

14 ΙΑΝ 2005



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Θεοφράσειο Π.Μ.Σ.:  
Περιβαλλοντική &  
Οικολογική Μηχανική

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Θ. Λέκκας

Τίτλος Μεταπτυχιακής Διατριβής:

ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ  
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΟΥ  
ΔΗΜΟΥ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ  
ΘΕΡΜΗΣ

Αρ. ει. 32



115652

Επιμέλεια: Τέγου Ιωάννα - Λήδα

Μυτιλήνη, Οκτώβριος 2004

## **Ευχαριστίες...**

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Περιβαλλοντικής Μηχανικής κ. Θ. Λέκκα, επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Επίσης, ευχαριστώ το Διδάσκοντα κ. Π. Παρασκευά για την τιμή, που μου έκανε, να αποτελέσει μέλος τις τριμελούς επιτροπής.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ το Διδάσκοντα κ. Α. Στασινάκη, όχι μόνο για την τιμή, που μου έκανε, να αποτελέσει μέλος τις τριμελούς επιτροπής, αλλά κυρίως για τη συνεχή βοήθεια, που μου προσέφερε, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά:

Τους κ.κ. Χ. Μανδυλά, Μ. Τουρβαλή, Α. Χατζηαντωνίου, Σ. Βαβαλιάρo, Π. Μουτζούρη, Καρατζά, Α. Πλιθάρα, Α. Κουφοχρήστο και τις μηχανικούς του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής για τα στοιχεία και τις συμβουλές, που μου έδωσαν.

Αυτούς που νιώθουν ότι τους οφείλω ένα ευχαριστώ...

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η έκδοση της Οδηγίας (91/271/ΕΟΚ) για την επεξεργασία των Υγρών Αστικών Αποβλήτων, από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, υποχρεώνει όλους τους Δήμους της Ε. Κοινότητας να εγκαταστήσουν Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων. Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια επιλογής του βέλτιστου συστήματος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής, με τη χρήση μιας μεθόδου Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (ELECTRE III). Αφού μελετήθηκαν τα βασικότερα συστήματα επεξεργασίας, αναπτύχθηκαν τέσσερα πιθανά σενάρια για τη διαχείριση των λυμάτων του εν λόγω Δήμου. Το αποτέλεσμα αποδεικνύει πως η βέλτιστη επιλογή είναι η επεξεργασία σε φυσικά συστήματα και συγκεκριμένα σε Τεχνητούς Υγροβιοτόπους, με την ελάχιστη απαιτούμενη μεταφορά των υγρών αποβλήτων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b>	<b>3</b>
2.1.1. Προέλευση, Ποιότητα και Ποσότητα Υγρών Αποβλήτων	3
<b>2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>8</b>
2.2.1. Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Μονάδος Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με τη Μέθοδο της Ενεργού Ιλύος	9
2.2.1.1. Προεπεξεργασία	9
2.2.1.2. Πρωτοβάθμια Καθίζηση	11
2.2.1.2.1. <i>Δεξαμενή Καθίζησης Τύπου IMHOFF</i>	12
2.2.1.3. Βιολογική Επεξεργασία	13
2.2.1.3.1. <i>Σύστημα Ενεργού Ιλύος</i>	13
2.2.1.3.2. <i>Απομάκρυνση Αζώτου και Φωσφόρου</i>	22
2.2.1.3.3. <i>Φρεάτια επιλογής</i>	25
2.2.1.4. Τοξικές Ουσίες	26
2.2.1.5. Απολύμανση Επεξεργασμένων Αποβλήτων	28
2.2.1.6. Επεξεργασία Ιλύος	31
2.2.1.6.1. <i>Αναερόβια Χώνευση</i>	32
2.2.1.6.2. <i>Αφυδάτωση</i>	35
<b>2.3. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ</b>	<b>36</b>
2.3.1. Εισαγωγή	36
2.3.2. Ανάπτυξη των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ	38
2.3.2.1. Τα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας στις ΗΠΑ και Άλλες Χώρες	38
2.3.3. Χαρακτηριστικά των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ	41
2.3.4. Τύποι Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ	43
2.3.4.1. Βραδεία Εφαρμογή	43
2.3.4.2. Ταχεία Διήθηση ή Εφαρμογή	45

2.3.4.3. Επιφανειακή Ροή	48
2.3.4.4. Υγροβιότοποι	48
2.3.4.5. Συστήματα Επιπλεόντων Υδροχαρών Φυτών	52
2.3.4.6. Υδατοκαλλιέργεια	53
2.3.5. Συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων	54
2.3.5.1. Εκτίμηση και Επιλογή θέσης	54
2.3.5.2. Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων	56
2.3.5.3. Επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης	56
2.3.5.4. Σχεδιασμός Παραμέτρων	58
2.3.5.4.1. Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης	59
2.3.5.4.2. Βάθος Νερού	63
2.3.5.4.3. Γεωμετρία και έκταση λεκάνης	64
2.3.5.4.4. Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD <sub>5</sub>	66
2.3.5.4.5. Ταχύτητα Υδραυλικού Φορτίου	68
2.3.5.5. Έλεγχος Φορέων Εντόμων	68
<b>2.4. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ</b>	70
2.4.1. Η βάση της Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης	70
2.4.2. Ορισμός	70
2.4.3. Τα στάδια της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης	71
2.4.4. Οι συμμετέχοντες στη διαδικασία (DMs)	76
2.4.5. Η επιλογή των κριτηρίων	79
2.4.6. Αποτίμηση των κριτηρίων αξιολόγησης - Βαθμοί βαρύτητας	81
2.4.7. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Πολυκριτηριακής Μεθόδου	83
2.4.8. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου λήψης απόφασης	84
2.4.9. Η κατηγορία μεθόδων ELECTRE	88
2.4.9.1. Γενικά	88
2.4.9.2. Το νοηματικό πλαίσιο της ELECTRE III	89
2.4.9.3. Μεθοδολογία	90
2.4.9.4. Εξαγωγή κατατάξεων	94
2.4.9.5. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων	94

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ</b>	<b>95</b>
<b>3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b>	<b>95</b>
3.1.1. Καθορισμός ορίων της περιοχής	95
3.1.2. Υφιστάμενη κατάσταση	95
3.1.2.1. Κλιματολογικά Στοιχεία	95
3.1.2.2. Πληθυσμιακά Στοιχεία	96
3.1.2.3. Αποχετευτικό Δίκτυο - Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων	100
<b>3.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>102</b>
<b>3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ</b>	<b>103</b>
3.3.1. Υδραυλικά Φορτία	103
3.3.2. Ρυπαντικά Φορτία	104
<b>3.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ</b>	<b>107</b>
<b>3.5. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ</b>	<b>108</b>
<b>3.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ</b>	<b>109</b>
3.6.1. Σενάριο 1	109
3.6.1.1. Περιγραφή της ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης	109
3.6.1.2. Έλεγχος δυνατότητας αποδοχής των λυμάτων από τη ΜΕΥΑ Δ. Μυτιλήνης	113
3.6.2. Σενάριο 2	117
3.6.3. Σενάριο 3	120
3.6.4. Σενάριο 4	120
<b>3.7. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΩΝ (STAKEHOLDERS)</b>	<b>123</b>
<b>3.8. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ</b>	<b>124</b>
<b>3.9. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ</b>	<b>125</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ</b>	
<b>ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>126</b>

<b>4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ (EVALUATION MATRIX)</b>	<b>126</b>
<b>4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ELECTRE III</b>	<b>132</b>
<b>4.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>133</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>135</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>137</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανική ανάπτυξη της Ελλάδος τα τελευταία έτη και η παραγωγή και διοχέτευση μεγάλων ποσοτήτων αστικών και άλλων υγρών αποβλήτων σε παράκτιες και άλλες περιοχές δημιούργησαν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το 1991 το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων εξέδωσε μια Οδηγία (91/271/ΕΟΚ) για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 για εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας), στην οποία προβλέπεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν ΜΕΥΑ σε όλες τις πόλεις τις Κοινοτήτας.

Υπάρχει ένας σχετικά μεγάλος αριθμός διαφορετικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, που διαφέρουν στην τεχνολογία, στην απόδοση, στο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος, στις δυσκολίες εφαρμογής, στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδράσεις. Τα κριτήρια αυτά είναι που καθορίζουν και το βαθμό αποδοχής του κάθε συστήματος από τους λήπτες αποφάσεων. Στην παρούσα εργασία, οι εναλλακτικές δυνατότητες αξιολογούνται βάσει μιας μεθόδου Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (ELECTRE III), με στόχο την επιλογή του βέλτιστου Συστήματος Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται, κατόπιν βιβλιογραφικής έρευνας, τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με έμφαση στη μέθοδο της ενεργού ιλύος. Περιγράφεται ο σχεδιασμός τους και αναφέρονται τα βασικά κριτήρια ελέγχου. Το αντίστοιχο γίνεται και για τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας ΥΑ, με εκτενέστερη αναφορά στους Τεχνητούς Υγροβιοτόπους.

Στη συνέχεια, εισάγεται η έννοια της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (ΠΑ) και αναλύεται ο ρόλος της στη διαδικασία αξιολόγησης ζητημάτων περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Παρουσιάζονται τα στάδια της ΠΑ, ενώ προσδιορίζεται η σημασία των πολλαπλών κριτηρίων και ο ρόλος των εμπλεκομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Αφού γίνει μια αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, αναλύεται η μέθοδος ELECTRE III, που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, μετά από μια σύντομη περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής, που αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, γίνεται μια εκτίμηση της εξέλιξης του πληθυσμού έως το

2015. Κατόπιν, γίνεται μια προσπάθεια «μοντελοποίησης» του προβλήματος στο πλαίσιο της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης. Ορίζεται το πρόβλημα, υπολογίζονται τα υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία και σχηματίζονται τα εναλλακτικά σενάρια. Ακολούθως επιλέγονται τα κριτήρια αξιολόγησης και οι λήπτες απόφασης και καθορίζονται οι βαθμοί βαρύτητας των κριτηρίων.

Στο Κεφάλαιο 4 εφαρμόζεται η μέθοδος ELECTRE III. Κατασκευάζεται ο Πίνακας Αξιολόγησης και παρουσιάζονται οι τελικές κατατάξεις των σεναρίων για κάθε λήπτη απόφασης.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η τελική κατάταξη των σεναρίων και αναλύονται τα αποτελέσματα, που εξάγονται μετά την εφαρμογή της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 καταγράφονται τα συμπεράσματα, που προέκυψαν τόσο από τη βιβλιογραφική έρευνα όσο και από τη διεξαγωγή του πρακτικού μέρους της εργασίας αυτής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

### 2.1. ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Υγρά Αστικά Απόβλητα (ΥΑΑ) ορίζονται τα υγρά οικιακά απόβλητα, που περιέχουν και υγρά απόβλητα από ιδρύματα, όπως Νοσοκομεία, Σχολεία, Υπηρεσίες, Ξενοδοχεία και κατά περίπτωση κάποιες βιομηχανικές απορροές, που όμως αποτελούν ένα μικρό ποσοστό και δεν χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους.[42]

#### 2.1.1. Προέλευση, Ποιότητα και Ποσότητα Υγρών Αποβλήτων

Τα οικιακά απόβλητα προέρχονται κατά κύριο λόγο από τη χρήση νερού ύδρευσης και η ημερήσια παροχή τους είναι δυνατό να βασισθεί στις μετρήσεις της κατανάλωσης του νερού. Περίπου 80 με 90% της οικιακή κατανάλωσης του νερού απορρέει στην αποχέτευση. Το υπόλοιπο καταναλώνεται στη μαγειρική, την πόση, το πότισμα κήπων, ενώ μια ποσότητα εξατμίζεται.

Η ποσότητα των παραγόμενων οικιακών υγρών αποβλήτων ανά άτομο ποικίλει από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή της ίδιας χώρας. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο βιοτικό επίπεδο κάθε περιοχής, που συχνά συνδέεται με την πληθυσμιακή πυκνότητα. Αναφέρονται παροχές από:

- 150 l/pd (αγροτικές περιοχές της Ελλάδος, της Ιταλίας κλπ.) έως και
- 500 l/pd (αστικές περιοχές ΗΠΑ, Καναδά, Ιαπωνία κλπ.).[42]

Σε ένα χωριστικό σύστημα, οι κύριες πηγές των αστικών αποβλήτων είναι:

- η οικιστική δραστηριότητα,
- η βιομηχανική δραστηριότητα και
- οι εισροές από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Σε ένα μικτό αποχετευτικό σύστημα πρέπει να συνυπολογιστούν και τα όμβρια ύδατα.

Για να γίνει εκτίμηση της παροχής των αποβλήτων (υδραυλικό φορτίο) σε ένα ολοκληρωμένο αποχετευτικό δίκτυο, χρησιμοποιούνται σημερινές ή παλαιότερες μετρήσεις πεδίου, δεδομένα κατανάλωσης νερού, καθώς επίσης πληθυσμιακά και βιβλιογραφικά δεδομένα παραγόμενων λυμάτων κατ' άτομο. Στις περιπτώσεις που

δεν έχουν κατασκευαστεί δίκτυα ή που το κόστος σύνδεσης με το αποχετευτικό δίκτυο είναι μεγάλο (απομακρυσμένες κατοικίες - ξενοδοχεία), χρησιμοποιούνται σηπτικές δεξαμενές. Οι δεξαμενές αυτές αδειάζουν κατά τακτά χρονικά διαστήματα, και ο όγκος των αποβλήτων αυτών πρέπει να υπολογιστεί κατά την εκτίμηση της παροχής των αποβλήτων.

Η παροχή των αποβλήτων μαθηματικά υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση [29]:

**Παροχή Αποβλήτων = Πληθυσμός × Παραγόμενα λύματα ανά άτομο**

$$(\text{m}^3/\text{ημέρα}) = \frac{\text{Άτομα} * (\text{ltλυμάτων} / \text{άτομο} \& \text{ημέρα})}{1000\text{lt} / \text{m}^3} \quad (2.1)$$

Σημαντικό ρόλο για τη λειτουργία της ΜΕΥΑ, αποτελεί η πρόβλεψη της μεταβολής του πληθυσμού, με τη χρήση απλών «κοινώς αποδεκτών» μοντέλων. Η σωστή εκτίμηση της μεταβολής του πληθυσμού, εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της μονάδας σε ένα ικανοποιητικό εύρος χρόνου, αποφεύγοντας τα προβλήματα, που μπορεί να δημιουργηθούν, από μία απότομη αύξηση ή μείωση του πληθυσμού.

Επίσης, θα πρέπει να γίνει εκτίμηση των απαιτήσεων της μονάδας, κατά τη διάρκεια του έτους. Σε περιοχές με έντονο τουρισμό, η μεταβολή του πληθυσμού από το καλοκαίρι στο χειμώνα είναι πολύ μεγάλη. Στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζεται η μέθοδος των ισοδύναμων κατοίκων και πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία για τις δύο διακριτές χρονικές περιόδους. [47]

Κατά την εκτίμηση της παροχής των αποβλήτων, η παραγωγή των λυμάτων κατά άτομο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες [47]:

- ✓ Το βιοτικό επίπεδο της περιοχής (υψηλότερο βιοτικό επίπεδο - μεγαλύτερη παραγωγή λυμάτων)
- ✓ Το κλίμα της περιοχής (υψηλότερη θερμοκρασία - μεγαλύτερη παραγωγή λυμάτων)
- ✓ Την εποχή του έτους (υψηλότερη θερμοκρασία - μεγαλύτερη παραγωγή λυμάτων)
- ✓ Τον αριθμό ατόμων ανά κατοικία (λιγότερα άτομα - μεγαλύτερη παραγωγή λυμάτων)
- ✓ Τη φυσιογνωμία περιοχής (εμπορικές δραστηριότητες, τουριστική ζώνη...)

Στην παροχή των αποβλήτων πρέπει να συνυπολογίζεται και η ποσότητα των υπογείων υδάτων, που είναι δυνατό να εισδύουν στο δίκτυο (infiltration), λόγω της ύπαρξης, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπογείου υδροφόρου ορίζοντα πάνω από τους αγωγούς αποχέτευσης[42]. Η ποσότητα νερού, που εισδύει, εξαρτάται από:

- ✓ Το είδος του εδάφους (μεγάλη διαπερατότητα - μεγάλες εισροές)
- ✓ Το μήκος του αποχετευτικού δικτύου
- ✓ Την πληθυσμιακή πυκνότητα (μεγάλη πυκνότητα συνεπάγεται μεγάλο αριθμό συνδέσεων)
- ✓ Την κατάσταση του αποχετευτικού δικτύου και
- ✓ Το υλικό κατασκευής των αγωγών και των συνδέσεων . [47]

Η εισδυση έχει μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους. Στα παλιά δίκτυα η ποσότητα αυτή είναι πολύ μεγάλη. Έχουν αναφερθεί ροές εισδυσης από 2,5 έως 95 m<sup>3</sup>/(d km). Στα νέα δίκτυα από πλαστικούς αγωγούς PVC μπορεί να είναι και αμελητέα.[42]

Επίσης, στο αποχετευτικό δίκτυο μπορεί να υπάρξει εισροή (inflow) ομβρίων υδάτων με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της παροχής των λυμάτων. Πιθανές πηγές είναι οι αποχετεύσεις από αυλές ή ταράτσες, που είναι συνδεδεμένες παράνομα με το δίκτυο, όταν αυτό είναι χωριστικό.[29]

Για να γίνει η απαραίτητη διαστασιολόγηση των τμημάτων της μονάδας, κρίνεται απαραίτητη η εκτίμηση της συγκέντρωσης των ρύπων (ρυπαντικό φορτίο), η οποία μαθηματικά εκφράζεται με την επόμενη σχέση[29]:

$$\text{Συγκέντρωση Ρύπου(mg/l)} = \frac{\text{Παραγόμενη Ποσότητα Αποβλήτων Ανά Άτομο(mg/άτομο \& \text{ ημέρα})}{\text{Παραγόμενο Όγκο Λυμάτων Ανά Άτομο \& Ημέρα(lt άτομο \& \text{ ημέρα})} \quad (2.2)$$

Η εκτίμηση της συγκέντρωσης των ρύπων εξαρτάται από το είδος του αποχετευτικού δικτύου. Εάν το δίκτυο είναι μκτό, το οργανικό φορτίο, το ολικό άζωτο και ο ολικός φώσφορος, που εισέρχονται στη μονάδα, έχουν μικρότερη συγκέντρωση, λόγω αραιώσης, σε σχέση με το χωριστικό δίκτυο. Το αντίθετο συμβαίνει, με τη συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών, των υπό επεξεργασία αποβλήτων.

Η τιμή της συγκέντρωσης των ρύπων επηρεάζεται σημαντικά από την πηγή προέλευσης των αποβλήτων (αστικά ή βιομηχανικά). Συνήθως στα υγρά βιομηχανικά απόβλητα έχουμε μεγάλες εκροές σε όγκο από ένα σημείο, ενώ επίσης η

ροή τους δεν είναι σταθερή και η ποιότητά τους διαφέρει από βιομηχανία σε βιομηχανία, σε αντίθεση με τα υγρά αστικά απόβλητα, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι περισσότερο σταθερά. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός μονάδων επεξεργασίας ΥΒΑ απαιτεί τη γνώση κάθε βιομηχανικού κλάδου χωριστά και ακόμη περισσότερο της συγκεκριμένης τεχνολογίας παραγωγής, που εφαρμόζεται σε κάθε βιομηχανική εγκατάσταση.

Τέλος, για να γίνει σωστή εκτίμηση της συγκέντρωσης των ρύπων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο η ημερήσια όσο και η εποχιακή διακύμανση της συγκέντρωσης. Το ρυπαντικό φορτίο των υγρών αστικών αποβλήτων παρουσιάζει έντονη διακύμανση κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Οι εποχιακές διακυμάνσεις, μπορεί να οφείλονται σε βιομηχανικές και τουριστικές δραστηριότητες, καθώς και σε εισροές υδάτων λόγω βροχόπτωσης. Ορίζονται, λοιπόν, τα εξής μεγέθη[42]:

- *Μέγιστη Ημερήσια Παροχή (ΜΗΠ)*: είναι η μέγιστη παροχή ενός 24ώρου και βασίζεται σε στοιχεία παροχής ενός έτους. Είναι σημαντική για τον υπολογισμό των υδραυλικών χρόνων παρακράτησης των δεξαμενών εξισορρόπησης και των δεξαμενών επαφής της χλωρίωσης.
- *Ελάχιστη Ημερήσια Παροχή (ΕΗΠ)*: είναι η ελάχιστη παροχή ενός 24ώρου και βασίζεται σε στοιχεία παροχής ενός έτους. Είναι σημαντική για το σχεδιασμό αγωγών, όπου είναι δυνατή η καθίζηση στερεών.
- *Μέγιστη Ωριαία Παροχή (ΜΩΠ)*: είναι η μέγιστη παροχή, που διαρκεί μία ώρα και βασίζεται σε στοιχεία παροχής ενός έτους. Τα στοιχεία για την ΜΩΠ είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό των δικτύων αποχέτευσης, των αντλιοστασίων, των καναλιών απομάκρυνσης άμμου, των οριακών τιμών χρόνου παρακράτησης σε δεξαμενές καθίζησης και δεξαμενές αερισμού, των δεξαμενών εξισορρόπησης ροής, των δεξαμενών επαφής χλωρίου και γενικώς των υδραυλικών εγκαταστάσεων.
- *Ελάχιστη Ωριαία Παροχή (ΕΩΠ)*: είναι η ελάχιστη παροχή, που διαρκεί μία ώρα και βασίζεται σε στοιχεία παροχής ενός έτους. Είναι σημαντική, όπως και η ΕΗΠ, για το σχεδιασμό αγωγών, όπου είναι δυνατή η καθίζηση στερεών.

Η ΜΗΠ χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του όλου συστήματος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, γίνεται όμως έλεγχος εάν οι εγκαταστάσεις του δικτύου αποχέτευσης, των αντλιοστασίων και της ΜΕΥΑ είναι ικανές να ανταποκριθούν στις ακραίες μεταβολές της παροχής των αποβλήτων.

Για το συσχετισμό της Μέγιστης Ωριαίας Παροχής με τη Μέση Ημερήσια Παροχή έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί εμπειρικές σχέσεις, μεταξύ των οποίων και η[42]:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{ave}}} = \frac{18 + P}{4 + P} \quad (2.3)$$

όπου

$Q_{\max}$ : η μέγιστη ωριαία παροχή,  $\text{m}^3/\text{h}$

$Q_{\text{ave}}$ : η μέση ημερήσια παροχή,  $\text{m}^3/\text{h}$

P: ο πληθυσμός σε χιλιάδες

Ο λόγος  $A = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{ave}}}$  λέγεται και συντελεστής παροχής αιχμής, όπου  $1,5 < A < 3$ .



## 2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Για το σχεδιασμό ενός συστήματος επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων πρέπει να γίνεται εκτίμηση:

- Της Παροχής των αποβλήτων ( $m^3/d$  ή  $l/hr$  ή  $l/min$ ), η οποία επηρεάζει:
  1. τη διατομή των αγωγών
  2. τη δυνατότητα των αντλιών
  3. το μέγεθος των εξαμμωτών - εσχάρων - δεξαμενών, οι οποίες αποτελούν τις φυσικοχημικές διεργασίες
  4. τις ποσότητες των απολυμαντικών και των κροκιδωτικών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Της διακύμανσης της ποσότητας των ΥΑΑ στο χρόνο (εποχιακή και ημερήσια).
- Της προβλεπόμενης μεταβολής της ποσότητας των ΥΑΑ, λόγω της μεταβολής του πληθυσμού και των συνηθειών ως προς την κατανάλωση νερού.
- Της Συγκέντρωσης των Ρύπων ( $mg/l$  ή  $\mu g/l$  ή  $ng/l$ ) - Ρυπαντικό Φορτίο( $Kg/day$ )[42], η οποία σχετίζεται με τη διαστασιολόγηση των τμημάτων της μονάδας. Δηλαδή, η συγκέντρωση των ρύπων καθορίζει το μέγεθος των δεξαμενών αερισμού - ανοξικών - αναερόβιων - χωνευτών, οι οποίες αποτελούν τις βιολογικές διεργασίες.

Υπάρχουν σημεία της μονάδας, που είναι απαραίτητη η γνώση τόσο της παροχής των αποβλήτων, όσο και της συγκέντρωσης των ρύπων.

## 2.2.1. Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Μονάδος Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με τη Μέθοδο της Ενεργού Ιλύος

### 2.2.1.1. Προεπεξεργασία

Η προεπεξεργασία είναι ένα στάδιο στην επεξεργασία των ΥΑ, που άλλοτε εφαρμόζεται και άλλοτε όχι, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Περιλαμβάνει την εσχάρωση, το κοσκίνισμα, την εξάμμωση και τον τεμαχισμό. Τα έργα αυτά σχεδιάζονται για τη μέγιστη παροχή αποβλήτων και η κατασκευή τους γίνεται σε κλειστούς χώρους, για να αποφευχθεί η διάχυση των οσμών. Στο στάδιο αυτό η απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων είναι αμελητέα.

#### • Εσχάρωση

Οι εσχάρες χρησιμοποιούνται για την προστασία των μονάδων επεξεργασίας από ογκώδη αντικείμενα (χαρτιά, κουρέλια, πλαστικά, κλαδάκια), που αν εισέλθουν θα προκαλέσουν διάφορες εμφράξεις στις εγκαταστάσεις, καθώς και φθορά στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Επίσης, βοηθούν στο διαχωρισμό και στην απομάκρυνση στερεών, που η παρουσία τους θα εμποδίζει την απόδοση των επόμενων διεργασιών.

Οι εσχάρες αποτελούνται συνήθως από παράλληλες σιδερένιες ράβδους με διάκενα και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες[47]:

1. Χονδροεσχάρες (coarse screens): 6 - 150 mm διάκενο (ράβδοι σε κατακόρυφη ή κεκλιμένη θέση)  
Αντλιοστάσια Λυμάτων: 50 - 150 mm, ΜΕΥΑ: 6 - 50 mm
2. Λειποεσχάρες (fine screens): < 6 mm διάκενο (διάτρητα μεταλλικά φύλλα, συρμάτινα κόσκινα)
3. Μικροεσχάρες (microscreens): < 50 μm διάκενο μεταξύ των ράβδων (επεξεργασμένα απόβλητα)

Κατά το σχεδιασμό των έργων προεπεξεργασίας, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την ύπαρξη δύο ή περισσότερων εσχάρων (συντήρηση). Το υλικό κατασκευής τους θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στην οξείδωση και για αυτό το λόγο συνήθως χρησιμοποιείται ανοξείδωτος χάλυβας ή πλαστικό. Για να αποφευχθεί η εναπόθεση των στερεών στο κανάλι ροής η ταχύτητα προσέγγισης των λυμάτων στην εσχάρα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,25m/s, ενώ η ταχύτητα διελεύσεως μέσα από τα διάκενα θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1,2m/s, για να αποτραπεί ο

παρασυρμός των συγκρατούμενων υλικών. Η ταχύτητα ροής ρυθμίζεται με αυξομείωση του πλάτους του καναλιού.

Η συλλογή των εσχαρισμάτων γίνεται με τη χρήση μεταφορικής ταινίας, η οποία είναι απλή στη λειτουργία, έχει χαμηλό κόστος, δεν εμφανίζει κίνδυνο εμφράξεων, αλλά δημιουργεί προβλήματα οσμών. Εναλλακτικά, η συλλογή γίνεται με εκτοξευτή πεπιεσμένου αέρα, ο οποίος δεν δημιουργεί προβλήματα οσμών, αλλά υπάρχει κίνδυνος έμφραξης του. Στη συνέχεια, τα εσχαρίσματα συμπιέζονται και επιτυγχάνεται μείωση του όγκου τους κατά 70% και μείωση της υγρασίας κατά 50%. Η διάθεσή τους γίνεται με ταφή, χώνευση, καύση, διάθεση με τα απορρίμματα ή με άλεση.

#### • *Εξάμμωση*

Η εξάμμωση εφαρμόζεται όταν τα ΥΑ φέρνουν στην ΜΕΥΑ σημαντικές ποσότητες ανόργανων στερεών, υπό τη μορφή διακεκριμένων στερεών. Στόχος της είναι η απομάκρυνση των ανόργανων αυτών σωματιδίων (άμμος, υπολείμματα καύσης, άλλα στερεά) για την προστασία των εγκαταστάσεων, που ακολουθούν, από μηχανικές φθορές (αντλίες) ή εμφράξεις (σωληνώσεις) και κυρίως την αποφυγή του συχνού καθαρισμού της δεξαμενής χώνευσης από τα αδρανή ιζήματα.

Οι εξάμμωτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες[29]:

- ✓ Εξαμμωτής οριζόντιας ροής (horizontal flow grit chamber)
- ✓ Αεριζόμενος Εξαμμωτής (aerated grit chamber)
- ✓ Εξαμμωτής στροβίλου (vortex type grit chamber)

Τα προϊόντα της εξάμμωσης έχουν υγρασία σε ποσοστό 13-65% και ανόργανα στερεά σε ποσοστό 75-85%. Η μεταβολή της ποσότητας των προϊόντων εξάμμωσης εξαρτάται από το είδος και την κατάσταση του δικτύου αποχέτευσης, τα χαρακτηριστικά της περιοχής (έδαφος, πάγωμα δρόμων), το είδος των βιομηχανικών αποβλήτων, καθώς και από τη χρήση σκουπιδοφάγων. Η συλλογή των προϊόντων εξάμμωσης γίνεται με τη βοήθεια αρπάγης, αντλίας ή κινούμενης γέφυρας.

### 2.2.1.2. Πρωτοβάθμια Καθίζηση

Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελεί τη βασική μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων ύστερα από την προκαταρκτική επεξεργασία τους στις εγκαταστάσεις εσχάρωσης και εξάμμωσης. Η αρχή λειτουργίας της στηρίζεται στη σημαντική ελάττωση της ταχύτητας ροής των αποβλήτων, με αποτέλεσμα τα μεγαλύτερα και βαρύτερα οργανικά αιωρούμενα στερεά να καθιζάνουν. Συγκεκριμένα πραγματοποιείται απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (SS) κατά 50-70% και απομάκρυνση οργανικού φορτίου BOD κατά 25-40%. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μείωση της απαίτησης σε οξυγόνο στα επόμενα στάδια, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ρεύματος και τη μείωση του λειτουργικού κόστους της ΜΕΥΑ. Ενίοτε οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης λειτουργούν και ως δεξαμενές εξισορρόπησης της ροής για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας των λυμάτων.

Η πρωτοβάθμια καθίζηση είναι σχεδιασμένη για τη μέγιστη ημερήσια παροχή και η κατασκευή της γίνεται σε ανοιχτούς χώρους της μονάδας. Ο σχεδιασμός των δεξαμενών στηρίζεται στη χρήση εμπειρικών κριτηρίων, πιλοτικών μονάδων και σωλήνων καθίζησης. Σύμφωνα με τα εμπειρικά κριτήρια το επιφανειακό φορτίο,  $q$  παίρνει τιμές μεταξύ 30-50 m<sup>3</sup> λυμάτων/m<sup>2</sup> επιφάνειας δεξαμενής ανά ημέρα, ενώ ο χρόνος παραμονής  $\theta$  κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 ωρών. Το επιφανειακό φορτίο,  $q$  έχει φυσική σημασία και σχετίζεται με την ταχύτητα καθίζησης των σωματιδίων.

Κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση, η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (BOD), και των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) εξαρτάται από το χρόνο παραμονής, καθώς η συσσωμάτωση αυξάνεται όσο αυξάνει ο χρόνος παραμονής. Επίσης, επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, χαμηλές θερμοκρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους του νερού, με συνέπεια την αργή καθίζηση των σωματιδίων.

Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης έχουν συνήθως μορφή, είτε ορθογωνική με ροή των λυμάτων κατά μήκος της μεγάλης πλευράς, είτε κυκλική με ακτινωτή ροή από το κέντρο στην περιφέρεια. Στην πράξη το είδος της δεξαμενής που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την περιοχή, το μέγεθος της έκτασης που έχουμε στη διάθεση μας, την τεχνογνωσία του εργολάβου κ.α.

Πολύ σημαντική παράμετρος για την καλή λειτουργία της δεξαμενής είναι η διασφάλιση ομαλής οριζόντιας ροής. Η ομαλή ροή εξασφαλίζεται με την εισροή των

λυμάτων σε όλο το πλάτος της δεξαμενής με τη χρήση υπερχειλιστών ή με την εισροή των λυμάτων μέσω ανοιγμάτων κάτω από τη στάθμη του νερού (100-200mm). Κατά την εκροή των αποβλήτων από το στάδιο αυτό πρέπει να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της ροής για την αποφυγή απομάκρυνσης επιπλεόντων σωματιδίων.

Κατά τη διάρκεια της πρωτοβάθμιας καθίζησης μπορεί να υπάρξει απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες ροής των λυμάτων. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε διαφορές πυκνότητας και θερμοκρασίας των λυμάτων, στην επίδραση του ανέμου, στο σύστημα συλλογής της υλούς καθώς και στην είσοδο και έξοδο των αποβλήτων.

#### **2.2.1.2.1. Δεξαμενή Καθίζησης Τύπου IMHOFF**

Η δεξαμενή τύπου IMHOFF κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στη Γερμανία το 1904 και κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ το 1911. Μορφολογικά αποτελείται από δύο παράλληλα διαμερίσματα: το θάλαμο καθιζήσεως και το θάλαμο χώνευσης, που επικοινωνούν με στενή σχισμή, διαμορφωμένη ώστε να διέρχονται προς τα κάτω τα καθιζάνοντα σωματίδια, χωρίς να επηρεάζονται τα διερχόμενα λύματα από τις φυσαλίδες, που ανέρχονται, παρασύροντας μικρά τεμάχια της χωνεμένης υλούς και οι οποίες οδηγούνται στους αεριαγωγούς. Έτσι, τα λύματα απομακρύνονται από τη δεξαμενή με υπερχειλίση, μετά από 2-4 h καθίζηση, σχετικά διαυγή και άοσμα.

Κατασκευαστικά είναι συνήθως ορθογώνια ή κυκλική σε κάτοψη. Το άνοιγμα της σχισμής πρέπει να είναι τουλάχιστον 12,5 - 15 cm και η οριζόντια επικάλυψη των άκρων της τουλάχιστον 10 ή κατά προτίμηση 15 cm. Η οριζόντια επιφάνεια των αεραγωγών πρέπει να είναι τουλάχιστον 20% της συνολικής επιφάνειας της δεξαμενής.[43]

Το βασικότερο πλεονέκτημα της δεξαμενής IMHOFF είναι ότι η διαχωριζόμενη υλός δεν είναι ανάγκη να αποκομίζεται ταχέως προς αποφυγή σήψης, όπως στις απλές δεξαμενές καθίζησης, αλλά μόνο αφού μειωθεί σημαντικά ο όγκος της υλούς, λόγω ελαττώσεως του περιεχομένου σ' αυτή νερού. Το νερό χάνεται κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, η οποία είναι σκόπιμη γι' αυτό το λόγο. Τα άλλα πλεονεκτήματα της εν λόγω δεξαμενής αναφέρονται ακολούθως:

- Το αποχετευμένο νερό είναι νωπό
- Αποφεύγονται οι κακοσμίες
- Η επίβλεψη της εγκατάστασης είναι απλή και απαιτεί μικρές δαπάνες συντήρησης
- Η δυνατότητα επέκτασης της εγκατάστασης είναι απεριόριστη με όμοιες σε σειρά δεξαμενές
- Η απομάκρυνση της ιλύος είναι ευχερής και επιτυγχάνεται είτε με αναρρόφηση μέσω αντλίας είτε με κατάθλιψη νερού υπό πίεση.

Ο βαθμός επεξεργασίας, που επιτυγχάνεται με τη χρήση της εσχάρωσης και της δεξαμενής IMHOFF, είναι:

- 30 - 40% BOD5
- 50 - 65% SS και
- 15% κολοβακτηρίδια στην εσχάρα, 50% στη δεξαμενή IMHOFF

### 2.2.1.3. Βιολογική Επεξεργασία

#### 2.2.1.3.1. Σύστημα Ενεργού Ιλύος

Η μέθοδος της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε στην Αγγλία το 1914 από τους Arden and Lockett και ονομάζεται έτσι, λόγω της παραγωγής ενεργής μάζας ιλύος από μικροοργανισμούς, που έχει την ικανότητα της αερόβιας σταθεροποίησης των λυμάτων[43]. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πραγματοποιείται απομάκρυνση τόσο οργανικών ενώσεων και αιωρούμενων στερεών όσο και ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου. Επίσης, μειώνεται η συγκέντρωση των παθογόνων μικροοργανισμών και των τοξικών ουσιών, που περιέχονται στα λύματα.

Ένα τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος αποτελείται από τη δεξαμενή αερισμού (βιολογικός αντιδραστήρας) και από τη δεξαμενή καθίζησης. Η βασική ιδέα της μεθόδου στηρίζεται στην επιστροφή της βιομάζας από τον πυθμένα της Δεξαμενής Δευτεροβάθμιας Καθίζησης (ΔΔΚ) στη Δεξαμενή Αερισμού (ΔΑ), με στόχο τη διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης μικροοργανισμών (μ/ο) στη ΔΑ. Η συγκέντρωση των μ/ο στη ΔΑ είναι μια λειτουργική παράμετρος ελέγχου, που επιτρέπει τη

ρύθμιση της λειτουργίας της διεργασίας. Έτσι, η ελεγχόμενη αυξομείωση της συγκέντρωσης των μ/ο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτυγχάνεται απόκριση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες εισόδου.[42]

Στη δεξαμενή αερισμού οι συνθήκες, που επικρατούν, είναι αερόβιες και πραγματοποιείται πλήρης ανάμιξη των αποβλήτων. Τα απόβλητα έρχονται σε επαφή με συσσωματώματα μικροοργανισμών και ένα μέρος των οργανικών ενώσεων οξειδώνεται σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O, ενώ ένα άλλο μετατρέπεται σε νέο κυτταρικό υλικό. Αύξηση του χρόνου αερισμού ευνοεί το χρόνο της οξείδωσης, ενώ μείωσή του ευνοεί το μηχανισμό σύνθεσης κυτταρικής μάζας.

Στη δεξαμενή καθίζησης γίνεται ο διαχωρισμός των βιοκροκίδων λόγω καθίζησης κι ένα μέρος της υλός ανακυκλοφορεί στη δεξαμενή αερισμού, ενώ ένα άλλο αποβάλλεται.

