



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ:

«ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ MBR»

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Καλογεράκης Ν.

ΧΑΝΙΑ
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2008

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Επεξεργασία αστικών λυμάτων – Συστήματα MBR» πραγματοποιήθηκε με στόχο την περαιτέρω έρευνα και επεξήγηση της χρήσης των συστημάτων MBR στην επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

Με την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην υλοποίηση της.

Θεωρώ επιβεβλημένο να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Καλογεράκη Νικόλαο για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε στην ανάθεση της παρούσας εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να έχω μια άψογη συνεργασία μαζί του. Οι πολύτιμες συμβουλές και η καθοδήγησή του με βοήθησαν να εκπληρώσω το στόχο μου.

Θα ήταν μεγάλη παράληψη να μην ευχαριστήσω θερμότατα τους φίλους και συναδέλφους Χουρδάκη Νίκο και Διαλυνά Μανώλη για την πολύτιμη βοήθεια τους καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας μου.

Η πολύτιμη, τέλος, ηθική και οικονομική, συμπαράσταση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια οι γονείς μου Νίκος και Αδαμαντία, αποτέλεσε ίσως έναν από τους σημαντικότερους αρωγούς στην προσπάθειά μου έως σήμερα και γι' αυτό οφείλω να τους ευχαριστώ για ακόμα μια φορά.

Με τιμή,

Νίκος Σταυρουλάκης
Χανιά, Δεκέμβριος 2008

Στη Μαρία...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αντί Προλόγου	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – Εισαγωγή	
1.1. Ιστορικά	3
1.1.1. Η πρώτη βλέψη	3
1.1.2. Μεμβράνες – Βιοαντιδραστήρες διηθήσεως	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – Διήθηση	
2.1. Εύρος διήθησης	7
2.2. Μικροδιήθηση	8
2.3. Νανοδιήθηση	8
2.4. Αντίστροφη όσμωση	9
2.5. Υπερδιήθηση	12
2.6. Υλικά	13
2.7. Μηχανισμοί διήθησης	15
2.7.1. Παράμετροι	15
2.7.2. Διάταξη	15
2.7.3. Κρίσιμη ιδιότητα	16
2.7.4. Πόλωση συγκέντρωσης (C_p)	17
2.8. Μηχανισμοί	18
2.8.1. Εφαρμοζόμενη πίεση	18
2.8.2. Περαιτότητα του νερού	19
2.8.3. Περαιτότητα διαλύματος	21
2.8.4. Υδροδυναμικό μοντέλο συγκράτησης	23
2.8.5. Θερμοδυναμικό μοντέλο	24
2.8.6. Προσέγγιση Stefan – Maxwell	25
2.9. Συσσώρευση στερεών (FOULING)	26
2.9.1. Περιγραφή	26
2.9.2. Ροή στη μεμβράνη	28
2.9.3. Αντίσταση στη μεμβράνη	29
2.9.4. Αντιμετώπιση του fouling	29

2.9.5. Χρήση μοντέλων για σχεδιασμό και μελέτη λειτουργίας των μεμβρανών	30
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – Βιοαντιδραστήρες μεμβρανών - MBR	
3.1. Γενικά	33
3.2. Περιγραφή	33
3.3. Διάταξη	35
3.3.1. Λειτουργία μεμβρανών υπερδιήθησης	36
3.3.1.1. Λειτουργία σε περιβάλλον με πολλά στερεά	36
3.3.1.2. Διόγκωση πόρων	37
3.3.1.3. Χημική ανθεκτικότητα	37
3.4. Φορτία	38
3.4.1. Απομάκρυνση	38
3.4.2. Απομάκρυνση θρεπτικών	39
3.4.3. Ηλικία της ιλύος	39
3.4.4. Απομάκρυνση παθογόνων	40
3.4.5. Πίεση λειτουργίας – Διαμεμβρανική πίεση (TMP)	41
3.4.6. Ειδική παροχή διηθήματος – Ε.Π.Δ. (FLUX)	42
3.4.7. Περαιτότητα (PERMEABILITY)	42
3.4.8. Θερμοκρασία	43
3.5. Συνδυασμός κροκίδωσης και διήθησης	43
3.6. Συνδυασμός ενεργού άνθρακα και διήθησης	44
3.7. Συνδυασμός MBR και Αντίστροφης Όσμωσης (MBR + RO)	45
3.8. Προηγμένες διεργασίες οξείδωσης (ADVANCED OXIDATION PROCESSES)	46
3.8.1. Ηλεκτροχημική οξείδωση	46
3.8.2. Φωτοκατάλυση	48
3.8.3. Σονόλυση	49
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – Κοινοτική Νομοθεσία Σχετικά με τη Διαχείριση των Αστικών Λυμάτων	
4.1. Γενικά	51
4.1.1. Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως αυτή τροποποιείται από την Οδηγία 98/15/ΕΚ, του Συμβουλίου της 27/10/1998	53
4.1.2. Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία	61
4.1.3. Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων	62

4.1.4. Οδηγία 91/676/EK, του Συμβουλίου της 12/12/1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης	65
4.1.5. Οδηγία 75/440/EK του Συμβουλίου της 16/6/1975 περί της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού	66
4.1.6. Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων	70
4.1.7. Οδηγία 79/869/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 9/10/1979 περί με των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη – μέλη ..	73
4.1.8. Οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες	74
4.1.9 Οδηγία 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4/5/1976 περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας	75
4.1.10 Οδηγία 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27ης Ιουνίου 1985 για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 97/11/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης Μαρτίου 1997	76
4.1.11 Οδηγία 91/692/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 23ης Δεκεμβρίου 1991 για την τυποποίηση και τον εξορθολογισμό των εκθέσεων που αφορούν την εφαρμογή ορισμένων οδηγιών για το περιβάλλον	78
4.2. Υποχρεώσεις των Αρχών προς τους Διεθνείς Οργανισμούς	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

Αντί Προλόγου...

Η αναζήτηση καινοτόμων λύσεων στα θέματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων τα τελευταία 25 χρόνια έφερε στο φως νέες τεχνολογίες. Οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας έφτασαν σε ένα σημείο υπερκορεσμού με ελάχιστες βελτιώσεις στην απόδοσή τους. Οι τεχνολογίες βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έχουν εφαρμοστεί για περισσότερο από έναν αιώνα. Μεταξύ αυτών, η μέθοδος της ενεργού ιλύος (ή ενεργοποιημένης λάσπης) εμφανίζεται να είναι η πιο δημοφιλής (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Αυτό άλλωστε οδήγησε τη συγκεκριμένη τεχνολογία να αποκαλείται στις μέρες μας ‘συμβατική’. Νέες ανάγκες υπαγόρευαν την αναζήτηση καινούριας τεχνολογίας. Όσο οι προδιαγραφές των εκροών από τα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων γίνονται αυστηρότερες, νέες τεχνολογίες μπορεί να αποδειχτούν πιο βιώσιμες σε σχέση με τις συμβατικές. Μια τέτοια τεχνολογία είναι αυτή της χρήσης των μεμβρανών υπερδιήθησης.

Η διεργασία της υπερδιήθησης για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων είναι αυτή που ουσιαστικά αναλύεται στη συγκεκριμένη μελέτη. Το εύρος της χρήσης της στην επεξεργασία νερού και λυμάτων ολοένα αυξάνεται. Σήμερα λειτουργούν εκατοντάδες μονάδες επεξεργασίας νερού και λυμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο με ραγδαία ανάπτυξη και στον Ευρωπαϊκό χώρο. Στην Ελλάδα δεν έχουν γίνει ακόμα σημαντικά βήματα στην επεξεργασία λυμάτων με παρόμοιες διεργασίες.

Τα συστήματα MBR υπερδιήθησης βρίσκονται ακόμα στα πρώιμα στάδια εξέλιξής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ιστορικά

1.1.1. Η πρώτη βλέψη

Η πρώτη βλέψη για αφαλάτωση έγινε το 1748 από το γάλλο φυσικό Nollet. Το 1861 ο Graham ανέφερε το πρώτο του πείραμα διήθησης χρησιμοποιώντας συνθετικές μεμβράνες (Mulder, 1996).

Για έναν αιώνα η ανθρωπότητα διερεύνησε τη δυνατότητα της αφαλάτωσης και οδηγήθηκε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των μεμβρανών. Οι πρώτες μεμβράνες έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 60 κατασκευασμένες από οξική κυτταρίνη. Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι να επιτευχθεί διαχωρισμός νερού και χλωριούχου νατρίου με αντίστροφη ώσμωση, τέτοιος ώστε να είναι βιώσιμος. Σύντομα η βιομηχανία των μεμβρανών αναπτύχθηκε σε πολλούς τομείς. Πολλές μέθοδοι διαχωρισμού πλέον βασίζονται στην τεχνολογία μεμβρανών.

Αρχικά, τα προϊόντα μεμβρανών αφορούσαν την αντίστροφη ώσμωση (RO<0,001μm) και την υπερδιήθηση (UF<0,1 μm). Η τεχνολογία των μεμβρανών έκανε την εμφάνιση της στις αρχές της δεκαετίας του 60. Στην συνέχεια, αναπτύχθηκαν μεμβράνες στην περιοχή της μικροδιήθησης (MF<1 μm) και τα τελευταία χρόνια είχαμε μία σημαντική ανάπτυξη και διάθεση στοιχείων μεμβρανών στο φάσμα διαχωρισμού της νανοδιήθησης (NF<0,01 μm). Οι πρώτες εφαρμογές αφορούσαν την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού.

1.1.2. Μεμβράνες – Βιοαντιδραστήρες διηθήσεως

Μεμβράνη ορίζεται «Το υλικό διαμέσου του οποίου μία ουσία μπορεί να περάσει πιο εύκολα από μία άλλη, επομένως παρουσιάζει τη βάση της διεργασίας διαχωρισμού» (Livingston, 1994). Είναι, επομένως, η ιδιότητα της μεμβράνης να διαχωρίζει διάφορα υλικά από το νερό και να το επεξεργάζεται.

Ένα τυπικό σύστημα MBR (Membrane Bio-Reactor) είναι ο συνδυασμός ενός συστήματος ενεργού ιλύος με τη χρήση μεμβρανών μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης.

Τα συστήματα MBR ορίζονται ως ‘Συστήματα ολοκληρωμένης βιοαποδόμησης υγρών αποβλήτων με διήθηση διαμέσου μεμβρανών’ (Cicek *et al.*, 1998).

Η έρευνα πάνω στο συνδυασμό των μεμβρανών με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος άρχισαν πριν σαράντα χρόνια. Μέσα στα τελευταία είκοσι χρόνια η μέθοδος εφαρμόζεται σε πολλές χώρες. Η πρώτη βλέψη για βιοαντιδραστήρες διηθήσεως έγινε στα μέσα της δεκαετίας του 1960 από την εταιρεία Dorr Oliver, στο Stanford (Zenon, 2000). Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η εταιρεία *Thetford Systems Inc.* του Michigan ανέπτυξε τέτοια συστήματα σε μορφή κόμπακτ και τα ονόμασε “Cycle – Let” διότι επεξεργάζονταν και ανακύκλωναν νερό για χρήσεις σε εκπλύσεις WC σε μικρούς οικισμούς. Η εταιρεία *Thetford Systems* (που σήμερα ανήκει στην *Zenon Environmental*) παρασκεύασε ένα σύστημα MBR για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Το σύστημα αυτό ήταν βασισμένο σε δύο στάδια αερόβιας – ανοξικής επεξεργασίας. Η διήθηση ελάμβανε χώρα σε κυλινδρικές μεμβράνες υπερδιήθησης (Zenon, 2000).

Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε στην Βόρεια Αμερική στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και είκοσι χρόνια αργότερα προχώρησε και στην Ιαπωνία (Furuya *et al.*, 2004). Ο διαχωρισμός της ενεργού ιλύος από το νερό στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με μεμβράνες γνώρισε ευρεία εφαρμογή στην Ιαπωνία από το 1978 (Aya, 1994).

Το 1982 παρουσιάζεται το *ZenoGem*, η πρώτη μεμβράνη σε μορφή κοίλων ινών που κατασκευάζεται και εμπορεύεται από τη *Zenon Environmental*. Η τεχνολογία δεν προχώρησε στη Ευρώπη μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 90. Με τις

πρώτες χρήσεις των συστημάτων MBR η εκροή της βιολογικής επεξεργασίας διαμορφώνεται με $BOD < 5 \text{ mg/L}$, $TSS < 5 \text{ mg/L}$. Ήταν λογικό λοιπόν να φανούν ως μια πάρα πολύ ενδιαφέρουσα λύση, εφόσον το επίπεδο επεξεργασίας ήταν πολύ εντυπωσιακό σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας. Η επιλογή παρόμοιας λύσης θα ήταν πρώτα από όλα συνάρτηση του συνολικού κόστους, λειτουργίας και επένδυσης, καθώς και της αξιοπιστίας που θα προσέφερε.

Οι συνήθεις μονάδες, εγκατεστημένες στην Βόρειο Αμερική, είναι για παροχή της τάξης των 10 – 200 m³/h (Zenon, 2000). Η πρώτη μεγάλων διαστάσεων μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων τέθηκε σε λειτουργία μόλις το 1997 στο Milton του Ontario στον Καναδά (Zenon, 2000). Άλλες μονάδες με δυναμικότητα πάνω από 10,000 m³/d βρίσκονται υπό κατασκευή (Furuya *et al.*, 2004).

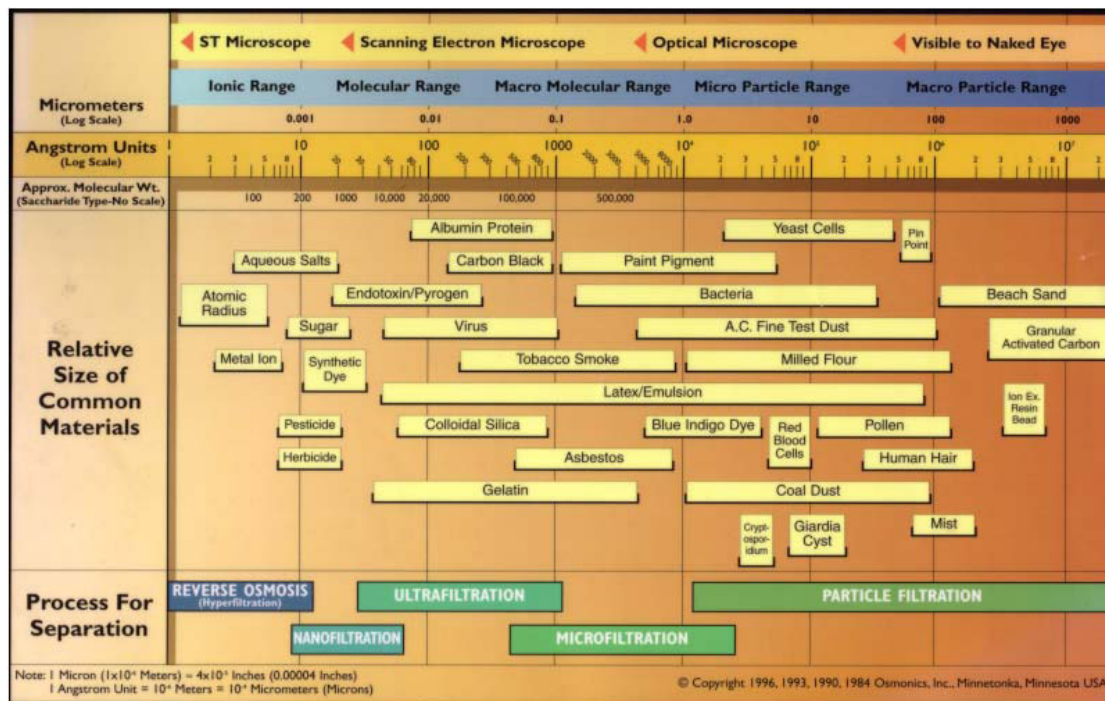
Σήμερα στην Ιαπωνία υπάρχουν πάνω από 300 μονάδες σε λειτουργία (Furuya *et al.*, 2004). Το 71% από αυτές έχουν δυναμικότητα μικρότερη από 500 m³/d, ενώ μονάδες με δυναμικότητα παραπάνω από 1000 m³/d είναι μόνο το 13% (Furuya *et al.*, 2004). Στο Suido Kiko της Ιαπωνίας λειτουργεί μονάδα μικροδιήθησης δυναμικότητας 5,000 m³/d.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΔΙΗΘΗΣΗ

2.1 Εύρος διήθησης

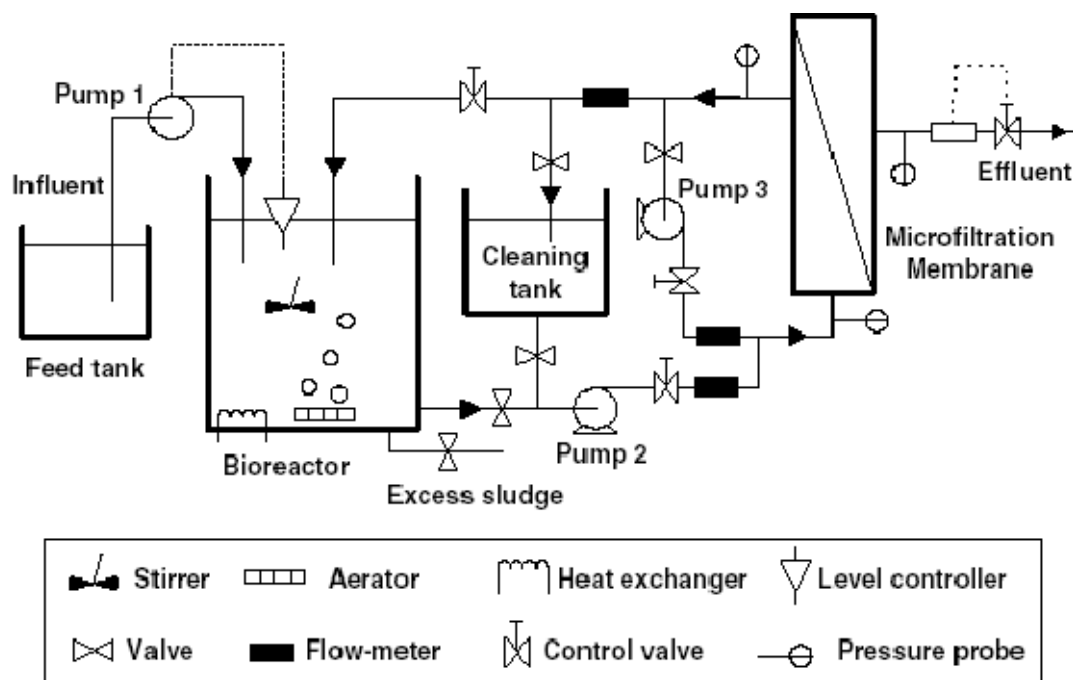
Η βασική κατηγοριοποίηση των μεμβρανών έχει να κάνει με το μέγεθος των πόρων. Στον Σχήμα 2-1 φαίνεται το εύρος διήθησης στους διάφορους τύπους διήθησης.



Σχήμα 2-1. Φάσμα διήθησης. Διακρίνεται η υπερδιήθηση και το εύρος του μεγέθους των πόρων σε διαφόρους τύπους διήθησης (Osmonics Inc., 1996).

2.2 Μικροδιήθηση

Μικροδιήθηση ονομάζεται η διήθηση διαμέσου μεμβράνης όπου το εύρος του μεγέθους των πόρων αυτής είναι από 0,1 – 1 μm . Ο συνδυασμός μικροδιήθησης με τη διεργασία του παρατεταμένου αερισμού έχει δοκιμαστεί ικανοποιητικά σε εφαρμογές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για περισσότερα από 10 χρόνια. Ο συνδυασμός ονομάζεται “βιοαντιδραστήρας μεμβράνης μικροδιήθησης” (MMB). Μια τέτοια μονάδα σε πιλοτικό στάδιο φαίνεται στο Σχήμα 2-2. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών σε ένα ρευστό, την κατακράτηση συγκεκριμένων βακτηριδίων, γαλακτωμάτων κλπ. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης είναι κατασκευασμένες από πολυμερή, κεραμικά μίγματα (οξειδία), ανοξείδωτο χάλυβα και σε μερικές περιπτώσεις οξειδία του αλουμινίου. Οι πιέσεις λειτουργίας που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλές, συνήθως μεταξύ 0,5 έως 2,0 bar.



Σχήμα 2-2: Πιλοτική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με μικροδιήθηση (MMB)

2.3. Νανοδιήθηση

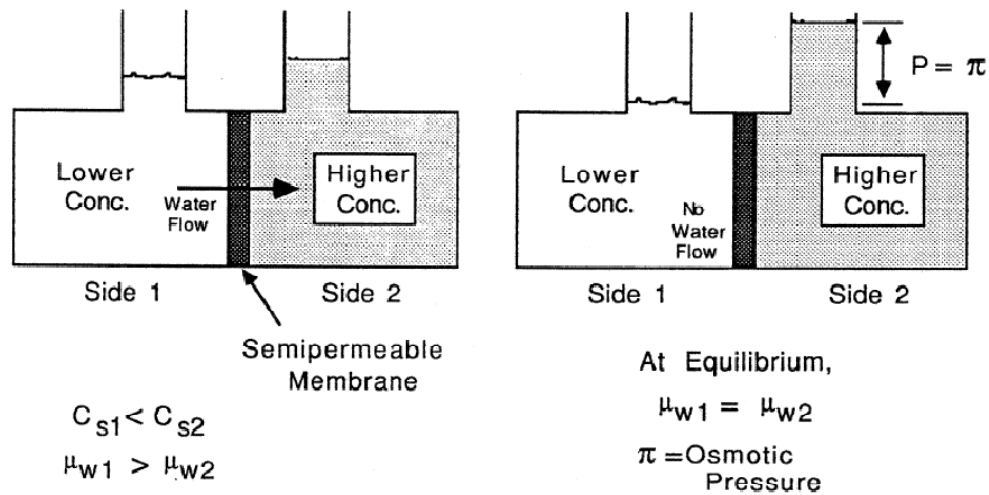
Νανοδιήθηση είναι η διήθηση διαμέσου μεμβράνης όπου το εύρος των πόρων αυτής είναι από 0,001-0,01 μm . Οι μεμβράνες νανοδιήθησης χαρακτηρίζονται από μέγεθος πόρου περίπου 1nm. Αυτός είναι ουσιαστικά ο λόγος που δόθηκε η ονομασία

νανοδιήθηση στις μεμβράνες αυτής της περιοχής διαχωρισμού. Κατασκευάζονται από συνθετικά υλικά και είναι συνήθως ηλεκτρικά φορτισμένες. Χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να διαχωρίζουν και να απορρίπτουν σε μεγάλο βαθμό τα δισθενή ιόντα αλάτων, ενώ ταυτοχρόνως επιτρέπουν την περατότητα σε μονοθενή ιόντα. Επίσης, έχουν υψηλή ικανότητα διαχωρισμού οργανικών ουσιών με μοριακό βάρος μεγαλύτερο από 200. Η νανοδιήθηση είναι μια μέθοδος διήθησης με εφαρμογή πίεσεως. Οι πιέσεις που εφαρμόζονται στα συστήματα νανοδιήθησης κυμαίνονται μεταξύ 10 έως και 30 bar. Την τελευταία δεκαετία, έχει γίνει σημαντική έρευνα στην παραγωγή μεμβρανών νανοδιήθησης και έχουμε πλέον αξιόπιστα τελικά προϊόντα μεμβρανών με πραγματικά βελτιωμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Η εφαρμογή της στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δοκιμασμένη επιτυχώς (Weber *et al.*, 2003). Στην συγκεκριμένη διεργασία υπάρχουν αυστηρά όρια και περιορισμοί στην εφαρμογή χημικών, μηχανικών και θερμικών καταπονήσεων. Αυτοί οι περιορισμοί, σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος έχουν περιορίσει τις εφαρμογές της νανοδιήθησης σε μεγάλη κλίμακα, όπως αυτήν της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (Weber *et al.*, 2003). Η επίλυση των συγκεκριμένων προβλημάτων γίνεται με τη χρήση κεραμικών μεμβρανών οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αντέχουν χημικές, θερμικές και μηχανικές πιέσεις. Το κόστος όμως παραμένει υψηλό συγκριτικά με άλλες μεθόδους επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένου μεθόδους με διήθηση (υπερδιήθησης). Οι μεμβράνες νανοδιήθησης χρησιμοποιούνται πολύ αποτελεσματικά για την αφαίρεση των ιόντων από το νερό. Μια εφαρμογή της νανοδιήθησης είναι η αφαίρεση χλωριούχου νατρίου από τα νερά των γεωτρήσεων ή γενικότερα τα υφάλμυρα νερά. Διάφορα ρευστά όπως το αίμα περιέχουν μείγματα βιομορίων μεγέθους 1-10 μm , τα οποία πρέπει να διαχωριστούν και να καθαριστούν πριν τις εξετάσεις στο αίμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο διαχωρισμός γίνεται εφικτός με τη νανοδιήθηση. Οι μεμβράνες της νανοδιήθησης είναι οι πιο ευπαθείς στη συσσώρευση στερεών στην επιφάνειά τους. Αυτό σημαίνει ότι η συχνότητα έκπλυσης πρέπει να είναι υψηλή για να αποφευχθεί η πιθανότητα θραύσης ή έμφραξης.

