμη ενδεικτικό ότι μόνο δύο (2) από τα μαθηματικά μοντέλα επιλύονται ως παράδειγμα ενώ στα υπόλοιπα δώδεκα (12) δεν υπάρχει εφαρμογή, ώστε να εντοπιστούν οι ατέλειες και τα λάθη.

Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν προγράμματα για τα μοντέλα NRC, Galler-Gotaas, Germain, Eckenfelder και η σύγκριση αυτών των προγραμμάτων οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:



- Το μοντέλο NRC αν και είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο μοντέλο για σχεδιασμό βιολογικών φίλτρων με ορυκτό διηθητικό μέσο, δίνει πολύ μεγάλα αποτελέσματα για τη διάμετρο των φίλτρων (περίπου 115 m!!). Η κατάσταση εξομαλύνεται κάπως, αν τα βιολογικά φίλτρα που σχεδιάζονται είναι διπλής βαθμίδας. Αποτέλεσμα αυτής της ανωμαλίας είναι ότι όταν εισάγεται στο πρόγραμμα ελέγχου λειτουργίας κανονική τιμή για τη διάμετρο (25 m), η απόδοση απομάκρυνσης BOD προκύπτει να είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (67,4 %).
- Το μοντέλο Galler-Gotaas χρησιμοποιείται και αυτό για το σχεδιασμό βιολογικών φίλτρων με ορυκτό διηθητικό μέσο και παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με το μοντέλο NRC, με μικρότερη όμως απόκλιση από την πραγματικότητα. Συγκεκριμένα στο μοντέλο Galler-Gotaas η απόδοση για φίλτρο με διάμετρο 25 m είναι 84,4 %, ενώ με το NRC και για τα ίδια δεδομένα ήταν 67,4 %. Το κυριότερο πρόβλημα του μοντέλου είναι ότι όταν σχεδιάζονται βιολογικά φίλτρα δύο βαθμίδων, η εξίσωση υπολογισμού της διαμέτρου του δεύτερου φίλτρου δίνει πολύ μικρά αποτελέσματα για τη διάμετρο (γύρω στα 4 m), με συνέπεια να υπερβαίνονται τα όρια των οργανικών και υδραυλικών φορτίσεων και να καθίσταται αδύνατος ο σχεδιασμός του δεύτερου κατά σειρά φίλτρου.
- Το μοντέλο Germain εφαρμόζεται για φίλτρα με πλαστικό μέσο και δίνει σχετικά καλά αποτελέσματα (υπολογιζόμενη διάμετρος 18 m για βάθος φίλτρου 4 m και εισροή 15.000 m<sup>3</sup>/d), αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις περιπτώσεις, αφού δεν προβλέπει επανακυκλοφορία και φίλτρα πολλαπλών βαθμίδων.
- Τέλος, το μοντέλο Eckenfelder είναι παρόμοιο με το Germain και δίνει τα ίδια αποτελέσματα, με τη διαφορά ότι αυτό προβλέπει επανακυκλοφορία, και μπορεί κατ' αυτόν τον τρόπο να μειωθεί κατά πολύ ο απαιτούμενος όγκος του υπό σχεδιασμού φίλτρου.

## **6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:** **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Στο τελευταίο κεφάλαιο, αυτό του Παραρτήματος, παρουσιάζονται κατά σειρά τα ακόλουθα προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90/95:

- 1) Flow\_measurement\_1
- 2) Flow\_measurement\_2
- 3) Screening\_1
- 4) Screening\_2
- 5) Grit\_chambers\_1
- 6) Grit\_chambers\_2
- 7) Primary\_sedimentation\_1
- 8) Primary\_sedimentation\_2
- 9) NRC\_1
- 10) NRC\_2
- 11) Galler\_Gotaas\_1
- 12) Galler\_Gotaas\_2
- 13) Germain\_1
- 14) Germain\_2
- 15) Eckenfelder\_1
- 16) Eckenfelder\_2
- 17) DESIGN
- 18) SIMULATION

## PROGRAM DESIGN

! συνολικό πρόγραμμα για σχεδιασμό εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

IMPLICIT NONE

! δηλώσεις:

REAL :: Qmax, Qmin, Qave, SS, BOD

CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4, answer5, answer6

! εκφράσεις

10 PRINT\*, 'Type a value for the maximum design flow (Qmax) in m3/d'

READ\*, Qmax

PRINT\*, 'Type a value for the minimum flow (Qmin) in m3/d'

READ\*, Qmin

PRINT\*, 'Type a value for the average flow (Qave) in m3/d'

READ\*, Qave

case1: IF (Qmax>Qave.AND.Qave>Qmin) THEN

ELSE

PRINT\*, 'It must be Qmax>Qave>Qmin!'

GOTO 10

END IF case1

PRINT\*, 'Type a value for the initial concentration of SS in mg/L'

20 PRINT\*, 'range: 150 - 400 mg/L'

READ\*, SS

SS1: SELECT CASE (SS<150.0.OR.SS>400.)

CASE (.TRUE.)

PRINT\*, 'Make sure of the value and please type again!'

GOTO 20

CASE DEFAULT

END SELECT SS1

PRINT\*, 'Type a value for the initial concentration of BOD5 in mg/L'

30 PRINT\*, 'range: 210 - 300 mg/L'

READ\*, BOD

BOD1: SELECT CASE (BOD<210.0.OR.BOD>300.)

CASE (.TRUE.)

PRINT\*, 'Make sure of the value and please type again!'

GOTO 30

CASE DEFAULT

END SELECT BOD1

```

PRINT*, 'Do you want to design a device for flow measurement?'
40 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
   READ*, answer1

   case2: IF (answer1=='y') THEN
         CALL Flow_measurement_1 (Qmax)
   ELSE IF (answer1=='n') THEN
   ELSE
         PRINT*, 'WRONG!'
         ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
         GOTO 40
   END IF case2

PRINT*, 'Do you want to design a screening device?'
50 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
   READ*, answer2

   case3: IF (answer2=='y') THEN
         CALL Screening_1 (Qmax)
   ELSE IF (answer2=='n') THEN
   ELSE
         PRINT*, 'WRONG!'
         ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
         GOTO 50
   END IF case3

PRINT*, 'Do you want to design a degritting unit?'
60 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
   READ*, answer3

   case4: IF (answer3=='y') THEN
         CALL Grit_chambers_1 (Qmax,Qmin)
   ELSE IF (answer3=='n') THEN
   ELSE
         PRINT*, 'WRONG!'
         ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
         GOTO 60
   END IF case4

PRINT*, 'Do you want to design tanks for primary sedimentation?'
70 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
   READ*, answer4

   case5: IF (answer4=='y') THEN
         CALL Primary_sedimentation_1 (Qave,SS,BOD)
   ELSE IF (answer4=='n') THEN
   ELSE

```

```

        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
        GOTO 70
    END IF case5

    PRINT*, 'Do you want to design trickling filters?'
80    PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer5

    case6: IF (answer5=='y') THEN

        PRINT*, 'Do you want to use rock or plastic media filter?'
90    PRINT*, "Type 'r' for rock or 'p' for plastic!"
        READ*, answer6

        case7: IF (answer6=='r') THEN
            PRINT*, 'Using the NRC model:'
            PRINT*, ''
            CALL NRC_1 (Qmax,BOD)
            PRINT*, 'Using the Galler-Gotaas model:'
            PRINT*, ''
            CALL Galler_Gotaas_1 (Qmax,BOD)

        ELSE IF (answer6=='p') THEN
            PRINT*, 'Using the Germain model:'
            PRINT*, ''
            CALL Germain_1 (Qmax,BOD)
            PRINT*, 'Using the Eckenfelder model:'
            PRINT*, ''
            CALL Eckenfelder_1 (Qmax,BOD)

        ELSE
            PRINT*, 'WRONG!'
            ! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
            GOTO 90
        END IF case7

    ELSE IF (answer5=='n') THEN
    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
        GOTO 80
    END IF case6

CONTAINS

SUBROUTINE Flow_measurement_1 (Q)

```

```

! δηλώσεις:
    REAL :: Q, h
    ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL :: Qtrial, J
    ! ενδιάμεσες μεταβλητές εισόδου
    REAL :: B, L
    ! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
    CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4

! εκφράσεις:
10    PRINT*, 'You want to use Parshall flume or weir to measure the flow?'
    PRINT*, 'Type p for Parshall flume or w for weir!'
    READ*, answer1

    case1: IF (answer1=='p') THEN

        Q=Q/86400.
        Q=Q/0.02832

        PRINT*, 'Type a value for the desirable head of wastewater (h) in
meters'
20    PRINT*, 'range: 0,2 - 1,5 m'
        READ*, h

        head1: SELECT CASE (h<0.2.OR.h>1.5)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                GOTO 20
            CASE DEFAULT
                h=h/0.3048
        END SELECT head1

        B=3.
30    Qtrial=4*B*(h**(1.522*(B**0.026)))
        J=((Qtrial-Q)/Q)

        case2: IF (J>0.001) THEN
            B=B+0.005*(Q-Qtrial)
            GOTO 30
        ELSE
        END IF case2

        B=B*0.3048
        h=h*0.3048
        Q=Q*0.02832
        Q=Q*86400.

```

```

PRINT*, 'The width of stenosis (B) must be in meters.'
PRINT*, B
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer4

case3: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'You will run again this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_1_output'"
    OPEN (10,FILE='Flow_measurement_1_output.dat')
    WRITE (10,('For maximum flow Q=",f7.1," m3/d and
desirble head h=",f4.2," m:"))Q,h
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('-----
-----'))
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('The width of stenosis (B) must be ",f5.3,"
m"))B

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 40
END IF case3

ELSE IF (answer1=='w') THEN
PRINT*, 'You want to use a rectangular-notch or a V-notch weir?'
PRINT*, 'Type r for rectangular-notch or v for V-notch weir!'
READ*, answer2

case4: IF (answer2=='r') THEN

    Q=Q/86400.
    Q=Q/0.02832

    PRINT*, 'Type a value for the desirble head of wastewater
(h) in meters, before the weir'
    PRINT*, 'range: 0.2 - 2 m'
    READ*, h

    head2: SELECT CASE (h<0.2.OR.h>2.)
        CASE (.TRUE.)
            PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

            GOTO 60
        CASE DEFAULT
            h=h/0.3048

```

```

END SELECT head2

L=Q/(3.367*(h**1.5))
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.
h=h*0.3048
L=L*0.3048

PRINT*, 'The width of the rectangular weir (L) must be in
meters:'

PRINT*, L
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
70 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer4

case5: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'You will run again this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file
'Flow_measurement_1_output'"
    OPEN
(10,FILE='Flow_measurement_1_output.dat')
    WRITE (10,('For maximum flow Q=",f7.1," m3/d
and desirble head h=",f4.2," m:'))Q,h
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('-----
-----'))
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('The width of the rectangular weir (L)
must be ",f5.3," m"))L
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 70
END IF case5

ELSE IF (answer2=='v') THEN
80 PRINT*, 'What angle do you want to have the V-notch
weir?'

PRINT*, 'Type a for 30 degrees, b for 45, c for 60 or d for
90!'

READ*, answer3

case6: IF (answer3=='a') THEN

    Q=Q/86400.
    Q=Q/0.02832

```



```

OPEN
(10,FILE='Flow_measurement_1_output.dat')

h=(Q/0.685)**(1/2.45)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

head3: IF (h<0.1.OR.h>3.) THEN
    PRINT*, 'The existing flow (Q) gives
unnatural values of head (h)!'
    PRINT*, 'Please start again running this
program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF head3

PRINT*, 'The head (h) before the V-notch must be
in meters:'

PRINT*, h
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer4

case7: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'You will run again this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file
'Flow_measurement_1_output'"
    WRITE (10,('For maximum flow
Q=",f7.1," m3/d:")')Q
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----
-----"'))
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('The upstream head (h) before
the 30 V-notch must be ",f4.2," meters.")')h
    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 90
    END IF case7

ELSE IF (answer3=='b') THEN

    Q=Q/86400.

```

Q=Q/0.02832

OPEN

(10,FILE='Flow\_measurement\_1\_output.dat')

h=(Q/1.035)\*\*(1/2.50)

h=h\*0.3048

Q=Q\*0.02832

Q=Q\*86400.

head4: IF (h<0.1.OR.h>3.) THEN

unnatural values of head (h)!

PRINT\*, 'The existing flow (Q) gives

program!'

PRINT\*, 'Please start again running this

GOTO 10

ELSE

END IF head4

in meters:'

PRINT\*, 'The head (h) before the V-notch must be

PRINT\*, h

PRINT\*, 'Are you satisfied with the result?'

100

PRINT\*, 'Type y for yes or n for no!'

READ\*, answer4

case8: IF (answer4=='n') THEN

PRINT\*, 'You will run again this program!'

GOTO 10

ELSE IF (answer4=='y') THEN

'Flow\_measurement\_1\_output'

PRINT\*, "Open the file

Q=",f7.1," m3/d:")Q

WRITE (10,('For maximum flow

WRITE (10,(' " "')

-----")')

WRITE (10,('-----

WRITE (10,(' " "')

the 45 V-notch must be ",f4.2," meters.")h

WRITE (10,('The upstream head (h) before

ELSE

PRINT\*, 'WRONG!'

!ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση

GOTO 100

END IF case8

ELSE IF (answer3=='c') THEN

Q=Q/86400.  
Q=Q/0.02832

OPEN

(10,FILE='Flow\_measurement\_1\_output.dat')

h=(Q/1.443)\*\*(1/2.50)  
h=h\*0.3048  
Q=Q\*0.02832  
Q=Q\*86400.

head5: IF (h<0.1.OR.h>3.) THEN

unnatural values of head (h)!'  
program!'

PRINT\*, 'The existing flow (Q) gives

PRINT\*, 'Please start again running this

GOTO 10

ELSE

END IF head5

in meters:'

PRINT\*, h

PRINT\*, 'Are you satisfied with the result?'

110 PRINT\*, 'Type y for yes or n for no!'

READ\*, answer4

case9: IF (answer4=='n') THEN

PRINT\*, 'You will run again this program!'

GOTO 10

ELSE IF (answer4=='y') THEN

'Flow\_measurement\_1\_output"

PRINT\*, "Open the file

Q=",f7.1," m3/d:")Q

WRITE (10,('For maximum flow

WRITE (10,(' " "')

-----")')

WRITE (10,('-----

WRITE (10,(' " "')

the 60 V-notch must be ",f4.2," meters.")h

WRITE (10,('The upstream head (h) before

ELSE

PRINT\*, 'WRONG!'

! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση

GOTO 110

END IF case9

ELSE IF (answer3=='d') THEN

```

Q=Q/86400.
Q=Q/0.02832

OPEN
(10,FILE='Flow_measurement_1_output.dat')

h=(Q/2.5)**(1/2.50)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

head6: IF (h<0.1.OR.h>3.) THEN
    PRINT*, 'The existing flow (Q) gives
unnatural values of head (h)!'
    PRINT*, 'Please start again running this
program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF head6

PRINT*, 'The head (h) before the V-notch must be
in meters:'

PRINT*, h
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
120 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
    READ*, answer4

case10: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'You will run again this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file
'Flow_measurement_1_output'"
    WRITE (10,('For maximum flow
Q=",f7.1," m3/d:"))Q
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('-----
-----"))
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('The upstream head (h) before
the 90 V-notch must be ",f4.2," meters."))h
    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 120
    END IF case10

```

```

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 80
END IF case6

```

```

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 50
END IF case4

```

```

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 10
END IF case1

```

END SUBROUTINE Flow\_measurement\_1

SUBROUTINE Screening\_1 (Q)

```

! δηλώσεις:
    REAL ::Q, dh, BITA
        ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL ::C=0.6, g=9.81, pi, u, A, w, n, d
        ! ενδιάμεσες μεταβλητές
    REAL ::Aopen, angle, nb, width, height, clonp
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
    CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4

```

```

! εκφράσεις:
10    PRINT*, 'You want to use coarse or fine screens as screening device?'
    PRINT*, 'Type c for coarse or f for fine screens!'

    READ*, answer1

    case1: IF (answer1=='f') THEN
        ! το κόσκινο είναι λεπτό

        Q=Q/86400.

        PRINT*, 'Type a value for the desirable headloss through the fine
screen (dh) in meters'
20    PRINT*, 'range: 0.02 - 0,70 m'
        READ*, dh

        headloss1: IF (dh<0.02.OR.dh>0.7) THEN

```

```

        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 20
ELSE
END IF headloss1

Aopen=Q/(C*((2*g*dh)**0.5))
Q=Q*86400.

PRINT*, 'You can use a device with area of the openings (Aopen)
in m2:'

PRINT*, Aopen
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
30 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
    READ*, answer2

    case2: IF (answer2=='n') THEN
        PRINT*, 'Please start again running the program for the
fine screens!'

        PRINT*, 'Type a different value for the desirble headloss
(dh)!'

        GOTO 20
    ELSE IF (answer2=='y') THEN
        OPEN (10,FILE='Screening_1_output.dat')
        PRINT*, "Open the file 'Screening_1_output'"
        WRITE (10,('For maximum flow Q=",f7.1," m3/d and
desirble headloss dh=",f4.2," m:")Q,dh
        WRITE (10,(' " "'))
        WRITE (10,('-----
-----"'))

        WRITE (10,(' " "'))
        WRITE (10,('The area of the openings (Aopen) on the fine
screen must be ",f6.3," m2.))Aopen
    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 30
    END IF case2

ELSE IF (answer1=='c') THEN
    ! το κόσκινο είναι χονδρό

    Q=Q/86400.

    PRINT*, 'Type a value for the desirble headloss through the coarse
screen (dh) in meters'
40 PRINT*, 'range: 0.02 - 0,70 m'
    READ*, dh

```

```

headloss2: IF (dh<0.02.OR.dh>0.7) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 40
ELSE
END IF headloss2

PRINT*, 'The screen will be cleaned manually or mechanically?'
PRINT*, 'Type a for manually or b for mechanically'
READ*, answer3

case3: IF (answer3=='a') THEN                                !           ο
καθαρισμός πραγματοποιείται χειροκίνητα
    angle=40
    pi=4.*atan(1.)
    angle=angle*pi/180
ELSE IF (answer3=='b') THEN                                ! ο καθαρισμός
πραγματοποιείται μηχανοκίνητα
    angle=60
    pi=4.*atan(1.)
    angle=angle*pi/180
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 50
END IF case3

60 PRINT*, 'CASE          BAR TYPE          '
PRINT*, '-----'
PRINT*, ' a      Sharp-edged rectangular      '
PRINT*, ' b      Rectangular with semicircular face  '
PRINT*, ' c              Circular              '
PRINT*, ' d      Rectangular with semicircular      '
PRINT*, '          upstream and downstream faces      '
PRINT*, ' e              Tear shape              '
PRINT*, '-----'
PRINT*, 'Choose the bar type and type a, b, c, d or e'
READ*, answer4

case4: IF (answer4=='a') THEN
    BITA=2.42
ELSE IF (answer4=='b') THEN
    BITA=1.83
ELSE IF (answer4=='c') THEN
    BITA=1.79
ELSE IF (answer4=='d') THEN
    BITA=1.67
ELSE IF (answer4=='e') THEN
    BITA=0.76

```

```

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
    GOTO 60
END IF case4

u=((2*dh*g)/(BITA*SIN(angle)))**0.5
A=Q/u
w=SQRT(A/1.5)
d=1.5*w

PRINT*, 'Choose a clear opening in mm'
70 PRINT*, 'Bar screens: 6,5 - 50 mm'
PRINT*, 'Bar racks: 50 - 100 mm'
PRINT*, 'Manually cleaned screens: 25 - 44 mm'
READ*, clon

clon1: IF (clon<6.5.OR.clon>100) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 70
ELSE
    clon=clon/1000.
END IF clon1

n=w/clon
n=INT(n)
nb=n-1.

case5: IF (nb<=0) THEN
    PRINT*, 'Your data give a negative result for the number
of the bars!'

    PRINT*, 'Start again running the program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF case5

width=w
height=d/SIN(angle)
angle=angle*180/pi
Q=Q*86400.

PRINT '("The channel will have ",f4.2,"m width")',w
PRINT '("and the upstream depth of wastewater will be
",f4.2,"m")',d
PRINT '("You will use ",f4.1," bars with 10mm width and 50mm
thick the eachone")',nb
PRINT '("The total width of the screen will be ",f4.2,"m and the
height ",f4.2,"m")',width,height

```



```

PRINT '("The angle of the rack to the horizontal will be ",f4.1,"
degrees")',angle
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
80 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer2

case6: IF (answer2=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running the program for the
coarse screens!'
    PRINT*, 'Type a different value for the desirble headloss
(dh)!'
    GOTO 40
ELSE IF (answer2=='y') THEN
    OPEN (10,FILE='Screening_1_output.dat')
    PRINT*, "Open the file 'Screening_1_output'"
    WRITE (10,('For maximum flow Q=",f7.1," m3/d and
desirble headloss dh=",f4.2," m"))Q,dh
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('-----
-----'))
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('The width of the channel will be:
",f4.2,"m"))w
    WRITE (10,('The upstream depth of wastewater will be:
",f4.2,"m"))d
    WRITE (10,('The coarse screen will have:'))
    WRITE (10,('Number of bars: ",f4.1')nb
    WRITE (10,('Width: ",f4.2,"m'))width
    WRITE (10,('Height: ",f4.2,"m'))height
    WRITE (10,('Angle to the horizontal: ",f4.1,"
degrees'))angle
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 80
END IF case6

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 10
END IF case1

END SUBROUTINE Screening_1

SUBROUTINE Grit_chambers_1 (Qmax,Qmin)

! δηλώσεις:

```

```

REAL ::      Qmax, Qmin, t, V=0.3, Vs=0.022
              ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
INTEGER:: n
              ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL ::      Q, Q1, height1, a=0.05, C=0.62, g=9.81, k, lamda, j
! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL ::      b, H, Le, w, l, height, Vc, hc, wc, Volume, Qair
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4, answer5

! εκφράσεις:
10          PRINT*, 'You want to use degritting units with constant flow or aerated
grit chambers?'
          PRINT*, 'Type c for degritting units with constant flow or a for aerated
grit chambers!'
          READ*, answer1

          case1: IF (answer1=='c') THEN
              ! εξαμμοτής σταθερής ροής

20          PRINT*, 'You want to use a degritting channel with rectangular
intersection and analogic overflowter on its verge,'
          PRINT*, 'or a degritting channel with parabolic intersection and
Parshall flume on its verge?'
          PRINT*, 'Type a for the first case or b for the second!'
          READ*, answer2

          case2: IF (answer2=='a') THEN
              ! εξαμμοτής σταθερής ροής με κανάλι ορθογωνικής διατομής και

              ! αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του
              Qmax=Qmax/86400.
              Qmin=Qmin/86400.

60          PRINT*, 'Type a value for the desirble detention time (t) in
sec'
40          PRINT*, 'range: 45 - 90 sec'
          READ*, t

          time1: SELECT CASE (t<45.0.OR.t>90.0)
              CASE (.TRUE.)
                  PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

                  GOTO 40
              CASE DEFAULT
                  END SELECT time1

          n=1

```

50

```

Q=Qmax/n
A=Q/V
Le=V*t
height=Vs*t
H=2.*height
b=A/height

```

```

case3: IF ((b/H>1.1).OR.(b>1.5)) THEN
        n=n+1
        GOTO 50
ELSE
END IF case3

```

```

w=Q/(C*(height-(a/3.)-0.2)*SQRT(2.*g*a))
w=3.5*b/5.
l=w*(1.-(2./180.)*ATAN(((height-0.25)/0.05)**0.5))
l=0.8*w/3.5
! έλεγχος για Qmin
Q1=Qmin/n
height1=(Q1/(b*V))

```

```

control1: IF (height1<0.05) THEN
        PRINT*, 'The value of Qmin gives height of the
flow in the grit chamber smaller than 5cm.'
        PRINT*, 'Choose a different detention time (t)'
        PRINT*, 'and please start again running this
program!'
        GOTO 60
ELSE
END IF control1

```

```

Qmax=Qmax*86400.
Qmin=Qmin*86400.

```

```

PRINT '(" You will have ",I3," channels with
dimensions:")',n

```

```

PRINT '(" Width: ",f4.2,"m")',b
PRINT '(" Height: ",f4.2," m")',H
PRINT '(" Length: ",f5.2," m")',Le
PRINT '(" ")'
PRINT '(" In the overflowter:")'
PRINT '(" Height of flow: ",f4.2," m")',height
PRINT '(" Width w: ",f4.2," m")',w
PRINT '(" Width of flow: ",f4.2," m")',l
PRINT '(" ")'
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer3

```

120

```

case5: IF (answer3=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    PRINT*, 'Type a different value for the detention
time (t)!'

    GOTO 10
ELSE IF (answer3=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Grit_chambers_1_output'
to view the results!"

    OPEN (10,FILE='Grit_chambers_1_output.dat')
    WRITE (10,('For maximum design flow Qmax=
",f7.1," m3/d,")')Qmax

    WRITE (10,('minimum flow Qmin= ",f7.1,"
m3/d")')Qmin

    WRITE (10,('and detention time t= ",f4.1," sec:')t
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----
"))

    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('You will have ",I3," channels with
dimensions:")')n

    WRITE (10,('Width: ",f4.2,"m")')b
    WRITE (10,('Height: ",f4.2," m")')H
    WRITE (10,('Length: ",f5.2," m")')Le
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('In the overflowter:')')
    WRITE (10,('Height of flow: ",f4.2," m")')height
    WRITE (10,('Width w: ",f4.2," m")')w
    WRITE (10,('Width of flow: ",f4.2," m")')l

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 120
END IF case5

ELSE IF (answer2=='b') THEN
! εξαμωτής σταθερής ροής με κανάλι παραβολικής διατομής και

! στένωση Parshall στο κατάντη άκρο του
Qmax=Qmax/86400.

PRINT*, 'Type a value for the desirble detention time (t) in
sec'
70
PRINT*, 'range: 45 - 90 sec'
READ*, t

time2: SELECT CASE (t<45.0.OR.t>90.0)

```

```

CASE (.TRUE.)
    PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'
    GOTO 70
CASE DEFAULT
END SELECT time2

n=1
80 Q=Qmax/n
A=Q/V
Le=V*t
height=Vs*t
H=2.*height
b=A/height

case4: IF ((b/H>1.5).OR.(b>1.5)) THEN
    n=n+1
    GOTO 80
ELSE
END IF case4

k=(2./3.)*(b/(height**0.5))
lamda=1.5*k
Qmax=Qmax*86400.
! στη στένωση Parshall:
Vc=((2.*g)/3.1)*(height+((V**2.)/(2.*g))))**0.5
hc=(Vc**2.)/g
wc=Q/(hc*Vc)

PRINT '(" You will have ",I3," channels with
dimensions:")',n

PRINT '(" Width: ",f4.2,"m")',b
PRINT '(" Height: ",f4.2," m")',H
PRINT '(" Length: ",f5.2," m")',Le
PRINT '(" ')
PRINT '(" Height of flow: ",f4.2," m")',height
PRINT '(" Equation of parabola: (width of
channel)=",f6.4,"*(height of flow)^0.5")',lamda
PRINT '(" Velocity in the Parshall flume: ",f4.2," m/s")',Vc
PRINT '(" Height of flow in the Parshall flume: ",f4.2,"
m")',hc

PRINT '(" Width of stenosis in the Parshall flume: ",f4.2,"
m")',wc

PRINT '(" ')
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
130 READ*, answer4

```

```

case6: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    PRINT*, 'Type a different value for the detention
time (t)!'

    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Grit_chambers_1_output'
to view the results!"

    OPEN (10,FILE='Grit_chambers_1_output.dat')
    WRITE (10,('For maximum design flow Qmax=
",f7.1," m3/d,")')Qmax

    WRITE (10,('and detention time t= ",f4.1," sec:')')t
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----
-----"'))

    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('You will have ",I3," channels with
dimensions:")')n

    WRITE (10,('Width: ",f4.2,"m")')b
    WRITE (10,('Height: ",f4.2," m")')H
    WRITE (10,('Length: ",f5.2," m")')Le
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('Height of flow: ",f4.2," m")')height
    WRITE (10,('Equation of parabola: (width of
channel)=",f6.4,"*(height of flow)^0.5")')lamda
    WRITE (10,('Velocity in the Parshall flume:
",f4.2," m/s")')Vc

    WRITE (10,('Height of flow in the Parshall flume:
",f4.2," m")')hc

    WRITE (10,('Width of stenosis in the Parshall
flume: ",f4.2," m")')wc

    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 130
    END IF case6

    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 20
    END IF case2

    ELSE IF (answer1=='a') THEN
        ! αεριζόμενος εξασμωτής

        Qmax=Qmax/86400.