Η οικολογία ενός συστήματος ενεργού υλός αποτελείται από διάφορα είδη μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, τροχόζωα και νηματώδεις. Τα κριτήρια, που καθορίζουν την ικανότητα επικράτησης των μικροοργανισμών, είναι η ικανότητα, που έχουν, να σχηματίζουν βιοκροκίδες, η προσαρμογή τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες στην δεξαμενή αερισμού (συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου -DO, είδος διαθέσιμης τροφής, pH, θερμοκρασία) καθώς και από το αν ο ρυθμός ανάπτυξής τους είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αποβολής των στερεών.

Τα βακτήρια είναι μονοκύτταροι αερόβιοι ετεροτροφικοί οργανισμοί, οι οποίοι συντελούν στην αποδόμηση των οργανικών ενώσεων. Υπάρχουν βακτήρια που παρουσιάζουν την τάση σχηματισμού βιοκροκίδων (floc-formers), βακτήρια ελεύθερα, διεσπαρμένα στο μικτό υγρό (free swimming) και νηματοειδή βακτήρια (filamentous).

Οι μύκητες είναι μονοκύτταροι αερόβιοι ετερότροφοι οργανισμοί, οι οποίοι ανταγωνίζονται τα βακτήρια σε pH<6. Επίσης, αποτελούν πολύ καλούς δείκτες τοξικής φόρτισης.

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι ετεροτροφικοί αερόβιοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι αποτελούν το 5-12% της συνολικής βιομάζας. Τα πρωτόζωα θηρεύουν ελεύθερα βακτήρια και αιωρούμενο οργανικό υλικό, ενώ ταυτόχρονα εκκρίνουν πολυσακχαρίτες, που συμβάλλουν στο σχηματισμό βιοκροκίδων. Οι κυριότερες κατηγορίες τους είναι τα μαστιγοφόρα, οι αμοίβες και τα βλεφαριδοφόρα.

Η μικροσκοπική παρατήρηση των πρωτόζωων μπορεί να δώσει μία εικόνα για την εκτίμηση της κατάστασης, που επικρατεί στη μονάδα. Σε ένα υγιές σύστημα

επικρατεί ισορροπη ανάπτυξη μεταξύ ελεύθερων και προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων. Σε συνθήκες υψηλής φόρτισης υπάρχει υπεραφθονία μαστιγοφόρων, αμοιβών και ελεύθερων βλεφαριδοφόρων. Τέλος, σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης μπορεί να διακρίνει κανείς υπεραφθονία προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων.

Τα τροχόζωα και οι νηματώδεις έχουν χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και ανιχνεύονται σε πολύ μικρό ποσοστό στο σύστημα της ενεργού ιλύος. Η ύπαρξή τους αποτελεί ένδειξη μεγάλης ηλικίας ιλύος ( $\theta_c$ ).

Στο σύστημα της ενεργού ιλύος, οι βιοκροκίδες είναι συσσωματώματα μικροοργανισμών, κολλοειδών και οργανικών πολυμερών. Χαρακτηρίζονται από μεγάλο πορώδες, το οποίο βοηθά στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου στη ΔΑ. Επίσης, υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάμετρο της βιοκροκίδας και στη ταχύτητα καθίζησης των στερεών στη ΔΔΚ. Στη βιοκροκίδωση διακρίνεται η μικροδομή, η οποία είναι σύνδεση floc-formers βακτηρίων με βοήθεια εξωκυτταρικών πολυμερών, το μέγεθος της είναι μικρότερο των 75  $\mu\text{m}$  και το σχήμα της είναι σφαιρικό και συμπαγές. Η ύπαρξη μόνο μικροδομής σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος μπορεί να δημιουργήσει επεξεργασμένα απόβλητα με υψηλή θολότητα, ενώ ακόμα μπορεί να παρατηρηθεί μία δυσκολία διατήρησης των στερεών στη ΔΑ.

Η ισορροπη ανάπτυξη μικροδομής - μακροδομής αποτελεί τη βέλτιστη περίπτωση, καθώς πραγματοποιείται ικανοποιητική καθίζηση και πύκνωση της ιλύος. Στη φάση αυτή, παρατηρείται ο σχηματισμός ενός πλέγματος-σκελετού, λόγω της παρουσίας των νηματοειδών βακτηρίων. Πάνω σε αυτό το πλέγμα προσκολλώνται τα υπόλοιπα βακτήρια. Το μέγεθος του κυμαίνεται από 75 - 300  $\mu\text{m}$ , ενώ το σχήμα του είναι ακανόνιστο.

Στην περίπτωση, που υπερισχύσει η μακροδομή, υπάρχει υπεραφθονία νηματοειδών, με συνέπεια να παρατηρούνται τα φαινόμενα του αφρισμού και της διόγκωσης της ιλύος. Κατά της διόγκωσης της ιλύος έχουμε τη δημιουργία χαλαρών βιοκροκίδων, καθώς και τη δημιουργία γεφύρωσης μεταξύ τους. Το φαινόμενο της διόγκωσης της ιλύος οδηγεί στη κακή πύκνωση της λάσπης, στη μείωση των στερεών στη ΔΑ, καθώς και στη διαφυγή στερεών από την υπερχειλίση.

Το φαινόμενο του αφρισμού, δημιουργεί υπερχειλίση αφρού σε όλη την εγκατάσταση της ενεργού ιλύος, καθώς και αύξηση  $BOD_{out}$  και  $SS_{out}$ , λόγω διαφυγής



του αφρού. Ακόμη, αποτελεί φορέα παθογόνων μικροοργανισμών και δημιουργεί προβλήματα οσμών.

Οι αιτίες υπεραφθονίας των νηματοειδών στο σύστημά μας μπορεί να οφείλονται στη:

- ✓ Χαμηλή τιμή DO
- ✓ Χαμηλή συγκέντρωση υποστρώματος
- ✓ Υψηλή ηλικία υλός
- ✓ Ανεπάρκεια θρεπτικών
- ✓ Ύπαρξη σηπτικών λυμάτων

Το φαινόμενο της υπεραφθονίας των νηματοειδών μπορεί να αντιμετωπιστεί με :

- Αύξηση του ρυθμού ανακυκλοφορίας της υλός
- Χλωρίωση
- Μεταβολή του παράγοντα πρόκλησης αφθονίας νηματοειδών
- Κατασκευή φρεατίου επιλογής (selector)

Ο υπολογισμός των κινητικών παραμέτρων ανάπτυξης των ετερότροφων μικροοργανισμών, έχει μεγάλη σημασία, γιατί επηρεάζει το σχεδιασμό των μονάδων, την ανάπτυξη των μοντέλων για την εκτίμηση λειτουργίας των μονάδων, καθώς και την εκτίμηση της επίδρασης των τοξικών ενώσεων, που περιέχονται στα λύματα.

Οι κινητικές παράμετροι μαθηματικά εκφράζονται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$r_s = -k \times X = -\frac{\mu_{\max}}{Y} \times X \quad (2.4)$$

$$r_x = (\mu - K_d) \times X \quad (2.5)$$

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \times S}{K_s + S} \quad (2.6)$$

$$k = \frac{k_{\max} \times S}{K_s + S} \quad (2.7)$$

Όπου:

$r_x$  = ταχύτητα κυτταρικής αύξησης ( $\text{mg l}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

$r_s$  = ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος ( $\text{mg l}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

$\mu$  = ειδική ταχύτητα αύξησης ( $\text{h}^{-1}$ )

$\mu_{\max}$  = μέγιστη ειδική ταχύτητα αύξησης ( $\text{g νέων κυττάρων g}^{-1} \text{ κυττάρων h}^{-1}$ )

$k$  = ειδική ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος =  $\mu / Y$  ( $\text{h}^{-1}$ )

$k_{\max}$  = μέγιστη ειδική ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος =  $\mu_{\max} / Y$   
( $\text{g υποστρώματος} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{μικροοργανισμών h}^{-1}$ )

$K_s$  = συγκέντρωση υποστρώματος όπου  $\mu = \mu_{\max}/2$  ( $\text{mg l}^{-1}$ )

$K_d$  = ταχύτητα ενδογενούς αναπνοής ( $\text{h}^{-1}$ )

$Y$  = συντελεστής μετατροπής υποστρώματος σε βιομάζα ( $\text{mg σχηματιζόμενων κυττάρων/mg απομακρυνόμενου υποστρώματος}$ )

$X$  = συγκέντρωση βιομάζας ( $\text{mg l}^{-1}$ )

$S$  = συγκέντρωση υποστρώματος ( $\text{mg l}^{-1}$ )

Ο προσδιορισμός των κινητικών παραμέτρων ανάπτυξης των ετερότροφων μικροοργανισμών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, κατά τον υπολογισμό τους σε αντιδραστήρες διακοπτόμενης ροής. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- ✓ Οι προγενέστερες συνθήκες ανάπτυξης της βιομάζας (υψηλότερα  $\theta_c \Rightarrow$  μικρότερα  $\mu_{\max}$ )
- ✓ Οι συνθήκες λειτουργίας των αντιδραστήρων διακοπτόμενης ροής. Αν  $S_0/X_0 > 10$ , τότε υπάρχει αλλοίωση της αρχικής βιομάζας και ευνοείται η ανάπτυξη των γρήγορα αναπτυσσόμενων βακτηρίων, ενώ αν  $S_0/X_0 < 2$ , δεν αλλοιώνεται η σύνθεση της βιομάζας.
- ✓ Οι τεχνικές προσδιορισμού  $\mu_{\max}$  (OUR, VSS). Το OUR υπολογίζει την ταχύτητα οξειδωσης του υποστρώματος, που, για χαμηλές ηλικίες υλός, είναι διαφορετική από την ταχύτητα ανάπτυξης της βιομάζας.

Σε ένα σύστημα ενεργού υλός, τα κριτήρια σχεδιασμού βασίζονται σε αρχικά εμπειρικά κριτήρια και σε αυτά, που βασίζονται στις κινητικές ανάπτυξης των μικροοργανισμών.

Στα εμπειρικά κριτήρια περιλαμβάνεται ο χρόνος αερισμού ( $\theta$ ), ο οποίος είναι μικρός σε λύματα με χαμηλή συγκέντρωση BOD και μεγάλος όταν ισχύει το αντίθετο. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η ογκομετρική φόρτιση του οργανικού φορτίου στη ΔΑ ( $L_{\text{org}}$ ,  $\text{Kg BOD} / \text{m}^3 \text{ δεξαμενής day}$ ), καθώς και η φόρτιση του

οργανικού φορτίου ανά μονάδα μάζας μικροοργανισμών (F/M, Kg BOD / Kg MLVSS day).

Τα κριτήρια, που βασίζονται στις κινητικές ανάπτυξης των μικροοργανισμών, εκφράζονται από τις σχέσεις:

$$\mu = \frac{dX}{X dt} \quad (2.8)$$

$$Y = \frac{dX}{dS} \quad (2.9)$$

$$q = \frac{dS}{X dt} \quad (2.10)$$

$$k_d = - \frac{dX}{X dt} \quad (2.11)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$\mu = Y \cdot q \quad (2.12)$$

όπου:

$\mu$  = ειδικός ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών (1/d)

$Y$  = συντελεστής μετατροπής υποστρώματος σε βιομάζα (mg VSS/mg COD)

$q$  = ειδικός ρυθμός χρήσης υποστρώματος (1/d)

$k_d$  = ειδικός ρυθμός φθοράς μικροοργανισμών (1/d)

Οι τιμές των κινητικών παραμέτρων επηρεάζονται και από την επίδραση της θερμοκρασίας:

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (2.13)$$

όπου:

$k_T$  = ταχύτητα αντίδρασης σε θερμοκρασία  $T$ , °C

$k_{20}$  = ταχύτητα αντίδρασης σε θερμοκρασία 20 °C

$\theta$  = σταθερά (1,05 για ενεργό ιλύ)

$T$  = θερμοκρασία °C

Στη μονάδα Ενεργού Ιλύος, τα ισοζύγια μάζας για την βιομάζα στη ΔΑ οδηγούν στις ακόλουθες σχέσεις:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\theta_c} &= Yq - k_d \\ q &= \frac{q_{\max}XS}{K_s + S} \end{aligned} \right\} \frac{1}{\theta_c} = Y \frac{q_{\max}S}{K_s + S} - k_d \quad (2.14)$$

όπου:

$q_{\max}$  = μέγιστη ειδική ταχύτητα απομάκρυνσης υποστρώματος =  $\mu_{\max} / Y$

(g υποστρώματος  $g^{-1}$  μικροοργανισμών  $h^{-1}$ )

S = συγκέντρωση BOD στα επεξεργασμένα απόβλητα (g BOD/ $m^3$ )

Λύνοντας ως προς S υπολογίζεται η τιμή του BOD στην έξοδο.

$$S = \frac{K_s[1 + (k_d)\theta_c]}{\theta_c(Yq_{\max} - k_d) - 1} \quad (2.15)$$

Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση, το  $BOD_{out}$  εξαρτάται από το  $\theta_c$  και από τις κινητικές παραμέτρους των μικροοργανισμών. Στην περίπτωση, όπου το  $\theta_c$  είναι μεγαλύτερο από 20 ημέρες, υπάρχει διαφυγή στερεών λόγω αποκροκίδωσης.

Χρησιμοποιώντας τα ισοζύγια μάζας του υποστρώματος στη  $\Delta A$ , υπολογίζονται τα πτητικά διαλυμένα αιωρούμενα στερεά (MLVSS) σε αυτή.

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} \left( \frac{Y(S_0 - S)}{1 + \theta_c k_d} \right) \quad (2.16)$$

Η συγκέντρωση της βιομάζας X εξαρτάται από τα  $\theta_c, \theta, Y, k_d$ , ( $BOD_{in} - BOD_{out}$ ), ενώ απαιτείται προσοχή για μεγάλες συγκεντρώσεις των MLVSS και μικρό χρόνο παραμονής  $\theta$ , καθώς δεν επιτυγχάνεται ασφάλεια σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενου υδραυλικού και οργανικού φορτίου.

Ο υπολογισμός του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος ( $r$ ) ισούται με:

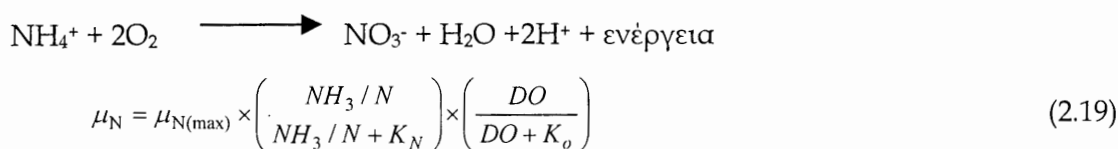
$$\frac{Q_R}{Q} = \frac{X}{X_R - X} = r \quad (2.17)$$

ενώ για τον υπολογισμό της αποβαλλόμενης ιλύος,  $Q_w$ , χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\theta_c = \frac{VX}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R} \quad (2.18)$$

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η αύξηση του  $\theta_c$  οδηγεί σε μείωση της ποσότητας αποβαλλόμενης ιλύος, αλλά και σε μεγαλύτερο κόστος για αερισμό.

Στην δεξαμενή αερισμού του συστήματος Ενεργού Ιλύος πραγματοποιείται και νιτροποίηση από χημειοαυτότροφα βακτήρια, που χρησιμοποιούν σαν πηγή άνθρακα C το διοξείδιο του άνθρακα, CO<sub>2</sub>. Η νιτροποίηση είναι πολύ ευαίσθητη διαδικασία, επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση του οξυγόνου και των τοξικών ουσιών και σταματά αν μεταβληθεί κάποια από τις παραμέτρους αυτές.



Όπου:

$\mu_N$  = ταχύτητα ανάπτυξης νιτροποιητών (day<sup>-1</sup>)

$\mu_{N\max}$  = μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης νιτροποιητών (day<sup>-1</sup>)

$\text{NH}_3/\text{N}$  = αμμωνιακό άζωτο (mg/l)

DO = διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)

$K_N$  = σταθερά κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο

$K_o$  = σταθερά κορεσμού για το οξυγόνο

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής καθίζησης στη μονάδα Ενεργού Ιλύος, στηρίζεται στο υδραυλικό φορτίο και στο φορτίο των στερεών, τα οποία αποτελούν εμπειρικά κριτήρια. Το Υδραυλικό Φορτίο κυμαίνεται μεταξύ 16-28 m<sup>3</sup> λυμάτων / (m<sup>2</sup> επιφάνειας x ημέρα), ενώ το Φορτίο Στερεών παίρνει τιμές από 4-6 Kg MLVSS/ (m<sup>2</sup> επιφάνειας x ώρα). [29]

Οι τιμές των κριτηρίων σχεδιασμού στα συστήματα Ενεργού Ιλύος, δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ	ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΧΑΜΗΛΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ
$\theta_c$	d	3-15	20-40	0,5-2
F/M	Kg BOD/Kg VSS d	0,2-0,4	0,04-0,10	1,5-2
MLSS	mg/l	1000-3000	2000-5000	200-1000
Total $\theta$	hr	4-8	20-30	1,5-3
r	%	25-75	50-150	100-150

**Πίνακας 2.1:** Τιμές Κριτηρίων Σχεδιασμού στα Συστήματα Ενεργού Ιλύος [29]

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού της δεξαμενής αερισμού ακολουθούνται τα εξής βήματα[47]:

1. Επιλογή κινητικών παραμέτρων για ετερότροφους οργανισμούς:  $\mu_{\max}$ ,  $Y$ ,  $q_{\max}$ ,  $K_s$ ,  $k_d$
2. Υπολογισμός  $\theta_c$  (για αποδόμηση οργανικών ενώσεων)
3. Υπολογισμός  $\theta_c$  (για νιτροποίηση)
4. Υπολογισμός τελικού  $\theta_c$  (με μέριμνα για συντελεστή ασφαλείας)
5. Επιλογή  $\theta$  στη δεξαμενή αερισμού, υπολογισμός VSS, MLSS
6. Επιλογή  $X_R$  στην ανακυκλοφορούσα ιλύ και υπολογισμός  $r$  και  $Q_R$
7. Υπολογισμός  $V$
8. Υπολογισμός διαστάσεων δεξαμενής αερισμού
9. Υπολογισμός πλεονάζουσας ιλύος
10. Έλεγχος  $F/M$

Τα αντίστοιχα βήματα για το σχεδιασμό της δεξαμενής καθίζησης είναι τα κάτωθι[47]:

1. Υπολογισμός επιφάνειας δεξαμενής από υδραυλικό φορτίο
2. Υπολογισμός επιφάνειας δεξαμενής από φορτίο στερεών
3. Επιλογή της μεγαλύτερης επιφάνειας
4. Υπολογισμός διαστάσεων δεξαμενής

### 2.2.1.3.2. Απομάκρυνση Αζώτου και Φωσφόρου

Η σκοπιμότητα απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου βασίζεται στην αποφυγή ευτροφισμού στους αποδέκτες και ανόδου της συγκέντρωσης των νιτρικών στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Όταν, όμως, τα επεξεργασμένα απόβλητα πρόκειται να ανακυκλωθούν άμεσα για άρδευση, τα νιτρικά και φωσφορικά είναι μάλλον επιθυμητά παρά ανεπιθύμητα και επομένως δεν απαιτείται η πρόβλεψη της απονιτροποίησης και αποφωσφόρωσης. Πάντως, η απομάκρυνση τόσο του αζώτου όσο και του φωσφόρου αλλάζει σημαντικά το σχεδιασμό της μονάδας επεξεργασίας των λυμάτων.

#### ▸ Απονιτροποίηση

Απονιτροποίηση είναι η διεργασία κατά την οποία το άζωτο των νιτρικών ανάγεται προς ατμοσφαιρικό, με ταυτόχρονη έκλυση μικρών ποσοτήτων υποξειδίου του αζώτου και μονοξειδίου του αζώτου[42]. Πραγματοποιείται από ετερότροφα βακτήρια, τα οποία μπορούν και χρησιμοποιούν τόσο  $O_2$  όσο και νιτρικά. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να πλησιάζει το μηδέν, έτσι ώστε οι μικροοργανισμοί για την οξείδωση των οργανικών ενώσεων να χρησιμοποιούν  $NO_3$ , αντί για  $O_2$ . Στην αντίθετη περίπτωση ευνοείται η αερόβια οξείδωση. Οι βιοχημικές αντιδράσεις, που λαμβάνουν χώρα κατά την απονιτροποίηση, είναι παρόμοιες με αυτές που συμβαίνουν στην αναερόβια αναπνοή, με μοναδική εξαίρεση το τελικό δέκτη  $e^-$ .

Σε ένα σύστημα που αποτελείται από ΔΑ και ΔΔΚ, ευνοϊκές συνθήκες για απονιτροποίηση συναντώνται στο εσωτερικό των βιοκροκίδων, καθώς και στον πυθμένα της ΔΔΚ (φαινόμενο ανύψωσης ιλύος). Οι παραπάνω συνθήκες επιδιώκεται να δημιουργηθούν στην ανοξική δεξαμενή του συστήματος.

Σε μια ανοξική δεξαμενή ικανοποιητική απονιτροποίηση επιτυγχάνεται από την ικανοποιητική ποσότητα οργανικού C για μετατροπή  $NO_3$  σε  $N_2$  (4-6 gr COD/gr  $NO_3-N$ ), από το είδος της οργανικής τροφής (ρυθμός απονιτροποίησης 0,02-0,36 g  $NO_3-N/g$  VSS -day) και από τη συγκέντρωση του DO, που πρέπει να είναι μικρότερη από 0,2 mg/l.

Σε μία δεξαμενή απονιτροποίησης η ιδανική οργανική τροφή έχει υψηλό ρυθμό απονιτροποίησης, δηλαδή αποτελείται από υπόστρωμα εύκολα βιοδιασπάσιμο, καθώς και με χαμηλό κόστος στην περίπτωση, που πρέπει να γίνει εξωτερική προσθήκη.

Τα συστήματα απονιτροποίησης διακρίνονται, ανάλογα με τον αριθμό των δεξαμενών, σε μονοβάθμια και διβάθμια. Ένα διβάθμιο σύστημα έχει υψηλό βαθμό απόδοσης, καθώς απομακρύνει το άζωτο σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%, αλλά και υψηλό λειτουργικό κόστος, λόγω προσθήκης εξωτερικού άνθρακα. Ακόμη, χαρακτηρίζεται και από υψηλό κατασκευαστικό κόστος, καθώς αποτελείται από δύο δεξαμενές καθίζησης.

Σε ένα μονοβάθμιο σύστημα, στο οποίο η ανοξική δεξαμενή προηγείται της αερόβιας, ο βαθμός απόδοσης απομάκρυνσης του  $N_2$  είναι χαμηλότερος, καθώς αυτή κυμαίνεται σε ποσοστό 80-90%. Το λειτουργικό κόστος του συστήματος είναι μικρότερο, αφού χρησιμοποιούνται τα λύματα ως πηγή C, ενώ γίνεται και οικονομία στην κατανάλωση  $O_2$ , καθώς τμήμα οργανικού C χρησιμοποιείται για την απονιτροποίηση. Τέλος, το κατασκευαστικό κόστος είναι χαμηλότερο, ιδίως σε περίπτωση χρήσης του συστήματος της οξειδωτικής τάφρου. Σε ένα μονοβάθμιο σύστημα, στο οποίο η αερόβια δεξαμενή προηγείται της ανοξικής, η ταχύτητα απονιτροποίησης είναι χαμηλότερη, καθώς ως πηγή C χρησιμοποιούνται τα προϊόντα της ενδογενούς αναπνοής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή μεγαλύτερου χρόνου παραμονής, θ, ενώ σε διαφορετική περίπτωση κρίνεται απαραίτητη η εξωτερική προσθήκη οργανικού C (μεθανόλη ή οξικό οξύ).

#### › Απομάκρυνση Φωσφόρου

Η παγίδευση του φωσφόρου γίνεται στα αιωρούμενα στερεά (χημικά ιζήματα, ενεργός ιλύς) και αφαιρείται στη ΔΚ. Κατά την καθίζηση κρίνεται απαραίτητη η αποφυγή επαναδιάλυσης του φωσφόρου. Η απομάκρυνση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση χημικών ενώσεων του αργιλίου, του ασβεστίου και του σιδήρου. Η προσθήκη των κροκιδωτικών μπορεί να εφαρμοστεί είτε στη ΔΠΚ (προ-κατακρήμνιση), είτε στη ΔΔΚ (ταυτόχρονη κατακρήμνιση), είτε τέλος σε χωριστή ΔΚ (μετα-κατακρήμνιση).



Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου επιτυγχάνεται με τη χρήση αναερόβιων αντιδραστήρων στην αρχή της βιολογικής επεξεργασίας. Η ακολουθία αναερόβιων - αερόβιων συνθηκών υποβοηθά την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων (πολυφωσφορικά βακτήρια), που αποθηκεύουν ενδοκυτταρικά P σε ποσοστό υψηλότερο από αυτό που είναι απαραίτητο για ανάπτυξη (2-5 φορές περισσότερο).

Στις αναερόβιες συνθήκες πραγματοποιείται παραγωγή οξικού οξέος από ζύμωση διαλυτού BOD, απορρόφηση απλών οργανικών ενώσεων και αποθήκευσή τους ενδοκυτταρικά ως πολυμερή. Η απαραίτητη ενέργεια παρέχεται από την υδρόλυση πολυφωσφορικών ενώσεων, που βρίσκονται ενδοκυτταρικά, ενώ συνδυάζεται με απελευθέρωση ορθοφωσφορικών και κατιόντων (Mn, Ca, K).

Στις αερόβιες συνθήκες η απαραίτητη ενέργεια παρέχεται από την οξείδωση αποθηκευμένων οργανικών ενώσεων, γίνεται σύνθεση νέας βιομάζας, προσρόφηση και αποθήκευση ορθοφωσφορικών. Μέσω της αποβαλλόμενης ιλύος, αποβάλλεται και μέρος του δεσμευμένου φωσφόρου.

Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου επηρεάζεται από την παρουσία νιτρικών-νιτρωδών και DO. Η παρουσία τους μειώνει το ποσοστό απομάκρυνσης του φωσφόρου, καθώς μειώνεται η διαθέσιμη συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων. Η πρόληψη των φαινομένων αυτών γίνεται με[47]:

- ✓ Αποφυγή έντονης ανάμιξης στην αναερόβια δεξαμενή
- ✓ Αποφυγή ανακυκλοφορίας ιλύος με χρήση κοχλιών
- ✓ Ελάττωση  $\theta_c$  (αν δεν απαιτείται νιτροποίηση)
- ✓ Αύξηση  $\theta$  στην αναερόβια ζώνη
- ✓ Ζύμωση πρωτοβάθμιας λάσπης για παραγωγή πτητικών οργανικών οξέων

Η βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου επηρεάζεται από τη σύσταση των λυμάτων, καθώς η απομάκρυνση P είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων, που απορροφώνται στην αναερόβια ζώνη. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει ο αναερόβιος υδραυλικός χρόνος παραμονής, ο οποίος κυμαίνεται από 0,5-2h. Πρέπει να εξασφαλίζεται ο απαραίτητος χρόνος για την παραγωγή των πτητικών οργανικών οξέων από την αναερόβια ζύμωση των εύκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων, καθώς και η κατανάλωση των πτητικών οξέων από τα πολυφωσφορικά βακτήρια και η έκλυση φωσφόρου. Στα σπυρτικά λύματα περιέχονται μεγάλες ποσότητες πτητικών οξέων, αφού έχει γίνει η αναερόβια ζύμωση, άρα ο χρόνος παραμονής  $\theta$ , που απαιτείται, είναι μικρότερος,

ενώ στα φρέσκα λύματα απαιτείται υψηλότερο  $\theta$ , ώστε να πραγματοποιηθεί η ζύμωση.

Η ηλικία της ιλύος στη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου, πρέπει να κυμαίνεται από 2-20μέρες. Υψηλότερα  $\theta_c$  έχουν σαν αποτέλεσμα μικρότερη αποβολή ιλύος και συνεπώς μικρότερη απομάκρυνση P. Κατά τη διαδικασία, το pH πρέπει να κυμαίνεται από 6,5 - 8,5 και οι αναλογίες των κατιόντων Mg, K, Ca πρέπει να είναι οι παρακάτω:

- $Mg/P = 0,71$
- $K/P = 0,5$
- $Ca/P = 0,25$

#### 2.2.1.3.3. Φρεάτια επιλογής

Η διέλευση των λυμάτων, για μερικά λεπτά, από τα φρεάτια επιλογής γίνεται για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της διόγκωσης ιλύος, καθώς και για να δημιουργηθεί ζώνη υψηλής φόρτισης ( $F/M = 6 \text{ Kg BOD/Kg VSS day}$ ). Επίσης, εκεί γίνεται και η επιλογή βακτηρίων floc-formers, τα οποία έχουν υψηλότερο ρυθμό απορρόφησης οργανικού φορτίου και μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης οργανικής τροφής.

Στο αερόβιο φρεάτιο γίνεται η αποδόμηση της οργανικής τροφής παρουσία οξυγόνου, στο ανοξικό γίνεται η αποδόμηση της οργανικής τροφής παρουσία νιτρικών, ενώ η υδρόλυση των πολυφωσφορικών ενώσεων λαμβάνει χώρα στο αναερόβιο φρεάτιο.

Τα κριτήρια, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό των φρεατίων επιλογής, είναι τα ακόλουθα:

- ✓  $F/M=6\text{KgBOD/KgVSSday}$
- ✓ Εμβολοειδής ροή ή χωρισμός σε διαμερίσματα
- ✓ Αερόβιο φρεάτιο:  $DO=1-2 \text{ mg/l}$
- ✓ Ανοξικό φρεάτιο: Αρκετά νιτρικά ώστε διαλυτό COD στην εκροή  $< 60 \text{ mg/l}$
- ✓ Αναερόβιο φρεάτιο: Απουσία νιτρικών και οξυγόνου

- ✓ Πλήρης κατανάλωση αποθηκευμένων οργανικών ενώσεων στη ΔΑ (διαφορετικά μείωση της αποθηκευτικής ικανότητας floc formers)

#### 2.2.1.4. Τοξικές Ουσίες

Με τον όρο τοξικές ουσίες νοούνται τα βαρέα μέταλλα και οι συνθετικές οργανικές ενώσεις. Η απομάκρυνση τους από το σύστημα της ενεργού ιλύος κρίνεται απαραίτητη, καθώς μειώνουν την απόδοση του και επιβαρύνουν τους τελικούς αποδέκτες από τη διάθεση της λάσπης και των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Σαν βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία, που έχουν ειδικό βάρος  $\geq 5 \text{ g cm}^{-3}$ , αν και στην πράξη γίνεται αναφορά και σε ελαφρύτερα στοιχεία (Al, Be) και μεταλλοειδή (As, Se). Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα λύματα μπορεί να έχουν διάφορες πηγές προέλευσης. Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να προέρχονται από το νερό ύδρευσης, από τη διάβρωση του αποχετευτικού δικτύου, από τα οικιακά λύματα καθώς και από τις εμπορικές δραστηριότητες. Επίσης, η εμφάνιση τους στη ΜΕΥΑ μπορεί να προέρχεται από την απορροή των ομβρίων υδάτων και από την συνεπεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων.

Κατά το σχεδιασμό μιας μονάδας, που δέχεται απόβλητα με βαρέα μέταλλα, θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση της τοξικότητας τους, βάσει βιβλιογραφικών και πειραματικών δεδομένων. Πρέπει να τονιστεί ότι η τοξικότητα είναι διαφορετική στην ενεργό ιλύ απ' ό τι στις καθαρές καλλιέργειες των μικροοργανισμών.

Τα πειράματα τοξικότητας έχουν σαν στόχο την εκτίμηση της επίδρασης των βαρέων μετάλλων:

- ✓ Στην ταχύτητα αναπνοής των μικροοργανισμών (OUR)
- ✓ Στις κινητικές παραμέτρους αύξησης των μικροοργανισμών ( $\mu_{\max}$ , Y)
- ✓ Στις επιμέρους διεργασίες ενεργού ιλύος (απομάκρυνση C, νιτροποίηση, απονιτροποίηση, βιολογική απομάκρυνση P)
- ✓ Στη μικροβιακή κοινωνία ενεργού ιλύος (είδος και μέγεθος βιοκροκιδών, ύπαρξη και είδος πρωτόζωων, αφθονία νηματοειδών)

Η τοξικότητα, που εμφανίζεται στη διεργασία της ενεργού ιλύος, επηρεάζεται από τη συγκέντρωση και τη χημική μορφή, που υπάρχει το μέταλλο στα απόβλητα.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι χαμηλές συγκεντρώσεις του βαρέως μετάλλου μπορεί να προκαλέσουν διεγερτική επίδραση στους μικροοργανισμούς.

Επίσης, η τοξικότητα επηρεάζεται από την ηλικία της ιλύος,  $\theta_c$ . Έχει παρατηρηθεί ότι αύξηση του  $\theta_c$  έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τοξικότητας. Αυτό πιθανολογείται ότι οφείλεται στο ότι υπάρχει μεγαλύτερο μέγεθος βιοκροκιδών και παραγωγή εξωκυτταρικών πολυμερών, με αποτέλεσμα να δεσμεύεται η τοξική ουσία και να μένουν ανεπηρέαστοι οι μικροοργανισμοί.

Έχει παρατηρηθεί ότι αύξηση της συγκέντρωσης των MLSS στη ΔΑ οδηγεί σε μείωση της τοξικότητας, αφού η διαθέσιμη συγκέντρωση του μετάλλου στον μικροοργανισμό είναι μικρότερη.

Η τοξικότητα εξαρτάται άμεσα και από το είδος των μικροοργανισμών και από τον εγκλιματισμό της βιομάζας. Οι αυτότροφοι μικροοργανισμοί είναι πιο ευαίσθητοι από τους ετερότροφους. Η εγκλιματισμένη βιομάζα επηρεάζεται λιγότερο από την τοξική ουσία, αφού η επαφή μαζί της στο παρελθόν έχει οδηγήσει στην επιλογή πιο ανθεκτικών μικροοργανισμών.

Τέλος, η παρουσία και άλλων μετάλλων μπορεί να προκαλέσει φαινόμενο συνεργισμού (αύξηση τοξικότητας) ή φαινόμενο ανταγωνισμού (μείωση τοξικότητας), αφού μπορεί να πραγματοποιείται αλλαγή της χημικής μορφής του μετάλλου ή να προκληθεί ανταγωνισμός για τις θέσεις διασύνδεσης.

Τα βαρέα μέταλλα, που εισέρχονται σε μια ΜΕΥΑ, μπορούν να απομακρυνθούν με προσρόφησή τους στα αιωρούμενα στερεά (κύριος μηχανισμός), με κατακρήμνιση και με μετατροπή τους σε πτητικές μορφές (μόνο για τον υδράργυρο).

Η αύξηση της συγκέντρωσης των MLSS βοηθά στην αύξηση της απομάκρυνσης των μετάλλων, γιατί οι θέσεις προσρόφησης είναι περισσότερες, ενώ ο εγκλιματισμός της βιομάζας μειώνει την απομάκρυνση, αφού οι θέσεις προσρόφησης έχουν πια κορεστεί.

Επιπλέον, αύξηση της απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων προκαλεί η ύπαρξη φρεατίου επιλογής, επειδή η παραγωγή εξωκυτταρικών πολυμερών είναι μεγαλύτερη, καθώς και η αύξηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής, αν εφαρμοστεί για πεπερασμένο χρονικό διάστημα.

Τέλος, η αποβολή των βαρέων μετάλλων επηρεάζεται από τη συγκέντρωσή τους, καθώς και από τη χημική μορφή τους.

Κατά το σχεδιασμό μιας ΜΕΥΑ, που δέχεται απόβλητα με βαρέα μέταλλα, η βιομετατροπή τους μπορεί να οδηγήσει σε προστασία των κυττάρων των μικροοργανισμών ή μπορεί να βοηθήσει στη συμμετοχή των μετάλλων στο μεταβολισμό τους.

Ειδικότερα για το Cr(VI) έχει παρατηρηθεί ότι η βιομετατροπή του επηρεάζεται από την ανεπάρκεια BOD, καθώς αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη μικρότερης αναγωγής του Cr(VI) σε Cr(III), ενώ αντίθετα η αύξηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής συνεπάγεται μεγαλύτερη αναγωγή. Μεγαλύτερη αναγωγή του Cr(VI) σε Cr(III) επιτυγχάνεται και με την ύπαρξη αναερόβιου αντιδραστήρα στη διεργασία της ενεργού ιλύος.

Οι συνθετικές οργανικές ενώσεις, που εισέρχονται στη διεργασία της ενεργού ιλύος, είτε οξειδώνονται σε CO<sub>2</sub>, είτε μετασχηματίζονται σε άλλες ενώσεις, χωρίς όμως να έχουμε πλήρη αποδόμηση. Ορισμένες από αυτές αποτελούν πηγή άνθρακα και ενέργειας για τους μικροοργανισμούς.

Η βιοαποδόμηση των συνθετικών οργανικών ενώσεων επηρεάζεται από το είδος της ουσίας, αφού έχει παρατηρηθεί, ότι ακόμα και συγγενικές ουσίες έχουν διαφορετικά ποσοστά αποδόμησης. Η ύπαρξη χαμηλότερων συγκεντρώσεων των ουσιών ευνοεί την βιοαποδόμηση. Η παρουσία εγκλιματισμένης βιομάζας βιοαποδομεί σε μεγαλύτερο ποσοστό τις ενώσεις αυτές, αφού γίνεται επιλογή μικροοργανισμών και σύνθεση κατάλληλων ενζύμων.

Η ύπαρξη και άλλων οργανικών ενώσεων μπορεί να έχει θετική επίδραση σε περίπτωση αποδόμησης μέσω συν-μεταβολισμού ή αρνητική επίδραση σε περίπτωση χρήσης της ουσίας ως πηγή άνθρακα και ενέργειας.

#### **2.2.1.5. Απολύμανση Επεξεργασμένων Αποβλήτων**

Σκοπός της απολύμανσης είναι η εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών. Το ιδανικό απολυμαντικό θα πρέπει να είναι τοξικό στους μικροοργανισμούς σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά δεν θα πρέπει να επηρεάζει τους ανώτερους οργανισμούς. Θα πρέπει να απορροφάται από τα κύτταρα, όχι όμως από το οργανικό υλικό, ενώ παράλληλα θα πρέπει να είναι διεισδυτικό στα σωματίδια και στις κυτταρικές επιφάνειες. Η διαθεσιμότητα του

απολυμαντικού θα πρέπει να είναι εύκολη και το κόστος τους χαμηλό, ενώ δεν θα πρέπει να είναι διαβρωτικό, για να μην καταστρέφεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός. Σημαντικό παράγοντα αποτελεί η ασφάλειά του κατά τη μεταφορά και τη χρήση του, ενώ θα πρέπει να είναι και διαλυτό στο νερό.