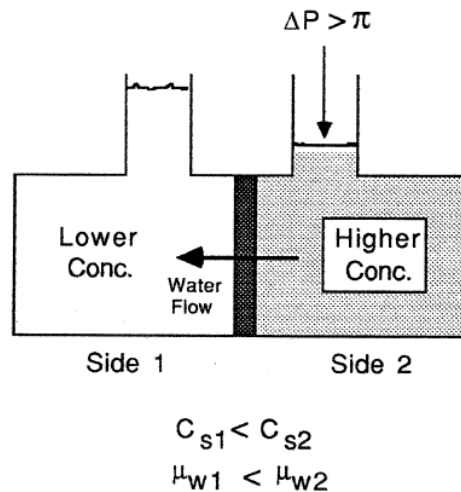
2.4. Αντίστροφη όσμωση

Μέσω των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης επιτυγχάνουμε το διαχωρισμό των διαλυμένων ουσιών ενός υγρού. Είναι γνωστή η ικανότητα αυτών των μεμβρανών

στο διαχωρισμό και την απόρριψη τόσο του χλωριούχου νατρίου όσο και άλλων αλάτων, μικρού κυρίως μοριακού βάρους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, η ικανότητα απόρριψης της πλειονότητας των διαθέσιμων μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης ως προς το χλωριούχο νάτριο είναι μεγαλύτερη από 98% ενώ για τα περισσότερα ανόργανα άλατα υπερβαίνει συνήθως το 99%. Στην περιοχή της αντίστροφης ώσμωσης ο μηχανισμός διαχωρισμού ή απόρριψης της μεμβράνης είναι περισσότερο σύνθετος σε σχέση με την υπερδιήθηση και βασίζεται σε φαινόμενα διάχυσης ή σε ηλεκτροχημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του υλικού της μεμβράνης και του υγρού προς επεξεργασία. Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης κατασκευάζονται κυρίως από συνθετικά υλικά (λεπτό συνθετικό στρώμα) όπως είναι τα πολυμερή πολυαμιδίου (PA). Οι παλαιότερες μεμβράνες είναι κατασκευασμένες από οξική κυτταρίνη (*Cellulose acetate*). Τονίζεται ότι, τα τελευταία τρία χρόνια είχαμε μία εισαγωγή στην αγορά νέων μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης με βελτιωμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας ιδιαιτέρως ως προς την αντοχή και αντίσταση στην ρύπανση (fouling) αλλά και νέα σχεδίαση με σκοπό την μείωση της βιολογικής προσβολής των μεμβρανών. Η ώσμωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο ο διαλύτης (συνήθως νερό) περνάει διαμέσου μιας ημιπερατής μεμβράνης από την πλευρά με τη μικρότερη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας προς τη πλευρά του πυκνότερου διαλύματος. Σε κατάσταση ισορροπίας, η διαφορά πίεσεως ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης ισούται με την ωσμωτική πίεση. Για να αντιστρέψουμε την ροή του διαλύτη πρέπει να εφαρμόσουμε μία πίεση μεγαλύτερη από την ωσμωτική. Το φαινόμενο αντίστροφης ροής διαλύτη από το πυκνότερο στο αραιότερο διάλυμα με εφαρμογή πίεσης μεγαλύτερη της ωσμωτικής πίεσης ονομάζεται “αντίστροφη ώσμωση”. Οι πόροι των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη ώσμωση είναι της τάξεως $\leq 0,001 \mu\text{m}$. Η μεμβράνη της αντίστροφης ώσμωσης έχει μια σειρά ιδιοτήτων. Αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται από χημική σύσταση του υλικού της μεμβράνης (σχεδόν πάντα πολυμερές). Τα συγκεκριμένα φαινόμενα περιγράφονται σχηματικά παρακάτω (Σχήμα 2-3, 2-4).



Σχήμα 2-3: Φαινόμενο ώσμωσης και κατάσταση ισορροπίας. Διακρίνεται η οσμωτική πίεση (Williams, 2003).



Σχήμα 2-4: Εφαρμογή πίεσης και δημιουργία αντίστροφης ώσμωσης (Williams, 2003).

Η συνολική ροή στο σύστημα αποτελείται από τρεις ροές. Την εισροή, την εκροή και την εισροή με υψηλή συγκέντρωση (εσωτερικά του συστήματος).

Ειδική παροχή διηθήματος:

$$J_w = (\text{όγκος ή μάζα νερού που διαπερνά τη μεμβράνη}) / (\text{εμβαδόν μεμβράνης})$$

Παροχή διαλυμένης ουσίας:

$$J_s = (\text{μάζα ουσίας που διαπερνά τη μεμβράνη}) / (\text{εμβαδόν μεμβράνης})$$

Η περατότητα υπολογίζεται με βάση την αποροή στη μεμβράνη

$$R=1-\frac{C^P}{C^F} \quad \text{Eq.2-1.}$$

C_F = συγκέντρωση εισροής

C_P = συγκέντρωση εκροής

Η αντίστροφη ώσμωση έχει δοκιμαστεί επιτυχώς στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Το λειτουργικό της κόστος σε αυτές τις εφαρμογές είναι απαγορευτικό συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Η συγκεκριμένη διεργασία έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών στην επεξεργασία του πόσιμου νερού.

2.5 Υπερδιήθηση

Η διεργασία της υπερδιήθησεως είναι αυτή που ουσιαστικά αναλύεται στην συγκεκριμένη μελέτη. Το εύρος της χρήσης της στην επεξεργασία νερού και λυμάτων ολοένα αυξάνεται. Η τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υπερδιήθηση είναι πλέον από τις πιο προηγμένες. Σήμερα λειτουργούν εκατοντάδες μονάδες επεξεργασίας νερού και λυμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο με ραγδαία ανάπτυξη και στον Ευρωπαϊκό χώρο. Πολλά συστήματα με μεμβράνες υπερδιήθησης λειτουργούν κυρίως σε Ευρώπη, Ιαπωνία και βόρειο Αμερική (Reemtsa *et al.*, 2002).

Στην Ελλάδα δεν έχουν γίνει ακόμα σημαντικά βήματα στην επεξεργασία λυμάτων με παρόμοιες διεργασίες.

Το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών υπερδιήθησης είναι από 0,1 μέχρι 0,01 μm και σπάνια μικρότερο από 0,005 μm . Οι συγκεκριμένες διαστάσεις ενδείκνυνται για την διήθηση των μορίων του νερού αλλά και τη συγκράτηση των μικροβίων. Αναλυτικές περιγραφές της συγκεκριμένης διεργασίας δίδονται παρακάτω.

2.6 Υλικά

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των μεμβρανών υπάρχει ανάλογα με το υλικό κατασκευής αυτής. Είναι είτε οργανικές (από πολυμερή) είτε ανόργανες (κεραμικές, μεταλλικές). Η βασική αρχή στην κατασκευή της μεμβράνης είναι να παρασκευαστεί ένα υλικό ανθεκτικό στις υδραυλικές πιέσεις και στη θραύση, που να επιτρέπει την υδροπερατότητα με υψηλή αξιοπιστία. Τα υλικά αυτά ποικίλουν ανάλογα τη χημική τους σύσταση και τη φυσική τους δομή. Η πιο σημαντική παράμετρος χρήσης του κάθε υλικού είναι ο μηχανισμός που λαμβάνει χώρα κατά την διεργασία του διαχωρισμού. Η αντίστροφη ώσμωση, η ηλεκτροδιάλυση και η νανοδιήθηση είναι διεργασίες που αφαιρούν τα ιόντα από το νερό με την εφαρμογή ηλεκτροκινητήριας δύναμης. Η εφαρμογή του διαχωρισμού με τη χρήση των μεμβρανών βασίζεται στο “σούρωμα” (sieving effect) και είναι παρεμφερής στην συμβατική διεργασία της διήθησης (Gekas *et al.*, 2002).

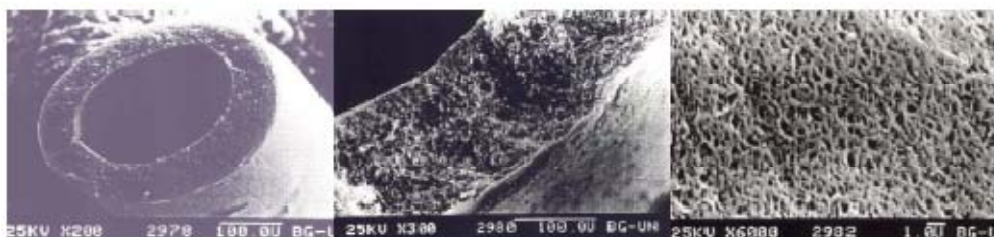
Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από τα ακόλουθα υλικά:

- Polyacrylonitrile (PAN)
- Polyethersulfone (PES)
- Polysulfone (PS)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polyvinylalcohol (PVA)
- Polyamide aromatic (PA)
- Cellulose acetate (CA)
- Ceramic composites (zirconia on alumina)
- Carbon
- Alumina

Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται τα υλικά, οι μέθοδοι κατασκευής τα υλικά και οι εφαρμογές των μεμβρανών για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 2-1: Υλικά, μέθοδοι κατασκευής, και εφαρμογές των μεμβρανών (Stephenson et al., 2000)

Υλικό	Διεργασία	Μέγεθος πόρων	Εφαρμογές
Κεραμικές	Συμπύκνωση με εφαρμογή πίεσης	0,1-10μm	MF, διαχωρισμός αερίων, διαχωρισμός ισοτόπων
Εφελκυσμένες	Εφαλκυσμός	0,1-10μm	Ιατρική τεχνολογία, αποστείρωση
Βασισμένες σε ρευστά	Σχηματισμός με καλούπι	Ανάλογα το καλούπι	Διαχωρισμός αερίων, μεταφορά μεσολαβητών ουσιών
Συμμετρικών μικροπόρων	Φάση αντίστροφης αντίδρασης	0,05-5μm	Αποστείρωση, διάλυση, απόσταξη
Εσωτερικών συμμετρικών μικροπόρων	Φάση αντίστροφης αντίδρασης ακολουθούμενη από εξάτμιση	1-10μm	Διαχωρισμός αερίων
Σύνθετη εσωτερικών συμμετρικών μικροπόρων	Επικάλυψη μεμβράνης στους μικροπόρους	1-5μm	Διαχωρισμός αερίων
Χαραγμένες με οξύ	Ακτινοβολία ακολουθούμενη με χάραξη οξέος	0,5-10μm Κυλινδρικοί πόροι	Αναλυτική και ιατρική χημεία, αποστείρωση

**Εικόνα 2-1.** Κλιμακωτή μεγέθυνση σε τρία στάδια μιας κοίλης μεμβράνης υπερίθησης (Zenon, 2000).

2.7. Μηχανισμός διήθησης

2.7.1. Παράμετροι

Τα βασικότερα στοιχεία της μεμβράνης με βάση τη ροή από τους πόρους αυτής είναι:

- Η αντοχή της μεμβράνης
- Η απαιτούμενη εφαρμοζόμενη δύναμη προς 1m^2 της μεμβράνης
- Οι υδροδυναμικές συνθήκες στην επιφάνεια της μεμβράνης
- Η πλήρωση και η κένωση/καθαριότητα της μεμβράνης
- Ειδική παροχή διηθήματος (ΕΠΔ) (ποσότητα υγρού που περνάει ανά μονάδα εμβαδού μεμβράνης στη μονάδα του χρόνου συνήθως $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{sec}$)

2.7.2. Διάταξη

Στις περισσότερες μεμβράνες υπάρχουν τριών τύπων ροές. Η εισροή, η ροή του διαχωρισμού (ή συμπίκνωμα) και η εκροή.

Όταν η δεύτερη ροή μηδενίζεται έχουμε πλήρη ροή (full-flow) αποκαλούμενη και ως “dead-end”. Εναλλακτικά έχουμε κατάσταση “cross-flow”, δηλαδή την κίνηση του υγρού παράλληλα με την επιφάνεια της μεμβράνης με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των συγκεντρωμένων υλικών. Επομένως αυτή η κατάσταση (cross-flow) λαμβάνει χώρο μόνο όταν υπάρχει ποσότητα που θα συγκρατηθεί από τους πόρους της μεμβράνης. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι συνήθως η MF και η UF είναι “dead-end” σχηματισμοί ενώ η RO και η NF “cross-flow”.

Για συγκέντρωση C και ροή Q ένα απλό ισοζύγιο θα μας δώσει:

$$Q=Q_p+Q_R \quad \text{Eq.2-2}$$

$$Q_C=Q_p C_p+Q_R C_R \quad \text{Eq.2-3}$$

$$\text{Ποσοστιαία μετατροπή: } Q=Q_p/Q \times 100 \quad \text{Eq.2-4}$$

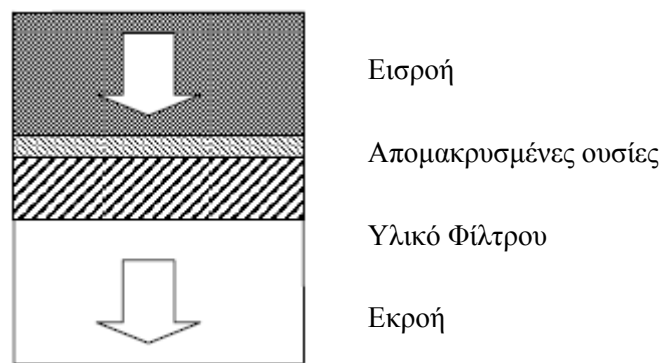
Στα συστήματα MBR η συγκέντρωση της εκροής (C_p) είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή της εισροής αναφορικά με τα διαλυμένα υλικά (που χρειάζονται οξυγόνο). Η

παραγόμενη λάσπη (Q_R) είναι κανονικά πολύ μικρή σε σχέση με την ροή εισόδου. Επομένως το σύστημα MBR αντιπροσωπεύει μια πολύ υψηλή βιοαποδόμηση.

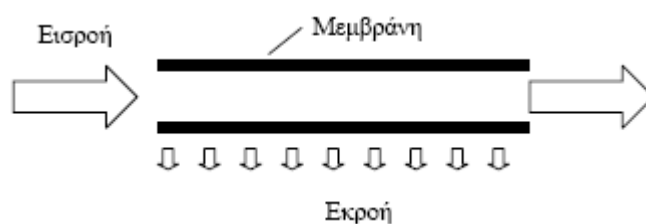
Η απομάκρυνση σε μια μεμβράνη έχει να κάνει με τη βασική αρχή της περατότητας κάποιων υλικών ενώ παράλληλα τον περιορισμό κάποιων άλλων. Αυτό μπορεί να εκφραστεί ως:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C} \times 100 \quad \text{Eq.2-5}$$

Η περατότητα διαμέσου των πόρων απαιτεί την εφαρμογή μιας υδροκινητήριας δύναμης. Η δύναμη αυτή θα μπορούσε να είναι είτε φυσική (βαρύτητα) είτε τεχνητή (εφαρμογή κενού). Η κινητήρια δύναμη επομένως έχει να κάνει με την εφαρμοζόμενη πίεση.



Σχήμα 2-5: Λειτουργία μεμβράνης με διάταξη “Dead-end”



Σχήμα 2-6: Λειτουργία μεμβράνης με διάταξη “Crossflow”

2.7.3. Κρίσιμη ιδιότητα

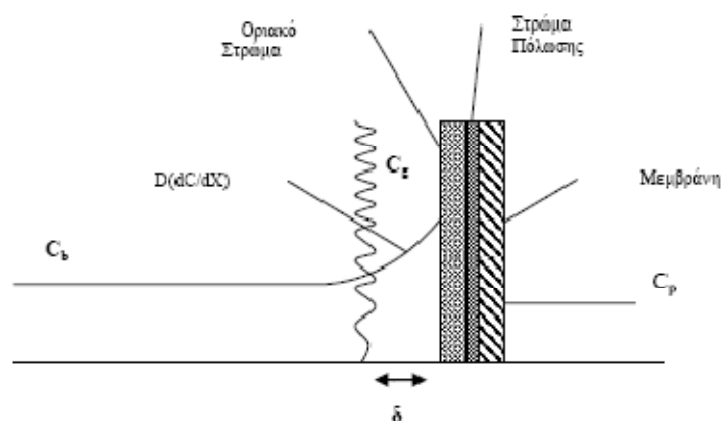
Η σημαντική ιδιότητα για το διαχωρισμό με υπερδιήθηση είναι η διάμετρος (μέγεθος) των διαχωριζομένων σωματιδίων, δεδομένου ότι ο κύριος μηχανισμός είναι η διήθηση. Αυτό φυσικά συνδέεται και με το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης, με

τελική επίδραση στην ημιπερατότητα της μεμβράνης υπερδιήθησης. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η συγκέντρωση του διαλύματος που διαχωρίζεται, η εφαρμοζόμενη πίεση ή η διαφορά της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης, εκτός από δρώσα δύναμη, αποτελεί επίσης μια κρίσιμη ιδιότητα της διεργασίας. Θεωρητικά η κρίσιμη ιδιότητα για την μεταφορά μάζας ενός συστατικού είναι πάντοτε το ηλεκτροχημικό δυναμικό (Gekas *et al.*, 2002).

2.7.4. Πόλωση συγκέντρωσης (C_p)

Πόλωση συγκέντρωσης είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η τάση της διαλυμένης ουσίας να συσσωρεύεται πάνω στη μεμβράνη. Η συσσώρευση είναι αναγκαστικά συνάρτηση της ροής από τους πόρους της μεμβράνης. Για τις περιπτώσεις της λειτουργίας υπό πίεση με διάταξη “cross flow” συμβαίνει ακριβώς το ίδιο πράγμα. Με την αύξηση της ροής αυξάνεται και η συσσώρευση των στερεών. Η μείωση της ροής σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους θα εξομαλύνει τη λειτουργία. Απαραίτητη, όμως, με βάση όλα τα παραπάνω καθίσταται η αντίστροφη πλύση της μεμβράνης. Η αντίστροφη πλύση, έστω και για πολύ μικρές χρονικές περιόδους σε πολύ χαμηλές ροές, θα αφαιρέσει τα στερεά από την επιφάνεια της μεμβράνης και θα μειώσει την πιθανότητα σπασίματος.

Παράλληλα το σύστημα θα υποχρεούται να δουλεύει σε σταθερές ροές με διακοπή της λειτουργίας και εφαρμογή αντίστροφης πλύσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Gekas *et al.*, 2002).



Σχήμα 2-7: Πόλωση συγκέντρωσης σε μεμβράνη υπερδιήθησης

2.8. Μηχανισμοί

2.8.1. Εφαρμοζόμενη πίεση

Η συνολική αντίσταση της μεμβράνης στην περατότητα ενός ρευστού βασίζεται σε ένα αριθμό παραμέτρων. Η σωστή διαχείριση των παραμέτρων βοηθούν στον σωστό σχεδιασμό και λειτουργία της μεμβράνης. Τέτοιοι παράμετροι είναι:

Η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών (RO & UF) ή των ιόντων (ED) κοντά στην επιφάνεια της μεμβράνης.

- Η δημιουργία επίστρωσης πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης από μακρομόρια που δεν μπορούν να περάσουν από τους πόρους.
- Η συσσώρευση στερεών στην μεμβράνη (MF).
- Η συσσώρευση των διαχωριζομένων στερεών πάνω ή μέσα στους πόρους της μεμβράνης.

Κύριος μηχανισμός, όπως αναφέρεται παραπάνω είναι η διήθηση (Sieving effect). Αυτό που έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τη διάμετρο των πόρων συγκρατείται. Η διήθηση είναι τριών ειδών:

1. Επιφανειακή διήθηση
2. Διήθηση σε βάθος
3. Δημιουργία πλακών (Cake filtration). Μετά το φράξιμο των πόρων δεν αφήνει να περάσει κάτι που θα περνούσε αν δεν είχε σχηματιστεί ο πλακούντας.

Δρώσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσης ή η κλίση της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης (Gekas *et al.*, 2002).

$$J = K \frac{\Delta P}{b} \quad \text{ή} \quad \text{Eq.2-6}$$

$$J = K' \Delta P \quad \text{Eq.2-7}$$

Όπου:

K: συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης

$$\text{Driving force} = \frac{\Delta P}{b} \quad \text{Eq.2-8}$$

Όμως σπάνια η διαφορά πίεσης είναι η μόνη δρώσα δύναμη. Δευτερεύουσες δρώσες δυνάμεις μπορεί να προέρχονται από την πόλωση της συγκέντρωσης και τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταφερόμενων μορίων και του υλικού της μεμβράνης. Πόλωση έχουμε όταν τα συσσωρευμένα στερεά βρίσκονται σε εν διαλύσει κατάσταση. Σ' αυτή την περίπτωση δεν έχουμε δημιουργία πλακών, αλλά μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένων στερεών (Gekas *et al.*, 2002).

2.8.2. Περαιτότητα του νερού

Αν χρησιμοποιήσουμε μόνο καθαρό νερό ως τροφοδοσία, τότε η μόνη αντίσταση στο πέρασμα του νερού θα είναι η ίδια η μεμβράνη. Η ροή σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται ροή καθαρού νερού (pure water flow) ή περαιτότητα του νερού (water permeability, L_v) και χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό της μεμβράνης.

