



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Αερίων, Υγρών και Στερεών Αποβλήτων

**ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟΥΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ
ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΤΥΛΙΣΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής:
Οικονομόπουλος Π. Αλέξανδρος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:
Τσαγκαράκης Π. Κωνσταντίνος **Τσούτσος Δ. Θεοχάρης**

Παπαδημητρίου Κων. Χρήστος

Χανιά 2004

Στην Ι.Μ. Κυρίας Παλιανής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΙΚΡΟΥΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΤΥΛΙΣΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

Έχοντας καλυφθεί οι ανάγκες διαχείρισης των αστικών υγρών αποβλήτων σχεδόν στο σύνολο των μεγάλων πόλεων ανά την επικράτεια, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην επεξεργασία και διάθεση των λυμάτων μικρών οικισμών, προκειμένου να καλυφθούν και οι απαιτήσεις της Οδηγίας 91/271//ΕΟΚ. Σε αυτόν το τομέα, τα φυσικά συστήματα υπερτερούν έναντι των συμβατικών, εξαιτίας της καλής ποιότητας εκροής, της αξιοπιστίας τους, τις μικρές ανάγκες συντήρησης και του χαμηλού κόστους τους. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, γίνεται προσπάθεια συλλογής πολύτιμων εμπειρικών συμπερασμάτων από την λειτουργία ήδη κατασκευασμένων εγκαταστάσεων φυσικών συστημάτων και την παρουσίαση των σχεδιαστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διαστάσεων και της απόδοσης της λειτουργίας τους. Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια συγκριτικής αξιολόγησης τους με σχεδιαστικά και οικονομικά κριτήρια. Τα συμπεράσματα της παραπάνω ανάλυσης λαμβάνονται υπόψιν στην δημιουργία ενός διαχειριστικού συστήματος που αναπτύσσεται για τις ανάγκες του Δήμου Τυλίσου Ηρακλείου. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε ένα ειδικό διαχειριστικό σχέδιο που δίδει έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Διαμορφώνονται οι απαιτήσεις επεξεργασίας και διάθεσης με βάση την κείμενη νομοθεσία, εκτιμώνται οι αρδευτικές ανάγκες με το μοντέλο του Penmann σε 12μηνιαία βάση, υπολογίζεται η δυνατή αρδευόμενη έκταση, προσδιορίζεται η αφομοιωτική ικανότητα και η ρύπανση του ποταμού που θα χρησιμοποιείται ως δευτερογενής αποδέκτης και εκτιμώνται οι ανάγκες εδαφιαίας διάθεσης για την περίσσεια εκροής. Τέλος, σχεδιάζονται 3 εναλλακτικοί τύποι φυσικών συστημάτων, ώστε να πληρούν τις παραπάνω απαιτήσεις και επιλέγεται το πιο συμφέρον τεχνικοοικονομικά διαχειριστικό σχέδιο.

Καλή ανάγνωση !

Παπαδημητρίου Κων.Χρήστος
Μηχανικός Περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ποσοτικά χαρακτηριστικά	2
1.1.1. Γενικά -Σημασία του σωστού υπολογισμού	2
1.1.2. Διακύμανση παροχών αποβλήτων	2
1.1.3. Αγροτικές περιοχές	4
1.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά	5
1.2.1. Σε αναπτυγμένες χώρες	5
1.2.2. Στην Ελλάδα	6
1.3. Ισχύουσα νομοθεσία διαχείρισης αστικών αποβλήτων	8
1.3.1. Απαιτήσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων για διάθεση σε υγρούς αποδέκτες σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ	9
1.3.2. Απαιτήσεις επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/97	10
1.3.3. Απαιτήσεις διάθεσης λυμάτων, σε ξηρά ρέματα και έδαφος	12
1.3.4. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για άρδευση	14
 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ	
2.1. Συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	18
2.1.1. Συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος	18
2.1.2. Συστήματα βιοδίσκων	20
2.1.3. Συστήματα παρατεταμένου αερισμού	22
2.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων	23
2.2. Λίμνες σταθεροποίησης	25
2.2.1. Αναερόβιες λίμνες	25
2.2.1.1. Σχεδιασμός αναερόβιων λιμνών	26
2.2.1.2. Απόδοση	27
2.2.2. Επαμφοτερίζουσες λίμνες	28
2.2.2.1. Αρχή λειτουργίας	28
2.2.2.2. Σχεδιασμός επαμφοτερίζουσων λιμνών	29
2.2.2.3. Αποδόσεις επεξεργασίας	30
2.2.3. Λίμνες ωρίμανσης	31
2.2.3.1. Απομάκρυνση κοπρανώδων κολοβακτηριδίων	31
2.2.3.2. Απομάκρυνση BOD	33
2.2.3.3. Απομάκρυνση αζώτου	33
2.2.3.4. Απομάκρυνση φωσφόρου	34

2.2.4.	Κατασκευαστικές παράμετροι	35
2.2.4.1.	Αναγκαίος χώρος	35
2.2.4.2.	Τοποθεσία	35
2.2.4.3.	Τοπογραφία	36
2.2.4.4.	Εφαρμογή	36
2.2.4.5.	Απομάκρυνση της παραγόμενης ιλύος	37
2.2.5.	Αξιολόγηση Λιμνών Σταθεροποίησης	37
2.2.5.1.	Πλεονεκτήματα	37
2.2.5.2.	Μειονεκτήματα	38
2.3.	Υγροβιότοποι	39
2.3.1.	Αρχή λειτουργίας	39
2.3.1.1.	Συστήματα επιφανειακής ροής	39
2.3.1.2.	Συστήματα υποεπιφανειακής ροής	40
2.3.2.	Γενικοί τύποι σχεδιασμού	43
2.3.3.	Υδραυλικοί Τύποι Σχεδιασμού	46
2.3.3.1.	Συστήματα επιφανειακής ροής	46
2.3.3.2.	Συστήματα υποεπιφανειακής ροής	47
2.3.4.	Σχεδιαστικά μοντέλα για την απομάκρυνση BOD	51
2.3.5.	Σχεδιαστικά μοντέλα για την απομάκρυνση Αζώτου	54
2.3.5.1.	Συστήματα επιφανειακής ροής	54
2.3.5.2.	Συστήματα υποεπιφανειακής ροής	55
2.3.6.	Μοντέλα για την εκτίμηση απομάκρυνσης άλλων ρυπαντών	58
2.3.6.1.	Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης TSS	58
2.3.6.2.	Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης Φώσφορου	58
3.	ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	
3.1.	Υφιστάμενη κατάσταση των εγκαταστάσεων στην ελληνική επικράτεια	61
3.1.1.	Γενική εικόνα στην επεξεργασία λυμάτων στην χώρα μας	61
3.1.2.	Εξέταση εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους	62
3.1.2.1.	Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων	62
3.1.2.2.	Αίτια μη αποτελεσματικής λειτουργίας	65
3.1.2.3.	Φορέας λειτουργίας και συντήρησης των έργων	65
3.2.	Εξέταση φυσικού συστήματος επιφανειακής ροής Πόμπιας	66
3.2.1.	Γενικά	66
3.2.2.	Σχεδιαστικές και κατασκευαστικές παράμετροι	66
3.2.3.	Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων	68
3.2.4.	Συμπεράσματα	69
3.3.	Εξέταση φυσικού συστήματος Αργυρούπολης Ν. Ρεθύμνου	73

3.3.1.	Σχεδιαστικά στοιχεία	73
3.3.2.	Αποτελέσματα	75
3.3.3.	Συμπεράσματα	78
3.4.	Εμπειρία από λίμνες σταθεροποίησης στην Ελλάδα	79
3.4.1.	Γενικά	79
3.4.2.	Πορίσματα από την λειτουργία πιλοτικής εγκατάστασης στην Σίνδο	79
3.4.3.	Παρουσίαση των συστημάτων λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα	81
3.4.4.	Συνοπτική Μελέτη περιπτώσεων	83
3.4.4.1.	Κοκκινόχωμα	83
3.4.4.2.	Άνω Πορεία	83
3.4.4.3.	Σύμη	84
3.4.5.	Συμπεράσματα	84
4.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	
4.1.	Σύγκριση λιμνών σταθεροποίησης και τεχνητών υγροβιοτόπων	86
4.2.	Σύγκριση της εφαρμοσιμότητας των φυσικών συστημάτων ανά περιοχή της Ελλάδας	88
4.3.	Σύγκριση κόστους	92
4.3.1.	Κόστος κατασκευής	94
4.3.2.	Κόστος λειτουργίας	96
4.3.3.	Κόστος χημικών	97
4.3.4.	Κόστος ενέργειας	98
4.3.5.	Συνολικό κόστος της εγκατάστασης	99
5.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ	
5.1.	Ειδικό διαχειριστικό σύστημα επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων	104
5.1.1.	Περιγραφή του ειδικού διαχειριστικού συστήματος	104
5.1.2.	Μοντέλα και αλληλεπιδράσεις	105
5.1.3.	Διάγραμμα προτεραιοτήτων	105
5.2.	Μοντέλο ρύπανσης ποταμών	109
5.2.1.	Μοντέλο εκτίμησης κρίσιμου φορτίου BOD	109
5.2.1.1.	Συνήθη δεδομένα προβλημάτων	110
5.2.1.2.	Διαδικασία επίλυσης προβλημάτων	111
5.2.2.	Μοντέλο εκτίμησης μικροβιακής ρύπανσης	115
5.3.	Μέθοδος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής FAO Penmann-Monteith	116
5.3.1.	Προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	116

5.3.2.	Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ETc)	118
5.3.3.	Συντελεστής καλλιέργειας Kc	119
 6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ		
6.1.	Περιγραφή της περιοχής	123
6.1.1.	Γεωγραφική θέση	123
6.1.2.	Τύποι καλλιεργειών της περιοχής	124
6.2.	Ανάλυση πληθυσμιακών στοιχείων	126
6.2.1.	Χρονικός ορίζοντας εκτίμησης πληθυσμού	126
6.2.2.	Στοιχεία απογραφών	126
6.2.3.	Εκτίμηση τάσεων μεταβολής του πληθυσμού	127
6.2.4.	Εκτίμηση πληθυσμού σχεδιασμού	129
6.3.	Συνοπτική περιγραφή στοιχείων κλίματος, ατμόσφαιρας	130
6.3.1.	Βροχοπτώσεις	130
6.3.2.	Θερμοκρασία αέρα	132
6.3.3.	Σχετική υγρασία του αέρα	134
6.3.4.	Άνεμοι	136
6.3.5.	Ηλιοφάνεια	137
6.3.6.	Κλίμα	138
 7. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ		
7.1.	Απαιτήσεις επεξεργασίας για την διάθεση αποβλήτων	139
7.2.	Μελέτη δυνατών επιλογών αρδευτικού συστήματος	141
7.2.1.	Υφιστάμενη κατάσταση ποτίσματος	141
7.2.2.	Διαφορετικοί τρόποι σχεδιασμού της αρδευτικής έκτασης	141
7.2.2.1.	Παράλληλο δίκτυο,	141
7.2.2.2.	Φόβοι χρήσης του νερού	142
7.2.2.3.	Απομονωμένο δίκτυο	142
7.3.	Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών	145
7.3.1.	Μέθοδοι εκτίμησης αρδευτικών αναγκών	145
7.3.2.	Μέθοδος Penmann-Monteith	145
7.3.2.1.	Ισοζύγιο	145
7.3.2.2.	Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς	146
7.3.2.3.	Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής	148
7.3.3.	Εμπειρικές τιμές αρδευτικών αναγκών	152
7.3.4.	Σύγκριση και τελική χρήση τιμών	152

8.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ	
8.1.	Μεθοδολογία σχεδιασμού	155
8.1.1.	Εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων	155
8.1.2.	Διαθέσιμη ποσότητα εκροής προς διαχείριση	156
8.1.3.	Μέγιστη αρδευόμενη έκταση	156
8.1.4.	Δεξαμενή εξισορρόπησης	157
8.1.5.	Περίσσεια ποσότητας νερού	157
8.1.6.	Ρύθμιση ρύπανσης ποταμού	157
8.1.7.	Εδαφική διάθεση	158
8.1.8.	Γραφήματα	159
8.2.	Διαθέσιμες ποσότητες νερού για διάθεση με την μέθοδο FAO Penmann-Monteith	159
8.2.1.	Ισοζύγιο	159
8.2.2.	Πίνακας υπολογισμών	161
8.3.	Μοντέλο ρύπανσης ποταμού	163
8.3.1.	Σκοπός χρήσης του μοντέλου	163
8.3.2.	Χρήση τιμών στο μοντέλο	163
8.4.	Αποτελέσματα	169
8.4.1.	Πίνακες υπολογισμών	169
8.4.2.	Γραφήματα διαχείρισης εκροής σε ετήσια βάση	172
8.5.	Συμπεράσματα	175
9.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	178
9.1.	Απαιτήσεις απόδοσης	179
9.2.	Δεδομένα εισόδου	179
9.2.1.	Θερμοκρασία	179
9.2.2.	Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά	180
9.2.3.	Προεπεξεργασία	181
9.3.	Διαστασιολόγηση υγροβιοτόπου επιφανειακής ροής	182
9.3.1.	Παράμετροι σχεδιασμού	182
9.3.2.	Πίνακας αποτελεσμάτων	182
9.3.3.	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	186
9.4.	Διαστασιολόγηση υγροβιοτόπου υποεπιφανειακής ροής	189
9.4.1.	Παράμετροι σχεδιασμού	189
9.4.2.	Πίνακας αποτελεσμάτων	189
9.4.3.	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	193
9.5.	Διαστασιολόγηση συστήματος λιμνών σταθεροποίησης	196
9.5.1.	Παράμετροι σχεδιασμού	196

9.5.2.	Πίνακες αποτελεσμάτων	196
9.5.3.	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	201
9.6.	Αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων-Επιλογή	204
 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		 208
 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		 212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1. Ποσοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων
 - 1.1.1. Γενικά
 - 1.1.2. Διακύμανση παροχών αποβλήτων
 - 1.1.3. Αγροτικές περιοχές
- 1.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά
 - 1.2.1. Σε αναπτυγμένες χώρες
 - 1.2.2. Στην Ελλάδα
- 1.3. Ισχύουσα νομοθεσία διαχείρισης αστικών αποβλήτων
 - 1.3.1. Απαιτήσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων για διάθεση σε υγρούς αποδέκτες σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ
 - 1.3.2. Απαιτήσεις επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/97
 - 1.3.3. Απαιτήσεις διάθεσης λυμάτων, σε ξηρά ρέματα και έδαφος
 - 1.3.4. Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για άρδευση

1.1. ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.1.1. Γενικά

Ο σωστός υπολογισμός της ποσότητας των αποβλήτων που δέχεται τόσο το δίκτυο αγωγών αποχέτευσης, όσο και η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων έχει μεγάλη σημασία στο σχεδιασμό και στην σωστή λειτουργία του συστήματος συλλογής και επεξεργασίας. Ο προσδιορισμός των διαφόρων μεγεθών που απαιτούνται για τον υπολογισμό της παροχής σχεδιασμού (αιχμές, διάρκεια των αιχμών, κα) γίνεται είτε αναλυτικά με μετρήσεις σε ημερήσια και εποχιακή βάση όπου αυτό είναι δυνατόν. Ωστόσο, στην περίπτωση που δεν είναι εφικτή η λήψη στοιχείων της παροχής γίνεται χρήση της βιβλιογραφίας, κάνοντας ορισμένες παραδοχές και απλοποιήσεις ως προς την κατανάλωση νερού και τις ποσότητες ρυπαντικού φορτίου που παράγονται. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι η διαστασιολόγηση μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων απαιτεί τον προσδιορισμό αφενός της μέσης και μέγιστης ημερήσιας παροχής, αφετέρου δε της μέσης και μέγιστης ωριαίας παροχής. [25]

1.1.2. Διακύμανση παροχών αποβλήτων

Οι τιμές των παροχών εμφανίζουν διακυμάνσεις περιοδικές και μη περιοδικές. Οι τελευταίες δύνανται να συγκεκριμενοποιηθούν και κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- Υπερετήσεις διακυμάνσεις. Αυτές οφείλονται στην μεταβολή του πληθυσμού, των κοινωνικών συνθηκών, των οικονομικών συνθηκών, των δραστηριοτήτων των κατοίκων της περιοχής, ενώ μπορεί να έχουν μορφή γενικής αύξησης σε περιπτώσεις εισροής κατοίκων στην περιοχή ή γενικής μείωσης σε περιπτώσεις πχ εγκατάλειψης των οικισμών από τους νέους ανθρώπους με κατεύθυνση τα αστικά κέντρα.
- Διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του έτους. Οι εν λόγω μεταβολές είναι ως ένα σημαντικό βαθμό περιοδικές, ενώ κατά το υπόλοιπο είναι μη περιοδικές και οφείλονται στις αντίστοιχες διακυμάνσεις στην κατανάλωση νερού που προκαλούνται από κλιματικές κατά κύριο λόγο συνθήκες. Κατά αυτή την έννοια, οι αυξημένες καταναλώσεις νερού το καλοκαίρι εξαιτίας της ζέστης, αλλά και του τουρισμού, όπου υπάρχει, προκαλούν ανάλογη αύξηση στις παροχές των υγρών αποβλήτων.

- Διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ημέρας. Οι διακυμάνσεις αυτές κατά κύριο λόγο οφείλονται στις καθημερινές συνήθειες ζωής. Συνήθως, παρατηρούνται πολύ μικρές παροχές το βράδυ, αυξημένες τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Είναι συχνό το φαινόμενο να μεγιστοποιούνται οι παροχές στο διάστημα 10 π.μ.-12 π.μ. και 7 μ.μ.-9 μ.μ.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η χρήση τιμών παροχής από την βιβλιογραφία χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Για παράδειγμα, οι Crites και Tchobanoglous (1998), προτείνουν παροχή οικιακών υγρών αποβλήτων για την Αμερική από 245 έως 300 L/ι.κ.·d και παροχές εμπορικών και μικρών βιομηχανικών μονάδων από 38 έως 76 L/ι.κ.·d. Εάν οι τιμές αυτές εφαρμοστούν στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης στην Ελλάδα, το πιθανότερο είναι να οδηγήσει σε υπέρ-διαστασιολόγηση του έργου. Η διαφορά αυτή έγκειται κατά κύριο λόγο στο γενικότερο πνεύμα της αλόγιστης κατανάλωσης που επικρατεί στον αμερικάνικο τρόπο διαβίωσης και στη μη υιοθέτηση αυτού του προτύπου από τον ελληνικό πολιτισμό. Παρόλα αυτά, η κατανάλωση νερού στην χώρα μας έχει τάση αύξησης τα τελευταία έτη, δίχως όμως να προσεγγίζει τις τιμές της Αμερικής.

Πίνακας 1.1 Συνήθειες τιμές παροχών που καταλήγουν στο αποχετευτικό δίκτυο ανά τύπο κατοικίας στις Η.Π.Α. [17]

Τύπος κατοικίας	Χαρακτηριστικά κατοικίας	Μονάδα	Εύρος	Τυπική τιμή
Πολυκατοικία	Πολυώροφη	L/(κάτοικο)·d	110-280	210
	Ολιγοώροφη	L/(κάτοικο)·d	110-300	210
Μονοκατοικία	Νέα	L/(κάτοικο)·d	150-360	270
	Παλιά	L/(κάτοικο)·d	110-300	190
	Εξοχικό	L/(κάτοικο)·d	110-190	150
Μοτέλ	Με κουζίνα	L/d	340-680	380
	Χωρίς κουζίνα	L/d	280-570	360
Καμπινγ	Με τροχόσπιτα	L/(κάτοικο)·d	110-190	150

Τα τελευταία έτη έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην εκτίμηση της πιο αντιπροσωπευτικής τιμής παροχής σχεδιασμού, με βάση την καταγραφή παροχών από εγκαταστάσεις που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία. Ειδικότερα, η έρευνα της πηγής [16] είναι ενδεικτική της κατάστασης που επικρατεί στην χώρα μας. Ελέγχθηκαν περισσότερες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Ελλάδας,

οι οποίες διέθεταν χωριστό αποχετευτικό δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη τις μονάδες που εξετάστηκαν, προέκυψε ως μέση παροχή υγρών αποβλήτων που εισρέει στην εγκατάσταση η τιμή των 170 L/ι.κ.·d. (μέση ετήσια παροχή). Ωστόσο, αξίζει να δοθεί προσοχή στο ότι μικρότερες εγκαταστάσεις σε αγροτικές περιοχές είχαν εισροές από 100 ως 120 L/ι.κ.·d, αν και κατά τον σχεδιασμό τους είχαν διαστασιολογηθεί με την τιμή των 200 L/ι.κ.·d. Παράλληλα, η πηγή [18] μας δίνει αναλυτικά στοιχεία της καμπύλης κατανομής των παροχών σε εγκαταστάσεις στην Ελλάδα.