Για την απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NaOCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ , βρώμιο, ιώδιο, όζον, φαινόλες, βαρέα μέταλλα), φυσικοί παράγοντες (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, UV ακτινοβολία) καθώς και μηχανικά μέσα (λεπτοεσχάρες).

Η δράση των απολυμαντικών καταστρέφει το κυτταρικό τοίχωμα, προκαλώντας το θάνατο του κυττάρου, αλλάζει τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, με αποτέλεσμα τη διαφυγή των θρεπτικών συστατικών μέσα από αυτήν. Επίσης, μπορεί να προκαλέσουν αλλαγή στην κolloειδή υφή του πρωτοπλάσματος, συσσωματώνοντας τις πρωτεΐνες και δημιουργώντας προβλήματα στους μηχανισμούς λειτουργίας του κυττάρου. Επίσης, είναι δυνατόν να αλλάζουν το DNA και RNA του οργανισμού και να παρεμποδίζουν την ενζυμική του δραστηριότητα.

Η δράση των απολυμαντικών επηρεάζεται από το χρόνο επαφής, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωσή τους. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των προηγούμενων παραμέτρων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θανάτωση των μικροοργανισμών. Το είδος των μικροοργανισμών και η φύση των αποβλήτων, ασκούν και αυτά επιρροή στην απολυμαντική δράση. Οι μικροοργανισμοί όσο μικρότεροι είναι σε ηλικία, τόσο περισσότερο ευαίσθητοι είναι αυτοί στο απολυμαντικό. Η ύπαρξη οργανικών ενώσεων, αιωρούμενων σωματιδίων και λοιπών ουσιών στα υπό επεξεργασία απόβλητα δημιουργούν προβλήματα στη δράση των απολυμαντικών.

Κατά την απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων, η συγκέντρωση του χλωρίου, αρχικά οξειδώνει το οργανικό υλικό, το διοξείδιο σιδήρου  $\text{Fe}^{+2}$ , το μαγγάνιο  $\text{Mn}^{+2}$ , εν συνεχεία οδηγεί στο σχηματισμό και την καταστροφή των χλωραμινών, ενώ στο τέλος παρατηρείται η αύξηση του ελεύθερου διαθέσιμου χλωρίου.

Οι δόσεις του χλωρίου για τα διάφορα είδη αποβλήτων, που δίνονται από τη βιβλιογραφία, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα[47]:

Είδος αποβλήτων	Δόση χλωρίου, mg/l		
	1000 TC/100 ml	200 TC/100ml	23 TC/100ml
Ανεπεξέργαστα	15-40		
Πρωτοβάθμια	10-30	20-40	
Ενεργό ιλύ	2-10	5-15	10-30

**Πίνακας 2.2:** Δόσεις του χλωρίου για τα διάφορα είδη αποβλήτων

Η χημική σύσταση των επεξεργασμένων αποβλήτων επηρεάζει την ποσότητα του χλωρίου που θα προστεθεί. Η ύπαρξη χουμικών ουσιών δημιουργεί χλωριωμένες οργανικές ενώσεις, οι οποίες δεν είναι δραστικές για απολύμανση. Τα λίπη και τα έλαια καταναλώνουν το χλώριο, ενώ τα νιτρικά δημιουργούν παραπροϊόντα χλωρίωσης. Τέλος, ο σίδηρος και το μαγγάνιο, οξειδώνονται με το χλώριο. Για να υπολογιστεί η ποσότητα του χλωρίου που καταναλώνεται, απαιτούνται εργαστηριακά πειράματα για τα συγκεκριμένα απόβλητα ή βιβλιογραφικά δεδομένα.

Επίσης, η ποσότητα χλωρίου, που προστίθεται, επηρεάζεται και από τη συγκέντρωση των επεξεργασμένων αποβλήτων σε αιωρούμενα στερεά. Η απόδοση της απολύμανσης εξαρτάται από το υπολειμματικό χλώριο ( $C_R$ ) και από το χρόνο επαφής ( $\theta$ ). Ο υπολογισμός του υπολειμματικού χλωρίου δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{N}{N_0} = [(C_R t) / b]^{-n} \quad (2.20)$$

Όπου:

- ✓  $N$  = επιθυμητή συγκέντρωση παθογόνων στην έξοδο δεξαμενής
- ✓  $N_0$  = συγκέντρωση παθογόνων στα εισερχόμενα λύματα
- ✓  $C_R$  = υπολειμματικό χλώριο στην έξοδο δεξαμενής
- ✓  $t$  = χρόνος παραμονής στη δεξαμενή απολύμανσης
- ✓  $b$  = σταθερά = 3 - 4
- ✓  $n$  = σταθερά = 2,8

Κατά το σχεδιασμό της δεξαμενής χλωρίωσης υπολογίζεται χρόνος παραμονής 30-120 min και σχέση μήκους/πλάτος μεταξύ 20/1 έως 40/1. Η ροή, που επιλέγεται, είναι εμβολοειδής, για την ομοιόμορφη κατανομή του απολυμαντικού, ενώ για εξοικονόμηση χώρου, κρίνεται απαραίτητη η χρήση καναλιών. Η ύπαρξη

βυθισμένων διαφραγμάτων στη δεξαμενή χλωρίωσης βοηθά στην εξομάλυνση της ροής.

Πολλές φορές, στη διαδικασία απολύμανσης επεξεργασμένων αποβλήτων δημιουργούνται παραπροϊόντα του χλωρίου. Ο σχηματισμός των παραπροϊόντων ευνοείται από την ύπαρξη πρόδρομων οργανικών ενώσεων, που δεν έχουν αποδομηθεί, την ελεύθερη συγκέντρωση  $\text{Cl}_2$  και τη συγκέντρωση  $\text{Br}_2$ . Αύξηση της θερμοκρασίας και του pH, στη δεξαμενή απολύμανσης, ευνοεί τη δημιουργία παραπροϊόντων.

#### **2.2.1.6. Επεξεργασία Ιλύος**

Η επεξεργασία ιλύος γίνεται για να μειωθεί ο όγκος της. Αυτό επιτυγχάνεται με τις διαδικασίες της πάχυνσης, της αφυδάτωσης και της ξήρανσης. Επίσης, με την επεξεργασία μειώνονται οι οργανικές ενώσεις, που έχουν προσροφηθεί στα αιωρούμενα στερεά, μέσω αερόβιας ή αναερόβιας χώνευσης, κομποστοποίησης, αποτέφρωσης.

Η πύκνωση της ιλύος αυξάνει τη συγκέντρωση των στερεών σε αυτή, με αποτέλεσμα να απαιτούνται μικρότερες δεξαμενές για τη χώνευση και μικρότεροι αγωγοί και αντλίες για τη μεταφορά της λάσπης στα επόμενα στάδια της επεξεργασίας. Επίσης, χρησιμοποιούνται μικρότερες ποσότητες χημικών κατά την αφυδάτωση, ενώ παράλληλα υπάρχει και ενεργειακό όφελος στις διαδικασίες της χώνευσης και της αποτέφρωσης.

Οι δεξαμενές πύκνωσης σχεδιάζονται έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής χωρητικότητα για να αντιμετωπιστούν οι μέγιστες παροχές και να αποφευχθούν οι οσμές. Υψηλές φορτίσεις δεν προκαλούν ικανοποιητική πύκνωση, ενώ χαμηλές φορτίσεις δημιουργούν σμηπτικές συνθήκες, προβλήματα οσμών και επίπλευση στερεών. Για την αύξηση του υδραυλικού φορτίου στη δεξαμενή αυτή, γίνεται μεταφορά επεξεργασμένων λυμάτων.

##### **2.2.1.6.1. Αναερόβια Χώνευση**



Η αναερόβια χώνευση στοχεύει στη μείωση των παθογόνων οργανισμών και στην αποδόμηση των οργανικών ενώσεων, που έχουν προσροφηθεί στα στερεά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση της ιλύος. Επίσης, χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων, τα οποία έχουν υψηλά οργανικά φορτία.

Με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τη μέγιστη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου, που θα εισέλθει στον αντιδραστήρα, ενώ ταυτόχρονα γίνεται εξοικονόμηση του κόστους αερισμού με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας μέσω του παραγόμενου βιοαερίου. Επίσης πραγματοποιείται αποδόμηση των δύσκολα βιοδιασπάσιμων ενώσεων (λιπαρές ουσίες, κυτταρίνη...) και σημαντική μείωση των παθογόνων, παρουσία θέρμανσης. Τέλος, επειδή οι δεξαμενές είναι κλειστές, η όχληση λόγω οσμών και εντόμων είναι μηδαμινή.

Όμως, η αναερόβια επεξεργασία των ΥΑ αποτελεί μία αργή διαδικασία με υψηλό κατασκευαστικό κόστος, καθώς οι δεξαμενές, που απαιτούνται πρέπει να είναι κλειστές και μεγάλου μεγέθους. Ακόμα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβολές του pH, ενώ κατά το ξεκίνημα της απαιτείται μεγάλη περίοδος εγκλιματισμού. Τέλος, το σημαντικότερο μειονέκτημα της είναι ότι τα επεξεργασμένα απόβλητα έχουν μεγάλη συγκέντρωση οργανικών ουσιών με συνέπεια η διάθεση τους στο περιβάλλον να μην είναι αποδεκτή. Για το λόγο αυτό, η διαδικασία χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με την αερόβια επεξεργασία.

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο, της υδρόλυσης, ενώσεις με υψηλά μοριακά βάρη (λιπίδια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα) υδρολύονται σε απλά μονομερή (λιπαρά οξέα, μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, πυρίνες, πυριμιδίνες). Οι ενώσεις, που σχηματίζονται, είναι υδατοδιαλυτές και αποτελούν κατάλληλο υπόστρωμα βιολογικής αύξησης. Στη συνέχεια, οι ενώσεις αυτές μετατρέπονται σε οξέα ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_3COOH$ ) με τη δράση οξυγενών βακτηρίων, κατά το στάδιο της οξυγένεσης. Τα οξέα αυτά, μετατρέπονται σε  $CH_4$  και  $CO_2$  κατά το τρίτο στάδιο της μεθανογένεσης, με τη δράση των μεθανογόνων μ/ο. Η μεθανογένεση είναι η κύρια διεργασία της αναερόβιας χώνευσης και αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντά της, καθώς τα μεθανογενή βακτήρια έχουν μικρή ταχύτητα αύξησης και είναι ευαίσθητα στα τοξικά.

Η ισορροπία μεταξύ της παραγωγής των οξέων και της παραγωγής του μεθανίου είναι κρίσιμη. Οι μικροοργανισμοί που παράγουν το μεθάνιο είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές του pH. Εάν το pH μειωθεί κάτω του 6,2, η παραγωγή

CH<sub>4</sub> σταματά. Στην περίπτωση αυτή αυξάνει η συγκέντρωση των οξέων, με αποτέλεσμα την παραγωγή υλός με δυσάρεστη οσμή. Αυγή η ευαισθησία των μ/ων, που παράγουν μεθάνιο, προκαλεί την αστάθεια της αναερόβιας αποδόμησης.

Στο σύστημα της αναερόβιας χώνευσης δε γίνεται ανακυκλοφορία υλός, με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων,  $\theta$ , να ισούται με την ηλικία υλός,  $\theta_c$ . Επειδή η ταχύτητα ανάπτυξης των μεθανογενών βακτηρίων είναι μικρή, το σύστημα απαιτεί υψηλές ηλικίες υλός, με συνέπεια την ανάγκη για δεξαμενές με μεγάλο όγκο. Επίσης, η αναερόβια χώνευση επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, η οποία επιδρά στους ρυθμούς υδρόλυσης και παραγωγής μεθανίου, ενώ η διατήρησή της σε σταθερή τιμή (+/- 0,5 °C/day) κρίνεται απαραίτητη, λόγω της ευαισθησίας, που παρουσιάζουν τα μεθανογενή βακτήρια. Η ύπαρξη χαμηλότερων θερμοκρασιών στον αντιδραστήρα επιβραδύνει το ρυθμό των αντιδράσεων, με συνέπεια να χρειάζονται μεγαλύτερες ηλικίες υλός και μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενών.

Επειδή το βιοαέριο έχει υψηλή συγκέντρωση σε CO<sub>2</sub> (30-35%), πρέπει η αλκαλικότητα στα λύματα να είναι υψηλή, για να διατηρηθεί το pH. Η παραγωγή αλκαλικότητας προέρχεται από τη διάσπαση πρωτεϊνών και αμινοξέων, ενώ μπορεί να προστεθεί και εξωτερικά (ανθρακικό νάτριο, διοξείδιο του ασβεστίου).

Η ομαλή εξέλιξη της αναερόβιας χώνευσης της υλός επηρεάζεται από την παρουσία ιχνοστοιχείων, τα οποία έχουν ευεργετική επίδραση στη δράση των μεθανογενών βακτηρίων, ενώ ανασταλτικό παράγοντα της διεργασίας αποτελεί η ύπαρξη τοξικών ουσιών.

Η αναερόβια χώνευση μπορεί να γίνει σε διάφορες εγκαταστάσεις, όπως είναι το σύστημα υψηλής ταχύτητας - μίας βαθμίδας. Στο σύστημα αυτό, η ομοιόμορφη και συνεχής τροφοδότηση επιτυγχάνει τη διατήρηση σταθερών συνθηκών. Οι δεξαμενές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είναι κυλινδρικές (μεγάλη χωρητικότητα σε βιοαέριο) ή ωοειδείς (καλύτερη μίξη, μικρότερη επιφάνεια).

Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας διεργασίας πρέπει να καταστραφεί ένα ποσοστό των πιητικών αιωρούμενων στερεών VSS. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από την ηλικία της υλός  $\theta_c$ .

$$V_d = 13,7 \ln(\theta_c) + 18,9 \quad (2.21)$$

Η αναερόβια ζύμωση της ιλύος, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου, του οποίου ο παραγόμενος όγκος είναι 0,75-1,12 m<sup>3</sup> βιοαερίου/Kg VSS που καταστρέφονται, ενώ η θερμική του ικανότητα = 23\*10<sup>6</sup>J/m<sup>3</sup> βιοαερίου (φυσικό αέριο, 37\*10<sup>6</sup> KJ/m<sup>3</sup>). Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των βιοαντιδραστήρων, την ανάμιξη των λυμάτων, καθώς και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

$$V_{CH_4} = 0,40[(S_0 - S)Q - (1,42P_x)] \quad (2.22)$$

όπου,

$V_{CH_4}$ =όγκος παραγόμενου μεθανίου (m<sup>3</sup>/day)

C=συντελεστής μετατροπής του BOD σε μεθάνιο=(0,40 για 35°C)

Q=παροχή (m<sup>3</sup>/day)

$S_0$ =BOD στην εισερχόμενη ιλύ (Kg/m<sup>3</sup>)

S=BOD στην εξερχόμενη ιλύ (Kg/m<sup>3</sup>)

$P_x$ =βιομάζα που παράγεται (Kg/day)

Η θέρμανση της ιλύος κατά τη διεργασία έχει σαν στόχο την αύξηση της θερμοκρασίας της, καθώς και την κάλυψη των απωλειών από την επιφάνεια του χωνευτή. Σε ένα σύστημα υψηλής ταχύτητας - μίας βαθμίδας κατά το σχεδιασμό, θα πρέπει να υπολογιστεί ο όγκος του και να γίνει έλεγχος του φορτίου της ιλύος. Επίσης, κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός του παραγόμενου βιοαερίου και της απαιτούμενης θερμότητας.

#### 2.2.1.6.2. Αφυδάτωση

Η αφυδάτωση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στοχεύει στη μείωση της υγρασίας τους και του όγκου τους, πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα ελαττώνεται το κόστος μεταφοράς. Η μείωση της υγρασίας κρίνεται απαραίτητη στις περιπτώσεις διάθεσης των αποβλήτων σε ΧΥΤΑ, στη διεργασία της κομποστοποίησης, καθώς και για την επίτευξη της αποτέφρωσής τους.

Η αφυδάτωση μπορεί να γίνει με χρήση ταινιοφιλτρόπρεσσας, η οποία έχει μικρές ενεργειακές απαιτήσεις και χαμηλό αρχικό κόστος. Η ταινιοφιλτρόπρεσσα παράγει ιδιαίτερα αφυδατωμένη ιλύ, ενώ ταυτόχρονα ο χώρος, που καταλαμβάνει, είναι μικρός. Όμως, είναι ευαίσθητη σε ποιοτικές διακυμάνσεις της εισερχόμενης ιλύος, παράγει οσμές και απαιτεί χρήση κροκιδωτικών ουσιών. Οι διεργασίες, που απαιτούνται για την αφυδάτωση με τον τρόπο αυτό, είναι προσθήκη κροκιδωτικού, πύκνωση των αποβλήτων υπό συνθήκες κενού και τέλος συμπίεση τους. Το πλάτος της ταινιοφιλτρόπρεσσας κυμαίνεται από 0.5-3.5 m.

## 2.3. ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 2.3.1. Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον με την αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας σχεδιάζονται έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων φυσικών διεργασιών, στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Πολλές φορές οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι: η καθίζηση, η διήθηση, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιοντική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξείδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση και άλλες, που είναι μοναδικές σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση και η πρόσληψη από τα φυτά. Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες συντελούνται με 'φυσικές' ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως, σε έναν 'οικοσυστηματικό αντιδραστήρα', σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα, στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς, σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές, με επιταχυνόμενες ταχύτητες, ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας[28].

Γενικά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ονομάζονται αυτά, που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες ή συνδυασμός τους, που συμβαίνουν στο περιβάλλον[40]. Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες[28]:

1. Αυτά που βασίζονται στο έδαφος ή τα γήινα συστήματα επεξεργασίας. Μετά την εφαρμογή προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους, επιτυγχάνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, που συμβαίνουν στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής των αποβλήτων πρέπει να είναι συμβατά με το δυναμικό του κάθε συστήματος. Οι κύριοι τύποι συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς,

είναι οι: α) βραδεία εφαρμογή β) ταχεία διήθηση, γ) επιφανειακή ροή και δ) συνδυασμένοι τύποι.

2. Τα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

### 2.3.2. Ανάπτυξη των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ

Παρατηρώντας την ιστορική ανάπτυξη των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Μινωίτες υδραυλικοί γνώριζαν βασικές αρχές της υδραυλικής μηχανικής[2]. Χωρίς αυτή την παραδοχή, δε θα μπορούσε να ερμηνευθεί πώς σε πολλές πόλεις της εποχής εκείνης, εγκαταστάσεις αποχέτευσης που σώζονται σήμερα, προκαλούν το θαυμασμό σημερινών ειδικών επιστημόνων για τα τέλεια κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης, διατυπώνεται η άποψη ότι κατά το Μινωικό πολιτισμό γινόταν εφαρμογή υγρών αποβλήτων στο έδαφος με σκοπό την άρδευση και την επεξεργασία τους[2].

#### 2.3.2.1. Τα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας στις ΗΠΑ και Άλλες Χώρες.

Ουσιαστικά, η εφαρμογή φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ και άλλες χώρες χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870 (Πίνακας 2.3). Όπως στην Ευρώπη, έτσι και στις ΗΠΑ και άλλες περιοχές η 'γεωργία-λυμάτων' (sewage farming), που είναι ένας πολύ παλιός όρος και αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία, έγινε πολύ γρήγορα ευρύτατα γνωστός ως μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της υδατικής ρύπανσης. Στο πρώτο ήμισυ του εικοστού αιώνα αυτά τα συστήματα αντικαταστάθηκαν είτε με επιτόπια συστήματα επεξεργασίας είτε με: α) εφαρμογή σε ειδικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις (φάρμες), όπου οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιούνταν για φυτική παραγωγή, β) συστήματα άρδευσης διαφόρων περιβαλλόντων και κοινοχρήστων χώρων και γ) εγκαταστάσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Αυτά τα νέα σχετικά συστήματα επεξεργασίας τείνουν να επικρατήσουν κυρίως στις δυτικές και νότιες πολιτείες, όπου η αξία του νερού των υγρών αποβλήτων αποτελούσε ένα πρόσθετο πλεονέκτημα.

Τοποθεσία	Έτος έναρξης	Τύπος	Έκταση (στρ.)	Παροχή (m <sup>3</sup> /h)
Berlin, Γερμανία	1874	S/F	27196	N/A
Braunschweig, Γερμανία	1896	S/F	43991	2523
Croydon-Beddington, Αγγλία	1896	S/F	2509	725
Leamington, Αγγλία	1870	S/F	1599	142
Melbourne, Αυστραλία	1870	S/R	41603	7884
Mexico City, Μεξικό	1900	S/R	448002	89878
Paris, Γαλλία	1869	S/R	6394	12614
Wroclaw, Πολωνία	1882	S/F	7993	4415
Calumet City, MI, ΗΠΑ	1888	R/I	49	173,5
Ely, NV, ΗΠΑ	1908	S/R	1599	252
Fresno, CA, ΗΠΑ	1891	S/R	15986	4100
San Antonio, TX, ΗΠΑ	1895	S/R	15986	4415
Vineland, NJ, ΗΠΑ	1901	R/I	57	142
Woodland, CA, ΗΠΑ	1889	S/R	688	646

N/A: δεν είναι διαθέσιμη  
R/I: ταχεία εφαρμογή  
S/F: γεωργική εκμετάλλευση, βασιζόμενη σε υγρά απόβλητα  
S/R: βραδεία εφαρμογή

**Πίνακας 2.3.** Επιλεγμένα πρόδρομα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, βασιζόμενα στο έδαφος [40]

Στις ΗΠΑ ο αριθμός των δημοτικών επιχειρήσεων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που εξυπηρετούν πληθυσμό 6,6 εκατομμυρίων περίπου, αυξήθηκε από 304 το 1940 σε 571 το 1972. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις των μονάδων φυσικών συστημάτων, που υπάρχουν στις ΗΠΑ, δίνονται στον Πίνακα 2.4. Ακόμη όμως, ο αριθμός των συστημάτων αυτών αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό, στις άνω από 15000 δημοτικές επιχειρήσεις, που εκτιμάται ότι λειτουργούν στις ΗΠΑ. Με την ψήφιση του Ν.1972 για καθαρό νερό, το ενδιαφέρον έχει αναθεωρηθεί σημαντικά, ως αποτέλεσμα της έμφασης, που δίνεται, στην επαναχρησιμοποίηση του νερού, της ανακύκλωσης του νερού και των θεραπευτικών στοιχείων και τη χρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για την άρδευση φυτικών καλλιεργειών. Συγχρόνως, άρχισε να παρέχεται νομοθετικά οικονομική υποστήριξη για έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Αυτό οδήγησε στην ισότιμη αναγνώρισή της, ως τεχνικής διαχείρισης



στον τομέα της μηχανικής υγρών αποβλήτων[28].

Τύπος Συστήματος	Αριθμός Μονάδων
1. Απορροφητικά Εδαφικά Συστήματα	209 x 10 <sup>4a</sup>
2. Τεχνητές Λίμνες	7607 <sup>b</sup>
3. Βασιζόμενα σε Εφαρμογή στο Έδαφος	1225
<i>α) Βραδείας Εφαρμογής (Βραδείας διήθησης, άρδευσης κλπ.)</i>	
<i>β) Ταχεία Διήθησης (SAT)</i>	
<i>γ) Επιφανειακής Ροής</i>	
4. Υγροβιότοποι	140
<i>α) Ελευθέρως Επιφάνειας (FWS)</i>	
<i>β) Υποεπιφανειακής Ροής (SFS)</i>	
5. Υδροχαρών Φυτών	20
<i>α) Συστήματα με Επιπλέοντα Φυτά</i>	
<i>β) Συστήματα με Βυθιζόμενα Φυτά</i>	

<sup>a</sup>Πρόκειται κυρίως για μονοκατοικίες  
<sup>b</sup>Απαιτείται συμπληρωματικός έλεγχος

**Πίνακας 2.4:** Ταξινόμηση μονάδων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας στις ΗΠΑ[40]

Οι πιο πρόσφατες κατακτήσεις στα αντικείμενα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι οι τεχνητοί υγροβιότοποι με αναδυόμενα φυτά και συστήματα με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά. Το ενδιαφέρον στην εφαρμογή των τεχνητών υγροβιότοπων αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της ανανέωσης της λειτουργικότητας των φυσικών υγροβιότοπων σε συνδυασμό με την εμπειρία, που έχει αποκτηθεί από άλλα φυσικά συστήματα επεξεργασίας. Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά εφαρμόστηκαν αρχικά για αναβάθμιση εκροών τεχνητών λιμνών επεξεργασίας και σταθεροποίησης υγρών αποβλήτων. Περισσότερη, όμως, τεχνολογία, σε αυτόν τον τομέα, αποκτήθηκε με την εφαρμογή των συστημάτων υδροχαρών φυτών.

### 2.3.3. Χαρακτηριστικά των Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ

Στη συνέχεια περιγράφονται και συγκρίνονται τα φυσικά χαρακτηριστικά, τα αντικείμενα σχεδιασμού και οι δυνατότητες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με διάφορους τύπους φυσικών συστημάτων. Σύγκριση των χαρακτηριστικών των θέσεων εγκατάστασης, των ιδιαίτερων στοιχείων σχεδιασμού και της προσδοκώμενης ποιότητας των εκροών των βασικών τύπων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δίνονται στους Πίνακες 2.5, 2.6 και 2.7, αντίστοιχα. Όλοι οι τύποι των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας προϋποθέτουν προεπεξεργασία των χρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων με κάποια μηχανική και/ή συμβατική διεργασία. Η ελάχιστη προεπεξεργασία που συνιστάται είναι η εσχάρωση και/ή πρωτοβάθμια καθίζηση, με σκοπό την απομάκρυνση στερεών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα στα δίκτυα διανομής ή να δημιουργήσουν ενοχλητικές συνθήκες στον περιβάλλοντα χώρο. Η ανάγκη για υψηλότερου επιπέδου προεπεξεργασία εξαρτάται από τα αντικείμενα και τους σκοπούς του συστήματος και τους σχετικούς κανονισμούς, που ισχύουν. Σημειώνεται ότι η ικανότητα όλων σχεδόν των φυσικών συστημάτων για επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι περιορισμένη. Γι' αυτό το λόγο τα συστήματα αυτά θα πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται και να διαχειρίζονται με δεδομένη αυτήν την προϋπόθεση.

Χαρακτηριστικά	Βραδεια εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή	Υγροβιότοποι	Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά
Τύποι εδάφους	Αργιλοπηλώδη - αμμοπηλώδη	Αμμώδη - αμμοπηλώδη	Αργιλώδη - ιλυοπηλώδη	Αργιλώδη με αδιαπέραστες στρώσεις	Αργιλώδη με αδιαπέραστες στρώσεις
Κλίση	< 15% σε καλλιεργ. εδάφη < 40% σε ακαλλιέργητα	< 10% μόνο για την αποφυγή αναχωμάτων	Τελική κλίση 1-8%	Συνήθως <5%	Συνήθως <5%
Βάθος Εδάφους (m)	>0,6	>1,5	>0,3	<0,6	< 1,0
Υδραυλική αγωγιμότητα (mm/h)	Βραδεια-Μετρίως ταχεία (1,5-500)	Ταχεία (>50)	Πολύ βραδεια-Μετρίως βραδεια (<5,0)	Πολύ βραδεια έως βραδεια -	Πολύ βραδεια έως βραδεια -
Βάθος έως τον υδροφόρο ορίζοντα (m)	0,6-1	6,0 <sup>a</sup>	Δε θεωρείται κρίσιμο <sup>b</sup>	Δε θεωρείται κρίσιμο	Δε θεωρείται κρίσιμο
Κλιματικές συνθήκες (Προσυγκέντρωση-αποθήκευση)	Μόνο σε περιόδους ψύχους & ισχυρών βροχών	Όχι (πιθανές τροποποιήσεις σε περιόδους ψύχους)	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους	Συνήθως μόνο σε περιόδους ψύχους

<sup>a</sup>Σε περιπτώσεις υδροφόρων σχηματισμών σε μικρά βάθη, θα πρέπει να εγκαθίστανται κατάλληλα συστήματα στράγγισης.  
<sup>b</sup>Σε εδάφη με υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα πρέπει να θεωρούνται πιθανές επιδράσεις σε υπογείους υδροφορείς.

**Πίνακας 2.5:** Σύγκριση χαρακτηριστικών επιλογής θέσης φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων [40]

## 2.3.4. Τύποι Φυσικών Συστημάτων Επεξεργασίας ΥΑ

### 2.3.4.1. Βραδεία Εφαρμογή

Η βραδεία εφαρμογή αποτελεί τον επικρατέστερο σήμερα τύπο φυσικού συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αυτό, συνοπτικά, περιλαμβάνει την ελεγχόμενη εφαρμογή των προεπεξεργασμένων αποβλήτων σε έδαφος με φυτική βλάστηση, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους και την ικανοποίηση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών της φυτικής βλάστησης. Τα εφαρμοζόμενα απόβλητα είτε χρησιμοποιούνται για την ικανοποίηση εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών είτε διηθούνται και κατεισδύουν στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς (Σχ. 2.1). Κάθε πιθανή επιφανειακή απορροή, συνήθως, συγκεντρώνεται και επανα-εφαρμόζεται στο σύστημα. Η επεξεργασία των αποβλήτων διενεργείται καθώς αυτά διηθούνται στο έδαφος. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα απόβλητα κατεισδύουν στον υποκείμενο υπόγειο υδροφόρο, αλλά είναι δυνατό να συναντηθούν με επιφανειακό νερό ή ακόμη και να ανακτηθούν με στραγγιστικά ή φρεατικά έργα. Η ταχύτητα εφαρμογής των αποβλήτων, δηλαδή το υδραυλικό φορτίο εφαρμογής (ύψος νερού ανά μονάδα επιφάνειας), και η επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης αποτελούν βασικά στοιχεία σχεδιασμού του συστήματος.

Χαρακτηριστικά	Βραδεία εφαρμογή	Ταχεία διήθηση	Επιφανειακή ροή	Υγροβιότοποι	Επιπλέοντα υδροχαρή φυτά
Επιδιωκόμενοι σκοποί	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία και μηδενική εκροή	B/βάθμια ή προωθημένη επεξ/σία ή εμπλουτισμός υδροφόρων	B/βάθμια ή επεξεργασία με υψηλή απομάκρυνση N	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία	B/βάθμια ή προωθημένη επεξεργασία
Τεχνική εφαρμογής	Καταιονισμός ή Επιφανειακά <sup>a</sup>	Συνήθως επιφανειακά	Καταιονισμός ή επιφανειακά	Καταιονισμός ή επιφανειακά	Επιφανειακά
Υδραυλικό φορτίο (m/έτος)	0,61-6,10	6,0-90,0	7,3-56,7	5,5-18,3	5,5-18,3
Απαιτούμενη επιφάνεια (στρ./ $10^3\text{m}^3/\text{d}$ )	60-590	4,0-60	6,5-48,1	19,2-66,3	19,2-66,3
Ελάχιστη προεπεξεργασία	A/βάθμια Επεξεργασία (καθίζηση) <sup>b</sup>	A/βάθμια Επεξεργασία (καθίζηση) <sup>b</sup>	A/βάθμια επεξεργασία (εσχάρωση)	A/βάθμια επεξεργασία	A/βάθμια επεξεργασία
Διάθεση αποβλήτου (κύριοι διεργαστικοί μηχανισμοί)	Εξατμισοδιαπνοή και διήθηση-κατείδυση	Κυρίως διήθηση-κατείδυση - διαπνοή	Κυρίως επιφανειακή απορροή και εξατμισοδιαπνοή	Εξατμισοδιαπνοή-κατείδυση & απορροή	Μερική εξατμισοδιαπνοή
Φυτική βλάστηση <sup>c</sup>	Αναγκαία	Προαιρετική	Αναγκαία	Αναγκαία	Αναγκαία

<sup>a</sup> Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονται όλες σχεδόν οι μέθοδοι επιφανειακής άρδευσης (αυλάκια, λεκάνες και άλλες).

<sup>b</sup> Εξαρτάται από τη χρήση της εκροής και το είδος της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης.

<sup>c</sup> Για λόγους δημόσιας υγείας, δεν χρησιμοποιούνται συνήθως φυτά, που η παραγωγή τους καταναλώνεται άμεσα από τον άνθρωπο.

Πίνακας 2.6: Τυπικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού φυσικών ανοιγμάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Αγγελάκης, 1995).

Η εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να γίνει με μια ποικιλία μεθόδων, όπως είναι οι επιφανειακές μέθοδοι (λεκάνες, αύλακες και άλλες) ή με καταιονισμό (Σχ.2.1). Με σκοπό την επικράτηση ακόρεστων συνθηκών στο έδαφος επιβάλλεται η μη συνεχής εφαρμογή του αποβλήτου σε αυτό. Οι ενδιάμεσοι κύκλοι εφαρμογής κυμαίνονται συνήθως από 4-10 ημέρες. Η σχετικά βραδεία εφαρμογή του αποβλήτου, σε συνδυασμό με την παρουσία της φυτικής βλάστησης και την ενδογενή δυνατότητα του εδαφικού οικοσυστήματος, δημιουργούν στα συστήματα βραδείας εφαρμογής υψηλό δυναμικό επεξεργασίας.

#### **2.3.4.2. Ταχεία Διήθηση ή Εφαρμογή**

Τα συστήματα αυτά ονομάζονται επίσης SAT (Soil - Aquifer - Treatment, δηλαδή Έδαφος - Υδροφορέας - Επεξεργασία). Με τα συστήματα αυτά τα υγρά απόβλητα, που έχουν υποστεί προεπεξεργασία, εφαρμόζεται σε αβαθείς επιφανειακές λεκάνες διήθησης και επαναλαμβανόμενους κύκλους. Η εφαρμογή των αποβλήτων είναι δυνατή και με εκτοξευτές υψηλής ταχύτητας. Συνήθως, σε τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη φυτικής βλάστησης πλην της περιπτώσεως, όπου η εφαρμογή του αποβλήτου διενεργείται με εκτοξευτές. Επειδή σε τέτοια συστήματα τα φορτία και οι ταχύτητες εφαρμογής είναι σχετικά υψηλά, οι απώλειες με εξάτμιση είναι μικρές και γι' αυτό ο μεγαλύτερος όγκος των εφαρμοζόμενων αποβλήτων κατεισδύει στο έδαφος, όπου διενεργείται περαιτέρω επεξεργασία του.

Τα συστήματα ταχείας διήθησης περιλαμβάνουν επεξεργασία, που ακολουθείται από:

- Εμπλουτισμό του υπογείου υδροφορέα για αναπλήρωση και/ή προστασία του κυρίως από διείσδυση και ανάμειξη με αλμυρό νερό.
- Ανάκτηση με στράγγιση ή άντληση.
- Φυσική ροή του υπογείου νερού και απόληξη σε επιφανειακή πηγή.

Το δυναμικό επεξεργασίας με τέτοια συστήματα είναι κατά κάποιο τρόπο μικρότερο από αυτό των συστημάτων βραδείας εφαρμογής, εξαιτίας της μικρότερης κατακράτησης σε πιο περατά εδάφη εφαρμογής και με μεγαλύτερες ταχύτητες του υδραυλικού φορτίου (Πίνακας 2.7).

Συστατικό	ΒΡΑΔΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ <sup>α</sup>		ΤΑΧΕΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗ <sup>β</sup>		ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΡΟΗ <sup>γ</sup>	
	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος	Υψηλότερη Δυνατή	Μέσος Όρος
BOD <sub>5</sub>	<5	<2	<10	5	<15	10
SS	<5	<1	<5	2	<20	10
N-NH <sub>4</sub>	<2	<0,5	<2	0,5	<8	4
Ολικό N	<8	3	<20	10	<10	5
Ολικός P	<0,3	<0,1	<5	1	<6	4
Κολοβακτηρίδια (No/100 cm <sup>3</sup> )	<10	0	<200	10	<200	200

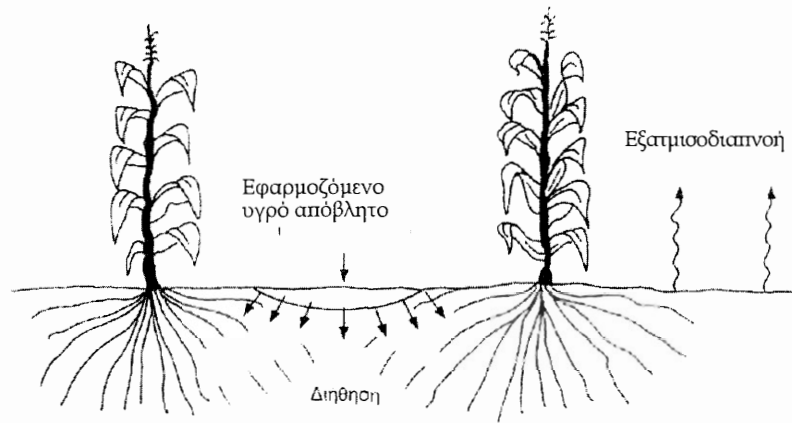
<sup>α</sup> Κατείδυση μέχρι 1,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής υπό ακόρεστες συνθήκες.

<sup>β</sup> Κατείδυση μέχρι 4,5 m βάθους πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκροής. Για μεγαλύτερα βάθη κατείδωσης έχουν διαπιστωθεί ακόμη υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το P και τα κολοβακτηρίδια.

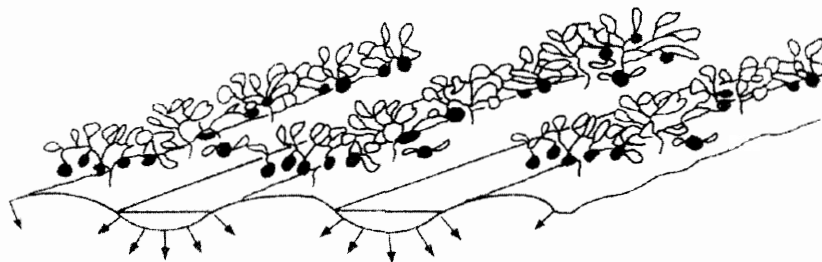
<sup>γ</sup> Απορροή αστικού υγρού αποβλήτου σε κλίση 45 m περίπου.

<sup>δ</sup> Όλες οι μονάδες μέτρησης αναφέρονται σε mg/l εκτός από αυτές, που γίνεται ειδική αναφορά.