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών υπερδιήθησης το νερό είναι ο διαλύτης. Η περαιτότητα του νερού μετράται πριν και μετά τη χρήση για να καθοριστεί αν η μεμβράνη επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση. Η διαφορά οφείλεται στη μείωση της απόδοσης της μεμβράνης και των χαρακτηριστικών της (fouling effects) με τη χρήση. Η δρώσα δύναμη για τη μεταφορά του νερού είναι η διαφορά της πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο του μαύρου κουτιού – της θερμοδυναμικής (Irreversible thermodynamics) προκύπτει μια σχέση ανάμεσα στη ροή και στην πίεση, που ονομάζεται εξίσωση του Darcy (αποτελεί απλοποιημένη περίπτωση των εξισώσεων Navier – Stokes για σταθερή κατάσταση).

$$J_w = L_w \Delta P \quad \text{Eq.2-9}$$

Όπου:

L_v : η περαιτότητα του νερού

J_w : Ειδική παροχή διηθήματος

ΔP : η εφαρμοζόμενη πίεση μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης

$$(\text{Νόμος Darcy: } u = k' \frac{\Delta P}{\Delta x} \text{ ή } \mu = \frac{\Delta h}{4\lambda})$$

Αν υιοθετήσουμε το φυσικό μοντέλο των ομοιόμορφων κυλινδρικών πόρων χωρίς συστροφή ή συμπίεση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το νόμο των Hagen – Poisseuille.

$$J_W = n \frac{\Delta P}{128\eta B} \pi d_p^4 \quad \text{Eq.2-10}$$

Όπου:

n : ο αριθμός των πόρων ανά μονάδα επιφάνειας

B : το πάχος τους ενεργούς στρώματος της μεμβράνης υπερδιήθησης

η : το ιξώδες

d_p : διάμετρος πόρου

Στην περίπτωση του μοντέλου κοκκώδους δομής η καταλληλότερη εξίσωση είναι Karman and Cozeny:

$$J_W = \frac{1}{72} \frac{\Delta P}{\eta \omega \Psi^2 B (1-\varepsilon)^2} d_g^2 \quad \text{Eq.2-11}$$

Όπου:

d_g : η διάμετρος του κόκκου (όπου: $d_p = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)} d_g$)

ω : ο συντελεστής συμπίεσης (0.85 – 1.15)

Ψ : συντελεστής συστροφής (1.55 ± 0.15)

E : πορώδες (0.3 – 0.6)

B : το πάχος του ενεργού στρώματος της μεμβράνης υπερδιήθησης

η : το δυναμικό ιξώδες

ή αλλιώς η εξίσωση Carman – Kozeny:

$$\frac{\Delta h}{L} = \frac{k\mu(1-\varepsilon)^2}{\rho_g \varepsilon^3} S^2 v \quad \text{Eq.2-12}$$

Όπου:

μ : ιξώδες

S : ειδική επιφάνεια ανά όγκο κόκκου

Δh : πίεση εκφρασμένη σε υψομετρική διαφορά

ρ : πυκνότητα

v : ταχύτητα προσέγγισης

u : ενδοπορώδης ταχύτητα

Η εξίσωση Carman – Kozeny δεν επαληθεύεται από τους γεωλόγους γιατί δεν λαμβάνει υπόψη της την συμπαγοποίηση (consolidation), δηλαδή τη μερική διείσδυση του ενός κόκκου μέσα στον άλλο.

2.8.3. Περαιτότητα διαλύματος

Όταν έχουμε διάλυμα ή ταχύτητα ροής του περάσματος θα είναι μικρότερη από αυτή του καθαρού νερού. Η μείωση της ροής μπορεί να οφείλεται στην πόλωση της συγκέντρωσης, στη μείωση της απόδοσης της μεμβράνης (fouling) και ίσως στη μεταβολή του ιξώδους. Στην περίπτωση που δεν έχει μειωθεί η απόδοση της μεμβράνης (fouling), η περαιτότητα της μεμβράνης, L_v , παραμένει η ίδια και η μείωση της ταχύτητας ροής μπορεί να ερμηνευτεί ως μείωση της δρώσας δύναμης κατά ένα ποσό με $\Delta\P$ (π.χ. η ωσμωτική πίεση της διαλυμένης ουσίας στη συγκέντρωση των τοιχωμάτων μείον την ωσμωτική πίεση της διαλυμένης ουσίας στη συγκέντρωση τροφοδοσίας).

Οπότε:

$$J_v = L_v(\Delta P - \Delta\P) \quad \text{Eq.2-13}$$

Όπου:

L_v : η περαιτότητα του νερού ή η υδραυλική αγωγιμότητα της μεμβράνης

J_v : η ογκομετρική ροή του περάσματος

ΔP : η εφαρμοζόμενη διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης

$\Delta\Pi$: η μεταβολή της ωσμωτικής πίεσης εγκάρσια της μεμβράνης

Το θερμοδυναμικό μοντέλο δίνει μια παρόμοια σχέση:

$$J_v = L_v(\Delta P - \sigma \Delta \Pi) \quad \text{Eq.2-14}$$

Όπου:

σ : συντελεστής ανάκλασης (reflection coefficient)

Η διαφορά είναι η εισαγωγή του σ , το οποίο είναι ένα μέτρο της επιλεκτικότητας της μεμβράνης και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Αν $\sigma = 1$ έχουμε ολική συγκράτηση της διαλυμένης ουσίας, ενώ αν $\sigma = 0$ η μεμβράνη αφήνει ανεμπόδιστα το πέρασμα της διαλυμένης ουσίας. Το $\Delta\Pi$ εκτιμάται από την εξίσωση της ωσμωτικής πίεσης για μακρομόρια όπως είναι οι δεξτρίνες και οι πρωτεΐνες (Gekas *et al.*, 2002).

$$\Delta \Pi = \alpha_1 C_m + \alpha_2 C_m^2 + \alpha_3 C_m^3 \quad \text{Eq.2-15}$$

Όπου:

α_n : συντελεστές, που υπολογίζονται πειραματικά

Αν θεωρήσουμε τη μεμβράνη με το γειτονικό της οριακό στρώμα ως μια νέα τροποποιημένη μεμβράνη, η εγκάρσια μεταβολή της πίεσης δεν αλλάζει, αλλά η υδραυλική περατότητα της μεμβράνης μειώνεται. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο της αντίστασης, η μεμβράνη και το γειτονικό στρώμα μπορούν να θεωρηθούν ως ένα σύστημα εν σειρά και η εξίσωση ταχύτητα ροής – δρώσα δύναμη γίνεται:

$$J_v = \frac{\Delta P}{R_m + R_{b1}} \quad \text{Eq.2-16}$$

Όπου:

R_m : αντίσταση της μεμβράνης

R_{b1} : αντίσταση του μοριακού στρώματος

2.8.4. Υδροδυναμικό μοντέλο συγκράτησης

Το φαινόμενο της κατανομής ή της στερεοχημικής βασίζεται στο γεγονός ότι σφαιρικά σωματίδια περνάνε μέσα στους πόρους αν η διάμετρος είναι μικρότερη από αυτή των πόρων (μηχανισμός διήθησης).

$$\Phi = (1 - \lambda)^2 \quad \text{Eq. 2-17}$$

Όπου:

Φ : συντελεστής κατανομής

λ : ο λόγος μεγέθους σωματιδίου προς το μέγεθος του πόρου ($\lambda = \frac{d_s}{d_p}$)

- Αν $\lambda > 1$ έχουμε $R=100\%$, οπότε δεν περνάει
- Αν $\lambda < 1$ περνάει, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι θα περάσουν όλα

Επίσης υπάρχει ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη το αποτέλεσμα της ιονικής δύναμης στο φαινομενικό μέγεθος του πόρου (το στένεμα του ενεργού μεγέθους του πόρου που οφείλεται στις ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στη διαλυμένη ουσία και τον πόρο).

Μια έκφραση των συντελεστών της παρεμπόδισης που να λαμβάνει υπόψη της τη διάχυση είναι η:

$$J_s = -K_d D^\infty \frac{dc}{dz} + K_c u_z \quad \text{Eq. 2-18}$$

Όπου:

D^∞ : συντελεστής μη παρεμποδισμένης διάχυσης σε υδατικό διάλυμα

u_z : ταχύτητα ροής στον πόρο

K_c : συντελεστής παρεμπόδισης κατά την συμμεταφορά

K_d : συντελεστής παρεμπόδισης κατά τη διάχυση

2.8.5. Θερμοδυναμικό μοντέλο

Η κλασσική θερμοδυναμική περιγράφει μόνο καταστάσεις ισορροπίας, ενώ στις μονάδες υπερδιήθησης το σύστημα υποβάλλεται σε μεταβολές. Οπότε το εργαλείο για την μελέτη της υπερδιήθησης είναι η αντίστροφη θερμοδυναμική (Gekas *et al.*, 2002).

$$J_s = -L_z \delta \frac{dC}{dz} + (1 - \sigma) J_v C \quad \text{Eq. 2-19}$$

Όπου:

J_s : η ροή του συστατικού διά μέσου της μεμβράνης

J_v : ολική ροή διά μέσου της μεμβράνης (ογκομετρική ροή)

L_s : συντελεστής διαχυτότητας

C : συγκέντρωση συστατικού

$$\text{ή} \quad J_s = (1 - \sigma) C^* J_v + \omega \Delta \Pi \quad \text{Eq. 2-20}$$

Όπου:

ω : διαλυτότητα στερεού, είναι μέτρο της διαχυτότητας του συστατικού που συγκρατείται

και C^* : μέση συγκέντρωση συστατικού μέσα στη μεμβράνη.

Οι Del Castillo και Mason επέκτειναν τη θερμοδυναμική εξίσωση για πολυσυστατικά συστήματα με κατάλληλο ορισμό της μερικής ωσμωτικής πίεσης. Για ένα σύστημα δύο συστατικών όρισαν μια αδιάστατη μεταβλητή διάχυσης - απόκλισης, ξ (διάχυση διαμέσου των πόρων/ελεύθερη διάχυση στο διάλυμα). Συνδυάζοντας το ξ με το υδροδυναμικό μοντέλο εξέφρασαν αυτή τη μεταβλητή σε όρους του λ (λόγος του μεγέθους της διαλυμένης ουσίας προς το μέγεθος των πόρων). Σε μεγάλους πόρους επικρατούν οι αλληλεπιδράσεις διαλυμένης ουσίας – διαλύτη – μεμβράνης.

Επίσης οι Keden και Kachalsky ανέπτυξαν ένα φαινομενολογικό μοντέλο για βιολογικές μεμβράνες, που αργότερα επεκτάθηκε και στις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης και υπερδιήθησης (Gekas *et al.*, 2002).

$$\begin{aligned}
 J_v &= L_{11}\Delta P + L_{12}\Delta\Pi \\
 J_s &= L_{12}\Delta P + L_{22}\Delta\Pi \\
 L_{21} &= L_{12}
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 2-21}$$

(Σχέση Orsanger: οι αντισυζυγείς συντελεστές είναι ίσοι μεταξύ τους)

$$L_{11}L_{22} - L_{12}L_{21} > 0 \Rightarrow L_{11}L_{22} - L_{12}^2 > 0 \tag{Eq. 2-22}$$

Όπου:

L: φαινομενολογικός συντελεστής

Η φυσική σημασία είναι ότι η ροή της διαλυμένης ουσίας λαμβάνει χώρα εν μέρει εξαιτίας της κύριας ροής που οφείλεται στην πίεση (convective) και εν μέρει εξαιτίας της ωσμωτικής πίεσης ή της διαφοράς συγκέντρωσης (δεδομένου ότι $\Delta\Pi: R T \Delta C$). Ο Staverman για πρακτικούς λόγους έχει ορίσει τον συντελεστή ανάκλασης, σ :

$$\sigma = \frac{L_{12}}{L_{11}} \tag{Eq. 2-23}$$

Πίνακας 2-2: Ταξινόμηση διεργασιών με βάση την αντιστοιχία τους σε υδροδυναμικά και θερμοδυναμικά μοντέλα (Gekas *et al.*, 2002)

Διεργασία	Υδροδυναμικά	Θερμοδυναμικά
Διήθηση	+	-
Μικροδιήθηση – MF	+	-
Υπερδιήθηση – UF	+	+
Νανοδιήθηση – NF	-	+
Αντίστροφη ώσμωση – RO	-	+

2.8.6. Προσέγγιση Stefan – Maxwell

Η αρχή πίσω από την προσέγγιση των Stefan – Maxwell είναι πολύ απλή: το άθροισμα των δυνάμεων που εξασκούνται πάνω σε ένα μόριο εξισορροπείται από τη τριβή των μορίων που συνεχώς ασκούν πάνω σε άλλα μόρια.. Αυτή η προσέγγιση είναι ένα μοντέλο κατάλληλο για πολυσυστατικά πειράματα (Gekas *et al.*, 2002). Η

μεμβράνη θεωρείται ως ένα από τα συστατικά. Έτσι οι αλληλεπιδράσεις διαλυμένης ουσίας – μεμβράνης και διαλύτη – μεμβράνης μπορούν να εκφραστούν με σαφήνεια με τους όρους της διαχυτότητας. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα Gibbs –Duhem η εξίσωση της ροής της διαλυμένης ουσίας εκφράζεται με το μοντέλο Stefan – Maxwell ως εξής:

$$J_s = -D_2 C_{x_2} \frac{d \ln(x_s \gamma_s)}{dz} + \frac{D_2}{D_1} J_v C_{x_s} \quad \text{Eq. 2-24}$$

Όπου:

x_s : μοριακό κλάσμα διαλυμένης ουσίας

γ_s : συντελεστής διαλυμένης ουσίας

C: ολική μοριακή συγκέντρωση

D1,D2 : συντελεστές ολικής μεταφοράς

2.9 Συσσώρευση στερεών (FOULING)

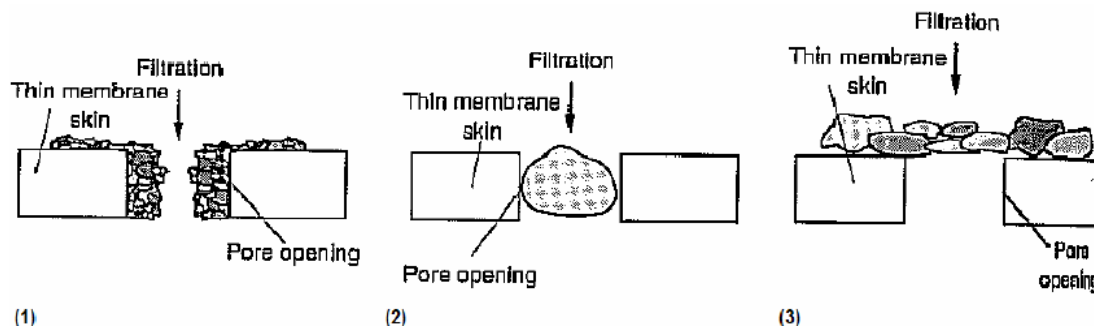
2.9.1. Περιγραφή

Η συσσώρευση στερεών αποτελεί το πιο σημαντικό πρόβλημα στις διεργασίες με νερό όπου χρησιμοποιούνται μεμβράνες (Huang *et al.*, 2004). Η δημιουργία επίστρωσης στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης (fouling) αυξάνει την αντίσταση της μεμβράνης στην κίνηση του ρευστού. Το φαινόμενο του fouling χωρίζεται σε δύο περιπτώσεις εμφάνισης. Η πρώτη ονομάζεται επιφανειακό fouling (macro) και η δεύτερη ονομάζεται fouling στους πόρους (micro). Στην πρώτη περίπτωση έχουμε επιστρώσεις στερεών που προήλθαν από μία υψηλή σε στερεά παροχή που δεν επιτρέπει τη ροή στους πόρους. Όταν δημιουργηθεί μία τέτοια επίστρωση στερεών είναι πιθανόν να έχουμε και ανάπτυξη βιομάζας ανάμεσα στις μεμβράνες (Roest *et al.*, 2002). Γενικά υπάρχουν τρεις μηχανισμοί ‘fouling’ που συνεργούν στην αντίσταση της ροής λόγω συσσώρευσης διαλυμένων στερεών στη μεμβράνη (Σχήμα 2-8):

1. Αλλοίωση της μεμβράνης λόγω παρουσίας χημικών τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με τη μεμβράνη ή βιολογικών μέσων που μπορούν να αποικίσουν στη μεμβράνη (pore narrowing).

2. Έμφραξη της μεμβράνης (pore plugging).

3. Σταδιακή ανάπτυξη φιλμ πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης (gel/cake formation).



Σχήμα 2-8: Οι τρεις βασικοί μηχανισμοί fouling

Η περατότητα και η αντιστρεψιμότητα της μεμβράνης καθορίζεται από τους μηχανισμούς του fouling, όπως η προσρόφηση, η έμφραξη των πόρων, η απόθεση σωματιδίων και η συγκέντρωση της πόλωσης. Οι δύο πρώτες μπορούν να λάβουν χώρα μέσα στους πόρους της μεμβράνης και στην επιφάνεια αυτής ενώ οι δύο τελευταίες μόνο στην επιφάνεια της μεμβράνης (Roorda *et al.*, 2000). Μία παρατεταμένη λειτουργία υπερδιήθησεως μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη και συσσώρευση βιολογικά ενεργού υλικού που δημιουργεί ένα βιοφίλμ στην επιφάνεια της μεμβράνης το οποίο φαινόμενο ονομάζεται biofouling (Roorda *et al.*, 2000).

Σε πολλές έρευνες έχει αποδειχτεί η συμβολή των αιωρούμενων στερεών, κολλοειδών και διεσπαρμένων μεγαλομορίων στη δημιουργία fouling στη μεμβράνη. Ακόμα υπάρχει σχέση του fouling με τη συσσώρευση των βακτηρίων και τη δημιουργία μικροβιακών επιστρώσεων στην επιφάνεια της μεμβράνης (Lim *et al.*, 2004).

Για την περίπτωση της μικροδιήθησης, πολύ σημαντικό πρόβλημα είναι οι πρωτεΐνες και γενικότερα τα μακρομόρια. Κατά την περίοδο εκκίνησης ενός συστήματος MBR γίνεται συγκέντρωση από πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες στη λάσπη με αποτέλεσμα να καθίσταται πολύ πιθανή η συσσώρευση στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης (Sperandio *et al.*, 2004).

Οι μεμβράνες της υπερδιήθησης είναι πιο επιρρεπείς στο φράξιμο των πόρων τους από μακρομόρια. Υπάρχουν γενικά δύο θεωρίες για την εξήγηση του μηχανισμού

της συσσώρευσης των στερεών στη μεμβράνη. Η μία απλά υπολογίζει την αντίσταση της μεμβράνης η οποία προστίθεται στην αντίσταση της επίστρωσης των συσσωρευμένων υλικών στην επιφάνεια της μεμβράνης, έτσι ώστε να υπολογιστεί η πίεση στην οποία η ροή θα είναι περατή χωρίς όμως να δημιουργούνται υπολείμματα. Αυτό φυσικά μπορεί να υπολογιστεί μόνο όταν γνωρίζουμε την αντίσταση της μεμβράνης και των συσσωρευμένων υλικών. Στην πιο κλασική θεωρία υπολογισμού αποδέχεται ότι η διάχυση είναι ο μηχανισμός μεταφοράς. Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται η συγκέντρωση πόλωσης (CP) της οποίας ο υπολογισμός γίνεται με βάση την υδροδυναμική του συστήματος (Gekas et al., 2002).

Σε πολλές έρευνες έχει αποδειχτεί η συμβολή των αιωρούμενων στερεών, κολλοειδών και διεσπαρμένων μεγαλλομορίων στην δημιουργία fouling στη μεμβράνη. Ακόμα υπάρχει σχέση του fouling με την συσσώρευση των βακτηρίων και την δημιουργία μικροβιακών επιστρώσεων στην επιφάνεια της μεμβράνης (Lim et al., 2004).

2.9.2. Ροή στη μεμβράνη

Υπό την πιο απλή λειτουργία η αντίσταση στη ροή είναι αυτή που δημιουργεί η μεμβράνη. Για τις πορώδεις μεμβράνες η ροή είναι (Stephenson *et al.*, 2000; Nagaoka *et al.*, 2004):

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m} \quad \text{Eq. 2-25}$$

J : ροή

ΔP : πίεση

μ : ιξώδες

R_m : αντίσταση της μεμβράνης

Η αντίσταση της μεμβράνης γενικά είναι:

$$R_m = \frac{k(1-E_m)^2 S_m^2 l_m^2}{\varepsilon_m^3} \quad \text{Eq. 2-26}$$

E : περατότητα

S_m : επιφάνεια των πόρων στην μονάδα όγκου

L_m : πάχος της μεμβράνης

Ο συντελεστής k είναι 2 για τέλεια κυλινδρικούς πόρους.

2.9.3. Αντίσταση στη μεμβράνη

Ο πιο απλός τρόπος για τον υπολογισμό της ροής, είναι λαμβάνοντας υπόψη την συνολική αντίσταση. Σε αυτή την περίπτωση προσθέτουμε το R_c (αντίσταση συσσωρευμένων στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης) έτσι ώστε έχουμε:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu(R_c + R_m)} \quad \text{Eq. 2-27}$$

με
$$R_c = \frac{\kappa(1-\varepsilon_c)^2 S_c^2 l_c}{\varepsilon_c^3} \quad \text{Eq.2-28}$$

2.9.4. Αντιμετώπιση του fouling

Δύο μέθοδοι καθαρισμού της μεμβράνης χρησιμοποιούνται περισσότερο: η αντίστροφη έκπλυση και ο καθαρισμός με αέρα (Huang *et al.*, 2004). Η μέθοδος του καθαρισμού με αέρα, πειραματικά, αποδείχτηκε καλύτερη διότι η αντίστροφη έκπλυση ήταν λιγότερο αποτελεσματική στην περίπτωση που είχαμε συσσώρευση στερεών σε υψηλά επίπεδα (Huang *et al.*, 2004). Ο καλός αερισμός ανάμεσα στις ίνες βοηθάει να μειωθεί η συχνότητα του fouling (Pollice *et al.*, 2004). Είναι καλό, για αυτό το λόγο να διατηρείται το διαλυμένο οξυγόνο (D.O.) στο 1-3 mg/L (Pollice *et al.*, 2004).

Μία μέθοδος αντιμετώπισης της συσσώρευσης των στερεών, η οποία βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο είναι η χρήση υπερήχων (Kim *et al.*, 2005). Σε πειράματα με μεμβράνες μικροδιήθησης οι υπέρηχοι (10,000 MWC0) αφαίρεσαν τα στερεά από την επιφάνεια και το εσωτερικό των πόρων της μεμβράνης. Παρόλα αυτά, μικροποσότητες στερεών παρέμεναν στο εσωτερικό των πόρων της μεμβράνης (Kim *et al.*, 2005).

Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα προσθήκης ενεργού άνθρακα PAC (Powered Activated Carbon) στο σύστημα της μεμβράνης κατά τη λειτουργία του. Η επίστρωση

των στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης μειώνεται σημαντικά με τη χρήση του PAC (Liu *et al.*, 2004; Mo *et al.*, 2004). Αυτό συμβαίνει διότι στην επιφάνεια της μεμβράνης συγκεντρώνεται ο ενεργός άνθρακας ο οποίος έχει υψηλή περατότητα στους πόρους του και δεν συμπιέζεται (Liu *et al.*, 2004; Mo *et al.*, 2004). Ακόμη μειώνεται το βιολογικό φορτίο και του συνολικού αζώτου (TN) (Liu *et al.*, 2004; Mo *et al.*, 2004). Οι βιοαντιδραστήρες υπερδιηθήσεως που λειτουργούν πλήρως βυθιζόμενοι έχουν χαμηλότερο λειτουργικό κόστος από αυτούς της παράλληλης ροής (side-stream) (Zheng *et al.*, 2004). Όμως για να ελέγξουμε το φαινομένου της συσσώρευσης στερεών, χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο εμβαδόν μεμβράνης για να πετύχουμε την ίδια ροή με τα συστήματα παράλληλης ροής (Zheng *et al.*, 2004).

2.9.5. Χρήση μοντέλων για σχεδιασμό και μελέτη λειτουργίας των μεμβρανών

Πολλές έρευνες έχουν γίνει πάνω στην μοντελοποίηση των προβλημάτων της συσσώρευσης στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης, παρόλα αυτά όμως τα διαθέσιμα μοντέλα είναι περιορισμένα (Jiang *et al.*, 2003).

Επίλυση μοντέλων της ροής σε διάταξη “dead-end” δείχνει ότι οι κρίσιμοι παράγοντες στην περίπτωση της συσσώρευσης των στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης είναι τρεις αλυσιδωτοί: το φράξιμο των πόρων, εμπόδιση της περατότητας των στερεών από τους πόρους και η σταδιακή αποθήκευση ποσότητας στερεών πάνω στους φραγμένους πόρους.