```

```

110      PRINT*, 'Type a value for the desirable detention time (t) in min'
90      PRINT*, 'range: 2 - 5 min'
      PRINT*, 'typical value: 3min'
      READ*, t

      time3: SELECT CASE (t<2.0.OR.t>5.)
              CASE (.TRUE.)
                  PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                  GOTO 90
              CASE DEFAULT
                  t=t*60.
      END SELECT time3

      PRINT*, 'Choose a value for the width (W) of the chamber in
meters'
100     PRINT*, 'range: 2,5 - 7,0 m'
      READ*, w

      width1: SELECT CASE (w<2.5.OR.w>7.)
              CASE (.TRUE.)
                  PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                  GOTO 100
              CASE DEFAULT
      END SELECT width1

      Volume=Qmax*t
      H=w/2.
      Le=Volume/(w*H)
      Le=1.15*Le
      j=Le/w

      control2: IF (j<0.4.OR.j>5.0) THEN
          PRINT*, 'Your data give unusual values for the length (L)
of the chamber!'

          PRINT*, 'Choose a different detention time (t) or a
different width (W) for the chamber!'
          GOTO 110
      ELSE
      END IF control2

      Qair=0.30*Le
      t=t/60.
      Qmax=Qmax*86400.

      PRINT '(" Height of grit chamber: ",f4.2," m")',H
      PRINT '(" Length of grit chamber: ",f5.2," m")',Le

```

```

PRINT '(" Air flow: ",f5.2," m3 air/min")',Qair
PRINT '(" ")'
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer5

case7: IF (answer5=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    PRINT*, 'Type a different value for the detention time (t)'
    PRINT*, 'or for the width of the chamber (W)!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer5=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Grit_chambers_1_output' to view
the results!"

    OPEN (10,FILE='Grit_chambers_1_output.dat')
    WRITE (10,('For maximum design flow Qmax= ",f7.1,"
m3/d,"')Qmax

    WRITE (10,('detention time t= ",f3.1," min and"))t
    WRITE (10,('width of grit chamber W= ",f4.2," m:'))w
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----'))
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('Height of grit chamber: ",f4.2," m'))H
    WRITE (10,('Length of grit chamber: ",f5.2," m'))Le
    WRITE (10,('Air flow: ",f5.2," m3 air/min'))Qair

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 140
END IF case7

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 10
END IF case1

END SUBROUTINE Grit_chambers_1

SUBROUTINE Primary_sedimentation_1 (Qin,Cssin,Cbodin)

! δηλώσεις:
    REAL ::      Qin, Cssin, Cbodin, aSS
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    INTEGER:: n
        ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL ::  ENA, DYO, TRIA, DIAK, ROOT1, ROOT2
! ενδιάμεσες μεταβλητές

```



```

REAL ::      pi, t, q
! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL ::  aBOD, eBOD, H, W, L, d, Min, Qsl, Msl, Csl    ! εξαρτημένες
μεταβλητές εξόδου
REAL ::  Qout, Mout, Cssout, Lov, qov
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3

! εκφράσεις:
10 PRINT*, 'You want to use rectangular or circular sedimentation tanks?'
PRINT*, 'Type r for rectangular or c for circular sedimentation tanks!'
READ*, answer1

case1: IF (answer1=='r') THEN
! ορθογωνική δεξαμενή

PRINT*, 'What percentage of SS removal (aSS) do you want to
obtain in %'
30 PRINT*, 'range: 50 - 70 %'
READ*, aSS

perss1: SELECT CASE (aSS<50.OR.aSS>70.)
CASE (.TRUE.)
PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

GOTO 30
CASE DEFAULT
END SELECT perss1

ENA=-0.0056
DYO=1.3268
TRIA=6.5604-aSS
DIAK=(DYO**2.)-(4.*ENA*TRIA)
ROOT1=(-DYO+SQRT(DIAK))/(2.*ENA)
ROOT2=(-DYO-SQRT(DIAK))/(2.*ENA)

case2: IF (ROOT1>=35.0.AND.ROOT1<=70.) THEN
t=ROOT1
ELSE IF (ROOT2>=35.0.AND.ROOT2<=70.) THEN
t=ROOT2
ELSE
PRINT*, 'Your data give unusual detention time (t)!'
PRINT*, 'Please start again running this program'
PRINT*, 'with different percentage of SS removal'
GOTO 10
END IF case2

q=(aSS/717.79)**(-1./0.57)

```

40

```

aBOD=(((-0.001)*(q**2.))-(0.1177*q)+38.249
aBOD=INT(aBOD)
eBOD=Cbodin*(1.-(aBOD/100.))

t=t*1.75
q=q/1.75
t=INT(t)
t=t/1440

n=1
Qin=Qin/n
H=q*t
W=1.5*H
L=(Qin*t)/(W*H)

case3: IF (H>5.0.OR.W>24.0.OR.L>40.) THEN
        n=n+1
        GOTO 40
ELSE
END IF case3

Lov=W
qov=Qin/Lov

Qin=n*Qin
Msl=(aSS*Csin*Qin)/(10.**5.)
t=1440*t
Csl=(1.0347*LOG(t))-0.7809
Qsl=(100.*Msl)/(1030.*Csl)
Min=(Csin/1000.)*Qin
Mout=Min-Msl
Cssout=Csin*(1-(aSS/100.))
Qout=Qin-Qsl

PRINT '(" Detention time (t): ",f5.1," min")',t
PRINT '(" Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d")',q
PRINT '(" Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L")',eBOD
PRINT '(" ")'
PRINT '(" Number of rectangular tanks: ",I2)',n
PRINT '(" Width of each tank (W): ",f4.2," m")',W
PRINT '(" Depth of each tank (H): ",f4.2," m")',H
PRINT '(" Length of each tank (L): ",f5.2," m")',L
PRINT '(" Bottom bevel: 1 %")'
PRINT '(" ")'
PRINT '(" Length of overflotwer: ",f4.2," m")',Lov
PRINT '(" Load of overflotwer: ",f6.1," m3/m,d")',qov
PRINT '(" ")'

```

```

PRINT '(" BALANCE OF SS:")'
PRINT '(" Influx:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qin
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Cssin
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Min
PRINT '(" Sludge:")'
PRINT '(" Q= ",f6.1," m3/d")',Qsl
PRINT '(" SS= ",f4.2," %")',Csl
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Msl
PRINT '(" Efflux:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qout
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Cssout
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Mout
PRINT '(" ")'
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
100 READ*, answer2

case6: IF (answer2=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer2=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Primary_sedimentation_1_output'
to view the results"

    OPEN (10,FILE='Primary_sedimentation_1_output.dat')
    WRITE (10,('For total average design flow Q: ",f7.1,"
m3/d"))Qin
    WRITE (10,('initial BOD5 concentration: ",f5.1,"
mg/L"))Cbodin
    WRITE (10,('initial SS concentration: ",f5.1," mg/L and
",f4.1,"% removal of SS:"))Cssin, aSS
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('-----
-----'))

    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('Detention time (t): ",f5.1," min"))t
    WRITE (10,('Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d"))q
    WRITE (10,('Concentration of effluent BOD5: ",f5.1,"
mg/L"))eBOD

    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('Number of rectangular tanks: ",I2)")n
    WRITE (10,('Width of each tank (W): ",f4.2," m"))W
    WRITE (10,('Depth of each tank (H): ",f4.2," m"))H
    WRITE (10,('Length of each tank (L): ",f5.2," m"))L
    WRITE (10,('Bottom bevel: 1 %'))
    WRITE (10,(' '))
    WRITE (10,('Length of overflowwer: ",f4.2," m"))Lov
    WRITE (10,('Load of overflowwer: ",f6.1," m3/m,d"))qov

```

```

WRITE (10,(' " '))
WRITE (10,('BALANCE OF SS:'))
WRITE (10,('Influx:'))
WRITE (10,('Q= ',f7.1,' m3/d'))Qin
WRITE (10,('SS= ',f5.1,' mg/L'))Csin
WRITE (10,('M= ',f6.1,' kg/d'))Min
WRITE (10,('Sludge:'))
WRITE (10,('Q= ',f6.1,' m3/d'))Qsl
WRITE (10,('SS= ',f4.2,' %'))Csl
WRITE (10,('M= ',f6.1,' kg/d'))Msl
WRITE (10,('Efflux:'))
WRITE (10,('Q= ',f7.1,' m3/d'))Qout
WRITE (10,('SS= ',f5.1,' mg/L'))Cout
WRITE (10,('M= ',f6.1,' kg/d'))Mout
ELSE
  PRINT*, 'WRONG!'
  ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
  GOTO 100
END IF case6

ELSE IF (answer1=='c') THEN
  ! κυκλική δεξαμενή

  PRINT*, 'What percentage of SS removal (aSS) do you want to
obtain in %'
60
  PRINT*, 'range: 50 - 70 %'
  READ*, aSS

  perss2: SELECT CASE (aSS<50.OR.aSS>70.)
    CASE (.TRUE.)
      PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

      GOTO 60
    CASE DEFAULT
  END SELECT perss2

  ENA=-0.0056
  DYO=1.3268
  TRIA=6.5604-aSS
  DIAK=(DYO**2.)-(4.*ENA*TRIA)
  ROOT1=(-DYO+SQRT(DIAK))/(2.*ENA)
  ROOT2=(-DYO-SQRT(DIAK))/(2.*ENA)

  case4: IF (ROOT1>=35.0.AND.ROOT1<=70.) THEN
    t=ROOT1
  ELSE IF (ROOT2>=35.0.AND.ROOT2<=70.) THEN
    t=ROOT2
  ELSE

```

```

PRINT*, 'Your data give unusual detention time (t)!'
PRINT*, 'Please start again running this program'
PRINT*, 'with different percentage of SS removal'
GOTO 10
END IF case4

```

```

q=(aSS/717.79)**(-1./0.57)

```

```

aBOD=(((-0.001)*(q**2.))-(0.1177*q))+38.249
aBOD=INT(aBOD)
eBOD=Cbodin*(1.-(aBOD/100.))

```

```

t=t*1.75
q=q/1.75
t=INT(t)
t=t/1440
pi=4.*atan(1.)

```

```

n=1
Qin=Qin/n
d=SQRT((4.*Qin)/(pi*q))
H=(4*Qin*t)/(pi*(d**2.))

```

```

case5: IF (H>5.0.OR.d>45.0) THEN
    n=n+1
    GOTO 70
ELSE
END IF case5

```

```

Lov=2.*pi*(d/2.)
qov=Qin/Lov

```

```

Qin=n*Qin
Msl=(aSS*Cssin*Qin)/(10.**5.)
t=1440*t
Csl=(1.0347*LOG(t))-0.7809
Qsl=(100.*Msl)/(1030.*Csl)
Min=(Cssin/1000.)*Qin
Mout=Min-Msl
Cssout=Cssin*(1-(aSS/100.))
Qout=Qin-Qsl

```

```

PRINT '(" Detention time (t): ",f5.1," min")',t
PRINT '(" Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d")',q
PRINT '(" Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L")',eBOD
PRINT '(" ")'
PRINT '(" Number of circular tanks: ",I2)',n
PRINT '(" Diameter of each tank (d): ",f5.2," m")',d

```

70

```

PRINT '(" Depth of each tank (H): ",f4.2," m")',H
PRINT '(" Bottom bevel: 8 %")'
PRINT '(" ")'
PRINT '(" Length of overflotwer: ",f5.2," m")',Lov
PRINT '(" Load of overflotwer: ",f6.1," m3/m,d")',qov
PRINT '(" ")'
PRINT '(" BALANCE OF SS:")'
PRINT '(" Influx:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qin
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Csin
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Min
PRINT '(" Sludge:")'
PRINT '(" Q= ",f6.1," m3/d")',Qsl
PRINT '(" SS= ",f4.2," %")',Csl
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Msl
PRINT '(" Efflux:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qout
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Cout
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Mout
PRINT '(" ")'
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer3

case7: IF (answer3=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer3=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Primary_sedimentation_1_output'
to view the results"

    OPEN (10,FILE='Primary_sedimentation_1_output.dat')
    WRITE (10,('For total average design flow Q: ",f7.1,"
m3/d")')Qin
    WRITE (10,('initial BOD5 concentration: ",f5.1,"
mg/L")')Cbodin
    WRITE (10,('initial SS concentration: ",f5.1," mg/L and
",f4.1,"% removal of SS:")')Csin, aSS
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----
-----"))')
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('Detention time (t): ",f5.1," min")')t
    WRITE (10,('Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d")')q
    WRITE (10,('Concentration of effluent BOD5: ",f5.1,"
mg/L")')eBOD
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('Number of circular tanks: ",I2)")n
    WRITE (10,('Diameter of each tank (d): ",f5.2," m")')d

```

```

WRITE (10,('Depth of each tank (H): ",f4.2," m"))H
WRITE (10,('Bottom bevel: 8 %"))
WRITE (10,(' " "))
WRITE (10,('Length of overflowwer: ",f5.2," m"))Lov
WRITE (10,('Load of overflowwer: ",f6.1," m3/m,d"))qov
WRITE (10,(' " "))
WRITE (10,('BALANCE OF SS:"))
WRITE (10,('Influx:"))
WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d"))Qin
WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/L"))Cssin
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Min
WRITE (10,('Sludge:"))
WRITE (10,('Q= ",f6.1," m3/d"))Qsl
WRITE (10,('SS= ",f4.2," %"))Csl
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Msl
WRITE (10,('Efflux:"))
WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d"))Qout
WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/L"))Cssout
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Mout

ELSE
  PRINT*, 'WRONG!'
  ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
  GOTO 110
END IF case7

ELSE
  PRINT*, 'WRONG!'
  ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
  GOTO 10
END IF case1

Qin=Qout
Cssin=Cssout
Cbodin=eBOD

END SUBROUTINE Primary_sedimentation_1

SUBROUTINE NRC_1 (Q,iBOD)

! δηλώσεις:
  REAL:: Q, iBOD, eBOD, T
           ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
  REAL:: ET, EiT, E20, Ei20, F, W, W1, W2
! ενδιάμεσες μεταβλητές
  REAL:: V, V1, V2, A, A1, A2, DR, DR1, DR2, nrec, nrec1, nrec2 !
ενδιάμεσες μεταβλητές
  REAL:: pi, ALFA, BHTA, GAMA, DIAKR
           ! ενδιάμεσες μεταβλητές

```

```

REAL:: D, r, diam, diam1, diam2, BODLR, BODLR1, BODLR2
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
REAL:: HLR, HLR1, HLR2, nrect, nrect1, nrect2
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3

! εκφράσεις:
160 PRINT*, 'Type a value for the desirble effluent BOD concentration in
mg/L'
10 PRINT*, 'range: 10 - 50'
READ*, eBOD

eBOD1: IF (eBOD<10.0.OR.eBOD>50.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 10
ELSE
END IF eBOD1

PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
READ*, T

pi=4.*atan(1.)
ET=((iBOD-eBOD)/iBOD)*100.
E20=ET/(1.035**(T-20.))
r=0.
20 F=(1.+r)/((1.+(0.1*r))**2.)
W=Q*iBOD/1000.
V=(W*(0.4432**2.))/(F*(((100./E20)-1.）**2.))
BODLR=W/V

orgload1: IF (BODLR<0.08) THEN
    r=r+0.5
    GOTO 20
ELSE IF (BODLR>0.08.AND.BODLR<0.24) THEN
30 D=1.8
A=V/D
diam=SQRT((4.*A)/pi)
HLR=((1.+r)*Q)/A

hydload1: IF (HLR<1.0) THEN
    D=D+0.05
    GOTO 30
ELSE IF (HLR>3.5) THEN
    PRINT*, " Your data don't give natural values"
    PRINT*, ' for the hydraulic and organic loading rates!'
    PRINT*, ' Please start again running this program!'
    GOTO 160
ELSE