Πίνακας 1.2 Αποτελέσματα καταγραφής της μέσης ετήσιας παροχής σε εγχώριες μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους [18]

Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή παραμέτρου
Πλήθος εγκαταστάσεων	no	17
Ελάχιστη τιμή παροχής	m ³ /d	133
Μέγιστη τιμή παροχής	m ³ /d	190
Τυπική απόκλιση	m ³ /d	17
Μέση τιμή	m ³ /d	165
Μέσος	m ³ /d	167

1.1.3. Αγροτικές περιοχές

Παρόλα αυτά, οι παραπάνω τιμές ισχύουν για αστικές κυρίως περιοχές, όπου σύμφωνα με την εμπειρία η παροχή λυμάτων ανά ισοδύναμο κάτοικο είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές, όπως η υπό μελέτη περιοχή. Κατά συνέπεια, μη έχοντας μετρήσεις της παροχής από την έξοδο του δικτύου αποχέτευσης, η πιο ασφαλής λύση εκτίμησης του όγκου των λυμάτων είναι η χρήση των παραπάνω τιμών, προσαρμοσμένων, όμως, κατάλληλα για χρήση σε αγροτικές περιοχές. Ειδικότερα, μια καλή τιμή θεωρείται η τιμή των 120 l/ικ/ημέρα, στην διάρκεια των θερινών μηνών εκτιμάται ως πιο κατάλληλη η τιμή των 140 l/ικ/ημέρα.

1.2. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.2.1. Σε αναπτυγμένες χώρες

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο προσδιορισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων προκειμένου με βάση την αποτελεσματικότητα και τις επιμέρους παραμέτρους των διαφόρων τεχνικών, να επιλεγούν οι κατάλληλες λύσεις για την μείωση των ρυπαντικών τους φορτίων. Είναι σαφές ότι από τα φορτία των λυμάτων εξαρτάται το μέγεθος της εγκατάστασης, ο σχεδιασμός της λειτουργίας της, το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της και πλήθος ακόμη σημαντικών παραμέτρων. Κατά συνέπεια, υπάρχει σημαντική ανάγκη για την καλύτερη δυνατή εκτίμηση των φορτίων αυτών.

Οι παράγοντες φορτίου χωρίζονται σε πολλές επιμέρους κατηγορίες, κάθε μια από τις οποίες προκαλεί, μόνη της ή σε συνδυασμό με άλλες, μια σειρά από επιβαρύνσεις στο περιβάλλον. Η διεθνής βιβλιογραφία είναι πλούσια αναφορικά με τον ποιοτικό χαρακτηρισμό των αποβλήτων. Οι τιμές στις οποίες είθισται να κυμαίνονται οι κυριότεροι ρυπαντές συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα : [17]

Παράμετροι	Διεθνής Συμβολισμός	Μονάδα	Εύρος	Τυπική τιμή
Ολικά Στερεά	TS	mg/L	350 - 1200	700
Ολικά Διαλυμένα Στερεά	TDS	mg/L	280 - 850	500
Πτητικά	VS	mg/L	100 - 350	210
Αιωρούμενα Στερεά	TSS	mg/L	80 - 275	160
Καθιζάνοντα Στερεά	Settleable Solids	mg/L	5 - 20	10
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	BOD ₅ , 20°C	mg/L	110 - 400	210
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	COD	mg/L	80 - 290	160
Ολικός Άνθρακας	TOC	mg/L	250 - 1000	500
Άζωτο	N	mg/L	20 - 85	35
Οργανικό Άζωτο	Org. N	mg/L	8 - 35	13

Ελεύθερη Αμμωνία	NH ₃	mg/L	12 - 50	22
Φώσφορος	P	mg/L	4 - 15	7
Οργανικός Φώσφορος	Organic P	mg/L	1 - 5	2
Ανόργανος Φώσφορος	Inorganic P	mg/L	3-10	5
Χλωριούχα		mg/L	30-100	50
Θειικά	SO ₄ ⁻²	mg/L	20-50	30
Λίπη και Έλαια		mg/L	50-150	90
Ολικά Κολοβακτηρίδια	TC	CFU/100 ml	10 ⁶ -10 ⁹	10 ⁷ - 10 ⁸
Κοπρανώδη Κολοβακτηρίδια	FC	CFU/100 ml	10 ³ -10 ⁷	10 ⁴ - 10 ⁵
Cryptosporidium oocysts		CFU/100 ml	10 ⁻¹ -10 ⁻²	10 ⁻¹ - 10 ¹
Giardia lamblia cysts		CFU/100 ml	10 ⁻¹ -10 ⁻³	10 ⁻¹ – 10 ⁻²

1.2.2. Στην Ελλάδα

Η έρευνα της πηγής [18] δίνει μια πλήρη εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης στην ελληνική πραγματικότητα, όσο αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Ειδικότερα, η έρευνα αυτή δείχνει μικρές ή μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις τιμές της διεθνούς βιβλιογραφίας. Τα πορίσματα της εξέτασης σημαντικού πλήθους εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.4 Αποτελέσματα καταγραφής των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε εγχώριες μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους [18]

Παράμετρος	N πλήθος στοιχείων	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Μέσος
Μονάδα	no	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
BOD ₅	32	102	614	127	300	296
COD	20	229	913	201	570	550
SS	25	110	480	104	296	300

TN	14	25	110	27	57	55
TP	15	5	22	5	11,8	10

Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών στην διάρκεια του έτους. Είναι γενικά παραδεκτό ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών αυξάνονται κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου. Κατά συνέπεια, προκειμένου να συμπεριληφθεί και αυτό το στοιχείο στις εκτιμήσεις μας για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, προτείνεται μια αντίστοιχη διαφοροποίηση των τιμών για χειμώνα και καλοκαίρι.

1.3. ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν στο σχεδιασμό οποιουδήποτε συστήματος διαχείρισης υγρών αποβλήτων είναι οι νομοθετικές ρυθμίσεις. Συγκεκριμένα, οι τελευταίες καθορίζουν τις απαιτήσεις στους τομείς της επεξεργασίας και της διάθεσης των αποβλήτων για άρδευση και ορίζουν πεδία μέσα στα οποία είναι δυνατόν να κυμανθεί η δυνατή λύση, ανάλογα με το είδος του αποδέκτη και τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό του οικισμού.

Η ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα ακολουθεί και συμμορφώνεται με τις Οδηγίες που εκδίδει η Ευρωπαϊκή Κοινότητα, με αποτέλεσμα να οριοθετούνται συγκεκριμένοι στόχοι και να προτείνονται συγκεκριμένες δυνατές επιλογές του φορέα διαχείρισης ενός έργου επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αποβλήτων προς επίτευξη των στόχων αυτών. Με αυτό τον τρόπο, καθίστανται σαφής οι όροι και οι προϋποθέσεις για κάθε είδος αποδέκτη, καθώς γίνεται η διάκριση σε ευαίσθητους αποδέκτες, γλυκά νερά και εκβολές ποταμών και ευαίσθητους αποδέκτες.

Αναλυτικότερα, το νομοθετικό πλαίσιο όσο αφορά την επεξεργασία και την διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων συνίσταται στα ακόλουθα σημεία.:

- Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΟΚ (L35 της 30.5.1991) «επεξεργασία των αστικών λυμάτων»
- ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192/Β/97) «μέτρα και όροι για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων»
- ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016/Β/97) «κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων»
- Υγειονομική διάταξη Ε1β/221/65 (ΦΕΚ 138/Β/65) «περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών»
- Υγειονομική διάταξη Ε1β/3161/61 (ΦΕΚ 444/Β/61) «οδηγίας κατασκευής και λειτουργίας ιδιωτικών συστημάτων διαθέσεων λυμάτων»

Οι ελάχιστες απαιτήσεις για την επεξεργασία αστικών αποβλήτων καθορίζονται σε σχέση με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό του έργου τόσο από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ της Ε.Ε. και την εναρμόνισή της με την ΚΥΑ 5673/400/97, όσο και από την οδηγία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ) για άρδευση.

Συγκεντρωτικά, παρουσιάζονται παρακάτω σε μορφή πινάκων το βασικό νομοθετικό περίγραμμά τόσο για την επεξεργασία όσο και για την διάθεση των λυμάτων και σε ξηρά ρέματα και έδαφος, που εν προκειμένω θα μας απασχολήσουν στην παρούσα έρευνα..

Πίνακας 1.5 Απαιτήσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων για διάθεση σε υγρούς αποδέκτες σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ

Ισοδύναμος Πληθυσμός (1.000)	Γενικές απαιτήσεις	Αποδέκτες		
		Παράκτια ύδατα	Γλυκά ύδατα και Εκβολές ποταμών	Ευαίσθητοι αποδέκτες
0-2		Κατάλληλη Επεξεργασία ή/και διάθεση (2005)	Κατάλληλη επεξεργασία ή/και διάθεση (2005)	
2-10			B' βάθμια Α' βάθμια σε εκβολές με τεκμηρίωση (2005)	B' βάθμια (2005)
10-15	B' βάθμια (2005)	B' βάθμια Α' βάθμια με τεκμηρίωση (2005)	B' βάθμια (2005)	B' βάθμια Με αφαίρεση N ή/και P (1998)
15-150	B' βάθμια (2005)	B' βάθμια Α' βάθμια με τεκμηρίωση (2000)		
>150		B' βάθμια Α' βάθμια κατ' εξαίρεση με τεκμηρίωση (2000)		

Πίνακας 1.6 Κωδικοποίηση της υφιστάμενης νομοθεσίας επεξεργασίας λυμάτων σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97)
«μέτρα και όροι για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων»

A/A	Αποδέκτης	Ισοδύναμος Πληθυσμός (1.000)	Επεξεργασία	Ποιότητα εκροής	Παρατηρήσεις
1.	Ευαίσθητες περιοχές				
	Οπουδήποτε	>10	B' βάρθμια με αφαίρεση N ή/και P	BOD ₅ 25 mg/L COD 125 mg/L TSS 35 mg/L P 2 mg/L N 15 mg/L	Εναλλακτικά αν σε μια ευαίσθητη περιοχή αποδειχθεί ότι το συνολικό ποσοστό μείωσης N,P από όλους τους σταθμού είναι τουλάχιστον 75%, δεν υποχρεούται η μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων να πληρεί τους πίνακες. Η διάθεση και στις λεκάνες, υδροσυλλογής ευαίσθητων περιοχών απαιτούν την ίδια επεξεργασία.
2.	Λιγότερο ευαίσθητες περιοχές				
	α)σε παράκτια ύδατα	10-15	B' βάρθμια A' βάρθμια σε εκβολές με τεκμηρίωση	Μείωση: BOD _{5 min} 20% TSS _{min} 50%	Απαιτείται μελέτη που τεκμηριώνει ότι δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον
	β) σε νερά εκβολών ποταμών	2-10			
3.	Σε υδάτινους αποδέκτες				

	α) όλες οι απορρίψεις	>15	Δευτεροβάθμια ή Ισοδύναμη	<ul style="list-style-type: none"> Μη ευαίσθητη περιοχή BOD₅ 25 mg/L COD 125 mg/L TSS 35 mg/L 	Εάν έχει ο υδάτινος αποδέκτης αυστηρότερες οδηγίες πρέπει να πληρούνται
	β) απορρίψεις σε γλυκά νερά και εκβολές ποταμών	2-10			
	γ) απορρίψεις σε νερά υψομέτρου >1500 m	Ανεξαρτήτου πληθυσμού	Λιγότερη αυστηρή της δευτεροβάθμιας	<ul style="list-style-type: none"> Ευαίσθητη περιοχή Ως άνω. Επιπλέον P 2 mg/L N 15 mg/L 	Μελέτη που αποδεικνύονται οι μη επιπτώσεις του έργου
	δ) σε παράκτια νερά	<10			
			Κατάλληλη επεξεργασία με μέθοδο και σύστημα διάθεσης που διασφαλίζει την ποιότητα του αποδέκτη	Αναλόγως απαιτήσεων αποδέκτη	Διασφάλιση ποιότητας και χρήσης του αποδέκτη από παρούσα απόφαση και άλλες διατάξεις.

Πίνακας 1.7 Κωδικοποίηση διάθεσης λυμάτων, σε ξηρά ρέματα και έδαφος

A/A	Αποδέκτης	Προϋποθέσεις	Απαίτηση επεξεργασίας	Νομοθεσία	Απαιτούμενη ποιότητα
1	<ul style="list-style-type: none"> Ξηρά ρέματα 	<ul style="list-style-type: none"> Εξασφάλιση κανονικής ροής άνευ δημιουργίας στασίμων υδάτων Έγκριση από απόφαση Νομάρχη (όπου αναφέρονται Ειδικοί Όροι διάθεσης, η χρήση του αποδέκτη, κ.λ.π.) Ανάληψη υποχρέωσης συντήρησης του ρέματος Έγκριση από απόφαση Νομάρχη (όπου αναφέρονται Ειδικοί Όροι διάθεσης, η χρήση του αποδέκτη, κ.λ.π.) 	<ul style="list-style-type: none"> Πλήρης Βιολογικός καθαρισμός και απολύμανση, εφόσον απαιτείται Ως θα καθορίζουν οι Ειδικοί Όροι της απόφασης του Νομάρχη 	<ul style="list-style-type: none"> Υγ.Διάταξη-Ε1β/3161/61 ΦΕΚ 444/Β/18-12-61 Απόφ-Ε1β/221/65 Υπουργών Εσωτ.+Υγείας (Υγειον.Δ/ξη) 	<ul style="list-style-type: none"> BOD <20 mg/L εφόσον απαιτείται Ως θα καθορίζουν οι Ειδικοί όροι της απόφασης Νομάρχη
2	<ul style="list-style-type: none"> Α) Εδάφος-Επιφανειακή διάθεση 	<ul style="list-style-type: none"> Δεν θα ευρίσκονται σε σηπτική κατάσταση (πιθανή απαίτηση αερισμού ή χλωρίωσης) Επαρκής έκταση Αποφυγή υπερφόρτισης εδάφους Αποφυγή στασίμων νερών Όχι σε πλημμυρικές περιοχές 30 μ. από φρέατα, πηγές 15 μ. από σωλήνες υδραγωγείου Ικανή απόσταση από κατοικ. περιοχή, υδροληψία οπαρώνες Μέτρα απαγόρευσης εισόδου αναμιγδίων προσώπων, ζώων 	<ul style="list-style-type: none"> Εσχαρισμός (ανοίγματος 2,5 εκ.) 	<ul style="list-style-type: none"> Απόφαση Ε1β/3161/61 	<ul style="list-style-type: none"> Αρκεί εσχαρισμός

	<ul style="list-style-type: none"> Β) Έδαφος Άρδευση φυτειών 	<ul style="list-style-type: none"> Ισχύουν όλες οι προϋποθέσεις της επιφανειακής διάθεσης (2α) και επιπλέον τα εξής: Όχι σε λαχανικά εσθιόμενα άνευ βρασμού Η άρδευση θα διακόπτεται 2 εβδομάδες πριν τη συγκομιδή ή βοσκή γαλακτοφόρων ζώων Δεν θα είναι μολυσμένα με σπόρια άνθρακα Θα προβλέπεται άλλος τρόπος υγιεινής διάθεσης όταν δεν χρησιμοποιούνται για άρδευση 	<ul style="list-style-type: none"> Εσχαρισμός (ανοίγματος 2,5 εκ.) Καθίζηση 2 ωρών 	<ul style="list-style-type: none"> Απόφαση Ε1β/3161/61 	<ul style="list-style-type: none"> Αρκεί ο εσχαρισμός και η καθίζηση
	<ul style="list-style-type: none"> Γ) Έδαφος Υπεδάφια διάθεση 	<ul style="list-style-type: none"> Επαρκής απορροφητική ικανότητα του εδάφους Όχι επιφανειακή υπερχείλιση του εδάφους Απόσταση ασφαλείας για αποφυγή κινδύνου αλλοιώσεως υδάτων 30 μ από πηγές και φρεάτια, ακτές κολύμβησης 15μ. από σωλήνες ύδραγ. 3μ. από θεμέλια κτηρίων και οριογραμμές 	<ul style="list-style-type: none"> Καθίζηση 2 ωρών 	<ul style="list-style-type: none"> Απόφαση Ε1β/3161/61 	<ul style="list-style-type: none"> Αρκεί η καθίζησης 2 ωρών

Πίνακας 1.8 Προτεινόμενα μικροβιολογικά κριτήρια ποιότητας για την χρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση (WHO, [21])^{α,β}

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Τεχνική ποτίσματος	Εντερικά νηματοειδή ανά L ^γ	Περιττωματικά Κολοβακτηρίδια ανά 100 mL ^δ	Επεξεργασία για την επίτευξη της μικροβιακής ποιότητας
A	Άρδευση προϊόντων που τρώγονται ωμά, γηπέδων, δημοσίων πάρκων ^ε , κλπ	Εργάτες Καταναλωτές Κοινό	Οποιαδήποτε	≤0,1 [≤1]	≤1000 ^ε	Λίμνες σταθεροποίησης με κατάλληλη σχεδίαση, διαδοχική μη συνεχούς ροής αποθήκευση των λυμάτων και στη συνέχεια δεξαμενές επεξεργασίας, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία (όπως συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη είτε από λίμνες, ή από φιλτράρισμα και απολύμανση)
B	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών καλλιεργιών, ζωοτροφών, βοσκοτόπων και δέντρων ^ζ	B1 Εργάτες (όχι παιδιά <15 ετών), γειτονικές κοινότητες	A) Σταθόν, Καταιονητήρας	≤1	≤1000 ^ε [μη καθορισμένο όριο]	Λίμνες σταθεροποίησης με παραμονή 8-10 ημερών με μια λίμνη ωριμάνσεως ή διαδοχική μη συνεχούς ροής αποθήκευση των λυμάτων και στη συνέχεια δεξαμενές επεξεργασίας ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
		B2 ως B1	B) Κατακλυσμός/ σύστημα με σωλάκια	≤1	≤1000 ^ε [μη καθορισμένο όριο]	Όπως αναφέρεται στην κατηγορία A

	B3 Εργάτες και παιδιά μικρότερα των 15 ετών, γειτονικές κοινότητες	Οποιαδήποτε	≤1		Όπως αναφέρεται στην κατηγορία A
Γ	Άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας B με εξασφάλιση μη έκθεσης εργαζομένων και κοινού	Καμία	Στάθδην συστήματα	Μη εφαρμόσιμο όριο	Μη εφαρμόσιμο όριο
					Προεπεξεργασία σύμφωνα με απαιτήσεις του συστήματος άρδευσης, όχι όμως από πρωτοβάθμια καθίζηση

Επισημάνσεις:

^α Οι τιμές σε αγκύλες αντιπροσωπεύουν τις τιμές της οδηγίας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, που εξέδωσε το 1989. Οι υπόλοιπες είναι προτεινόμενες τιμές της πηγής [21].

^β Σε ειδικές περιπτώσεις, τοπικοί επιδημιολογικοί, κοινωνικο-πολιτισμικοί, και περιβαλλοντικοί παράγοντες θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν.

^γ Τα είδη *Ascaris* και *Trichuris* και οι νηματοσκοκώληκες. Αριθμητικός μέσος αριθμός αυγών

^δ Γεωμετρικός μέσος αριθμός

^ε Σύμφωνα με την πηγή [21] αυστηρότερα όρια (<200 περιττωματικά κολοβακτηρίδια ανά 100 ml) συνιστώνται για δημόσιο γκαζόν με το οποίο το κοινό μπορεί να έρθει σε απευθείας επαφή. Η τελευταία βιβλιογραφία προτείνει επίσης <200απ. /100 ml και για τις υπόλοιπες καλλιέργειες, χωρίς όμως αυτό να έχει θεσπιστεί επίσης από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας.