Καθώς όλα τα μοντέλα μπορούν να δώσουν μια πολύ χρήσιμη περιγραφή της συμπεριφοράς των μεμβρανών κατά τη διήθηση νερού, είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθούν για περιπτώσεις όπως η διεργασία της ενεργού ιλύος σε συνδυασμό με υπερδιήθηση (Choo *et al.*, 1996). Η ανάπτυξη των μοντέλων βασίζεται σε συγκεκριμένες συνθήκες υδραυλικής αντίστασης. Αυτό σημαίνει ότι είναι πιθανόν να υπάρχει μεγάλο σφάλμα κατά τον υπολογισμό τους.

Σε εργαστηριακό επίπεδο, σε έρευνες πάνω σε συστήματα μεμβρανών με διήθηση κολλοειδών ή διασπαρμένων σωματιδίων έχει παρατηρηθεί μικρό σφάλμα ανάμεσα στις πειραματικές τιμές και σε αυτές που υπολογίζονται με τη χρήση μοντελισμού σε ιδανικά συστήματα (Zydreyetal *et al.*, 1987).

Ένας αριθμός μοντέλων δίδεται παρακάτω για τη ροή στη μεμβράνη για κάθε περίπτωση ανάγκης υπολογισμού με διαφόρων τύπων αντιστάσεις (Stephenson *et al.*, 2000).

$$\text{Έμφραξη των πόρων: } J = J_0 \exp\left(\frac{-a_{bl}J_0A}{n_p}\right)t \quad \text{Eq. 2-29}$$

$$\text{Σύσφιξη των πόρων: } J = \frac{J_0}{\left(1 + \frac{a_{pore}J_0}{n_p\pi\delta_m r^2 p}\right)^2} \quad \text{Eq. 2-30}$$

$$\text{Δημιουργία επίστρωσης: } J = \left(1 + \frac{2\alpha_{dep}R_c C_b A \Delta P}{n_0 R_m^2}t\right)^{-1/2} \quad \text{Eq. 2-31}$$

Ροή με υψηλή συγκέντρωση πρωτεϊνών:

$$J = \frac{\Delta P}{n_0(R_m + R'_c M_c^*(1 - e^{-k_1 t}) + R'_{bl} M_{bl})} \quad \text{Eq. 2-32}$$

Ροή με υψηλή συγκέντρωση ενεργού ιλύος:

$$J = \frac{\Delta P}{n_0(k_2 U^{-2.5} + k_3)R_t U} \quad \text{Eq. 2-33}$$

$$\text{Διάχυση για λεπτό στρώμα: } J = J_0 \left(1 + \frac{2J_0 R'_c C}{R_m(C_0 - C)}t\right)^{-1/2} \quad \text{Eq. 2-34}$$

Διάχυση από παχιά επίστρωση στερεών:

$$\langle J \rangle = 1.31 \left(\frac{D^2 \gamma_0}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{C}{C_0} - 1\right)^{1/3} \quad \text{για } t \geq t_{as} \quad \text{Eq. 2-35}$$

$$\langle J \rangle = \frac{1}{L} \left[\int_0^{X(t)} J_{ss}(x) dx + [L - X(t)]J(t) \right] \quad \text{για } t < t_{ss} \quad \text{Eq. 2-36}$$

$$X(t) = 4.81(D^2 \gamma_0) \left(\frac{C_c}{C} - 1\right) \left(\frac{C}{C_0}\right)^{3/2} \left(\frac{R'_c t}{\Delta P - \Delta P_c}\right) \quad \text{Eq. 2-37}$$

$$\Delta P_c = \frac{3kT}{4\pi\gamma^3} N_F \quad \text{Eq. 2-38}$$

$$J(t) = \left(\frac{\Delta P - \Delta P_c}{R_m}\right) \left(1 + \frac{2R'_c(\Delta P - \Delta P_c)}{R_m^2} \frac{C}{C^*} t\right)^{-1/2} \quad \text{Eq. 2-39}$$

Όπου:

a_{block}	Αριθμός φραγμένων πόρων προς τον όγκο ρευστού που έχει διηθηθεί
a_{pore}	Όγκος συσσωρευμένων στερεών προς τον όγκο ρευστού που έχει διηθηθεί
a_{dep}	Κλάσμα συσσωρευμένων στερεών στη μεμβράνη
A	Εμβαδόν μεμβράνης
J_0, J, J_{ss}	Ροή αρχική, ροή σε χρόνο t , ροή ισορροπίας
$k_{1,2,3}$	Σταθερά (εμπειρική)
M_{bl}	Επίπεδο στην επιφάνεια της μεμβράνης (συσσωρευμένων στερεών μάζα προς επιφάνεια)
M_c	Μέγιστη συσσώρευση στερεών
n_p	Αριθμός πόρων
r_p	Διάμετρος πόρων
R'_{bl}	Ειδική αντίσταση επιπέδου συσσωρευμένων στερεών
ΔP	Πίεση
ΔP_c	Κρίσιμη πίεση (πίεση δημιουργίας επιπέδου στερεών)
t	Χρόνος διήθησης
t_{ss}	Χρόνος διήθησης σε σταθερές συνθήκες (steady-state)
X	Απόσταση επιπέδου από την είσοδο
n_o	Ιξώδες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ – MBR

3.1. Γενικά

Πιλοτικές δοκιμές σχετικά με την απορρύπανση των υγρών αποβλήτων που παράγονται από τις διάφορες διεργασίες αλλά και με την ανάκτηση νερού- χημικών μέσων για ανακύκλωση, μπορούν να πραγματοποιηθούν βάσει των δυνατοτήτων της τεχνολογίας μεμβρανών. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της τεχνολογίας μεμβρανών στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι μεμβράνες αποτελούν εναλλακτική λύση ως προς τις κλασσικές βιολογικές και φυσικοχημικές μεθόδους επεξεργασίας, όπως καταβύθιση ή χημική καθίζηση, συσσωμάτωση, αερισμός και προσρόφηση. Οι κλασσικές μέθοδοι παρουσιάζουν περιορισμένη δυνατότητα για πλήρη απορρύπανση των υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα μειωμένα χαρακτηριστικά ανάκτησης και ανακύκλωσης στην παραγωγική διαδικασία χρήσιμων χημικών μέσων και νερού καλής ποιότητας. Η μέθοδος διήθησης που χρησιμοποιείται περισσότερο στην τεχνολογία περιβάλλοντος είναι η υπερδιήθηση. Οι περισσότερες εφαρμογές βιοαντιδραστήρων με διήθηση διαμέσου μεμβρανών έχουν γίνει με την χρήση μεμβρανών υπερδιήθησης.

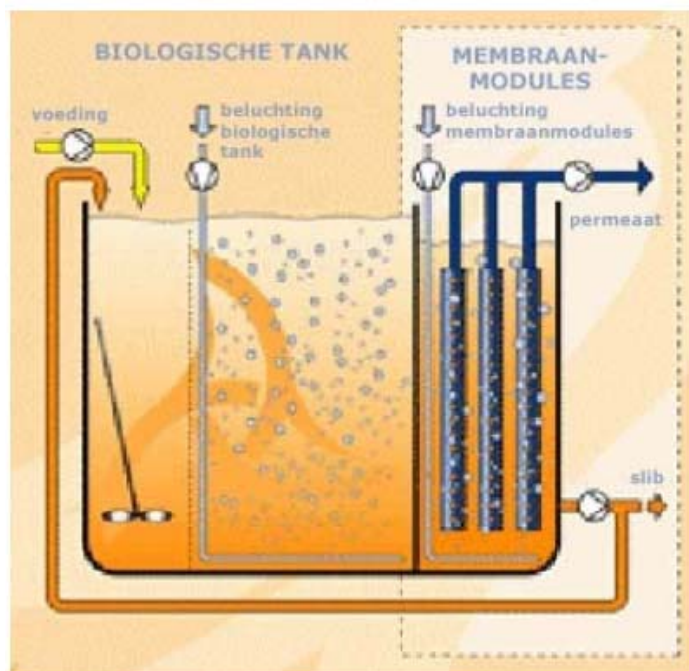
3.2. Περιγραφή

Μια διάταξη για την περίπτωση όπου η εκροή της δεξαμενής αερισμού περνάει μέσα από το στάδιο της μεμβράνης και μετά ανακυκλοφορούνται τα συγκρατημένα στερεά, πίσω στη δεξαμενή αερισμού. Αυτή η διάταξη ονομάζεται “παράπλευρης ροής” (sidestream) (βλ. Σχήμα 3-1). Μια άλλη διάταξη για ένα σύστημα MBR είναι

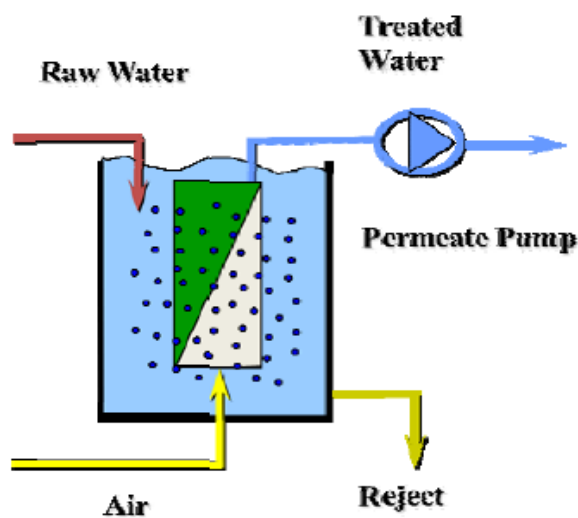
αυτό όπου η μεμβράνη είναι βυθισμένη μέσα στη δεξαμενή αερισμού (βιοαντιδραστήρας). Αυτή η διάταξη ονομάζεται “εμβυθιζόμενη” (submersed) (βλ. Σχήμα 3-2). Η αεριζόμενη βιομάζα βρίσκεται μέσα στην ίδια δεξαμενή. Και στις δύο περιπτώσεις η πίεση λειτουργίας ή διαμεμβρανική πίεση (TMP) και η κίνηση στη μεμβράνη δημιουργούνται από μία αντλία. Ο διαχωρισμός γίνεται μέσα στη δεξαμενή αερισμού με διήθηση. Τα συσσωρευμένα στερεά στην επιφάνεια της μεμβράνης αφαιρούνται μέσω της τριβής και της περατότητας του ατμοσφαιρικού αέρα πάνω στην μεμβράνη ο οποίος χρησιμοποιείται για τον αερισμό στην δεξαμενή αερισμού.

Η επεξεργασία νερού με υπερδιήθηση παρέχει νερό υψηλής ποιότητας (με εφαρμογή κενού σε βυθισμένες μεμβράνες στο νερό). Οι μεμβράνες διαθέτουν μέγεθος πόρων από 0,01 μm , και μπορούν να αφαιρέσουν από το νερό στερεά, πρωτόζωα, βακτήρια, και τους περισσότερους ιούς. Οι μεμβράνες αποτελούνται από πολλές κυλινδρικές ίνες στις οποίες ασκείται κενό από μία αντλία. Το επεξεργασμένο νερό τραβιέται μέσα από τις κοίλες της μεμβράνης και συγκεντρώνεται σε μια δεξαμενή.

Στις μεμβράνες κατά τη χρήση τους δεν εφαρμόζονται υπερβολικές πιέσεις ή απότομες αλλαγές πίεσεως. Η έκπλυση της μεμβράνης επιτυγχάνεται με αντίστροφη πλύση σε πολύ χαμηλή πίεση λόγω της υψηλής διαπερατότητας της μεμβράνης. Με την εφαρμογή αυτού του συστήματος καταργείται το στάδιο της τελικής καθίζησης από τη συμβατική μέθοδο επεξεργασίας. Το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης είναι τέτοιο ώστε να εξασφαλίζει την συνολική απομάκρυνση των στερεών. Κατά τη διήθηση απομακρύνονται επίσης από την εκροή τα παθογόνα και οι ιοί. Ένα μεγάλο θετικό στις εφαρμογές συστημάτων MBR είναι η ελάχιστη απαίτηση χώρου εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει πολύ υψηλή συγκέντρωση ιλύος στο χώρο του βιοαντιδραστήρα έτσι ώστε να μειώνεται ο απαιτούμενος όγκος αυτού (Cornel *et al.*, 2003).



Σχήμα 3-1. Διάταξη MBR sidestream



Σχήμα 3-2. Διάταξη MBR submersed

3.3. Διάταξη

Δύο βασικές διατάξεις χρησιμοποιούνται συνήθως για τα συστήματα MBR. Στην πρώτη η μεμβράνη βρίσκεται εμβυθιζόμενη στην δεξαμενή των λυμάτων και στην δεύτερη βρίσκεται εξωτερικά αυτής σε διάταξη παράπλευρης ροής. Στη παρούσα μελέτη εστιάζουμε στην πρώτη. Στη λειτουργία των MBR δεν θα πρέπει να συγχέεται

η χρήση τους για τον διαχωρισμό και συγκράτηση της βιομάζας με την περίπτωση όπου η μεμβράνη χρησιμοποιείται για διήθηση της τριτοβάθμιας εκροής ενός συστήματος βιολογικού καθαρισμού. Η βασική επεξεργασία στο σύστημα γίνεται με ενεργοποιημένη βιομάζα. Το νερό αντλείται δια μέσου συστήματος εφαρμογής κενού. Η ποσότητα που δεν υφίσταται διήθηση ανακυκλοφορείται στην ίδια δεξαμενή. Η ροή του νερού είναι από την εξωτερική προς την εσωτερική μεριά της κυλινδρικής ίνας της μεμβράνης. Το εσωτερικό της μεμβράνης έρχεται σε επαφή μόνο με καθαρό νερό. Τα στερεά παραμένουν στο εξωτερικό της μεμβράνης όπου δεν προκαλούνται προβλήματα.

Η διαφορά του συστήματος με την βυθισμένη μεμβράνη στο υγρό είναι ότι λόγω ανάδευσης με την διαδικασία του αερισμού, δεν υπάρχει ανακυκλοφορία.

3.3.1. Λειτουργία μεμβρανών υπερδιήθησης

3.3.1.1. Λειτουργία σε περιβάλλον με πολλά στερεά

Οι μεμβράνες βυθίζονται μέσα στη δεξαμενή όπου υπάρχουν αιωρούμενα στερεά χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα στη λειτουργία τους. Οι ροές λειτουργίας είναι ανεξάρτητες από το ποσοστό των στερεών και από τη στροβιλότητα της παροχής. Αυτή η ιδιότητα δύναται να κρατήσει σταθερό το σύστημα ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχουν προβλήματα στην προκαθίζηση. Με το να είναι βυθισμένες οι μεμβράνες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με πολύ μικρή εφαρμογή κενού, σε αντίθεση με άλλες μεμβράνες όπου λειτουργούν υπό υψηλή πίεση. Η εφαρμογή κενού είναι της τάξης των 10 – 50 kPa (1,5 – 7,5 psi). Το κόστος επίτευξης αυτού του κενού είναι πολύ χαμηλό. Η διήθηση δεν επιτρέπει την περατότητα των στερεών με αποτέλεσμα να καθιστά την ποιότητα της εκροής ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά καθιζήσεως της βιομάζας (Lim *et al.*, 2004).

3.3.1.2. Διόγκωση πόρων

Η έκπλυση της μεμβράνης δημιουργεί αμελητέα διόγκωση των πόρων της μεμβράνης. Η διόγκωση των πόρων επιτρέπει σε μεγαλύτερα από τις προδιαγραφές σωματίδια να διαπερνούν τη μεμβράνη. Διόγκωση των πόρων συμβαίνει όταν η μεμβράνη υπόκειται σε υψηλές πιέσεις, ειδικά κατά την έκπλυση αυτής. Οι βυθιζόμενες μεμβράνες δημιουργούν υψηλής και σταθερής ποιότητας εκροή χωρίς διόγκωση στους πόρους μιας και δεν χρησιμοποιείται υψηλή πίεση. Οι μεμβράνες έχουν σχεδιαστεί να είναι υπερβολικά διαπερατές και να έχουν υψηλή αντοχή σε σπασίματα, χωρίς να μειώνεται η ροή από αυτές (Zenon, 2000).

3.3.1.3. Χημική ανθεκτικότητα

Οι μεμβράνες είναι γενικά ανθεκτικές στο ενεργό χλώριο σε συγκέντρωση μέχρι 1.000 mg/L. Αυτό δίνει τη δυνατότητα της απολύμανσης πριν από τη επεξεργασία για καλύτερο μικροβιακό έλεγχο. Ακόμη είναι ανθεκτικές και σε όλα τα τυπικά οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται. Αυτό σημαίνει ότι είναι αδύνατο να γίνει χλωρίωση πριν από την επεξεργασία. Εκτός εάν συμπεριληφθεί στάδιο απομάκρυνσης του χλωρίου με ενεργό άνθρακα (AC) είτε με τη χρήση όξινου θειώδους νατρίου. Η αντοχή στο χλώριο βοηθάει στην εύκολη απολύμανση της μεμβράνης. Η μεμβράνη είναι ανθεκτική στις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτήν τη μορφή επεξεργασίας. Τα όρια που δεν πρέπει να υπερβαίνονται αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Η μεμβράνη είναι σχεδιασμένη να αντέχει μεγαλύτερες τιμές από τις παρακάτω σαν επίπεδο ασφαλείας στη χρήση (Zenon, 2003).

Πίνακας 3-1. Αντοχή της κοίλης μεμβράνης (*hollow fiber*) σε χημικές ουσίες (Zenon, 2003)

Τύπος	Μέγιστη συγκέντρωση
Χλώριο	1,000 mg/L
Sodium Hypochlorite	1,000 mg/L
Χλωραμίνες	1,000 mg/L
Υδροξείδιο του νατρίου	100 mg/L ή pH < 10.5 στους 40°C
Ενεργός Άνθρακας σε σκόνη	Απεριόριστο
Θεικό αργίλιο	Απεριόριστο σε pH 4.5 – 8.5
Τριχλωριούχος σίδηρος	Απεριόριστο σε pH 3.5 – 9.0
Υπερμαγγανικό κάλιο	< 100 mg/L
Πολυαργλικό χλώριο	Απεριόριστο σε pH 4.5 – 8.5

3.4. Φορτία

3.4.1. Απομάκρυνση

Τα φορτία σε τέτοια συστήματα βρίσκονται μεταξύ 1,2 – 3,2 kg COD/m³d και 0,05 – 0,66 kg BODs/ m³ d με απομάκρυνση μεγαλύτερη του 90% (έως και 97%). Η εκροή σε κανονικές συνθήκες που υπόκεινται στο σχεδιασμό έχει βιολογικό φορτίο < 10mg BOD/L. Παρόλο που τα φορτία φαίνονται να είναι παρόμοια με αυτά στα συστήματα ενεργής ιλύος, η απομάκρυνση του βιολογικού φορτίου MBR θα είναι μεγαλύτερη. Στην απομάκρυνση του COD, για παράδειγμα επιτυγχάνεται 90 – 98% ενώ στην περίπτωση της ενεργής ιλύος βρίσκεται μεταξύ 75 – 85%.

Η απομάκρυνση φυσικά είναι συνάρτηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής, ο οποίος συνήθως είναι από 2 έως 24 ώρες. Είναι ακόμα συνάρτηση και των χαμηλών ρυθμών φόρτισης (F/M) της ιλύος στον αερισμό. Στις υψηλές τιμές αυτών επιτυγχάνονται οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες απομακρύνσεις (Stephenson *et al.*, 2000). Η τεχνολογία υπερδιηθήσεως έχει δώσει θεαματικά αποτελέσματα. Απομακρύνσεις της τάξης του 99.9% για TSS, COD έχουν καταγραφεί (Stephenson *et al.*, 200). Πολύ υψηλές απομακρύνσεις λαμβάνουν χώρα για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η υψηλότερη απομάκρυνση που καταγράφηκε ήταν 99.9993% (Stephenson *et al.*, 2000). Πολύ υψηλές απομακρύνσεις συμβαίνουν και για τα βαρέα μέταλλα. Έχουν καταγραφεί απομακρύνσεις μεγαλύτερες από 90% για Co, Ni, Mn, and Sr (Lin *et al.*,

2004). Οι μεμβράνες μπορούν να επιτύχουν παρόμοια αποτελέσματα για τα βαρέα μέταλλα και όταν βρίσκονται στη διάταξη MBR (Lin *et al.*, 2004).

3.4.2. Απομάκρυνση θρεπτικών

Ένα σωστά ρυθμισμένο σύστημα MBR μπορεί να δώσει υψηλή απομάκρυνση ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου (Fleischer *et al.* 2005). Για την περίπτωση του φωσφόρου όμως ο συνδυασμός βιολογικής και χημικής επεξεργασίας επιφέρει υψηλότερες απομακρύνσεις.

Η παραμονή των μικροοργανισμών στο σύστημα ευνοεί την ανάπτυξη *Nitrosomonas* και *Nitrobacter*. Έχει αποδειχθεί ότι η νιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε ηλικία ιλύος 5 – 72 ημέρες και οργανικών φορτίων από 0,05 – 0,66 kg COD/d. Η ηλικία της ιλύος είναι μείζονος σημασίας καθώς επηρεάζει την νιτροποίηση με ποσοστό απομάκρυνσης της αμμωνίας από 80 – 99% στην αύξηση της ηλικίας από 10 στις 50 ημέρες. Ο μηχανισμός της νιτροποίησης είναι παρόμοιος με αυτόν της διεργασίας της ενεργού ιλύος (Fleischer *et al.* 2005). Η αποτελεσματικότητά του όμως είναι διπλάσια για την περίπτωση του MBR.

3.4.3. Ηλικία της ιλύος

Η ηλικία της ιλύος εμφανίζεται να έχει σημαντική επίδραση στην ποιότητα της εκροής. Το εύρος αυτής κατανέμεται μεταξύ 5–3.500 ημέρες (για μηδενική απώλεια λάσπης). Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ανεβαίνει μέχρι το σημείο των 30 ημερών ηλικίας λάσπης. Από αυτό το σημείο και μετά εμφανίζεται μηδενική βελτίωση (Stephenson *et al.*, 2000).

Πίνακας 3-2. Διαφορές στην απομάκρυνση και των εμπλεκόμενων παραμέτρων του ιλύος, συγκριτικά για την περίπτωση ενεργού ιλύος και του MBR (Stephenson *et al.*, 2000).

Παράμετροι	AS	MBR
Ηλικία ιλύος	20	30
Απομάκρυνση COD (%)	94.5	99
Απομάκρυνση DOC (%)	92.7	96.9
Απομάκρυνση TSS (%)	60.9	99.9
Απομάκρυνση αμμωνιακού N (%)	98.9	99.2
Απομάκρυνση P (%)	88.5	96.6
Παραγόμενη ιλύ (kg VSS COD ⁻¹ d ⁻¹)	0,22	0,27

3.4.4. Απομάκρυνση παθογόνων

Διαφορετικά αποτελέσματα απομάκρυνσης έχουμε για κάθε περίπτωση διάταξης της διεργασίας. Η απομάκρυνση των παθογόνων για κάθε περίπτωση φαίνεται στον Πίνακα 3-3 μαζί με την πηγή των κάθε αποτελεσμάτων και τον τύπο των μικροβίων.