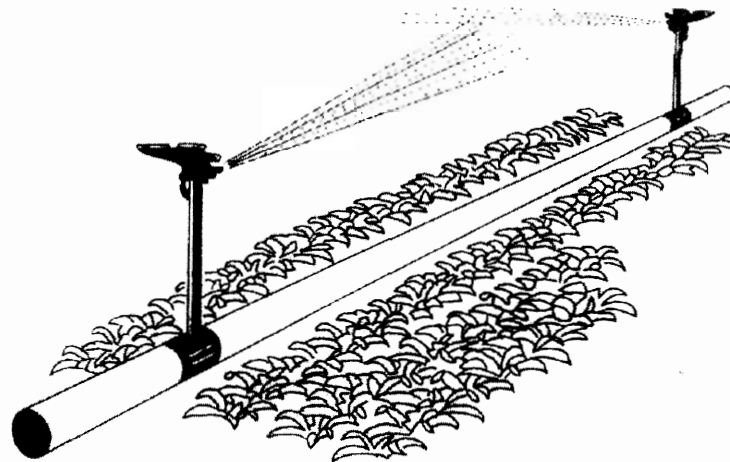
**Πίνακας 2.7:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με γήινα φυσικά συστήματα<sup>δ</sup>[40]



(α)



(β)



(γ)

**Σχήμα 2.1.** Σχηματική αλεικόνιση συστήματος βραδείας εφαρμογής:  
 α) Υδραυλική Ροή, β) Επιφανειακή Εφαρμογή και γ) Εφαρμογή με Καταιονισμό[28]



#### 2.3.4.3. Επιφανειακή Ροή

Τα συστήματα επιφανειακής ροής βασίζονται στην εφαρμογή των προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων κατά μήκος της υψηλότερης πλευράς μιας διαβαθμισμένης, κεκλιμένης επιφάνειας με φυτική βλάστηση, που επιτρέπει την ροή του σε όλη την έκτασή της και τη συλλογή της επεξεργασμένης εκροής στο τέλος της κλίσης της. Μια σχηματική απεικόνιση αυτών των διεργασιών δίνεται στο Σχήμα 2.2.

Συνήθως, τα συστήματα επιφανειακής ροής εφαρμόζονται σε θέσεις με εδάφη σχετικά αδιαπέραστα, αν και οι διεργασίες αυτών των συστημάτων έχουν εφαρμογή σε μια ποικιλία εδαφικών τύπων και κυρίως υδραυλικών αγωγιμοτήτων, επειδή η περατότητα του εδάφους, σε τέτοια συστήματα, μειώνεται σημαντικά με το χρόνο. Με αυτά τα συστήματα, η εδαφική διήθηση του αποβλήτου είναι περιορισμένη και αποτελεί μια μειωμένη υδραυλική δίοδο του αποβλήτου. Ο κύριος όγκος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου συλλέγεται ως επιφανειακή απορροή. Μέρος του εφαρμοζόμενου αποβλήτου εξατμιοδιαπνέεται. Οι συνολικές απώλειες του υγρού αποβλήτου εξαρτώνται από την εποχή του έτους, τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και το είδος της φυτικής βλάστησης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με εναλλασσόμενες περιόδους εφαρμογής και ανάπαυσης (ξήρανσης). Η χρονική διάρκεια της κάθε περιόδου εξαρτάται από το σκοπό της επεξεργασίας. Σ' αυτά τα συστήματα η διανομή γίνεται με εκτοξευτές υψηλής ή χαμηλής πίεσης ή με επιφανειακές μεθόδους, όπως είναι οι σωλήνες με ρυθμιζόμενες εξόδους.

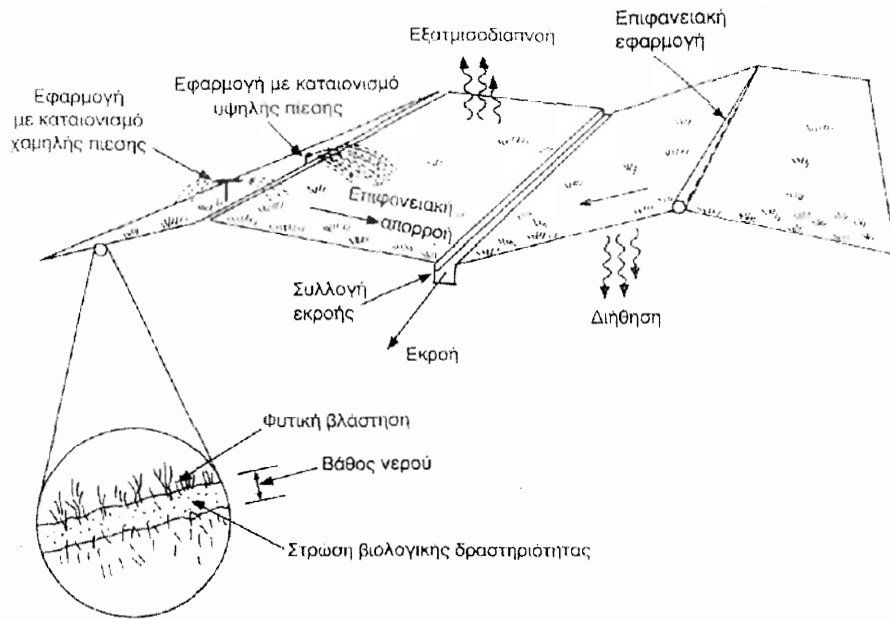
#### 2.3.4.4. Υγροβιότοποι

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό, συνήθως μικρού βάθους (< 0,6 m), στα οποία αναπτύσσονται φυτά, όπως διάφορα είδη κύπερης (φυτά της οικογένειας *Cyperaceae*, κυρίως του γένους *Carex spp.*), καλάμια (φυτά του γένους *Phragmites*, κυρίως του είδους *P.communis*), είδη βούρλων (φυτά του γένους *Scirpus*) και άλλα, όπως είναι είδη ψαθίου και αφράτου (φυτά του γένους *Typha*). Τυπικά φυτά που χρησιμοποιούνται σε υγροβιότοπους αναφέρονται στο Σχήμα 2.3. Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των

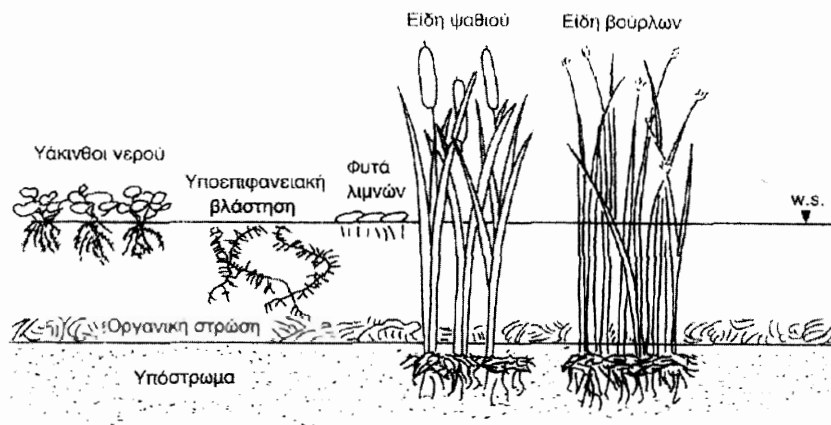
βακτηριακών μεμβρανών, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών των αποβλήτων, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί, όσο και οι φυσικοί υγροβιότοποι. Οι φυσικοί όμως υγροβιότοποι έχουν περιορισμένη χρήση στην αποδοχή και/ή περαιτέρω επεξεργασία εκροών δευτεροβάθμιας ή ακόμη προωθημένης επεξεργασίας.

› **Φυσικοί υγροβιότοποι**

Από μια κανονιστική άποψη οι φυσικοί υγροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως υδατικοί αποδέκτες. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, που οι φυσικοί υγροβιότοποι δέχονται εκροές δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας, πληρούν κανονιστικές απαιτήσεις. Επιπλέον, το κύριο αντικείμενο χρησιμοποίησης φυσικών υγροβιότοπων, ως αποδεκτών εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, είναι η ενίσχυση προϋπάρχοντος εθίμου. Τροποποιήσεις σε υπάρχοντες υγροβιότοπους με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών επεξεργασίας πρέπει γενικά να αποφεύγονται, γιατί μπορεί να προξενήσουν προβλήματα στο φυσικό οικοσύστημα.



Σχήμα 2.2. Σχηματική παράσταση των διεργασιών ενός συστήματος επιφανειακής ροής[28]



Σχήμα 2.3. Σχηματική απεικόνιση συστήματος υδροχαρών φυτών[40]

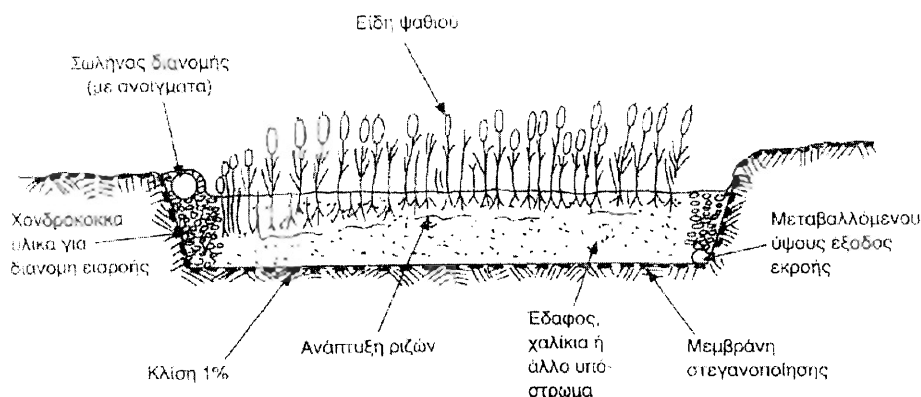
#### ▸ Τεχνητοί υδροβιότοποι

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν όλες τις δυνατότητες των φυσικών υδροβιότοπων, αλλά χωρίς τους περιορισμούς, που αφορούν στη διάθεση εκροών σε φυσικά οικοσυστήματα. Για την περαιτέρω επεξεργασία προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι:

- i. Αυτά της ελεύθερης επιφάνειας (FWS) και
- ii. Τα υποεπιφανειακής ροής (SFS).

Τα FWS συστήματα αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1-0,6 m). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται συνεχώς προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη εκροή τους ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών και ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος. Επίσης, τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιάζονται με σκοπό τη δημιουργία νέων εθίμων και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για την αποδοχή υδροβιότοπων ή ενίσχυση υφιστάμενων φυσικών υδροβιότοπων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναπτύσσεται ένας συνδυασμός υδατικών επιφανειών, με βλάστηση και ανοιχτών και μικρών νησίδων με την κατάλληλη βλάστηση και ενίσχυση της ροής του νερού με αναζωογόνηση των υφιστάμενων εθίμων.

Ανάλογα, τα συστήματα τύπου SFS σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται επίσης συστήματα 'ριζόσφαιρας' ή 'φίλτρων εδάφους-καλαμιών' και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες, που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης (Σχ. 2.4). Περισσότερα στοιχεία για τα συστήματα των Τεχνητών Υδροβιότοπων δίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 2.4. Εγκάρσια τομή ενός τοπικού SFS συστήματος[40]

#### 2.3.4.5. Συστήματα Επιπλεόντων Υδροχαρών Φυτών

Τα συστήματα επιπλεόντων υδροχαρών φυτών μοιάζουν στη βασική σύλληψή τους με αυτά των υγροβιότοπων ελευθέρως επιφανείας με τη διαφορά ότι τα χρησιμοποιούμενα φυτά είναι επιπλέοντα είδη, όπως είναι ο υάκινθος του νερού (*Eichhornia crassipes*) και διάφορα είδη της οικογένειας *Lemnaceae* (Σχ. 2.3). Σ' αυτά τα συστήματα το βάθος του νερού είναι συνήθως μεγαλύτερο από αυτό των συστημάτων των τεχνητών υγροβιότοπων (FWS) και συνήθως κυμαίνεται από 0,5 έως 1,8 m. Επίσης, σ' αυτά τα συστήματα εφαρμόζεται συνήθως συμπληρωματικός αερισμός για την αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας και τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών και βιολογικού ελέγχου της ανάπτυξης κουνουπιών. Τέτοια επιπλέοντα υδροχαρή φυτά έχουν, επίσης, χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση αλγών από εκροές λιμνών σταθεροποίησης. Τα συνήθη υδραυλικά φορτία και η ειδική έκταση των συστημάτων επεξεργασίας με επιπλέοντα υδροχαρή φυτά είναι ισοδύναμα των αντίστοιχων συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων (Πίνακας 2.6).

#### 2.3.4.6. Υδατοκαλλιέργεια

Υδατοκαλλιέργεια είναι η ανάπτυξη ψαριών και άλλων υδροβίων οργανισμών σε εκροές υγρών αποβλήτων, για την παραγωγή πηγών φυτικών τροφών και κυρίως βιομάζας. Σε διάφορες χώρες, τα υγρά απόβλητα έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές περιπτώσεις υδατοκαλλιεργειών. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις το κύριο αντικείμενο τέτοιων συστημάτων ήταν η παραγωγή βιομάζας και η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελούσε επί μέρους ή δευτερεύοντα σκοπό. Η επιτυχάνουσα, με τέτοια συστήματα, επεξεργασία οφείλεται εξ ολοκλήρου στα βακτήρια, που αναπτύσσονται και εγκαθίστανται στα επιπλέοντα υδροχαρή φυτά[33]. Γενικά, ο συνδυασμός της υδατοκαλλιέργειας και της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ως μιας ενιαίας λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Ιδιαίτερα, θα πρέπει να καθορισθεί η επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία, που μπορεί να οφείλεται στους υδρόβιους οργανισμούς, που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα.

### 2.3.5. Συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που βασίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών που αναφύονται, όπως νεροκάλαμα, βούρλα και ψαθί. Σε τέτοια συστήματα, η εφαρμογή των αποβλήτων διενεργείται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Με βάση την αρχή αυτή, τα συστήματα των τεχνητών υδροβιότοπων διακρίνονται σε αυτά με ελεύθερη επιφάνεια νερού (FWS) και σε αυτά με βυθισμένη βάση ή υποεπιφανειακή ροής (SFS).

Στη συνέχεια, αναφέρονται στοιχεία προκαταρκτικού σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός τους περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, το μέγεθος, την επιλογή και τον επιτόπιο σχεδιασμό των επί μέρους τμημάτων τους, το δίκτυο μεταφοράς, τους σταθμούς άντλησης, όπως αναλυτικά περιγράφονται από την Metcalf and Eddy Inc., (1981). Οι τεχνητοί υδροβιότοποι έχουν χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία εφαρμογών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται εφαρμογές από υγρά απόβλητα απορροφητικών συστημάτων μέχρι διάφορα είδη βιομηχανικών αποβλήτων. Στη συνέχεια γίνονται αναφορές για τη χρήση των τεχνητών υδροβιότοπων στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων.

#### 2.3.5.1. Εκτίμηση και Επιλογή θέσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά της θέσης, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υδροβιότοπων, είναι η τοπογραφία, η εδαφολογία, η χρήση γης, η υδρολογία και το κλίμα της περιοχής.

- **Τοπογραφία.** Με δεδομένο ότι τα συστήματα τεχνητών υδροβιότοπων με ελεύθερη επιφάνεια (FWS) σχεδιάζονται σε επίπεδες λεκάνες ή κανάλια και αυτά με βυθισμένη βάση (SFS) σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με κλίσεις 1% ή ελαφρώς μεγαλύτερες γενικά, απαιτείται ομοιόμορφη τοπογραφία (από επίπεδη έως ελαφρώς κεκλιμένη). Είναι φανερό ότι τέτοια συστήματα μπορούν να κατασκευασθούν και σε ανομοιόμορφες εκτάσεις με μεγάλες κλίσεις, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις το κόστος εκσκαφής, ίσως, να είναι απαγορευτικό.

Γενικά, κατάλληλες θέσεις για υγροβιοτόπους θεωρούνται αυτές με κλίσεις μικρότερες από 5%.

- **Εδαφολογία.** Θέσεις με εδάφη ή υπεδάφη με μικρή σχετικά περατότητα (<5 mm/h) είναι πιο επιθυμητές για συστήματα υγροβιοτόπων, αφού ο αντικειμενικός σκοπός τους είναι η επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε μια υδατική στρώση, πάνω από το χρησιμοποιούμενο εδαφικό υπόστρωμα. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων με διήθησή τους στο έδαφος. Σε συστήματα υγροβιοτόπων, όπως και σε αυτά επιφανειακής ροής, οι πόροι στο επιφανειακό έδαφος τείνουν να αποφράσσονται, εξαιτίας της κατακράτησης στερεών και των αναπτυσσόμενων αποικιών βακτηρίων. Επίσης, σε φυσικά εδάφη, είναι δυνατή η ελάττωση της περατότητας τους με συμπίεση τους στη διάρκεια κατασκευής του έργου. Θέσεις με πολύ πέρατα εδάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην περίπτωση κατασκευής μικρών συστημάτων με αργλικές βάσεις ή άλλα τεχνητά υποστρώματα.
- **Χρήση Γης.** Γενικά, προτιμούνται ανοικτές γεωργικές εκτάσεις, ιδιαίτερα εκείνες που ευρίσκονται σε υπάρχοντες φυσικούς υγροβιοτόπους. Οι τεχνητοί υγροβιοτόποι επιδρούν αυξητικά και βελτιωτικά σε υπάρχοντες φυσικούς υγροβιοτόπους με προσθήκη υδρόβιας δραστηριότητας και εξασφάλιση σταθεράς υδατοτροφοδοσίας τους. Σε πολλές περιπτώσεις επιδρούν θετικά στην ποιοτική αναβάθμιση των περιοχών εγκατάστασής τους.
- **Υδρολογία.** Οι υγροβιοτόποι πρέπει να βρίσκονται έξω από περιοχές επιδεκτικές σε πλημμύρες εκτός αν παρέχεται ιδιαίτερη προστασία τους από πλημμυρικά συμβάντα. Σε περιπτώσεις που συμβαίνουν μικρής έκτασης πλημμυρικά γεγονότα, ιδιαίτερα στη περίοδο του χειμώνα, που η λειτουργία τους περιορίζεται, δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία τους.
- **Κλίμα.** Η χρήση τεχνητών υγροβιοτόπων είναι δυνατή ακόμη και σε ψυχρά κλίματα. Ως παράδειγμα αναφέρεται το FWS σύστημα του Listowel του Ontario, που λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και με θερμοκρασία του υγρών αποβλήτων μέχρι και 3 °C. Γενικά, όμως, η αποτελεσματικότητα λειτουργίας ενός συστήματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία των εφαρμοζόμενων υγρών αποβλήτων και τον επιδιωκόμενο σκοπό της επεξεργασίας τους. Έτσι, με δεδομένο ότι οι κύριοι μηχανισμοί επεξεργασίας είναι κυρίως βιολογικής φύσης, η απόδοση επεξεργασίας είναι σημαντικά



εξαρτώμενη από την επικρατούσα θερμοκρασία. Γι' αυτό, απαιτείται αποθήκευση των εφαρμοζόμενων αποβλήτων, όταν δεν επιτυγχάνεται ο αντικειμενικός σκοπός κατασκευής του δεδομένου συστήματος.

#### **2.3.5.2. Προεπεξεργασία Υγρών Αποβλήτων**

Το ελάχιστο επίπεδο προεπεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε συστήματα υγροβιοτόπων είναι εκροές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή αεριζόμενων τεχνητών λιμνών με μικρό χρόνο παρακράτησης ή άλλων ισοδυνάμων με αυτές. Το επίπεδο προεπεξεργασίας εξαρτάται από τα ποιοτικά κριτήρια, που πρέπει να πληρεί η τελική εκροή, και την ικανότητα απομάκρυνσης του δεδομένου συστήματος. Σημειώνεται ότι σε τεχνητούς υγροβιοτόπους έχουν χρησιμοποιηθεί και εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ή ακόμη και προωθημένης επεξεργασίας, προκειμένου να αντιμετωπισθούν τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις. Γενικά, όμως, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών, που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλγών, επειδή αυτά, όπως και τα συστήματα επιφανειακής ροής, δεν απομακρύνονται αποτελεσματικά και δημιουργούν διάφορα λειτουργικά προβλήματα. Επίσης, επειδή η απομάκρυνση φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, συνίσταται η απομάκρυνσή του κατά την προεπεξεργασία του αποβλήτου, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τη συγκέντρωσή του στην τελική εκροή.

#### **2.3.5.3. Επιλογή και διαχείριση της φυτικής βλάστησης**

Η φυτική βλάστηση ασκεί ένα πολύ σημαντικό και ολοκληρωμένο ρόλο στη λειτουργία των συστημάτων υγροβιοτόπων με τη μεταφορά οξυγόνου μέσω του ριζικού συστήματος στον πυθμένα των λεκανών επεξεργασίας. Έτσι, εφοδιάζεται με οξυγόνο το μέσο κάτω από την επιφάνεια του νερού, για την ανάπτυξη και συγκράτηση των μικροοργανισμών, που διενεργούν τη βασική επεξεργασία του εφαρμοζόμενου αποβλήτου. Διάφορα είδη φυτών, που ριζοβολούν σε χονδρόκοκκα

υποστρώματα και αναφύονται ή και βλασταίνουν πάνω από την επιφάνεια του νερού, χρησιμοποιούνται στα συστήματα υδροβιοτόπων. Τα πιο συνήθη είδη φυτών είναι διάφορα της οικογένειας *Cyperaceae*, κυρίως του γένους *Carex spp.* (είδη κύπερης) και των γενών *Scirpus*, *Typha* και *Phragmites*, δηλαδή βούρλων, ψαθιού και νεροκαλάμων, αντίστοιχα. Τα είδη αυτά συναντώνται σχεδόν παντού και είναι ανεκτικά στην υγρασία και τις χαμηλές θερμοκρασίες (ψύξη). Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά αυτών των φυτών, σχετικά βέβαια με το σχεδιασμό τεχνητών υδροβιοτόπων, είναι το απαιτούμενο βάθος νερού και το βάθος ριζοβολίας σε συστήματα FWS και SFS, αντίστοιχα. Τα είδη του γένους *Typha* τείνουν να επικρατούν σε νερό βάθους πάνω από 0,15 m. Τα είδη του γένους *Scirpus* αναπτύσσονται σε βάθος νερού από 0,05 έως 0,25 m. Τα είδη του γένους *Phragmites* αναπτύσσονται σε βάθος νερού μέχρι 1,5 m, αλλά ο μεταξύ τους ανταγωνισμός περιορίζεται σε μικρά βάθη νερού. Τέλος, τα είδη της οικογένειας *Cyperaceae* συναντώνται σε μικρά βάθη νερού, μικρότερα ακόμη και απ' αυτά, στα οποία αναπτύσσονται τα είδη του γένους *Scirpus*. Το ριζικό σύστημα των ειδών του γένους *Typha* επεκτείνεται μέχρι βάθους 0,3 m, ενώ αυτών του γένους *Phragmites* άνω των 0,6 m και αυτών του γένους *Scirpus* άνω των 0,76 m. Είδη των γενών *Phragmites* και *Scirpus* θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα SFS, επειδή το βάθος ριζοβολίας τους επιτρέπει τη χρήση λεκανών μεγαλύτερου βάθους.

Γενικά, στους τεχνητούς υδροβιοτόπους και ιδιαίτερα στα συστήματα SFS δεν απαιτείται η συγκομιδή της φυτικής βλάστησης. Όμως, στα συστήματα FWS απαιτείται περιοδική καταστροφή της υπάρχουσας ξηράς βλάστησης με σκοπό τη διατήρηση συνθηκών ελεύθερης ροής και παρεμπόδιση της δημιουργίας ροής σε άλακες. Συνήθως δεν ενδείκνυται συγκομιδή-απομάκρυνση της φυτικής βιομάζας με σκοπό την αύξηση της απομάκρυνσης θρεπτικών στοιχείων.

#### 2.3.5.4. Σχεδιασμός Παραμέτρων

Όπως προαναφέρεται, οι τεχνητοί υγροβιότοποι, ελεύθερης και υποεπιφανειακής ροής, αν και αποτελούν νέες τεχνολογίες, είναι σήμερα ευρύτατα διαδεδομένοι σε όλες σχεδόν τις ΗΠΑ. Οι Brown and Reed (1994) βασιζόμενοι σε μια προκαταρκτική επισκόπηση-θεώρηση τέτοιων συστημάτων στις ΗΠΑ, συμπεραίνουν ότι τα συστήματα αυτά είναι τόσο αξιόπιστα όσο και χαμηλού σχετικά κόστους, κυρίως σε ό,τι αφορά την απομάκρυνση BOD και διαλυμένων στερεών κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Αντίθετα, τα συστήματα αυτά υστερούν σε ό,τι αφορά την απομάκρυνση NH<sub>3</sub>, που πιθανόν οφείλεται σε περιορισμένο εφοδιασμό με οξυγόνο. Γι' αυτό απαιτείται πρόσθετη ερευνητική εργασία προσδιορισμού του κατάλληλου σχεδιασμού σε περιπτώσεις εξειδικευμένων συστημάτων απομάκρυνσης ειδικών συστατικών-ρυπαντών των αποβλήτων.

Στα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων ο σχεδιασμός των βασικών παραμέτρων, όπως είναι ο υδραυλικός χρόνος παρακράτησης, η γεωμετρία (μήκος και πλάτος) λεκάνης, η ταχύτητα του φορτίου BOD<sub>5</sub> και η ταχύτητα υδραυλικού φορτίου, τυγχάνει πρωτίστης σημασίας. Τυπικές διακυμάνσεις αυτών των παραμέτρων δίδονται στον Πίνακα 2.8.

Παράμετροι σχεδιασμού	Μονάδες	ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
		FWS	SFS
Υδραυλικός χρόνος κράτησης	d	5-14	5-14
Βάθος νερού	m	0,1-0,5	0-0,8
Μέγιστος ρυθμός εφαρμογής φορτίου BOD	kg/στρ.d	8	8
Ταχύτητα υδραυλικού φορτίου	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	0,01-0,06	0,01-0,06
Απαιτούμενη έκταση	στρ./m <sup>3</sup> d	0,02-0,14	0,02-0,14
Κάτοψη (αναλογία μήκους/πλάτους)	-	2:1-10:1	<1
Έλεγχος κουνουπιών	-	Απαιτείται	Δεν απαιτείται
Συχνότητα συγκομιδής φυτικής βλάστησης	year	3-5	1-2

Πίνακας 2.8: Βασικά στοιχεία σχεδιασμού συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων[40]

### 2.3.5.4.1. Υδραυλικός Χρόνος Παρακράτησης

Για συστήματα FWS, που σχεδιάζονται για την απομάκρυνση BOD, ο απαιτούμενος υδραυλικός χρόνος παρακράτησης μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση του ακόλουθου μοντέλου[33]. Η εξίσωση, στην οποία βασίζεται το μοντέλο αυτό είναι η ακόλουθη:

$$C_e / C_0 = L_0 \exp(-0,7 K_T A_V^{1,75} L W d n / Q) \quad (2.23)$$

όπου,

$C_e$ : απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή ( $ML^{-3}$ )

$C_0$ : συγκέντρωση BOD στην εισροή ( $ML^{-3}$ )

$L_0$ : εμπειρικός συντελεστής, που βασίζεται στο κλάσμα BOD που δεν απομακρύνεται (0,52 περίπου για εκροή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας)

$A_V$ : ειδική επιφάνεια ( $L^2L^{-3}$ ),  $15,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$  για τυπική φυτική βλάστηση

$L$ : μήκος του συστήματος (L)

$W$ : πλάτος του συστήματος (L)

$d$ : βάθος νερού (L)

$n$ : αποδοτικό πορώδες μέσο του συστήματος (0,75 για αναφυόμενη φυτική βλάστηση)

$K_T$ : σταθερά κινητικής, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ( $T^{-1}$ )

$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$ , όπου

$K_{20}$ : σταθερά σε θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  ( $0,0057 \text{ d}^{-1}$ )

$\Theta = 1,10$  και  $T$ : θερμοκρασία νερού,  $^\circ\text{C}$ , και

$Q = (Q_e + Q_0)/2$  [ $L^3T^{-1}$ ], όπου

$Q_0$  και  $Q_e$ : παροχές εισροής και εκροής αντίστοιχα, [ $L^3T^{-1}$ ]

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής δίνεται από την εξίσωση:

$$t = L W d n / Q \quad (2.24)$$

όπου  $L W d n$  ορίζεται ο όγκος πορώδους τους υποστρώματος σε  $\text{m}^3$ .

Για τα συστήματα SFS τεχνητών υγροβιοτόπων έχει αναπτυχθεί ένα

παρόμοιο μοντέλο υπολογισμού του χρόνου κράτησης, που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση BOD[33]. Γενικά, η ροή σ' ένα σύστημα SFS δίνεται από το νόμο του Darcy, δηλαδή:

$$Q = K \cdot A_S \cdot S \quad \text{ή} \quad A_S = Q / K \cdot S \quad (2.25)$$

όπου

Q: ροή στη μονάδα του χρόνου [ $L^3T^{-1}$ ]

k: υδραυλική αγωγιμότητα [ $L^3L^{-2}T^{-1}$ ]

$A_S$ : επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση ροής [ $L^2$ ]

S: υδραυλική κλίση της λεκάνης  $dd/dx$ . Στη Δυτική Γερμανία χρησιμοποιούνται ταχύτητα ροής  $< 8,6 \text{ m/d}$  και  $S = 8,6/K$ .

$$\text{Επίσης, } A_S = d \cdot W \quad (2.26)$$

όπου

W: πλάτος υποστρώματος [L]

d: βάθος λεκάνης [L].

Συνιστάται η χρησιμοποίηση  $d = 0,3, 0,6$  και  $0,76$  για τα είδη των γενών *Typha*, *Phragmites* και *Scirpus* αντίστοιχα.

Από την εξίσωση (2.26) υπολογίζεται:

$$W = A_S / d = Q / dKS \quad (2.27)$$

Η απομάκρυνση BOD σ' ένα σύστημα SFS υπολογίζεται με την εξίσωση κινητικής πρώτης τάξης, δηλαδή

$$C_e / C_0 = \exp(-K_T t') \quad (2.28)$$

Όπου

$C_0$ : συγκέντρωση BOD στην εισροή

$t'$ : χρόνος κράτησης πορώδους

$C_e$ : απαιτούμενη συγκέντρωση BOD στην εκροή και  
 $K_T$ : σταθερά εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία [T], που υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (2.29), δηλαδή

$$K_T = K_{20}\Theta^{(T-20)} \quad (2.29)$$

Στην εξίσωση (2.28) ο χρόνος  $t'$  ορίζεται ως ο θεωρητικός χρόνος κράτησης πορώδους, βασιζόμενος στο πορώδες του μέσου:

$$t' = Lw\alpha/Q \quad (2.30)$$

όπου  $\alpha$ : πορώδες υποστρώματος της λεκάνης.

Ο πραγματικός χρόνος κράτησης,  $t$ , είναι συνάρτηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του μέσου και του μήκους της λεκάνης κι υπολογίζεται από την εξίσωση:

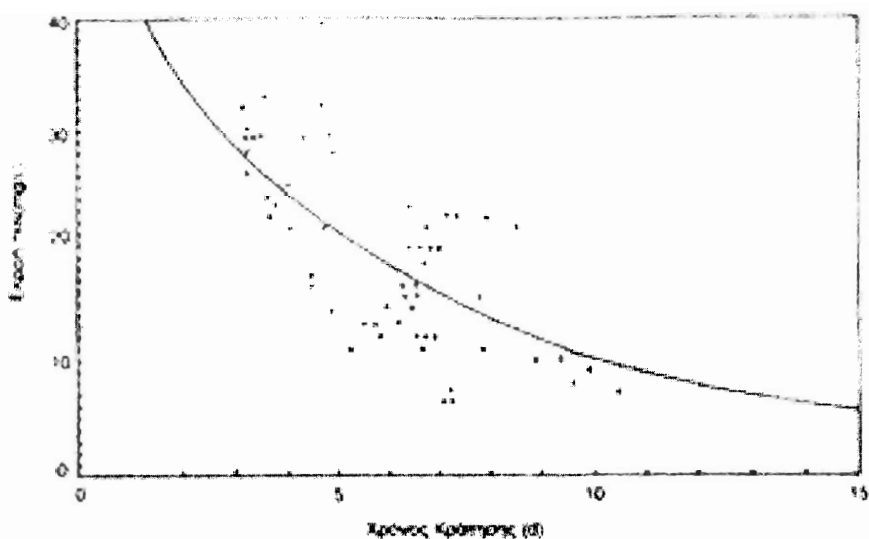
$$t = L/KS \quad (2.31)$$

Χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων, που θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα τύπου SFS, δίδονται στον Πίνακα 2.9. Σημειώνεται ότι απαιτείται προσοχή στη χρήση των παραπάνω εξισώσεων κατά το σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων επειδή οι περισσότερες από αυτές βασίστηκαν σε δεδομένα περιορισμένου αριθμού συστημάτων. Γι' αυτό, όλες οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων θα πρέπει προηγουμένως να ελέγχονται με τις συνιστώμενες τιμές τους, που δίδονται στον Πίνακα 2.8. Επίσης, σε μεγάλα έργα συνιστάται να προηγούνται πιλοτικές μελέτες.

Τύπος υποστρώματος	Μέγιστο μέγεθος 10% κόκκων (mm)	Πορώδες, $\alpha$	Υδραυλική αγωγιμότητα, $K$ , ( $m^3/m^2d$ )	$K_{20}$
Μέτρια άμμος	1	0,42	420,62	1,84
Χονδρόκοκκη άμμος	2	0,39	480,06	1,35
Χαλικώδης άμμος	8	0,35	499,87	0,86

**Πίνακας 2.9:** Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων, κατάλληλων για συστήματα υποεπιφανειακής ροής[40]

Γενικά, σε συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων η απομάκρυνση του αζώτου σχετίζεται άμεσα με το χρόνο παρακράτησης. Όμως, δεν μπορεί να προσδιορισθεί με μοντέλα κινητικής πρώτης-τάξης, επειδή η επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η μορφή του αζώτου, η αναλογία C:N, η γεωμετρία του συστήματος και η δομή της φυτικής βλάστησης. Γι' αυτό, στο σχεδιασμό συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων ο χρόνος παρακράτησης, που απαιτείται για την απομάκρυνση του αζώτου, πρέπει να βασίζεται σε δεδομένα πιλοτικών μελετών ή άλλων συστημάτων, που λειτουργούν σε σχετικές με αυτούς θέσεις και παρόμοια χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων. Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε ένα εκ περιτροπής ψαθιού /ανοικτής ροής/ με χαλικώδες υπόστρωμα σύστημα δίδονται στο Σχήμα 2.5. Σε συστήματα τύπου FWS φαίνεται ότι, εδαφικοί σχηματισμοί εναλλαγής φυτικής βλάστησης και ζώνης ελεύθερης ροής, ίσως διασφαλίζουν τον κατάλληλο συνδυασμό περιβαλλοντικών συνθηκών για βέλτιστη απομάκρυνση αζώτου. Η διατήρηση τέτοιων σχηματισμών απαιτεί περιοδική συγκομιδή της βλάστησης, που αναπτύσσεται στην ελεύθερη ζώνη, τουλάχιστον σε ετήσια βάση.



**Σχήμα 2.5:** Τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης αζώτου με συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων. Απομάκρυνση TKN σε σχέση με το χρόνο κράτησης σε σύστημα, που χρησιμοποιεί εναλλακτικά ψαθί /ανοικτή ροή/ χαλικώδες υπόστρωμα [40]

#### 2.3.5.4.2. Βάθος Νερού

Στα συστήματα FWS, το βάθος του νερού εξαρτάται από το βάθος, που απαιτεί η ανάπτυξη της φυτικής βλάστησης, που επιλέγεται. Γενικά, σε ψυχρά κλίματα το λειτουργικό βάθος αυξάνει στη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να επιτρέπεται η επιφανειακή ανάπτυξη πάγου και ο κατάλληλος αυξημένος χρόνος παρακράτησης, που απαιτείται υπό τέτοιες συνθήκες. Γι' αυτό, στα FWS συστήματα πρέπει κατά το σχεδιασμό τους να προβλέπεται μια κατασκευή εξόδου, που να επιτρέπει μεταβαλλόμενο λειτουργικό βάθος. Ένα τέτοιο σύστημα στο Listowel του Ontario της California έχει αυτή τη δυνατότητα, ώστε να λειτουργεί σε βάθος 0,1 m τους θερινούς μήνες και 0,3 m τους χειμερινούς.

Στα συστήματα τύπου SFS το βάθος τους σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελέγχεται το βάθος ριζοβολίας της φυτικής βλάστησης, επειδή η τροφοδοσία με οξυγόνο διενεργείται ουσιαστικά δια μέσου του ριζικού συστήματος.



#### 2.3.5.4.3. Γεωμετρία και έκταση λεκάνης

Η γεωμετρία της λεκάνης εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος (FWS ή SFS). Γι' αυτό, οι τύποι των δύο συστημάτων θεωρούνται στη συνέχεια χωριστά.

##### ▸ Συστήματα FWS

Γενικά, στα συστήματα FWS κύρια πηγή οξυγόνου είναι η ελεύθερη επιφάνεια τους, αλλά η ύπαρξη διαλογικής βλάστησης παρεμποδίζει τον επιφανειακό επαναερισμό, που είναι δυνατό να διενεργείται με τον άνεμο. Γι' αυτό, θα πρέπει να εφαρμόζονται μικρά οργανικά φορτία, μέχρι 11 kg/στρ\*d. Αντίθετα, η ύπαρξη φυτικής βλάστησης επιδρά ανασταλτικά στην ανάπτυξη αλγών. Η απομάκρυνση των στερεών σε αιώρηση οφείλεται κυρίως στο μηχανισμό της καθίζησης και διενεργείται, κυρίως, σε μικρές αποστάσεις από το σημείο εισροής του αποβλήτου στο σύστημα. Η απομάκρυνση του αζώτου οφείλεται, κυρίως, στις διεργασίες της νιτροποίησης-απονιτροποίησης και λιγότερο στην πρόσληψή του από τα φυτά και γι' αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα εφαρμογής του οργανικού φορτίου και το χρόνο παρακράτησης. Ακόμη και όταν τα φυτά που χρησιμοποιούνται συγκομίζονται περιοδικά, η απομάκρυνση αζώτου, η οφειλόμενη στην πρόσληψη του από τα φυτά, αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό 10-15% της συνολικής απομάκρυνσής του. Τέλος, η απομάκρυνση του φωσφόρου σε τέτοια συστήματα είναι περιορισμένη, εξαιτίας της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος.