^ς Στην περίπτωση οπωροφόρων δένδρων, η άρδευση θα πρέπει να σταματά δυο εβδομάδες πριν από την συλλογή των φρούτων και τα φρούτα δε θα πρέπει να συλλέγονται από το έδαφος. Δε θα πρέπει επίσης να εφαρμόζεται η άρδευση με καταιονισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ

- 2.1. Συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
 - 2.1.1. Συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος
 - 2.1.2. Συστήματα βιοδίσκων
 - 2.1.3. Βακτηριδιακή κλίνη
 - 2.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων
- 2.2. Λίμνες σταθεροποίησης
 - 2.2.1. Αναερόβιες λίμνες
 - 2.2.1.1. Σχεδιασμός αναερόβιων λιμνών
 - 2.2.1.2. Απόδοση
 - 2.2.2. Επαμφοτερίζουσες λίμνες
 - 2.2.2.1. Αρχή λειτουργίας
 - 2.2.2.2. Σχεδιασμός επαμφοτερίζουσων λιμνών
 - 2.2.2.3. Αποδόσεις επεξεργασίας
 - 2.2.3. Λίμνες ωρίμανσης
 - 2.2.3.1. Απομάκρυνση κοπρανών κολοβακτηριδίων
 - 2.2.3.2. Απομάκρυνση BOD
 - 2.2.3.3. Απομάκρυνση αζώτου
 - 2.2.3.4. Απομάκρυνση φωσφόρου
 - 2.2.4. Κατασκευαστικές παράμετροι
 - 2.2.4.1. Αναγκαίος χώρος
 - 2.2.4.2. Τοποθεσία
 - 2.2.4.3. Τοπογραφία
 - 2.2.4.4. Εφαρμογή
 - 2.2.4.5. Απομάκρυνση της παραγόμενης ιλύος
 - 2.2.5. Αξιολόγηση Λιμνών Σταθεροποίησης
 - 2.2.5.1. Πλεονεκτήματα
 - 2.2.5.2. Μειονεκτήματα

2.3. Υγροβιότοποι

2.3.1. Αρχή λειτουργίας

2.3.1.1.Συστήματα επιφανειακής ροής

2.3.1.2.Συστήματα υποεπιφανειακής ροής

2.3.2. Γενικοί τύποι σχεδιασμού

2.3.3. Υδραυλικοί Τύποι Σχεδιασμού,

2.3.3.1. Βάθος νερού τεχνητών υγροβιοτόπων

2.3.3.2.Σχέσεις επιφανειακής ροής

2.3.3.3.Σχέσεις υποεπιφανειακής ροής

2.3.4. Σχεδιαστικά μοντέλα για την απομάκρυνση BOD

2.3.5. Σχεδιαστικά μοντέλα για την απομάκρυνση Αζώτου

2.3.5.1. Συστήματα επιφανειακής ροής

2.3.5.2.Συστήματα υποεπιφανειακής ροής

2.3.6. Μοντέλα για την εκτίμηση απομάκρυνσης άλλων ρυπαντών

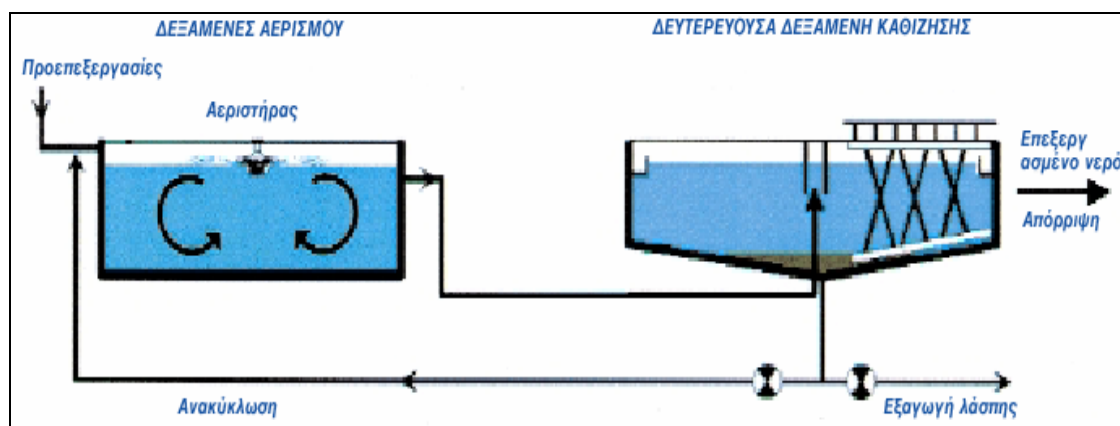
2.3.6.1. Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης TSS

2.3.6.2. Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης Φώσφορου

2.1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΑΛΤΩΝ

2.1.1. Ενεργός Ιλύς

Η αρχή της μεθόδου της ενεργού ιλύος βασίζεται στην εντατικοποίηση των διαδικασιών που συμβαίνουν στην φύση με τον αυτοκαθαρισμό της.



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση της εγκατάστασης ενεργούς ιλύος

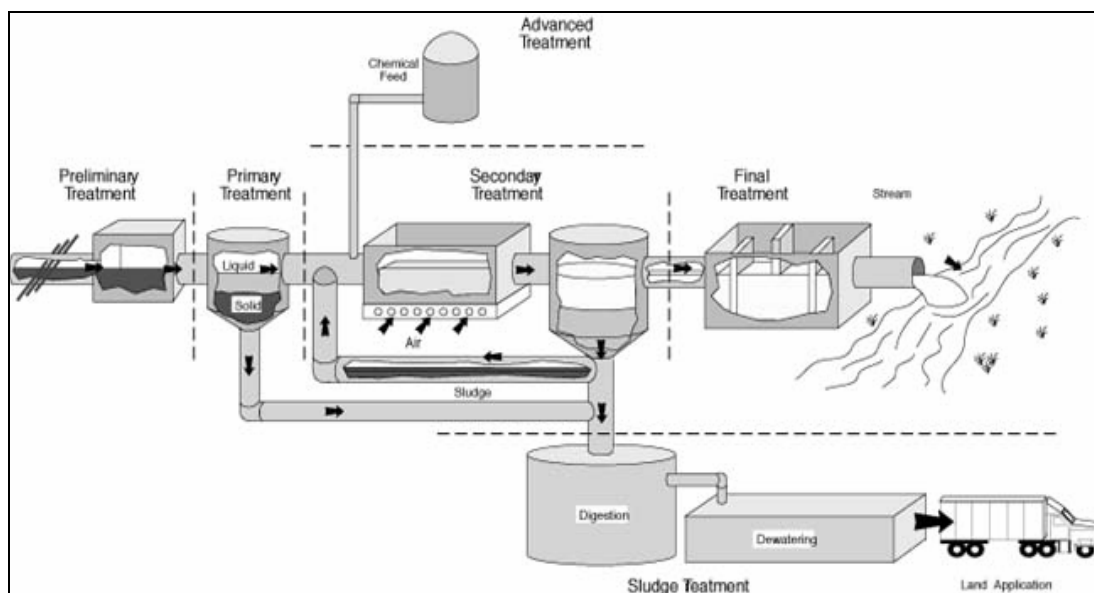
Η μέθοδος της ενεργούς ιλύος συνίσταται στην ανάμιξη και ανάδευση ακατέρφαστων λυμάτων με υγρή ενεργό ιλύ, βακτηριδιακά πολύ ενεργή. Η αερόβια μείωση της ρύπανσης επιτυγχάνεται με την μίξη των μικροοργανισμών και του ρεύματος αποβλήτων προς επεξεργασία μέσα στην δεξαμενή αερισμού. Σε αυτό το στάδιο διοχετεύεται μεγάλη ποσότητα οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα με σκοπό την επιτάχυνση των διαδικασιών αποικοδόμησης του οργανικού φορτίου. Στο επόμενο στάδιο, ακολουθεί ο διαχωρισμός του ύδατος από την λάσπη, ένα μέρος της οποίας επιστρέφεται στην δεξαμενή αερισμού. Ο διαχωρισμός αυτός επέρχεται στην δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθιζήσεως, από όπου εξέρχεται το επεξεργασμένο νερό προς περαιτέρω επεξεργασία ή/και διάθεση. Γενικά, το σύστημα αυτό παραλαμβάνει τα λύματα συνήθως μετά από μια πρωτοβάθμια καθίζηση, με συγκεντρώσεις BOD5 άνω των 150 mg/L. Ως έξοδο δίνει λάσπη, προς ξήρανση και διάθεση και επεξεργασμένα ύδατα με BOD5 που σε αρκετές περιπτώσεις είναι χαμηλότερο των 25-30 mg/L

Μια εγκατάσταση αυτού του τύπου περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Τις προκαταρτικές επεξεργασίες, όπως εσχαρισμός, και ενδεχομένως πρωτοβάθμια καθίζηση
- Την δεξαμενή ενεργοποίησης (ή δεξαμενή αερισμού)
- Την διάθεση των επεξεργασμένων υδάτων
- Τις δεξαμενές χώνευσης της λάσπης υπερχείλισης που προέρχεται από τις δεξαμενές καθίζησης

Μερικά γενικά στοιχεία διαστασιολόγησης της δεξαμενής αερισμού παρουσιάζονται στα ακόλουθα σημεία:

- Φόρτιση μάζας: $< 0,1 \text{ kg BOD}_5/\text{kg MVS}\cdot\text{d}$
- Φόρτιση όγκου: $< 0,35 \text{ kg BOD}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$
- Συγκέντρωση ιλύος: $4\text{-}5 \text{ g MS/L}$
- Χρόνος παραμονής: 24 ώρες περίπου
- Ανάγκη σε O_2 : περίπου $1,8 \text{ kg O}_2/\text{kg BOD}_5$



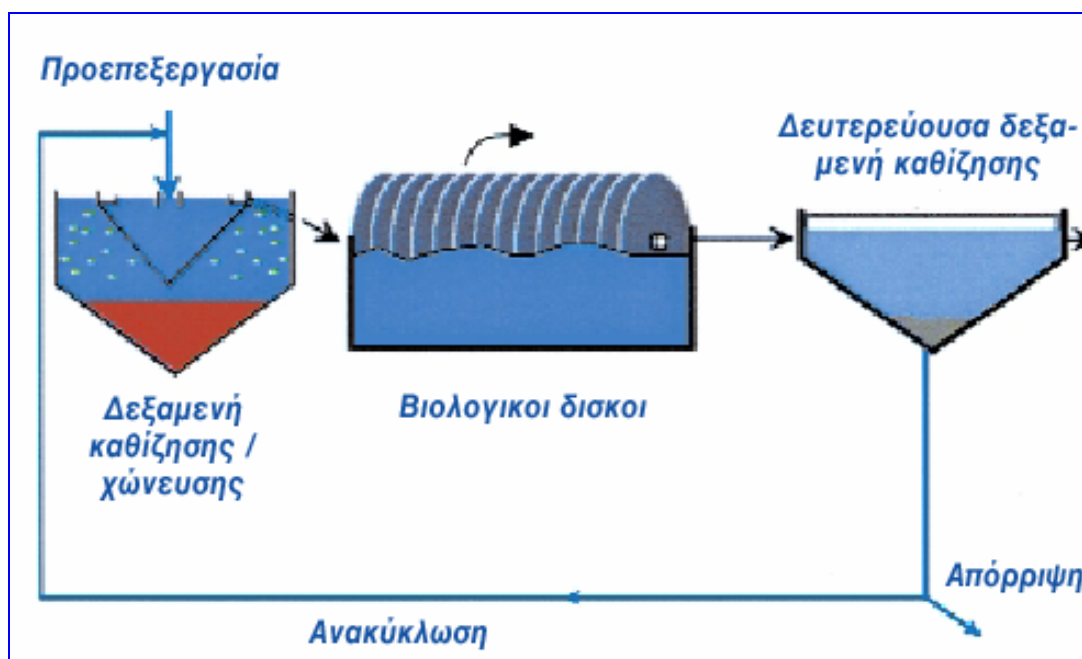
Σχήμα 2.2 Γενική αρχή λειτουργίας ενός συστήματος εγκατάστασης ενεργού ιλύος

2.1.2. Βιολογικοί δίσκοι

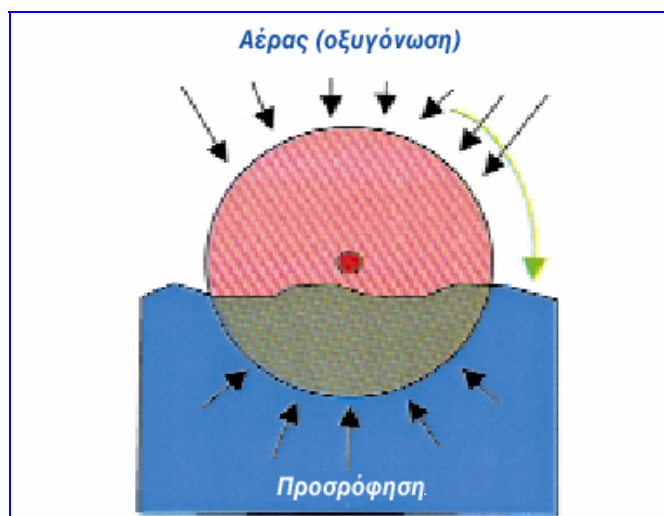
Μια τεχνική που χρησιμοποιεί σταθερές καλλιέργειες αποτελείται από περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Στην τεχνική αυτή, αναπτύσσονται μικροοργανισμοί που σχηματίζουν μια βιολογική μεμβράνη καθαρισμού στην επιφάνεια των δίσκων. Όταν οι δίσκοι βρίσκονται σε θέση ημι-βύθισης, η περιστροφή τους επιτρέπει την οξυγόνωση της βιομάζας που επικάθεται.

Σε αυτόν τον τύπο εγκατάστασης πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω σημεία:

- Στη μηχανική αξιοπιστία του μεταλλικού σκελετού (σταδιακή εκκίνηση του συστήματος, καλή στερέωση της βάσης του άξονος)
- Στη σωστή διαστασιολόγηση της επιφάνειας των δίσκων (εφαρμόζοντας μεγάλες τιμές περιθωρίων ασφαλείας).



Σχήμα 2.3. Συνοπτική απεικόνιση ενός σταθμού καθαρισμού που διαθέτει το σύστημα των βιολογικών δίσκων



Σχήμα 2.4 Η αρχή λειτουργίας ενός βιολογικού δίσκου

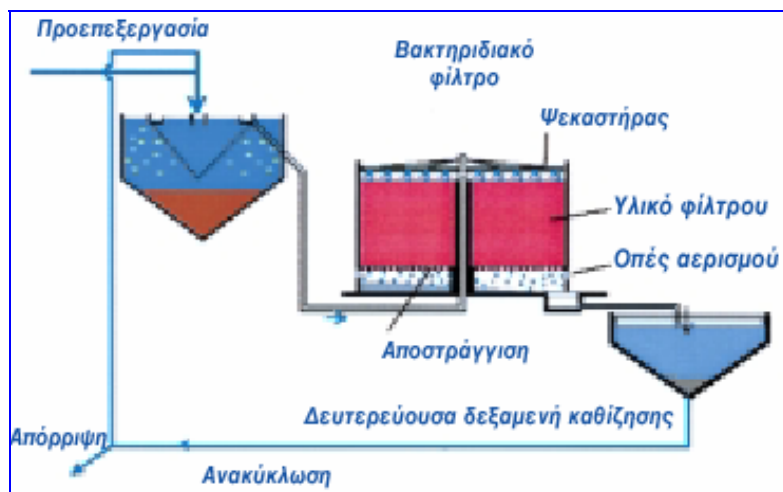
Πίνακας 2.1 Διαστασιολόγηση των βιολογικών δίσκων [2]

Στόχος ποιότητας εξόδου	Οργανικό φορτίο (μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση)
mg BOD ₅ /L	g BOD ₅ /m ² ·d
≤ 35	9
≤ 25	7

Ο παραπάνω πίνακας είναι ενδεικτικός της διαστασιολόγησης ενός συστήματος βιοδίσκων. Για παράδειγμα οικισμός με δίκτυο 1000 ι.κ. αν επιλεγθεί η εφαρμογή φορτίου 9 g BOD₅/m²·d, με την παραδοχή των συνήθων τιμών των 160 L/ι.κ./ημέρα και 220 mg BOD₅/L μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, χρειάζεται ωφέλιμη αναπτυσσόμενη επιφάνεια 3900 m².

2.1.3. Βακτηριδιακή κλίνη

Η βασική αρχή λειτουργίας μιας βακτηριδιακής κλίνης συνίσταται στην εκροή των λυμάτων μετά από καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, πάνω από ένα στρώμα πορώδους ή πλαστικού υλικού που λειτουργεί ως υπόστρωμα για τους μικροοργανισμούς (βακτηρίδια).



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα μιας μονάδος επεξεργασίας λυμάτων με βακτηριδιακή κλίνη

Ο αερισμός επιτυγχάνεται είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με εξαναγκασμένο αερισμό. Πρόκειται για τη μεταφορά του απαραίτητου οξυγόνου, προκειμένου να διατηρηθούν στην ζωή τα αερόβια βακτηρίδια. Οι ρυπαντές των λυμάτων και το οξυγόνο του αέρα εισέρχονται σε ξεχωριστά ρεύματα στην βιολογική μεμβράνη, η οποία εμπεριέχει τους μικροοργανισμούς, και εκεί βιοαποικοδομούνται. Η βιολογική μεμβράνη περιλαμβάνει αερόβια βακτηρίδια στην επιφάνεια και αναερόβια βακτηρίδια κοντά στον πυθμένα. Τα υποπροϊόντα και το διοξείδιο του άνθρακα που παράγονται αποβάλλονται σαν υγρά ή αέρια ρευστά. [2]

2.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων

Πίνακας 2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εντατικών τεχνικών [2]

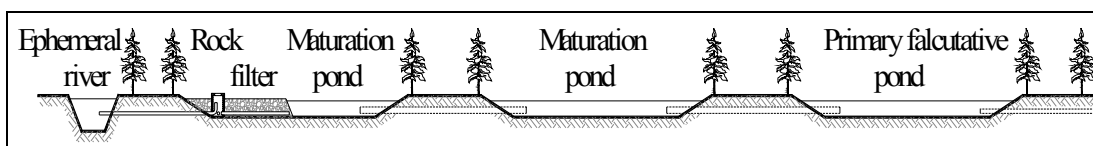
Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ενεργός ιλύς	<ul style="list-style-type: none"> • Αποτελεσματική απομάκρυνση του συνόλου των παραμέτρων ρύπανσης (στερεά, COD, BOD₅, N) • Ιλύς ελαφρά σταθεροποιημένη • Προσαρμόζεται σε μεγάλο εύρος εξυπηρετούμενου πληθυσμού (από τους μεσαίου μεγέθους οικισμούς των 2500 ι.κ. μέχρι τις μεγαλουπόλεις) 	<ul style="list-style-type: none"> • Αρκετά υψηλό κόστος επένδυσης • Υψηλή κατανάλωση ενέργειας • Απαίτηση για καταρτισμένο προσωπικό και τακτική παρακολούθηση σε εργαστήρια ποιοτικού ελέγχου • Ευαισθησία στις υδραυλικές υπερφορτίσεις • Σε μερικές περιπτώσεις δυσκολία στον έλεγχο της καθίζησης της ιλύος • Σημαντική παραγωγή ιλύος που πρέπει να συμπτυκωθεί
Βιολογικοί δίσκοι και βακτηριδιακές κλίνες	<ul style="list-style-type: none"> • Προσαρμόζεται σε μικρές κοινότητες • Απλή λειτουργία, λιγότερες ανάγκες παρακολούθησης σε σχέση με την τεχνική ενεργού ιλύος • Καλή διήθηση της ιλύος • Μικρές απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας • Λιγότερη ευαισθησία στις μεταβολές του φορτίου και των τοξινών • Ανεξαρτησία από τις 	<ul style="list-style-type: none"> • Χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με την τεχνική της ενεργούς ιλύος • Αρκετά υψηλό κόστος επένδυσης • Ευαισθησία στην απόφραξη των πόρων • Απαιτείται προεπεξεργασία των αποβλήτων • Εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων αν απαιτείται απομάκρυνση του αζώτου

	κλιματικές συνθήκες (οι δίσκοι με σκέπαστρα) <ul style="list-style-type: none">• Εγκλωβισμός των οσμών	
--	---	--

Αξιίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί η χαμηλή μικροβιακή αποτελεσματικότητα των εντατικών συστημάτων, η οποία κυμαίνεται από 10 έως 100, έναντι 1.000 μέχρι 10.000 για λίμνες σταθεροποίησης, απαιτώντας την εφαρμογή οπωσδήποτε κάποιας μεθόδου απολύμανσης. Για το λόγο αυτό, ενδείκνυται η χρήση τριτοβάθμιας επεξεργασίας με μεθόδους όπως η τεχνική της χλωρίωσης και οι λάμπες με ακτινοβολία UV, ή όπου αυτό είναι εφικτό η λειτουργία μιας λίμνης σταθεροποίησης ως τελικό στάδιο πριν την διάθεση στον αποδέκτη.