```



```

DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

END IF hydload1

ELSE IF (BODLR>0.24.AND.BODLR<0.48) THEN
D=1.8
A=V/D
40 diam=SQRT((4.*A)/pi)
HLR=((1.+r)*Q)/A

hydload2: IF (HLR<3.5) THEN
D=D+0.05
GOTO 40
ELSE IF (HLR>9.5) THEN
PRINT*, " Your data don't give natural values"
PRINT*, ' for the hydraulic and organic loading rates!'
PRINT*, ' Please start again running this program!'
GOTO 160
ELSE
DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

END IF hydload2

ELSE IF (BODLR>0.48.AND.BODLR<2.4) THEN
D=0.9
50 A=V/D

```

```

diam=SQRT((4.*A)/pi)
HLR=((1.+r)*Q)/A

hydload3: IF (HLR<9.5) THEN
    D=D+0.05
    GOTO 50
ELSE IF (HLR>36.5) THEN
    PRINT*, " Your data don't give natural values"
    PRINT*, ' for the hydraulic and organic loading rates!'
    PRINT*, ' Please start again running this program!'
    GOTO 160
ELSE
    DR=BODLR*0.3
    nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
    nrect=1./nrec
    PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
    PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
    PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
    PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
    PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
    PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
    PRINT*, ''
    PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
    PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect
END IF hydload3

ELSE
    PRINT*, " Your data don't give natural values"
    PRINT*, ' for the hydraulic and organic loading rates!'
    PRINT*, ' Please start again running this program!'
    GOTO 160
END IF orgload1

PRINT*, ''
PRINT*, 'Are you satisfied with the value of diameter?'
60 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer1

case1: IF (answer1=='y') THEN
    PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
ELSE IF (answer1=='n') THEN
70 PRINT*, 'You can increase the recirculation ratio (r) until 4,0'
    PRINT*, 'Type a new value for recirculation ratio (r)'
    READ*, r

rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'

```

```

                                GOTO 70
ELSE
END IF rec1

F=(1.+r)/((1.+(0.1*r))**2.)
V=(W*(0.4432**2.))/(F*(((100./E20)-1.)**2.))
BODLR=W/V
A=V/D
diam=SQRT((4.*A)/pi)
HLR=((1.+r)*Q)/A

                                loadings1:                                IF
(HLR>1.0.AND.HLR<3.5.AND.BODLR>0.08.AND.BODLR<0.24) THEN
                                ELSE                                IF
(HLR>3.5.AND.HLR<9.5.AND.BODLR>0.24.AND.BODLR<0.48) THEN
                                ELSE                                IF
(HLR>9.5.AND.HLR<36.5.AND.BODLR>0.48.AND.BODLR<2.4) THEN
                                ELSE
                                PRINT*, "Your data don't give natural values"
                                PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
                                PRINT*, 'Please type another value for (r)!'
                                GOTO 70
                                END IF loadings1

DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR

PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
PRINT*, ''
PRINT*, 'Are you now satisfied with the value of diameter?'
80 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
READ*, answer2

case2: IF (answer2=='y') THEN
                                PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
ELSE IF (answer2=='n') THEN
90 PRINT*, 'You can increase the depth (D) until 2,4 m'
                                PRINT*, 'Type a new value for the depth (D)'
                                READ*, D

```

```

depth1: IF (D<0.9.OR.D>2.4) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
    GOTO 90
ELSE
END IF depth1

A=V/D
diam=SQRT((4.*A)/pi)
HLR=((1.+r)*Q)/A

loadings2:                                     IF
(HLR>1.0.AND.HLR<3.5.AND.BODLR>0.08.AND.BODLR<0.24) THEN
ELSE                                           IF
(HLR>3.5.AND.HLR<9.5.AND.BODLR>0.24.AND.BODLR<0.48) THEN
ELSE                                           IF
(HLR>9.5.AND.HLR<36.5.AND.BODLR>0.48.AND.BODLR<2.4) THEN
ELSE
    PRINT*, "Your data don't give natural values"
    PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading
rates!'
    PRINT*, 'Please type another value for (D)!'
    GOTO 90
END IF loadings2

DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR

PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

PRINT*, ''
PRINT*, 'Are you now satisfied with the value of
diameter?'
100
PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
READ*, answer3

case3: IF (answer3=='y') THEN
    PRINT*, 'O.K. The program is finished!'

```

```

ELSE IF (answer3=='n') THEN
    PRINT*, 'There will be a design for a 2-stage
trickling filter:'
110
    ALFA=1.
    BHTA=-2.
    GAMA=ET/100.
    DIAKR=(BHTA**2.)-(4.*ALFA*GAMA)
    EiT=(-BHTA-SQRT(DIAKR))/(2.*ALFA)
    Ei20=EiT/(1.035**(T-20.))
    W1=Q*iBOD/1000.
    V1=(W1*(0.4432**2.))/(F*(((1./Ei20)-1.)**2.))
    A1=V1/D
    diam1=SQRT((4.*A1)/pi)
    W2=W1*(1.-EiT)
    V2=(W2*(Ei20**2.)*(0.4432**2.))/(F*((1.-
Ei20)**4.))
    A2=V2/D
    diam2=SQRT((4.*A2)/pi)
    BODLR1=W1/V1
    HLR1=((1.+r)*Q)/A1

    loadings3:
    (HLR1>1.0.AND.HLR1<3.5.AND.BODLR1>0.08.AND.BODLR1<0.24) THEN IF
    ELSE IF
    (HLR1>3.5.AND.HLR1<9.5.AND.BODLR1>0.24.AND.BODLR1<0.48) THEN IF
    ELSE IF
    (HLR1>9.5.AND.HLR1<36.5.AND.BODLR1>0.48.AND.BODLR1<2.4) THEN IF
    ELSE
    PRINT*, "Your data don't give natural
values"
    PRINT*, 'for the hydraulic and organic
loading rates of the 1st filter!'
    PRINT*, 'Type a different value for the
desirble depth (D) of each filter in meters'
120
    PRINT*, 'range: 0,9 - 2,4 m'
    READ*, D

    depth2: IF (D<0.9.OR.D>2.4) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and
please type again!'

    GOTO 120
    ELSE
    END IF depth2

    PRINT*, 'Type a different value for the
recirculation ratio (r) of each filter'
    PRINT*, "If you don' t want to have
recirculation, type '0'"

```

```

130                                PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
                                READ*, r

                                rec2: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
                                        PRINT*, 'Make sure of the value and
please type again!'

                                        GOTO 130
                                ELSE
                                END IF rec2
                                GOTO 110
END IF loadings3

BODLR2=W2/V2
HLR2=((1.+r)*Q)/A2

                                loadings4:                                IF
(HLR2>1.0.AND.HLR2<3.5.AND.BODLR2>0.08.AND.BODLR2<0.24) THEN
                                ELSE                                IF
(HLR2>3.5.AND.HLR2<9.5.AND.BODLR2>0.24.AND.BODLR2<0.48) THEN
                                ELSE                                IF
(HLR2>9.5.AND.HLR2<36.5.AND.BODLR2>0.48.AND.BODLR2<2.4) THEN
                                ELSE
                                PRINT*, "Your data don't give natural
values"

                                PRINT*, 'for the hydraulic and organic
loading rates of the 2nd filter!'

                                PRINT*, 'Type a different value for the
desirble depth (D) of each filter in meters'
140                                PRINT*, 'range: 0,9 - 2,4 m'
                                READ*, D

                                depth3: IF (D<0.9.OR.D>2.4) THEN
                                        PRINT*, 'Make sure of the value and
please type again!'

                                        GOTO 140
                                ELSE
                                END IF depth3

                                PRINT*, 'Type a different value for the
recirculation ratio (r) of each filter'

                                PRINT*, "If you don' t want to have
recirculation, type '0'"
150                                PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
                                READ*, r

                                rec3: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
                                        PRINT*, 'Make sure of the value and
please type again!'

```

```

                                GOTO 150
                                ELSE
                                END IF rec3
                                GOTO 110
                                END IF loadings4

                                DR1=BODLR1*0.3
                                nrec1=(0.00044*HLR1)/(2.*DR1)
                                nrect1=1./nrec1
                                DR2=BODLR2*0.3
                                nrec2=(0.00044*HLR2)/(2.*DR2)
                                nrect2=1./nrect2

                                PRINT*, 'You will have a two-stage trickling filter
with the follow characteristics:'

                                PRINT*, '1st filter:'
                                PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
                                PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam1
                                PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
                                PRINT  '("  BOD   loading   rate:   ",f5.3,"
kg/m3,d")',BODLR1
                                PRINT  '("  Hydraulic loading rate: ",f5.2,"
m3/m2,d")',HLR1

                                PRINT*, ''
                                PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
                                PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect1

                                PRINT*, ''
                                PRINT*, '2nd filter:'
                                PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
                                PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam2
                                PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
                                PRINT  '("  BOD   loading   rate:   ",f5.3,"
kg/m3,d")',BODLR2
                                PRINT  '("  Hydraulic loading rate: ",f5.2,"
m3/m2,d")',HLR2

                                PRINT*, ''
                                PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
                                PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect2

                                ELSE
                                PRINT*, 'WRONG!'
                                ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                GOTO 100
                                END IF case3

                                ELSE

```

```

                PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                GOTO 80
            END IF case2

        ELSE
            PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
            GOTO 60
        END IF case1

END SUBROUTINE NRC_1

SUBROUTINE Galler_Gotaas_1 (Q,Lo)

! δηλώσεις:
    REAL:: Q, Lo, Le, T
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL:: j, m, pi, Le1, DR, DR1, DR2, nrec, nrec1, nrec2      !
ενδιάμεσες μεταβλητές
    REAL:: D, r, diam, diam1, diam2, BODLR, BODLR1, BODLR2
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
    REAL:: HLR, HLR1, HLR2, nrect, nrect1, nrect2, E1, E2      !
εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
    CHARACTER (LEN=1) answer, answer1

! εκφράσεις:
10      PRINT*, 'Type a value for the desirable effluent BOD concentration (Le) in
mg/L'
20      PRINT*, 'range: 10 - 50'
        READ*, Le

        BOD1: IF (Le<10.0.OR.Le>50.0) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
            GOTO 20
        ELSE
            END IF BOD1

        PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
        READ*, T

        pi=4.*atan(1.)
        r=0.
        D=0.9

30      diam=((0.408*((Lo+(r*Le))**1.19)*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.+(
3.28*D))**0.67)*Le))**(1./0.25)
        BODLR=(Q*Lo*4.)/(1000.*pi*(diam**2.)*D)

```



```

HLR=((1.+r)*Q*4.)/(pi*(diam**2.))

case1:
(BODLR>0.48.AND.BODLR<2.40.AND.HLR>9.5.AND.HLR<36.5) THEN
    DR=BODLR*0.3
    nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
    nrect=1./nrec
    PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
    PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
    PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
    PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
    PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
    PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
    PRINT*, ''
    PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
    PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
    GOTO 60
ELSE
    D=D+0.05
    case2: IF (D>=1.8) THEN
        GOTO 40
    ELSE
        END IF case2
    GOTO 30
END IF case1

40      r=0.
        D=1.8

50      diam=((0.408*((Lo+(r*Le))**1.19)*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.+(
3.28*D))**0.67)*Le)**(1./0.25)
        BODLR=(Q*Lo*4.)/(1000.*pi*(diam**2.)*D)
        HLR=((1.+r)*Q*4.)/(pi*(diam**2.))

        case3: IF (BODLR<0.08.OR.HLR<1.) THEN
            D=D+0.05
            case4: IF (D>=2.4) THEN
                GOTO 160
            ELSE
                END IF case4
            GOTO 50

        ELSE
            (BODLR>0.08.AND.BODLR<0.24.AND.HLR>1.0.AND.HLR<3.5) THEN
                DR=BODLR*0.3
                nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
                nrect=1./nrec
                PRINT*, 'Your trickling filter will have:'

```

IF

IF

```

PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect

ELSE
(BODLR>0.24.AND.BODLR<0.48.AND.HLR>3.5.AND.HLR<9.5) THEN
DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect

ELSE
(BODLR>0.48.AND.BODLR<2.40.AND.HLR>9.5.AND.HLR<36.5) THEN
DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect

ELSE
PRINT*, "Your data don't give natural values"
PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
PRINT*, 'Please start again running this program!'
GOTO 10

END IF case3

60 PRINT*, 'Are you satisfied with the value of diameter?'

```

```

70      PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
      READ*, answer

      case5: IF (answer=='y') THEN
            PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
      ELSE IF (answer=='n') THEN
80         PRINT*, 'The depth (D) will be constant'
            PRINT*, 'and the recirculation ratio (r) will be increased'
160         r=0.5
90         diam=((0.408*((Lo+(r*Le))**1.19)*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.+
3.28*D)**0.67)*Le)**(1./0.25)
            BODLR=(Q*Lo*4.)/(1000.*pi*(diam**2.)*D)
            HLR=((1.+r)*Q*4.)/(pi*(diam**2.))

            case6: IF (BODLR<0.08.OR.HLR<1.) THEN
                  r=r+0.1
                  case7: IF (r>4.) THEN
                        GOTO 110
                  ELSE
                        END IF case7
                  GOTO 90

      ELSE
140      (BODLR>0.08.AND.BODLR<0.24.AND.HLR>1.0.AND.HLR<3.5) THEN
150      DR=BODLR*0.3
            nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
            nrect=1./nrec
            PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
            PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
            PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
            PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
            PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
            PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
            PRINT*, ''
            PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
            PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

      ELSE
160      (BODLR>0.24.AND.BODLR<0.48.AND.HLR>3.5.AND.HLR<9.5) THEN
170      DR=BODLR*0.3
            nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
            nrect=1./nrec
            PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
            PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
            PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
            PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r

```

```

PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f4.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

ELSE
(BODLR>0.48.AND.BODLR<2.40.AND.HLR>9.5.AND.HLR<36.5) THEN
DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec
PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect

ELSE
PRINT*, "Your data don't give natural values"
PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
PRINT*, 'Please start again running this program!'
GOTO 10

END IF case6

PRINT*, 'Are you satisfied with the value of diameter?'
100 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
READ*, answer1

case8: IF (answer1=='y') THEN
PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
ELSE IF (answer1=='n') THEN
110 PRINT*, 'There will be a design for a 2-stage trickling
filter'
PRINT '(" with D1=D2=D=",f4.2," m and
r=r1=r2=",f4.2)',D,r
120 diam1=diam/2.
Le1=Lo-1.

j=(0.408*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.+(3.28*D))**0.67)*(diam1*
*0.25))
130 m=Le1/((Lo+(r*Le1))**1.19)