Στα συστήματα FWS, η έκταση της λεκάνης (LxW) σχεδιάζεται με βάση την εξίσωση (2.24) και δεδομένα τον χρόνο παρακράτησης και το βάθος του. Οδηγίες για μια σταθερή αναλογία πλάτους /μήκους δεν έχουν ακόμη καθορισθεί. Μια σχετική μελέτη, που έχει ανακοινωθεί, συνιστά επιμήκεις λεκάνες με αναλογία πλάτος/μήκος =1/10 για την επίτευξη ικανοποιητικής επεξεργασίας[28]. Με τη χρήση λεκανών μικρού πλάτους και μεγάλου σχετικά μήκους ελαττώνεται το δυναμικό για περιορισμένη κυκλοφορία. Αυτό συνεπάγεται αυξημένη συγκέντρωση φορτίου στην είσοδο της λεκάνης, που μπορεί να οδηγήσει σε υπερφορτώσεις, ιδιαίτερα στην περίπτωση που γίνεται υπέρβαση των κριτηρίων των σχετικών με τα εφαρμοζόμενα φορτία. Για την αποφυγή υπερφορτώσεων στην είσοδο της λεκάνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα οφιοειδές περικυκλικό κανάλι για σταδιακή τροφοδοσία. Τέτοια

τυπικά συστήματα έχουν συνολικό πλάτος ισοδύναμο με το μήκος της λεκάνης. Το πλάτος τους διαχωρίζεται σε πολλαπλάσιες (τουλάχιστον δύο) παράλληλες λεκάνες με αναχώματα για καλύτερο υδραυλικό έλεγχο και λειτουργική ευκαμψία. Επίσης, με τις πολλαπλές λεκάνες δίνεται η δυνατότητα να τίθενται εκτός λειτουργίας τμήματα του συστήματος για διάφορους διαχειριστικούς λόγους, όπως είναι η φροντίδα της φυτικής βλάστησης και η συντήρηση της λεκάνης.

#### • Συστήματα SFS

Γενικά, στα συστήματα SFS η επιφάνεια του νερού διατηρείται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ή του χρησιμοποιούμενου μέσου. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων οφείλεται σε φυσικές και βιοχημικές αποκρίσεις του μέσου, καθώς επίσης στην επαφή του με το ριζικό σύστημα των φυτών. Τα επίπεδα απομάκρυνσης είναι ισοδύναμα των συστημάτων FWS και παρουσιάζουν μειωμένα προβλήματα, σχετικά με την ανάπτυξη κουνουπιών και δυσάρεστων οσμών. Για την κατασκευή των υποστρωμάτων χρησιμοποιούνται κυρίως έδαφος, άμμος και διάφορα άλλα χονδρόκοκκα ή ακόμη και πλαστικά ή άλλα αδρανή υλικά.

Συγκριτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης BOD, αιωρούμενων στερεών και αζώτου με συστήματα SFS δίνονται στον Πίνακα 2.10. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτού του πίνακα τα φυτά με δυναμικό για πιο βαθύ ριζικό σύστημα είναι πιο αποδοτικά. Γενικά, η απομάκρυνση BOD και στερεών συστατικών σε αιώρηση διενεργείται με διήθηση, καθίζηση και αποδόμηση με αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η απομάκρυνση του αζώτου σε τέτοια συστήματα, όπως και στα συστήματα FWS, διενεργείται με τους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Η απομάκρυνση του φωσφόρου σε συστήματα SFS εξαρτάται, κυρίως, από το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα. Η απομάκρυνση μετάλλων ποικίλλει και επιτυγχάνεται, κυρίως, με κατακρήμνιση και προσρόφησή τους. Τέλος, η απομάκρυνση των παθογόνων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δομή του υποστρώματος και την ταχύτητα ροής.

Συνθήκες υποστρώματος	Βάθος ριζικού συστήματος (cm)	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΕΚΡΟΗ (mg/l)		
		BOD	SS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Χωρίς βλάστηση	0	36	6	22
Φυτά γένους <i>Typha sp.</i>	30	30	6	18
Φυτά γένους <i>Phragmites sp.</i>	>60	22	8	5
Φυτά γένους <i>Scirpus sp.</i>	76	5	4	2

\*Απόβλητα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (παροχή 3,04 m<sup>3</sup>/d, BOD=118 mg/l, SS=57 mg/l, NH<sub>4</sub>=25 mg/l και t=6 d.

**Πίνακας 2.10.** Συγκριτικά αποτελέσματα απομάκρυνσης (BOD, SS και N) σε συστήματα SFS στο Santee της California\*.

Στα συστήματα SFS η κάθετη επιφάνεια προς την κατεύθυνση ροής, A, ορίζεται από την υδραυλική ικανότητα του συστήματος σύμφωνα με την Εξ. 2.25. Η ταχύτητα ροής, KS, θα πρέπει να λαμβάνει την οριακή τιμή 6,8 m/d για να ελαχιστοποιηθούν οι τοπικές επιβραδύνσεις, που οφείλονται σε βακτηριακές εκκρίσεις[33]. Το απαιτούμενο πλάτος του συστήματος υπολογίζεται με την Εξ. 2.27 και είναι συνάρτηση της A, και του βάθους του. Τέλος, το μήκος του συστήματος υπολογίζεται με την Εξ. 2.30. Ένα τυπικό μήκος ενός συστήματος SFS είναι μικρότερο από το πλάτος του.

#### 2.3.5.4.4. Ρυθμός Εφαρμογής Φορτίου BOD<sub>5</sub>

Όπως στα συστήματα επιφανειακής ροής, έτσι και σε αυτά των τεχνητών υδροβιοτόπων, τα φορτία BOD<sub>5</sub> θα πρέπει να ρυθμίζονται έτσι ώστε η ζήτηση οξυγόνου στα εφαρμοζόμενα απόβλητα να μην υπερβαίνει την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου με τη φυτική βλάστηση. Επίσης, απαιτείται εμπειρία στη χρήση των κριτηρίων έκτασης-φορτίου [(μάζα/(επιφάνεια· χρόνο)], επειδή το πραγματικό φορτίο δεν εφαρμόζεται ομοιόμορφα αλλά, συνήθως, παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις του, κυρίως στις εισόδους, ενώ το οξυγόνο ουσιαστικά τροφοδοτείται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του συστήματος. Εκτιμώμενοι ρυθμοί μεταφοράς οξυγόνου για αναφερόμενα φυτά κυμαίνονται από 5 έως 45 g/m<sup>2</sup>d με μια μέση τιμή

20 g/m<sup>2</sup>d, που θεωρείται τυπική για τα περισσότερα συστήματα. Έτσι, αυτός ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου είναι συγκρίσιμος με τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου σε συστήματα σταλαγματικών φίλτρων, που είναι της τάξης 28,5 g/m<sup>2</sup>d. Το οξυγόνο μεταφέρεται από εκτιθεμένα στην ατμόσφαιρα φύλλα και στελέχη των φυτών στο ριζικό τους σύστημα. Στα συστήματα SFS, που οι ρίζες των φυτών είναι σε επαφή με την ροή της εκροής του εφαρμοζόμενου αποβλήτου, το μεταφερόμενο οξυγόνο στο ριζικό σύστημα είναι διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς, που αποικούν σε αυτό, και αποδομούν το διαλυμένο BOD στην εκροή επαφής.

Το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο πρέπει να προσδιορίζεται στη βάση της τελικής απαίτησης, BOD<sub>u</sub>. Βασιζόμενοι σε μια αναλογία BOD<sub>u</sub>/BOD<sub>5</sub>=1,5, ο μέγιστος ρυθμός εφαρμοζόμενης BOD<sub>5</sub> σε ένα σύστημα SFS πρέπει θεωρητικά να μην υπερβαίνει τα 13,3 kg/στρ.d. Τυπικά, το ανώτατο συνιστώμενο όριο είναι 11 kg/στρ.d. Επειδή το φορτίο BOD παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση στην είσοδο του συστήματος, συνιστάται όπως το τελικό φορτίο BOD να μην υπερβαίνει το ήμισυ του ρυθμού μεταφοράς οξυγόνου. Βασιζόμενοι σ' αυτό το κριτήριο και σε μια αναλογία BOD<sub>u</sub> / BOD<sub>5</sub> =1,5, ο μέγιστος ρυθμός φορτίου BOD<sub>5</sub> θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 6,65 kg/στρ.d. Για συστήματα, που επεξεργάζονται υγρά απόβλητα με σημαντικό κλάσμα οργανικών στερεών, που καθιζάνουν, το φορτίο θα πρέπει να είναι ακόμη μικρότερο και να διανέμεται κατά μήκος της λεκάνης με σταδιακή τροφοδοσία, έτσι ώστε να αποφεύγεται η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών στην κορυφή-είσοδο της λεκάνης του συστήματος.

Στα συστήματα FWS, ο εφοδιασμός με οξυγόνο σε μια θεωρούμενη στήλη νερού είναι περιορισμένος σε σύγκριση με τα συστήματα SFS. Αυτό οφείλεται στο ότι το ριζικό σύστημα ευρίσκεται στο εδαφικό υπόστρωμα κάτω από τη στήλη νερού και το μεταφερόμενο σε αυτό οξυγόνο καταναλώνεται στο εκτεταμένο βενθικό περιβάλλον, που συνήθως παρατηρείται σε συστήματα υγροβιοτόπων. Επίσης, η μεταφορά οξυγόνου δια μέσου της επιφάνειας του εδάφους με επαναερισμό, που προξενείται με τον άνεμο και τη φωτοσύνθεση, είναι περιορισμένη, εξαιτίας της παρουσίας πυκνής φυτικής βλάστησης. Έτσι, συστήματα τύπου FWS με πλήρη φυτική βλάστηση είναι κατάλληλα μόνο για μέσους ρυθμούς φορτίου BOD. Με δεδομένη την έλλειψη δεδομένων στη σημερινή βιβλιογραφία, συνιστώνται κατά το σχεδιασμό τους φορτία, που να μην υπερβαίνουν το όριο των 6,65 kg/στρ.d, που προαναφέρεται. Σε συστήματα SFS αυτό θεωρείται ως ανώτατο επιτρεπόμενο όριο.

Αναφέρεται πολύ επιτυχής επεξεργασία εκροών οξειδωτικών τεχνητών λιμνών με εφαρμογή τους σε συστήματα FWS, πλήρους φυτικής βλάστησης και ρυθμούς φορτίου BOD μέχρι και 6,0 kg/στρ.δ. Όπως προαναφέρεται, αυξημένη μεταφορά οξυγόνου μπορεί να επιτευχθεί σε συστήματα με αυξημένο πλάτος λεκάνης και χρησιμοποίηση εναλλακτικών τμημάτων με/και χωρίς φυτική βλάστηση, για βελτίωση του επιπέδου απομάκρυνσης αζώτου.

#### **2.3.5.4.5. Ταχύτητα Υδραυλικού Φορτίου**

Σε συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων η ταχύτητα του υδραυλικού φορτίου εφαρμογής,  $L_w$ , δεν είναι συνήθως πρωταρχική παράμετρος σχεδιασμού, αλλά είναι χρήσιμη, κυρίως, για τη σύγκριση διαφόρων συστημάτων μεταξύ τους. Οι ταχύτητες υδραυλικού φορτίου, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, κυμαίνονται από 15 έως 50  $m^3/στρ.δ$ . Το αντίστροφο της ταχύτητας του υδραυλικού φορτίου, δηλαδή η ειδική έκταση,  $A_c$ , χρησιμοποιείται επίσης, για τη σύγκριση μελετών διαφόρων συστημάτων και ταχείς προκαταρκτικούς προσδιορισμούς για την απαιτούμενη έκταση. Η απαιτούμενη ειδική έκταση, στην πράξη, κυμαίνεται από 0,21 έως 0,69  $στρ/(10^3m^3d)$ . Σε κεντρικές παραλιακές πεδιάδες της California, που χρησιμοποιούνται εκροές δευτεροβάθμιας ή πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, σε υγροβιότοπους για την ανάπτυξη υδρόβιας ζωής και υδροχαρούς βλάστησης σε κατοικημένες περιοχές, μια ειδική έκταση 0,21  $στρ/(10^3m^3d)$  αποδείχθηκε πολύ αποτελεσματική.

#### **2.3.5.5. Έλεγχος Φορέων Εντόμων**

Γενικά, τα συστήματα των τεχνητών υγροβιότοπων και ιδιαίτερα αυτά τύπου FWS, αποτελούν ιδεώδεις κατοικίες αναπαραγωγής κουνουπιών. Γι' αυτό, ο έλεγχος των φορέων- εντόμων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην τελική απόφαση κατασκευής συστημάτων τεχνητών υγροβιότοπων, ιδιαίτερα των FWS. Έτσι, ο σχεδιασμός τέτοιων συστημάτων πρέπει να περιλαμβάνει βιολογικό έλεγχο κουνουπιών, όπως είναι η δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης του είδους ψαριού

*Cambusia affinis*, σε συνδυασμό, βέβαια, με χημικό έλεγχο τους. Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου άνω του 1 mg/l για τη διατήρηση πληθυσμού ψαριών αυτού του είδους. Επίσης, αραίωση της φυτικής βλάστησης ίσως θεωρείται απαραίτητη για τον περιορισμό τμημάτων, που δεν είναι προσιτά στην ανάπτυξη του ιχθυοπληθυσμού. Αντίθετα, στα συστήματα SFS ο πολλαπλασιασμός των κουνουπιών δεν αποτελεί συνήθως ιδιαίτερο πρόβλημα, επειδή αυτά είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εμποδίζεται η είσοδος κουνουπιών στην υποεπιφανειακή ζώνη του νερού. Για το σκοπό αυτό, η επιφάνειά τους είναι, συνήθως, καλυμμένη με χαλίκια, χονδρόκοκκη άμμο ή άλλα υλικά.

## 2.4. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 2.4.1. Η βάση της Πολυκριτηριακής Αξιολόγησης

Ο περιβαλλοντικός σχεδιασμός και η λήψη αποφάσεων είναι στη βάση τους αναλύσεις συγκρούσεων κοινωνικοπολιτικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής φύσεως και αποτελούν ένα πολύπλοκο πρόβλημα που δεν μπορεί να εξεταστεί υπό το πρίσμα μιας μόνο διάστασης[18]. Η φυσική πολυπλοκότητα περιβαλλοντικών προγραμμάτων καθιστά δύσκολη την αναπαράστασή τους σε περιγραφικά μοντέλα επομένως η αβεβαιότητα και η ανακρίβεια είναι αναφαίρετα στοιχεία της δομής τους. Επιπρόσθετα οι συγκρουόμενες αντιλήψεις, αξίες και στόχοι των ενδιαφερόμενων ομάδων αντικατοπτρίζονται σε όλη τη διαδικασία αξιολόγησης τους, αποτελώντας το περιεχόμενο των ποικίλων διαστάσεών τους των οποίων μια λειτουργικότερη έκφραση αποτελούν τα κριτήρια.

Η ύπαρξη διαφορετικών συγκρουόμενων κριτηρίων αξιολόγησης συνθέτει ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής φύσεως που είναι μαθηματικά «κακώς ορισμένο». Αυτό έχει ως συνέπεια την αδυναμία ύπαρξης μιας βέλτιστης λύσης. Η τάση είναι η εξεύρεση της περισσότερο συμβατής λύσης, στην οποία πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν τόσο το τι είναι σημαντικό για τις κοινωνικές ομάδες που αναμένεται να επηρεάσει, όσο και η συμβατότητα αυτής με την πραγματική κατάσταση όπως αυτή απεικονίζεται στο μοντέλο. Τουλάχιστον δύο συμβατές λύσεις υπάρχουν, μια κοινωνικά συμβατή και μία τεχνικά συμβατή[30].

### 2.4.2. Ορισμός

Το ζητούμενο στα πολυδιάστατα διαχειριστικά προβλήματα είναι ο συνδυασμός διαφορετικών ειδών πληροφοριών που θα οδηγήσει τελικά σε μια λύση. Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι παρέχουν το πλαίσιο εργασίας για την συλλογή, την καταχώρηση και εν τέλει την προώθηση όλων των σχετικών πληροφοριών καθιστώντας έτσι τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης ανιχνεύσιμη και διαφανή[18].

### 2.4.3. Τα στάδια της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

Η διαδικασία περιβαλλοντικού σχεδιασμού και λήψης απόφασης περιλαμβάνει τη συμμετοχή πολλών ανθρώπων και οργανισμών και δύναται να διαρκέσει από μερικούς μήνες μέχρι και χρόνια[18]. Έτσι είναι απαραίτητο να διαχωριστεί η όλη διεργασία σε διάφορα στάδια.

Οι D. Shefer et al., (1997) αναγνωρίζουν τα παρακάτω στάδια κατά τη δημιουργία και αξιολόγηση εναλλακτικών περιφερειακών αναπτυξιακών σεναρίων:

- καθορισμός των στόχων και της δομής του προβλήματος
- προσδιορισμός των εναλλακτικών σεναρίων
- καθορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης
- ανάλυση των πιθανών δράσεων
- καθορισμός των συντελεστών σημαντικότητας των κριτηρίων επιλογής
- ανάλυση των αποτελεσμάτων
- επιλογή της καλύτερης λύσης

Παρόμοια είναι και η προσέγγιση των M. Goumas et al., (1999) και M. Goumas and V. Lygerou, (2000). Αρχικά αναγνωρίζονται οι συμμετέχοντες στη διαδικασία. Αυτοί συνήθως αποτελούνται από τους λήπτες απόφασης, τις άμεσα ενδιαφερόμενες ομάδες, τους ειδικούς και τους αναλυτές-σχεδιαστές. Στη συνέχεια το πρόβλημα καθορίζεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σαφήνεια (καθορισμός των εναλλακτικών επιλογών και των κριτηρίων αξιολόγησης). Τα κριτήρια αποτελούνται από διάφορες ομάδες (τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά). Είναι σημαντικό το στάδιο αυτό να καταλήξει σε συμφωνία όλων των συμμετεχόντων, όσον αφορά στην επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης και τον καθορισμό των πιθανών δράσεων. Διαφορετικά η οποιαδήποτε απόφαση θα υπόκειται στην αμφισβήτηση των ομάδων που διαφώνησαν εξ αρχής κατά τον καθορισμό του προβλήματος. Ακολουθεί η αποτίμηση των επιπτώσεων των εναλλακτικών επιλογών και η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, που συνδέεται έμφυτα με τις μελλοντικές εκτιμήσεις και τα κοινωνικά προβλήματα αποφάσεων. Η παρέμβαση των ειδικών κατά κλάδο κρίνεται απαραίτητη σε αυτό το σημείο για την αντικειμενοποίηση της διεργασίας αξιολόγησης. Έπειτα ο αναλυτής επιλέγει το κατάλληλο μοντέλο απόφασης. Ωστόσο είναι σημαντικό το μοντέλο να είναι κατανοητό και από τους DMs οι οποίοι και τελικά να αποδέχονται τις απαραίτητες υποθέσεις που κάνει.



Μόνο μετά και από την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου είναι αναγκαία η συλλογή και επεξεργασία των προτιμήσεων των DMs. Τελικά εφαρμόζεται το μοντέλο και τα αποτελέσματα του παρουσιάζονται στους DMs. Οι τελευταίοι επανεξετάζουν τις προτιμήσεις τους, επανατροφοδοτούν το μοντέλο και καταλήγουν σε συμφωνία ως προς το αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με τους P. Nijkamp and R. Vreeker (2000), αρχικά οι λήπτες απόφασης βαθμολογούν τους στόχους και παρουσιάζουν την κατάταξη τους. Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα και ο κάθε DM επανεξετάζει τις προτιμήσεις του. Έτσι, η διαδικασία καταλήγει σε μία κοινά αποδεκτή τελική κατάταξη των στόχων.

Τέλος, για τους E. Georgoroulou et al., (1997), τα στάδια μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι τα εξής:

1. Αρχικά κρίνεται απαραίτητος ο ορισμός του προβλήματος καθώς και ο προσδιορισμός των ενδεχόμενων περιορισμών για το σχηματισμό ρεαλιστικών σεναρίων.
2. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη συνέχεια, κατά την κατασκευή του μητρώου επεξεργασίας και αξιολόγησης, το οποίο περιλαμβάνει:
  - Τον ορισμό των εμπλεκόμενων στη διαδικασία.
  - Το σχηματισμό *εναλλακτικών στρατηγικών*.
  - Την επιλογή των *κριτηρίων αξιολόγησης* και τέλος
  - Την *αξιολόγηση των εναλλακτικών* σε σχέση με τα κριτήρια.
3. Στη συνέχεια, καθορίζονται οι *βαθμοί βαρύτητας των κριτηρίων*. Σε πραγματικές εφαρμογές, όπου ο αριθμός των εμπλεκόμενων είναι μεγάλος, η τεχνική εκτίμησης των βαθμών βαρύτητας πρέπει να είναι τόσο εύχρηστη όσο και αξιόπιστη.
4. Ακολουθεί ο *υπολογισμός των επιδόσεων* των εναλλακτικών σεναρίων. Αυτός γίνεται με την επιλογή της κατάλληλης πολυκριτηριακής μεθόδου.
5. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου η κατάληξη είναι η *κατάταξη όλων των εφικτών εναλλακτικών* με φθίνουσα σειρά επίδοσης.
6. Κρίνεται απαραίτητη η συζήτηση επί των αποτελεσμάτων προκειμένου να διευκρινιστεί τι καθιστά μια εναλλακτική προτιμότερη από μια άλλη, ποια είναι τα βασικότερα κριτήρια και ποιες θα ήταν οι πιθανές καλύτερες νέες εναλλακτικές που θα μπορούσαν να καθοριστούν μεταξύ των περισσότερο προτιμητέων. Έτσι απαραίτητη είναι η διεξαγωγή *ανάλυσης ευαισθησίας*

προκειμένου να ερευνηθούν οι διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν την ταξινόμηση των εναλλακτικών σεναρίων.

7. Στο τελικό στάδιο είναι δυνατόν να γίνουν *προτάσεις / συστάσεις* επί των αποτελεσμάτων.

Τα στάδια της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, όπως αναλύονται παραπάνω, απεικονίζονται στο Σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Τα στάδια της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης [11]

Οι B. Roy and D. Vanderrooten (1997), αναγνωρίζουν τις παρακάτω αδυναμίες των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις:

- ✦ δυσκολίες στον καθορισμό των εναλλακτικών επιλογών, μιας και πολλές φορές δεν είναι ευκρινές το ποιες δράσεις είναι εφικτές και ποιες όχι,
- ✦ δυσκολίες στον καθορισμό του ακριβή ρόλου του λήπτη απόφασης,
- ✦ σε αρκετές περιπτώσεις, οι προτιμήσεις του DM δεν προϋπάρχουν αλλά διαμορφώνονται κατά τη διαδικασία αξιολόγησης,
- ✦ αβεβαιότητα, ανακρίβεια και ακαθοριστία των δεδομένων,
- ✦ η αξιοπιστία της διαδικασίας απόφασης είναι αδύνατο να εκτιμηθεί κατά αποκλειστικότητα μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου. Αντίθετα, θεσμικές, οργανωτικές, παιδαγωγικές και κοινωνικές παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Η φύση της πολυκριτηριακής αξιολόγησης καθιστά αδύνατο να εισαχθεί οτιδήποτε χρήσιμο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων από την επιστημονική ομάδα και μόνο, χωρίς την αλληλεπίδραση της με τις διάφορες κοινωνικές ομάδες. Ούτε και οι δευτερες μπορούν να ελπίζουν στη λήψη μιας απόφασης αποδεκτής χωρίς την συμβολή της πρώτης. Περισσότερο βασίζεται στη δημόσια συμμετοχή και στην επίτευξη εποικοδομητικού διαλόγου μεταξύ των ενδιαφερόμενων ομάδων ούτως ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν όσο το δυνατό περισσότερες απόψεις. Η εστίαση του διαλόγου πρέπει να στρέφεται στο αντίκτυπο των εναλλακτικών και όχι σ' αυτές. Έτσι οι εμπλεκόμενοι μαθαίνουν να έχουν μια πιο περιεκτική αντιμετώπιση των προβλημάτων πέρα απ' τη δική τους προσωπική άποψη, ενώ ταυτόχρονα είναι σε θέση να αντιληφθούν πιθανές συγκρούσεις που προκύπτουν από έλλειψη γνώσεων ή λάθος κατανόηση και να τις αποφεύγουν. Η δημόσια συμμετοχή και ο διάλογος προσδίδουν στην αξιολόγηση τα χαρακτηριστικά μιας εξελικτικής διαδικασίας στην οποία παρατηρείται συνεχής ροή νέων πληροφοριών που είναι πιθανό να οδηγήσουν σε νέα σενάρια ή σε συνδυασμό των αρχικών και ακόμα να επηρεάσουν τις προτιμήσεις των εμπλεκόμενων ομάδων. Αυτό είναι δυνατό να οδηγήσει ακόμα και σε επαναπροσδιορισμό του προβλήματος και επανεκκίνηση της αξιολόγησης σε κάποιο από τα ενδιάμεσα στάδιά της[18].

#### 2.4.4. Οι συμμετέχοντες στη διαδικασία (DMs)<sup>1</sup>

Αυτοί αποτελούνται από όλους τους ανθρώπους που σχετίζονται με τις διαδικασίες σχεδιασμού και λήψης απόφασης. Αναλυτικότερα και σύμφωνα με τους Lahdelma R., Salminen P., Hokkanen J. (2000), απαρτίζονται από:

- ♦ Τους λήπτες αποφάσεων (οι οποίοι είναι συνήθως όργανα της τοπικής αυτοδιοίκησης και κατά συνέπεια είναι εκλεγμένοι αντιπρόσωποι ανθρωπίνων ομάδων μέσα από δημοκρατικές διαδικασίες).
- ♦ Τα ενδιαφερόμενα γκρουπ (μέλη πολιτικών κομμάτων, αστικών οργανισμών, περιβαλλοντικών οργανώσεων, κάτοικοι περιοχής).
- ♦ Την επιστημονική ομάδα. Στη σύσταση αυτής η ανάμιξη διαφόρων επιστημονικών ειδικοτήτων κρίνεται απαραίτητη καθώς η εύρεση του συνόλου των σχετικών κριτηρίων είναι μια διεπιστημονική συνεργασία, ενώ στη συνέχεια ο υπολογισμός του αντίκτυπου κάθε κριτηρίου δηλαδή της τελικής του τιμής είναι ανεξάρτητη δουλειά του κάθε εξειδικευμένου επιστήμονα[30].
- ♦ Τέλος από αυτούς που πρόκειται να υλοποιήσουν το υπό αξιολόγηση πρόγραμμα.

Οι άνθρωποι αυτοί πρέπει αρχικά να αναγνωριστούν και στη συνέχεια να καθοριστεί σε ποιο στάδιο της διαδικασίας συμμετέχουν και σε ποια έκταση. Πρέπει να υπάρχουν αναντίρρητα επιχειρήματα για τον αποκλεισμό ή την ενσωμάτωση κάποιων στη διαδικασία.

Σύμφωνα με τους E. Georgoroulou et al., (1997), ο καθορισμός των «παικτών» (οι λήπτες απόφασης που συμμετέχουν στη διαδικασία επιλογής), αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα του συστήματος σχεδιασμού και αξιολόγησης εναλλακτικών ενεργειακών στρατηγικών. Οι DMs προτείνουν ή απορρίπτουν συγκεκριμένες προτάσεις σύμφωνα με το προσωπικό τους σύστημα αξιών. Συνεπώς, έμφαση πρέπει να δοθεί στην κατασκευή μίας ομάδας DMs που να αντικατοπτρίζει όλες τις διαφορετικές απόψεις.

Οι συμμετέχοντες δύναται να διαχωριστούν στους σταθερούς και στις ενδιαφερόμενες ομάδες. Οι πρώτοι αποτελούνται από αυτούς που έχουν την θεσμική ευθύνη, εξουσία ή υποχρέωση να συμμετέχουν (πολιτικοί, εκπρόσωποι της τοπική

<sup>1</sup> Εφεξής θα χρησιμοποιείται η συντομογραφία DM για να δηλώνει τους λήπτες απόφασης.

αυτοδιοίκησης, ειδικοί, επιστήμονες, σχεδιαστές και αναλυτές). Οι δεύτεροι αποτελούνται από εκπροσώπους πολιτικών κομμάτων, αστικές οργανώσεις, κατοίκους της τοπικής κοινωνίας ή της ευρύτερης περιοχής. Κάθε ενδιαφερόμενη ομάδα έχει τη δική της άποψη για την αξιολόγηση των δυνατών επιλογών σύμφωνα με το σύστημα αξιών που αντιπροσωπεύει. Ανάλογα με τα συμφέροντά της, η κάθε ενδιαφερόμενη ομάδα θα υποστηρίξει διαφορετικές επιλογές δημιουργώντας συγκρούσεις, ανταγωνισμό και παρεξηγήσεις. Η συμμετοχή της τοπικής κοινωνίας στη διαδικασία λήψης απόφασης για θέματα που την αφορούν, κρίνεται αναγκαία.

Οι συμμετέχοντες πρέπει να καθορίζονται νωρίς και να είναι ελεύθεροι να συμμετάσχουν στα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Αυτό εξασφαλίζει τη μέγιστη λήψη πληροφοριών κατά τη διαδικασία και εγγυάται ότι όλες οι διαφορετικές απόψεις θα ληφθούν υπόψη. Εκτός του ότι μια συγκεκριμένη πληροφορία, που σε άλλη περίπτωση θα είχε αγνοηθεί, θα μπορεί να ενσωματωθεί, η έγκαιρη συμμετοχή των stakeholders καθιστά πιθανότερη την αποδοχή της τελικής απόφασης από αυτούς. Εξάλλου, η πλήρης ενημέρωσή τους από την αρχή του σχεδιασμού αυξάνει την πιθανότητα μια επιτυχημένης απόφασης.

Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει ίσως να διευκρινιστεί ο ρόλος των κυβερνητικών εκπροσώπων μεταξύ των εμπλεκομένων. Αυτοί είναι που τελικά επωμίζονται την ευθύνη της πραγματοποίησης του υπό συζήτηση σχεδίου και κατά συνέπεια οι πιθανές αντιρρήσεις τους πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν γιατί γνωρίζουν κατά πόσο μια λύση είναι εφικτή ή όχι[12].

Επίσης, κρίνεται απαραίτητο να προσδιοριστούν οι πραγματικοί λόγοι που κάνουν κάθε συμμετέχοντα υποστηρικτή μιας άποψης. Για παράδειγμα, κάποιος που δεν επιθυμεί την κατασκευή ενός νέου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων στη γειτονία του, λόγω της υποβάθμισης που θεωρεί πως θα υποστεί η περιοχή, να μην παρουσιάζει την περιοχή ακατάλληλη για άλλους λόγους (περιβαλλοντικούς ίσως), καλύπτοντας το προσωπικό του συμφέρον. Μόνο έπειτα από τη συλλογή όλων των απόψεων είναι δυνατός ο προσδιορισμός των κριτηρίων επιλογής. Συνεπώς τα κριτήρια καθορίζονται και από τους συμμετέχοντες και εξαρτώνται από την εκάστοτε περίπτωση (context dependent)[18].

Οι ενδιαφερόμενες ομάδες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, σύμφωνα με τους Susskind (1985) και Martin (1985) ως εξής:

1. Ενισχυτές. Αυτοί που θεωρούν το αντικείμενο συζήτησης απαραίτητο για την επιβίωσή τους.

2. Φίλοι. Το θέμα είναι σημαντικό γι' αυτούς, αλλά όχι απαραίτητο για την επιβίωσή τους.
3. Φύλακες. Αρχικά κρατούν ουδέτερη στάση ώστε να μπορούν αργότερα να μένουν έξω από τις διαμάχες.
4. Μη συμμετέχοντες ή σιωπηλοί. Είναι ολοκληρωτικά αδιάφοροι για το πρόβλημα. Ίσως πιστεύουν ότι δεν έχουν τη δύναμη να επηρεάσουν την απόφαση ή ίσως εμπιστεύονται απόλυτα τους DMs.
5. Εχθρικοί. Έχουν λανθασμένες αντιλήψεις και αντιφατική συμπεριφορά, ενώ πολλές φορές, λόγω άγνοιας, μπορεί να δρουν ενάντια στα συμφέροντά τους.
6. Αντίθετοι. Απορρίπτουν κάθε εναλλακτική λύση με σκοπό να απορριφθεί όλο το project.

#### 2.4.5. Η επιλογή των κριτηρίων

Κατά την άσκηση πολιτικής για την εφαρμογή προγραμμάτων περιβαλλοντικού σχεδιασμού η υποκειμενικότητα είναι αναφαίρετο στοιχείο της διαδικασίας της αξιολόγησης τόσο από την πλευρά της επιστημονικής ομάδας όσο και απ' αυτήν των κοινωνικά εμπλεκομένων. Επηρεάζει τόσο την επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης όσο και την αποτίμηση των βαθμών βαρύτητας τους, δηλαδή του αριθμού που περιγράφει τη σπουδαιότητα κάθε κριτηρίου και τελικά εκφράζει τις προτιμήσεις αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις. Γι' αυτό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του συνόλου των κριτηρίων[18].

Τα κριτήρια είναι απαραίτητες συνιστώσες της πολυκριτηριακής ανάλυσης, αφού αποτελούν τη βάση για την αποτίμηση των εναλλακτικών σεναρίων. Δυστυχώς, η επιλογή τους δε γίνεται βάση κάποιας μεθοδολογίας επαρκώς καθορισμένης. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες τεχνικές, που συμβάλλουν στην αρτιότερη επιλογή τους. Ο Roy (1985) μελέτησε τις διάφορες απόψεις σχετικά με τον καθορισμό παραγόντων, με στόχο να αναδείξει, ύστερα από εκτενή ανάλυση, την κατάταξή τους από μικρή προς αυξημένη σημαντικότητα. Οι Keeney, Raiffa (1976), Keeney (1988) και Saaty (1980) συνηγόρησαν προς έναν ιεραρχικό τρόπο δόμησης κριτηρίων αντίστροφης κατάταξης από τον Roy, μέσα από τη σύνθεση των διαφόρων απόψεων στα υπο-στοιχεία, που τις αποτελούν, έως ότου επιτευχθεί η κατάλληλη προσέγγιση. Στην ελληνική βιβλιογραφία παρατηρείται η τάση να αξιολογούνται κριτήρια αξιολόγησης τόσα ώστε να καλύπτεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα ικανοποίησης στόχων.

Η επιλογή τους πρέπει να είναι προϊόν συμμετοχικής διαδικασίας, αλλά η διατήρηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των κριτηρίων (περιορισμοί) είναι δουλειά της επιστημονικής ομάδας. Επιπλέον το σύνολο των κριτηρίων πρέπει να είναι σύμφωνο με τις παρακάτω παραδοχές[22]:

- Πληρότητα: πρέπει να καλύπτονται όλα τα βασικά σημεία του προβλήματος
- Λειτουργικότητα: πρέπει να μπορούν να αποδοθούν με αριθμητικές τιμές
- Να μην υπάρχουν περιττά κριτήρια, ούτε να εμπεριέχεται ένα κριτήριο μέσα σ' ένα άλλο
- Οι διαστάσεις του προβλήματος πρέπει να διατηρούνται σ' ένα ελάχιστο επίπεδο



Ο J. P. Brans (1996) προτείνει τέσσερα διαφορετικά ήδη κριτηρίων επιλογής για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών αναπτυξιακών έργων:

- Οικονομικά
- Τεχνικά
- Κοινωνικά
- Περιβαλλοντικά

#### 2.4.6. Αποτίμηση των κριτηρίων αξιολόγησης – Βαθμοί βαρύτητας

Κάθε πολυκριτηριακό πρόβλημα απόφασης δύναται να παρουσιαστεί με τη μορφή πίνακα, (μητρώο απόφασης), όπου οι στήλες του αντιπροσωπεύουν τα κριτήρια αξιολόγησης και οι γραμμές του τις εναλλακτικές επιλογές. Δηλαδή, το στοιχείο  $x_{ij}$  του πίνακα εκφράζει την απόδοση της εναλλακτικής  $i$  σύμφωνα με το κριτήριο  $j$ .

Οι επιπτώσεις της επιλεχθείσας δράσης θα γίνουν ορατές στο μέλλον, γι' αυτό και πρακτικά είναι αδύνατον να υπολογιστούν με απόλυτη ακρίβεια. Στις περισσότερες περιπτώσεις ούτε το κόστος ενός έργου δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια. Ωστόσο η απόφαση πρέπει να ληφθεί ακόμη και κάτω από αυτές τις συνθήκες αβεβαιότητας. Η αντιμετώπιση της έμφυτης αβεβαιότητας που συνοδεύει όλες τις μελλοντικές εκτιμήσεις γίνεται με διάφορες μεθόδους (διαστήματα εμπιστοσύνης, κατανομές πιθανότητας, ψευδο-κριτήρια)[34].

Ιδιαίτερης σημασίας είναι οι βαθμοί βαρύτητας που αποδίδονται σε κάθε κριτήριο. Για να καθοριστούν αυτοί πρέπει αρχικά να διευκρινιστεί αν διαχωρίζονται οι διαφορετικές διαστάσεις ενός προβλήματος ως προς τη σημαντικότητα τους (π.χ να θεωρηθεί η οικονομική διάσταση σημαντικότερη της κοινωνικής). Με μια τέτοια παραδοχή θα μπορούσαμε να αποδώσουμε τα κριτήρια της κάθε ομάδας με τους ίδιους βαθμούς βαρύτητας (δεδομένου ότι η κάθε ομάδα αποτελείται από διαφορετικό αριθμό κριτηρίων καθώς το αντίθετο θα ήταν αφύσικο, ο αριθμός των κριτηρίων θα δήλωνε και τη σημαντικότητα της). Κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα αλληπάλληλες συγκρούσεις κατά τη διεξαγωγή της αξιολόγησης ενώ επίσης δεν θα ήταν δυνατό να ρυθμιστεί η επιρροή του υποκειμενικού παράγοντα. Αντίθετα λαμβάνοντας τις διάφορες διαστάσεις ενός προβλήματος ως ισότιμες μειώνει τις συγκρούσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων ομάδων και συνηγορεί υπέρ της ομαλής αλλά και πιο γρήγορης εξέλιξης της αξιολόγησης[30].

Υιοθετώντας την παραπάνω άποψη τα κριτήρια μπορούν να αποτιμηθούν με διαφορετικούς βαθμούς βαρύτητας ανάλογα με τις προτιμήσεις αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές εκτίμησης των βαθμών βαρύτητας των κριτηρίων. Ένας διαχωρισμός τους θα μπορούσε να είναι σε άμεσες και έμμεσες όπου οι δεύτερες στοχεύουν περισσότερο στην εκμείευση των προτιμήσεων αυτών, που λαμβάνουν αποφάσεις. Συγκεκριμένα, ανατίθεται, μέσω ενός κατάλληλα

καταρτιζόμενου ερωτηματολογίου, σε κάθε εμπλεκόμενο φορέα να κατατάξει τα κριτήρια αξιολόγησης σε σειρά προτεραιότητας. Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας συμβολής του κάθε κριτηρίου, στην τελική αξιολόγηση, γίνεται με ένα σχετικά απλό αλγόριθμο από τον αναλυτή. Η μέθοδος αυτή της “έμμεσης ανάθεσης βαρών” αναπτύχθηκε από τον Simos (1990).