2.2. ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σε ένα σύστημα λιμνών σταθεροποίησης ο καθαρισμός εξασφαλίζεται σ' ένα μεγάλο διάστημα παραμονής μέσα σε στεγανοποιημένες λίμνες τοποθετημένες σε σειρά. Οι επιμέρους λίμνες ανάλογα με την λειτουργία που η καθεμία επιτελεί διαχωρίζονται σε αναερόβιες, επαμφοτερίζουσες και ωρίμανσης. Ένα διάγραμμα μιας σειράς λιμνών φαίνεται στο επόμενο σχήμα, ενώ ακολουθεί μια άποψη ενός συστήματος λιμνών σταθεροποίησης στο Rochefort Sur Mer [2].



Εικόνα 2.1 Σειρά λιμνών σταθεροποίησης δίπλα σε παρακείμενο οικισμό [2]

2.2.1. Αναερόβιες Λίμνες

Οι λίμνες αυτές εΐθισται να τοποθετούνται στην αρχή του συστήματος λιμνών σταθεροποίησης. Κατασκευάζονται ώστε να διαθέτουν βάθος που κυμαίνεται από 2 έως 5 m. Η λειτουργία που επιτελούν συνίσταται κυρίως στα ακόλουθα σημεία:

Απομάκρυνση του οργανικού φορτίου

Καθίζηση των στερεών

Αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 15°C με παραγωγή CH₄ και CO₂. Προσομοιώνεται με ανοιχτή σηπτική δεξαμενή και αναπτύσσονται οι ίδιες ομάδες αναερόβιων βακτηριδίων.

Στις αναερόβιες λίμνες παράγεται ιλύς με ρυθμό της τάξης των 0,04 m³/ι.κ./έτος, ενώ η απομάκρυνσή της γίνεται όταν είναι γεμάτη κατά το 1/3 περίπου με λάσπη. Αυτό συνεπάγεται ότι στις πλείστες των περιπτώσεων, η απομάκρυνση γίνεται ανά 2 με 3 έτη.

2.2.1.1. Σχεδιασμός αναερόβιων λιμνών

Οι αναερόβιες λίμνες δύναται να σχεδιαστούν ικανοποιητικά με βάση το οργανικό φορτίο λ_v (g/ m³.d) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\lambda_v = \frac{L_i \cdot Q}{V_a}$$

όπου L_i: BOD_{εισόδου}, mg/L

Q: παροχή, m³/d

V_a : όγκος της αναερόβιας λίμνης, m³

Ο σχεδιασμός της φόρτισης όγκου και της απομάκρυνσης οργανικού φορτίου, το οποίο μετρείται μέσω του δείκτη BOD, γίνεται με βάση τις επικρατούσες θερμοκρασιακές συνθήκες. Και αυτό διότι τα ανώτερα επιτρεπτά φορτία που δέχεται η λίμνη αυξάνουν με την άνοδο της θερμοκρασίας. Δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία για την ανάπτυξη των εξισώσεων σχεδιασμού και είναι ανάγκη η διαστασιολόγησή τους να μην βασίζεται μόνο σε βιβλιογραφικά δεδομένα αλλά και σε εμπειρικά στοιχεία για το εκάστοτε είδος αποβλήτων και τις ανάλογες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατασκευής του έργου. Ωστόσο, σύμφωνα με το ΕΘΙΑΓΕ Ηρακλείου ο παρακάτω πίνακας συγκεντρώνει τις συνήθεις τιμές, τις οποίες καλό είναι ο μελετητής να λάβει υπόψιν του κατά τον σχεδιασμό:

Πίνακας 2.3 Σχεδιαστικές τιμές για τα επιτρεπτά όρια ογκομετρικής φόρτισης BOD και ποσοστό απομάκρυνσης BOD σε διάφορες θερμοκρασίες

T(°C)	BOD απομάκρυνση α(%)	Σχεδιασμός
-------	----------------------	------------

		ογκομετρικής φόρτισης λ_v (g/ m ³ ·d) ¹
< 10	40	100
10-20	2T+20	20T-100
20-25	2T+20	10T+100
> 25	70	350

Μετά από την επιλογή του επιτρεπτού φορτίου λ_v , ο συνολικός όγκος της δεξαμενής δύναται να υπολογιστεί από την σχέση $\lambda_v = \frac{L_i \cdot Q}{V_a}$ ενώ ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονή στη λίμνη θα καθορίζεται από την παρακάτω σχέση.

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q}$$

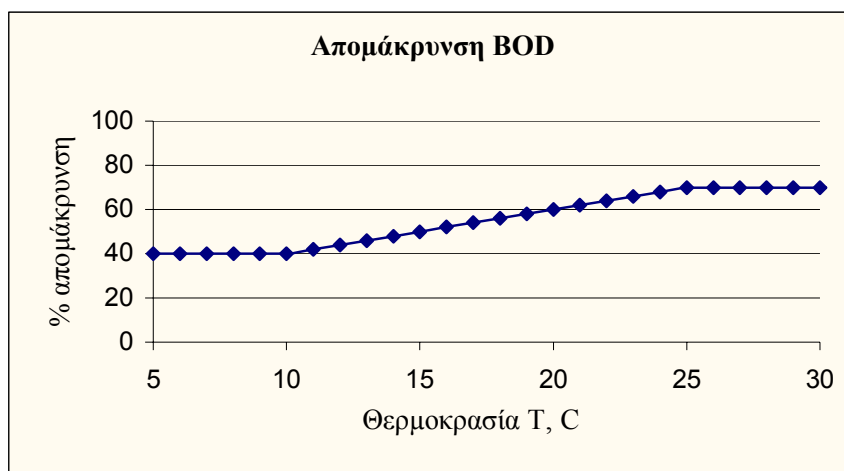
Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι χρόνοι παραμονής μικρότεροι της μιας ημέρας δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται προκειμένου να μην τίθεται σε κίνδυνο η αποτελεσματική λειτουργία της λίμνης. Εάν η επίλυση των εξισώσεων δώσει χρόνο παραμονής, ο οποίος είναι μικρότερος της μιας ημέρας, επιλέγεται χρόνος παραμονής ίσος με τη μια ημέρα και υπολογίζεται εκ νέου ο όγκος της λίμνης.

2.2.1.2. Απόδοση

Η απόδοση της αναερόβιας δεξαμενής ως προς το BOD παρουσιάζεται στο πίνακα που προηγήθηκε. Η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 40 και 70% και είναι άμεση εξάρτηση του κλιματολογικών συνθηκών, ενώ η αύξηση στην απόδοση μεταξύ των θερμοκρασιών 20 και 25 φέρεται να ακολουθεί γραφική τάση.

¹ Πρέπει να δοθεί προσοχή στο σημείο αυτό στα εξής όσο αφορά την ογκομετρική φόρτιση της λίμνης:

- Εάν το οργανικό φορτίο που θα διοχετευθεί στην λίμνη κυμανθεί στα όρια των 500 g BOD/m³·d δημιουργείται έντονο πρόβλημα οσμών
- Στην περίπτωση όπου διοχετευθούν απόβλητα που αντιστοιχούν σε λιγότερο από 100 g BOD/m³·d, η λίμνη δεν λειτουργεί ως πλήρως αναερόβια



2.2.2. Επαμφοτερίζουσες Λίμνες

2.2.2.1. Αρχή λειτουργίας

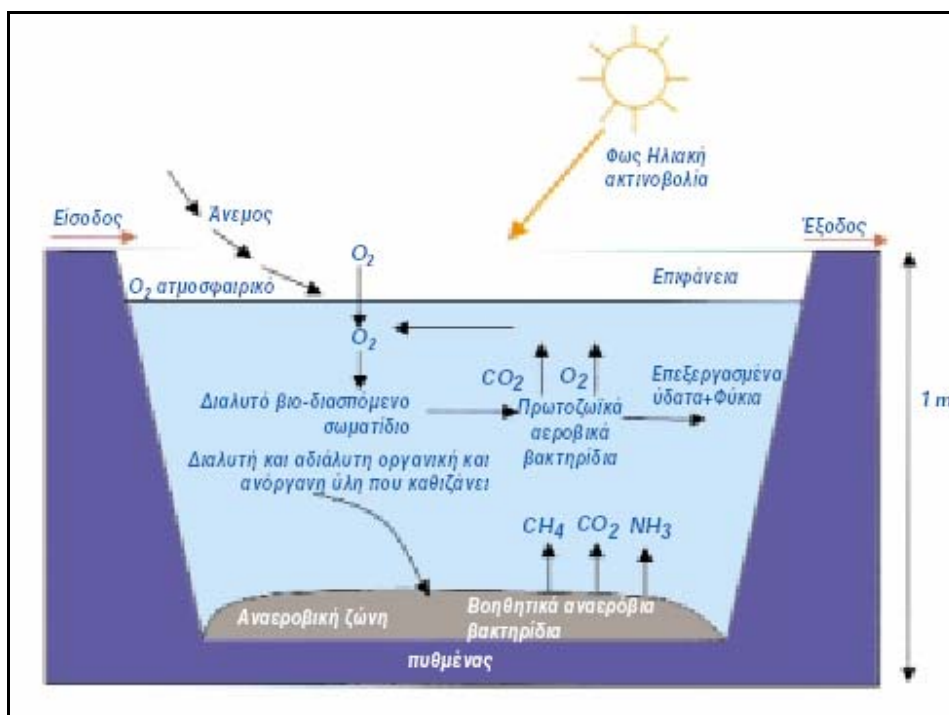
Στις ΗΠΑ και σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, οι επαμφοτερίζουσες λίμνες² αποτελούν τον επικρατέστερο τύπο τεχνητών λιμνών.

Ο βασικός μηχανισμός στον οποίο βασίζεται αυτό το σύστημα είναι η φωτοσύνθεση. Το επιφανειακό στρώμα νερού των λιμνών είναι εκτιθέμενο στο ηλιακό φως. Αυτό επιτρέπει την δημιουργία και ανάπτυξη φυκών που παράγουν οξυγόνο, αναγκαίο για την ανάπτυξη και συντήρηση των αερόβιων βακτηριδίων. Αυτά τα βακτηρίδια συντελούν στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται από τα βακτηρίδια και τα μεταλλικά άλατα που περιέχονται στα λύματα, επιτρέπουν τον πολλαπλασιασμό των φυκών. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται η αναπαραγωγή δύο αλληλοεξαρτώμενων πληθυσμών: των βακτηριδίων και των φυκών, επονομαζόμενα αμφότερα ως «μικρόφυτα». Αυτός ο κύκλος αυτοσυντηρείται καθώς το σύστημα δέχεται ηλιακή ενέργεια και οργανική ύλη.

Η επιφανειακή στρώση της λίμνης είναι αερόβια, ενώ στον πυθμένα της δεξαμενής, όπου το φως δεν φτάνει, υπάρχουν αναερόβια βακτηρίδια που αποδομούν τα ιζήματα που παράγονται από την καθίζηση της οργανικής ύλης. Σε αυτό το στρώμα έχουμε επίσης έκλυση διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου. Το ενδιάμεσο στρώμα ανάμεσα

² Στην βιβλιογραφία αναφέρονται επίσης και ως λίμνες οξείδωσης

στην αερόβια ζώνη της λίμνης και στα ιζήματα, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες χαρακτηρίζεται ως επαμφοτερίζουσα ζώνη.



Σχήμα 2.6 Μηχανισμοί αποδόμησης των ρυπαντών στις λίμνες σταθεροποίησης [2]

2.2.2.2. Σχεδιασμός επαμφοτερίζουσών λιμνών

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για το σχεδιασμό επαμφοτερίζουσων λιμνών. Για τον υπολογισμό του επιφανειακού φορτίου BOD λ_s (Kg/ha.d), χρησιμοποιείται η

$$\text{παρακάτω εξίσωση } \lambda_s = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{A_f} \quad **$$

όπου L_i : BOD_{εισόδου}, mg/L

Q : παροχή, m³/d

A_f : εμβαδόν επαμφοτερίζουσας λίμνης, m²

Η επιτρεπτή τιμή σχεδιασμού αυξάνει με την θερμοκρασία και μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση

$$\lambda_s = 350(1,107 - 0,002T)^{T-25} \quad **$$

Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι για θερμοκρασίες μικρότερες από 80C, ισχύει ότι $\lambda_s=80 \text{ kg/ha.d}$.

Εφόσον έχει υπολογιστεί το λ_s , το εμβαδόν της λίμνης υπολογίζεται από την πιο πάνω εξίσωση υπολογίζεται το εμβαδόν της λίμνης.

$$A_f = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{\lambda_s} \Rightarrow A_f = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{\lambda_s} **$$

Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής στη λίμνη καθορίζεται από τη σχέση:

$$\theta_f = \frac{V_f}{Q} = \frac{A_f D}{Q}, \text{ όπου } D \text{ το βάθος της λίμνης, m}$$

Η μέση παροχή υπολογίζεται από το μέσο όρο της εισροής και της εκροής (Q_i και Q_e). Η δεύτερη ισούται με την πρώτη εάν αφαιρεθούν η εξάτμιση και η διήθηση. Η εξίσωση ** τροποποιείται ως ακολούθως:

$$\theta_f = \frac{A_f D}{\frac{1}{2}(Q_i - Q_e)}$$

Ένα η διήθηση είναι αμελητέα η Q_e δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_e = Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f$$

όπου $e=0$ ρυθμός εξάτμισης, mm. Κατά συνέπεια, ο χρόνος παραμονής μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\theta_f = \frac{2A_f D}{2Q_i - 0,001 \cdot e \cdot A_f}$$

Η ελάχιστη τιμή που θα πρέπει να χρησιμοποιείται για το θ_f είναι 5 ημέρες για θερμοκρασίες κάτω από 20oC και 4 ημέρες για θερμοκρασίες πάνω από 20 oC. Αυτό έχει ως απώτερο σκοπό αφενός να αποφευχθούν τυχόν υδραυλικές ανωμαλίες από την διακύμανση της εισερχόμενης μεταβολής και αφετέρου να δοθεί στα άλγη αρκετός χρόνος ανάπτυξης.

2.2.2.3. Αποδόσεις επεξεργασίας

Η απόδοση εξαρτάται από το αν η λίμνη χρησιμοποιείται ως πρωτοβάθμια επαμφοτερίζουσα ή εάν χρησιμοποιείται ως δευτεροβάθμια επαμφοτερίζουσα μετά από μια αναερόβια. Πιο συγκεκριμένα, η απομάκρυνση του BOD στις πρωτοβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες είναι της τάξης του 75% (70-80%) για αφιltrάριστα δείγματα και 90% για φιλτραρισμένα δείγματα.³ Σε δευτεροβάθμιες επαμφοτερίζουσες λίμνες, η απόδοση απομονωμένα της λίμνης είναι μικρότερη, αλλά η συνολική απομάκρυνση αναερόβιας και δευτεροβάθμιας παρουσιάζεται ίδια έως ελαφρώς καλύτερη από την αντίστοιχη της πρωτοβάθμιας επαμφοτερίζουσας. [2],[4]

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι παροχή στην εκροή είναι συχνά ελαττωμένη το καλοκαίρι λόγω εξατμισοδιαπνοής. [4]

2.2.3. Λίμνες Ωρίμανσης

Οι λίμνες ωρίμανσης αποσκοπούν στην βελτίωση της μικροβιακής ποιότητας. Είναι σχεδιασμένες ώστε να παραλαμβάνουν μικρά οργανικά φορτία και για το λόγο αυτό τοποθετούνται ως επί των πλείστον στο τελευταίο τμήμα ενός συστήματος λιμνών σταθεροποίησης. Το βάθος της λίμνης κυμαίνεται από 1 έως 1,5 m και είναι σε τέτοιες τιμές ούτως ώστε να φτάνει σε κάθε σημείο της η ηλιακή ακτινοβολία. [3]

2.2.3.1. Απομάκρυνση κοπρανόδων κολοβακτηριδίων

Η απομάκρυνση των κοπρανόδων κολοβακτηριδίων (Faecal Coliform: FC) επιτυγχάνεται κυρίως με τις λίμνες ωρίμανσης.

Η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται για μια λίμνη είναι η παρακάτω.

Όπως και πριν:

$$N_e = \frac{Ni}{(1 + K_T \theta)}$$

³ Αυτό συμβαίνει ως συνέπεια του ότι το φίλτρο συγκρατεί τα φύκη.

όπου N_e : αριθμός FC/100ml στην εκροή

N_i : αριθμός FC/100ml στην εισροή

K_T : συντελεστής κινητικής πρώτης τάξης FC, 1/d

θ : χρόνος παραμονής, d

Για μια σειρά λιμνών, αναερόβια επαμφοτερίζουσα και n ομοίων λιμνών ωρίμανσης η πιο πάνω εξίσωση παίρνει την μορφή

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + K_T \theta_a)(1 + K_T \theta_f)(1 + K_T \theta_m)^n} \Rightarrow \theta_m = \frac{\left(\frac{N_i}{N_e} \frac{1}{(1 + k_T \theta_a)(1 + k_T \theta_f)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1}{k_T}$$

και στην περίπτωση που οι λίμνες ωρίμανσης δεν είναι όμοιες

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + K_T \theta_a)(1 + K_T \theta_f)(1 + K_T \theta_{m1})(1 + K_T \theta_{m2}) \dots (1 + K_T \theta_{mn})}$$

Η τιμή του K_T εξαρτάται από την θερμοκρασία και δίνεται από τη σχέση

$$K_T = 2,6(1,19)^{T-20}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις υπάρχουν 2 άγνωστες μεταβλητές: το θ_m και το n . Αρχικά, επιλύεται η εξίσωση για διαφορετικές τιμές του n ($=1,2,3$) και υπολογίζονται τα αντίστοιχα θ_m . Από τα παραπάνω ζεύγη που προκύπτουν επιλέγουμε αυτά που συμφωνούν με τους ακόλουθους περιορισμούς, όσο αφορά το χρόνο παραμονής σε κάθε λίμνη ωρίμανσης, ο οποίος θα πρέπει:

- να είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο της επαμφοτερίζουσας λίμνης και
- να είναι μεγαλύτερος από 3 ($=\theta_m^{\min}$) ημέρες

Για τα ζεύγη θ_m και n που θα προκύψουν και το ζεύγος θ_m^{\min} , n' (n' είναι η πρώτη τιμή όπου $\theta_m < \theta_m^{\min}$) συγκρίνονται και επιλέγεται αυτό που απαιτεί την μικρότερη έκταση γης.

Ένας ακόμη έλεγχος θα πρέπει να γίνει σχετικά με το φορτίο BOD στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης. Αυτό δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 75% της προηγούμενης επαμφοτερίζουσας λίμνης.

Το βιολογικό φορτίο στην πρώτη λίμνη ωρίμανσης βασίζεται στην υπόθεση ότι το BOD των λυμάτων έχει μειωθεί κατά 70% σε σχέση με την στιγμή που εισήλθαν στην εγκατάσταση για θερμοκρασίες μικρότερες των 20°C, ενώ για θερμοκρασίες μεγαλύτερες η υπόθεση αντιστοιχεί σε 80% ελάττωση. Έτσι για $T < 20^\circ\text{C}$

$$\theta_{ml} = \frac{10 \cdot L_i \cdot Q}{A_{ml}} \quad \text{ή} \quad \theta_{ml} = \frac{10 \cdot L_i \cdot D}{\lambda_{s(ml)}}$$

Τελικά, το εμβαδόν της λίμνης έτσι όπως προκύπτει δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_m = \frac{2Qi\theta_m}{(2D + 0,001e\theta_m)}$$

2.2.3.2. Απομάκρυνση BOD

Εμπειρικές εκτιμήσεις δίδουν απομάκρυνση οργανικού φορτίου σε κάθε λίμνη ωρίμανσης της τάξης του 25%, εφόσον έχει προηγηθεί 90% απομάκρυνση στα στάδια που προηγήθηκαν.