```

```

case9: IF ((m-j)>0.001) THEN
    Le1=Le1-1.
    GOTO 130
ELSE
END IF case9

E1=(Lo-Le1)/Lo
BODLR1=(Q*Lo*4.)/(1000.*pi*(diam1**2.)*D)
HLR1=((1.+r)*Q*4.)/(pi*(diam1**2.))

loadings1:                                     IF
(HLR1>1.0.AND.HLR1<3.5.AND.BODLR1>0.08.AND.BODLR1<0.24) THEN
    ELSE                                     IF
(HLR1>3.5.AND.HLR1<9.5.AND.BODLR1>0.24.AND.BODLR1<0.48) THEN
    ELSE                                     IF
(HLR1>9.5.AND.HLR1<36.5.AND.BODLR1>0.48.AND.BODLR1<2.4) THEN
    ELSE
        PRINT*, 'The values of the hydraulic and organic
loading rates'
        PRINT*, 'of the 1st filter are not natural!'
        PRINT*, 'Type a different value for the desirble
depth (D) of each filter in meters'
140        PRINT*, 'range: 1,8 - 2,4 m'
        READ*, D

        depth1: IF (D<1.8.OR.D>2.4) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

            GOTO 140
        ELSE
        END IF depth1

        PRINT*, 'Type a different value for the
recirculation ratio (r) of each filter'
150        PRINT*, "If you don' t want to have recirculation,
type '0'"
        PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
        READ*, r

        rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

            GOTO 150
        ELSE
        END IF rec1
        GOTO 120
    END IF loadings1

```

```
diam2=((0.408*((Le1+(r*Le))**1.19)*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.
+(3.28*D))**0.67)*Le*((1.-E1)**0.4)))**1./0.25)
```

```
E1=E1*100.
```

```
E2=((Le1-Le)/Le1)*100.
```

```
BODLR2=(Q*Le1*4.)/(1000.*pi*(diam2**2.)*D)
```

```
HLR2=((1.+r)*Q*4.)/(pi*(diam2**2.))
```

```
DR1=BODLR1*0.3
```

```
nrec1=(0.00044*HLR1)/(2.*DR1)
```

```
nrect1=1./nrec1
```

```
DR2=BODLR2*0.3
```

```
nrec2=(0.00044*HLR2)/(2.*DR2)
```

```
nrect2=1./nrec2
```

```
PRINT*, 'You will have a two-stage trickling filter with the
follow characteristics:'
```

```
PRINT*, '1st filter:'
```

```
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
```

```
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam1
```

```
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
```

```
PRINT '(" BOD loading rate: ",f5.3," kg/m3,d")',BODLR1
```

```
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2,"
m3/m2,d")',HLR1
```

```
PRINT*, ''
```

```
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
```

```
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect1
```

```
PRINT*, ''
```

```
PRINT*, '2nd filter:'
```

```
PRINT '(" Depth: ",f4.2," m")',D
```

```
PRINT '(" Diameter: ",f5.2," m")',diam2
```

```
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
```

```
PRINT '(" BOD loading rate: ",f6.3," kg/m3,d")',BODLR2
```

```
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f7.2,"
m3/m2,d")',HLR2
```

```
PRINT*, ''
```

```
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
```

```
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1,"
min")',nrect2
```

```
PRINT*, ''
```

```
PRINT*, 'THE EQUATION OF GALLER-GOTAAS
MODEL FOR THE SECOND FILTER PROBABLY IS WRONG'
```

```
PRINT*, 'BECAUSE THE VALUE OF THE SECOND
DIAMETER IS TOO SMALL'
```

```
PRINT*, '(COMPARED WITH THE FIRST DIAMETER)'
```

```
PRINT*, 'AND THE HYDRAULIC & ORGANIC
LOADING RATES ARE VERY HIGH!!!'
```

```

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 100
END IF case8

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 70
END IF case5

END SUBROUTINE Galler_Gotaas_1

SUBROUTINE Germain_1 (Q,Lo)

! δηλώσεις:
    REAL:: Q, Lo, Le, T
    ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL:: k20, k, pi, DR, nrec
    μεταβλητές
    INTEGER:: i
    ! ενδιάμεσες μεταβλητές
    REAL:: D, diam, V, HLR, BODLR, nrect
    μεταβλητές εξόδου
    CHARACTER (LEN=1) answer

! εκφράσεις:
10    PRINT*, 'Type a value for the desirble effluent BOD concentration (Le) in
mg/L'
20    PRINT*, 'range: 20 - 75'
    READ*, Le

    BOD1: IF (Le<20.0.OR.Le>75.0) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 20
    ELSE
    END IF BOD1

    PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
    READ*, T

    pi=4.*atan(1.)

    loop1: DO i=1,162
        D=3.95+(0.05*i)
        k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
        k=k20*(1.035**(T-20.))

```

```

HLR=((k*D)/(LOG(Lo/Le)))**2.
HLR=86.4*HLR
diam=SQRT((4.*Q)/(pi*HLR))
V=(pi*D*(diam**2.))/4.
BODLR=(Q*Lo)/(1000.*V)

case1: IF (HLR<14.0) THEN
ELSE IF (BODLR>4.8.OR.HLR>85.5) THEN
    PRINT*, "Your data don't give natural values"
    PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
    GOTO 30
END IF case1

case2: IF (D>12.0.AND.HLR<14.0) THEN
    PRINT*, "Your data don't give natural values"
    PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF case2

END DO loop1

30    DR=BODLR*0.3
    nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
    nrect=1./nrec

    PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
    PRINT '(" Depth: ",f5.2," m")',D
    PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
    PRINT '(" Volume: ",f6.1," m3")',V
    PRINT '(" BOD loading rate: ",f4.2," kg/m3,d")',BODLR
    PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
    PRINT*, ''
    PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
    PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
    PRINT*, ''

70    PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
40    PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer

    case3: IF (answer=='y') THEN
        PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
    ELSE IF (answer=='n') THEN

```



```

50 PRINT*, 'Type a desirble value for the depth (D) of the filter in
meters'

PRINT*, 'and there will be a check for the loadings rates.'
60 PRINT*, 'range: 4,0 - 12,0 m'
READ*, D

depth1: IF (D<4.0.OR.D>12.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 60
ELSE
END IF depth1

k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
k=k20*(1.035**(T-20.))
HLR=((k*D)/(LOG(Lo/Le)))**2.
HLR=86.4*HLR
diam=SQRT((4.*Q)/(pi*HLR))
V=(pi*D*(diam**2.))/4.
BODLR=(Q*Lo)/(1000.*V)

case4: IF (HLR<14.0.OR.HLR>85.5.OR.BODLR>4.8) THEN
    PRINT*, "Your data don't give natural values"
    PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
    GOTO 50
ELSE
END IF case4

DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec

PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f5.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Volume: ",f6.1," m3")',V
PRINT '(" BOD loading rate: ",f4.2," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
PRINT*, ''
GOTO 70
ELSE
PRINT*, 'WRONG!'
!
ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
GOTO 40
END IF case3

```

END SUBROUTINE Germain\_1

SUBROUTINE Eckenfelder\_1 (Q,Lo)

! δηλώσεις:

	REAL:: Q, Lo, Le, T	!	
ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου	REAL:: i, j, pi, k20, k, DR, nrec	!	ενδιάμεσες
μεταβλητές	REAL:: D, diam, V, r, HLR, BODLR, nrect	!	εξαρτημένες
μεταβλητές εξόδου	CHARACTER (LEN=1) answer		

! εκφράσεις:

10	PRINT*, 'Type a value for the desirable effluent BOD concentration (Le) in
mg/L'	
20	PRINT*, 'range: 20 - 75'
	READ*, Le

```

BOD1: IF (Le<20.0.OR.Le>75.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 20
ELSE
END IF BOD1

```

```

PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
READ*, T

```

```

pi=4.*atan(1.)

```

```

loop1: DO i=1,41
    r=-0.1+(0.1*i)

```

```

    loop2: DO j=1,162
        D=3.95+(0.05*j)
        k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
        k=k20*(1.035**(T-20.))
        HLR=(((-k*D)/(LOG((Le+(Le*r))/(Lo-(Le*r)))))**2.
        HLR=HLR*86.4
        diam=SQRT((4.*Q)/(pi*HLR))
        V=(pi*D*(diam**2.))/4.
        BODLR=(Q*Lo)/(1000.*V)

```

```

    case1: IF (HLR<14.0) THEN
    ELSE IF (BODLR>4.8.OR.HLR>85.5) THEN
        PRINT*, "Your data don't give natural values"
        PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading

```

rates!'

```

                                PRINT*, 'Please start again running this program!'
                                GOTO 10
                                ELSE
                                    GOTO 30
                                END IF case1

                                case2: IF (D>12.0.AND.r>3.95.AND.HLR<14.0) THEN
                                    PRINT*, "Your data don't give natural values"
                                    PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading
rates!'

                                    PRINT*, 'Please start again running this program!'
                                    GOTO 10
                                ELSE
                                    END IF case2

                                END DO loop2

                                END DO loop1

30                                DR=BODLR*0.3
                                nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
                                nrect=1./nrec

                                PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
                                PRINT '(" Depth: ",f5.2," m")',D
                                PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
                                PRINT '(" Volume: ",f6.1," m3")',V
                                PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
                                PRINT '(" BOD loading rate: ",f4.2," kg/m3,d")',BODLR
                                PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
                                PRINT*, ''
                                PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
                                PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
                                PRINT*, ''
40                                PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
50                                PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
                                READ*, answer

                                case3: IF (answer=='y') THEN
                                    PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
                                ELSE IF (answer=='n') THEN
60                                    PRINT*, 'Type a desirble value for the depth (D) of the filter in
meters'

                                    PRINT*, 'and there will be a check for the loadings rates.'
70                                    PRINT*, 'range: 4,0 - 12,0 m'
                                    READ*, D

                                    depth1: IF (D<4.0.OR.D>12.0) THEN

```

```

PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 70
ELSE
END IF depth1

PRINT*, 'Type a desirble value for the recirculation ratio (r) of the
filter'

PRINT*, 'and there will be a check for the loadings rates.'
PRINT*, 'If you don' t want to have recirculation, type '0"'
PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
80 READ*, r

rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 80
ELSE
END IF rec1

k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
k=k20*(1.035**(T-20.))
HLR=(((-k*D)/(LOG((Le+(Le*r))/(Lo-(Le*r)))))**2.
HLR=HLR*86.4
diam=SQRT((4.*Q)/(pi*HLR))
V=(pi*D*(diam**2.))/4.
BODLR=(Q*Lo)/(1000.*V)

case4: IF (HLR<14.0.OR.HLR>85.5.OR.BODLR>4.8) THEN
PRINT*, "Your data don't give natural values"
PRINT*, 'for the hydraulic and organic loading rates!'
GOTO 60
ELSE
END IF case4

DR=BODLR*0.3
nrec=(0.00044*HLR)/(2.*DR)
nrect=1./nrec

PRINT*, 'Your trickling filter will have:'
PRINT '(" Depth: ",f5.2," m")',D
PRINT '(" Diameter: ",f6.2," m")',diam
PRINT '(" Volume: ",f6.1," m3")',V
PRINT '(" Recirculation ratio (r): ",f4.2)',r
PRINT '(" BOD loading rate: ",f4.2," kg/m3,d")',BODLR
PRINT '(" Hydraulic loading rate: ",f5.2," m3/m2,d")',HLR
PRINT*, ''
PRINT*, 'The rotary distributor will have 2 arms'
PRINT '(" and will make 1 revolution every ",f5.1," min")',nrect
PRINT*, ''

```

```
GOTO 40

ELSE
  PRINT*, 'WRONG!'
  !
  ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
  GOTO 50
END IF case3

END SUBROUTINE Eckenfelder_1

END PROGRAM DESIGN
```

## PROGRAM SIMULATION

! συνολικό πρόγραμμα για έλεγχο λειτουργίας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

IMPLICIT NONE

! δηλώσεις:

```
REAL :: Q, SS, BOD
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4, answer5, answer6
```

! εκφράσεις

```
PRINT*, 'Type a value for the flow (Q) in m3/d'
PRINT*, 'If you don't know the value of flow, type '0'''
READ*, Q

PRINT*, 'Type a value for the initial concentration of SS in mg/L'
10 PRINT*, 'range: 150 - 400 mg/L'
   READ*, SS

   SS1: SELECT CASE (SS<150.0.OR.SS>400.)
         CASE (.TRUE.)
             PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
             GOTO 10
         CASE DEFAULT
             END SELECT SS1

PRINT*, 'Type a value for the initial concentration of BOD5 in mg/L'
20 PRINT*, 'range: 210 - 300 mg/L'
   READ*, BOD

   BOD1: SELECT CASE (BOD<210.0.OR.BOD>300.)
         CASE (.TRUE.)
             PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
             GOTO 20
         CASE DEFAULT
             END SELECT BOD1

PRINT*, 'Do you have a device for flow measurement?'
30 PRINT*, 'Type 'y' for yes or 'n' for no'
   READ*, answer1

   case1: IF (answer1=='y') THEN
         CALL Flow_measurement_2 (Q)
   ELSE IF (answer1=='n') THEN
   ELSE
       PRINT*, 'WRONG!'
       ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
       GOTO 30
   END IF case1

PRINT*, 'Do you have a device for screening?'
40 PRINT*, 'Type 'y' for yes or 'n' for no'
   READ*, answer2

   case2: IF (answer2=='y') THEN
         CALL Screening_2 (Q)
   ELSE IF (answer2=='n') THEN
   ELSE
```

```

        PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
        GOTO 40
END IF case2

PRINT*, 'Do you have a device for degritting?'
50 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer3

    case3: IF (answer3=='y') THEN
            CALL Grit_chambers_2 (Q)
        ELSE IF (answer3=='n') THEN
        ELSE
            PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
            GOTO 50
        END IF case3

PRINT*, 'Do you have tanks for primary sedimentation?'
60 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer4

    case4: IF (answer4=='y') THEN
            CALL Primary_sedimentation_2 (SS,BOD)
        ELSE IF (answer4=='n') THEN
        ELSE
            PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ ηλεκτρολόγηση
            GOTO 60
        END IF case4

PRINT*, 'Do you have trickling filters?'
70 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer5

    case5: IF (answer5=='y') THEN

PRINT*, 'Do you have rock or plastic media filter?'
80 PRINT*, "Type 'r' for rock or 'p' for plastic!"
    READ*, answer6

    case6: IF (answer6=='r') THEN
            PRINT*, 'Using the NRC model:'
            PRINT*, ''
            CALL NRC_2 (Q,BOD)
            PRINT*, 'Using the Galler-Gotaas model:'
            PRINT*, ''
            CALL Galler_Gotaas_2 (Q,BOD)

        ELSE IF (answer6=='p') THEN
            PRINT*, 'Using the Germain model:'
            PRINT*, ''
            CALL Germain_2 (Q,BOD)
            PRINT*, 'Using the Eckenfelder model:'
            PRINT*, ''
            CALL Eckenfelder_2 (Q,BOD)

        ELSE