#### 2.4.7. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Πολυκριτηριακής Μεθόδου

Η εξέταση του προβλήματος μέσω πολυκριτηριακής μεθόδου γίνεται κατόπιν εξέτασης των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων αυτής της επιλογής έναντι άλλων μεθόδων αξιολόγησης (π.χ. ανάλυση κόστους-οφέλους, κόστους-αποτελεσματικότητας, προγραμματικού ισοζυγίου κλπ).

Ως προς μεν τα πλεονεκτήματα, οι πολυκριτηριακές μέθοδοι έχουν ως αφετηρία τη διαπίστωση ότι η κοινωνική ευημερία είναι πολυδιάστατη, θεωρώντας ως απαραίτητες παραμέτρους της, κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Η στοχοθεσία δημόσιων πολιτικών, όπως της διαχείρισης των απορριμμάτων, είναι αναγκασμένη, λόγω του χαρακτήρα της ως διαδικασία συμβιβασμού των επιμέρους κοινωνικών επιδιώξεων, να περιλαμβάνει αλληλοσυγκρουόμενους και πολλές φορές αμοιβαίόμενους στόχους. Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι έρχονται να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σε παρόμοιες καταστάσεις. Ωστόσο, αναγνωρίζονται και μειονεκτήματα, διότι λόγω της φύσης των εφαρμοζόμενων κριτηρίων η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος δεν οδηγεί σε σαφώς ορισμένες βέλτιστες λύσεις, αλλά σε συμβιβαστικές. Το σημείο αυτό αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στις πολυκριτηριακές μεθόδους στο βαθμό που η ύπαρξη αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων αναιρεί την ίδια τη δυνατότητα βελτιστοποίησης[3].

Στην πολυκριτηριακή ανάλυση, όπως επισημαίνει ο Roy (1994), “ο κύριος στόχος δεν είναι να ανακαλύψουμε μια λύση αλλά να δημιουργήσουμε ή να κατασκευάσουμε κάτι το οποίο να θεωρείται ικανό να βοηθήσει κάποιον ενδιαφερόμενο να λάβει μέρος στη διαδικασία λήψης της απόφασης άλλοτε για να διαμορφώσει και άλλοτε για να μεταβάλλει τις προτιμήσεις του ή να αποφασίσει σε συμφωνία με τους τελικούς του στόχους.”

## 2.4.8. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου λήψης απόφασης

Το ζήτημα της επιλογής της κατάλληλης μεθόδου Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (ΠΑ) πηγάζει κατά κύριο λόγο από την πληθώρα των διαθέσιμων μεθόδων και κατά δεύτερο από την περιορισμένη γνώση σχετικά με τα ειδικά χαρακτηριστικά των επί μέρους μεθόδων.

Υπάρχουν πάνω από 50 μέθοδοι ΠΑ[4] και μια πρώτη κατάταξη τους μπορεί να επιχειρηθεί σύμφωνα με το περιεχόμενο και το εύρος τους. Πιο συγκεκριμένα διαφοροποιούνται σύμφωνα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά τους:

- Το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών: Διακρίνονται σε διακριτές (discrete) με πεπερασμένο αριθμό εναλλακτικών επιλογών οι οποίες είναι a priori γνωστές (σειρά δράσεων, στρατηγικές, εναλλακτικά σχέδια ή ερευνητικά έργα) και σε μεθόδους συνεχούς υπολογισμού (continuous) με μη μετρήσιμες εναλλακτικές επιλογές και κατά συνέπεια όχι πλήρως προκαθορισμένες.
- Το είδος της διαθέσιμης πληροφορίας: Η διαθέσιμη πληροφορία είναι δυνατό να βρίσκεται σε ποσοτικές μονάδες (cardinal information) ή να αφορά τακτικά δεδομένα και ποιοτικές προτάσεις (qualitative information), απαντάται όμως και η περίπτωση τα δεδομένα να βρίσκονται σε μικτή μορφή, εν μέρει ποσοτικά και εν μέρει ποιοτικά.
- Τον αριθμό προσώπων που εμπλέκονται στη διαδικασία υπολογισμού: Όταν πρόκειται για ένα πρόσωπο, είναι συχνά ευκολότερο να ξεκαθαρίσει τις προτεραιότητες της πολιτικής, ενώ εάν ο προσδιορισμός γίνεται από πολλά πρόσωπα, τότε ευλύγιστες εκτιμήσεις και κατάλληλες διαδικασίες θα πρέπει να αναληφθούν.
- Τα όρια του συνόλου των εναλλακτικών επιλογών: Σε κάποιες περιπτώσεις αξιολόγησης απαιτείται η αναγνώριση ενός καθορισμένου συνόλου δυνατοτήτων επιλογής, ενώ σε άλλες περιπτώσεις οι απαιτήσεις τίθενται υψηλότερα, π.χ. η σαφής επιλογή μιας και μοναδικής επιλογής. Το ζήτημα που προκύπτει στη δεύτερη περίπτωση αφορά στην αδυναμία σύγκρισης.

- Τον αριθμό βημάτων στη διαδικασία υπολογισμού: Ο υπολογισμός με ένα βήμα έχει ως αρχή ότι το πρόβλημα πρέπει να λυθεί, ενώ ο υπολογισμός με πολλά βήματα θεωρεί μια διαδικασία εκτίμησης των επιπτώσεων.

Συχνά τα προς επίλυση ζητήματα επαναδιατυπώνονται, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της εκάστοτε μεθόδου ΠΑ. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχιση της διαδικασίας αποτελεί η ταξινόμηση των περιβαλλοντικών ζητημάτων που πρόκειται να αξιολογηθούν.

Ένα βασικό πρόβλημα, που παρουσιάζεται κατά την επιλογή της κατάλληλης πολυκριτηριακής μεθόδου απόφασης αποτελεί το γεγονός ότι διαφορετικές μέθοδοι δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται στο ίδιο πρόβλημα και χρησιμοποιούν τα ίδια δεδομένα. Ωστόσο αναγνωρίζονται κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία που θα πρέπει να περιλαμβάνει κάθε πολυκριτηριακή μέθοδος απόφασης που εφαρμόζεται σε περιβαλλοντικά προβλήματα[18]:

1. Πρέπει να είναι αυστηρά καθορισμένη και να γίνεται εύκολα κατανοητή, ιδιαίτερα όσο αφορά στην επιλογή των βαθμών βαρύτητας των κριτηρίων και στην αξιολόγησή τους.
2. Πρέπει να ενσωματώνει όλους τους DMs στη διαδικασία.
3. Να λαμβάνει υπόψη της όλες τις εναλλακτικές και όλα τα κριτήρια.
4. Να αντιμετωπίζει με κάποιον τρόπο την αβεβαιότητα και ακαθοριστία των δεδομένων.
5. Να μην απαιτεί την απόσπαση μεγάλου μεγέθους πληροφορίας από τους DMs.

Για το ίδιο θέμα, οι J. Hokkanen and P. Salminen (1997), αναφέρουν ότι η μέθοδος αξιολόγησης, που επιλέγεται, θα πρέπει να:

- δύναται να συμπεριλάβει στη διαδικασία όλους τους DMs,
- είναι απλή και γρήγορη κατά τη χρήση,
- απαιτεί όσο το δυνατόν λιγότερες πληροφορίες από τους DMs,
- αντιμετωπίζει αξιόπιστα την αβεβαιότητα των δεδομένων.

Οι D. Shefer et al., (1997) προτείνουν μεθόδους που:

- δύνανται να επεξεργαστούν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα,

- είναι απλές στη χρήση και ενσωματώνουν υπολογισμούς κατανοητούς στον χρήστη,
- παρέχουν δυνατότητα εκτεταμένης ανάλυσης ευαισθησίας

Σύμφωνα με τους P. Salminen et al., (1998), οι πολυκριτηριακές μέθοδοι αποφάσεων ELECTRE III, PROMETHEE I και SMART αποτελούν τρεις από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες μεθόδους στις διαδικασίες περιβαλλοντικού και ενεργειακού σχεδιασμού. Στο συγκεκριμένο άρθρο τους, συγκρίνουν τις μεθόδους αυτές υπό το πλαίσιο περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου δεν είναι εύκολη. Συνεπώς, προτείνεται η εφαρμογή περισσότερων της μίας μεθόδων, και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, προτείνεται η χρήση της ELECTRE III.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα αποφάσεων παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. μεγάλος αριθμός ληπτών απόφασης,
2. οι πληροφορίες, που παρέχουν οι DMs συνήθως περιορίζονται στον προσδιορισμό των βαθμών βαρύτητας των κριτηρίων επιλογής,
3. ο αριθμός των κριτηρίων αξιολόγησης είναι μεγάλος.

Η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου δεν είναι δυνατή από τα αρχικά στάδια επεξεργασίας. Ο αναλυτής και ο λήπτης απόφασης πρέπει να κατανοήσουν το πρόβλημα, να ξεχωρίσουν τις δυνατές εναλλακτικές επιλογές και τις συνέπειές τους, να αναγνωρίσουν τις συγκρούσεις μεταξύ των κριτηρίων και να αντιμετωπίσουν την ανακρίβεια των δεδομένων.

Σύμφωνα με τους J. Hokkanen και P. Salminen (1994), η πολυκριτηριακή μέθοδος ELECTRE III αποτελεί κατάλληλο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε προβλήματα περιβαλλοντικού σχεδιασμού, όπου εμπλέκονται πολλοί DMs και παρουσιάζεται ανακρίβεια κατά την εκτίμηση της απόδοσης των εναλλακτικών επιλογών.

Σύμφωνα με τους B.F. Hobbs and P. Meier (1995), υπάρχει μία πληθώρα πολυκριτηριακών μεθόδων για την ανάλυση της διαδικασίας λήψης απόφασης. Αυτές διαφέρουν όσο αφορά στην καταλληλότητα εφαρμογής, ευκολία χρήσης, αξιοπιστία και στα αποτελέσματα.

Αξιόπιστη μέθοδος είναι αυτή που παράγει επιστημονικά αυστηρά αποτελέσματα τα οποία αντικατοπτρίζουν με σαφήνεια τις προτιμήσεις των ληπτών απόφασης. Η ευκολία χρήσης μίας μεθόδου εξαρτάται από την απαιτούμενη προσπάθεια και τον χρόνο που απαιτεί η εφαρμογή της, ενώ η καταλληλότητά της καθορίζεται από την προσαρμοστικότητά της στα δεδομένα του συγκεκριμένου προβλήματος. Η κάθε μία από τις πολυκριτηριακές μεθόδους αξιολόγησης πετυχαίνει διαφορετική ισορροπία μεταξύ των κριτηρίων, της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, της καταλληλότητας εφαρμογής και της ευκολίας χρήσης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι όλες οι προαναφερόμενες μέθοδοι παρουσιάζουν δυσκολίες όταν στην αξιολόγηση εμπλέκεται μεγάλος αριθμός κριτηρίων. Η ομαδοποίηση των κριτηρίων σύμφωνα με τη φύση ή τη σημαντικότητά τους σε έναν πίνακα και η εν συνεχεία εφαρμογή της εκάστοτε μεθόδου σε κάθε ομάδα μπορεί να εξαλείψει τις παραπάνω δυσκολίες. Συμπληρωματικά η δημιουργία του πίνακα βοηθά στη λειτουργικότερη εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων.

Είναι εμφανές πως δεν υπάρχουν καλύτερες και χειρότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής αξιολόγησης, απλά υπάρχουν περισσότερο και λιγότερο κατάλληλες μέθοδοι σύμφωνα με την κάθε εφαρμογή. Σε κάθε περίπτωση όμως προτείνεται η χρησιμοποίηση περισσότερων της μίας αναλυτικής μεθόδου και η σύγκριση των αποτελεσμάτων.



## 2.4.9. Η κατηγορία μεθόδων ELECTRE

### 2.4.9.1. Γενικά

Η ELECTRE (ELimination Et Coix Traduisant la REalite) αποτελεί μια κατηγορία μεθόδων ΠΑ, η οποία βασίζεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής[32]. Σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία ορίζεται αρχικά μία συνάρτηση μεταξύ δύο εναλλακτικών σεναρίων και στη συνέχεια με τη χρήση ενός δείκτη αναπτύσσεται σχέση υπεροχής πάνω στο σύνολο των εναλλακτικών σεναρίων. Ο δείκτης προτίμησης αναπαριστά την ένταση της προτίμησης του λήπτη αποφάσεων για ένα εναλλακτικό σενάριο ως προς κάποιο άλλο. Διακρίνεται σε επιμέρους μεθόδων (ELECTRE I, II, III, IV και TRI), από τις οποίες επιλέχθηκε να παρουσιασθεί και να εφαρμοστεί η ELECTRE III, λόγω της επιτυχημένης εφαρμογής της σε προηγούμενες αξιολογήσεις επενδύσεων και της καλής προσαρμογής της στα δεδομένα του ζητήματος.

Οι μέθοδοι ELECTRE δεν χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αντικατάστασης μεταξύ των κριτηρίων, δηλαδή μη ικανοποιητική βαθμολογία κάποιου κριτηρίου δεν εξισορροπείται από καλή βαθμολογία κάποιου άλλου. Πλεονέκτημα αποτελεί και η χρήση ορίων προτίμησης και αδιαφορίας που αντιμετωπίζουν τα συχνά ανακριβή δεδομένα.

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται κατά τη συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται εύκολα κατανοητή από τα κέντρα λήψης αποφάσεων, έστω και αν δεν υπάρχει εξοικείωση με παρόμοιες τεχνικές και προσφέρει ουσιώδη και ακριβή κατάταξη των σεναρίων[9]. Παραθέτονται στη συνέχεια οι βασικές θεωρητικές αρχές της μεθόδου.

#### 2.4.9.2. Το νοηματικό πλαίσιο της ELECTRE III

Θεωρούμε έναν πεπερασμένο αριθμό κριτηρίων  $g_j$ , όπου  $j=1,2,\dots,r$  και μια ομάδα εναλλακτικών σεναρίων  $A$ . Μεταξύ δύο σεναρίων  $a$  και  $b$  είναι δυνατόν να υπάρχουν οι σχέσεις και οι αντίθετες:

- $aPb$  το  $a$  είναι ισχυρά προτιμητέο του  $b$ , όταν  $g(a)-g(b) > p$
- $aQb$  το  $a$  είναι ισχνά προτιμητέο του  $b$ , όταν  $q < g(a)-g(b) \leq p$
- $aIb$  αδιαφορία μεταξύ των  $a$  και  $b$ , όταν  $|g(a)-g(b)| \leq q$

όπου  $p$  όριο προτίμησης και  $q$  όριο αδιαφορίας, οι τιμές των οποίων θέτονται από τους λήπτες αποφάσεων.

Για την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE III εισάγεται επιπλέον η σχέση  $S = P \cup I$  με συμβολισμό  $aSb$ , που δηλώνει ότι το σενάριο  $a$  είναι τουλάχιστον τόσο καλό όσο το  $b$ . Με σκοπό να εξεταστεί η δήλωση  $aSb$  εισάγονται οι παρακάτω αρχές[9]:

- ✦ Αρχή συμφωνίας: ισχύει  $aSb$  για την πλειοψηφία των κριτηρίων.
- ✦ Αρχή της μη ασυμφωνίας: από το σύνολο των κριτηρίων, βάσει των οποίων δεν γίνεται δεκτή η δήλωση, δεν περιέχει κανένα κριτήριο βάσει του οποίου η δήλωση να απορρίπτεται ισχυρά.

Το σύμβολο  $aS_jb$  δηλώνει ότι το σενάριο  $a$  είναι τουλάχιστον τόσο καλό όσο το  $b$  σε σχέση με το κριτήριο  $j$ . Για να θεωρηθεί το κριτήριο  $j$  σε συμφωνία με τη δήλωση  $aSb$ , πρέπει να ισχύει  $aS_jb$ , δηλαδή  $g_j(a) \geq g_j(b)-q_j$ . Αντίστοιχα το κριτήριο  $j$  βρίσκεται σε ασυμφωνία με τη δήλωση  $aSb$ , όταν ισχύει  $bP_ja$ , δηλαδή όταν  $g_j(b) \geq g_j(a)-p_j$ .

Γενικά ως σκοπός της μεθόδου ορίζεται η κατάταξη των εναλλακτικών σεναρίων λαμβάνοντας υπόψη (Roy et al, 1986):

- Τα όρια αδιαφορίας και προτίμησης για κάθε κριτήριο
- Τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων
- Τις δυσκολίες, που πιθανόν να προκύψουν, από τη σύγκριση δύο σεναρίων, όπου το πρώτο εμφανίζεται σημαντικά καλύτερο από το δεύτερο σε σχέση με ένα υποσύνολο κριτηρίων, αλλά υποδεέστερο σε σχέση με το σύνολο των κριτηρίων.

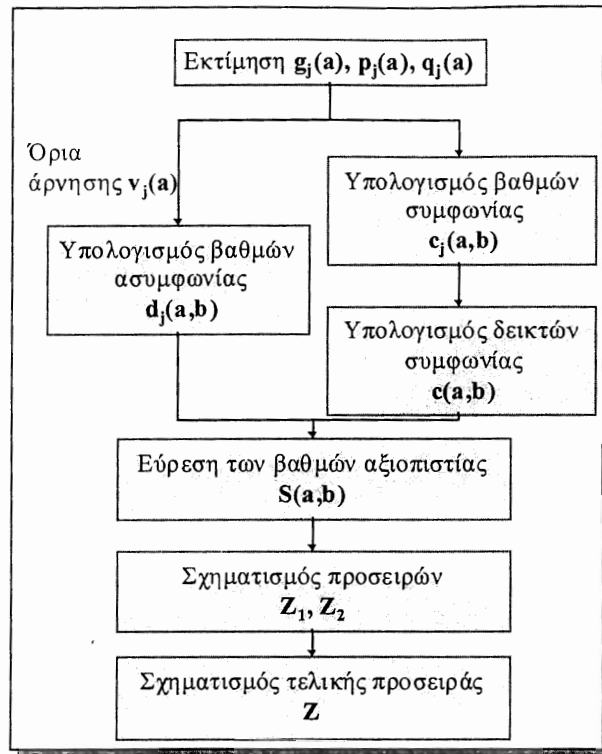
#### 2.4.9.3. Μεθοδολογία

Έχοντας ορίσει το νοηματικό πλαίσιο της μεθόδου, στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία για την επαλήθευση ή απόρριψη της δήλωσης  $aSb$ . Στο σχήμα 2.3 εμφανίζεται διαγραμματικά η γενική μεθοδολογία της ELECTRE III.

Τα σενάρια συγκρίνονται ανά ζεύγη και υπολογίζονται τα μέτρα συμφωνίας  $c_j(a,b)$ , που εκφράζουν την υπεροχή του σεναρίου  $a$  σε σχέση με το  $b$ . Συγκεκριμένα ισχύει:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 & g_j(b) - g_j(a) \leq q_j \\ 0 & g_j(b) - g_j(a) \geq p_j \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j} & q_j \leq g_j(b) - g_j(a) \leq p_j \end{cases} \quad (2.32)$$

όπου  $g_j(a)$  και  $g_j(b)$  είναι οι βαθμολογήσεις των εναλλακτικών σεναρίων  $a$  και  $b$  αντίστοιχα σύμφωνα με το κριτήριο  $j$  και  $p_j, q_j$  τα όρια προτίμησης και αδιαφορίας.



Σχήμα 2.8: Διαγραμματική απεικόνιση της μεθοδολογίας της ELECTRE III[19]

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι δείκτες συμφωνίας  $c(a,b)$  (concordance index, Salminen et al, 1998), σύμφωνα με τη σχέση:

$$c(a,b) = \frac{1}{\sum_{j=1}^r k_j} \sum_{j=1}^r k_j c_j(a,b) \quad (2.33)$$

όπου  $k_j$  ο συντελεστής βαρύτητας του κριτηρίου  $j$ .

Οι δείκτες συμφωνίας χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό του πίνακα συμφωνίας που έχει την παρακάτω μορφή:

	Σ1	Σ2	...	Σ n
Σενάριο 1	1	C(1,2)		c(1,n)
Σενάριο 2	C(2,1)	1		c(2,n)
⋮			1	
Σενάριο n	C(n,1)	C(n,2)		1

Από τους δείκτες συμφωνίας μπορούν να υπολογίζονται οι καθαρές ροές χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$C(a) = \sum_{a \neq b} [c(a,b) - c(b,a)] / (n-1) \quad (2.34)$$

όπου  $n$  ο αριθμός των κριτηρίων (Salminen et al, 1998).

Κατά αντίστοιχο τρόπο υπολογίζονται και οι δείκτες ασυμφωνίας  $d_j(a,b)$  (σχέση 2.11) και απαιτείται η εισαγωγή ενός επιπλέον ορίου, του ορίου άρνησης  $v_j$  (veto threshold). Ως όριο άρνησης ενός κριτηρίου  $j$  ορίζεται η μικρότερη τιμή της διαφοράς των βαθμολογήσεων δύο σεναρίων πέραν της οποίας θεωρείται πως δεν ισχύει η δήλωση  $aS_jb$  (Roy et al, 1986).

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0 & g_j(b) - g_j(a) \leq p_j \\ 1 & g_j(b) - g_j(a) \geq v_j \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j} & p_j \leq g_j(b) - g_j(a) \leq v_j \end{cases} \quad (2.35)$$

Η χρήση των δεικτών ασυμφωνίας περιορίζει την αντιστάθμιση μεταξύ των βαθμολογήσεων των κριτηρίων (Salminen et al 1998, σελ. 488). Στην περίπτωση που  $d_j(a,b)=1$  για κάθε  $j$ , τότε το εναλλακτικό σενάριο  $a$  απορρίπτεται και δεν συμπεριλαμβάνεται στη μετέπειτα αξιολόγηση. Αντίθετα με τους δείκτες συμφωνίας, στην εύρεση των δεικτών ασυμφωνίας δεν συνυπολογίζονται οι συντελεστές βαρότητας[34].

Στη συνέχεια βάσει των δεικτών συμφωνίας και ασυμφωνίας, υπολογίζονται οι βαθμοί αξιοπιστίας (credibility degree) για κάθε ζεύγος σεναρίων, σύμφωνα με τη σχέση:

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & d_j(a,b) \leq C(a,b) \\ & \forall j \\ C(a,b) \cdot \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1-d_j(a,b)}{1-C(a,b)} & d_j(a,b) \geq C(a,b) \\ & J(a,b) : d_j(a,b) > C(a,b) \end{cases} \quad (2.36)$$

όπου  $J(a,b)$  είναι το σύνολο των κριτηρίων. Από την εφαρμογή της τελευταίας συνάρτησης εξάγεται ο πίνακας αξιοπιστίας, με μορφή ανάλογη του πίνακα συμφωνίας[19].

Το επόμενο βήμα είναι η κατάταξη των σεναρίων σύμφωνα με τον πίνακα αξιοπιστίας. Αρχικά σχηματίζονται δύο κατατάξεις  $Z_1$  και  $Z_2$ , αύξουσας και μία φθίνουσας προτίμησης αντίστοιχα και από το συνδυασμό τους καταλήγουμε στην τελική κατάταξη  $Z = Z_1 \cap Z_2$ .

Σε αυτό το σημείο εισάγεται η σταθερά  $\lambda$ , που είναι η μεγαλύτερη τιμή του πίνακα αξιοπιστίας, δηλαδή  $\lambda = \max_{a,b \in A} S(a,b)$  και ορίζεται η τιμή αξιοπιστίας  $s(\lambda)$ , τέτοια ώστε να παραμείνουν μόνο οι τιμές  $S(a,b)$  που είναι μεγαλύτερες του  $\lambda - s(\lambda)$ . Η τιμή αξιοπιστίας, όπως και τα όρια  $p_j, q_j, v_j$  που προαναφέρθηκαν, καθορίζεται από το λήπτη αποφάσεων. Ισχύει:

$$T(a,b) = \begin{cases} 1 & S(a,b) > \lambda - s(\lambda) \\ 0 & S(a,b) < \lambda - s(\lambda) \end{cases} \quad (2.37)$$

Από την εφαρμογή της τελευταίας συνάρτησης απορρέει ο τελικός πίνακας βάσει του οποίου θα πραγματοποιηθούν οι κατατάξεις.

#### 2.4.9.4. Εξαγωγή κατατάξεων

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την εξαγωγή των κατατάξεων από τον τελικό πίνακα έχει ως εξής: Αρχικά υπολογίζονται τα αθροίσματα των γραμμών και των στηλών. Αφαιρούνται τα αθροίσματα των στηλών από τα αντίστοιχα των γραμμών. Το σενάριο με τη μεγαλύτερη τιμή διαφοράς τοποθετείται πρώτο στην κατάταξη. Τα σενάρια κατατάσσονται από τα αριστερά προς τα δεξιά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται παραλείποντας τη γραμμή και τη στήλη του σεναρίου που κατατάχθηκε. Προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία η ολική προσειρά  $Z_1$  (total preorder). Για την εξαγωγή της κατάταξης  $Z_2$  πρώτο στην κατάταξη τοποθετείται το σενάριο με τη μικρότερη διαφορά και τα σενάρια κατατάσσονται από τα δεξιά προς τα αριστερά. Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα του ενός σενάρια με την ίδια τιμή διαφοράς, μεταβάλλουμε ανάλογα τη σταθερά  $s(\lambda)$ , με συνέπεια την αλλαγή του τελικού πίνακα και των διαφορών.

Όπως προαναφέρθηκε η τελική μερική προσειρά (final partial preorder) προκύπτει από την τομή των ολικών προσειρών  $Z_1$  και  $Z_2$ .

#### 2.4.9.5. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης τίθεται το θέμα της παρουσίασης των αποτελεσμάτων, που πρέπει να γίνει με τρόπο απλό, περιεκτικό και ενδεικτικό για την ακόλουθη εξαγωγή των συμπερασμάτων. Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων προσφέρεται για αυτόν το σκοπό.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

### **3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

#### **3.1.1. Καθορισμός ορίων της περιοχής**

Η νήσος Λέσβος βρίσκεται στο Ανατολικό Αιγαίο, κοντά στα παράλια της Μικράς Ασίας, στην είσοδο του Αδραμυτιού Κόλπου. Από άποψη εκτάσεως είναι το μεγαλύτερο νησί στο Ανατολικό Αιγαίο με 1632,5 km<sup>2</sup>. Διαιρείται σε τρεις Επαρχίες (Μυτιλήνης, Μήθυμνας και Πλωμαρίου) και περιλαμβάνει δεκατρείς Δήμους.

Η υπό μελέτη περιοχή είναι ο Δήμος Λουτροπόλεως Θερμής, που διοικητικά ανήκει στην Επαρχία Μυτιλήνης και περιλαμβάνει τα εξής Δημοτικά Διαμερίσματα (Δ.Δ.): Δ.Δ. Λουτροπόλεως Θερμής, Δ.Δ. Πύργων Θερμής, Δ.Δ. Πηγής, Δ.Δ. Κώμης, Δ.Δ. Μιστεγνών και Δ.Δ. Νέων Κυδωνιών. Γεωγραφικά καταλαμβάνει το τμήμα της ανατολικής ακτής της Λέσβου, από τον κάμπο στην περιοχή των Νέων Κυδωνιών στα βόρεια μέχρι τους Πύργους Θερμής στα νότια και από την Κώμη στα δυτικά έως τη θάλασσα.

#### **3.1.2. Υφιστάμενη κατάσταση**

##### **3.1.2.1. Κλιματολογικά Στοιχεία**

Οι βροχοπτώσεις στο νησί χαρακτηρίζονται από την ανισοκατανομή τους κατά την διάρκεια του έτους (μεσογειακό κλίμα), με συγκέντρωσή τους την περίοδο Οκτωβρίου - Απριλίου, ενώ είναι σχετικά ασήμαντες τους υπόλοιπους μήνες. Η ανισοκατανομή αυτή των βροχοπτώσεων επηρεάζει την βλάστηση της υπό μελέτη περιοχής και καθιστά αναγκαία την άρδευση για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.

Οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή είναι κατά βάση βόρειοι - βορειοδυτικοί τους μήνες Μάρτιο έως Οκτώβριο και νότιοι - νοτιοδυτικοί τους μήνες Νοέμβριο έως Φεβρουάριο.

Από τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Μυτιλήνης προκύπτει ότι η μέση θερμοκρασία αέρα είναι 17,6 °C με διακύμανση από 9,6 °C (Ιανουάριος) έως 26,5 °C (Ιούλιος). Η απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία (-4,4 °C ) παρατηρείται τον Ιανουάριο και η απόλυτη μέγιστη (40 °C) παρατηρείται τον Ιούλιο. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες έχουν παρατηρηθεί την περίοδο Δεκεμβρίου - Μαρτίου και οι υψηλές την περίοδο Ιουνίου - Σεπτεμβρίου.

Από τον ίδιο μετεωρολογικό σταθμό προκύπτει ότι η σχετική υγρασία παρουσιάζει μέγιστο κατά τους μήνες Δεκέμβριο - Ιανουάριο με τιμές άνω του 70% και ελάχιστο κατά το μήνα Ιούλιο (54,4%).

### 3.1.2.2. Πληθυσμιακά Στοιχεία

#### ➤ Μόνιμος Πληθυσμός

Η εξέλιξη του πληθυσμού βασίζεται στα στοιχεία των απογραφών, όπως δίνονται από την Στατιστική Υπηρεσία του Νομού Λέσβου, και φαίνεται στον Πίνακα 3.1.

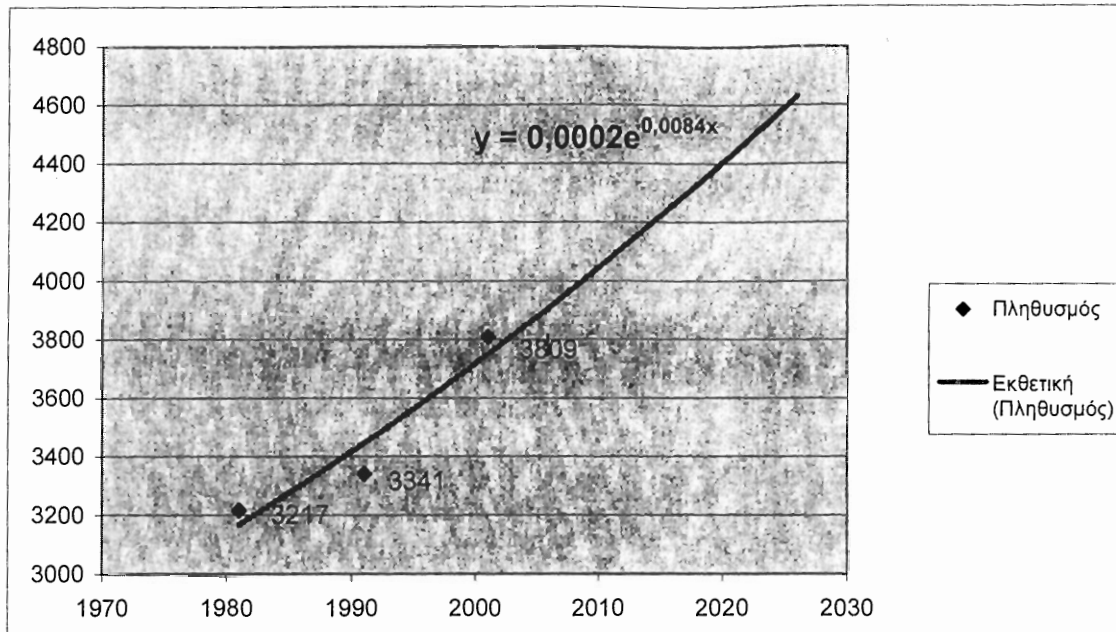
Στον Πίνακα 3.2 αποτυπώνεται η μεταβολή του μόνιμου πληθυσμού κάθε Δημοτικού Διαμερίσματος, για τις αντίστοιχες δεκαετίες. Παρατηρείται μια μείωση του πληθυσμού τη δεκαετία 1971-1981, αλλά τις επόμενες δεκαετίες ο πληθυσμός παρουσιάζει αύξουσα πορεία. Βάσει των στοιχείων αυτών δημιουργείται το Σχήμα 3.1, από το οποίο εξάγεται και η εξίσωση εξέλιξης του μόνιμου πληθυσμού του συγκεκριμένου Δήμου.

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ			
	1971	1981	1991	2001
<b>ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ</b>	<b>3463</b>	<b>3217</b>	<b>3341</b>	<b>3809</b>
<b>Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής</b>	<b>1041</b>	<b>1024</b>	<b>1024</b>	<b>1113</b>
Λουτρόπολη Θερμής	963	940	888	912
Άγιος Γεώργιος	0	0	0	37
Μονή Αγίου Ραφαήλ	0	0	80	56
Παραλία Θερμής	78	84	56	108
<b>Δ.Δ.Κώμης</b>	<b>152</b>	<b>149</b>	<b>222</b>	<b>227</b>
Κώμη	152	149	222	227
<b>Δ.Δ.Μιστεγγών</b>	<b>835</b>	<b>693</b>	<b>620</b>	<b>905</b>
Μιστεγγά	834	667	529	625
Σκάλα Μιστεγγών	1	26	91	180
Τούμπες	0	0	0	100
<b>Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών</b>	<b>471</b>	<b>447</b>	<b>492</b>	<b>643</b>
Νέες Κυδωνίες	469	421	443	515
Ξαμπέλια	0	0	10	74
Σκάλα Νέων Κυδωνιών	2	26	39	54
<b>Δ.Δ.Πηγής</b>	<b>659</b>	<b>576</b>	<b>568</b>	<b>502</b>
Πηγή	659	576	568	502
<b>Δ.Δ.Πύργων Θερμής</b>	<b>305</b>	<b>328</b>	<b>415</b>	<b>419</b>
Πύργοι Θερμής	22	16	363	372
Παναγία	59	50	52	47
Πετραλώνια	224	262	0	0

Πίνακας 3.1: Απογραφές πληθυσμού του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής 1971 - 2001.  
(Πηγή: ΕΣΥΕ)

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ %		
	1971-1981	1981-1991	1991-2001
<b>ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής	-0,02	0,00	0,09
Δ.Δ.Κώμης	-0,02	0,49	0,02
Δ.Δ.Μιστεγγών	-0,17	-0,11	0,46
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	-0,05	0,10	0,31
Δ.Δ.Πηγής	-0,13	-0,01	-0,12
Δ.Δ.Πύργων Θερμής	0,08	0,27	0,01

Πίνακας 3.2: Μεταβολή του μόνιμου πληθυσμού του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής 1971 - 2001.



**Σχήμα 3.1:** Γραφική παράσταση της μεταβολής του μόνιμου πληθυσμού του Δήμου Λουτροπόλεως Θερινής 1971 - 2001.

➤ **Εποχιακός Πληθυσμός**

Επειδή στη Στατιστική Υπηρεσία δε διατίθενται στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη του εποχιακού πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής, ο υπολογισμός της βασίστηκε σε στοιχεία του ΕΟΤ, για τον εποχιακό πληθυσμό του έτους 2003. Κάνοντας την παραδοχή ότι η αύξηση του πληθυσμού τη θερινή περίοδο είναι σταθερή κάθε χρόνο, υπολογίστηκε η εξέλιξη του έως το 2015, γιατί ο σχεδιασμός του συστήματος διαχείρισης των λυμάτων του εν λόγω Δήμου, που θα ακολουθήσει, θα έχει αυτόν το χρονικό ορίζοντα. (Πίνακας 3.4).

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	Εποχιακός Πληθυσμός	Συνολικός Θερινός Πληθυσμός	% Αύξηση Πληθυσμού το Καλοκαίρι
ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ	1.696	5.505	45
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής	914	2.027	82
Δ.Δ.Κώμης	4	231	2
Δ.Δ.Μιστεγνών	439	1.344	48
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	107	750	17
Δ.Δ.Πηγής	45	547	9
Δ.Δ.Πύργων Θερμής	188	607	45

Πίνακας 3.3: Εποχιακός Πληθυσμός του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής το έτος 2003.  
(Πηγή: ΕΟΤ)

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ			% Αύξηση Πληθυσ. το Καλοκαίρι	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΘΕΡΙΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ		
	2001	2011	2015		2001	2011	2015
ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ	3809	4139	4280	45	5505	5982	6212
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής	1113	1317	1362	82	2027	2399	2481
Δ.Δ.Κώμης	227	192	198	2	231	195	202
Δ.Δ.Μιστεγνών	905	892	922	48	1344	1324	1369
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	643	575	595	17	750	671	693
Δ.Δ.Πηγής	502	741	766	9	547	807	835
Δ.Δ.Πύργων Θερμής	419	422	436	45	607	611	632

Πίνακας 3.4: Εξέλιξη συνολικού πληθυσμού του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής.  
(Πηγή: ΕΣΥΕ; ΕΟΤ)

### 3.1.2.3. Αποχετευτικό Δίκτυο - Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Η κατάσταση του αποχετευτικού δικτύου της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 3.5, όπου φαίνεται πως οι περισσότεροι οικισμοί, όχι μόνο δεν επεξεργάζονται τα λύματά τους, αλλά δεν έχουν ούτε αποχετευτικό δίκτυο. Τα λύματα συγκεντρώνονται σε σηπτικές δεξαμενές (βόθροι) και όταν γεμίσουν, τα λύματα μεταφέρονται με βυτιοφόρα στη ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης. Όσοι οικισμοί διαθέτουν αποχετευτικό δίκτυο τα λύματά τους διατίθενται είτε σε χειμάρρους είτε στη θάλασσα ανεπεξέργαστα.

Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο οικισμός των Μιστεγνών, του οποίου τα λύματα υφίστανται μια πρωτοβάθμια επεξεργασία. Έτσι, μέσω του αποχετευτικού δικτύου διέρχονται από εγκατάσταση εσχάρωσης και εν συνεχεία από δεξαμενή καθίζησης τύπου IMHOFF, για να καταλήξουν σε υπεδάφια διάθεση<sup>2</sup>.