2.2.3.3. Απομάκρυνση αζώτου

Για την απομάκρυνση του αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^{+4}$), οι εξισώσεις απομάκρυνσης δίδονται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$C_e = \frac{C_i}{1 + \left(\left(\frac{A}{Q} \right) (0,0038 + 0,000134T) \right) \cdot \exp[(1,041 + 0,044T)(pH - 6,6)]}, \quad T < 20^\circ\text{C}$$

$$C_e = \frac{C_i}{1 + \left(5,035 \cdot 10^{-3} \left(\frac{A}{Q} \right) \right) \cdot \exp(1,540 (pH - 6,6))}, \quad T > 20^\circ\text{C}$$

Οι τιμές του pH μπορούν να υπολογιστούν από την σχέση που έπεται:

$$\text{pH}=7,3\exp(0,0005 \text{ ALC}),$$

με ALC να είναι η συγκέντρωση της αλκαλικότητας εκφρασμένη ως $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$.

Μια διαφορετική προσομοίωση που έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ολικού αζώτου και αναφέρεται και αυτή ξεχωριστά στις επαμφοτερίζουσες λίμνες και λίμνες ωρίμανσης περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C_e = C_i \cdot \exp\left[-\left(0,0064 (1,039)^{T-20}\right) \cdot (\theta + 60,6 \cdot (\text{pH} - 6,6))\right],$$

όπου C_e = η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή, mg/L

C_i = η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εισροή, mg/L

T = η θερμοκρασία, $^{\circ}\text{C}$ (1-28 $^{\circ}\text{C}$)

θ = χρόνος παραμονής, d (5-231 d)

2.2.3.4. Απομάκρυνση φωσφόρου

Σύμφωνα με την πηγή [4], εκτιμήσεις μοντέλου δείχνουν ότι εάν η απομάκρυνση BOD είναι 90%, τότε η απομάκρυνση φωσφόρου είναι περίπου 45%.

2.2.4. Κατασκευαστικές Παράμετροι

2.2.4.1. Αναγκαίος χώρος

Η επιλογή εδαφικού τύπου εξαρτάται από το μέγεθος της έκτασης στο έδαφος του συστήματος των λιμνών. Η επιφάνεια της λίμνης περιλαμβάνει τα επίπεδα του νερού, καθώς και τα διαζώματα που πρέπει να σχεδιαστούν για να επιτρέπουν εύκολη συντήρηση. Για παράδειγμα, πρέπει να ληφθούν υπόψη περίπου 15 m²/ικ συνολικής εξωτερικής επιφάνειας για να κατασκευασθούν τα 4400 m² των αναγκαίων λιμνών προκειμένου να επεξεργασθούν τα λύματα που παράγονται από 400 ικ. Μία έκταση 6 στρεμμάτων είναι αναγκαία.

2.2.4.2. Τοποθεσία

Η κατασκευή πρέπει να είναι τοποθετημένη σε χαμηλό σημείο και σε μέρος όπου οι άνεμοι που κυριαρχούν συμβάλλουν στον αερισμό του επιφανειακού στρώματος της λίμνης. Επιπρόσθετα, καλό είναι το έδαφος να είναι τύπου λασπο-αργιλώδες, ενώ δεν θα πρέπει να είναι τύπου ασβεστολιθικό (κάρστ) ή με ρωγμές. [2]



Εικόνα 2.2 Διαμόρφωση χώρου λιμνών σταθεροποίησης σε δασώδη έκταση

Είναι άξιο προσοχής ότι δεν πρέπει να υπάρχουν δένδρα σε απόσταση μικρότερη των 10 μέτρων, προκειμένου οι ρίζες να μην επηρεάζουν την μόνωση των αναχωμάτων με το να δημιουργούν ειδικές διόδους στα αναχώματα. Συν τοις άλλοις, η πτώση των

φύλλων εντός των λιμνών επιφέρει ένα επιπλέον οργανικό φορτίο, ενώ παράλληλα υπάρχει κίνδυνος φραγής των έργων επικοινωνίας.

2.2.4.3. Τοπογραφία

Η περιοχή είναι καλό να επιλεγεί ούτως ώστε να μπορεί να δημιουργεί μια ροή με βαρύτητα μέχρι τον αποδέκτη και να απαιτεί τον ελάχιστο βαθμό χωματουργικών εργασιών. Επίσης, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος κατολίσθησης, διάβρωσης και τροφοδοσίας υδάτων από την λεκάνη απορροής θα πρέπει να αποκλειστούν εδάφη με υπερβολική κλίση. Για παράδειγμα μια λεκάνη απορροής υπερβολικά επικλινής θα προκαλέσει μια πολλή δυνατή και απότομη αύξηση του όγκου των όμβριων υδάτων ύστερα από μια δυνατή βροχόπτωση.

2.2.4.4. Εφαρμογή

Η κλίση των φυσικά στεγανοποιημένων σύμφωνα με την βιβλιογραφία θα πρέπει να τηρεί μια σχέση H/I τουλάχιστον $1/2,5$ προκειμένου να ελαττωθεί η διάβρωση, του έργου, να διευκολύνεται η συχνή συντήρηση, ενώ παράλληλα να επιτρέπεται στα μηχανήματα καθαρισμού να έχουν πρόσβαση σε όλες τις λίμνες.

Προκειμένου να προληφθεί η διάβρωση του έργου και οι φθορές από τρωκτικά, ενδεχόμενα, είναι χρήσιμο να φυτέψουμε γρασίδι στις όχθες πριν τη τοποθέτηση νερού ή να χρησιμοποιήσουμε γεωσχάρες ή οποιοδήποτε άλλο υλικό προφύλαξης των πρανών.

Τα αναχώματα πρέπει να κατασκευασθούν με διαδοχική συμπίεση στρωμάτων από 15 μέχρι 20 cm, προκειμένου να επιτευχθεί ομογενής συμπίκνωση. Είναι σημαντικό στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι η συμπίκνωση του στρώματος της κοίτης πρέπει να πραγματοποιείται μετά από αυτή των αναχωμάτων.

Όσο αφορά την μόνωση της λεκάνης από διαρροές ή εισροές, αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός στρώματος γεωμεμβράνης, αλλά παρουσιάζει το μειονέκτημα της αύξησης του κόστους της επένδυσης του έργου. Στην περίπτωση τοποθέτησής της, η κλίση των αναχωμάτων είναι δυνατόν να είναι να είναι μεγαλύτερη (μέχρι $1/1,5$), οπότε η συνολική επιφάνεια των έργων θα είναι μικρότερη.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι το τελευταίο στάδιο εργασιών είναι η πολύ γρήγορη διοχέτευση καθαρού νερού στις διάφορες λίμνες προκειμένου να σταθεροποιηθεί η αποκτηθείσα διαπερατότητα αποφεύγοντας κάθε κίνδυνο αποξήρανσης του έργου. Παράλληλα, με αυτό τον τρόπο εξακριβώνεται η στεγανότητα και διευκολύνεται η έναρξη λειτουργίας του οικοσυστήματος. Επισημαίνεται, ωστόσο, εδώ, ότι προκειμένου να αποφευχθούν οι μη στεγανοποιημένες λίμνες, είναι απόλυτα αναγκαίο να υπάρξει προηγουμένως εδαφολογική και υδρογεωλογική μελέτη.

2.2.4.5. Απομάκρυνση της παραγόμενης ιλύος

Η απομάκρυνσή της γίνεται όταν είναι γεμάτη κατά το 1/3 περίπου με λάσπη. Αυτό συνεπάγεται ότι η απομάκρυνση της ιλύος προγραμματίζεται για κάθε n έτη, όπου n δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n = \frac{V}{3 \cdot P \cdot S}, \quad \text{όπου } V \text{ ο όγκος της λίμνης σε } m^3,$$

P ο πληθυσμός αναφοράς

S ο ρυθμός συσσώρευσης ιλύος σε $m^3/ι.κ./έτος$

Αξιίζει ιδιαίτερα να επισημανθεί ότι η ιλύς που απομακρύνεται είναι ήδη σταθεροποιημένη και η χρήση της για αγροτικές χρήσεις μπορεί να είναι άμεση.

2.2.5. Αξιολόγηση Λιμνών Σταθεροποίησης

2.2.5.1. Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης συνίστανται στα ακόλουθα σημεία [3]:

- Πολύ καλή αποβολή παθογόνων μικροβίων το καλοκαίρι (4-5 logs), καλή το χειμώνα (3 logs)
- Έχει την δυνατότητα προσαρμογής στις μεγάλες διακυμάνσεις του υδραυλικού φορτίου

- Σε περιοχές όπου η μέση θερμοκρασία του πιο ψυχρού μήνα είναι σχετικά αυξημένη (11-12°C, Νότιο τμήμα της Ελλάδας, Νησιά) πρόκειται για μια ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση με σχετικά μικρές απαιτήσεις έκτασης
- Οι λάσπες από τον καθαρισμό είναι σταθεροποιημένες και εύκολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αγροτικό έδαφος.
- Απουσία ηχορύπανσης και καλή ενσωμάτωση στο τοπίο.
- Η παροχή ενέργειας δεν είναι αναγκαία αν η διαφορά στάθμης είναι ευνοϊκή
- Η λειτουργία παραμένει απλή, αλλά αν η ολοκληρωμένη συντήρηση δεν πραγματοποιηθεί έγκαιρα, η πτώση της απόδοσης της λίμνης σταθεροποίησης είναι αισθητή
- Αποβάλλει μεγάλο μέρος θρεπτικών: φώσφορο και άζωτο (ιδίως το καλοκαίρι)

2.2.5.2. Μειονεκτήματα

- Είναι αναγκαία η ύπαρξη μεγάλης επιφάνειας εδάφους
- Το κόστος επένδυσης εξαρτάται κατά πολύ από την φύση και την χρήση του υπεδάφους. Ιδιαίτερα για την χώρα μας είναι σχεδόν απαγορευτικό το κόστος κατασκευής λιμνών σε παραθαλάσσια τουριστική ζώνη.
- Κατά την περίπτωση μη φιλτραρισμένων δειγμάτων (δηλαδή όπου δεν χρησιμοποιείται φίλτρο απομάκρυνσης των φυκών), η απόδοση των λιμνών κυμαίνεται από 70 έως 80% και είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των συμβατικών (90-95%).
- Η ποιότητα απόρριψης διαφέρει ανάλογα με τις εποχές.

2.3. ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ

2.3.1. Αρχή λειτουργίας

Οι υγροβιότοποι αποτελούν τμήματα του εδάφους τα οποία κατακλύζονται με νερό, συνήθως μικρού βάθους και 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 γένους Scirpus)
- Είδη ψαθίου και αφράτου (φυτά γένους Typha)

Η φυτική βλάστηση προσφέρει το βασικό υπόστρωμα ανάπτυξης των βακτηριακών μεμβρανών, βοηθάει στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα νερού και περιορίζει την ανάπτυξη αλγών με τον έλεγχο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Τα συστήματα υγρών υγροβιοτόπων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων συνίστανται κυρίως στους δυο ακόλουθους τύπους:

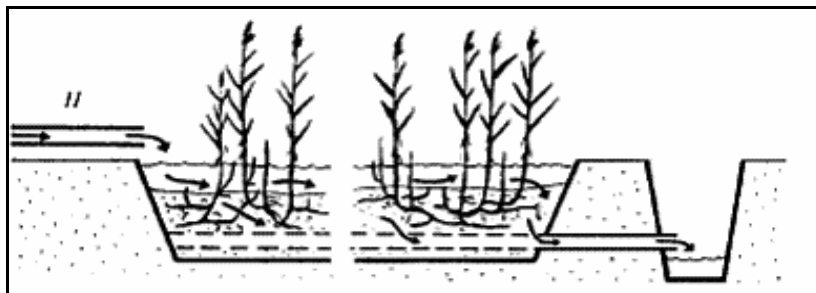
- Συστήματα επιφανειακής ροής ή ελεύθερης επιφάνειας, FWS⁴
- Συστήματα υποεπιφανειακής ροής, SWS⁵

2.3.1.1. Συστήματα επιφανειακής ροής

Τα συστήματα ελεύθερης επιφάνειας 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 με συνεχή ροή προεπεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται καθώς η εφαρμοζόμενη ποσότητα αποβλήτου ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών και ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος. [3],[6]

⁴ FWS :Free Water Surface

⁵ SBS: Subsurface Systems



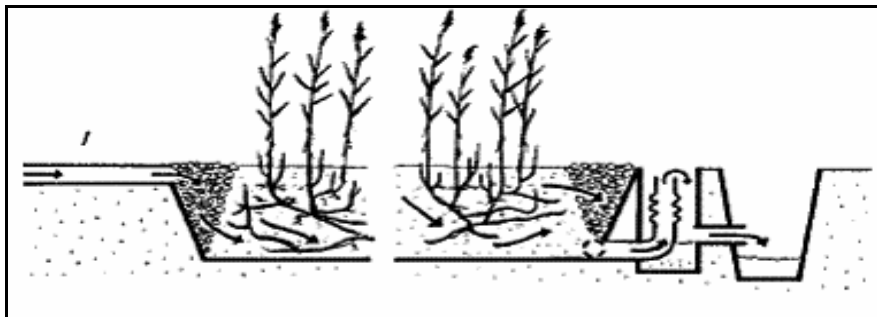
Σχήμα 2.7 Αρχή λειτουργίας συστήματος επιφανειακής ροής

Αν και στα συστήματα FWS κύρια πηγή οξυγόνου είναι η ελεύθερη επιφάνειά τους, η ύπαρξη βιολογικής βλάστησης παρεμποδίζει το επιφανειακό επαναερισμό, που είναι δυνατό να διενεργείται με τον άνεμο. Για τον λόγο αυτό σύμφωνα με την πηγή [3], πρέπει να εφαρμόζονται μικρά οργανικά φορτία, μέχρι 11 kg/στρ.ημ. Αντίθετα, η ύπαρξη φυτικής βλάστησης επιδρά ωφέλιμα στην ποιότητα των υδάτων καθώς αναστέλλει την ανάπτυξη των αλγών. Η απομάκρυνση των στερεών σε αιώρηση, SS, έγκειται κατά κύριο λόγο στο μηχανισμό της καθίζησης και συντελείται, κυρίως, στα πρώτα στάδια της διέλευσης των αποβλήτων από τον υδροβιότοπο. Η απομάκρυνση του αζώτου οφείλεται, κυρίως, στις διεργασίες νιτροποίησης-απονιτροποίησης σε ποσοστό της τάξης του 85-90% και λιγότερο στην πρόσληψή του από τα φυτά. Ως εκ τούτου η αποτελεσματικότητα του συστήματος στην απομάκρυνση του αζώτου εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα εφαρμογής του οργανικού φορτίου και το χρόνο κράτησης. Επιπλέον, ο φώσφορος σε τέτοια συστήματα δεν απομακρύνεται ικανοποιητικά ένεκα της περιορισμένης επαφής του αποβλήτου με το έδαφος.

2.3.1.2. Συστήματα υποεπιφανειακής ροής

Τα συστήματα υποεπιφανειακής ροής σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη δευτεροβάθμιας ή προωθημένης επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, που προέρχονται από οικισμούς με μικρό ισοδύναμο πληθυσμό. Παρόλα αυτά, τα τελευταία έτη έχει επεκταθεί η χρήση τους και σε άλλες εφαρμογές, όπως η περαιτέρω απομάκρυνση της αμμωνίας μέχρι το επίπεδο των 5 mg/L, η επεξεργασία των διασταλαζόντων υγρών από τους χώρους υγειονομικής ταφής αλλά και την επεξεργασία ειδικών λυμάτων όπως των αποβλήτων ελαιουργείων.

Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι η κίνηση του ύδατος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα λύματα συνήθως κινούνται κάτω από τη φυσική επίδραση της βαρύτητας, εξαιτίας της κλίσης που προσδίδεται στον πυθμένα του συστήματος. Τα συστήματα FWS αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρου με στεγανούς πυθμένες, που περιέχουν άμμο ή άλλα γήινα μέσα υποστήριξης της αναπτυσσόμενης επιφανειακά φυτικής βλάστησης. Ο σχεδιασμός του συστήματος αυτού αποσκοπεί στον κορεσμό του υποστρώματος με απόβλητα ούτως ώστε να συντελείται η αποτελεσματικότερη δυνατή επεξεργασία των αποβλήτων μέσω φυσικών και βιοχημικών διεργασιών.



Σχήμα 2.8 Αρχή λειτουργίας συστήματος υποεπιφανειακής ροής

Το βάθος του μέσου που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα υποεπιφανειακής ροής κυμαίνεται από 0,3 έως 0,9 m με τυπική τιμή τα 0,6 m. Το μέγεθος των κόκκων του μέσου κυμαίνεται από λεπτό χαλίκι ($\geq 0,6$ cm) μέχρι μεγάλου μεγέθους σκύρα από κονιορτοποιημένους βράχους (≥ 15 cm). Τυπικά γίνεται χρήση ενός συνδυασμού μεγεθών από 1,3 έως 3,8 cm. Επισημαίνεται ότι η επίστρωση με χαλίκια πρέπει να είναι καθαρή, σκληρή ούτως ώστε να εξασφαλίζει και να διατηρεί το σχήμα και τη διαπερατότητα της κλίσης του τεχνητού υδροβιότοπου επί μακρόν χρονικό διάστημα.

Ιδιαίτερη σημασία στην μελέτη και την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος υποεπιφανειακής ροής έχει η διερεύνηση των μηχανισμών που λαμβάνουν μέρος σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανισμοί που δρουν παρουσιάζονται στον 2.4 πίνακα.

Πίνακας 2.4 Μηχανισμοί απομάκρυνσης σε σύστημα υποεπιφανειακής ροής

Παράμετρος	Μηχανισμός απομάκρυνσης
Οργανικό φορτίο, BOD Στερεά συστατικά σε αιώρηση	Αποδόμηση με αερόβιους και αναερόβιους μικροοργανισμούς Διήθηση Καθίζηση
Άζωτο	Νιτροποίηση-Απονιτροποίηση
Φώσφορος	(Εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο υπόστρωμα)
Μέταλλα	Κατακρήμνιση και απορρόφηση των μετάλλων
Παθογόνοι	Φωτόλυση Καθίζηση (εξαρτάται από την ταχύτητα ροής) Ανταγωνισμός με άλλους μικροοργανισμούς Φυσική θανάτωση
Θρεπτικά στοιχεία	Κατακρίμνιση Προσρόφηση Νιτροποίηση Απονιτροποίηση

Μια σημαντική αδυναμία του συστήματος είναι η περιορισμένη απομάκρυνση της αμμωνίας. Αυτό συμβαίνει διότι η περιορισμένη διαθεσιμότητα οξυγόνου σε συστήματα υποεπιφανειακής ροής μειώνει την ικανότητα για απομάκρυνση της αμμωνίας μέσω της βιολογικής αφαίρεσης αζώτου. Απόρροια αυτού είναι ότι αυξάνονται κατά πολύ τόσο ο χρόνος κράτησης όσο και η απαιτούμενη επιφάνεια προκειμένου να προκύψουν χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή του φυσικού συστήματος σε περιπτώσεις εισροής τυπικών αστικών αποβλήτων. Το παραπάνω πρόβλημα της μη αποτελεσματικής απομάκρυνσης των νιτρικών από το σύστημα

δύναται να περιοριστεί σε περιπτώσεις όπου το σύστημα τροποποιείται ως προς τον σχεδιασμό του. Ειδικότερα, οι μέθοδοι αποτελεσματικής τροποποίησης συνίστανται στα εξής σημεία:

- Χρήση συστήματος σωληνώσεων στον πυθμένα της κλίνης με μηχανικό αερισμό
- Χρήση ενός φίλτρου ενιαίου μεγέθους χαλικιού λεπτή ροής (integrated gravel trickling filter) για την απομάκρυνση του αζώτου των υγρών αποβλήτων
- Κλίνες κατακόρυφης ροής. Συνήθως αποτελούνται από σκύρα ή χονδρόκοκκη άμμο και οδηγούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στην άνω επιφάνεια. Η επιφανειακή εφαρμογή (επίστρωση) και η κάθετη διοχέτευση (ροή) επαναφέρει αερόβιες συνθήκες στην κλίνη, επιτρέποντας με τον τρόπο τις αερόβιες αντιδράσεις να γίνουν ταχύτατα.