```

```

                                PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                GOTO 80
                                END IF case6

ELSE IF (answer5=='n') THEN
ELSE
                                PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                GOTO 70
END IF case5

CONTAINS

SUBROUTINE Flow_measurement_2 (Q)

! δηλώσεις:
REAL :: B, L, h
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL :: Q
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3, answer4

! εκφράσεις:
10 PRINT*, 'You use Parshall flume or weir to measure the flow?'
PRINT*, 'Type p for Parshall flume or w for weir!'
READ*, answer1

case1: IF (answer1=='p') THEN
20 PRINT*, 'Type a value for the width of stenosis (B) in meters'
PRINT*, 'range: 0,05 - 2,00 m'
READ*, B

width1: SELECT CASE (B<0.05.OR.B>2.)
CASE (.TRUE.)
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 20
CASE DEFAULT
END SELECT width1

PRINT*, 'Type a value for the head on the flume (h) in meters'
30 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
READ*, h

head1: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)
CASE (.TRUE.)
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 30
CASE DEFAULT
END SELECT head1

B=B/0.3048
h=h/0.3048
Q=4*B*(h**(1.522*(B**0.026)))
B=B*0.3048
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

```



```

flow1: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your flume gives negative values of flow (Q)!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF flow1

PRINT*, 'The flow (Q) on the Parshall flume must be in m3/d:'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
120 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
    READ*, answer4

case4: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 120
END IF case4

OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
WRITE (10,('For width of stenosis B=",f4.2," m and head on the flume
h=",f4.2," m:"))B,h

WRITE (10,(' " ))
WRITE (10,('-----"))
WRITE (10,(' " ))
WRITE (10,('The flow of wastewater (Q) on the Parshall flume must be ",f7.1,"
m3/d.))Q

ELSE IF (answer1=='w') THEN
40 PRINT*, 'You use a rectangular-notch or a V-notch weir?'
    PRINT*, 'Type r for rectangular-notch or v for V-notch weir!'
    READ*, answer2

case2: IF (answer2=='r') THEN
    PRINT*, 'Type a value for the width of the notch (L) in meters'
50 PRINT*, 'range: 0,05 - 1,50 m'
    READ*, L

width2: SELECT CASE (L<0.05.OR.L>1.5)
    CASE (.TRUE.)
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 50
    CASE DEFAULT
    END SELECT width2

PRINT*, 'Type a value for the head before the notch (h) in meters'
60 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
    READ*, h

head2: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)
    CASE (.TRUE.)
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'

```

```

                                GOTO 60
CASE DEFAULT
END SELECT head2

L=L/0.3048
h=h/0.3048
Q=3.367*L*(h**1.5)
L=L*0.3048
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

flow2: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your flume gives negative values of flow (Q)!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF flow2

PRINT*, 'The flow (Q) on the rectangular notch must be in m3/d.'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer4

case5: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 130
END IF case5

OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
WRITE (10,("For width of the notch L=",f4.2," m and head before the
notch h=",f4.2," m:"))L,h
WRITE (10,(" "))
WRITE (10,("-----"))
WRITE (10,(" "))
WRITE (10,("The flow of wastewater (Q) on the rectangular notch
must be ",f7.1," m3/d.))Q

ELSE IF (answer2=='v') THEN
PRINT*, 'What angle has the V-notch weir?'
PRINT*, 'Type a for 30 degrees, b for 45, c for 60 or d for 90!'
READ*, answer3

case3: IF (answer3=='a') THEN
    PRINT*, 'Type a value for the head before the notch (h) in
meters'
    PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
    READ*, h

head3: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)

```

```

                                CASE (.TRUE.)
                                    PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

                                GOTO 80
                                CASE DEFAULT
END SELECT head3

h=h/0.3048
Q=0.685*(h**2.45)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

flow3: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your V-notch gives negative values of
flow (Q)!'

    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF flow3

PRINT*, 'The flow (Q) on the 30 V-notch must be in m3/d:'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
140 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
    READ*, answer4

case6: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'

                                GOTO 140
END IF case6

OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
WRITE (10,('For head before the notch h=",f4.2," m:")')h
WRITE (10,(' " "'))
WRITE (10,('-----"'))

                                WRITE (10,(' " '))
                                WRITE (10,('The flow of wastewater (Q) on the 30 V-notch
must be ",f7.1," m3/d.")')Q

                                ELSE IF (answer3=='b') THEN
                                    PRINT*, 'Type a value for the head before the notch (h) in
meters'
90 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
                                        READ*, h

head4: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)
    CASE (.TRUE.)
        PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'

                                GOTO 90

```

```

CASE DEFAULT
END SELECT head4

h=h/0.3048
Q=1.035*(h**2.5)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

flow4: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your V-notch gives negative values of
flow (Q)!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF flow4

PRINT*, 'The flow (Q) on the 45 V-notch must be in m3/d:'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
150 READ*, answer4

case7: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    GOTO 150
END IF case7

OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
WRITE (10,('For head before the notch h=",f4.2," m:")')h
WRITE (10,(' " '))
WRITE (10,('-----"'))

WRITE (10,(' " '))
WRITE (10,('The flow of wastewater (Q) on the 45 V-notch
must be ",f7.1," m3/d.")Q

ELSE IF (answer3=='c') THEN
PRINT*, 'Type a value for the head before the notch (h) in
meters'
100 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
READ*, h

head5: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)
CASE (.TRUE.)
    PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'
    GOTO 100
CASE DEFAULT
END SELECT head5

```

```

h=h/0.3048
Q=1.443*(h**2.5)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832
Q=Q*86400.

flow5: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your V-notch gives negative values of
flow (Q)!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF flow5

PRINT*, 'The flow (Q) on the 60 V-notch must be in m3/d:'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
160 READ*, answer4

case8: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    GOTO 160
END IF case8

OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
WRITE (10,('For head before the notch h=",f4.2," m:")')h
WRITE (10,(' " " '))
WRITE (10,('-----"'))

WRITE (10,(' " '))
WRITE (10,('The flow of wastewater (Q) on the 60 V-notch
must be ",f7.1," m3/d.")Q

ELSE IF (answer3=='d') THEN
PRINT*, 'Type a value for the head before the notch (h) in
meters'
110 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
READ*, h

head6: SELECT CASE (h<0.1.OR.h>2.)
CASE (.TRUE.)
    PRINT*, 'Make sure of the value and please
type again!'
    GOTO 110
CASE DEFAULT
END SELECT head6

h=h/0.3048
Q=2.5*(h**2.5)
h=h*0.3048
Q=Q*0.02832

```

```

Q=Q*86400.

flow6: IF (Q<0.) THEN
    PRINT*, 'Your V-notch gives negative values of
flow (Q)!'
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE
    END IF flow6

PRINT*, 'The flow (Q) on the 90 V-notch must be in m3/d:'
PRINT*, Q
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
170 READ*, answer4

case9: IF (answer4=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer4=='y') THEN
    ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        GOTO 170
    END IF case9

    OPEN (10,FILE='Flow_measurement_2_output.dat')
    PRINT*, "Open the file 'Flow_measurement_2_output'"
    WRITE (10,('For head before the notch h=",f4.2," m:")')h
    WRITE (10,(' "'))
    WRITE (10,('-----"'))

    WRITE (10,(' "'))
    WRITE (10,('The flow of wastewater (Q) on the 90 V-notch
must be ",f7.1," m3/d.")')Q

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    GOTO 70
END IF case3

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    GOTO 40
END IF case2

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    GOTO 10
END IF case1

END SUBROUTINE Flow_measurement_2

SUBROUTINE Screening_2 (Q)

```

```

! δηλώσεις:
REAL ::Aopen, Q, w, height, angle, nb, bw
!
ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL ::C=0.6, g=9.81, pi, BITA, b, d, j, u, A, V
! ενδιάμεσες
μεταβλητές
REAL ::dh
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου

CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3

! εκφράσεις:
10 PRINT*, 'You use coarse or fine screens as screening device?'
PRINT*, 'Type c for coarse or f for fine screens!'

READ*, answer1

case1: IF (answer1=='f') THEN
! το κόσκινο είναι λεπτό
PRINT*, 'Type a value for the area of openings of submerged screen (Aopen) in
m2'
20 PRINT*, 'range: 0,05 - 2,00 m2'
READ*, Aopen

open1: IF (Aopen<0.05.OR.Aopen>2.0) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 20
ELSE
END IF open1

Q=Q/86400.
dh=(1./(2.*g))*((Q/(C*Aopen))**2.)
Q=Q*86400.

PRINT '("The headloss (dh) for this fine screen must be ",f4.2," m")',dh
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
30 PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer2

case2: IF (answer2=='n') THEN
PRINT*, 'Please start again running this program!'
GOTO 10
ELSE IF (answer2=='y') THEN
OPEN (10,FILE='Screening_2_output.dat')
PRINT*, "Open the file 'Screening_2_output'"
WRITE (10,('For area of openings of submerged screen
Aopen=",f5.3," m2 and flow Q=",f7.1," m3/d:"))Aopen,Q
WRITE (10,(' '))
WRITE (10,('-----'))
-----"))
WRITE (10,(' '))
WRITE (10,('The headloss for the fine screen must be dh=",f4.2,"
m"))dh
ELSE
PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
GOTO 30
END IF case2

```

```

ELSE IF (answer1=='c') THEN
! το κόσκινο είναι χονδρό

Q=Q/86400.

PRINT*, 'Which is the width of the screen in meters?'
40 PRINT*, 'range: 0,1 - 1,5 m'
READ*, w

width1: IF (w<0.10.OR.w>1.5) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 40
ELSE
END IF width1

PRINT*, 'Which is the height of the screen in meters?'
50 PRINT*, 'range: 0,10 - 2,00 m'
READ*, height

height1: IF (height<0.10.OR.height>2.) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 50
ELSE
END IF height1

PRINT*, 'Type the angle of the rack to the horizontal in degrees'
60 PRINT*, 'range: 30 - 60'
READ*, angle

angle1: IF (angle<30.OR.angle>60) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 60
ELSE
pi=4.*atan(1.)
angle=angle*pi/180
END IF angle1

PRINT*, 'How many bars has the screen device?'
70 PRINT*, 'range: 1 - 50'
READ*, nb

nb1: IF (nb<1.OR.nb>50) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 70
ELSE
nb=INT(nb)
END IF nb1

PRINT*, 'Which is the width of each bar in mm?'
80 PRINT*, 'range: 5 - 30 mm'
PRINT*, 'typical value: 10mm'
READ*, bw

bw1: IF (bw<5.0.OR.bw>30.) THEN
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 80
ELSE

```



90

```

        bw=bw/1000
    END IF bw1

PRINT*, 'CASE          BAR TYPE          '
PRINT*, '-----'
PRINT*, ' a      Sharp-edged rectangular '
PRINT*, ' b      Rectangular with semicircular face '
PRINT*, ' c              Circular          '
PRINT*, ' d      Rectangular with semicircular '
PRINT*, '          upstream and downstream faces '
PRINT*, ' e              Tear shape          '
PRINT*, '-----'
PRINT*, 'Choose the bar type you use and type a, b, c, d or e'

READ*, answer3
case3: IF (answer3=='a') THEN
    BITA=2.42
ELSE IF (answer3=='b') THEN
    BITA=1.83
ELSE IF (answer3=='c') THEN
    BITA=1.79
ELSE IF (answer3=='d') THEN
    BITA=1.67
ELSE IF (answer3=='e') THEN
    BITA=0.76
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 90
END IF case3

d=height*SIN(angle)
A=w*d
b=w-(bw*nb)
j=((BITA*(SIN(angle))*(w**(4./3.)))/(2.*g*(b**(4./3.)))+(1./(1.4*g))
V=Q/A
u=((V**2.)/(1.4*g*j))**0.5
dh=(1./0.7)*(((V**2.)-(u**2.))/(2.*g))
Q=Q*86400.

case4: IF (A<0.0.OR.u<0.0.OR.dh<0.0.OR.Q<0.0) THEN
    PRINT*, 'Your data give negative results!'
    PRINT*, 'Please start running again this program!'
    GOTO 10
ELSE
END IF case4

PRINT '("The headloss (dh) for this coarse screen must be ",f4.2," m")',dh
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer2

case5: IF (answer2=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer2=='y') THEN
    OPEN (10,FILE='Screening_2_output.dat')
    PRINT*, "Open the file 'Screening_2_output'"

```

100

```

WRITE (10,('For flow Q=",f7.1," m3/d and for the coarse screen you
have described:")Q
WRITE (10,(' " ))
WRITE (10,('-----
-"))
WRITE (10,(' " ))
WRITE (10,('The headloss for the coarse screen must be dh=",f4.2,"
m"))dh

ELSE
PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
GOTO 100
END IF case5

ELSE
PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
GOTO 10
END IF case1

END SUBROUTINE Screening_2

SUBROUTINE Grit_chambers_2 (Qmax)
! δηλώσεις:
REAL :: Qmax, b, H, L, t
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
INTEGER::n
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL :: Q, g=9.81, m, p
! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL :: V, height, Vc, hc
! εξαρτημένες μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3

! εκφράσεις:
10 PRINT*, 'You use degritting unit with constant flow or aerated grit chamber?'
PRINT*, 'Type c for degritting unit with constant flow or a for aerated grit chamber!'
READ*, answer1

case1: IF (answer1=='c') THEN
! εξαμμοτής σταθερής ροής

20 PRINT*, 'You use a degritting channel with rectangular intersection and
analogic overflowter on its verge,'
PRINT*, 'or a degritting channel with parabolic intersection and Parshall flume
on its verge?'

PRINT*, 'Type a for the first case or b for the second!'
READ*, answer2

case2: IF (answer2=='a') THEN
! εξαμμοτής σταθερής ροής με κανάλι ορθογωνικής διατομής και

! αναλογικό υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του
PRINT*, 'Type how many channels (n) has the degritting unit'
30 PRINT*, 'range: 1-6'
READ*, n

```

```

channels1: SELECT CASE (n<=0.OR.n>6)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
                GOTO 30
            CASE DEFAULT
END SELECT channels1

PRINT*, 'Type the width (b) of each channel in meters'
40 PRINT*, 'range: 0,3 - 3,0 m'
    READ*, b

width1: SELECT CASE (b<0.3.OR.b>3.)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
                GOTO 40
            CASE DEFAULT
END SELECT width1

PRINT*, 'Type the height (H) of each channel in meters'
50 PRINT*, 'range: 0,8 - 3,5 m'
    READ*, H

height1: SELECT CASE (H<0.8.OR.H>3.5)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
                GOTO 50
            CASE DEFAULT
END SELECT height1

PRINT*, 'Type the length (L) of each channel in meters'
60 PRINT*, 'range: 5,0 - 20,0 m'
    READ*, L

length1: SELECT CASE (L<5.0.OR.L>20.)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
                GOTO 60
            CASE DEFAULT
END SELECT length1

PRINT*, 'Type the detention time of wastewater (t) in the degritting
unit in sec'
80 PRINT*, 'range: 45 - 90 sec'
    READ*, t
70

time1: SELECT CASE (t<45.0.OR.t>90.)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'
                GOTO 70
            CASE DEFAULT
END SELECT time1

V=L/t

```

```

PRINT '("The velocity of flow (V) in the degritting unit is
",f4.2,"m/s"),V

PRINT*, 'For 100% degritting must be V=0.30 m/s!'
PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
90 PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
READ*, answer3

case3: IF (answer3=='y') THEN
    PRINT*, 'Your degritting unit works with almost 100%
performance!'

ELSE IF (answer3=='n') THEN
    PRINT*, 'Change the detention time (t) of wastewater'
    PRINT*, 'and please start running again this program!'
    GOTO 80

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 90
END IF case3

ELSE IF (answer2=='b') THEN
    ! εξαμμοτής σταθερής ροής με κανάλι παραβολικής διατομής και

    ! στένωση Parshall στο κατάντη άκρο του
    PRINT*, 'Type how many channels (n) has the degritting unit'
    100 PRINT*, 'range: 1-6'
    READ*, n

channels2: SELECT CASE (n<=0.OR.n>6)
    CASE (.TRUE.)
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

        GOTO 100
    CASE DEFAULT
    END SELECT channels2

Qmax=Qmax/86400.

PRINT*, 'Type the width (W) of each channel in meters'
110 PRINT*, 'range: 0,3 - 4,0 m'
READ*, b

width2: SELECT CASE (b<0.3.OR.b>4.)
    CASE (.TRUE.)
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

        GOTO 110
    CASE DEFAULT
    END SELECT width2

PRINT*, 'Type the height (H) of each channel in meters'
120 PRINT*, 'range: 0,8 - 3,0 m'
READ*, H

height2: SELECT CASE (H<0.8.OR.H>3.0)
    CASE (.TRUE.)