Πίνακας 3-3. Απομάκρυνση παθογόνων, ανά σύστημα δημοσιευμένης μελέτης (Stephenson *et al.*, 2000)

Μελέτη	Σύστημα	Πόροι	Παράμετρος*	Εισροή	Εκροή	Απομάκρυνση
Chiemchaisri	Κοίλες Μεμβράνες	μm	coliphage	7.1 – 7.5 log	1.2 – 3.5 log	4.6
(1992a, b)		0,3 μm	coliphage	6.8 – 7.7 log	0.8 – 3.1 log	4.6
Crote <i>et al.</i> , (1997)	Κοίλες μεμβράνες	200.000 Daltons	total coliform bacteriophage	5.6 – 5.9x10 ⁷ 1.4 – 3.7x10 ³	20 - 43 -	6.1 – 6.4 >3.8 - >4.5
Buisson <i>et al.</i> , (1998)	Κοίλες μεμβράνες	200.000 Daltons	faecal coliform	n/a	n/a	6.2
Jefferson <i>et al.</i> , (2000)	Διάταξη dead-end	0,4 μm	total coliform	2.5 - 7.4	1 - 15	ca. 7
Churchouse and Wildgoose <i>et al.</i> , (1999)	Διάταξη dead - end	0,4 μm	faecal coliform	0.9 – 64x10 ⁶	< 20	> 5.7
			steptococcus coliphage	<30x10 ⁶ <29 - 6320	< 11 < 0.19	> 99.9993% > 99.98%
Gander <i>et al.</i> , (1999)	Διάταξη dead - end	0.4 μm	total coliform	n/a	n/a	ca. 8
	Διάταξη dead - end	5 μm				-5
	Παράπλευρη ροή	5 μm				5
Ueda and Horan (2000)	Διάταξη dead - end	0,4 μm	phage	1.5x10 ³ - 1.1x10 ⁸	n/a	2.3 – 5.9
			faecal coliform	8.8x10 ⁶ – 1.2x10 ⁷		6.86

* Coliforms και Steptococci σε CFU/ml και Phage σε PFU/ml

3.4.5. Πίεση λειτουργίας – Διαμεμβρανική πίεση (TMP)

Η διαμεμβρανική πίεση (trans membrane pressure ή TMP) είναι μία υπολογιστέα πίεση που χρησιμοποιείται για να δείξει την κατάσταση των μεμβρανών. Η TMP ουσιαστικά είναι η διαφορά μεταξύ της εξωτερικής πίεσεως της μεμβράνης (υδροστατικής πίεσης) και του εφαρμοζόμενου κενού στο εσωτερικό της μεμβράνης. Λόγω της υψηλότερης πίεσεως που εφαρμόζεται στο εσωτερικό (για να ξεκινήσει η διήθηση) από το εξωτερικό η TMP έχει πάντα αρνητικό πρόσημο υποδηλώνοντας έτσι τη ροή από έξω προς τα μέσα (Eq. 2-40).

Η διαμεμβρανική πίεση (TMP) υπολογίζεται από την υδροστατική πίεση του νερού πάνω από τη μεμβράνη. Σε μερικά συστήματα γίνεται υποβοήθηση από αντλία έτσι ώστε να αυξηθεί η TMP. Η τιμή του TMP όμως παραμένει σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν της διάταξης “παράπλευρης ροής”.

Η βελτιστοποίηση της τεχνολογίας στον τομέα των μεμβρανών υπερδιήθησης έχει καταφέρει τη λειτουργία μεμβρανών σε διαμεμβρανική πίεση 5-100 kPa (0,05-1 bar) σε αντίθεση με παλιότερα όπου το αντίστοιχο εύρος ήταν 1-3 bar (Santiwong *et al.*, 2004). Στα 3 kPa (0,03 bar) η διαμεμβρανική πίεση είναι πολύ χαμηλή για να προκαλέσει συσσώρευση στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης. Η ροή όμως είναι υπερβολικά χαμηλή (Santiwong *et al.*, 2004).

$$T.M.P. [L/(m^2.h)] = (static\ pressure - dynamic\ pressure)[bar] \quad Eq. 2-40$$

3.4.6. Ειδική παροχή διηθήματος – Ε.Π.Δ. (FLUX)

Ειδική παροχή διηθήματος ονομάζεται το πηλίκο της παροχής στη μεμβράνη προς το εμβαδόν αυτής. Η παράμετρος αυτή δείχνει πόσο πολύ καταπονούνται οι μεμβράνες κατά τη χρήση τους.

$$J_w [L/m^2.d] = Παροχή / Εμβαδόν Μεμβράνης \quad Eq. 2-41$$

Η ΕΠΔ στα συστήματα MBR μεγάλης κλίμακας είναι συνήθως μεταξύ 5 και 3000 L/m² h. Η ακριβής ροή στη λειτουργία ενός συστήματος είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων συμπεριλαμβανομένης της περατότητας της μεμβράνης, την ταχύτητα της ροής cross flow, του μεγέθους των πόρων της μεμβράνης αλλά και των χαρακτηριστικών της ιλύος. Γενικά η διάταξη της παράπλευρης ροής έχει υψηλότερη απόδοση στη ροή από αυτήν στην περίπτωση της εμβυθιζόμενη μεμβράνης. Αυτό συμβαίνει όταν λειτουργεί σε υψηλότερη πίεση από αυτή που έχουμε στη διάταξη της εμβυθιζόμενης μεμβράνης. Υψηλότερη πίεση σημαίνει υψηλότερη πιθανότητα συσσώρευσης στερεών στην επιφάνεια της μεμβράνης, εάν δεν ληφθεί σωστά υπόψη η τριβή του υλικού της μεμβράνης.

3.4.7. Περατότητα (PERMEABILITY)

Η περατότητα στη μεμβράνη είναι συνάρτηση δύο βασικών παραμέτρων. Η πρώτη είναι η ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται για να γίνει η διήθηση. Η δεύτερη και σημαντικότερη παράμετρος είναι συνάρτηση του βαθμού fouling που έχει επέλθει στο σύστημα. Η περατότητα εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση.

$$\text{ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ } [L/\text{psi}.m^2.h] = \text{ΕΠΑ} / \text{TM} \quad \text{Eq. 2-42}$$

3.4.8. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει πολύ την απόδοση της μεμβράνης, λόγω της αυξομείωσης του ιξώδους του νερού. Η θερμοκρασιακή διόρθωση της τιμής της ΕΠΑ και της τιμής της περατότητας είναι απαραίτητη.

Σε δύο διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας, η ΕΠΑ βάση της θερμοκρασίας ορίζεται βάση των εκάστοτε τιμών του ιξώδους του νερού.

$$\text{ΕΠΑ}_{T_2} = \frac{\text{ΕΠΑ}_{T_1} \times \mu_{T_1}}{\mu_{T_2}} \quad \text{Eq. 2-43}$$

Όπου μ = ιξώδες του νερού.

Μία απλούστερη εκθετική προσέγγιση είναι η εξής:

Για θερμοκρασία 16°C και περατότητα 2 LMH/kPa

$$\begin{aligned} P_{20^\circ\text{C}} &= P_T \times (1.025^{(20-T)}) \\ P_{20^\circ\text{C}} &= 2 \times (1.025^{(20-16)}) = 2.21 \end{aligned} \quad \text{Eq. 2-44}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι για μόλις 4 βαθμούς Κελσίου η διαφορά ήταν της τάξης του 10%.

3.5. Συνδυασμός κροκίδωσης και διήθησης

Ο συνδυασμός υπερδιήθησης και κροκίδωσης θα μπορούσε να είναι ένας τρόπος βελτίωσης της επεξεργασίας. Σε έρευνες που έχουν γίνει η προσθήκη κροκιδωτικού ακολουθούμενη από καθίζηση μείωσε τις ποσότητες των ρίπων που προκαλούν fouling (Kim *et al.*, 2005). Η μείωση αυτών οδήγησε στη βελτίωση της ποιότητας της εκροής (Kim *et al.*, 2005). Η δυνατότητα διήθησης γενικότερα βελτιώνεται σημαντικά με την προσθήκη κροκιδωτικού ως προεπεξεργασία (Jang *et al.*, 2005). Ουσιαστικά αυτό συμβαίνει γιατί η απομάκρυνση χυμικών ουσιών μεγάλου μοριακού βάρους και αιωρούμενων ουσιών δεν έχει ως επακόλουθο τη

συσσώρευση στερεών, που είναι ευκολότερα αναστρέψιμη κατά την αντίστροφη έκπλυση της μεμβράνης. Πολύ υψηλή απομάκρυνση της θολότητας και UV254 (έως 99%) έχει καταγραφεί χρησιμοποιώντας συνεπεξεργασία σε σειρά με κροκίδωση και διήθηση με χαμηλή πίεση (Choi *et al.*, 2004).

Η κροκίδωση με κροκιδωτικά που έχουν βάση το αργίλιο βελτίωσε ακόμα την καταστροφή των φυσικών οργανικών ουσιών που δημιουργούν προβλήματα στην υπερδιήθηση (εκτός σε περιπτώσεις αλκαλικού περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα για pH 8,3) (Kabsch-Korbutowicz, 2006). Ακόμη η προεπεξεργασία με κροκίδωση συνέφερε στη μείωση του fouling (Kabsch-Korbutowicz, 2006).

Σε άλλες έρευνες όπου δοκιμάστηκαν διαφορετικά κροκιδωτικά με βάση το αργίλιο, τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στη χρήση του θεικού αργιλίου (Diamadopoulos *et al.*, 2006). Στον αντίποδα, το θεικό αργίλιο φερόταν να συνεισφέρει στο fouling σε ένα μικρό βαθμό (Kimura *et al.*, 2005).

3.6. Συνδυασμός ενεργού άνθρακα και διήθησης

Λίγες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη συνεπεξεργασία υπερδιήθησης και εφαρμογής ενεργού άνθρακα. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να ανεβάσει πάρα πολύ το επίπεδο επεξεργασίας. Την ίδια στιγμή τα σωματίδια του κονιορτοποιημένου ενεργού άνθρακα (PAC) μπορούν να διαχωρίζονται από την εκροή με μεμβράνες (Seo *et al.*, 2005). Επεξεργασία σε μεγάλη κλίμακα επέδειξε την δυνατότητα της αφαίρεσης μικρορύπων καθιστώντας ανταγωνιστικό τον συνδυασμό ενεργού άνθρακα-υπερδιήθησης (PAC+UF) σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους διήθησης (Seo *et al.*, 2004). Ο συνδυασμός PAC+UF θεωρείται από τις πιο αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Kim *et al.*, 1996). Αυτό συμβαίνει γιατί ο συνδυασμός PAC+UF όχι μόνο αφαιρεί αποτελεσματικά τη θολότητα και τα παθογόνα μικρόβια αλλά και τους οργανικούς μικρορύπους όπως ίχνη οσμηρών οργανικών ουσιών και παραπροϊόντων απολύμανσης (Kim *et al.*, 1996).

Ανάμεσα στους τρεις δημοφιλέστερους τύπους PAC βάση των υλικών κατασκευής τους (λιγνίτης, κάρβουνο, κέλυφος καρύδας), αυτός από κέλυφος καρύδας είχε καλύτερη προσρόφιση στις διαλυμένες οργανικές ενώσεις (Seo *et al.*,

2004). Ο ενεργός άνθρακας προερχόμενος από κέλυφος καρύδας ήταν ο καλύτερος στις απομακρύνσεις θολότητας και βαρέων μετάλλων σε σχέση με τους άνθρακες προερχόμενους από ξύλο ή κάρβουνο (Lee *et al.*, 2005). Η απομάκρυνση οργανικής μάζας και μικρορύπων με κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC) είτε PAC χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία νερού (Brasquet *et al.*, 1996).

Ο GAC είναι από τα πιο δημοφιλή σε χρήση προσροφητικά μέσα (Chaudhary *et al.*, 2002). Η προσρόφηση με GAC έχει αποδειχτεί πολύ αποτελεσματική στην απομάκρυνση μεγάλων αριθμών οργανικών ενώσεων (Brasquet *et al.*, 1996). Το βασικότερο πρόβλημα του GAC είναι η αργή κινητική της προσρόφησης που οφείλεται στην αργή διασωματιδιακή διάχυση, σε αντίθεση με το PAC που έχει γρηγορότερη κινητική προσρόφησης (Brasquet *et al.*, 1996).

3.7. Συνδυασμός MBR και Αντίστροφης Όσμωσης (MBR+RO)

Μία διεργασία συνεπεξεργασίας με μεμβράνες όπως μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης με αντίστροφη ώσμωση γίνεται πολύ ελκυστική ως τεχνολογία για την ανάκτηση υγρών αποβλήτων κυρίως για την υψηλή απόδοση. Αποδεικνύεται μια εύκολη λειτουργικά και πλέον αρκετά οικονομική λύση (Tam *et al.*, 2007). Τα αιωρούμενα στερεά και τα κολλοειδή αφαιρούνται από τη μεμβράνη (MF ή UF), ενώ η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης (RO) απομακρύνει τα διαλυμένα στερεά και τις οργανικές ουσίες (Tam *et al.*, 2007). Ο συνδυασμός MBR+RO έχει μια πολύ καλή δυναμική για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και ταυτόχρονα την παραγωγή πολύ υψηλής καθαρότητας ανακυκλωμένου νερού (Tam *et al.*, 2007).

Η τεχνολογία RO έχει καταγράψει πολύ υψηλές απομακρύνσεις (>95%) φυσικών οργανικών ουσιών (NOM) (Comerton *et al.*, 2005). Ακόμη προσφέρει πολύ καλή απομάκρυνση της διαλυμένης οργανικής μάζας και TOC με απομακρύνσεις 88% και >97% αντίστοιχα (Comerton *et al.*, 2005). Ακόμη η αντίστροφη ώσμωση αφαιρεί τα θρεπτικά των αποβλήτων και ιδιαίτερα το άζωτο (σε μορφή νιτρικού χαλκού) με απομακρύνσεις 88-97% (Comerton *et al.*, 2005). Η ελλιπής απονιτροποίηση σε ένα σύστημα MBR μπορεί να επιφέρει μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή. Ο συνδυασμός λοιπόν των δύο μεμβρανών δίνει ασφαλή αποτελέσματα σε αυτόν τον τομέα. Ο συνδυασμός επεξεργασίας ακόμη έδωσε πολύ υψηλή απομάκρυνση ιόν

(>5,3 log) και μηδενίζει τους αριθμούς των παθογόνων στην εκροή (Comerton *et al.*, 2005).

Η τεχνολογία αυτή προτείνεται ως μια πολλά υποσχόμενη αλλά μένουν πολλά ζητήματα να ερευνηθούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σχετιζόμενες με αυτό το θέμα επιστημονικές δημοσιεύσεις είναι πολύ περιορισμένες.

3.8. Προηγμένες διεργασίες οξείδωσης (ADVANCED OXIDATION PROCESSES)

3.8.1. Ηλεκτροχημική οξείδωση

Το ηλεκτρικό ρεύμα, που διαρρέει έναν αγωγό, αναφέρεται στην κίνηση φορτίων που διαρρέουν τον αγωγό μεταξύ σημείων διαφορετικού ηλεκτρικού δυναμικού. Στην περίπτωση μεταλλικών αγωγών οι φορείς του ρεύματος είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού. Στην περίπτωση υδατικών διαλυμάτων οι φορείς του ρεύματος είναι ιόντα. Τα αρνητικά ιόντα οδεύουν προς το σημείο με το πλέον θετικό δυναμικό (συνήθως ένα ηλεκτρόδιο που το καλούμε άνοδο) ενώ τα θετικά ιόντα κινούνται αντιθέτως προς τον αρνητικό πόλο (που τον καλούμε κάθοδο). Τα ιόντα ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια (e^-) με τα ηλεκτρόδια συμμετέχοντας σε αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής. Το τελικό προϊόν είναι η εναπόθεση χημικών ουσιών στα ηλεκτρόδια. Γενικά το φαινόμενο της κίνησης των ιόντων και της εναπόθεσης χημικών ουσιών στα ηλεκτρόδια, υπό την διαφορά δυναμικού που προσφέρουν τα ηλεκτρόδια, καλείται ηλεκτρόλυση.

Πολύ πρόσφατα, αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές στις οποίες απλοί κρύσταλλοι διαμαντιών εναποτέθηκαν πάνω σε ένα υπόστρωμα από την αέρια φάση χρησιμοποιώντας ένα πλάσμα υδρογονάνθρακα. Αλλά τα διαμάντια που δημιουργήθηκαν με αυτόν το τρόπο καλύπτονται από πολλούς κρυστάλλους σε διαφορετικούς προσανατολισμούς. Έτσι κατασκεύασαν ευμεγέθεις κρυστάλλους διαμαντιού (από τα άτομα του άνθρακα) με ηλεκτρονικές ιδιότητες, που προβλέπονται από τη θεωρία.

Η νέα C.V.D (Chemical Vapor Deposition) τεχνική παράγει λεπτά, άφθαρτα και υψηλής ποιότητας φιλμ διαμαντιών. Ενώ προηγουμένως δημιουργούνταν μέσω της C.V.D σαν ένα μίγμα λεπτών κρυστάλλων που δεν συνδέονταν μεταξύ τους (υπήρχαν μεταξύ τους κάποια όρια), που εμποδίζαν τα ηλεκτρόνια να κυλήσουν ανεμπόδιστα σαν ηλεκτρικό ρεύμα. Επίσης τα ολοκληρωμένα μικροκυκλώματα (chips) από διαμάντια μπορούν να δουλέψουν σε θερμοκρασίες εκατοντάδων βαθμών °C, ενώ οι συσκευές από πυρίτιο δουλεύουν μόνο κάτω από 150°C. Επιπλέον ένα άλλο πλεονέκτημα είναι πως τα νέα ολοκληρωμένα μικροκυκλώματα μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερη ισχύ και να είναι μικρότερα από τα ολοκληρωμένα μικροκυκλώματα πυριτίου. Τα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια έχουν τεράστια δυνατότητα όταν χρησιμοποιούνται ως βασικά συστατικά σε κατάλληλες ηλεκτροχημικές μεθόδους, είτε στη διαδικασία είτε τις αναλυτικές εφαρμογές. Οι υψηλές δυνατότητες πλεονάσματος στις οποίες το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και μειώνεται σε υδρογόνο αφήνει αρκετό χώρο για πολλές ενδιαφέρουσες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, για την κατεργασία του νερού. Αυτή η μοναδική ηλεκτροχημική ιδιότητα του διαμαντιού μαζί με την εξαιρετικά υψηλή σταθερότητά σε ακραία pH, θερμοκρασίες και χημικές ουσίες, κάνουν αυτό το υλικό να έχει μεγάλο ενδιαφέρον επίσης για τις ανόργανες και οργανικές χημικές συνθέσεις.

Οι ερευνητές μέτρησαν μια ιδιότητα του συνθετικού τους διαμαντιού γνωστή σαν ευκινησία - μια σταθερά που συσχετίζει τη ταχύτητα του φορτίου φορέα (ένα ηλεκτρόνιο ή μια οπή) προς το ηλεκτρικό πεδίο που ωθεί το φορτίο φορέα. Ανακάλυψαν λοιπόν πως όταν το υπέβαλλαν σε χαμηλό ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια του διαμαντιού τους έχουν μια ευκινησία $4500 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, ενώ οι οπές έχουν ευκινησία $3800 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Αυτό δείχνει πως τα διαμάντια έχουν μεγάλη δυναμική για ηλεκτρονικές συσκευές επειδή είναι σημαντικά μεγαλύτερες από την ευκινησία των ηλεκτρονίων και οπών στους ημιαγωγούς SiC και GaN, δύο ημιαγωγούς που αναπτύχθηκαν για προηγμένες ηλεκτρονικές συσκευές.

Μια ηλεκτροχημική τεχνολογία - η ηλεκτροχημική διεργασία προηγμένης οξείδωσης - βασισμένη στα ηλεκτρόδια από διαμάντι επιτρέπει την παραγωγή μικτών οξειδωτικών (π.χ χλώριο, όζον, υπεροξείδιο υδρογόνου, ρίζες υδροξυλίου και άλλα) χωρίς την προσθήκη χημικών ουσιών. Αυτά τα οξειδωτικά αντιπροσωπεύουν μια

απλή, γρήγορη, καθαρή και οικονομική τεχνολογία για την απολύμανση του νερού αποτελεσματικά με μείωση των χημικών ρύπων στο νερό και στα υγρά απόβλητα.

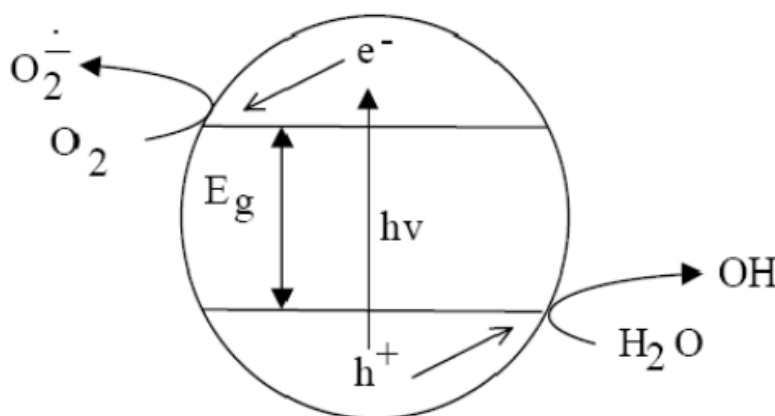
3.8.2. Φωτοκατάλυση

Από τις διάφορες AOPs που υιοθετούνται στην κατεργασία υγρών αποβλήτων, η ετερογενής φωτοκατάλυση με φωτοκατάλυση TiO_2 είναι μια νέα τεχνολογία με πολλά βασικά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας της πιθανής χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ανάπτυξη της ετερογενούς φωτοκατάλυσης, η οποία αποτελεί και την προτεινόμενη στο συγκεκριμένο έργο μέθοδο, την τελευταία δεκαετία υπήρξε εκρηκτική λόγω ορισμένων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει σε σχέση με τις υπόλοιπες, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Η ανάμειξη του προς καθαρισμό αποβλήτου με έναν ημιαγώγιμο καταλύτη (π.χ. TiO_2 , ZnO) και ο φωτισμός του συστήματος με τεχνητό ή ηλιακό φως, μπορούν να επιφέρουν την πλήρη καταστροφή των οργανικών ενώσεων που υπάρχουν σ' αυτό. Πρόκειται για μία μέθοδο, η οποία μιμείται πρακτικά τη φύση, η παρεμβολή δε του καταλύτη επιταχύνει τη διαδικασία καθαρισμού κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Είναι γνωστή η ικανότητα αυτοκαθαρισμού που παρουσιάζει η φύση, με την βοήθεια του οξυγόνου της ατμόσφαιρας και του ηλιακού φωτός.

Η μέθοδος της φωτοκαταλυτικής οξείδωσης των οργανικών ρύπων βασίζεται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο, το οποίο αποτελεί έναν από τους τρεις τρόπους μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική ή χημική. Λειτουργεί δε κατά τρόπο ανάλογο με τα φωτοηλεκτροχημικά στοιχεία (Gerischer, 1991); (Serpone *et al.*, 1989), στα οποία ο φωτισμός ενός ημιαγώγιμου ηλεκτροδίου το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το κατάλληλο ηλεκτρολυτικό διάλυμα, με ενέργεια φωτός μεγαλύτερη από το ενεργειακό του χάσμα ($E_g < h\nu$), δημιουργεί φορείς ηλεκτρικού ρεύματος τα ηλεκτρόνια (e^-) και τις οπές (h^+). Αντίστοιχα, ο κάθε κόκκος ημιαγώγιμης κόνεως που βρίσκεται σε επαφή με το κατάλληλο διάλυμα, λειτουργεί, υπό την επίδραση φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος, από μόνος του σαν μια μικροφωτοηλεκτροχημική κυψέλη, όπου συνυπάρχουν η άνοδος και η κάθοδος (Σχήμα 3-3). Ο φωτισμός ενός τέτοιου συστήματος δημιουργεί στη ζώνη σθένους (vb) και αγωγιμότητας (cb) οπές (h^+) και ηλεκτρόνια (e^-) αντίστοιχα. Σε υδατικά διαλύματα οι φωτοδημιουργούμενες

οπές αντιδρούν με τα ιόντα OH^- ή με τα μόρια του H_2O που είναι προσροφημένα στην επιφάνεια του ημιαγωγού και τα οξειδώνουν προς τις αντίστοιχες ρίζες του υδροξυλίου ($\text{OH}^\cdot$). Οι ρίζες αυτές αποτελούν το κύριο οξειδωτικό μέσο, το οποίο αντιδρά με τα οργανικά μόρια που βρίσκονται στο διάλυμα και μέσω υπεροξειδικών ριζών τα αποικοδομεί προς CO_2 και ανόργανα άλατα. Λόγω δε του υψηλού δυναμικού οξείδωσης των ριζών (2.8 V) αυτών, είναι δυνατή η προσβολή σχεδόν όλων των οργανικών ρύπων. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την αποικοδόμηση πολλών τάξεων οργανικών ενώσεων, όπως φαινόλες, χλωροφαινόλες, απορρυπαντικά, χρώματα κ.ά (Pelizzetti *et al.*, 1993); (Blake, 1999), παρουσία τεχνητού ή ηλιακού φωτός.