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης που συναντούνται σε όλους τους τύπου τεχνητών υγροβιοτόπων, προκαλούν επίσης μεγάλους χρόνους κράτησης για να παράγουν εκροή με χαμηλά επίπεδα φωσφόρου για εισροή τυπικών αστικών υγρών αποβλήτων. Η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι ακόμη εφικτή με πρόσθεση χημικών και ανάμειξή τους πριν την είσοδό τους στην λίμνη εκροής.

2.3.2. Γενικοί τύποι σχεδιασμού

Αρχικά, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση των γενικών σχέσεων σχεδιασμού ούτως ώστε να γίνει πιο απλή η μεθοδολογία σχεδιασμού των υγροβιοτόπων FWS και SBS.

Συγκεκριμένα:

Μέση παροχή

Όταν χρησιμοποιείται η παροχή στο σχεδιασμό τεχνητών υγροβιοτόπων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τυχόν μεταβολές εξαιτίας: (α) απωλειών που προκύπτουν από την εξατμισοδιαπνοή και την διήθηση και (β) εισροών από

ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις. Κατά συνέπεια, η μέση παροχή νερού στην κλίνη υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$Q = \frac{Q_o + Q_e}{2}, \text{ όπου } Q = \text{μέση παροχή στη κλίνη (m}^3/\text{ημ)}$$

$$Q_o = \text{Παροχή εισροής (m}^3/\text{ημ)}$$

$$Q_e = \text{Παροχή εκροής (m}^3/\text{ημ)}$$

Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Σε ένα τεχνητό υδροβιότοπο, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής θεωρείται ο χρόνος ροής που εξαρτάται από παροχή και την διατομής ροής. Επομένως:

$$t = \frac{A_s d n}{Q}, \text{ όπου } t = \text{υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)}$$

$$A_s = \text{η επιφάνεια της κλίνης (m}^2\text{)}$$

$$d = \text{βάθος νερού κλίνης (m)}$$

$$n = \text{πορώδες, δηλαδή διαθέσιμη διατομή για τη διέλευση του νερού (\%, εκφράζεται ως δεκαδικός)}$$

Γενικός τύπος σχεδιασμού απομάκρυνσης ρυπαντή

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα προσκολλούμενης βιομάζας και απόδοσή τους δύναται να υπολογιστεί από την κινητική αντίδραση πρώτης τάξης για plug flow αντιδραστήρες με τροφοδοσία στο ένα άκρο της κλίνης και συλλογή της εκροής στο άλλο άκρο της.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t), \text{ όπου}$$

$$C_o = \text{συγκέντρωση εισροής ρυπαντή, mg/L}$$

$$C_e = \text{συγκέντρωση εκροής ρυπαντή, mg/L}$$

$$K_T = \text{σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία}$$

$$t = \text{υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες)}$$

Σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}, \text{ όπου } K_{20} = \text{σταθερά}$$
$$\theta = \text{σταθερά}$$
$$T = \text{θερμοκρασία}$$

Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας λεκανών

$$A_s = LW \rightarrow A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T \cdot dn}, \text{ όπου } A_s = \text{συνολική επιφάνεια λεκανών, m}^2$$

Ειδική διαθέσιμη επιφάνεια για μικροβιακή δραστηριότητα

Στην περίπτωση συστημάτων επιφανειακής ροής αυτή ορίζεται ως η συνολική εμβυθισμένη επιφάνεια των βλαστών, φύλλων και ξερών υπολειμμάτων των φυτών, καθώς και τα πλευρικά τοιχώματα και ο πυθμένας της κλίνης. Μια τυπική της τιμή είναι σύμφωνα με τους Reed et al, 1995 είναι $15 \text{ m}^2/\text{m}^3$, αλλά δύναται να λάβει τιμές έως και $50 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Πορώδες n

Το μέγεθος αυτό έχει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός υγροβιοτόπου.

Πρόκειται για την διαθέσιμη διατομή για την διέλευση του νερού, και εκφράζεται ως ποσοστό της διατομής υπό την μορφή δεκαδικού αριθμού. Για τους τεχνητούς υγροβιοτόπους επιφανειακής ροής είθισται να ισχύει ότι $0,65 < n < 0,75$, ενώ για τους υποεπιφανειακής ροής συνήθως έχουμε $0,38 < n < 0,45$.

2.3.3. Υδραυλικοί τύποι σχεδιασμού

Γενικά για τα φυσικά συστήματα με τεχνητούς υδροβιοτόπους γίνονται διάφορες παραδοχές προκειμένου να εκτιμηθούν οι υδραυλικοί παράμετροι. Συγκεκριμένα, οι παραδοχές στις οποίες καταφεύγουμε συνίστανται στα ακόλουθα δύο κύρια σημεία:

- Η συνολική ροή θεωρείται ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα στα σημεία τροφοδοσίας της κλίνης και η ροή να είναι ανεμπόδιστη κατά μήκος αυτής.
- Η ροή περιγράφεται από τις γνωστές σχέσεις που ισχύουν για ροή σε ανοιχτούς αγωγούς (Manning) ή ροή μέσα σε πορώδες μέσο (Darcy) με την εισαγωγή του πορώδους ως διορθωτού του εμβαδού. Για την αντιστάθμιση των απωλειών εξαιτίας της φυτικής βλάστησης και των τριβών είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται μικρή κλίση ανάλογη με το κάθε σύστημα.

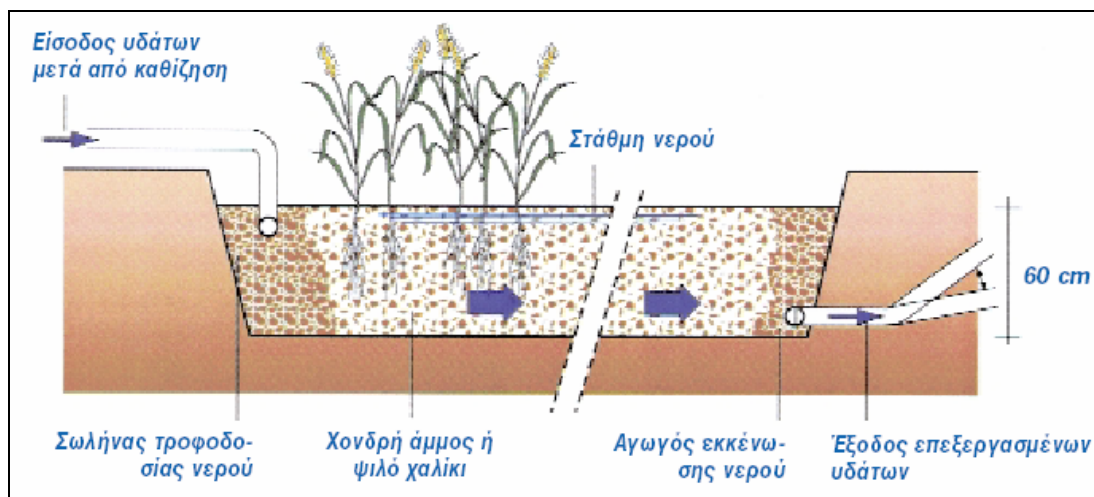
Προκειμένου να ισχύουν οι συνθήκες ροής που προκύπτουν από την υδραυλική επιλέγονται κατάλληλοι λόγοι μήκους/πλάτους. Το βασικό κριτήριο που έχει ιδιαίτερα βαρύνουσα σημασία είναι η αποφυγή του βραχυκυκλώματος της ροής. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των λεκανών καθορίζονται από το λόγο μήκους/πλάτους, την συνολική παροχή και την διαθέσιμη έκταση, ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό απομάκρυνσης.

2.3.3.1. Βάθος νερού τεχνητών υδροβιοτόπων

Στα συστήματα FWS, η εκάστοτε φυτική βλάστηση καθορίζει το βάθος του νερού στην κλίνη. Σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, το βάθος νερού είναι αναγκαίο να αυξάνεται κατά τη χειμερινή περίοδο, έτσι ώστε να αυξάνεται ο χρόνος παραμονής προκειμένου να αντισταθμιστούν η επικράτηση χαμηλοτέρων θερμοκρασιών, η εισροή νερού από βροχοπτώσεις και η επιφανειακή ανάπτυξη πάγου. Ως εκ τούτου το βάθος νερού μεταβάλλεται με την αλλαγή των εποχών και κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,5 m, με τυπικές τιμές 0,1-0,2 m κατά τους θερινούς μήνες, αλλά δύναται να φθάσει έως και 1 m κατά τους χειμερινούς μήνες σε περιοχές με ιδιαίτερα ψυχρό κλίμα, το οποίο μπορεί να συνεισφέρει στην δημιουργία πάγου στην επιφάνεια του υδροβιοτόπου.

Το βάθος του υγρού, το οποίο επηρεάζει και το πλάτος του υποστρώματος στα συστήματα υποεπιφανειακής ροής κυμαίνεται μεταξύ 0,3-0,6 m. Παράλληλα, όμως, θα

πρέπει να υπάρχει η πρόβλεψη για ένα στρώμα 0,05-0,15 m λεπτόκοκκου υλικού στην επιφάνεια με σκοπό την υποβοήθηση της ανάπτυξης των ριζών των φυτών.



Σχήμα 2.9 Βασικά στοιχεία ενός υγροβιοτόπου υποεπιφανειακής ροής

2.3.3.2. Σχέσεις επιφανειακής ροής (FWS)

Όσο αφορά το σχεδιασμό τεχνητών υγροβιοτόπων επιφανειακής ροής θεωρείται ροή ανάλογης αυτής σε ανοιχτό κανάλι, η οποία και δύναται να περιγραφεί βάσει της εξίσωσης του Manning. Η εν λόγω εξίσωση εφαρμόζεται σε ανοιχτούς αγωγούς μεγάλου μήκους υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν κανονικές συνθήκες ροής εντός αυτού (σταθερή και ομοιόμορφη ροή). Οι συνθήκες αυτές εμφανίζονται σε ένα ανοιχτό αγωγό όταν: (α) το βάθος ροής του αγωγού μένει αμετάβλητο (β) η διατομή μένει σταθερή, και (γ) η τραχύτητα της επιφάνειας των πρανών και του πυθμένος μένουν επίσης σταθερά. Ωστόσο, όπως ήταν αναμενόμενο οι παραπάνω συνθήκες δεν τηρούνται στις πλείστες των περιπτώσεων ακόμη και σε ανοιχτούς αγωγούς. Λαμβάνοντας τα προαναφερθέντα υπ' όψιν, χρησιμοποιούμε την εξίσωση του Manning, η οποία παρέχεται στην ακόλουθη σχέση:

$$v = \frac{1}{n} \cdot d^{2/3} \cdot S^{1/2}, \text{ όπου } v = \text{ταχύτητα ροής, m/s}$$

n = συντελεστής Manning, $\text{s/m}^{1/3}$

d = βάθος νερού κλίνης, m

S = υδραυλική κλίση ή κλίση της επιφάνειας του

νερού, m/m

Ο συντελεστής Manning προσαρμόζεται βάσει την παραπάνω εξίσωση και εισάγεται ένας συντελεστής αντίστασης $\alpha = n \cdot d^{-1/2}$. Οι τιμές του συντελεστού αυτού είναι συνάρτηση της πυκνότητας της φυτικής βλάστησης, με τις τυπικές του τιμές να κυμαίνονται από 1 έως 4 $s \cdot m^{1/6}$. Ειδικότερα, οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής παρίστανται αναλυτικότερα στο ακόλουθο πίνακα: [7]

Τύπος φυτικής βλάστησης	Βάθος νερού	Τιμές συντελεστού αντίστασης α
Αραιή, χαμηλού ύψους	>40 cm	0,4 $s \cdot m^{1/6}$
Μέσης πυκνότητας	30 cm	1,6 $s \cdot m^{1/6}$
Πολύ πυκνή με ξερά φύλλα, Με βλαστούς στην επιφάνεια του υποστρώματος	<30 cm	6,4 $s \cdot m^{1/6}$

Συνεπώς, η εξίσωση του Manning τροποποιείται ως εξής:

$$v = \frac{1}{\alpha} \cdot d^{7/6} \cdot S^{1/2}, \text{ όπου } \alpha = \text{συντελεστής αντίστασης, } s \cdot m^{1/6}$$

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων της κλίνης ενός συστήματος θεωρούνται οι παρακάτω σχέσεις:

$$v = \frac{Q}{W \cdot d}$$

$$W = \frac{A_s}{L}$$

$$S = \frac{m \cdot d}{L}$$

$$L = \left(\frac{A_s \cdot d^{2,667} \cdot m^{0,5} \cdot 86400}{\alpha \cdot Q} \right)^{0,6667},$$

όπου m =αύξηση βάθους που εξυπηρετεί ως διαφορικό φορτίο, συνήθως 0,01-0,03 (ποσοστό % που εκφράζεται ως δεκαδικός)

L = το μέγιστο επιτρεπτό μήκος κλίνης

Μετά τον υπολογισμό του μέγιστου επιτρεπτού μήκους μπορεί να επιλεγεί ένας λόγος μήκους πλάτους, να υπολογιστεί το μήκος και το πλάτος των κλινών και έπειτα να γίνει ο υδραυλικός έλεγχος. Λόγοι μήκους-πλάτους της τάξης του 3:1 έχουν επικρατήσει ως οι πιο οικονομικά και τεχνικά αποτελεσματικοί αλλά τιμές έως και 1:10 λειτουργούν το ίδιο αποδοτικά με αυτά με μικρότερους λόγους.

2.3.3.3. Σχέσεις Υποεπιφανειακής Ροής SFS

Στην περίπτωση των συστημάτων υποεπιφανειακής ροής θεωρείται ότι ο νόμος του Darcy, που περιγράφει τη ροή υγρού σε πορώδες μέσο συνιστά μια καλή προσέγγιση για την περίπτωση τέτοιων συστημάτων. Ωστόσο, βασική προϋπόθεση αυτού είναι η ροή να είναι γραμμική.

$$Q = K \cdot A_c \cdot S,$$

όπου Q = μέση παροχή στην κλίση, m^3/d

S = υδραυλική κλίση (κλίση της επιφάνειας του νερού), m/m

K = υδραυλική αγωγιμότητα, m^3/m^2d

A_c = εμβαδόν κάθετο στη ροή, m^2

Ένα σημείο στο οποίο χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι ότι τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος που θα επιλεγεί αποτελούν κύριας σημασίας παράμετρο σχεδιασμού ενός συστήματος υποεπιφανειακής ροής. Αυτό πιστοποιείται και από τις εξισώσεις διαστασιολόγησης που στηρίζονται στον επιθυμητό βαθμό απομάκρυνσης ρυπαντών. Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων παρέχονται στον πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5 Χαρακτηριστικά τυπικών υποστρωμάτων που θεωρούνται κατάλληλα για συστήματα SFS [8]

Τύπος υποστρώματος	Μέγιστο μέγεθος 10% των κόκκων D_{10} (mm)	Πορώδες n	Υδραυλική αγωγιμότητα $K(m^3/m^2d)$
Λεπτή άμμος	2	28-32	100-1.000
Χαλικωτή άμμος	8	30-35	500-5.000
Λεπτό χαλίκι	16	35-38	1.000-10.000
Μέτριο χαλίκι	32	36-40	10.000-50.000
Μικρές κροκάλες	128	38-45	50.000-250.000

Με την χρήση των παρακάτω σχέσεων υπολογίζεται το ελαχιστο επιτρεπτό πλάτος κλίνης για να ικανοποιούνται οι συνθήκες ροής του Darcy, όπως φαίνεται στην εξίσωση: [8]

$$S = \frac{m \cdot d}{L}$$

$$L = \frac{A_s}{W}$$

$$A_c = Wd$$

$$W = \frac{1}{d} \left(\frac{Q \cdot A_s}{m \cdot K} \right)^{0,5},$$

όπου

m = αύξηση βάθους που εξυπηρετεί ως διαφορικό φορτίο, συνήθως 0,005-0,02
 (εκφράζεται ως δεκαδικός αριθμός)

Q = μέση παροχή στην κλίνη, m^3/d

A_c = εμβαδόν κάθετο στη ροή, m^2

W = πλάτος υποστρώματος κλίνης, m

d = βάθος νερού κλίνης, m

L = μήκος κλίνης παράλληλα στη ροή, m

Μετά τον υπολογισμό του ελάχιστου πλάτους κλίνης μπορεί να θεωρηθεί μια τιμή μεγαλύτερη ή ίση και να υπολογιστεί το μήκος. Οι επικρατέστερες τιμές όσο αφορά τον λόγο μήκους πλάτους L/W είναι :

$$L/W \leq 3 / 1 \text{ για βάθος κλίνης } d \leq 0,6 \text{ m}$$

$$L/W \leq 0,75 / 1 \text{ για βάθος κλίνης } d \leq 0,3 \text{ m}$$

2.3.4. Σχεδιαστικά Μοντέλα για την Απομάκρυνση BOD

Πριν να αναπτυχθούν οι εξισώσεις σχεδιασμού των τεχνητών υγροβιοτόπων κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι οι σχέσεις αυτές είναι εμπειρικές και αφορούν δυναμικά συστήματα, δηλαδή κλειστά οικοσυστήματα με φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς που γεννιούνται, αναπτύσσονται και πεθαίνουν.

FWS

$$\frac{C_e}{C_o} = A \cdot \exp\left(-\frac{0,7 \cdot K_T \cdot A_v^{1,75} \cdot L \cdot W \cdot d \cdot n}{Q}\right)$$

όπου:

C_o =συγκέντρωση BOD στην εισροή, mg/L

C_e = συγκέντρωση BOD στην εκροή, mg/L

A = ποσοστό BOD που δεν απομακρύνεται στο προηγούμενο στάδιο, αδιάστατο

K_T = σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, d^{-1}

A_v = ειδική επιφάνεια διαθέσιμη για μικροβιακή δραστηριότητα, τυπική τιμή

15, μπορεί να πάρει τιμές έως και 50 m^2

Q = μέση παροχή στην κλίνη, m^3/d

W = πλάτος υποστρώματος κλίνης, m

d = βάθος νερού κλίνης, m

L = μήκος κλίνης παράλληλα στη ροή, m

n = πορώδες

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e + \ln A)}{K_T dn}, \quad K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

A_s = συνολική επιφάνεια των κλινών, m^2

$$K_{20} = 0.2779 \text{ d}^{-1}$$

$$\theta = 1.06$$

$$n: 0.65 < n < 0.75$$

$A = 0.52$ για πρωτοβάθμια εκροή,

0.7-0.85 για δευτεροβάθμια εκροή,

0.9 για τριτοβάθμια εκροή

$d = 0.1-0.5 \text{ m}$ (συνήθως 0.1-0.2 τους θερινούς μήνες, αλλά μπορεί έως και 1 m τους χειμερινούς)

Εναλλακτικά των παραπάνω εξισώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ και}$$

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T dn}, \text{ με } K_{20} = 0.678 \text{ d}^{-1}$$

SFS

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πιο πάνω εξισώσεις.

Ωστόσο, η διαστασιολόγηση διαφοροποιείται στα ακόλουθα:

A_o = ειδική επιφάνεια διαθέσιμη για μικροβιακή δραστηριότητα, τυπικές τιμές για χαλίκι διαμέτρου 25 mm $> 146 \text{ m}^2 (\text{m}^2/\text{m}^3)$

$$K_{20} = 1.104 \text{ d}^{-1}$$

$d = 0.3-0.6 \text{ m}$ βάθος υποστρώματος και επιπλέον 0.05-0.15 m στρώμα με λεπτόκοκκο υλικό στην για ανάπτυξη των ριζών

Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης BOD

Μια διαφορετική προσέγγιση παρέχεται από την ακόλουθη σχέση, τόσο για τα συστήματα επιφανειακής όσο και τα συστήματα υποεφανειακής ροής.

FWS και SFS

$$Ce = 0,192Co + 0,097HLR$$

2.3.5. Σχεδιαστικά Μοντέλα για την Απομάκρυνση Του Αζώτου

Αρχικά, πρέπει να διευκρινισθεί ότι τα διαθέσιμα μοντέλα για την απομάκρυνση του αζώτου εξετάζουν ξεχωριστά τη νιτροποίηση και την απονιτροποίηση.