```

```

                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                                GOTO 120
                                CASE DEFAULT
                                END SELECT height2

                                PRINT*, 'Type the length (L) of each channel in meters'

130                                PRINT*, 'range: 5,0 - 20,0 m'
                                READ*, L

                                length2: SELECT CASE (L<5.0.OR.L>20.)
                                        CASE (.TRUE.)
                                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                                                GOTO 130
                                                CASE DEFAULT
                                                END SELECT length2

150                                PRINT*, 'Type the detention time of wastewater (t) in the degritting
unit in sec'
140                                PRINT*, 'range: 45 - 90 sec'
                                READ*, t

                                time2: SELECT CASE (t<45.0.OR.t>90.)
                                        CASE (.TRUE.)
                                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type
again!'

                                                GOTO 140
                                                CASE DEFAULT
                                                END SELECT time2

                                V=L/t
                                Q=Qmax/n
                                height=(3.*Q)/(2.*V*b)
                                ! στη στένωση Parshall:
                                Vc=((2.*g)/3.1)*(height+((V**2.)/(2.*g))))**0.5
                                hc=(Vc**2.)/g
                                Qmax=Qmax*86400.

                                PRINT '("The height of flow in the Parshall flume is: ",f4.2," m"),hc

                                PRINT '("The velocity of flow in the Parshall flume is: ",f4.2,"
m/s"),Vc
                                PRINT '("The height of flow in the degritting unit is: ",f4.2,"
m"),height
                                PRINT '("The velocity of flow (V) in the degritting unit is
",f4.2,"m/s"),V

                                PRINT*, 'For 100% degritting must be V=0.30 m/s!'
                                PRINT*, 'Are you satisfied with the result?'
160                                PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
                                READ*, answer3

                                case4: IF (answer3=='y') THEN
                                        PRINT*, 'Your degritting unit works with almost 100%
performance!'

                                ELSE IF (answer3=='n') THEN
                                        PRINT*, 'Change the detention time (t) of wastewater'

```

```

                                PRINT*, 'and please start running again this program!'
                                GOTO 150
ELSE
                                PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                GOTO 160
END IF case4

ELSE
                                PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                GOTO 20
END IF case2

ELSE IF (answer1=='a') THEN
! αεριζόμενος εξαμμητής

170                                PRINT*, 'Which is the width (W) of the chamber in meters?'
                                PRINT*, 'range: 3,0 - 8,0 m'
                                READ*, b

                                width3: SELECT CASE (b<3.0.OR.b>8.)
                                        CASE (.TRUE.)
                                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                                                GOTO 170
                                        CASE DEFAULT
                                END SELECT width3

180                                PRINT*, 'Which is the height (H) of the chamber in meters?'
                                PRINT*, 'range: 1,5 - 4,0 m'
                                READ*, H

                                height3: SELECT CASE (H<1.5.OR.H>4.)
                                        CASE (.TRUE.)
                                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                                                GOTO 180
                                        CASE DEFAULT
                                END SELECT height3

190                                PRINT*, 'Which is the length (L) of the chamber in meters?'
                                PRINT*, 'range: 7,5 - 20,0 m'
                                READ*, L

                                length3: SELECT CASE (L<7.5.OR.L>20.)
                                        CASE (.TRUE.)
                                                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                                                GOTO 190
                                        CASE DEFAULT
                                END SELECT length3

                                m=b/H
                                p=L/b

                                case5: IF (m<1.5.OR.m>2.5.OR.p<0.4.OR.p>5.) THEN
                                        PRINT*, 'For 100% degritting it must be V=0,30 m/s!'
                                        PRINT*, "The dimensions of your chamber don't give the desirable
velocity 0,30 m/s!"
                                ELSE

```

```

                                PRINT*, 'For 100% degritting it must be V=0,30 m/s!'
                                PRINT*, "The dimensions of your chamber give the desirable velocity
0,30 m/s!"
                                END IF case5

                                ELSE
                                    PRINT*, 'WRONG!'
                                    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
                                    GOTO 10
                                END IF case1

END SUBROUTINE Grit_chambers_2

SUBROUTINE Primary_sedimentation_2 (Cssin,Cbodin)

! δηλώσεις:
    REAL :: Qin, Cssin, Cbodin, L, W, H, d
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    INTEGER::n
                                ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL :: t, q, aSS1, aSS2, aBOD, pi
! ενδιάμεσες μεταβλητές
    REAL :: aSS, eBOD, Min, Qsl, Csl, Msl, Qout, Cssout, Mout ! εξαρτημένες μεταβλητές
εξόδου
    CHARACTER (LEN=1) answer1, answer2, answer3

! εκφράσεις:
    PRINT*, 'Type a value for the average flow (Qave) in m3/d'
    READ*, Qin

10    PRINT*, 'How many tanks you use?'
    PRINT*, 'range: 1 - 4'
    READ*, n

    tanks1: SELECT CASE (n<=0.OR.n>4)
        CASE (.TRUE.)
            PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
            GOTO 10
        CASE DEFAULT
            OPEN (10,FILE='Primary_sedimentation_2_output.dat')
    END SELECT tanks1

30    PRINT*, 'You use rectangular or circular sedimentation tanks?'
    PRINT*, 'Type r for rectangular or c for circular sedimentation tanks!'
    READ*, answer1

    case1: IF (answer1=='r') THEN
! ορθογωνική δεξαμενή

70        PRINT*, 'Which is the length (L) of the tank in meters?'
40        PRINT*, 'range: 15 - 90 m'
        PRINT*, 'typical values: 25 - 40 m'
        READ*, L

        length1: SELECT CASE (L<15.OR.L>90.)
            CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                GOTO 40

```

```

CASE DEFAULT
END SELECT length1

50 PRINT*, 'Which is the width (W) of the tank in meters?'
PRINT*, 'range: 3 - 24 m'
PRINT*, 'typical values: 6 - 10 m'
READ*, W

width1: SELECT CASE (W<3.OR.W>24.)
CASE (.TRUE.)
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 50
CASE DEFAULT
END SELECT width1

60 PRINT*, 'Which is the depth (H) of the tank in meters?'
PRINT*, 'range: 2,5 - 5,0 m'
PRINT*, 'typical value: 3,0 m'
READ*, H

depth1: SELECT CASE (H<2.5.OR.H>5.0)
CASE (.TRUE.)
PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
GOTO 60
CASE DEFAULT
END SELECT depth1

case2: IF ((L/W)<3.) THEN
PRINT*, 'It must be: L/W > 3 !'
PRINT*, 'Please type again the dimensions of the tank!'
GOTO 70
ELSE
END IF case2

case3: IF ((W/H)<1.0.OR.(W/H)>2.25) THEN
PRINT*, 'It must be: W/H = 1,00 - 2,25'
PRINT*, 'Please type again the dimensions of the tank!'
GOTO 70
ELSE
END IF case3

Qin=Qin/n
t=(L*W*H)/Qin
t=t*1440.
q=Qin/(L*W)

t=t/1.75
q=q*1.75
aSS1=-(0.0056*(t**2.))+(1.3268*t)+6.5604
aSS2=717.79*(q**(-0.57))
aSS=(aSS1+aSS2)/2
aSS=INT(aSS)
aBOD=-(0.001*(q**2.))-(0.1177*q)+38.249
aBOD=INT(aBOD)
eBOD=Cbodin*(1.-(aBOD/100.))

Qin=Qin*n
Csl=(1.0347*LOG(t))-0.7809

```



```

Msl=(aSS*Cssin*Qin)/(10.**5.)
Qsl=(100.*Msl)/(1030.*Csl)
Qout=Qin-Qsl
Cssout=Cssin*(1.-(aSS/100.))
Min=(Cssin*Qin)/1000.
Mout=Min-Msl
t=t*1.75
q=q/1.75

PRINT '(" Detention time (t): ",f5.1," min"),t
PRINT '(" Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d"),q
PRINT '(" Removal of SS: ",f4.1,"%"),aSS
PRINT '(" Removal of BOD5: ",f4.1,"%"),aBOD
PRINT '(" Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L"),eBOD
PRINT '(" ")
PRINT '(" BALANCE OF SS:")
PRINT '(" Influx:")
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d"),Qin
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L"),Cssin
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d"),Min
PRINT '(" Sludge:")
PRINT '(" Q= ",f6.1," m3/d"),Qsl
PRINT '(" SS= ",f4.2," %"),Csl
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d"),Msl
PRINT '(" Efflux:")
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d"),Qout
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L"),Cssout
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d"),Mout
PRINT '(" ")
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer2

```

110

```

case4: IF (answer2=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer2=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Primary_sedimentation_2_output'"
    WRITE (10,('For entry flow Qin: ",f7.1," m3/d,"))Qin
    WRITE (10,('initial SS concentration: ",f5.1," mg/L,"))Cssin
    WRITE (10,('initial BOD5 concentration: ",f5.1," mg/L,"))Cbodin
    WRITE (10,('and ",I1," rectangular tanks with dimensions:"))n
    WRITE (10,('Length (L): ",f4.1," m"))L
    WRITE (10,('Width (W): ",f5.2," m"))W
    WRITE (10,('Depth (H): ",f4.2," m"))H
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('-----'))
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('Detention time (t): ",f5.1," min"))t
    WRITE (10,('Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d"))q
    WRITE (10,('Removal of SS: ",f4.1,"%"))aSS
    WRITE (10,('Removal of BOD5: ",f4.1,"%"))aBOD
    WRITE (10,('Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L"))eBOD
    WRITE (10,(' " '))
    WRITE (10,('BALANCE OF SS:'))
    WRITE (10,('Influx:'))
    WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d"))Qin
    WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/L"))Cssin

```

```

WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d'))Min
WRITE (10,('Sludge:'))
WRITE (10,('Q= ",f5.1," m3/d'))Qsl
WRITE (10,('SS= ",f4.2," %'))Csl
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d'))Msl
WRITE (10,('Efflux:'))
WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d'))Qout
WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/l'))Cssout
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d'))Mout

ELSE
  PRINT*, 'WRONG!'
  ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
  GOTO 110
END IF case4

ELSE IF (answer1=='c') THEN
  ! κυκλική δεξαμενή

80    PRINT*, 'Which is the diameter (d) of the tank in meters?'
      PRINT*, 'range: 3,6 - 60 m'
      PRINT*, 'typical values: 12 - 45 m'
      READ*, d

      diameter1: SELECT CASE (d<3.6.OR.d>60.)
                  CASE (.TRUE.)
                    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                    GOTO 80
                  CASE DEFAULT
                END SELECT diameter1

90    PRINT*, 'Which is the depth (H) of the tank in meters?'
      PRINT*, 'range: 2 - 4 m'
      PRINT*, 'typical value: 3 m'
      READ*, H

      depth2: SELECT CASE (H<2.0.OR.H>4.0)
              CASE (.TRUE.)
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                GOTO 90
              CASE DEFAULT
            END SELECT depth2

      pi=4.*atan(1.)

      Qin=Qin/n
      t=(pi*(d**2.)*H)/(4.*Qin)
      t=t*1440.
      q=(4.*Qin)/(pi*(d**2.))

      t=t/1.75
      q=q*1.75
      aSS1=-(0.0056*(t**2.))+(1.3268*t)+6.5604
      aSS2=717.79*(q**(-0.57))
      aSS=(aSS1+aSS2)/2
      aSS=INT(aSS)
      aBOD=-(0.001*(q**2.))-(0.1177*q)+38.249
      aBOD=INT(aBOD)
      eBOD=Cbodin*(1.-(aBOD/100.))