Ο ίδιος ο καταλύτης είναι χαμηλού κόστους, εμπορικά διαθέσιμος στις διάφορα κρυστάλλινα μορφές, μη τοξικές και φωτοχημικά σταθερές (Parsons, 2004).



Σχήμα 3-3: Προσομοίωση κόκκου ημιαγωγικής κόνεως με μικροηλεκτροχημικό στοιχείο υπό την επίδραση του φωτός.

3.8.3. Σονόλυση

Η σονόλυση είναι σχετικά καινοτόμος AOP βασισμένο στη χρήση της χαμηλής έως μέσης συχνότητας (τυπικά στο εύρος 20-1000 kHz) και του υψηλού ενεργειακού υπερήχου για να καταλύσει την καταστροφή των οργανικών ρύπων στα νερά. Τα χημικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας υπερήχου είναι η δημιουργία ακουστικής κοιλότητας που οδηγεί στο σχηματισμό μικρο-φουσαλίδων σε ένα υγρό (Mason *et al.*, 2002). Η δράση των υπερήχων στη διάσπαση των οργανικών ουσιών στην υγρή φάση σχετίζεται με τη δημιουργία, ανάπτυξη και έκρηξη φουσαλίδων, στις

οποίες αναπτύσσονται τοπικά εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (της τάξης των μερικών χιλιάδων βαθμών) και πιέσεις (της τάξης των μερικών εκατοντάδων ατμοσφαιρών). Υπό μία έννοια, οι φυσαλίδες λειτουργούν ως θερμικοί σημειακοί μικροαντιδραστήρες που περιβάλλονται από ψυχρό υγρό. Η μέθοδος έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία για την απομάκρυνση τοξικών μικρορυπαντών (σε συγκεντρώσεις της τάξης των μM - mM), όπως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, από νερά. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για την εφαρμογή της τεχνολογίας για την εξυγίανση υγρών αποβλήτων σχετικά μέτριας συγκέντρωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

4.1. Γενικά

Ευρωπαϊκή Κοινότητα καθορίζει τις υποχρεώσεις των φορέων που σχετίζονται με τη λειτουργία, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ΜΕΑΛ, μέσα από ένα σύνολο Οδηγιών και Αποφάσεων προς όλα τα κράτη-μέλη, προκειμένου να υφίσταται ένας κοινός γνώμονας και ενιαία προσέγγιση και να μην παρατηρούνται ελλείψεις και διαφοροποιήσεις ως προς τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα. Στο κείμενο αυτό γίνεται εκτενής αναφορά των κυριότερων σημείων που προβλέπονται από τις Κοινοτικές Οδηγίες και το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την παρακολούθηση της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων καθώς και των απορρίψεων από τις μονάδες αυτές.

Στον Πίνακα .1 που ακολουθεί παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το Κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο το οποίο και αναλύεται στη συνέχεια.

Πίνακας 4-1. Κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την παρακολούθηση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως αυτή τροποποιείται από την Οδηγία 98/15/ΕΚ, του Συμβουλίου της 27/10/1998.

Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12^{ης} Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.

Οδηγία 91/676/ΕΚ του Συμβουλίου της 12/12/1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης.

Οδηγία 75/440/ΕΚ του Συμβουλίου της 16/6/1975 περί της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων

Οδηγία 79/869/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 9/10/1979 περί με των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη - μέλη

Οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες

Οδηγία 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4/5/1976 περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας

Οδηγία 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27^{ης} Ιουνίου 1985 για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 97/11/ΕΚ του Συμβουλίου της 3^{ης} Μαρτίου 1997

Οδηγία 91/692/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 23^{ης} Δεκεμβρίου 1991 για την τυποποίηση και τον εξορθολογισμό των εκθέσεων που αφορούν την εφαρμογή ορισμένων οδηγιών για το περιβάλλον

4.1.1 Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως αυτή τροποποιείται από την Οδηγία 98/15/ΕΚ, του Συμβουλίου της 27/10/1998

Η Οδηγία αφορά στη συλλογή, επεξεργασία και την τελική διάθεση των αστικών λυμάτων και ειδικότερα στην ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων αυτών, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Για εφαρμογή των προβλεπόμενων της Οδηγίας, οι χώρες – μέλη υποχρεούνται όπως ορίσουν τις αρμόδιες αρχές - Φορείς που θα έχουν την ευθύνη για:

- Να προωθήσουν τους κατάλληλους κανονισμούς, διατάξεις και νομοθετικό πλαίσιο αναφορικά με την τελική διάθεση των εκροών από τις ΜΕΑΛ και την απόρριψη υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στα αποχετευτικά δίκτυα
- Να διασφαλίσουν την κατασκευή και λειτουργία συστημάτων για τη συλλογή και επεξεργασία των αστικών λυμάτων που παράγονται σε όλους τους οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό (ι.π) μεγαλύτερο από 2000. Για την επεξεργασία των λυμάτων είναι υποχρεωτική η εφαρμογή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας δηλ. βιολογικής με δευτεροβάθμια καθίζηση. Στις περιπτώσεις που το επεξεργασμένο απόβλητο διατίθεται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία των λυμάτων πριν από την τελική τους διάθεση και συγκεκριμένα, εκτός από δευτεροβάθμια απαιτείται και τριτοβάθμια επεξεργασία. Η επεξεργασία μπορεί να είναι απλούστερη, μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και με τη σύμφωνη γνώμη της Ε.Ε για απορρίψεις σε παράκτια ύδατα ή εκβολές ποταμού που έχουν κριθεί ως λιγότερο

ευαίσθητες. Τα χρονικά περιθώρια που θέτει η Οδηγία για εναρμόνιση των κρατών – μελών ανάλογα με το μέγεθος του οικισμού και την ευαισθησία του υδάτινου αποδέκτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2

Πίνακας 4-2. Χρονικό πλαίσιο εναρμόνισης των κρατών-μελών αναφορικά με την κατασκευή δικτύων αποχέτευσης και επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

Υποχρεώσεις	(ι.π) 2000 – 10000	(ι.π) 10000 – 15000	(ι.π) > 15000
Δίκτυα αποχέτευσης αστικών λυμάτων	31/12/2005 -	31/12/2005 Ευαίσθητες ζώνες: 31/12/1998	31/12/2000 Ευαίσθητες ζώνες: 31/12/1998
Δευτεροβάθμια Επεξεργασία	31/12/2005	31/12/2005	31/12/2000

- Να διασφαλίσουν ότι τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από βιομηχανικές εγκαταστάσεις και περιέχουν βιοαποδομήσιμο ρυπαντικό φορτίο και δεν διοχετεύονται στο αποχετευτικό δίκτυο για συνεπεξεργασία με τα αστικά λύματα, πληρούν τους όρους διαχείρισης που θεσπίζονται στα πλαίσια προηγούμενων κανόνων ή/και ειδικών αδειών από τις αρμόδιες αρχές. Η απαίτηση αυτή αφορά σε όλες τις βιομηχανικές μονάδες που παράγουν υγρά απόβλητα με βιοαποδομήσιμο οργανικό φορτίο σε ποσότητες που αντιστοιχούν σε ι.π 4000 ή μεγαλύτερο.

- Να διασφαλίσουν ότι διενεργείται συνεχής έλεγχος και παρακολούθηση όλων των διαδικασιών που αφορούν στην απόρριψη - τελική διάθεση των αστικών λυμάτων

- Να καταρτίσουν προγράμματα καθορισμού και υλοποίησης των απαιτούμενων δράσεων και έργων για την εφαρμογή των προβλεπόμενων από την Οδηγία, τα οποία υποβάλλονται στην ΕΕ και να δημοσιεύουν εκθέσεις κάθε δύο έτη προκειμένου να ενημερώνεται το κοινό.

Επιπλέον, καθορίζονται οι προδιαγραφές για την κατασκευή των ΜΕΑΛ και οι απαιτήσεις που πρέπει να διασφαλίζουν οι φορείς ότι τηρούνται, προκειμένου για την

εύρυθμη και εναρμονισμένη λειτουργία των ΜΕΑΛ, όταν οι απορρίψεις εισέρχονται σε ύδατα υποδοχής. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο σχεδιασμός και η κατασκευή νέων σταθμών επεξεργασίας λυμάτων ή η τροποποίηση υφιστάμενων σταθμών γίνεται έτσι ώστε να μπορούν να λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα των εισερχομένων και των επεξεργασμένων λυμάτων προτού απορριφθούν στα ύδατα υποδοχής.
- Οι τιμές των παραμέτρων απορρίψεων των ΜΕΑΛ απαιτείται να είναι εντός συγκεκριμένων ορίων (Πίνακας 4.3). Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι BOD, COD και TSS, καθώς δεν επιβάλλεται η ανάλυση επιπλέον παραμέτρων για τα αστικά λύματα, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη νομοθεσία.

Πίνακας 4-3. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων (εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το ποσοστό μείωσης)

Παράμετροι συγκέντρωσης	Τιμή συγκέντρωσης	Ελάχιστη μείωση	Μέθοδοι μέτρησης /αναφοράς
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο - BOD5 (στους 20°C) χωρίς νιτροποίηση	25mg/l	70-90 % 40 % για ορεινές περιοχές (1500m υψόμετρο)	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, χωρίς καθίζηση δείγμα. Προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πριν και μετά από πενθήμερη επώαση στους 200C ± 10C, απουσία φωτός. Προσθήκη παρεμποδιστή της νιτροποίησης
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο - COD	125 mg/l	75%	Ομοιογενοποιημένο, αδιάθικτο, χωρίς καθίζηση δείγμα. Προσδιορισμός με τη μέθοδο διχρωμικού καλίου
Ολικά αιωρούμενα στερεά - TSS	35 mg/l	90%	- Διήθηση δείγματος μέσω φίλτρου μεμβράνης των 0,45μm, ξήρανση σε θερμοκρασία 1050C και ζύγιση.
	35 mg/l (>10000ι.π.)	90% (>10000 ι.π.)	- Φυγοκέντριση δείγματος (επί 5 τουλάχιστον λεπτά, με μέση επιτάχυνση 2800-3200 rpm),
	60 mg/l (2000-10000 ι.π.)	70% (2000 – 10000 ι.π.)	ξήρανση σε θερμοκρασία 1050C και ζύγιση.

Σχετικά με τον πιο πάνω πίνακα σημειώνονται και τα εξής: Η ελάχιστη μείωση υπολογίζεται σε σχέση με το ρυπαντικό φορτίο που μετράται στην είσοδο. Η μέτρηση του BOD μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη όπως ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

ή ολικές ανάγκες σε οξυγόνο (TOD) αν μπορεί να βρεθεί σχέση μεταξύ του BOD5 και της αντίστοιχης παραμέτρου. Η απαίτηση για μείωση 90% των ολικών αιωρούμενων στερεών είναι προαιρετική. Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί ότι οι αναλύσεις που αφορούν απορρίψεις από τελμάτωση (lagooning) διεξάγονται σε διηθημένα δείγματα. Ωστόσο, η συγκέντρωση του συνόλου των αιωρούμενων στερεών σε αδιάθικτα δείγματα υδάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 150 mg/l.

- Αναφορικά με τις απορρίψεις των ΜΕΑΛ σε περιοχές που χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες λόγω της ύπαρξης ευτροφισμού, απαιτείται επιπλέον, η παρακολούθηση των τιμών αζώτου (N) και φωσφόρου (P), όπως αυτές περιγράφονται στον Πίνακα 4.4.

Η ελάχιστη μείωση υπολογίζεται σε σχέση με το φορτίο που μετράται στην είσοδο. Επίσης σημειώνεται ότι Ολικό Άζωτο σημαίνει το άθροισμα του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (οργανικό άζωτο και NH_3) του αζώτου των νιτρικών ιόντων (NO_3) και του αζώτου των νιτρώδων ιόντων (NO_2). Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που ο ι.π. υπερβαίνει τις 100.000 τότε ο ημερήσιος μέσος όρος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mg/l N. Η απαίτηση αυτή αναφέρεται σε θερμοκρασία ύδατος τουλάχιστον 20°C κατά τη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας των λυμάτων.

Πίνακας 4-4. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός

<i>Παράμετροι συγκέντρωσης</i>	<i>Τιμή συγκέντρωσης</i>	<i>Ελάχιστη μείωση</i>	<i>Μέθοδοι μέτρησης /αναφοράς</i>
Ολικός Φώσφορος - P	2 mg/l (10000-100000 ιπ) 1 mg/l (>100000 ιπ)	80%	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Ολικό άζωτο – N	15 mg/l (10000-100000 ιπ) 10 mg/l (>100000 ιπ)	70-80%	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης

Σημ: Αναλόγως των τοπικών συνθηκών μπορεί να εξετάζεται η μία ή και οι δύο παράμετροι - η τιμή συγκέντρωσης ή το ποσοστό μείωσης, αντίστοιχα

Αντί για την προϋπόθεση που αφορά στη θερμοκρασία, μπορεί να εφαρμοστεί άλλη παράμετρος όπως ένας περιορισμένος χρόνος λειτουργίας της εγκατάστασης ανάλογος με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

- Οι διαχειριστές των ΜΕΑΛ οφείλουν να επιλέγουν σημεία απόρριψης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων έτσι ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο δυνατόν, οι επιπτώσεις στα ύδατα υποδοχής.

Ως προς τις μεθόδους αναφοράς για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τους λειτουργούς των ΜΕΑΛ, η Οδηγία απαιτεί:

- Τα κράτη - μέλη να φροντίζουν ώστε η μέθοδος παρακολούθησης (βλ. Πίνακα 4.3) που εφαρμόζουν να ανταποκρίνεται τουλάχιστον στο επίπεδο απαιτήσεων που περιγράφεται. Είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και άλλες μέθοδοι υπό την προϋπόθεση ότι αποδεδειγμένα οδηγούν σε ισοδύναμα αποτελέσματα. Τα κράτη - μέλη είναι υποχρεωμένα να παρέχουν στην ΕΕ όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με την μέθοδο που εφαρμόζουν.

- Να λαμβάνονται εικοσιτετράωρα δείγματα ανάλογα προς τη ροή ή βασισμένα στη χρονική διάρκεια από το ίδιο σαφώς καθορισμένο σημείο της εξόδου της ΜΕΑΛ και εφόσον χρειάζεται, της εισόδου της ΜΕΑΛ, ώστε να ελέγχεται κατά πόσον τα εξερχόμενα επεξεργασμένα λύματα πληρούν τις απαιτήσεις απόρριψης που ορίζονται στην Οδηγία. Επιπλέον, εφαρμόζονται κατάλληλες πρότυπες πρακτικές με στόχο την πρόληψη ή μείωση στο ελάχιστο της δυνατότητας αποδόμησης του ρυπαντικού φορτίου και γενικότερα διαφοροποίησης της σύστασης των δειγμάτων κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ συλλογής και διενέργειας των εργαστηριακών αναλύσεων (συντήρηση δειγμάτων).

- Ο ελάχιστος ετήσιος αριθμός δειγμάτων πρέπει να καθορίζεται ανάλογα με το μέγεθος του σταθμού επεξεργασίας και τα δείγματα να συλλέγονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα:

- I. Για σταθμούς επεξεργασίας με 2000 – 9999 ι.π.: Λαμβάνονται προς ανάλυση 12 δείγματα τον πρώτο χρόνο λειτουργίας και 4 δείγματα τα επόμενα χρόνια εφόσον αποδειχθεί ότι τον πρώτο χρόνο το νερό πληροί τις διατάξεις της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ. Εάν κανένα από τα 4 δείγματα δεν είναι ικανοποιητικό, τότε τον επόμενο χρόνο πρέπει να λαμβάνονται 12 δείγματα.
- II. Για σταθμούς επεξεργασίας με 10000 – 49999 ι.π.: Λαμβάνονται προς ανάλυση 12 δείγματα ετησίως
- III. Για σταθμούς επεξεργασίας με άνω των 50 000 ι.π.: Λαμβάνονται προς ανάλυση 24 δείγματα ετησίως.

Πίνακας 4-5. Ελάχιστος ετήσιος αριθμός δειγμάτων ανάλογα με το μέγεθος του σταθμού επεξεργασίας

Σταθμοί επεξεργασίας δυναμικότητας	Ελάχιστος ετήσιος αριθμός δειγμάτων
2000 – 9999 ι.π	12 δείγματα τον πρώτο χρόνο λειτουργίας 4 δείγματα τα επόμενα χρόνια εφόσον αποδειχθεί ότι τον πρώτο χρόνο το νερό πληροί τις διατάξεις της Οδηγίας Εάν κανένα από τα 4 δείγματα δεν είναι ικανοποιητικό, τότε τον επόμενο χρόνο πρέπει να λαμβάνονται 12 δείγματα.
10000 – 49999 ι.π.	12 δείγματα ετησίως
Άνω των 50 000 ι.π	24 δείγματα ετησίως

- Τα επεξεργασμένα λύματα θεωρείται ότι ανταποκρίνονται στις σχετικές παραμέτρους εάν, για καθεμία παράμετρο ξεχωριστά, τα αντίστοιχα δείγματα δείχνουν ότι τα λύματα ανταποκρίνονται στη σχετική τιμή της παραμέτρου ως εξής:

- α) για τις παραμέτρους που ορίζονται στον Πίνακα 4.3, ο ανώτατος αριθμός δειγμάτων ο οποίος επιτρέπεται να μην συμφωνεί με τις απαιτήσεις για τις συγκεντρώσεις ή/και τα ποσοστά μείωσης, καθορίζεται στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί.

Πίνακας 4-6. Αριθμός δειγμάτων που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε έτους - Ανώτατος αριθμός δειγμάτων που αποκλίνουν

Αριθμός δειγμάτων που λαμβάνονται στη διάρκεια οποιουδήποτε έτους	Ανώτατος αριθμός δειγμάτων που αποκλίνουν
4-7	1
8-16	2
17-28	3
29-40	4
41-53	5
54-67	6
68-81	7
82-95	8
96-110	9
111-125	10
126-140	11
141-155	12
156-171	13
172-187	14
188-203	15
204-219	16
220-235	17
236-251	18
252-268	19
269-284	20
285-300	21

301-317	22
318-334	23
335-350	24
351-365	25

β) για τις παραμέτρους του Πίνακα 4.3, όσον αφορά στις συγκεντρώσεις, τα εκτός ορίων δείγματα τα οποία λαμβάνονται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας δεν πρέπει να αποκλίνουν από τις τιμές των παραμέτρων περισσότερο από 100 %. Για τις οριακές τιμές συγκέντρωσης που αφορούν τα ολικά αιωρούμενα στερεά, είναι δυνατόν δεκτές αποκλίσεις μέχρι 150 %.

γ) για τις παραμέτρους που αναφέρονται στον Πίνακα 1.4, ο ετήσιος μέσος όρος των τιμών των δειγμάτων για κάθε παράμετρο δεν πρέπει να υπερβαίνει τις σχετικές οριακές τιμές.

- Οι ακραίες τιμές για την ποιότητα των εν λόγω λυμάτων δεν λαμβάνονται υπόψη, εφόσον οφείλονται σε ασυνήθεις καταστάσεις, όπως π.χ. έντονη και συνεχής βροχόπτωση.

Συμπερασματικά, η Οδηγία επιβάλλει συνεχή και ολοκληρωμένο έλεγχο τόσο της λειτουργίας των ΜΕΑΛ όσο και των απορρίψεων σε επιφανειακά ύδατα. Σε περίπτωση απορρίψεων σε ευαίσθητες περιοχές επιβάλλει αυστηρότερα ποιοτικά κριτήρια.

4.1.2 Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία

Η Οδηγία αυτή δίδει τις κατευθύνσεις για την ορθολογική χρήση της ιλύος, που προέρχεται από την επεξεργασία των λυμάτων, στη γεωργία. Με την Οδηγία καθορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια έτσι ώστε η χρήση της ιλύος στη γεωργία

να μην έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται:

- i. Οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα εδάφη έτσι ώστε να επιτρέπεται η διάθεση ιλύος σε αυτά (αποφυγή συσσώρευσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος),
- ii. Οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές ποσότητας ιλύος και συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε αυτή για είναι εφικτή η απόθεσή της στο έδαφος και οι ανώτατες ετήσιες ποσότητες των βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στα προς καλλιέργεια εδάφη.

Σύμφωνα με την Οδηγία, είναι απαραίτητη η επεξεργασία της ιλύος πριν από τη γεωργική της χρήση. Επίσης, η χρήση της επεξεργασμένης ιλύος σε εκτάσεις βόσκησης ζώων, καλλιέργειας ζωοτροφών και οπωροκηπευτικών πρέπει να γίνεται υπό προϋποθέσεις που τίθενται από την Οδηγία. Τέλος, μόνο υπό προϋποθέσεις οι οποίες καθορίζονται από τα κράτη – μέλη, μπορεί να γίνει απλή απόθεση ιλύος (έγχυση ή/και παράχωση στο έδαφος) χωρίς αυτή να έχει υποστεί επεξεργασία.

Καθορίζονται οι πρότυπες μέθοδοι για τη διενέργεια των δειγματοληψιών και αναλύσεων εδαφών στα οποία πρόκειται να αποτεθεί επεξεργασμένη ιλύς ή/και λαμβάνει χώρα απόθεσης ιλύος.

Τα κράτη – μέλη είναι υποχρεωμένα να συλλέγουν στοιχεία αναφορικά με τα εξής:

- i. συνολικές ποσότητες της παραγόμενης ιλύος και ποσότητες ιλύος που χρησιμοποιούνται στη γεωργία,
- ii. σύνθεση και χαρακτηριστικά της ιλύος,
- iii. είδος της εφαρμοζόμενης επεξεργασίας της ιλύος και
- iv. στοιχεία των παραληπτών της ιλύος και τόποι που αυτή χρησιμοποιείται.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία καταχωρούνται σε βιβλία και χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες αρχές της χώρας για τη σύνταξη και υποβολή έκθεσης προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η έκθεση αυτή υποβάλλεται κάθε τέσσερα έτη.

Στις περιπτώσεις που πρόκειται για παραγωγή ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων οικιακής προέλευσης των οποίων το ημερήσιο φορτίο σε BOD₅ δεν ξεπερνά τα 300 Kg (ισοδύναμος πληθυσμός 5.000) , τα κράτη μέλη μπορούν να εξαιρέσουν τις μονάδες αυτές από τις διαδικασίες λήψης των στοιχείων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

4.1.3 Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων

Η Οδηγία θεσπίζει πλαίσιο για τον έλεγχο και την παρακολούθηση των υδάτων και συγκεκριμένα εστιάζει στην προστασία των εσωτερικών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων υδάτων και απαιτεί από τις χώρες – μέλη όπως ορίσουν τις αρμόδιες Αρχές ή Φορείς για την εφαρμογή των προβλεπομένων από αυτήν.

Σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη - μέλη οφείλουν να προσδιορίζουν όλες τις λεκάνες απορροής ποταμών που βρίσκονται στην επικράτειά τους και να σχεδιάζουν, εκπονούν και αναθεωρούν σχέδια διαχείρισης των λεκανών αυτών. Ο προγραμματισμός των σχεδίων διαχείρισης καθώς και το περιεχόμενό τους (δίδεται αναλυτικά στην Οδηγία) δημοσιεύονται – δημοσιοποιούνται το αργότερο εννέα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της Οδηγίας. Τρεις μήνες μετά από τη δημοσιοποίηση των σχεδίων, αυτά διαβιβάζονται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Εντός τριών ετών από τη δημοσιοποίηση και έναρξη εκπόνησης των σχεδίων, τα κράτη – μέλη υποβάλλουν ενδιάμεση έκθεση στην οποία περιγράφεται η πρόοδος που έχει σημειωθεί ως προς την εφαρμογή του προβλεπόμενου προγράμματος μέτρων.