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΗΛΙΚΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΕΙΔΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΔΙΑΘΕΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ
Λουτρόπολη Θερμής	1990	90% Αποχέτευση	Καλή	Ρέμα/ Θάλασσα
Μονή Αγ.Ραφαήλ Παραλία Θερμής	---	100% Βόθροι 100% Βόθροι	Κακή Κακή	
Κώμη	1997	80% Αποχέτευση	Καλή	Ρέμα
Μιστεγνά Σκάλα Μιστεγνών	1950	100% Αποχέτευση 100% Βόθροι	Καλή Κακή	Υπεδάφια
Νέες Κυδωνίες Ξαμπέλια Σκάλα Ν.Κυδωνιών	1991	100% Αποχέτευση 100% Βόθροι 100% Βόθροι	Καλή Κακή Κακή	Ρέμα
Πηγή	1997	80% Αποχέτευση	Επισκευές/επέκταση	Ρέμα
Πύργοι Θερμής Παναγία	---	100% Βόθροι 100% Βόθροι	Κακή Κακή	

Πίνακας 3.5: Κατάσταση αποχετευτικού δικτύου των οικισμών του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής  
(Πηγή: Τεχνική Υπηρεσία Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής)

<sup>2</sup> Υπεδάφια διάθεση: ονομάζεται και μέθοδος διηθήσεως διότι τα ακάθαρτα ύδατα, αφού υποστούν πρωτοβάθμια τουλάχιστον επεξεργασία, οδηγούνται εντός του εδάφους δια μέσου δικτύου διάτρητων αγωγών. Οι αγωγοί περιβάλλονται με χαλίκια και τοποθετούνται εντός ταφρών.

Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι στους Πύργους Θερμής η αρχαιολογική υπηρεσία μέχρι στιγμής δεν επιτρέπει την κατασκευή αποχετευτικού δικτύου, υπάρχουν όμως ελπίδες πως το εμπόδιο αυτό θα ξεπεραστεί. Γι' αυτό, κατά το σχεδιασμό του συστήματος διαχείρισης των λυμάτων της περιοχής, γίνεται η παραδοχή ότι η κατασκευή αποχετευτικού δικτύου είναι εφικτή.

### 3.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων εξέδωσε στις 21 Μαΐου 1991 μια οδηγία (91/271/ΕΟΚ) για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 για εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας), στην οποία προβλέπεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν ΜΕΥΑ σε όλες τις πόλεις της Κοινότητας. Συγκεκριμένα, προτείνεται ότι τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε τα αστικά λύματα που διοχετεύονται σε αποχετευτικά δίκτυα να υποβάλλονται, πριν την απόρριψή τους, σε δευτεροβάθμια ή σε ισοδύναμη επεξεργασία, ως εξής:

- Το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 2000, για όλες τις απορρίξεις λυμάτων από οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό (Ι.Π.) άνω των 15.000,
- Το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 2005, για όλες τις απορρίψεις λυμάτων από οικισμούς με Ι.Π. μεταξύ των 10.000 και 15.000,
- Το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 2005, για τα λύματα, που αποβάλλονται σε γλυκά ύδατα και σε εκβολές ποταμών, από οικισμούς με Ι.Π. μεταξύ 2.000 και 10.000
- Το αργότερο μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 1998, τα αστικά λύματα, που αποβάλλονται σε ευαίσθητες περιοχές, να υποβάλλονται σε επεξεργασία αυστηρότερη από εκείνη, που περιγράφεται παραπάνω, για όλες τις απορρίψεις από οικισμούς με Ι.Π. άνω των 10.000.

Οι προθεσμίες είτε έχουν λήξει είτε λήγουν σε λιγότερο από ενάμιση χρόνο. Οι περισσότεροι Δήμοι της Ελλάδος έχουν συμμορφωθεί με τη σχετική Οδηγία και, κατόπιν επιχορηγήσεων, έχουν προχωρήσει στην κατασκευή και λειτουργία ΜΕΥΑ. Υπάρχουν όμως και Δήμοι, των οποίων τα λύματα είτε δεν υφίστανται καμία επεξεργασία είτε υφίστανται κάποια πρωτοβάθμια επεξεργασία, αλλά όχι αρκετή ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της οδηγίας.

Σε ότι αφορά το νησί της Λέσβου, πολλοί Δήμοι ανήκουν στην τελευταία κατηγορία. Ένας από αυτούς είναι και ο Δήμος Λουτροπόλεως Θερμής. Στην παρούσα εργασία, μετά από μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής, σχηματίζονται ορισμένα σενάρια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, με σκοπό την εξαγωγή της βέλτιστης λύσης.



### 3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

#### 3.3.1. Υδραυλικά Φορτία

Για τον υπολογισμό των υδραυλικών φορτίων απαιτείται η υιοθέτηση ορισμένων παραδοχών. Συγκεκριμένα:

1. Η μέση ημερήσια χειμερινή κατανάλωση νερού είναι  $150 \text{ l/p*d}$  (λίτρα/άτομο\*ημέρα) και η αντίστοιχη θερινή είναι  $225 \text{ l/p*d}$ . Στις τιμές αυτές συμπεριλαμβάνονται και οι πάσης φύσεως καταναλώσεις, που αφορούν στις γενικές ανάγκες των κατοίκων, όπως πότισμα κήπων, πάρκων κλπ.
2. Η παροχή των ακαθάρτων ισούται με το 80% της κατανάλωσης νερού.
3. Η μέγιστη θερινή ημερήσια παροχή των ΥΑΑ ισούται με τη μέση ημερήσια παροχή προσαυξημένη κατά 50%.
4. Ο συντελεστής εισροών για τη συνολική παροχή των λυμάτων ισούται με 0,3 το χειμώνα και 0,1 το καλοκαίρι.

Ο υπολογισμός θα γίνει βάσει της εξίσωσης (2.1), οπότε και προκύπτει ο Πίνακας 3.6.

### 3.3.2. Ρυπαντικά Φορτία

Τα ρυπαντικά φορτία των λυμάτων εκφράζονται από τις εξής παραμέτρους:

- › BOD<sub>5</sub> (Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο - Biological Oxygen Demand)
- › SS (Αιωρούμενα Στερεά - Suspended Solids)
- › Ολικό Άζωτο (Total Nitrogen)
- › Ολικός Φώσφορος (Total Phosphorus)

Για τον υπολογισμό του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αστικών αποβλήτων της υπό μελέτη περιοχής γίνεται η παραδοχή των παρακάτω μοναδιαίων φορτίσεων, σταθερών για τα έτη σχεδιασμού:

- › BOD<sub>5</sub>: 60 g/pd
- › SS: 75 g/pd
- › N: 10 g/pd
- › P: 2,5 g/pd

Ο υπολογισμός των ρυπαντικών φορτίων γίνεται με τη χρήση της εξίσωσης (2.2) και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.7.

	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ	
	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ		ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ (l/pd)		ΣΥΝΤΕΛ. ΕΙΣΡΩΝ ΜΗΠ		ΜΗΠ (m <sup>3</sup> /d)		max ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ (l/s)		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΙΧΜΗΣ <sup>α</sup>		(l/s)	(m <sup>3</sup> /h)
<b>ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ</b>	<b>4280</b>	<b>6212</b>	<b>150</b>	<b>225</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>668</b>	<b>1230</b>	<b>11,6</b>	<b>21,4</b>	<b>2,33</b>	<b>2,08</b>	<b>61,5</b>	<b>221</b>
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής	1362	2481	150	225	0,3	0,1	213	491	3,7	8,5	3,00	2,70	23,0	83
Δ.Δ.Κώμης	198	202	150	225	0,3	0,1	31	40	0,5	0,7	3,00	3,00	2,1	7
Δ.Δ.Μιστεγνών	922	1369	150	225	0,3	0,1	144	271	2,5	4,7	3,00	3,00	14,1	51
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	595	693	150	225	0,3	0,1	93	137	1,6	2,4	3,00	3,00	7,2	26
Δ.Δ.Πηγής	766	835	150	225	0,3	0,1	120	165	2,1	2,9	3,00	3,00	8,6	31
Δ.Δ.Πόργων Θερμής	436	632	150	225	0,3	0,1	68	125	1,2	2,2	3,00	3,00	6,5	23

<sup>α</sup> Ο συντελεστής αιχμής υπολογίζεται από την Εξίσ. (2.3). Επειδή εξαρτάται από τον πληθυσμό, η πρώτη στήλη δεν αποτελεί το μέσο όρο των υπολοίπων. Δεν μπορεί να πάρει μεγαλύτερη τιμή από 3.

**Πίνακας 3.6:** Υπολογισμός υδραυλικού φορτίου της υπό μελέτη περιοχής

	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ		ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ (l/pd)		BOD <sub>5</sub> (kg/d)		SS (kg/d)		N (kg/d)		Pb (kg/d)	
<b>ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΩΣ ΘΕΡΜΗΣ</b>	<b>4280</b>	<b>6187</b>	<b>150</b>	<b>225</b>	<b>257</b>	<b>371</b>	<b>321</b>	<b>464</b>	<b>43</b>	<b>62</b>	<b>10,7</b>	<b>15,5</b>
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής	1362	2481	150	225	82	149	102	186	14	25	3,4	6,2
Δ.Δ.Κώμης	198	202	150	225	12	12	15	15	2	2	0,5	0,5
Δ.Δ.Μιστεγνών	922	1369	150	225	55	82	69	103	9	14	2,3	3,4
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	595	693	150	225	36	42	45	52	6	7	1,5	1,7
Δ.Δ.Πηγής	766	835	150	225	46	50	57	63	8	8	1,9	2,1
Δ.Δ.Πύργων Θερμής	436	632	150	225	26	38	33	47	4	6	1,1	1,6

Πίνακας 3.7: Υπολογισμός Ρυπαντικού Φορτίου της υπό μελέτη περιοχής

### 3.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για την περίπτωση του σχεδιασμού μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων οι μεθοδολογίες, που βασίζονται στις σχέσεις υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων, κρίνεται ότι αποτελούν την καταλληλότερη πρακτική. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από την προσαρμοστικότητα, που επιδεικνύουν σε τέτοιες εφαρμογές. Οι μέθοδοι αυτοί παρέχουν υψηλές δυνατότητες επεξεργασίας των παραμέτρων και ανάλυσης της δομής του εκάστοτε προβλήματος. Παράλληλα αντιμετωπίζουν επιτυχώς την ατέλεια των στοιχείων εισαγωγής, μοντελοποιώντας με διάφορους τρόπους (όπως έχουν παρουσιαστεί προηγουμένως) την αβεβαιότητα και ακαθοριστία που χαρακτηρίζουν τέτοια προβλήματα απόφασης. Μια από αυτές είναι και η ELECTRE III, που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

### 3.5. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Ο καθορισμός των εναλλακτικών δράσεων γίνεται με βάση, κυρίως, τους στόχους που ζητείται να επιτευχθούν, αλλά και την ταυτότητα του συστήματος. Υπάρχουν διάφορα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, πολλά από τα οποία δεν μπορούν να είναι εφαρμόσιμα στη συγκεκριμένη περιοχή, που μελετάται. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η επεξεργασία των λυμάτων του Δ.Δ. Μιστεγνών θα παραμείνει ως έχει, διότι δεν μπορεί, προς το παρόν, να αποδειχτεί ότι αυτή δεν επαρκεί. Οπότε, το Δ.Δ. Μιστεγνών εξαιρείται από τη διαδικασία, που ακολουθεί. Μετά από έρευνα και ανάλυση, λοιπόν, έγινε η επιλογή των εξής τεσσάρων σεναρίων:

1. Σενάριο 1 (Scen 1): Μεταφορά και επεξεργασία των συνολικών λυμάτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής στη ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης.
2. Σενάριο 2 (Scen 2): Επεξεργασία των λυμάτων σε Φυσικά Συστήματα (ΦΣ) Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Συγκεκριμένα, προτείνεται η κατασκευή τριών Τεχνητών Υγροτόπων (ΤΥ):
  - ΤΥ1 για Δ.Δ. Λουτροπόλεως Θερμής + Δ.Δ. Πύργων Θερμής
  - ΤΥ2 για Δ.Δ. Πηγής + Δ.Δ. Κώμης
  - ΤΥ3 για Δ.Δ. Νέων Κυδωνιών
3. Σενάριο 3 (Scen 3): Μεταφορά και επεξεργασία των λυμάτων των Δ.Δ. Λουτροπόλεως Θερμής και Πύργων Θερμής στη ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης και κατασκευή δύο Τεχνητών Υγροτόπων για την επεξεργασία των υπολοίπων λυμάτων ως εξής:
  - ΤΥ1 για Δ.Δ. Πηγής + Δ.Δ. Κώμης
  - ΤΥ2 για Δ.Δ. Νέων Κυδωνιών
4. Σενάριο 4 (Scen 4): Επεξεργασία των λυμάτων σε Φυσικά Συστήματα (ΦΣ) Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, με κατασκευή δύο Τεχνητών Υγροτόπων (ΤΥ):
  - ΤΥ1 για Δ.Δ. Λουτροπόλεως Θερμής + Δ.Δ. Πύργων Θερμής + Δ.Δ. Πηγής + Δ.Δ. Κώμης
  - ΤΥ2 για Δ.Δ. Νέων Κυδωνιών

## 3.6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

### 3.6.1. Σενάριο 1

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξή του είναι να γίνει έλεγχος για το αν το μέγεθος των εγκαταστάσεων της ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης επαρκεί για την επεξεργασία των λυμάτων αυτών. Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη περιγραφή της εν λόγω μονάδας.

#### 3.6.1.1. Περιγραφή της ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης

- **Μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων**

Η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιείται με την μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού, με την οποία επιτυγχάνεται συγχρόνως η πλήρης σταθεροποίηση της ιλύος και η βιολογική απομάκρυνση των οργανικών ουσιών, του αζώτου και του φωσφόρου.

- **Έργα εισόδου και προεπεξεργασίας**

Τα έργα εισόδου και προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν την εγκατάσταση υποδοχής βοθρολυμάτων, το φρεάτιο άφιξης του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού - ΚΑΑ, το φρεάτιο εισόδου, την εσχάρωση, τον εξαμμωτή, και τον μετρητή παροχής.

- **Έργα βιολογικής επεξεργασίας**

Τα έργα της βιολογικής επεξεργασίας αποτελούνται από δύο φρεάτια διανομής, μία αναερόβια δεξαμενή, δύο βιολογικές δεξαμενές, κτίριο αεροσυμπιεστών, δύο δεξαμενές καθίζησης με φρεάτιο αφρού και αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού και ιλύος.

- **Αναερόβια δεξαμενή**

Η αναερόβια δεξαμενή, η οποία χρησιμοποιείται για τη βιολογική αφαίρεση του φωσφόρου, χωρίζεται σε τουλάχιστον 4 διαμερίσματα και

λειτουργεί και ως δεξαμενή επιλογής για τον έλεγχο της πιθανής διόγκωσης της ιλύος. Η ανάμιξη του ανάμικτου υγρού στα επιμέρους διαμερίσματα γίνεται με αργόστροφους μηχανικούς αναμκτήρες.

Από την αναερόβια δεξαμενή τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής αερισμού απ' όπου ισοκατανέμονται προς τις δύο βιολογικές δεξαμενές.

› **Βιολογικές δεξαμενές (ανοξικές - αερισμού)**

Οι δύο γραμμές βιολογικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν τις ανοξικές δεξαμενές - όπου απομακρύνονται τα νιτρικά αναγόμενα σε αέριο άζωτο (απονιτροποίηση) - και τις δεξαμενές αερισμού - όπου απομακρύνονται οι οργανικές ουσίες και οξειδώνεται η αμμωνία σε νιτρικά (νιτροποίηση). Στην εκροή των δεξαμενών αερισμού βρίσκεται και το αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού, που καταθλίβει τα λύματα στις ανάντη ανοξικές δεξαμενές για να πραγματοποιείται η απονιτροποίηση. Από τις βιολογικές δεξαμενές τα λύματα υπερχειλίζουν και οδηγούνται στο φρεάτιο διανομής καθίζησης απ' όπου ισοκατανέμονται προς τις δύο δεξαμενές καθίζησης.

Η παροχή οξυγόνου στις δεξαμενές αερισμού γίνεται με εμφύσηση αέρα στο ανάμικτο υγρό και η ανάμιξη στις δεξαμενές (ανοξικές και αερισμού) γίνεται με αργόστροφους μηχανικούς αναμκτήρες.

Λόγω της εφαρμοζόμενης μεθόδου παρατεταμένου αερισμού, η ηλικία της ιλύος είναι αρκετά μεγάλη ούτως ώστε η παραγόμενη ιλύς να θεωρείται πλήρως σταθεροποιημένη και να μπορεί να παχυνθεί και να αφυδατωθεί, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω σταθεροποίηση.

› **Δεξαμενές καθίζησης**

Οι δύο δεξαμενές καθίζησης είναι κυκλικές και το μίγμα επεξεργασμένων λυμάτων και ενεργού ιλύος οδηγείται από το φρεάτιο διανομής στο τύμπανο ηρεμίας κάθε δεξαμενής. Στην περιφέρεια της δεξαμενής τοποθετείται οδοντωτός υπερχειλιστής, από τον οποίο υπερχειλίζουν τα επεξεργασμένα λύματα και από περιμετρικό κανάλι καταλήγουν στην μονάδα απολύμανσης.

Η ενεργός ιλύς καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής, από όπου ειδικά σχεδιασμένο σύστημα σάρωσης την ωθεί προς τον κεντρικό κώνο



συλλογής. Από τον κώνο η καθιζάνουσα ιλύς απομακρύνεται με βαρύτητα στο αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος.

Στην επιφάνεια κάθε δεξαμενής ανέρχονται οι επιπλέουσες ουσίες, οι οποίες συγκρατούνται από μεταλλικό φράγμα και ωθούνται από επιφανειακό αποξεστήρα προς την ειδική χοάνη συλλογής, απ' όπου καταλήγουν στο φρεάτιο αφρού.

#### › **Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας ιλύος**

Στο αντλιοστάσιο ιλύος καταλήγει με βαρύτητα η καθιζάνουσα ιλύς από τις δεξαμενές καθίζησης. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ιλύος (ανακυκλοφορία) αντλείται στην αναερόβια δεξαμενή για να διατηρείται σταθερή η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στις βιολογικές δεξαμενές. Η περίσσεια ιλύος απομακρύνεται από τη βιολογική επεξεργασία, κατά τακτά χρονικά διαστήματα, προς την μονάδα πάχυνσης.

#### › **Έργα απολύμανσης**

Τα έργα της μονάδας απολύμανσης αποτελούνται από τον μετρητή παροχής, τη δεξαμενή χλωρίωσης, το φρεάτιο μετα-αερισμού και τα συγκροτήματα δοσομέτρησης χλωρίου και διοξειδίου του θείου, εγκατεστημένα στο κτίριο χλωρίωσης.

#### › **Δεξαμενή χλωρίωσης**

Από τον μετρητή παροχής τα επεξεργασμένα λύματα καταλήγουν σε φρεάτιο ανάμιξης, στο οποίο γίνεται προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου ( $\text{NaOCl}_3$ ) και ισοκατανέμονται προς τα δύο διαμερίσματα χλωρίωσης, που έχουν μαιανδρική μορφή. Από τη δεξαμενή τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο μετα-αερισμού.

#### › **Φρεάτιο μετά - αερισμού**

Τα επεξεργασμένα και απολυμασμένα λύματα οδηγούνται σε κλειστό φρεάτιο μετά - αερισμού, όπου τα υγρά εμπλουτίζεται σε διαλυμένο οξυγόνο είτε με αλληπάλληλες υδραυλικές πτώσεις σε κλίμακα οξυγόνωσης είτε με την εμφύσηση αέρα σ' αυτό. Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται

στο φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού. Στο φρεάτιο καταλήγει και ο αγωγός παράκαμψης της βιολογικής επεξεργασίας.

• **Έργα διάθεσης λυμάτων στη θάλασσα**

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων προβλέπεται στη θάλασσα. Στο φρεάτιο διάθεσης καταλήγει ο αγωγός επεξεργασμένων λυμάτων, τα οποία διοχετεύονται από τον θάλαμο κανονικής λειτουργίας στον αγωγό διάθεσης και μέσω αυτού στο φρεάτιο εκτόνωσης του υποθαλάσσιου αγωγού. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης προβλέπεται αυτόματη υπερχειλίση των επεξεργασμένων λυμάτων στον θάλαμο υπερχειλίσης και διοχέτευση αυτών στον αγωγό παράκαμψης του αγωγού διάθεσης.

• **Έργα επεξεργασίας ιλύος**

Η περίσσεια ιλύος αντλείται με το αντλιοστάσιο περίσσειας ιλύος στο κτίριο, που βρίσκεται στεγασμένη η εγκατάσταση μηχανικής πάχυνσης με παχυντές τύπου τύμπανου ή τράπεζας και η εγκατάσταση μηχανικής αφυδάτωσης με ταινιοφιλτρόπρεσσες, για να μειωθεί περαιτέρω ο όγκος της πριν την τελική διάθεση της. Το κτίριο αφυδάτωσης είναι εφοδιασμένο με σύστημα μηχανικού εξαερισμού και απόσμησης.

Πριν την είσοδο στην πάχυνση, η ιλύς αναμιγνύεται με διάλυμα πολυηλεκτρολύτη. Η αφυδατωμένη ιλύς περιέχει τουλάχιστον 20% ολικά στερεά και μεταφέρεται με κυλιόμενο ιμάντα στο σύστημα συλλογής-αποθήκευσης στον στεγασμένο κλειστό χώρο αποθήκευσης ιλύος. Μέρος της αφυδατωμένης ιλύος θα χρησιμοποιηθεί σε πιλοτικά προγράμματα και το υπόλοιπο με φορτηγό οδηγείται στον χώρο τελικής διάθεσης.

### 3.6.1.2. Έλεγχος δυνατότητας αποδοχής των λυμάτων από τη ΜΕΥΑ Δ. Μυτιλήνης

Στον Πίνακες 3.8 και 3.9 παρουσιάζονται οι παροχές και τα φορτία σχεδιασμού της ΜΕΥΑ, πριν και μετά την προσθήκη των λυμάτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής.

Ο έλεγχος της δυνατότητας της ΜΕΥΑ να αποδεχτεί το επιπλέον υδραυλικό και ρυπαντικό φορτίο γίνεται βάσει των κριτηρίων ελέγχου, που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 (συνοπτικά Πίνακας 2.1). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10, όπου παρατηρείται το εξής φαινόμενο: οι τιμές ορισμένων παραμέτρων είναι εξ αρχής εκτός ορίων, οπότε στις περιπτώσεις αυτές γίνεται υπολογισμός της μεταβολής της τιμής των παραμέτρων, μετά την είσοδο των νέων φορτίων, και μια εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων της μεταβολής αυτής στο σύστημα.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον Πίνακα 3.10 οι τιμές των βασικών παραμέτρων ελέγχου ορθής λειτουργίας της ΜΕΥΑ δε μεταβάλλονται σημαντικά ώστε να προκαλέσουν ιδιαίτερο πρόβλημα στην επεξεργασία των λυμάτων. Γίνεται, έτσι, η παραδοχή ότι η ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης έχει τη δυνατότητα να αποδεχτεί τα υγρά απόβλητα της περιοχής μελέτης.

2015	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΘΕΡΜΗ <sup>α</sup>		ΜΕΥΑ (πριν)		ΜΕΥΑ (μετά)	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ							
Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός	κάτοικοι	3358	4843	27000	40000	30358	44843
Μέση Ετήσια Κατανάλωση Νερού	l/pd	150	225	230	230		
Συντελεστής Εισροών για Μέση Παροχή		0,3	0,1	0,3	0,1		
Συντελεστής Εισροών για Παροχή Αιχμής			0,6		0,6		
ΜΗΠ(χωρίς εισροές)	m <sup>3</sup> /d	403	872	4619	9775	5022	10647
Εισροές	m <sup>3</sup> /d	121	87	2485	828	2606	915
	m <sup>3</sup> /d	524	959	7104	10603	7628	11562
Παροχή Βοθροϋγρών Αποβλήτων	m <sup>3</sup> /d			150	150	150	150
ΜΗΠ(με εισροές)	m <sup>3</sup> /d	524	959	7254	10753	7778	11712
Παροχή Σχεδιασμού	m <sup>3</sup> /d			7250	10750	7250	10750
Μέγιστη Ημερήσια Παροχή	l/s	9	17		136		153
Συντελεστής Αιχμής		2,90	2,58				1,71
Θερινή Παροχή Αιχμής	l/s	26	43		290		333
Παροχή Αιχμής Σχεδιασμού	l/s				330		330

<sup>α</sup>Συμπεριλαμβάνονται όλα τα Δ.Δ. του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής πλην του Δ.Δ. Μιστεγγών.

**Πίνακας 3.8:** Παροχές και Υδραυλικά Φορτία Σχεδιασμού της ΜΕΥΑ, πριν και μετά την προσθήκη των λυμάτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής.

2015 ΦΟΡΤΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΘΕΡΜΗ		ΜΕΥΑ (πριν)		ΜΕΥΑ (μετά)	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
BOD <sub>5</sub>	g/pd	60	60	60	60	60	60
SS	g/pd	75	75	75	75	75	75
N	g/pd	10	10	10	10	10	10
P	g/pd	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ</b>							
BOD <sub>5</sub>	kg/d	201	291	1800	2580	2001	2871
SS	kg/d	252	363	2400	3375	2652	3738
N	kg/d	34	48	308	438	342	486
P	kg/d	8	12	83	115	91	127
<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ</b>							
BOD <sub>5</sub>	mg/l	385	303	248	240	257	245
SS	mg/l	481	379	331	314	341	319
N	mg/l	64	51	42	41	44	42
P	mg/l	16	13	11	11	12	11
<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ</b>							
BOD <sub>5</sub>	mg/l	25	25	25	25	25	25
SS	mg/l	35	35	35	35	35	35
N	mg/l	15	15	15	15	15	15
P	mg/l	5	5	5	5	5	5
<b>ΦΟΡΤΙΑ ΕΚΡΟΗΣ</b>							
BOD <sub>5</sub>	kg/d	13	24	181	269	194	293
SS	kg/d	18	34	254	376	272	410
N	kg/d	8	14	109	161	117	176
P	kg/d	3	5	36	54	39	59

**Πίνακας 3.9:** Ρυπαντικά Φορτία Σχεδιασμού της ΜΕΥΑ, πριν και μετά την προσθήκη των λυμάτων του Δήμου Λουτροπόλεως Θερμής.

ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΥ	ΜΟΝΑΔΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		ΟΡΙΑ
<b>ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΕΞΑΜΜΩΤΗΣ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	180	180	
Q αιχμής	m <sup>3</sup> /s	0,333	0,29	
Χρόνος Παραμονής	min	9,0	10,3	2-10 min
<b>ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	1440	1440	
Q ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	11712	10753	
Χρόνος Παραμονής	h	3,0	3,2	0,5-2 h
<b>ΑΝΟΞΙΚΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	3030	3030	
Q ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	11712	10753	
Χρόνος Παραμονής	h	6	7	
<b>ΑΕΡΟΒΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	5480	5480	
Q ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	11712	10753	
Χρόνος Παραμονής	h	11,2	12,2	
<b>TOTAL χρόνος παραμονής</b>	<b>h</b>	<b>17,4</b>	<b>19,0</b>	<b>20-30</b>
Υ		0,65	0,65	
S <sub>0</sub> (mg/l)	mg/l	245	240	
S <sub>e</sub> (mg/l)	mg/l	1,7	1,7	
ηλικία ιλύος	d	10,1	10,1	20-40
k <sub>d</sub>		0,1	0,1	
MLVSS	mg/l	1698	1527	
MLVSS/MLSS		0,62	0,62	
MLSS	mg/l	2739	2463	2000-5000
φόρτιση μάζας (F/M)	kg BOD/(kg MLSS*d)	0,19	0,19	0,04-0,1
ογκομετρική φόρτιση (L <sub>org</sub> )	kg BOD/m <sup>3</sup> d	0,52	0,47	0,1-0,3
max ανακυκλοφορία ML	%	400	400	
max ανακυκλοφορία ιλύος	%	150	150	50-150%
SS <sub>out</sub>	mg/l	35	35	
x <sub>R</sub>	mg/l	2831	2545	
παραγωγή ιλύος Q <sub>w</sub>	kg/d	183	180	
<b>ΔΔΚ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	3682	3682	
Επιφάνεια	m <sup>2</sup>	982	982	
Q ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	11712	10753	
Q <sub>max</sub>	m <sup>3</sup> /h	1199	1044	
Q <sub>ολ</sub> ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	29280	26883	
MLSS	kg/m <sup>3</sup>	2,739	2,463	
G <sub>υδρ</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	11,9	11,0	16-28
Φόρτιση Στερεών (SLR)	kg/m <sup>2</sup> d	33	27	
Φόρτιση Στερεών (SLR)	kg/m <sup>2</sup> h	3,3	2,6	4-6 kg/m <sup>2</sup> h
Χρόνος Παραμονής	h	3,0	3,3	
<b>ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ</b>				
Όγκος	m <sup>3</sup>	600	600	
Q ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	11712	10753	
Χρόνος Παραμονής	min	73,8	80,3	30-120

Πίνακας 3.10: Υπολογισμός Κριτηρίων Ελέγχου της υφιστάμενης ΜΕΥΑ μετά την υποδοχή των νέων φορτίων.

### 3.6.2. Σενάριο 2

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται και συγκρίνονται τα φυσικά χαρακτηριστικά, τα αντικείμενα σχεδιασμού και οι δυνατότητες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, με τα συστήματα αυτά. Από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών των θέσεων εγκατάστασης, των ιδιαίτερων στοιχείων σχεδιασμού και της προσδοκώμενης ποιότητας των εκροών των βασικών τύπων φυσικών συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η βέλτιστη επιλογή φυσικού συστήματος, για τη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι ο Τεχνητός Υγρότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (SFS), αφού απαιτεί σχετικά όχι πολύ μεγάλη έκταση, δεν απαιτεί μεγάλες κλίσεις και βάθος εδάφους, ενώ δεν παρουσιάζει και προβλήματα οσμών. Επιπλέον, οι λόγοι υπεροχής του έναντι του Τεχνητού Υγροβιοτόπου Επιφανειακής Ροής (FWS) αναλύονται στο Κεφ. 2.

Τα λύματα, πριν την είσοδό τους στο σύστημα SFS, θα πρέπει να υποστούν μια πρωτοβάθμια επεξεργασία, που, στη συγκεκριμένη περίπτωση, θα πραγματοποιείται σε δεξαμενή καθίζησης τύπου IMHOFF.

Ο σχεδιασμός της IMHOFF δεξαμενής γίνεται όπως και μιας απλής ΔΚ (Κεφ.2), ενώ του τεχνητού υγροβιοτόπου SFS (ΤΥ-SFS) γίνεται βάσει των εξισώσεων 2.23 έως 2.31. Θα χρησιμοποιηθούν φυτά του γένους *Phragmites*, γιατί έχουν μεγάλο βάθος ριζικού συστήματος, οπότε μειώνεται η απαίτηση σε έκταση. Όσον αφορά στο υπόστρωμα, για τον ΤΥ-SFS των Δ.Δ. Πηγής και Κώμης είναι χονδρόκοκκη άμμος και για τους άλλους δύο Υγροτόπους είναι χαλικώδης άμμος. Οι αντίστοιχες τιμές πορώδους,  $\alpha$ , και υδραυλικής αγωγιμότητας,  $K$ , δίνονται στον Πίνακα 2.9.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το σχεδιασμό των παραπάνω συστημάτων συνοψίζονται στους Πίνακες 3.11 και 3.12. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα συστήματα των τεχνητών υγροβιοτόπων απαιτούν μεγάλες εκτάσεις για την κατασκευή τους κι αυτό είναι και το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Ενεργού Ιλύος.

IMHOFF	ΜΟΝΑΔΕΣ	Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής			Δ.Δ.Κώμης+ Πηγής			Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών		
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ
ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ρ	1799	3113		965	1037		595	693	
ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	281	616		150	205		93	137	
max ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ	l/s	4,9	10,7		2,6	3,6		1,6	2,4	
max ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ	m <sup>3</sup> /d	421	924		226	308		139	206	
ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ	l/s		29,5			6,4			26	
ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ	m <sup>3</sup> /h		106			11				
ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ*	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	33	33		33	33		33	33	
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	m <sup>2</sup>	12,9	28,4		6,9	9,5		4,3	6,3	
μικρός*πλατος	m*m	2x(2,5x6)	2x(2,5x6)		2x5	2x5		2x4	2x4	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	m <sup>2</sup>	30	30		10	10		8	8	
ΒΑΘΟΣ	m	2	2		2	2		1,5	1,5	
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	m <sup>3</sup>	30	30		20	20		12	12	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ	h	2,6	2,3	2-4 h	3,2	2,3	2-4 h	3,1	2,1	2-4 h
a <sub>BOD</sub>		0,018	0,018		0,018	0,018		0,018	0,018	
b <sub>BOD</sub>		0,02	0,02		0,02	0,02		0,02	0,02	
R <sub>BOD</sub>	%	37	36		39	36		39	35	
a <sub>TSS</sub>		0,0075	0,0075		0,0075	0,0075		0,0075	0,0075	
b <sub>TSS</sub>		0,014	0,014		0,014	0,014		0,014	0,014	
R <sub>TSS</sub>	%	59	58		61	58		61	57	
BOD <sub>in</sub>	g/pd	60	60		60	60		60	60	
SS <sub>in</sub>	g/pd	75	75		75	75		75	75	
BOD <sub>in</sub>	mg/l	385	303		385	303		385	303	
SS <sub>in</sub>	mg/l	481	379		481	379		481	379	
BOD <sub>out</sub>	mg/l	242	194		235	194		236	197	
SS <sub>out</sub>	mg/l	197	159		187	159		188	163	
M <sub>load</sub>	kg TSS/d	120	203		66	68		41	44	

Πίνακας 3.11: Σχεδιασμός δεξαμενών IMHOFF για το Scen 2.



ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ SFS	ΜΟΝΑΔΕΣ	Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής			Δ.Δ.Κώμης+ Πηγής			Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών		
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ
ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	281	616		93	137		93	137	
BOD <sub>in</sub>	mg/l	242	194		236	197		236	197	
BOD <sub>out</sub>	mg/l	25	25		25	25		25	25	
Τνεροθ <sub>min</sub>	°C	5	15		5	15		5	15	
ΚΛΙΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ		0,01	0,01		0,01	0,01		0,01	0,01	
ΒΑΘΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	m	0,6	0,6		0,6	0,6		0,6	0,6	
a		0,35	0,35		0,35	0,35		0,35	0,35	
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (Κ)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	0,5	0,5		0,5	0,5		0,5	0,5	
K <sub>20</sub>		0,86	0,86		0,86	0,86		0,86	0,86	
K <sub>T</sub>	d <sup>-1</sup>	0,21	0,53		0,21	0,53		0,21	0,53	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ t'	d	11,03	5,00	5-14 d	10,89	5,00	5-14 d	10,89	5,00	5-14 d
BOD <sub>out</sub>	mg/l	25,00	13,41		25,00	13,64		25,00	13,64	
ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗ ΡΟΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (A <sub>s</sub> )	m <sup>2</sup>	56,1	123,3		18,6	27,5		18,6	27,5	
ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (W)	m	93,5	205,4		30,9	45,8		30,9	45,8	
ΜΗΚΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (L)	m	157,6	71,4		155,6	71,4		155,6	71,4	
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (A)	στρ	14,7	14,7		4,8	3,3		4,8	3,3	
ΕΚΤΑΣΗ	στρ	15,0	19,0		5	5		5	5	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (L <sub>w</sub> )	m <sup>3</sup> /στρ*d	18,7	32,4	15-50	18,6	27,5	15-50	18,6	27,5	15-50
A <sub>c</sub>		0,053	0,031	0,021-0,069	0,054	0,036	0,021-0,069	0,054	0,036	0,021-0,069
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΟΥ BOD <sub>5</sub>	kg/d	68,0	119,3		21,9	27,0		21,9	27,0	
L <sub>BOD5</sub>	kg/στρ*d	4,53	6,28	<6,65	4,37	5,41	<6,65	4,37	5,41	<6,65
<b>ΤΕΛΙΚΑ</b>										
ΕΚΤΑΣΗ	στρ	15,0	19,0		5	5		5	5	
ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (W)	m	205,4	205,4		45,8	45,8		45,8	45,8	
ΜΗΚΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (L)	m	73,0	92,5		109,2	109,2		109,2	109,2	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ t'	d	11,22	6,47	5-14 d	11,32	7,65	5-14 d	11,32	7,65	5-14 d
BOD <sub>out</sub>	mg/l	24,0	6,1	<25	22,9	3,3	<25	22,9	3,3	<25

Πίνακας 3.12: Σχεδιασμός Τεχνητών Υγροβιοτόπων SFS για το Scen 2.

### 3.6.3. Σενάριο 3

Στην περίπτωση αυτή η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των Δ.Δ. Πηγής, Κώμης και Νέων Κυδωνιών είναι η ίδια με αυτή του Σεναρίου 2, ενώ τα λύματα των Δ.Δ. Λουτροπόλεως Θερμής και Πύργων Θερμής μεταφέρονται στην ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης. Επομένως, αφού ο σχεδιασμός των φυσικών συστημάτων έγινε παραπάνω και η ΜΕΥΑ, σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Scen 1, μπορεί να δεχτεί τη συγκεκριμένη ποσότητα λυμάτων, δεν απαιτείται κανένας άλλος υπολογισμός, προς το παρόν.

### 3.6.4. Σενάριο 4

Εδώ γίνεται επεξεργασία των λυμάτων σε δύο ΤΥ-SFS. Ο ένας είναι για το Δ.Δ. Νέων Κυδωνιών (όμοιος με Scen2 και Scen3), ενώ ο άλλος για τα λύματα όλων των υπολοίπων οικισμών. Ο σχεδιασμός του τελευταίου γίνεται όπως και των προηγούμενων και αποτυπώνεται στους Πίνακες 3.13 και 3.14.

IMHOFF	ΜΟΝΑΔΕΣ	Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής+Κώμης+ Πηγής		
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ
ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	p	2764	4149	
ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	431	822	
max ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ	l/s	7,5	14,3	
max ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ	m <sup>3</sup> /d	647	1232	
ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ	l/s		40,2	
ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ	m <sup>3</sup> /h		145	
ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	33	33	
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	m <sup>2</sup>	19,9	37,8	
μηκος*πλατος	m*m	2x(2,5x8)	2x(2,5x8)	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	m <sup>2</sup>	40	40	
ΒΑΘΟΣ	m	2	2	
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	m <sup>3</sup>	40	40	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ	h	2,2	2,3	2-4 h
a <sub>BOD</sub>		0,018	0,018	
b <sub>BOD</sub>		0,02	0,02	
R <sub>BOD</sub>	%	36	36	
a <sub>TSS</sub>		0,0075	0,0075	
b <sub>TSS</sub>		0,014	0,014	
R <sub>TSS</sub>	%	58	58	
BOD <sub>in</sub>	g/pd	60	60	
SS <sub>in</sub>	g/pd	75	75	
BOD <sub>in</sub>	mg/l	385	303	
SS <sub>in</sub>	mg/l	481	379	
BOD <sub>out</sub>	mg/l	248	194	
SS <sub>out</sub>	mg/l	204	159	
M <sub>λιδος</sub>	kg TSS/d	179	271	

Πίνακας 3.13: Σχεδιασμός δεξαμενής IMHOFF για το Scen 4.