```

```

Qin=Qin*n
Csl=(1.0347*LOG(t))-0.7809
Msl=(aSS*Csin*Qin)/(10.**5.)
Qsl=(100.*Msl)/(1030.*Csl)
Qout=Qin-Qsl
Cssout=Csin*(1.-(aSS/100.))
Min=(Csin*Qin)/1000.
Mout=Min-Msl
t=t*1.75
q=q/1.75

PRINT '(" Detention time (t): ",f5.1," min")',t
PRINT '(" Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d")',q
PRINT '(" Removal of SS: ",f4.1,"%")',aSS
PRINT '(" Removal of BOD5: ",f4.1,"%")',aBOD
PRINT '(" Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L")',eBOD
PRINT '(" ")'
PRINT '(" BALANCE OF SS:")'
PRINT '(" Influx:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qin
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Csin
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Min
PRINT '(" Sludge:")'
PRINT '(" Q= ",f6.1," m3/d")',Qsl
PRINT '(" SS= ",f4.2," %")',Csl
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Msl
PRINT '(" Efflux:")'
PRINT '(" Q= ",f7.1," m3/d")',Qout
PRINT '(" SS= ",f5.1," mg/L")',Cssout
PRINT '(" M= ",f6.1," kg/d")',Mout
PRINT '(" ")'
PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
PRINT*, 'Type y for yes or n for no!'
READ*, answer3

case5: IF (answer3=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 10
ELSE IF (answer3=='y') THEN
    PRINT*, "Open the file 'Primary_sedimentation_2_output'"
    WRITE (10,('For entry flow Qin: ",f7.1," m3/d,"))Qin
    WRITE (10,('initial SS concentration: ",f5.1," mg/L,"))Csin
    WRITE (10,('initial BOD5 concentration: ",f5.1," mg/L,"))Cbodin
    WRITE (10,('and ",I1," circular tanks with dimensions:"))n
    WRITE (10,('Diameter (d): ",f5.2," m"))d
    WRITE (10,('Depth (H): ",f4.2," m"))H
    WRITE (10,('(" ")')
    WRITE (10,('("-----")')
    WRITE (10,('(" ")')
    WRITE (10,('("Detention time (t): ",f5.1," min")')t
    WRITE (10,('("Surface load (q): ",f5.1," m3/m2,d")')q
    WRITE (10,('("Removal of SS: ",f4.1,"%")')aSS
    WRITE (10,('("Removal of BOD5: ",f4.1,"%")')aBOD
    WRITE (10,('("Concentration of effluent BOD5: ",f5.1," mg/L")')eBOD
    WRITE (10,('(" ")')
    WRITE (10,('("BALANCE OF SS:")')
    WRITE (10,('("Influx:")')

```

120

```

WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d"))Qin
WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/l"))Cssin
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Min
WRITE (10,('Sludge:"))
WRITE (10,('Q= ",f6.1," m3/d"))Qsl
WRITE (10,('SS= ",f4.2," %"))Csl
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Msl
WRITE (10,('Efflux:"))
WRITE (10,('Q= ",f7.1," m3/d"))Qout
WRITE (10,('SS= ",f5.1," mg/l"))Cssout
WRITE (10,('M= ",f6.1," kg/d"))Mout

ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 120
END IF case5
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
    ! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 30
END IF case1

Cssin=Cssout
Cbodin=eBOD

END SUBROUTINE Primary_sedimentation_2

SUBROUTINE NRC_2 (Q,iBOD)

! δηλώσεις:
REAL :: Q, iBOD, T, r, r1, r2 ! ανεξάρτητες
μεταβλητές εισόδου
REAL :: D, D1, D2, diam, diam1, diam2 ! ανεξάρτητες μεταβλητές
εισόδου
INTEGER:: n
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL :: W, F, V, W1, F1, V1, W2, F2, V2 ! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL :: pi, E20, E120, E220, eBOD1 ! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL :: ET, E1T, E2T, eBOD ! εξαρτημένες
μεταβλητές εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer

! εκφράσεις:
80 PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
   READ*, T

PRINT*, 'Type how many (n) trickling filters do you have'
10 PRINT*, 'range: 1 - 2'
   READ*, n

number1: IF (n<1.0.OR.n>2.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 10
ELSE IF (n==1.) THEN
    PRINT*, 'Type a value for the depth (D) of the filter in meters'
20 PRINT*, 'range: 0,9 - 2,4 m'
    READ*, D

```

```

depth1: IF (D<0.9.OR.D>2.4) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 20
ELSE
END IF depth1

PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam) of the filter in meters'
READ*, diam

PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r) of the filter'
PRINT*, 'If you don't have recirculation, type '0'''
PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
READ*, r

rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 30
ELSE
END IF rec1

W=(Q*iBOD)/1000.
F=(1.+r)/((1.+(0.1*r))*2.)
pi=4.*atan(1.)
V=((diam**2.)*pi*D)/4.
E20=100./(1.+(0.4432*SQRT(W/(V*F))))
ET=E20*(1.035**(T-20.))
eBOD=iBOD*(1.-(0.01*ET))

PRINT*, 'The trickling filter you have described, must have:'
PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',ET
PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',eBOD

ELSE

PRINT*, 'Type a value for the depth (D1) of the first filter in meters'
PRINT*, 'range: 0,9 - 2,4 m'
READ*, D1

depth2: IF (D1<0.9.OR.D1>2.4) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 40
ELSE
END IF depth2

PRINT*, 'Type a value for the depth (D2) of the second filter in meters'
PRINT*, 'range: 0,9 - 2,4 m'
READ*, D2

depth3: IF (D2<0.9.OR.D2>2.4) THEN
    PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
    GOTO 50
ELSE
END IF depth3

PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam1) of the first filter in meters'
READ*, diam1

PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam2) of the second filter in meters'
READ*, diam2

```

```

60      PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r1) of the first filter'
      PRINT*, 'If you don't have recirculation, type '0'''
      PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
      READ*, r1

      rec2: IF (r1<0.0.OR.r1>4.0) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
            GOTO 60
      ELSE
      END IF rec2

70      PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r2) of the second filter'
      PRINT*, 'If you don't have recirculation, type '0'''
      PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
      READ*, r2

      rec3: IF (r2<0.0.OR.r2>4.0) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
            GOTO 70
      ELSE
      END IF rec3

      pi=4.*atan(1.)
      W1=(Q*iBOD)/1000.
      F1=(1.+r1)/((1.+(0.1*r1))**2.)
      V1=((diam1**2.)*pi*D1)/4.
      E120=100./(1.+(0.4432*SQRT(W1/(V1*F1))))
      E1T=E120*(1.035**(T-20.))
      eBOD1=iBOD*(1.-(0.01*E1T))
      W2=(Q*eBOD1)/1000.
      F2=(1.+r2)/((1.+(0.1*r2))**2.)
      V2=((diam2**2.)*pi*D2)/4.
      E220=100./(1.+(0.4432/(1.-(0.01*E120))))*SQRT(W2/(V2*F2)))
      E2T=E220*(1.035**(T-20.))
      eBOD=eBOD1*(1.-(0.01*E2T))
      ET=((iBOD-eBOD)/iBOD)*100.

      PRINT*, 'The trickling filters you have described, must have:'
      PRINT*, ''
      PRINT*, '1st filter:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E1T
      PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',eBOD1
      PRINT*, ''
      PRINT*, '2nd filter:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E2T
      PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',eBOD
      PRINT*, ''
      PRINT*, 'TOTAL:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',ET

      END IF number1

      PRINT*, ''
      PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
      PRINT*, 'Type 'y' for yes or 'n' for no'
      READ*, answer

```

```

      case1: IF (answer=='y') THEN
        PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
      ELSE IF (answer=='n') THEN
        PRINT*, 'Please start again running this program!'
        GOTO 80
      ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
        GOTO 90
      END IF case1

END SUBROUTINE NRC_2

SUBROUTINE Galler_Gotaas_2 (Q,Lo)

! δηλώσεις:
      REAL :: Q, Lo, T, r, r1, r2                ! ανεξάρτητες
μεταβλητές εισόδου
      REAL :: D, D1, D2, diam, diam1, diam2      ! ανεξάρτητες μεταβλητές
εισόδου
      INTEGER:: n
! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
      REAL :: j, m
! ενδιάμεσες μεταβλητές
      REAL :: Le, Le1, E, E1, E2                ! εξαρτημένες
μεταβλητές εξόδου
      CHARACTER (LEN=1) answer

! εκφράσεις:
110      PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
      READ*, T

      PRINT*, 'Type how many (n) trickling filters do you have'
10      PRINT*, 'range: 1 - 2'
      READ*, n

      number1: IF (n<1.0.OR.n>2.0) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 10
      ELSE IF (n==1.) THEN
20      PRINT*, 'Type a value for the depth (D) of the filter in meters'
        PRINT*, 'range: 0,90 - 2,45 m'
        READ*, D

        depth1: IF (D<0.90.OR.D>2.45) THEN
          PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
          GOTO 20
        ELSE
          END IF depth1

        PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam) of the filter in meters'
        READ*, diam

        PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r) of the filter'
30      PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
        READ*, r

        rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN

```

```

        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 30
    ELSE
    END IF rec1

    Le=Lo-1.

40    j=(0.408*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1.+r)**0.78)*((1.+(3.28*D))**0.67)*(diam**0.25))
    m=Le/((Lo+(r*Le))**1.19)

    case1: IF ((m-j)>0.001) THEN
        Le=Le-1.
        GOTO 40
    ELSE
    END IF case1

    E=((Lo-Le)/Lo)*100.

    PRINT*, 'The trickling filter you have described, must have:'
    PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E
    PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',Le

    ELSE

50    PRINT*, 'Type a value for the depth (D1) of the first filter in meters'
    PRINT*, 'range: 0,90 - 2,45 m'
    READ*, D1

    depth2: IF (D1<0.90.OR.D1>2.45) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 50
    ELSE
    END IF depth2

60    PRINT*, 'Type a value for the depth (D2) of the second filter in meters'
    PRINT*, 'range: 0,90 - 2,45 m'
    READ*, D2

    depth3: IF (D2<0.90.OR.D2>2.45) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 60
    ELSE
    END IF depth3

    PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam1) of the first filter in meters'
    READ*, diam1

    PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam2) of the second filter in meters'
    READ*, diam2

70    PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r1) of the first filter'
    PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
    READ*, r1

    rec2: IF (r1<0.0.OR.r1>4.0) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 70
    ELSE
    END IF rec2

```



```

80      PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r2) of the second filter'
      PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
      READ*, r2

      rec3: IF (r2<0.0.OR.r2>4.0) THEN
            PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
            GOTO 80
      ELSE
      END IF rec3

      Le1=Lo-1.

90      j=(0.408*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1+r1)**0.78)*((1+(3.28*D1))**0.67)*(diam1**0.25))
      m=Le1/((Lo+(r1*Le1)**1.19)

      case2: IF ((m-j)>0.001) THEN
            Le1=Le1-1.
            GOTO 90
      ELSE
      END IF case2

      E1=((Lo-Le1)/Lo)*100.
      Le=Le1-1.

      j=(0.408*(Q**0.13))/((T**0.15)*((1+r2)**0.78)*((1+(3.28*D2))**0.67)*(diam2**0.25)*((1.-
(0.01*E1))**0.4))
100     m=Le/((Le1+(r2*Le)**1.19)

      case3: IF ((m-j)>0.001) THEN
            Le=Le-1.
            GOTO 100
      ELSE
      END IF case3

      E2=((Le1-Le)/Le1)*100.
      E=((Lo-Le)/Lo)*100.

      PRINT*, 'The trickling filters you have described, must have:'
      PRINT*, ''
      PRINT*, '1st filter:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E1
      PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',Le1
      PRINT*, ''
      PRINT*, '2nd filter:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E2
      PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',Le
      PRINT*, ''
      PRINT*, 'TOTAL:'
      PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E

      END IF number1

      PRINT*, ''
      PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
120     PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
      READ*, answer

```

```

case4: IF (answer=='y') THEN
    PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
ELSE IF (answer=='n') THEN
    PRINT*, 'Please start again running this program!'
    GOTO 110
ELSE
    PRINT*, 'WRONG!'
! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση
    GOTO 120
END IF case4

END SUBROUTINE Galler_Gotaas_2

SUBROUTINE Germain_2 (Q,Lo)

! δηλώσεις:
    REAL :: Q, Lo, T, D, diam          ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
    REAL :: pi, k, k20, HLR             ! ενδιάμεσες μεταβλητές
    REAL :: Le, E                       ! εξαρτημένες μεταβλητές
    CHARACTER (LEN=1) answer

! εκφράσεις:
20    PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
    READ*, T

10    PRINT*, 'Type a value for the depth (D) of the filter in meters'
    PRINT*, 'range: 4,0 - 12,0 m'
    READ*, D

    depth1: IF (D<4.0.OR.D>12.0) THEN
        PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
        GOTO 10
    ELSE
    END IF depth1

    PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam) of the filter in meters'
    READ*, diam

    pi=4.*atan(1.)
    k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
    k=k20*(1.035**(T-20.))
    HLR=(4.*Q)/(pi*(diam**2.))
    HLR=HLR/86.4
    Le=Lo*exp((-k*D)/(HLR**0.5))
    E=((Lo-Le)/Lo)*100.

    PRINT*, 'The trickling filter you have described, must have:'
    PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E
    PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',Le
    PRINT*, ''
    PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
30    PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
    READ*, answer

    case1: IF (answer=='y') THEN
        PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
    ELSE IF (answer=='n') THEN

```

```

        PRINT*, 'Please start again running this program!'
        GOTO 20
ELSE
        PRINT*, 'WRONG!'
        GOTO 30
END IF case1

END SUBROUTINE Germain_2

SUBROUTINE Eckenfelder_2 (Q,Lo)

! δηλώσεις:
REAL :: Q, Lo, T, D, diam, r      ! ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου
REAL :: pi, k, k20, HLR           ! ενδιάμεσες μεταβλητές
REAL :: Le, E                     ! εξαρτημένες μεταβλητές
εξόδου
CHARACTER (LEN=1) answer

! εκφράσεις:
10      PRINT*, 'Type a value for the temperature (T) of the wastewater in C'
        READ*, T

        PRINT*, 'Type a value for the depth (D) of the filter in meters'
20      PRINT*, 'range: 4,0 - 12,0 m'
        READ*, D

        depth1: IF (D<4.0.OR.D>12.0) THEN
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                GOTO 20
        ELSE
        END IF depth1

        PRINT*, 'Type a value for the diameter (diam) of the filter in meters'
        READ*, diam

        PRINT*, 'Type a value for the recirculation ratio (r) of the filter'
30      PRINT*, 'If you don't have recirculation, type '0''
        PRINT*, 'range: 0,5 - 4,0'
        READ*, r

        rec1: IF (r<0.0.OR.r>4.0) THEN
                PRINT*, 'Make sure of the value and please type again!'
                GOTO 30
        ELSE
        END IF rec1

        pi=4.*atan(1.)
        k20=0.21*((6.1/D)**0.5)*((150./Lo)**0.5)
        k=k20*(1.035**(T-20.))
        HLR=(4.*Q)/(pi*(diam**2.))
        HLR=HLR/86.4
        Le=(Lo*exp(-(k*D)/(HLR**0.5)))/(1.+r+(r*exp(-(k*D)/(HLR**0.5))))
        E=((Lo-Le)/Lo)*100.

        PRINT*, 'The trickling filter you have described, must have:'
        PRINT '(" BOD removal efficiency: ",f4.1," %")',E
        PRINT '(" effluent BOD concentration: ",f4.1," mg/L")',Le
        PRINT*, ''

```

```

40      PRINT*, 'Are you satisfied with the results?'
      PRINT*, "Type 'y' for yes or 'n' for no"
      READ*, answer

      case1: IF (answer=='y') THEN
            PRINT*, 'O.K. The program is finished!'
      ELSE IF (answer=='n') THEN
            PRINT*, 'Please start again running this program!'
            GOTO 10
      ELSE
            PRINT*, 'WRONG!'
            GOTO 40
      END IF case1

      END SUBROUTINE Eckenfelder_2

END PROGRAM SIMULATION

```

! ΛΑΘΟΣ πληκτρολόγηση