Επίσης, τα κράτη – μέλη υποβάλλουν συνοπτικές εκθέσεις εντός τριών μηνών από την συγκέντρωση των παρακάτω στοιχείων:

i. για τις λεκάνες απορροής των ποταμών (χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής π.χ. αρμόδια αρχή που έχει την ευθύνη, γεωγραφικά όρια της περιοχής, κυριότεροι ποταμοί στην περιοχή αυτή κ.λπ., εκτίμηση των επιπτώσεων από ανθρώπινες δραστηριότητες στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα της λεκάνης απορροής και οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος). Τα στοιχεία αυτά πρέπει να έχουν συγκεντρωθεί το αργότερο τέσσερα έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της Οδηγίας.

ii. για τα προγράμματα παρακολούθησης τα οποία καταρτίζονται έτσι ώστε να υπάρχει συνεκτική και συνολική εικόνα της κατάστασης των υδάτων σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού (όγκος και στάθμη ή ρυθμός ροής, οικολογική και χημική κατάσταση, οικολογικό δυναμικό και για τις προστατευόμενες επιπλέον οι προδιαγραφές που ισχύουν στην Κοινοτική νομοθεσία). Τα προγράμματα παρακολούθησης τίθενται σε εφαρμογή το αργότερο έξι έτη μετά την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας Οδηγίας.

Τα παραπάνω στοιχεία συλλέγονται στα πλαίσια της εκπόνησης των σχεδίων διαχείρισης κάθε λεκάνης απορροής ποταμών. Ακόμη, πρέπει να προσδιορίζονται όλα τα υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για υδροληψία με σκοπό την κατανάλωση από τον άνθρωπο.

Στην Οδηγία καθορίζονται τα ποιοτικά στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται προκειμένου να ταξινομηθεί η οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων. Πολλές από τις παραμέτρους αυτές σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων, ειδικά για τις περιπτώσεις που οι εκροές των μονάδων απορρίπτονται σε ύδατα υποδοχής. Στον Πίνακα 4.7 περιγράφονται τα ποιοτικά στοιχεία για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων, τα οποία σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία των ΜΕΑΛ.

Πίνακας 4-7. Ποιοτικά στοιχεία για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης επιφανειακών υδάτων

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ – (Ποτάμια, Λίμνες, Μεταβατικά και Παράκτια ύδατα)

Χημικά και Φυσικοχημικά στοιχεία για ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης	Γενικά Θερμοκρασία Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου Αγωγιμότητα pH Συγκέντρωση N, P Συγκεκριμένοι ρύποι Ρύπανση από ουσίες προτεραιότητας (βιομηχανικά απόβλητα) Ρύπανση από άλλες ουσίες
--	---

Στα πλαίσια της Οδηγίας 60/2000/EK τονίζεται ότι τα κράτη - μέλη οφείλουν να συλλέγουν και να διατηρούν πληροφορίες για τον τύπο και το μέγεθος των σημαντικών ανθρωπογενών πιέσεων (στις οποίες περιλαμβάνονται και οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων) που ενδέχεται να ασκούνται στα συστήματα επιφανειακών υδάτων κάθε περιοχής λεκάνης απορροής, καθώς επίσης και να υπολογίζουν και να προσδιορίζουν τη σημαντική ρύπανση από σημειακές πηγές. Οι πιέσεις είναι δυνατόν να προέρχονται από απορρίψεις μονάδων επεξεργασίας αστικών, βιομηχανικών ή κτηνοτροφικών λυμάτων. Γενικά οι ουσίες στις οποίες αναφέρεται η Οδηγία ανήκουν σε 12 κατηγορίες. Από το σύνολο των ουσιών, αυτές που σχετίζονται με τη λειτουργία των ΜΕΑΛ είναι οι εξής: *μέταλλα και οι ενώσεις τους, αιωρούμενα στερεά, ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (νιτρικά και φωσφορικά) και ουσίες που επηρεάζουν δυσμενώς το ισοζύγιο οξυγόνου και μπορούν να προσδιορισθούν με τις παραμέτρους BOD και COD.*

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι με την Οδηγία – Πλαίσιο 60/2000/EK, καταργούνται οι παρακάτω Οδηγίες, με βάση το χρονικό ορίζοντα που δίδεται στη συνέχεια:

- *Επτά έτη μετά την ημερομηνία έναρξης*

- **Οδηγία 75/440/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 16/6/1975, περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφανείας που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος

- **Οδηγία 77/795/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 12/12/1977, περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων της Κοινότητας

- **Οδηγία 79/869/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 9/10/1979, περί των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος

- *Δεκατρία έτη μετά την ημερομηνία έναρξης*

- **Οδηγία 78/659/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 18/7/1978, περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων

- **Οδηγία 79/923/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 30/10/1979, περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων για οστρακοειδή

- **Οδηγία 80/68/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 17/12/1979, περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες

4.1.4 Οδηγία 91/676/ΕΚ, του Συμβουλίου της 12/12/1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης

Η Οδηγία στοχεύει στην πρόληψη ή/και μείωση της ρύπανσης που προκαλείται άμεσα ή έμμεσα στα ύδατα από την διοχέτευση νιτρικών σε αυτά. Για το σκοπό αυτό, τα κράτη – μέλη είναι υποχρεωμένα να καθορίσουν τις ευπρόσβλητες σε νιτρορύπανση ζώνες της επικράτειας τους δηλαδή τις περιοχές εκείνες που παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα ρύπανσης των υδάτων τους από νιτρικά. Για τις περιοχές αυτές απαιτείται συνεχής παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων ως προς την παρουσία νιτρικών, μέσω της διενέργειας δειγματοληψιών και μετρήσεων, με βάση πρότυπες μεθόδους που καθορίζονται από την Οδηγία.

Για τις χαρακτηρισμένες ως ευπρόσβλητες περιοχές κάθε χώρας απαιτείται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων πρόληψης ή/και μείωσης

της νιτρορύπανσης των υδάτινων αποδεκτών τους ή αποκατάστασης της ποιότητας τους σε περιπτώσεις που έχουν υποστεί νιτρορύπανση.

Κάθε κράτος – μέλος υποχρεούται να θεσπίσει έναν ή περισσότερους κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής που θα εφαρμόζονται με στόχο την πρόληψη της ρύπανσης από τη χρήση λιπασμάτων. Στον κώδικα πρέπει να περιλαμβάνονται στοιχεία όπως:

- i. χρονικές περίοδοι που δεν ενδείκνυται η διασπορά λιπασμάτων στο έδαφος,
- ii. προϋποθέσεις για διασπορά λιπασμάτων σε έδαφος που βρίσκεται κοντά σε υδάτινους αποδέκτες,
- iii. μέθοδοι διασποράς χημικών και φυσικών λιπασμάτων στο έδαφος,
- iv. λίπανση εδαφών ανάλογα με το είδος καλλιέργειας (αμειψισπορά, πολυετείς και ετήσιες καλλιέργειες).

Επίσης, σύμφωνα με την Οδηγία απαιτείται ο καθορισμός των αρμόδιων φορέων – αρχών για την εφαρμογή των προβλεπομένων από αυτή.

4.1.5 Οδηγία 75/440/ΕΚ του Συμβουλίου της 16/6/1975 περί της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού

Η Οδηγία περιγράφει τις υποχρεώσεις των φορέων και αρχών σε ότι αφορά τον έλεγχο των υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι παράμετροι ελέγχου και οι τιμές αυτών, καθώς και η προτεινόμενη μέθοδος που πρέπει να εφαρμόζεται προκειμένου τα ύδατα αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά την επεξεργασία τους ως πόσιμο νερό.

Από τις παραμέτρους, εκείνες που σχετίζονται με τη λειτουργία των ΜΕΑΛ και πρέπει να ελέγχονται είναι οι εξής: Χρώμα, Οσμή, επιφανειακά ενεργές ουσίες, pH, Αιωρούμενα στερεά, Θερμοκρασία, Αγωγιμότητα, Νιτρικά, Βαρέα Μέταλλα, Βόριο, Κυανιούχα, Θευκά, Φθοριούχα, Χλωριούχα, Φωσφορικά (ως P_2O_5), COD, DO, BOD₅, Άζωτο κατά Kjeldahl (εξαιρουμένου του αζώτου των νιτρικών και νιτρωδών),

Αμμωνιακά, Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), Ολικά κολοβακτηρίδια (κολοβακτηριοειδή), Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (εντερικά κολοβακτηρίδια), Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (εντερόκοκκοι), σαλμονέλες.

Στα πλαίσια της Οδηγίας τα επιφανειακά ύδατα υποδιαιρούνται σε τρεις κατηγορίες (A1, A2 και A3), όπως φαίνεται στους Πίνακες 4.8 και 4.9, με βάση:

- i. τις μεθόδους επεξεργασίας που πρέπει να εφαρμοσθούν έτσι ώστε το νερό να καταστεί κατάλληλο για χρήση ως πόσιμο και
- ii. τα φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του προς επεξεργασία νερού

Πίνακας 4-8. Κατηγοριοποίηση επιφανειακών υδάτων με βάση τις μεθόδους επεξεργασίας για παραγωγή πόσιμου νερού

Κατηγορία	Απαιτούμενη Επεξεργασία
A1	Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε απλή φυσική επεξεργασία όπως ταχεία διήθηση και απολύμανση
A2	Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε μεθόδους φυσικής και χημικής επεξεργασίας, όπως προ-χλωρίωση, κροκίδωση – χημική κατακρήμνιση, διήθηση, απολύμανση (τελική χλωρίωση)
Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε μεθόδους εντατικής φυσικής και χημικής επεξεργασίας, όπως χλωρίωση μέχρι σημείου ρήξης, κροκίδωση – χημική κατακρήμνιση, διήθηση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, και απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση).	

Πίνακας 4-9. Κατηγοριοποίηση υδάτων που προορίζονται ως πόσιμο με βάση τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τους

Παράμετροι	Μονάδες Μέτρησης	A1 O	A1 Y	A2 O	A2 Y	A3 O	A3 Y
PH		6,5-8,8		5,5-9		5,5-9	
Χρώμα (μετά από απλή διήθηση)	mg/l κλίμακα Pt	10	20 (ΕΞ)	50	100 (ΕΞ)	50	200 (ΕΞ)
Αιωρούμενα στερεά	mg/l	25					
Θερμοκρασία	°C	22	25(ΕΞ)	22	25(ΕΞ)	22	25 (ΕΞ)
Αγωγιμότητα	μS/cm σε 20°C	1000		1000		1000	
Οσμή	Συντελεστής αραίωσης σε 25°C	3		10			
Νιτρικά	mg/l	25	50 (ΕΞ)		50 (ΕΞ)		50 (ΕΞ)
Φθοριούχα	mg/l	0,7-1	1,5	0,7-1,7		0,7-1,7	
Ολικό οργανικό χλώριο, εκχύλισμα	mg/l						
Διαλυμένος σίδηρος	mg/l	0,1	0,3	1	2	1	
Μαγγάνιο	mg/l	0,05		0,1		1	
Χαλκός	mg/l	0,02	0,05 (ΕΞ)	0,05		1	
Ψευδάργυρος	mg/l	0,5	3	1	5	1	5
Βόριο	mg/l	1		1		1	
Βηρύλιο	mg/l						
Κοβάλτιο	mg/l						
Νικέλιο	mg/l						
Βανάδιο	mg/l						
Αρσενικό	mg/l	0,01	0,05		0,05	0,05	0,1
Κάδμιο	mg/l	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Ολικό χρώμιο	mg/l		0,05		0,05		0,05
Μόλυβδος	mg/l		0,05		0,05		0,05
Σελήνιο	mg/l		0,01		0,01		0,01
Υδράργυρος	mg/l	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,001
Βάριο	mg/l		0,1		1		1
Κυανιούχα	mg/l		0,05		0,05		0,05
Θειικά	mg/l	150	250	150	250(ΕΞ)	150	250(ΕΞ)
Χλωριούχα	mg/l	200		200		200	
Επιφανειακά ενεργές ουσίες που αντιδρούν με κυανού του μεθυλενίου	mg/l	0,2		0,2		0,5	
Φωσφορικά (ως P ₂ O ₅)	mg/l	04		0,7		0,7	
Φαινόλες	mg/l		0,001	0,001	0,005	0,01	0,1
Διαλυμένοι ή γαλακτοποιημένοι υδρογονάνθρακες	mg/l		0,05		0,2	0,5	1
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	mg/l		0,0002		0,0002		0,001
Ολικά βιοκτόνα (παραθείο, BHC, διελδρίνη)	mg/l		0,001		0,0025		0,005

Παράμετροι	Μονάδες Μέτρησης	A1 O	A1 Y	A2 O	A2 Y	A3 O	A3 Y
COD	mg/l					30	
Διαλυμένο Οξυγόνο, βαθμός κορεσμού	%	70		50		30	
BOD ₅	mg/l	3		5		7	
Αζώτο κατά Kjeldahl (εξαιρουμένων του αζώτου των νιτρικών και νιτρώδων)	mg/l	1		2		3	
Αμμωνιακά	mg/l	0,05		1	1,5	2	4(ΕΞ)
Ουσίες που εκχυλίζονται με χλωροφόρμιο	mg/l	0,1		0,2		0,5	
Ολικός οργανικός άνθρακας	mg/l						
Υπόλειμμα οργανικού άνθρακα μετά από κροκιδώση και διήθηση με μεμβράνη (5μ) 10°C	mg/l						
Ολικά κολοβακτηρίδια 37°C (κολοβακτηριοειδή)	/100ml	50		5000		50000	
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (εντερικά κολοβακτηρίδια)	/100ml	20		2000		20000	
Κοπρανώδεις στρεπτόκοκοι (εντερόκοκοι)	/100ml	20		1000		10000	
Σαλμονέλλες		Απουσία σε 5000ml		Απουσία σε 5000ml			

Y: Υποχρεωτική

O: οδηγός – κατευθυντήρια τιμή

ΕΞ: Εξαιρετικές γεωγραφικές και κλιματολογικές περιστάσεις

4.1.6 Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων

Σύμφωνα με την Απόφαση αυτή, καθιερώνεται μία κοινή διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών όσον αφορά στην ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων στις χώρες της Κοινότητας. Η ανταλλαγή πληροφοριών αποτελεί ένα από τα στοιχεία που επιτρέπουν την παρακολούθηση των μακροχρόνιων τάσεων και προσδιορισμό των

βελτιώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή των εθνικών και κοινοτικών ρυθμίσεων.

Στην Απόφαση δίνεται συγκεκριμένος κατάλογος των φορέων που συμμετέχουν στην ανταλλαγή πληροφοριών, ο οποίος όμως μπορεί να τροποποιηθεί μετά από αίτηση κάποιου ενδιαφερόμενου κράτους - μέλους, εφόσον πληροί ορισμένα κριτήρια.

Στον Πίνακα 4.10 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι για τις οποίες τα κράτη μέλη πρέπει να παρέχουν πληροφορίες και σχετίζονται με τις ΜΕΑΛ. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν στα εξής:

- Αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από τους σταθμούς δειγματοληψίας ή μετρήσεως.
- Περιγραφή των χρησιμοποιούμενων μεθόδων δειγματοληψίας, συντήρησης και διενέργειας μετρήσεων και χημικών αναλύσεων των δειγμάτων, όπως επίσης και της συχνότητας διενέργειας των δειγματοληψιών και αναλύσεων.

Πίνακας 4-10. Παράμετροι που αποτελούν αντικείμενο ανταλλαγής πληροφοριών και σχετίζονται με τις ΜΕΑΛ

Παράμετροι	Μονάδες μέτρησης	Αριθμοί ψηφίων	
		Προ υποδιαστολής	Μετά την υποδιαστολή
Φυσικές	Ρυθμός ροής ¹ (κατά τη δειγματοληψία)	m ³ /s	xxxx
	Θερμοκρασία	°C	xx
	pH	pH	xx
	Αγωγιμότητα στους 20°C	μS/cm	(<100) xx (≥100) xxx
Χημικές	Χλωρίοντα	mg/l	(<100) xx (≥100) xxx
	Νιτρικά	mg/l	xxx
	Αμμωνιακά	mg/l	xxx
	Διαλυμένο Οξυγόνο	mg/l	xx
	BOD ₅	mg/l	xxx
	COD	mg/l	xxx
	Ολικός Φώσφορος	mg/l	xx
	Τασιενεργές ουσίες που αντιδρούν στο κυανού του μεθυλενίου	mg/l	xx
	Ολικό Cd	mg/l	x
	Υδράργυρος	mg/l	x
Μικροβιολογικές	Κολοβακτηριοειδή κοπρανώδη (εντερικά)	/100ml	xxxxxx

- 1: Πρέπει να αναγράφεται η ημερομηνία της δειγματοληψίας
- 2: Τα αναφερόμενα δεδομένα είναι αντικείμενο ανταλλαγής πληροφοριών εφόσον πραγματοποιείται μέτρηση
- 3: Η συχνότητα της δειγματοληψίας της παραμέτρου και ο τρόπος έκφρασης των αποτελεσμάτων αποφασίζονται από την αρμόδια Αρχή κάθε χώρας

Σύμφωνα με την Απόφαση 77/795/ΕΟΚ, για τις παραπάνω παραμέτρους, οι πρότυπες μέθοδοι μέτρησης που πρέπει να εφαρμόζονται είναι αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4-11. Πρότυπες μέθοδοι προσδιορισμού των υπό εξέταση παραμέτρων βάσει της Απόφασης 77/795/ΕΟΚ

Παράμετροι	Πρότυπες μέθοδοι προσδιορισμού
Ρυθμός ροής τη στιγμή δειγματοληψίας	Ροόμετρο
Θερμοκρασία	Θερμομετρία. Η μέτρηση γίνεται επί τόπου, ταυτόχρονα με τη δειγματοληψία
PH	Ηλεκτρομετρία. Η μέτρηση γίνεται επί τόπου, ταυτόχρονα με τη δειγματοληψία, χωρίς να έχει προηγηθεί κατεργασία του δείγματος
Αγωγιμότητα στους 20°C	Ηλεκτρομειρία
Χλωριόντα	Ογκομετρικός προσδιορισμός (μέθοδος Mohr) Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Νιτρικά	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Αμμωνιακά	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Διαλυμένο Οξυγόνο	Μέθοδος Winkler Ηλεκτροχημική Μέθοδος
BOD ₅	Προσδιορισμός διαλυμένου Οξυγόνου πριν και μετά επώαση 5 ημερών στους 20°C ± 1°C σε αλύλυτο οκόιο. Προσθήκη αναστολέα της βακτηριακής διάσπασης αμμωνιακών αλάτων (αζωτοδέσμευση)
COD	Μέθοδος διχρωμικού καλίου
Ολικός Φόσφορος	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Ολικό Κάδμιο	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης
Υδράργυρος	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης χωρίς φλόγα
Κολοβακτηριοειδή κοπρανώδη (εντερικά)	- Καλλιέργεια στους 44°C επί κατάλληλου ειδικού στερεού θρεπτικού υλικού (όπως άγαρ, λακτώξης με Endo-άγαρ με teepol 0,4%) με ή χωρίς διήθηση και καταμέτρηση των αποικιών. Τα δείγματα αραιώνονται ή κατά περίπτωση, συμπυκνώνονται έτσι ώστε να περιέχουν 10-100 αποικίες. Αν χρειαστεί γίνεται ταυτοποίηση με αεριοποίηση. - Μέθοδος αραίωσης με καλλιέργεια πάνω σε υγρά

Παράμετροι	Πρότυπες μέθοδοι προσδιορισμού
	υποστρώματα μέσα σε 3 τουλάχιστον σωλήνες και σε 3 αραιώσεις. Οι σωλήνες που παρουσιάζουν θετική αντίδραση ανακαλλιεργούνται σε ειδικό θρεπτικό υλικό για επιβεβαίωση. Μέτρηση των αποικιών σύμφωνα με τον πιο πιθανό αριθμό. Επώαση σε θερμοκρασία $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
Ολικά Κολοβακτηριοειδή	- Καλλιέργεια στους 37°C επί κατάλληλου ειδικού στερεού θρεπτικού υλικού (όπως άγαρ, λακτόζης με Endo-άγαρ με teepol 0,4%) με ή χωρίς διήθηση και καταμέτρηση των αποικιών. Τα δείγματα αραιώνονται ή κατά περίπτωση, συμπυκνώνονται έτσι ώστε να περιέχουν 10-100 αποικίες. Αν χρειαστεί γίνεται ταυτοποίηση με αεριοποίηση. - Μέθοδος αραιώσης με καλλιέργεια πάνω σε υγρά υποστρώματα μέσα σε 3 τουλάχιστον σωλήνες και σε 3 αραιώσεις. Οι σωλήνες που παρουσιάζουν θετική αντίδραση ανακαλλιεργούνται σε ειδικό θρεπτικό υλικό για επιβεβαίωση. Μέτρηση των αποικιών σύμφωνα με τον πιο πιθανό αριθμό. Επώαση σε θερμοκρασία $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
Στρεπτόκοκοι κοπράνων	- Καλλιέργεια στους 37°C επί κατάλληλου ειδικού στερεού θρεπτικού υλικού (αζίδιο του νατρίου) με ή χωρίς διήθηση και καταμέτρηση των αποικιών - Μέθοδος αραιώσης σε ζωμό με αζίδιο του νατρίου (Litsky). Μέτρηση των αποικιών σύμφωνα με τον πιο πιθανό αριθμό.
Σαλμονέλες	Συμπύκνωση με διήθηση (μέσω μεμβράνης ή κατάλληλου ηθμού). Ενοφθαλμισμός δια θρεπτικού υλικού προεμπλουτισμού. Εμπλουτισμός, ανακαλλιέργεια, πάνω σε άγαρ για απομόνωση-ταυτοποίηση.
Βιολογική ποιότητα	Καθορίζεται από την Αρμόδια Αρχή

Σύμφωνα με την Απόφαση κάθε κράτος-μέλος ορίζει ένα κεντρικό φορέα ο οποίος έχει την ευθύνη για τη συλλογή και αποστολή των πληροφοριών προς την Επιτροπή.

4.1.7 Οδηγία 79/869/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 9/10/1979 περί με των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη – μέλη

Η Οδηγία αφορά στον καθορισμό πρότυπων μεθόδων για τη διενέργεια δειγματοληψιών και αναλύσεων σε επιφανειακά ύδατα που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται οι παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται, η διαδικασία και συχνότητα λήψης των δειγμάτων και οι μέθοδοι

διενέργειας των μετρήσεων και αναλύσεων. Τα προβλεπόμενα είναι σε πλήρη αντιστοιχία με την Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων (σημείο 4.1.7)

4.1.8 Οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες

Σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη - μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εμποδίσουν την εισαγωγή στα υπόγεια ύδατα των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο I της συγκεκριμένης Οδηγίας και να περιορίσουν την εισαγωγή στα υπόγεια ύδατα των ουσιών που αναφέρονται στον κατάλογο II της ίδιας Οδηγίας έτσι ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση των υπογείων υδάτων από τις ουσίες αυτές.