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ SFS	ΜΟΝΑΔΕΣ	Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής+Κώρης+ Πηγής		
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΟΡΙΑ
ΜΗΠ	m <sup>3</sup> /d	431	822	
BOD <sub>in</sub>	mg/l	248	194	
BOD <sub>out</sub>	mg/l	25	25	
TνεροD <sub>min</sub>	°C	5	15	
ΚΛΙΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ		0,01	0,01	
ΒΑΘΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	m	0,6	0,6	
a		0,35	0,35	
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (K)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	0,5	0,5	
K <sub>20</sub>		0,86	0,86	
K <sub>T</sub>	d <sup>-1</sup>	0,21	0,53	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ t'	d	11,14	5,00	5-14 d
BOD <sub>out</sub>	mg/l	25,00	13,41	
ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗ ΡΟΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (As)	m <sup>2</sup>	86,2	164,3	
ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (W)	m	143,7	273,9	
ΜΗΚΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (L)	m	159,1	71,4	
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (A)	στρ	22,9	19,6	
ΕΚΤΑΣΗ	στρ	24	24	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (L <sub>w</sub> )	m <sup>3</sup> /στρ*d	18,0	34,2	15-50
A <sub>c</sub>		0,056	0,029	0,021-0,069
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΟΥ BOD <sub>5</sub>	kg/d	106,8	159,1	
L <sub>BOD5</sub>	kg/στρ*d	4,45	6,63	<6,65
<b>ΤΕΛΙΚΑ</b>				
ΕΚΤΑΣΗ	στρ	24	24	
ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (W)	m	273,9	273,9	
ΜΗΚΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (L)	m	87,6	87,6	
ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ t'	d	11,69	6,13	5-14 d
BOD <sub>out</sub>	mg/l	22,3	7,3	<25

Πίνακας 3.14: Σχεδιασμός Τεχνητού Υγροβιοτόπου SFS για το Scen 4.

### 3.7. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΩΝ (STAKEHOLDERS)

Η επιλογή των εμπλεκομένων στη διαδικασία της αξιολόγησης έγινε από το σύνολο όλων όσων συνέβαλαν στη συλλογή πληροφοριών σε όλα τα στάδια της παρούσας εργασίας. Από αυτούς επιλέχτηκαν αυτοί, που θεωρήθηκε ότι σχετίζονται περισσότερο με τη λήψη αποφάσεων, και σχηματίστηκε μια ομάδα αποφασιζόντων (Decision Makers - DMs), αποτελούμενη από:

- Τους Επενδυτές
- Το ΥΠΕΧΩΔΕ
- Τη Δημοτική Αρχή της περιοχής
- Τις Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (Non Governmental Organizations - NGOs)

### 3.8. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Κατά την επιλογή των κριτηρίων έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν όλοι οι τομείς που επηρεάζονται, με επικεντρωμένη την προσοχή στο περιβάλλον. Η τελική σύνθεσή τους έχει ως εξής:

- Cr1: Κόστος κατασκευής (οικονομικό).
- Cr2: Κόστος λειτουργίας (οικονομικό).
- Cr3: Απαίτηση έκτασης (τεχνικό).
- Cr4: Κατανάλωση ενέργειας + επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον (περιβαλλοντικό).
- Cr5: Κοινωνική αποδοχή + χρήσεις γης (κοινωνικό).

Η αποτίμηση των κριτηρίων θα γίνει με βάση μια κλίμακα 0-100, όπου με 100 βαθμολογείται η καλύτερη περίπτωση και με 0 η χειρότερη. Εξαιρέση αποτελούν τα κριτήρια 1 και 3, τα οποία θα αποτιμηθούν ποσοτικά, δηλαδή με πραγματικές τιμές.

### 3.9. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Οι συντελεστές βαρύτητας είναι διαφορετικοί για κάθε συμμετέχοντα (stakeholder). Στον πίνακα, που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι προτιμήσεις και τα συμφέροντα των πέντε ενδιαφερομένων ομάδων, με τη μορφή των συντελεστών βαρύτητας<sup>3</sup>.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ		Επενδυτής	Δήμαρχος	ΥΠΕΧΩΔΕ	NGO's
Cr1	κόστος κατασκευής	50	10	10	17
Cr2	κόστος λειτουργίας	20	20	20	17
Cr3	απαίτηση έκτασης	20	15	10	11
Cr4	κατανάλωση ενέργειας + επιπτώσεις στο φυσικό περιλ/ον	5	25	30	30
Cr5	κοινωνική αποδοχή + χρήσεις γης	5	30	30	25
Sum		100	100	100	100

Πίνακας 3.15: Αποτύπωση συντελεστών βαρύτητας

<sup>3</sup> Οι συντελεστές βαρύτητας αποτυπώνονται όπως εκφράστηκαν από αρμοδίους φορείς. Συγκεκριμένα:  
Για το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. ⇒ Υπάλληλος Διεύθυνσης ΠΕ.ΧΩ. Περιφέρειας Β.Αιγαίου  
Για τους NGOs ⇒ Εργαζόμενος WWF.  
Για τη Δημοτική Αρχή ⇒ Δήμαρχος αντίστοιχης μορφής Δήμου με αυτόν που μελετάται.  
Για τον Επενδυτή ⇒ Ιδιώτης Μηχανικός.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ**  
**ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ (EVALUATION MATRIX)**

Ο Πίνακας Αξιολόγησης περιέχει τις βαθμολογίες  $g_j(a)$  του κάθε σεναρίου (γραμμές πίνακα) σε σχέση με το σύνολο των κριτηρίων  $j$  (στήλες πίνακα). Αναλυτικά, οι τιμές των κριτηρίων για κάθε σενάριο έχουν ως εξής:

➤ Κριτήριο 1:

Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το κόστος κατασκευής για τη μεταφορά των λυμάτων όλων των οικισμών στη ΜΕΥΑ του Δήμου Μυτιλήνης. Ουσιαστικά πρόκειται για το κόστος των αγωγών και των αντλιοστασίων, που πρέπει να τοποθετηθούν. Το μήκος των αγωγών είναι αντίστοιχο της απόστασης, που θα μεταφερθούν τα λύματα. Κάνοντας την παραδοχή ότι οι αγωγοί θα ακολουθούν το οδικό δίκτυο, αρκεί να υπολογιστούν οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των εκάστοτε περιοχών (Πίνακας 4.1).

Τα είδη των αγωγών, που θα χρησιμοποιηθούν, εκτιμώνται βάσει των παροχών, ενώ τα απαιτούμενα αντλιοστάσια βάσει των κλίσεων του εδάφους. Μετά από μελέτη προκύπτει η ανάγκη κατασκευής ενός αντλιοστασίου στους Πύργους Θερμής, για τη μεταφορά των λυμάτων στη ΜΕΥΑ Μυτιλήνης. Στα υπόλοιπα σημεία του δικτύου, που τα λύματα δε ρέουν με βαρύτητα, η χρήση ορισμένων ανυψωτικών αρκεί και κοστολογείται μέσω ενός συντελεστή προσαύξησης. Αναλυτικά, ο υπολογισμός του κόστους του Scen 1 παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)
N.Κυδωνίες	Πύργοι Θερμής	15300
Κώμη	Πηγή	1200
Πηγή	Θερμή	8900
Θερμή	Πύργοι Θερμής	3000
Πύργοι Θερμής	ΜΕΥΑ	8000

**Πίνακας 4.1:** Απόσταση μεταξύ των περιοχών μεταφοράς των λυμάτων.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Χαίμα (l/s)	Αγωγός	Μήκος αγωγού, L (m)	Κόστος (€/m)	Συντελ. Προσαύξησης	ΔΑΠΑΝΗ (€)
N.Κυδωνίες	Πύργους Θερμής	7,2	Φ250-Φ315	15300	100	1,1	1683000
Κώμη	Πηγή	2,1	Φ200-Φ250	1200	80	1	96000
Πηγή	Θερμή	10,7	Φ250-Φ315	8900	100	1	890000
Θερμή	Πύργους Θερμής	33,7	Φ315-Φ355	3000	115	1	345000
Πύργοι Θερμής	ΜΕΥΑ	47,4	2xΦ160	8000	110	1	880000
							3894000
				+	ΔΑΠΑΝΗ Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ & ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΣΕ Α/Σ ΛΥΜΑΤΩΝ		91000
						<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ</b>	<b>3985000</b>

**Πίνακας 4.2:** Υπολογισμός κόστους κατασκευής για το Scen 1.

Στη συνέχεια πρέπει να υπολογιστεί το κόστος κατασκευής των Δεξαμενών Καθίζησης τύπου IMHOFF και των TY-SFS. Μετά από μια έρευνα αγοράς, το κόστος κατασκευής μιας δεξαμενής IMHOFF ισούται με 30€/άτομο και ενός τεχνητού υγροβιοτόπου SFS περίπου με 150 €/άτομο. Επιπλέον το κόστος για την αγορά της έκτασης εκτιμάται περίπου 6000 €/στρ.

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους κατασκευής για τα σενάρια 2, 3 και 4 παρουσιάζεται αναλυτικά στους Πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5 αντίστοιχα.

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΔΑΠΑΝΗ ΕΚΤΑΣΗΣ (€)	ΔΑΠΑΝΗ ΙΜΗΟΦΦ (€)	ΔΑΠΑΝΗ SFS (€)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ (€)
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής	3113	19,03	114180	97117	485586	696883
Δ.Δ.Κώμης+ Πηγής	1037	6,01	36060	32346	161728	230134
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	693	5,008	30048	21636	108179	159863
					<b>Sum</b>	<b>1086880</b>

(α): Υπολογισμός κόστους Φυσικών Συστημάτων

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Ψαιχμής (l/s)	Αγωγός	Μήκος αγωγού, L (m)	Κόστος (€/m)	Συντελ. Προσάυξησης	ΔΑΠΑΝΗ (€)
Κώμη	Πηγή	2,1	Φ200-Φ250	1200	80	1	96000
Θερμή	Πύργοι Θερμής	23,0	Φ315-Φ355	3000	115	1	345000

(β): Υπολογισμός κόστους αγωγών για τη μεταφορά των λυμάτων στα Φυσικά Συστήματα

**Πίνακας 4.3:** Υπολογισμός κόστους κατασκευής για το Scen 2.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Ψαιχμής (l/s)	Αγωγός	Μήκος αγωγού, L (m)	Κόστος (€/m)	Συντελ. Προσάυξησης	ΔΑΠΑΝΗ (€)
Κώμη	Πηγή	2,1	Φ200-Φ250	1200	80	1	96000
Θερμή	Πύργους Θερμής	9,5	Φ315-Φ355	3000	115	1	345000
Πύργοι Θερμής	ΜΕΥΑ	9,5	2xΦ160	8000	110	1	880000
					+	Αντλιοστάσιο	91000
						ΤΥ1	230134
						ΤΥ2	159863
						<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ (€)</b>	<b>1801997</b>

**Πίνακας 4.4:** Υπολογισμός κόστους κατασκευής για το Scen 3.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	Ψαιχμής (l/s)	Αγωγός	Μήκος αγωγού, L (m)	Κόστος (€/m)	Συντελ. Προσάυξησης	ΔΑΠΑΝΗ (€)
Κώμη	Πηγή	2,1	Φ200-Φ250	1200	80	1	96000
Πηγή	Θερμή	10,7	Φ250-Φ315	8900	100	1	890000
Θερμή	Πύργοι Θερμής	33,7	Φ315-Φ355	3000	115	1	345000
						<b>Sum</b>	<b>1331000</b>

(α): Υπολογισμός κόστους αγωγών για τη μεταφορά των λυμάτων στα Φυσικά Συστήματα

	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΔΑΠΑΝΗ ΕΚΤΑΣΗΣ (€)	ΔΑΠΑΝΗ ΙΜΗΟΦΦ (€)	ΔΑΠΑΝΗ SFS (€)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ (€)
Δ.Δ.Λουτροπόλεως Θερμής+Πύργων Θερμής+Κώμης+ Πηγής	4149	24,04	144240	129463	647315	921018
Δ.Δ.Νέων Κυδωνιών	693	5,008	30048	21636	108179	159863
					<b>Sum</b>	<b>1080880</b>

(β): Υπολογισμός κόστους Φυσικών Συστημάτων

Πίνακας 4.5: Υπολογισμός κόστους κατασκευής για το Scen 4.

➤ Κριτήριο 2:

Το υψηλότερο κόστος λειτουργίας το έχει η ΜΕΥΑ, λόγω κατανάλωσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Επομένως, το Σενάριο 1 θα πάρει τη χαμηλότερη βαθμολογία. Όσον αφορά στα φυσικά συστήματα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, ενώ εκτιμάται ότι αυτό ισούται περίπου με το 1/5 του κόστους λειτουργίας ενός συμβατικού συστήματος ΕΙ, για την επεξεργασία της ίδιας ποσότητας λυμάτων. Θα πάρουν λοιπόν, υψηλή βαθμολογία, ενώ κάπου ενδιάμεσα αξιολογείται το Σενάριο 3. Επιπλέον, το Scen 4 έχει λίγο μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος από το Scen 2, λόγω της μεταφοράς των λυμάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η τελική βαθμολογία έχει ως εξής:

- Scen 1: 20
- Scen 2: 85
- Scen 3: 50
- Scen 4: 80

➤ Κριτήριο 3:

Το Σενάριο 1 έχει σχεδόν μηδενική απαίτηση έκτασης, ενώ τα Σενάρια 2 και 4 απαιτούν 30 στρ. και 29 στρ. αντίστοιχα. Σε μια ενδιάμεση κατάσταση βρίσκεται το Σενάριο 3. Αναλυτικά οι τιμές τους είναι οι ακόλουθες:

- Scen 1: 0
- Scen 2: 30048
- Scen 3: 11018
- Scen 4: 29048

➤ Κριτήριο 4:

Το συγκεκριμένο κριτήριο έχει την ιδιαιτερότητα να επιμερίζεται σε δύο υποκριτήρια - Cr4a: κατανάλωση ενέργειας και Cr4b: επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον - τα οποία βαθμολογούνται ξεχωριστά και ο μέσος όρος αυτών αποτελεί τη βαθμολογία του Cr4.

Ξεκινώντας από την κατανάλωση ενέργειας, η χαμηλότερη βαθμολογία αντιστοιχεί στο Σενάριο 1, η υψηλότερη στα Σενάρια 2 και 4, με το 4<sup>ο</sup> να έχει λίγο μεγαλύτερες ανάγκες σε ενέργεια για τη μεταφορά των λυμάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις, απ' ότι το 2<sup>ο</sup>, ενώ το Σενάριο 3 αποτιμάται κάπου στη μέση.

Οι επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον αφορούν, κυρίως, στην κατασκευή των αγωγών και στα επιμέρους έργα για την κατασκευή όλων των εγκαταστάσεων. Αντιλαμβάνεται κανείς ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργείται στο Scen 1, λόγω του πολύ μεγάλου μήκους των αγωγών. Το Scen 3 βρίσκεται σε καλύτερη θέση, αφού μόνο ο μισός όγκος λυμάτων απαιτεί μεταφορά μεγάλου μήκους, και τα Scen 2 και 4 σε ακόμα καλύτερη, αφού οι κατασκευαζόμενοι αγωγοί έχουν το μικρότερο μήκος.

Η τελική αποτίμηση του εν λόγω κριτηρίου, για τα επιμέρους σενάρια, είναι η του Πίνακα 4.6.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ 4		Scen 1	Scen 2	Scen 3	Scen 4
Cr4	κατανάλωση ενέργειας	10	90	40	80
	επιπτώσεις σε φυσ. περ/λον	30	80	50	70
		20	85	45	75

**Πίνακας 4.6:** Αποτίμηση του Κριτηρίου 4, για τα επιμέρους σενάρια.

➤ Κριτήριο 5:

Και αυτό το κριτήριο επιμερίζεται σε δύο υποκριτήρια - Cr5a: κοινωνική αποδοχή και Cr5b: χρήσεις γης. Το Σενάριο 1 είναι σχεδόν πλήρως αποδεκτό από την κοινωνία, αφού οι εγκαταστάσεις υπάρχουν ήδη, οπότε η περιοχή δε θα μεταβληθεί. Έτσι, δε θα υπάρξουν και παρεμβάσεις στις χρήσεις γης. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τα Σενάρια 2 και 4, αφού τα φυσικά συστήματα δύσκολα γίνονται αποδεκτά από την κοινωνία. Οι πολίτες δεν είναι εξοικειωμένοι με τέτοιου είδους συστήματα, ενώ δεν απουσιάζει και το σύνδρομο NIMBY (Not In My Back Yard), που γίνεται πιο έντονο λόγω της μεγάλης απαιτούμενης έκτασης. Η τελευταία είναι και ο λόγος των σημαντικών επιπτώσεων στις χρήσεις γης. Τέλος, το Σενάριο 3 αποτελεί και πάλι την ενδιάμεση περίπτωση. Η βαθμολογία του κάθε Σεναρίου είναι η ακόλουθη:

ΚΡΙΤΗΡΙΟ 5			Scen 1		Scen 2		Scen 3		Scen 4
Cr5	κοινωνική αποδοχή	90	95	50	40	70	65	40	40
	χρήσεις γης	100		30		60		40	

**Πίνακας 4.7:** Αποτίμηση του Κριτηρίου 5, για τα επιμέρους σενάρια.

Το σύνολο όλων των παραπάνω συνθέτει τον Πίνακα Αξιολόγησης (Evaluation Matrix):

		Scen 1		Scen 2		Scen 3		Scen 4
Cr1		3985000		1527880		1801997		2411880
Cr2		20		85		50		80
Cr3		100		10		50		20
Cr4	10	20	90	85	40	45	80	75
	30		80		50		70	
Cr5	90	95	50	40	70	65	40	40
	100		30		60		40	

**Πίνακας 4.8:** Evaluation Matrix

## 4.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ELECTRE III

Η λειτουργία του μοντέλου προσπατεί τον προσδιορισμό των τιμών τριών κατωφλίων (thresholds) ονομαζόμενα ως όρια προτίμησης ( $p$ ), αδιαφορίας ( $q$ ) και άρνησης ( $v$ ). Η ύπαρξη των ορίων αυτών επιτρέπει στην διαδικασία απόφασης να λάβει υπόψη της την αβεβαιότητα της εκτίμησης της απόδοσης των εναλλακτικών επιλογών.

Στην παρούσα εφαρμογή το  $q$  είναι μηδέν, το  $p$  ισούται με το πηλίκο της διαφοράς της μέγιστης με την ελάχιστη τιμή κάθε κριτηρίου προς το συνολικό αριθμό των σεναρίων (Haralambopoulos, D., Polatidis, H., 2003), ενώ  $v=3p$  (Siskos, J, Hubert, Ph., 1983; Hokkanen, J., Salminen, P., 1997). Λόγω του ότι τα Κριτήρια 2,4 και 5 δεν είναι ποσοτικά, αλλά βαθμολογείται με έναν ιδιαίτερο τρόπο, εκτιμάται ότι το όριο άρνησής του πρέπει να είναι μηδέν, προς αποφυγή λανθασμένων αποτελεσμάτων.

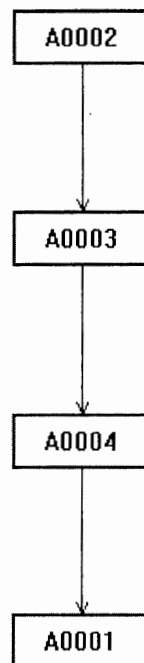
	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5
όριο προτίμησης	614280	16	7512	16	14
όριο άρνησης	1842840	49	22536	49	41

Πίνακας 4.9: Όρια προτίμησης και άρνησης

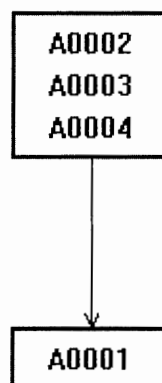
### 4.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι προτιμήσεις του κάθε λήπτη απόφασης, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου, καθώς και η τελική κατάταξη των σεναρίων.

➤ Για τους επενδυτές:

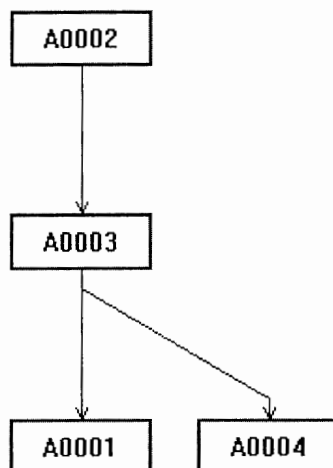


➤ Για τη Δημοτική Αρχή:

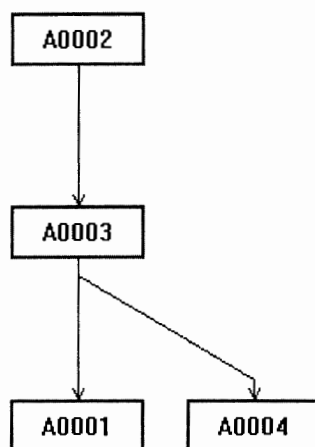




➤ Για το ΥΠΕΧΩΔΕ:



➤ Για τις NGO's:



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μια συγκεντρωτική εικόνα των προτιμήσεων των εμπλεκομένων είναι αυτή του παρακάτω πίνακα:

Stakeholders	Κατάταξη σεναρίων
Επενδυτές	2>3>4>1
Δημοτική Αρχή	2 ή 3 ή 4>1
ΥΠΕΧΩΔΕ	2>3>1 ή 4
NGOs	2>3>1 ή 4

**Πίνακας 5.1:** Τελικές κατατάξεις των σεναρίων

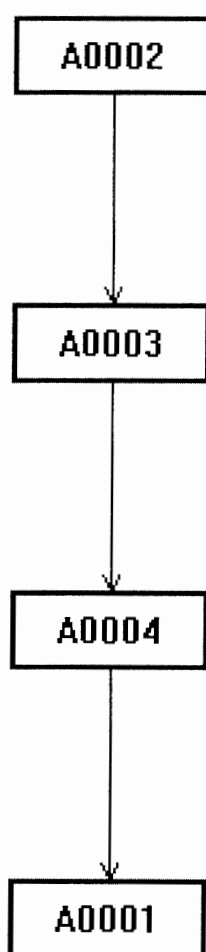
Ξεκινώντας από τους επενδυτές, η κατάταξή τους εναρμονίζεται με τη βαρύτητα, που δίνουν σε κάθε κριτήριο. Αφού το 50% του ενδιαφέροντός τους εστιάζεται στο κόστος κατασκευής είναι επόμενο τα πρώτο σε προτίμηση σενάριο να είναι αυτό με το χαμηλότερο κόστος κατασκευής.

Όσον αφορά στη Δημοτική Αρχή, όμως, τα αποτελέσματα ίσως να μην ήταν και τόσο αναμενόμενα από την άποψη ότι, ενώ ενδιαφέρεται περισσότερο για την κοινωνική αποδοχή, τα σενάρια, που ισοψηφούν στην πρώτη θέση, δεν είναι εύκολα αποδεκτά από την κοινωνία. Αυτό οφείλεται στο ότι δίνει, επίσης, μεγάλη βαρύτητα τόσο στην περιβαλλοντική επιβάρυνση όσο και στο λειτουργικό κόστος, που είναι άμεσα συνδεδεμένο με τους πολίτες, αφού επιβαρύνει και αυτούς. Έτσι, υπερισχύουν τα σενάρια με το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Το ενδιαφέρον του ΥΠΕΧΩΔΕ εστιάζεται εκεί περίπου που εστιάζεται και της Δημοτικής Αρχής, με μικρές διαφοροποιήσεις, που όμως αρκούν για να αλλάξουν το αποτέλεσμα. Δίνοντας λίγο μεγαλύτερη βαρύτητα στο περιβάλλον και αφήνοντας πίσω τις τεχνικές δυσκολίες (απαίτηση έκτασης), κατατάσσουν πρώτο το περιβαλλοντικά φιλικότερο σενάριο, ενώ αφήνουν τελευταίο το σενάριο με τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, αλλά και με το υψηλότερο λειτουργικό κόστος. Είναι μια κατάταξη, που θεωρείται φυσιολογική, αφού το ΥΠΕΧΩΔΕ είναι κρατικός φορέας - ενδιαφέρεται για το κόστος λειτουργίας - με περιβαλλοντικό προφίλ.

Τέλος, η βαρύτητα, που δίνουν στα επιμέρους κριτήρια οι NGOs, είναι λογική για την ιδεολογία, που αντιπροσωπεύουν, η οποία εκφράζεται μέσω της κοινωνικής επιθυμίας αλλά και της περιβαλλοντικής ευαισθησίας. Στην κατάταξη των σεναρίων, η πρώτη σχετίζεται με το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η τελευταία με τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Δίκαια, λοιπόν το Σενάριο 2 βρίσκεται στην πρώτη θέση και το Σενάριο 1 στην τελευταία.

Η τελική κατάταξη των σεναρίων παρουσιάζεται παρακάτω:



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γνώση των αντικειμένων της διαχείρισης των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανόμενης και αυτής των υγρών αποβλήτων, γίνεται όλο και περισσότερο απαραίτητη για την ελληνική πραγματικότητα. Η ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων και ιδιαίτερα η απαίτηση για βέλτιστους και αξιόπιστους σχεδιασμούς έργων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων έγινε εντονότερη το 1991, μετά την έκδοση της Οδηγίας (91/271/ΕΟΚ) του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων για την επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 για εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας), η οποία επιβάλλει την εγκατάσταση ΜΕΥΑ σε όλες τις πόλεις τις Κοινότητες.

Η χρησιμοποίηση μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων αποτέλεσε το πρώτο βήμα για την προστασία των υδάτινων αποδεκτών. Η λειτουργία των συμβατικών μονάδων επεξεργασίας λυμάτων έδειξε ότι μεγάλο ποσοστό αυτών δεν αποδίδουν ικανοποιητικά, ιδίως σε μικρούς οικισμούς, εξαιτίας του μικρού κόστους λειτουργίας και συντήρησης, αλλά και της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού. Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην αναζήτηση και εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας, που βασίζονται σε φυσικές διεργασίες, όπως είναι τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, χαμηλό λειτουργικό κόστος, μη χρησιμοποίηση πρόσθετων χημικών μέσων και εύκολη, χαμηλού κόστους, συντήρηση. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη έκταση, που απαιτείται για τη λειτουργία τους, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή τους, κυρίως σε μικρές πόλεις και οικισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πράξη, η απαιτούμενη έκταση μπορεί να μειωθεί έως και 50% με τη χρήση ειδικής τεχνικής/ τεχνολογίας (πατέντα) από τους ειδικούς.

Η βέλτιστη επιλογή συστήματος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων δεν είναι πάντα προφανής, αφού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ενώ επιπλέον στη διαδικασία απόφασης λαμβάνουν μέρος πολλοί συμμετέχοντες με ποικίλα συμφέροντα.

Η μέθοδος της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την επιλογή της βέλτιστης λύσης, αφού οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων,

λαμβάνοντας υπ' όψιν διάφορα κριτήρια, όχι μόνο το οικονομικό - όπως συνηθίζεται - αλλά και τις επιθυμίες όλων των συμμετεχόντων στη λήψη απόφασης. Οι τελικές προτιμήσεις των ληπτών απόφασης δεν καθορίζονται μόνο από την ελαχιστοποίηση του κόστους, καθώς κάποιες κοινωνικές και περιβαλλοντικές παράμετροι επηρεάζουν τις αποφάσεις.

Είναι σαφές ότι η μέθοδος της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης δεν μπορεί να αντικαταστήσει τις κλασσικές μεθόδους bottom - up ή top - down. Μπορεί όμως να προσφέρει μια βαθύτερη γνώση σε κάποιες διαστάσεις του υπό αντιμετώπιση προβλήματος και να επισημάνει τη σημαντικότητα αυτών, που δεν μπορούν να είναι πάντα συνυφασμένα με το μοντέλο του ελαχίστου κόστους. Στο πλαίσιο μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης απαιτείται η εφαρμογή τόσο των συμβατικών όσο και των νεότερων μεθόδων.

Η λήψη αποφάσεων σε θέματα διαχείρισης λυμάτων απαιτεί την αξιολόγηση εναλλακτικών αναπτυξιακών σεναρίων. Αυτή η διαδικασία αποτίμησης εναλλακτικών πρακτικών διαχείρισης προσπαθεί να ενσωματώσει μια σειρά τεχνικών, οικονομικών, κοινωνικών, ενεργειακών και περιβαλλοντικών παραμέτρων, ώστε να υπάρξει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας ενισχύεται από την παρουσία πολλών DMs με αντικρουόμενες προτιμήσεις, που σχηματίζουν μία ομάδα λήψης απόφασης.

Στη συγκεκριμένη εργασία οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων δεν απείχαν πολύ. Ο καθένας, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στους τομείς, που τον αφορούσαν ή τον ενδιέφεραν περισσότερο, συνέβαλε στην εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Το σημαντικό είναι ότι κανένας δε δυσαρεστείται από την τελική επιλογή κι έτσι γίνεται εύκολα αποδεκτή και εφαρμόσιμη, χωρίς ενστάσεις και περαιτέρω καθυστερήσεις.

Στην τελική κατάταξη, το προτιμητέο σενάριο έχει το χαμηλότερο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος και τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Δεν είναι όμως εύκολα αποδεκτό από την κοινωνία κι αυτό ίσως αποτελέσει πρόβλημα στην εφαρμογή του. Το σημείο αυτό είναι κρίσιμο κι απαιτεί σωστή πολιτική και ενημέρωση των πολιτών για τα πλεονεκτήματα του σεναρίου, τονίζοντας ιδιαίτερα το χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιβαρύνει τους ίδιους τους πολίτες.

Η μέχρι τώρα εμπειρία έχει δείξει ότι τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, στις χώρες που εφαρμόστηκαν, είναι κατάλληλα από οικονομική σκοπιά για σχετικά μικρές αστικές περιοχές. Ένας επιπλέον λόγος, που τα

αναδεικνύουν εξαιρετικά ενδιαφέροντα είναι το γεγονός ότι μειώνουν το μικροβιακό φορτίο των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε μεγαλύτερο βαθμό από τα συμβατικά συστήματα, χωρίς να απαιτείται η χλωρίωσή τους. Έτσι, μπορεί να γίνει άμεση επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση σε κατάλληλες καλλιέργειες, με προφανή οικονομικά οφέλη.

Τελικά, η πίεση της Οδηγίας για την επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων αναγκάζει ακόμα και τους πληθυσμιακά μικρούς ημιαστικούς και αγροτικούς οικισμούς να εγκαθιστούν μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Για τέτοιους οικισμούς τα φυσικά συστήματα θα μπορούσαν να αποτελέσουν οικονομικά και περιβαλλοντικά βέλτιστη λύση.



## ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahn T.S., Park H.J., Kim D.S., Won J.B., *Evaluation of Three Types of Artificial Wetland for Wastewater Treatment*, Korea.
2. Angelakis A.N., Spyridakis S.V., *The status of Water Resources in Minoan Times: A Preliminary Study*, In: Diachronic Climatic Changes Impacts on Water Resources in the Mediterranean Region, Angelakiw A.N. and Issar A. (Eds), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany (1995).
3. Aravossis K., Anagnostopoulos P., Koungolos Ath., Vliamos S., *A new methodology approach for the technical – economical evaluation of alternative waste disposal methods by use of multicriteria analysis*.
4. Arcibugi F., Nijkamp P., *Economy and ecology: towards sustainable development*, Klumer Academic Publishers (1989), Netherlands.
5. Barnes B. and Bliss P.J., *Biological control of nitrogen in wastewater treatment*, E. and F.N. Spon, USA (1983).
6. Bitton G. *Wastewater microbiology*, Wiley-Liss, USA(1999).
7. Brans J.P., *The space of freedom of the decision maker Modeling the human brain*, European Journal of Operational Research 92 (1996), 593-602.
8. Brown S.D., Reed S.C., *Inventory of constructed wetlands in the United States*, In: Wetland Systems in Water Pollution Control, IAWQ, Water Sci. Techn., No. 4 (1994), vol. 29.
9. Buchaman J., Sheppard Ph. and Vanderpooten D., *Project ranking Using ELECTRE III*, Discussion paper, Department of Management Systems, University of Waikato, Hamilton, New Zealand (1999).
10. Crites R. and Tchobanoglous G., *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, WCB/Mc Graw-Hill, USA (1998).
11. Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L., *A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option*, European Journal of Operational Research 103 (1997), 38-54.
12. Georgopoulou E., Sarafidis Y., Diakoulaki D., *Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation*, European Journal of Operational Research 109 (1998), 483-500.

13. Goumas M., Lygerou V., *An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects*, European Journal of Operational Research 123 (2000), 606-613.
14. Goumas M., Lygerou V., Papayannakis L. E., *Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects*, Energy Policy 27 (1999), 147-154.
15. Gray N.F., *Activated sludge: theory and practice*, Oxford University Press, USA (1990).
16. Hammer D.A., *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*, Lewis Publishers, Michigan (1989).
17. Hokkanen J., Lahdelma R., Salminen P., *SMAA – Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis*, European Journal of Operational Research 106 (1998), 137-143.
18. Hokkanen J., Lahdelma R., Salminen P., *Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management*, Environmental Management (2000), vol. 26, 595 -605.
19. Hokkanen J., Salminen P., *Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis*, European Journal of Operational Research 98 (1997), 19-36.
20. Jenkins D., Richard G.M. and Daigger T.G., *Manual on the causes and the control of activated sludge bulking and foaming*, 2nd ed. Lewis Publishers, USA (1993).
21. Kadlec R.H., Robert L.K., *Treatment Wetlands*, Lewis Publishers, Michigan (1996).
22. Keeny R and Raiffa H., *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*, John Wiley and Sohns, New York (1976).
23. Liu D. and Liptak B.G., *Environmental Engineering Handbook*, Lewis Publishers, USA (1996).
24. Lorion R., *Constructed Wetlands: Passive Systems for Wastewater Treatment*, U.S. EPA (2002).
25. Martin A. P., *The first order of business: Testing the validity of the objectives*, The Professional Development Institute, Ottawa (1985).
26. Martin E.J., Martin E.T., *Technologies for Small Water and Wastewater Systems*, Van Nostrand Reinhold (1991).

27. Masters G.M., *Introduction to Environmental Engineering and Science*, 2nd edition, Prentice Hall, USA (1996).
28. Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 3rd Edition, Mc Graw Hill, New York (1991).
29. Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition, Mc Graw Hill, New York (2003).
30. Munda G., *Social Multi - Criteria Evaluation (SMCE): Methodological Foundations and Operational Consequences*, European Journal of Operational Research, accepted for publication (2002).
31. Nijkamp P., Vreeker R., *Sustainability assessment of development scenarios: methodology and application to Thailand*, Ecological Economics 33 (2000), 7-27.
32. Pardalos P.M., Siskos Y., Zoupounidis C., *Advances in multicriteria Analysis*, Kluwer Academic Publishers (1995), Netherlands.
33. Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W., *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill, New York (1988).
34. Roy B., Present M. and Silhol D., *A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated*, European Journal of Operational Research 24 (1986), 318-334.
35. Roy B., Vanderpooten D., *An overview on "The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works"*, European Journal of Operational Research 99 (1997), 26-27.
36. Roy, B., *Decision Aid and Decision Making*, In Bana et Costa C, Readings in Multiple Criteria Decision Aid, 18-35 Springer-Verlag (1994).
37. Shefer D., Amir S., Frenkel A., Law-Yone H., *Generating and evaluating alternative regional development plans*, Environment and Planning B: Planning and Design (1997), vol. 15, p. 7-22.
38. Susskind L., *The sitting puzzle. Balancing the economic and environmental gains and losses*, Environmental Impact Assessment Review 5 (1985), 157 - 163.
39. U.S. EPA, *Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment: A Technology Assessment*, EPA, Ιούλιος (1993).
40. Αγγελάκης A.N., Tchobanoglous G., *Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (1995).

41. Διγιδίκης Γ.Π., Θερμή: Μια Μικρή Κώμη με Ιστορία 5.000 Ετών, Γραφικές Τέχνες Δ. Δούκας & Σία ΟΒΕΕ, Μυτιλήνη (1999).
42. Λέκκας Θ.Δ., *Περιβαλλοντική Μηχανική II: Διαχείριση Υγρών αποβλήτων*, Εκδ. Λέκκας Θ.Δ., Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη (2003).
43. Μαρκαντωνάτος Γ., *Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων*, Εκδ. Μαρκαντωνάτος Γ., Αθήνα (1986).
44. Μπαλής Μ., Μανδυλάς Χ., Τουρβαλή Μ., Χατζηαντωνίου Α., Κρικλάνης Χ., Βαβαλιάρος Σ., Μουτζούρης Π., *Προκαταρκτική Μελέτη: Ύδρευση - Αποχέτευση - Επεξεργασία και Διάθεση Λυμάτων Δήμου Ευεργέτουλα, ΜΠΕ και Προέγκριση Χωροθέτησης*, Μυτιλήνη (2000).
45. Οδηγία Ε.Ε. (271/1991)  
[www.wsntg.ie/cis/documentLibrary/searchArticle/documents/cis20081.htm](http://www.wsntg.ie/cis/documentLibrary/searchArticle/documents/cis20081.htm)
46. Πρακτικά Ημερίδας, *Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου: 'Ανάκτηση αστικών υγρών αποβλήτων με χρήση φυσικών συστημάτων και επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση και ανάπλαση υγροτόπων*, Σίνδος (1998).
47. Προβατάς Ν., *Οριστική Υδραυλική Μελέτη Συστήματος Διάθεσης Λυμάτων Οικισμού Μιστεγνών*, Μυτιλήνη (2002).
48. Στασινάκης Α., *Σημειώσεις μαθήματος 'Σχεδιασμός Μονάδων'*, Θεοφράσειο Μ.Π.Σ.: Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα περιβάλλοντος, Μυτιλήνη (2004).

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ:

- [www.wsntg.ie/cis/documentLibrary/searchArticle/documents/cis20081.htm](http://www.wsntg.ie/cis/documentLibrary/searchArticle/documents/cis20081.htm)
- [http://www.landandwater.com/features/vol41no6/vol41no6\\_2.html](http://www.landandwater.com/features/vol41no6/vol41no6_2.html)
- [www.hydraaquatic.com/wastewater.html#anchor179675](http://www.hydraaquatic.com/wastewater.html#anchor179675)