2.3.5.1. Συστήματα επιφανειακής ροής, FWS

Νιτροποίηση

Για την διεργασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ και } A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T n}$$

C_o = συγκέντρωση TKN στην εισροή, mg/L

C_e = συγκέντρωση αμμωνίας NH_3 στην εκροή, mg/L

K_T = σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, d^{-1}

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής, d

A_s = συνολική επιφάνεια, m^2

n : $0,65 < n < 0,75$

d = 0,1-0,5 m (συνήθως 0,1-0,2 τους θερινούς μήνες, αλλά μπορεί έως και 1 m τους χειμερινούς)

Όσο αφορά την σταθερά κινητικής K_T , ο υπολογισμός της διαφοροποιείται ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατεί:

$K_T=0, d^{-1}$ για $T=0^{\circ}C$

$K_T=0,1367 \cdot (1,150)^{(T-10)} (d^{-1})$ για $T=1-10^{\circ}C$

$K_T=0,2187 \cdot (1,048)^{(T-20)} (d^{-1})$ για $T>10^{\circ}C$

Απονιτροποίηση

Η διαδικασία εκτίμησης των απωλειών αζώτου εξαιτίας της απονιτροποίησης μπορούν εκφραστούν από τις παρακάτω εξισώσεις, οι οποίες έχουν την ίδια μορφή με

νιτροποίηση. Διαφοροποιείται, ωστόσο, η σταθερά θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, είναι:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ και } A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T dn}$$

C_o = συγκέντρωση νιτρικών NO_3^- εισροής, mg/L

C_e = συγκέντρωση νιτρικών NO_3^- εκροής, mg/L

K_T = σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, d^{-1}

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής, d

A_s = συνολική επιφάνεια, m^2

n : $0,65 < n < 0,75$

d = 0,1-0,5 m (συνήθως 0,1-0,2 τους θερινούς μήνες, αλλά μπορεί έως και 1 m τους χειμερινούς)

Η κινητική K_T διαφοροποιείται ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατεί:

$K_T = 0$, d^{-1} για $T = 0^\circ\text{C}$

$K_T = 1,00 \cdot (1,150)^{(T-20)} \text{ (d}^{-1}\text{)}$ για $T > 1^\circ\text{C}$

2.3.5.2. Συστήματα υποεπιφανειακής ροής SFS

Νιτροποίηση

Η κύρια διαφορά που υπεισέρχεται στα συστήματα υποεπιφανειακής ροής σε σχέση με τα αντίστοιχα επιφανειακής ροής είναι η εισαγωγή της σταθεράς του ρυθμού νιτροποίησης στους 20°C KNH . Η εν λόγω σταθερά εξαρτάται από το ποσοστό ανάπτυξης του ριζικού συστήματος rz (αδιάστατο, λαμβάνει τιμές 0-1).

Αναλυτικότερα, ισχύει:

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(rz)^{2,6077}$$

K_{NH} = σταθερά ρυθμού νιτροποίησης στους 20°C

K_{NH} = 0,41070 για κλίνες με πλήρη ανάπτυξη φυτών όπου $rz=1$

K_{NH} = 0,01854 για κλίνες χωρίς ανάπτυξη φυτών όπου $rz=0$

rz = ποσοστό ανάπτυξης ριζικού συστήματος, 0-1

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ και } A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T dn}$$

C_o = συγκέντρωση TKN στην εισροή, mg/L

C_e = συγκέντρωση αμμωνίας NH_3 στην εκροή, mg/L

K_T = σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, d^{-1}

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής, d

A_s = συνολική επιφάνεια, m^2

n : $0,65 < n < 0,75$

d = 0,1-0,5 m (συνήθως 0,1-0,2 τους θερινούς μήνες, αλλά μπορεί έως και 1 m τους χειμερινούς)

Όσο αφορά την σταθερά κινητικής K_T , ο υπολογισμός της διαφοροποιείται ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατεί:

$K_T = 0$, d^{-1} για $T=0^\circ C$

$K_T = K_{10} \cdot (1,150)^{(T-10)} (d^{-1})$ για $T=1-10^\circ C$

$K_T = K_{NH} \cdot (1,048)^{(T-20)} (d^{-1})$ για $T>10^\circ C$

Απονιτροποίηση

Η διαδικασία της εκτίμησης των απωλειών αζώτου εξαιτίας της απονιτροποίησης στα υποεπιφανειακής ροής SBS συστήματα ακολουθεί τα ίδια βήματα με την αντίστοιχη των συστημάτων FWS. Αυτό συνεπάγεται ότι για την μελετούμενη περίπτωση ισχύουν τα ακόλουθα:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ και } A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T dn}$$

C_o = συγκέντρωση νιτρικών NO_3^- εισροής, mg/L

C_e = συγκέντρωση νιτρικών NO_3^- εκροής, mg/L

K_T = σταθερά κινητικής εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, d^{-1}

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής, d

A_s = συνολική επιφάνεια, m^2

n : $0,65 < n < 0,75$

d = 0,1-0,5 m (συνήθως 0,1-0,2 τους θερινούς μήνες, αλλά μπορεί έως και 1 m τους χειμερινούς)

Η κινητική K_T διαφοροποιείται ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατεί:

$K_T=0$, d^{-1} για $T=0^\circ\text{C}$

$K_T=1,00 \cdot (1,150)^{(T-20)}$ (d^{-1}) για $T>1^\circ\text{C}$

2.3.6. Μοντέλο για την Εκτίμηση Απομάκρυνσης Ρυπαντών

Η ανάγκη για ταχεία εκτίμηση της τάξεως μεγέθους απομάκρυνσης ρυπαντών σε συστήματα τεχνητών υδροβιοτόπων έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά μοντέλα που βασίζονται στον υδραυλικό ρυθμό φόρτισης και παρουσιάζονται παρακάτω

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι τα εν λόγω μοντέλα είναι απλά ως προς την δομή τους, δεν χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό μιας και η αποτελεσματική διαστασιολόγηση είθισται να επιτυγχάνεται με τα μοντέλα του BOD και του αζώτου N. Πάρα ταύτα, αν και μπορεί να έχουν αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές, δύνανται να δώσουν ως ένα βαθμό ικανοποιητικές προσεγγιστικές τιμές απόδοσης των συστημάτων.

2.3.6.1. Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης TSS

Η απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών TSS υπολογίζεται από την συγκέντρωση TSS με την χρήση της συγκεντρώσεως στην είσοδο και του υδραυλικού χρόνου παραμονής. Οι εξισώσεις που περιγράφουν την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών παρέχουν ικανοποιητικής προσέγγισης αποτελέσματα στην περιοχή τιμών του HLR μεταξύ 0,4 και 75 cm/d. Συγκεκριμένα, το μοντέλο συνίσταται στις ακόλουθες σχέσεις:

$$C_e = C_o(0,1139 + 0,00213 \cdot \text{HLR}), \text{ για επιφανειακής ροής}$$

$$C_e = C_o(0,1058 + 0,00110 \cdot \text{HLR}), \text{ για υποεπιφανειακής ροής,}$$

όπου

C_o = συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών TSS εισροής, mg/L

C_e = συγκέντρωση TSS εκροής, mg/L

2.3.6.2. Μοντέλο για την εκτίμηση απομάκρυνσης φωσφόρου

Ο υπολογισμός της απομάκρυνσης TP από το σύστημα γίνεται από την συγκέντρωση στην είσοδο και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Η σχέση του μοντέλου ισχύει και για τους δυο τύπους τεχνητών υγροβιοτόπων.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(-\frac{K_p}{HLR}\right)$$

όπου,

C_o = συγκέντρωση TP εισροής, mg/L

C_e = συγκέντρωση TP εκροής, mg/L

K_p = 2,73 (cm/d)

Στην περίπτωση διαστασιολόγησης με βάσει τον φώσφορο, η απαιτούμενη επιφάνεια παρέχεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_s = \frac{100Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_p}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

3. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

- 3.1. Υφιστάμενη κατάσταση των εγκαταστάσεων στην ελληνική επικράτεια
 - 3.1.1. Γενική εικόνα στην επεξεργασία λυμάτων στην χώρα μας
 - 3.1.2. Εξέταση εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους
 - 3.1.2.1. Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων
 - 3.1.2.2. Αίτια μη αποτελεσματικής λειτουργίας
 - 3.1.2.3. Φορέας λειτουργίας και συντήρησης των έργων
- 3.2. Εξέταση φυσικού συστήματος επιφανειακής ροής Πόμπιας
 - 3.2.1. Γενικά
 - 3.2.2. Σχεδιαστικές και κατασκευαστικές παράμετροι
 - 3.2.3. Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων
 - 3.2.4. Συμπεράσματα
- 3.3. Εξέταση φυσικού συστήματος Αργυρούπολης Ν. Ρεθύμνου
 - 3.3.1. Σχεδιαστικά στοιχεία
 - 3.3.2. Αποτελέσματα
 - 3.3.3. Συμπεράσματα
- 3.4. Εμπειρία από λίμνες σταθεροποίησης στην Ελλάδα
 - 3.4.1. Γενικά
 - 3.4.2. Πορίσματα από την λειτουργία πιλοτικής εγκατάστασης στην Σίνδο
 - 3.4.3. Παρουσίαση των συστημάτων λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα
 - 3.4.4. Συνοπτική Μελέτη περιπτώσεων
 - 3.4.4.1. Κοκκινόχωμα
 - 3.4.4.2. Άνω Πορεία
 - 3.4.4.3. Σύμη
 - 3.4.5. Συμπεράσματα

3.1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑ

3.1.1. Γενική εικόνα στον τομέα της επεξεργασία λυμάτων

Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, οι ΟΤΑ είναι υπεύθυνοι για την συλλογή, επεξεργασία και τελική διάθεση των αστικών λυμάτων. Μέσα στα τελευταία 15 περίπου χρόνια, οι ΟΤΑ εκμεταλλευόμενοι τα Κοινοτικά Πλαίσια Στήριξης (ΚΠΣ) πέτυχαν την κατασκευή πολλών έργων αποχέτευσης και επεξεργασίας των υγρών τους αποβλήτων. Με τον τρόπο αυτό μέχρι το 1994 είχαν κατασκευαστεί στην πατρίδα μας περί τις 170 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, 57 από τις οποίες ανήκαν σε ΔΕΥΑ, ενώ μέχρι το 1997 είχαν καταγραφεί 241 έργα και στο τέλος του 1998 ο αριθμός τους εκτιμήθηκε σε 270 περίπου μονάδες. [11] Σήμερα (2005), αναμένεται ο αριθμός των εγκαταστάσεων να ξεπερνά τις 300 μονάδες, ενώ πάνω από 50 εγκαταστάσεις βρίσκονται υπό κατασκευή.[22]

Η συντριπτική πλειοψηφία των παραπάνω εγκαταστάσεων είναι παρατεταμένου αερισμού ένεκα της απλούστερης λειτουργίας και των ευνοϊκών δυνατοτήτων της παραγόμενης ιλύος, ενώ τα τελευταία έτη κατασκευάστηκαν σε μικρού μεγέθους οικισμούς φυσικά συστήματα, κυρίως λίμνες σταθεροποίησης και υγροβιότοποι. Από τις εγκαταστάσεις παρατεταμένου αερισμού, οι παλαιότερες ακολουθούν το σχεδιασμό τύπου ορθογώνιας δεξαμενής, ενώ τα τελευταία έτη υπάρχει η τάση να προτιμάται η λύση της οξειδωτικής τάφρου. Επειδή οι μονάδες αυτές θεωρούνται εξειδικευμένα έργα κατασκευάστηκαν με το σύστημα «μελέτης-κατασκευή» και συχνά ιδιαίτερα για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, με συμμετοχή εξειδικευμένων οίκων του εξωτερικού.

Ωστόσο, η εμπειρία δείχνει ότι η λειτουργία των περισσότερων από τις εγκαταστάσεις αυτές στην χώρα μας δεν είναι ικανοποιητική. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με στοιχεία του 1994, από τις 57 εγκαταστάσεις οι οποίες ανήκαν στις κατά τόπους ΔΕΥΑ, οι μεγαλύτερες 10 με 15 διέθεταν το αναγκαίο ειδικευμένο προσωπικό και λειτουργούσαν αποτελεσματικά. Περί τις 20 με 25 ακόμα θεωρείται ότι λειτουργούσαν ανεκτά, ενώ οι υπόλοιπες αντιμετώπιζαν προβλήματα. Ακόμα χειρότερη ήταν η κατάσταση για τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις που ανήκαν στους ΟΤΑ και διέθεταν κατά γενικό κανόνα μικρότερο μέγεθος.

Παράλληλα, σύμφωνα με την πηγή [12], στοιχεία έως το 1997 από μελέτες σε τρεις περιοχές της Ελλάδος δείχνουν ότι πάνω από το 50% των κατασκευασμένων εγκαταστάσεων ή δε λειτούργησαν ποτέ, ή τέθηκαν σε δοκιμαστική λειτουργία από τον ανάδοχο και στην συνέχεια παρουσίασαν σοβαρά προβλήματα ή και τέθηκαν

εκτός λειτουργίας. Ιδιαίτερα, έντονο εμφανίζεται αυτό το πρόβλημα για τις μικρότερες εγκαταστάσεις.

3.1.2. Εξέταση εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους

3.1.2.1. Χαρακτηριστικά εγκαταστάσεων

Ιδιαίτερο ενδεικτική είναι η έρευνα για τις μικρού μεγέθους εγκαταστάσεις, η οποία παρουσιάζεται στην πηγή [16]. Σύμφωνα με αυτή την πηγή, εξετάστηκαν 147 από τις 241 εγκαταστάσεις μεταξύ των ετών 1995 και 1997. Αναλυτικά, εξετάστηκαν οι ακόλουθες εγκαταστάσεις:

Τύπος εγκατάστασης	Πλήθος εγκατ/σεων	ι.κ. ¹	σ.ι.κ ²
Προεπεξεργασία	2	5.000	4.000
Ενεργού ιλύος -συμβατικού τύπου	1	10.000	10.000
Ενεργού ιλύος –παρατεταμένου αερισμού	110	512.368	128.500
Διαλείποντος έργου (SBR)	5	32.700	9.100
Διακοπτόμενου παρατεταμένου αερισμού	1	1.000	1.000
Φίλτρα Tricking	2	20.000	10.000
Λίμνες σταθεροποίησης	13	18.600	4.950
Τεχνητοί υγροβιότοποι	2	4.700	2.400
Βραδείας εφαρμογής	9	8.200	5.740
Σύνολο	147	613.768	176.290

¹ ι.κ.: ισοδύναμοι κάτοικοι

² σ.ι.κ: σημερινοί ισοδύναμοι κάτοικοι. (Υπάρχει διαφορά καθώς ο σχεδιασμός γίνεται συνήθως με προοπτική καλύπτονται οι ανάγκες που θα προκύψουν στην διάρκεια των 25-40 ετών, όπου κατά τις πλείστες των περιπτώσεων ο πληθυσμός αναμένεται να διακυμανθεί σημαντικά.)

Οι πιο πάνω εγκαταστάσεις εξετάστηκαν και αξιολογήθηκαν. Η ανάλυση και η αξιολόγηση των συλλεγμένων στοιχείων των παραπάνω εγκαταστάσεων συνοψίζεται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 3.1 Υφιστάμενη κατάσταση των μικρού μεγέθους εγκαταστάσεων στην ελληνική επικράτεια.

Κατηγορία	Πλήθος εγκαταστάσεων	Ποσοστό
1. Αποτυχία ⁽¹⁾	13	8,8 %
2. Υπό κατασκευή ⁽²⁾	31	21,1 %
3. Ελλιπής κατασκευή ⁽³⁾	7	4,8 %
4. Ολοκληρωμένη αλλά όχι σε λειτουργία ⁽⁴⁾	25	17,0 %
5. Σε λειτουργία ⁽⁵⁾	71	48,3 %
Σύνολο	147	100,0 %

(1): Λειτουργήσε για λιγότερο από 10 % του προβλεπόμενου χρόνου ζωής ή δεν λειτουργήσε 8 έτη μετά από την ολοκλήρωση της κατασκευής του. Σε αυτές τις περιπτώσεις σχεδόν το σύνολο του ηλεκτρολογικού και μηχανολογικού εξοπλισμού χρειάζεται αντικατάσταση, ενώ μερικές δεξαμενές χρειάζονται ανακατασκευή.

(2): Η εγκατάσταση είναι σε φάση κατασκευής

(3): Η εγκατάσταση είναι μεν σε φάση κατασκευής, αλλά οι εργασίες έχουν σταματήσει για περισσότερο από ένα έτος. Σε αυτή την κατηγορία η εγκατάσταση έχει ολοκληρωθεί κατά 50% περίπου, το οποίο αντιστοιχεί συνήθως στις εργασίες σκυροδέματος που απαιτούνται.

(4): Η εγκατάσταση είναι κατασκευασμένη κατά περισσότερο από 90% αλλά δεν τίθεται σε λειτουργία για άλλους λόγους. Στις κατηγορία αυτή, ακόμη και ο μηχανολογικός εξοπλισμός έχει εγκατασταθεί.

(5): Η εγκατάσταση βρίσκεται σε λειτουργία

Από τα παρακάτω στοιχεία το γεγονός ότι μόλις 71 εγκαταστάσεις από τις 147 βρίσκονται σε λειτουργία είναι ενδεικτικό της επικρατούσας κατάστασης. Επιπλέον, σημαντικό ποσοστό κατέχουν οι «προβληματικές» εγκαταστάσεις, όπου

τα έργα έχουν κατασκευαστεί αλλά δεν τίθενται σε λειτουργία, ή αστόχησαν ή δεν ολοκληρώθηκε η κατασκευή τους. Είναι πάντως σημαντικό θέμα προβληματισμού και ανησυχίας για όλες τις υπό μελέτη προτεινόμενες λύσεις στην διαχείριση των υγρών αποβλήτων.

3.1.2.2. Αίτια μη αποτελεσματικής λειτουργίας

Προς την κατεύθυνση αυτή, είναι ενδιαφέρον να εστιαστούμε στις αιτίες που συνεισφέρουν σε αυτό το γεγονός. Σύμφωνα πάντως με την πηγή [10], αυτές συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3.2 Κύρια αίτια που οδήγησαν στις μη λειτουργία εγκαταστάσεων

Κύρια αιτία	Πλήθος εγκαταστάσεων	Ποσοστό
1. Ελλιπή αποχετευτικά δίκτυα	22	49%
2. Μη επαρκείς χρηματοδοτήσεις για την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία	15	33%
3. Νομικές διαδικασίες που δημιουργήθηκαν από οικονομικά προβλήματα ή/και αντιδράσεις των κατοίκων	4	9%
4. Λοιπές αιτίες	4	9%
Σύνολο «προβληματικών» εγκαταστάσεων	45	100 %

Η διάρκεια της περιόδου που οι εγκαταστάσεις στις κατηγορίες 3 και 4 υπολογίζεται στα 2,5 έτη. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα είναι σκόπιμο να δοθεί προσοχή στην έγκαιρη πρόβλεψη του ύψους των ανταποδοτικών τελών λειτουργίας της εγκατάστασης, ώστε να εξαλειφθεί ο κίνδυνος των ελλειπών χρηματοδοτήσεων ιδιαίτερα σε περιπτώσεις «βαρειών» συμβατικών συστημάτων σε μικρούς ΟΤΑ. Επιπρόσθετα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό το σύνολο των έργων που αφορούν την αποχέτευση, την επεξεργασία και την διάθεση των λυμάτων να κατασκευάζονται παράλληλα, αν όχι νωρίτερα. Είναι πράγματι σημείο χαρακτηριστικό το ότι η πρώτη αιτία μη λειτουργίας των εγκαταστάσεων, για τις οποίες δαπανούνται μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια δραχμές για την κάθε μία, είναι η μη ύπαρξη δικτύου.