Οι ουσίες που αναφέρονται στον Κατάλογο I είναι:

1. Οργανοαλογονούχες ενώσεις καθώς και ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ενώσεων στο υδάτινο περιβάλλον
2. Οργανοφωσφορικές ενώσεις
3. Οργανοκασιτερικές ενώσεις
4. Ουσίες που έχουν ιδιότητες καρκινογόνες, μεταλλαξιογόνες ή τερατογόνες σε υδάτινο περιβάλλον ή διά μέσου αυτού
5. Υδράργυρος και ενώσεις υδραργύρου
6. Κάδμιο και ενώσεις καδμίου
7. Ανόργανα άλατα και υδρογονάνθρακες
8. Κυανιούχα

Οι ουσίες που αναφέρονται στο κατάλογο II είναι:

1. Τα ακόλουθα μεταλλοειδή και μέταλλα, καθώς και οι ενώσεις τους: Ψευδάργυρος, Χαλκός, Νικέλιο, Χρώμιο, Μόλυβδος, Σελήνιο, Αρσενικό, Αντιμόνιο, Μολυβδένιο, Τιτάνιο, Κασσίτερος, Βάριο, Βηρύλλιο, Βόριο, Ουράνιο, Βανάδιο, Κοβάλτιο, Θάλλιο, Τελλούριο, Άργυρος.
2. Βιοκτόνα και παράγωγά τους που δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο I.
3. Ουσίες που έχουν βλαπτικό αποτέλεσμα στη γεύση ή/και στην οσμή των υπογείων υδάτων, καθώς και ενώσεις που είναι δυνατόν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ουσιών στα ύδατα και να τα κάνουν ακατάλληλα για χρήση
4. Τοξικές ή ανθεκτικές οργανοπυριτικές ενώσεις και ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία τέτοιων ενώσεων στα ύδατα, με εξαίρεση εκείνες που είναι βιολογικά αβλαβείς ή εκείνες που μετασχηματίζονται γρήγορα μέσα στο νερό σε ουσίες αβλαβείς.
5. Ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου και απλός φωσφόρος.
6. Φθοριούχα.
7. Αμμωνιακά και νιτρώδη.

4.1.9 Οδηγία 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4/5/1976 περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας

Σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη - μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εμποδίσουν την εισαγωγή στο υδάτινο περιβάλλον τους (εσωτερικά επιφανειακά ύδατα, εσωτερικά παράκτια ύδατα, υπόγεια ύδατα) συγκεκριμένων επικίνδυνων ουσιών (προσδιορίζονται στον κατάλογο I της συγκεκριμένης Οδηγίας) και να περιορίσουν την εισαγωγή στα ύδατα αυτά, άλλων επικινδύνων ουσιών (που αναφέρονται στον κατάλογο II της ίδιας Οδηγίας) έτσι ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση

τους από τις ουσίες αυτές. Οι επικίνδυνες ουσίες που καθορίζονται στους Καταλόγους της Οδηγίας είναι οι ίδιες με αυτές που δίδονται στην Οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979 περί προστασίας των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες (σημείο 4.1.9).

4.1.10 Οδηγία 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 27ης Ιουνίου 1985 για την εκτίμηση των επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 97/11/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης Μαρτίου 1997

Οι Οδηγίες αυτές αφορούν την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την υλοποίηση κατασκευαστικών εργασιών ή άλλων εγκαταστάσεων και έργων, από άλλες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον ή το τοπίο καθώς και από επεμβάσεις που αφορούν την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων.

Τα κράτη – μέλη υποχρεούνται να ορίσουν τις αρμόδιες αρχές – φορείς που θα έχουν την ευθύνη για την υλοποίηση των προβλεπομένων από τις Οδηγίες. Οι αρμόδιες αυτές αρχές καθορίζουν τις διαδικασίες και τις προϋποθέσεις για την παροχή σχετικής άδειας υλοποίησης των έργων.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον πρέπει να εντοπίζει, περιγράφει και αξιολογεί κατάλληλα τις άμεσες, έμμεσες, δευτερεύουσες, σωρευτικές, βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες, μακροπρόθεσμες, μόνιμες ή προσωρινές συνέπειες - επιπτώσεις κάθε έργου:

- i. Στον άνθρωπο, πανίδα και χλωρίδα,
- ii. Στο έδαφος, τα ύδατα, τον αέρα, το κλίμα και το τοπίο,
- iii. Στα υλικά αγαθά και πολιτιστική κληρονομιά και iv. στην αλληλεπίδραση μεταξύ των προηγούμενων παραγόντων

Σύμφωνα με την Οδηγία, καθορίζονται δύο κατηγορίες έργων, για την πρώτη κατηγορία είναι υποχρεωτική η σύνταξη μελέτης εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την υλοποίηση τους ενώ για τη δεύτερη κατηγορία, η υποχρέωση για σύνταξη μελέτης αποφασίζεται από τις αρμόδιες αρχές της χώρας (οι οποίες μπορούν να καθορίσουν με τη σειρά τους για ποια έργα της δεύτερης κατηγορίας πρέπει να υποβάλλεται μελέτη εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων).

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων δυναμικότητας άνω των 150.000 ι.π. εμπίπτουν στην πρώτη κατηγορία, όπου είναι υποχρεωτική η σύνταξη μελέτης για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στη εν λόγω μελέτη πρέπει να περιέχονται κατ' ελάχιστον οι πιο κάτω αναφερόμενες πληροφορίες.

Οι ελάχιστες απαιτούμενες πληροφορίες που πρέπει να περιέχονται στη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι οι εξής:

- Θέση, σχεδιασμός και μέγεθος του έργου
- Σύνοψη των εναλλακτικών τεχνικών και λύσεων που διερευνήθηκαν και παράθεση των κύριων λόγων που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη λύση
- Φυσικά χαρακτηριστικά του συνόλου του έργου και απαιτήσεις χρήσης γης κατά την κατασκευή και λειτουργία του
- Κύρια χαρακτηριστικά των μεθόδων κατασκευής (π.χ. είδος και ποσότητες υλικών)
- Είδη και ποσότητες των καταλοίπων και εκπομπών που αναμένονται να προκύψουν κατά τη λειτουργία του έργου – ρύπανση υδάτων, ατμοσφαιρικού αέρα, εδάφους, θόρυβος, δονήσεις, θερμότητα, ακτινοβολία κ.λπ.
- Στοιχεία του περιβάλλοντος που ενδέχεται να επηρεασθούν από το έργο και ειδικότερα του πληθυσμού, της πανίδας, της χλωρίδας, του εδάφους, του νερού, του αέρα, των κλιματικών παραγόντων, των υλικών αγαθών, της αρχιτεκτονικής

και πολιτιστικής κληρονομιάς, του τοπίου κ.λπ. – Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων αυτών.

- Σημαντικές επιπτώσεις που το έργο ενδέχεται να δημιουργήσει στο περιβάλλον από:
 - i. την ύπαρξη του όλου έργου,
 - ii. τη χρήση των φυσικών πόρων και
 - iii. την εκπομπή ρύπων, τη δημιουργία οχλήσεων και τη διάθεση των παραγόμενων αποβλήτων
- Μέθοδοι πρόβλεψης που ακολουθούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων
- Μέτρα που προτείνονται να εφαρμοσθούν για να αποφευχθούν, μειωθούν ή να αντισταθμισθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον

Όλες οι πληροφορίες που αφορούν την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει να είναι διαθέσιμες στο κοινό (μέσω του αρμόδιου φορέα) και επιπλέον, πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα στο κοινό που επηρεάζεται από την κατασκευή και λειτουργία του έργου να εκφράσει τις απόψεις του επί του σχεδίου.

4.1.11 Οδηγία 91/692/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 23ης Δεκεμβρίου 1991 για την τυποποίηση και τον εξορθολογισμό των εκθέσεων που αφορούν την εφαρμογή ορισμένων οδηγιών για το περιβάλλον.

Η Οδηγία αποσκοπεί στον εξορθολογισμό και τη βελτίωση ανά τομέα, των διατάξεων που αφορούν τη διαβίβαση πληροφοριών και τη δημοσίευση εκθέσεων για ορισμένες Κοινοτικές Οδηγίες στον τομέα προστασίας του περιβάλλοντος.

Τα κράτη – μέλη πρέπει να διαβιβάζουν κάθε τρία έτη πληροφορίες για την εφαρμογή των προβλεπομένων από την Οδηγία, μέσω μίας συνολικής τομεακής έκθεσης η οποία καλύπτει και τις υπόλοιπες Κοινοτικές Οδηγίες. Η έκθεση αυτή καταρτίζεται βάσει ερωτηματολογίου ή σχεδιαγράμματος το οποίο συντάσσει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή

και το οποίο αποστέλλεται προς τις αρμόδιες αρχές κάθε χώρας, έξι μήνες πριν από την περίοδο στην οποία αναφέρεται (τριετία). Ανάλογα, οι χώρες – μέλη είναι υποχρεωμένες να υποβάλλουν την έκθεσή τους προς την Επιτροπή, εντός έξι μηνών από τη λήξη της τριετίας την οποία καλύπτει. Εντός τεσσάρων μηνών από την παραλαβή των εκθέσεων των κρατών – μελών, η Επιτροπή δημοσιεύει μία Κοινοτική έκθεση για όλες τις χώρες.

Με βάση τα παραπάνω, οι αρμόδιοι φορείς κάθε χώρας που σχετίζονται με τη διαχείριση των λυμάτων είναι υποχρεωμένοι να συλλέγουν τα στοιχεία που αφορούν την ανταλλαγή πληροφοριών της αρμοδιότητάς τους (**Απόφαση 77/795/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων, **Οδηγία 86/278/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 12^{ης} Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία, **Οδηγία 91/271/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως αυτή τροποποιείται από την Οδηγία 98/15/ΕΚ, του Συμβουλίου της 27/10/1998 και Οδηγία **2000/60/ΕΚ** του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων) και να τα εντάξουν στην συνολική τομεακή έκθεση που πρέπει να υποβάλλει η χώρα στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

4.2. Υποχρεώσεις των Αρχών προς τους Διεθνείς Οργανισμούς

Ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) και η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat) έχουν συντάξει ένα κοινό ερωτηματολόγιο το οποίο καλούνται να συμπληρώσουν όλες οι χώρες - μέλη. Το κοινό αυτό ερωτηματολόγιο αφορά την καταγραφή στοιχείων σχετικά με τις μονάδες επεξεργασίας αστικών και άλλων αποβλήτων.

Ο βασικός στόχος του ερωτηματολογίου είναι η εξασφάλιση αντιπροσωπευτικών και έγκυρων δεδομένων αναφορικά με την παραγωγή, ποιότητα και διαχείριση των

υδάτων γενικότερα και των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων ειδικότερα, στις χώρες - μέλη καθώς και η συλλογή και υποβολή των -στοιχείων σε ενιαία μορφή.

Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία που πρέπει να συλλέγονται και να υποβάλλονται αναφορικά με τα ύδατα κάθε χώρας – μέλους, δίδονται στον Πίνακα 4.12 που ακολουθεί. Τονίζεται ότι η υποβολή των στοιχείων προς την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία γίνεται ανά διετία από τη Στατιστική Υπηρεσία κάθε χώρας, η οποία μεριμνά για την έγκαιρη αποστολή τους στους αρμόδιους φορείς της χώρας για να συμπληρωθούν τα απαιτούμενα στοιχεία.

Πίνακας 4-12. *Απαιτούμενα στοιχεία αναφορικά με τα ύδατα*

Συνολική ποσότητα επιφανειακών υδάτων

Ποσότητα επιφανειακών υδάτων Κατηγορίας 1

Ποσότητα επιφανειακών υδάτων Κατηγορίας 2

Ποσότητα επιφανειακών υδάτων Κατηγορίας 3

Ποσότητα επιφανειακών υδάτων που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω Κατηγορίες

Συνολική ποσότητα υπογείων υδάτων

Ποσότητα υπογείων υδάτων Κατηγορίας 1

Ποσότητα υπογείων υδάτων Κατηγορίας 2

Ποσότητα υπογείων υδάτων Κατηγορίας 3

Ποσότητα υπογείων υδάτων που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω

Κατηγορίες
Συνολική ποσότητα υδάτων
Συνολική ποσότητα υδάτων Κατηγορίας 1
Συνολική ποσότητα υδάτων Κατηγορίας 2
Συνολική ποσότητα υδάτων Κατηγορίας 3
Συνολική ποσότητα υδάτων που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω Κατηγορίες

Όπου:

Κατηγορία 1: Ύδατα που για να καταστούν πόσιμα απαιτείται φυσική επεξεργασία (π.χ. ταχεία διήθηση) και απολύμανση

Κατηγορία 2: Ύδατα που για να καταστούν πόσιμα απαιτείται τυπική φυσική και χημική επεξεργασία και απολύμανση π.χ. συσσωμάτωση – κροκίδωση – χημική κατακρήμνιση, διήθηση και χλωρίωση

Κατηγορία 3: Ύδατα που για να καταστούν πόσιμα απαιτείται εντατική και εκτεταμένη φυσική και χημική επεξεργασία και απολύμανση π.χ. συσσωμάτωση – κροκίδωση – χημική κατακρήμνιση, διήθηση, προσρόφηση (π.χ. ενεργός άνθρακας) και χλωρίωση ή/και χρήση όζοντος

Επιπλέον, για τις παραπάνω 3 κατηγορίες υδάτων απαιτείται η συλλογή και υποβολή στοιχείων για μία σειρά από παραμέτρους ποιότητας, οι οποίες δίδονται στον Πίνακα 4.13 που ακολουθεί.

Πίνακας 4-13. Παράμετροι που πρέπει να μετρώνται ανά κατηγορία υδάτων

Παράμετροι	Μονάδες Μέτρησης
Χρώμα (μετά από απλή διήθηση)	mg/l κλίμακα Pt
Θερμοκρασία	°C
Νιτρικά	mg/l
Φθοριούχα	mg/l
Διαλυμένος σίδηρος	mg/l
Χαλκός	mg/l
Ψευδάργυρος	mg/l
Αρσενικό	mg/l
Κάδμιο	mg/l
Ολικό χρώμιο	mg/l
Μόλυβδος	mg/l
Σελήνιο	mg/l
Υδράργυρος	mg/l
Βάριο	mg/l
Κυανιούχα	mg/l
Θειικά	mg/l
Φαινόλες	mg/l
Διαλυμένοι ή γαλακτωματοποιημένοι υδρογονάνθρακες	mg/l
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	mg/l
Ολικά βιοκτόνα (παραθείο, BHC, διελδρίνη)	mg/l
Αμμωνιακά	mg/l
Ολικά κολοβακτηρίδια 37°C (κολοβακτηριοειδή)	/100ml
Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (εντερικά κολοβακτηρίδια)	/100ml
Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (εντερόκοκκοι)	/100ml
Σαλμονέλλες	

Όσον αφορά την επεξεργασία – διαχείριση των λυμάτων, τα στοιχεία που πρέπει να συλλέγονται παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να δίδονται τόσο σε όρους 10³ Kg BOD/ημέρα όσο και ισοδύναμου πληθυσμού (ι.π.)

Πίνακας 4-14. Στοιχεία που πρέπει να συλλέγονται σχετικά με τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης
Α. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ - ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	
Μηχανική επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Βιολογική επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Προχωρημένη - Τριτοβάθμια επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Σύνολο κεντρικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Συστήματα στα οποία γίνεται απονιτροποίηση	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.

Συστήματα στα οποία γίνεται απομάκρυνση φωσφόρου	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.

B. MEMONΩΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.

Γ. ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΛΛΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Μηχανική επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Βιολογική επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Προχωρημένη - Τριτοβάθμια επεξεργασία	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.

Σύνολο μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (εκτός λυμάτων)	Αριθμός μονάδων
Δυναμικότητα σχεδιασμού	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Υφιστάμενη δυναμικότητα	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.
Εκροή	10^3 Kg BOD/ημέρα και ι.π.

Τέλος, πρέπει να συλλέγονται στοιχεία σχετικά με τις χρήσεις του νερού καθώς και για την ποιότητα των παραγόμενων αποβλήτων ανά χρήση. Στον Πίνακα 4.15, παρουσιάζονται τα στοιχεία που πρέπει να συλλέγονται αναφορικά με τις χρήσεις του νερού και τα παραγόμενα απόβλητα. Οι παράμετροι που πρέπει να μετρώνται και να καταγράφονται αναφορικά με τα παραγόμενα απόβλητα ανά χρήση νερού είναι: Όγκος ($10^3 \text{ m}^3/\text{d}$), BOD ($10^3 \text{ KgO}_2/\text{d}$), COD ($10^3 \text{ KgO}_2/\text{d}$), Αιωρούμενα στερεά (10^3 Kg/d), Ολικό άζωτο (10^3 Kg/d), Ολικός φώσφορος (10^3 Kg/d), Αρσενικό (10^3 Kg/d), Κάδμιο (10^3 Kg/d), Υδράργυρος (10^3 Kg/d), Χαλκός (10^3 Kg/d), Χρώμιο (10^3 Kg/d), Νικέλιο (10^3 Kg/d), Μόλυβδος (10^3 Kg/d) και Ψευδάργυρος (10^3 Kg/d).

Πίνακας 4-15. Στοιχεία που συλλέγονται ανά πηγή και χρήση του νερού

A. ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ
1. Γεωργική χρήση
2. Εξορυκτική και μεταλλευτική χρήση
3. Χρήση στο σύνολο των παραγωγικών κλάδων (μεταποίηση):
Εκ των οποίων:
Βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων
Βιομηχανίες κατασκευής εξοπλισμού μεταφορών
Υφαντουργεία - Βαφεία – φινιριστήρια
Βιομηχανίες παραγωγής χαρτιού και προϊόντων χαρτιού
Βιομηχανίες παραγωγής χημικών προϊόντων και διυλιστήρια πετρελαίου

4. Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

5. Κατασκευές

Σύνολο βιομηχανικής χρήσης (από 2 έως και 5)

Άλλες χρήσεις

Οικιακή χρήση

B. ΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

Γ. ΣΥΝΟΛΟ ΧΡΗΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aya H. (1994) 'Modular membranes for self-contained **reuse systems.**' *Water Quality International*, **vol 4**, pp.21-22
- Blake D., Bibliography of work on the photocatalytic removal of hazardous compounds from water and air, NREL, U.S. Department of Energy, 1999.
- Brasquet C., Roussy J., Subrenat E. and P. Le Cloirec (1996) 'Adsorption of micropollutants onto fibrous activated carbon: Association of ultrafiltration and fibers.' *Water Science and Technology*, **vol 34**, no 9, pp. 215-222
- Chaudhary D.S., Vigneswaran S. Jegatheesan V., Ngo H.H., Moon H., Shim W.G. and S.H.Kim (2002) 'Granular activated carbon (GAC) adsorption in tertiary wastewater treatment: experiments and models.' *Water Science and Technology*, **vol 47**, no 1, pp. 113-120
- Choi K.Y., and B.A. Dempsey (2004) 'In-line coagulation with low-pressure membrane filtration.' *Water Research*, **vol 38**, pp. 4271-4281.
- Choo K.H., Lee C.H. (1996) 'Membrane fouling mechanisms in the membrane coupled anaerobic bioreactor.' *Water Research*, **vol 30 (8)** p.1771-1780.
- Cicek, N., Franco, J.P., Suidan, M.T. and V. Urbain (1998) 'Using a membrane bioreactor to reclaim wastewater: The membrane bioreactor is an emerging technology for the reclamation of municipal wastewater.' *Journal of American Water Works Association*, **vol 90 (11)**, pp. 105-113
- Comerton A. M., Andrews R. C. and D.M. Bagley (2005) 'Evaluation of an MBR-RO system to produce high quality reuse water.' *Water Research*, **vol 39**, pp.3982-3990
- Diamadopoulos E and C. Vlachos (1996) 'Coagulation filtration of a secondary effluent by means of pre-hydrolyzed coagulants', *Water Science and Technology*, **vol 33**, pp.193-201.
- Fleischer E.J., Broderick T.A., Daigger G.T., Fonseca A.D., Holbrook R.D. and S.N. Murthy (2005) 'Evaluation of Membrane bioreactor process capabilities to meet stringent effluent nutrient discharge requirements.' *Water Environmental Research* **vol 77**, no 2 pp 162-178
- Gerischer H., *Electrochimica Acta*, vol. 35, 1677, 1991.

- Jang N.Y., Watanabe Y. and S. Minegishi (2005) 'Performance of ultrafiltration membrane process combined with coagulation/sedimentation.' *Water Science and Technology*, **vol 51**, no 6-7, pp.209-219
- Kabsch-Korbutowicz M. (2006) 'Impact of pre-coagulation on ultrafiltration process performance.' *Desalination* **vol 194** (2006) pp. 232–238
- Kim J.S., Lee S-J, Yoon S-H and C.H. Lee (1996) 'Competitive adsorption of trace organics on membranes and powdered activated carbon in powdered activated carbon-ultrafiltration system.' *Water Science and Technology*, **vol 34**, no 9, pp. 223-229
- Kim S.H., Moon S.Y. and C.H. Yoon (2005) 'Identification of fouling-causing materials in the ultrafiltration of surface water.' *Desalination*, **vol 177**, Issues 1-3, 20 June 2005, Pages 201-207
- Kimura K., Hane Y. and Y. Watanabe (2005) 'Effect of pre-coagulation on mitigating irreversible fouling during ultrafiltration of surface water.' *Water Science and Technology*, **vol 51**, no 6-7, pp. 93-100.
- Lee W.J., Chun J.I, Jung H.J, and D.H. Kwak (2005) 'Comparative studies on Coagulation and Adsorption as pretreatment method for the performance improvement of submerged MF Membrane for Secondary Domestic Wastewater treatment.' *Separation Science and Technology*, **vol 40**, pp. 2613-2632
- Lin S.H., Wang T.Y and R.S. Juang (2004) 'Metal rejection by nanofiltration from diluted solutions in the presence of complexing agents.' *Separation Science and Technology*, **vol 39** pp.363-376
- Mason and Lorimer, 2002, Applied Sonochemistry. The uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim
- Mulder M. (1996) 'Basic principles of membrane technology', Kluwer academic publishers.
- Operation and maintenance manual for Osmonics E2 series 375-2535 laboratory unit, Osmonics, 2004.
- Parsons S. (2004) Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. IWA publishing
- Pelizzetti E and Minero C, Mechanism of the photooxidative degradation of organic pollutants over TiO₂ particles, *Electrochim Acta* 38 (1993) 47-55.
- Reemtsma T., Zywicki B., Stueber M., Kloepper A., and M. Jekel. (2002)'Removal of Sulfur-Organic Polar Micropollutants in a membrane bioreactor treating industrial wastewater.' *Environmental Science and Technology*, **vol 36** pp. 1102-1106
- H.F van der Roest, D.P. Lawrence, A.G.N. van Bentem (2002). Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment, IWA Publishing 2002.

- Roorda, J.H. and J.H.J.M. Van der Graaf, (2000) 'Understanding membrane fouling in ultrafiltration of WWTP-effluent', *Water Science and Technology* **vol 41** (10-11), pp. 345-353.
- Seo G.T., Moon C.D., Chang S.W. and S.H Lee (2004) 'Long term operation of high concentration powdered activated carbon membrane bio-reactor for advanced water treatment.' *Water Science and Technology*, **vol 50**, no 8, pp.81-87
- Seo G.T., Jang S.W., Lee S.H. and C.H. Yoon (2005) 'The fouling characterization and control in the high concentration PAC membrane bioreactor HCPAC-MBR.' *Water Science and Technology*, **vol 51**, no 6, pp.77-84
- Serpone N. , Pelizzetti E. (eds.), "Photocatalysis, Fundamentals and Applications", J. Wiley & Sons, N.Y., 1989.
- Tam L.S., Tang T.W., Lau G.N., Sharma K.R. and G.H. Chen (2007) 'A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems.' *Desalination*, **vol 202**, pp.106-113
- Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson and Keith Brindle (2000) *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, IWA Publishing 2000.
- Tchobanoglous G., Franklin L. Burton, H. David Stensel (2003). 'METCALF AND EDDY' *Treatment and Reuse. Wastewater Engineering*.
- Tom Stephenson, Simon Judd, Bruce Jefferson and Keith Brindle (2000) *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, IWA Publishing 2000.
- Δρ. Βασίλειος Χρ. Γκέκας και Σπυριδούλα Γ. Πρωιμάκη (2002) *Φυσικοχημικές Διεργασίες Διαχωρισμών*. Εκδόσεις TZIOΛΑ.
- Zenon (2000) http://www.zenon.com/about/company_history.shtml