3.1.2.3. Φορέας λειτουργίας και συντήρησης των έργων

Οι μικρές κοινότητες και δήμοι απευθύνονται στις αντίστοιχες Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, καθώς δεν διαθέτουν, συνήθως, τεχνικές υπηρεσίες. Επομένως, η κατασκευή των έργων επεξεργασίας λυμάτων επιβλέπεται από τους μηχανικούς της Νομαρχίας και χρηματοδοτείται από κρατικές ή κοινοτικές επιχορηγήσεις. Ωστόσο, το τμήμα της συντήρησης και της λειτουργίας τους επιβαρύνει αποκλειστικά τους οικείους ΟΤΑ, με αποτέλεσμα να μην δύνανται να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Αυτό που συμβαίνει στις πλείστες των περιπτώσεων είναι να εκπαιδεύεται για μερικούς μήνες ένας τοπικός τεχνικός ή ανειδίκευτος εργαζόμενος προκειμένου να λειτουργεί την εγκατάσταση. Τελικά, αυτό έχει αποδειχθεί ότι στην πράξη δεν είναι αρκετό με αποτέλεσμα την υπολειτουργία ή ακόμη την διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης.

Ενδιαφέρον ενέχει και ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει την αποτελεσματικότητα λειτουργίας της εγκατάστασης ανάλογα με την υπηρεσία που έχει την ευθύνη της εγκατάστασης.

Πίνακας 3.3 Αξιολόγηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων σε σχέση με το φορέα διαχείρισή τους

Υπεύθυνοι φορείς	Πλήθος	Αποτελεσματικότητα		
		Καλή	Μέτρια	Ανεπαρκής
Δήμοι	17	5	6	6
Κοινότητες*	39	8	22	8
Τεχνικές υπηρεσίες	5	1	2	2
Εξειδικευμένες εταιρίες	10	1	6	3
Συνολικά	71	15	36	20

(*) Πρόκειται για κοινότητες πριν εφαρμοστεί το σχέδιο «Καποδίστριας»

3.2. ΕΞΕΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΠΟΜΠΙΑΣ

3.2.1. Γενικά

Το φυσικό σύστημα της Πόμπιας αποτελεί το πρώτο φυσικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων που κατασκευάστηκε στην Κρήτη. Η κατασκευή του (1999) έγινε τόσο για περιβαλλοντικούς και πρακτικούς λόγους, συγχρόνως όμως αποτέλεσε την πρώτη ερευνητική προσπάθεια μεγάλης κλίμακας. Ο τύπος επιφανειακής ροής υδροβιότοπου προτιμήθηκε έναντι του αντίστοιχου υποεπιφανειακής ή κάθετης ροής εξαιτίας της απλούστερης κατασκευής του λόγω της απουσίας στρώματος χαλικιών ή άλλου μέσου και της απρόσκοπτης ροής των λυμάτων σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τύπους, όπου συχνά εμφανίζονται τάσεις υπερφόρτωσης του μέσου. [27]

Σκοπός της παραγράφου αυτής είναι η ανάλυση της προοπτικής των υδροβιότοπων επιφανειακής ροής στις συνθήκες της Ελλάδας και ειδικότερα της Κρήτης μέσα από την εμπειρία που αποκτήθηκε από την εγκατάσταση της Πόμπιας. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι σχεδιαστικές και κατασκευαστικές παράμετροι του συγκεκριμένου φυσικού συστήματος, το οποίο χρησιμοποιεί σηπτική δεξαμενή ως προεπεξεργασία.

3.2.2. Σχεδιαστικές και κατασκευαστικές παράμετροι

Το έργο ανατέθηκε στον Ο.Α.Ν.Α.Κ. Λαμβάνοντας υπόψιν τα υψηλά κόστη των συμβατικών συστημάτων, υπήρχε η ανάγκη εξεύρεσης χαμηλού κόστους λύσεων για τις μικρές κοινότητες. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η λύση του επιφανειακής ροής υδροβιότοπου θεωρήθηκε ότι ικανοποιεί τα κριτήρια κόστους και περιβαλλοντικού οφέλους.

Η εγκατάσταση αποτελείται κυρίως από:

- α) φρεάτιο εισόδου και εσχαρισμού. Τα διάκενα των ράβδων είναι ίσα με 40 mm.
- β) συγκρότημα σηπτικής δεξαμενής. Το συγκρότημα αυτό λειτουργεί ως λιποσυλλέκτης, προκαθίζηση και βιοσταθεροποίηση των λασπών. Είναι τύπου μαιάνδρου και συγκρατούνται λίπη και όλα τα χονδρά στερεά. Η απομάκρυνση των λασπών γίνεται 1-2 φορές το έτος.
- γ) δεξαμενές τεχνητών υδροβιότοπων επιφανειακής ροής συνολικής έκτασης 5,5 στρεμμάτων περίπου, αποτελούμενες από 2 τμήματα με έκταση 4,3 και 1,2, η κάθε μια περίπου. Οι δεξαμενές κατασκευάστηκαν με συμπίεση του εδάφους, επίστρωση

πλαστικής μεμβράνης, με πληρωτικό υλικό 0,30 m, ενώ το συνολικό βάθος των δεξαμενών υδροβιοτόπων είναι 1,0 m.

Η επιλογή των φυτών έγινε ώστε να είναι κατάλληλα με τις τοπικές συνθήκες, για αυτό και επιλέχθηκε το *F.australis* και *A.donax*.

δ) Φρεάτιο ανακυκλοφορίας. Σε αυτό καταλήγουν όλοι οι συλλεκτές. Γίνεται ανακυκλοφορία τμήματος της εκροής στην είσοδο της πρώτης λεκάνης. Έχει επιλεγεί βηματική τροφοδοσία διότι με την ομοιόμορφη κατανομή βιολογικών φορτίων και τις κατάλληλες αραιώσεις αποφεύγονται οι αναερόβιες συνθήκες και οι δυσοσμίες.

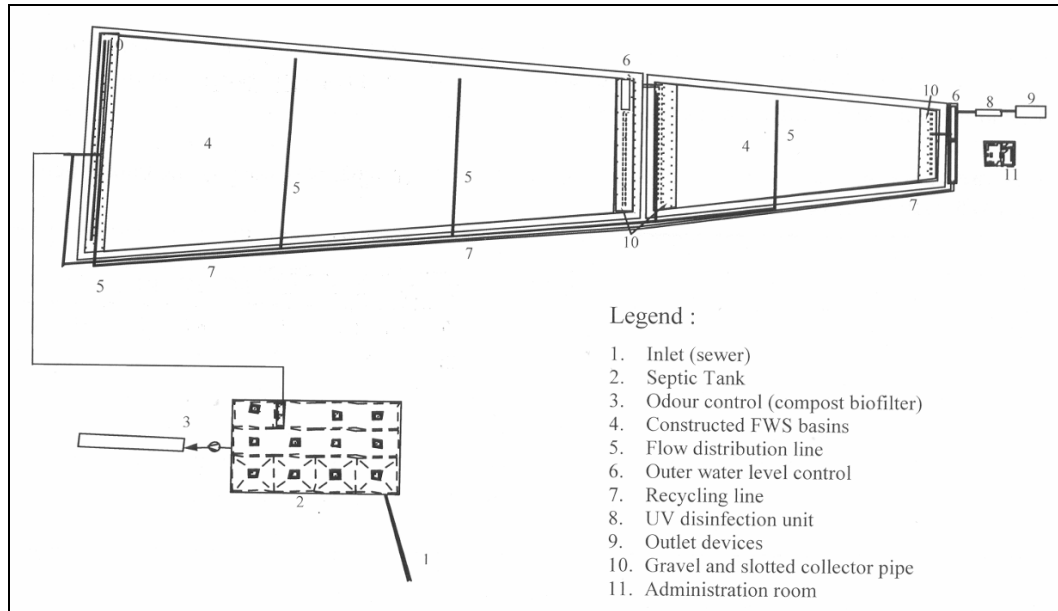
ε) φρεάτια ρύθμισης στάθμης. Πρόκειται για δυο φρεάτια, ένα σε κάθε λεκάνη, που ρυθμίζουν τη στάθμη των λεκανών των υδροβιοτόπων.

στ) μονάδα απολύμανσης. Πρόκειται για ένα σύστημα απολύμανσης υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), η οποία ως γνωστόν έχει πολύ μικρές απαιτήσεις λειτουργικού κόστους.

Τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης παρουσιάζονται στο σχήμα **.**. Η βασική λογική που βασίστηκε ο σχεδιασμός είναι η μείωση τόσο του βιολογικού όσο και του υδραυλικού φορτίου καθώς τα απόβλητα οδεύουν προς την έξοδο της εγκατάστασης. Κατά συνέπεια θεωρήθηκε ότι ένα νέο τραπεζοειδές σχήμα βοηθά σημαντικά την απόδοση αυξάνοντας το υδραυλικό μονοπάτι της ροής σε σύγκριση με την ορθογωνική κατασκευή. Αυτός ο τρόπος είναι πιθανόν να οδηγεί και σε χαμηλότερες απαιτήσεις γης με μικρή επίδραση στην απόδοση του συστήματος. Παράλληλα, η συνεχής ανακυκλοφορία μέρους της εκροής, συνέβαλε στην αραιώση της εισροής και στην απουσία οσμών. Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμή
Εξυπηρετούμενος πληθυσμός	ι.κ.	1200
Μέση ημερήσια ροή	m ³ /d	144
Μέγιστη ημερήσια ροή	m ³ /d	216
Μέγιστη ωριαία ροή	m ³ /d	664,8
Θερμοκρασία	°C	Χειμ:10- Θέρος: 22
Εισροή στο σύστημα (BOD ₅)	mg/L	400

Εκροή σηπτικής δεξαμενής	mg/L	250
Εκροή υγροβιοτόπου	mg/L	10
Χρόνος παραμονής	d	5-14 (εποχ.μεταβλητός)



Σχήμα 3.1 Στοιχεία της εγκατάστασης στην περιοχή της Πόμπιας

3.2.3. Αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων

Τα πρώτα αποτελέσματα από την λειτουργία της εγκατάστασης μετά από 2 έτη λειτουργίας ήταν ενθαρρυντικά ως προς την απομάκρυνση του οργανικού και μικροβιακού φορτίου, ενώ η μείωση του αζώτου και του φωσφόρου δεν ήταν υψηλή. Ειδικότερα, τα πορίσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα 2 ετών μπορούν να συνοψισθούν ως εξής: απομάκρυνση BOD,COD,TSS >95%, TKN και TP ≈50%, και ολικά και κοπρανώδη κολοβακτηρίδια >97% (δίχως την απολύμανση). Η απόδοση στην απομάκρυνση των ρυπαντών στα διάφορα στάδια της εγκατάστασης παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Στάδιο επεξεργασίας	Μονάδες	COD	BOD	SS	TKN	TP
Είσοδος	mg/L	454,6	165,3	190,7	38,0	13,1
Εκροή	mg/L	100,2	39,1	35,8	25,0	9,1

σηπτικής						
Εκροή συστήματος	mg/L	18,3	7,77	5,6	17,8	6,2
Απόδοση	%	96,1	94,4	95,5	52,5	53,1

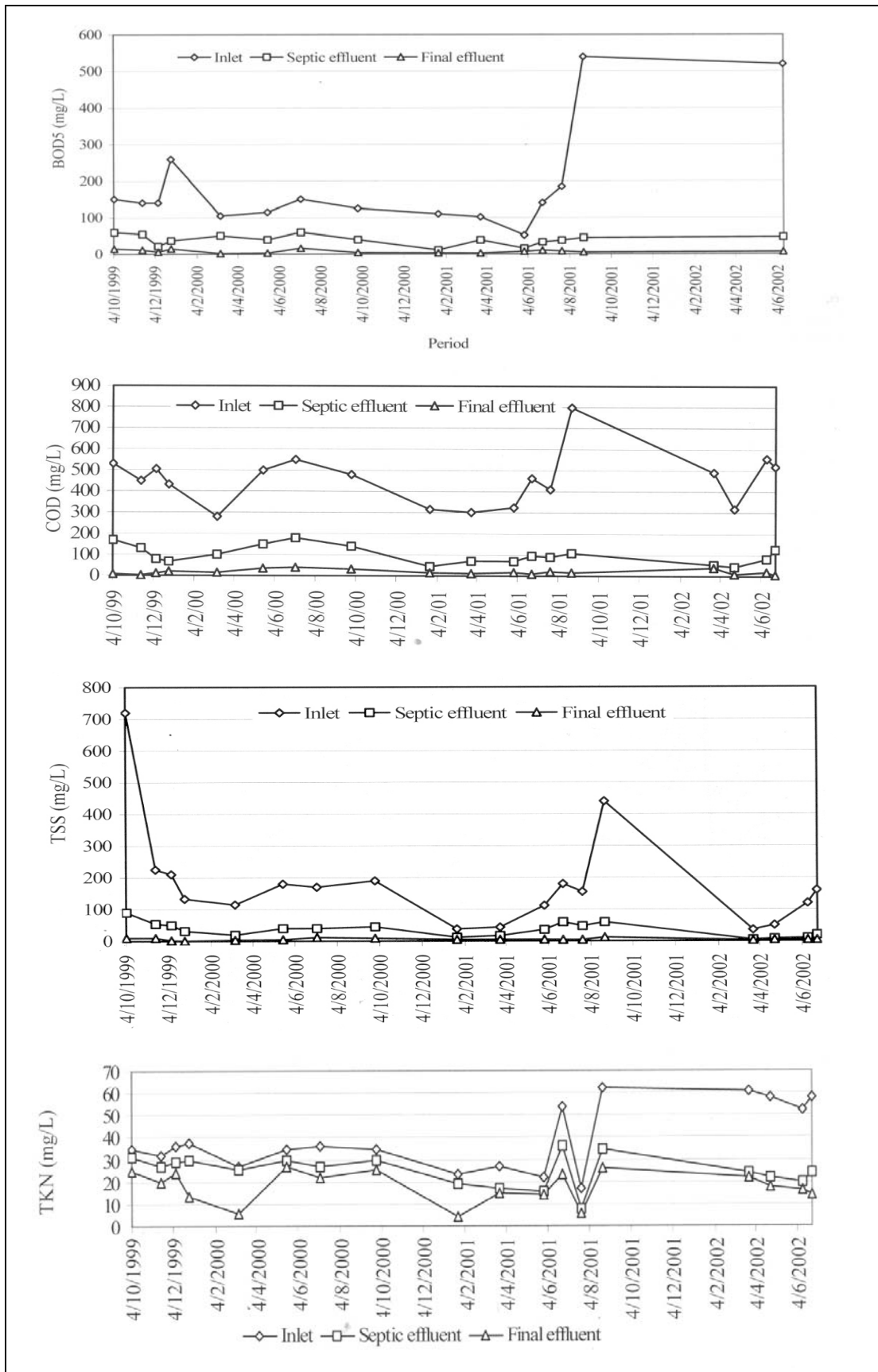
Η ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης στην διάρκεια 2 ετών δίνεται στα παρακάτω γραφήματα, τα οποία παρουσιάζονται στην πηγή [11]. Σε αυτά είναι εμφανής η καλή απόδοση του φυσικού συστήματος στα φορτία αιχμής. Η σταθερότητα της εκροής και η προσαρμοστικότητα του σε οργανικά φορτία αιχμής είναι αξιοσημείωτα σημεία, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των συστημάτων αυτών.

3.2.4. Συμπεράσματα

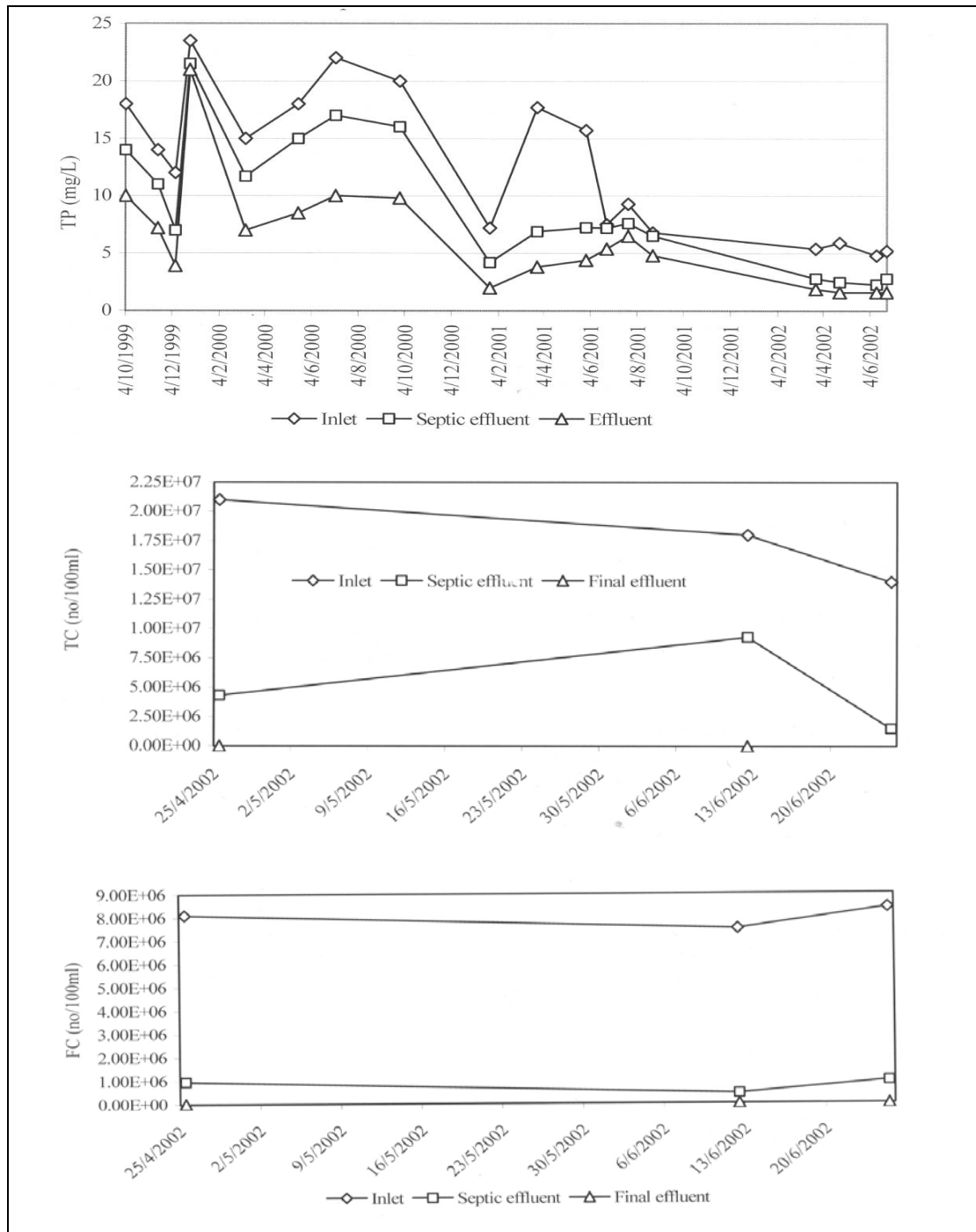
Η εμπειρία από την λειτουργία της πρώτης εφαρμογής υγροβιοτόπων στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο, αφενός ως προς τις δυνατότητες εξάπλωσης αυτής της μεθόδου και αφετέρου ως προς τον τρόπο λειτουργίας των νέων εγκαταστάσεων. Πιο συγκεκριμένα:

- Η μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υγροβιότοπους επιφανειακής ροής είναι μια αποτελεσματική τεχνική δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων έχοντας και στην χώρα μας πολύ καλή ποιότητα εκροής, εφάμιλλη των δαπανοφόρων συμβατικών μεθόδων. Ως σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας δίνει την δυνατότητα σημαντικής μείωσης του BOD, COD και TSS σε επίπεδα του 94,4 %, 96,1 % και 95,5%, αντίστοιχα. Η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου του συστήματος κυμάνθηκε στο 53% περίπου, ενώ η ελάττωση των ολικών και κοπρανόδων κολοβακτηριδίων κυμάνθηκε στο 98,7% και 97,1 %, αντιστοίχως, δίχως τον συνυπολογισμό της απολύμανσης που έπεται.
- Η ποιότητα αυτή της εκροής είναι κατάλληλη για άρδευση καλλιεργειών, και μάλιστα η μικρή απομάκρυνση σε άζωτο και φώσφορο αντισταθμίζεται από τις ανάγκες ανάπτυξης των φυτών. Και αυτό διότι συντελείται φυσική λίπανση του εδάφους.

- Γενικότερα, η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια μέθοδος με ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα, η οποία είναι κατάλληλη για μικρούς οικισμούς, εξαιτίας της καλής απόδοσης, της σταθερής καλής ποιότητας της εκροής, των μικρών αναγκών συντήρησης, του χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας, την προσαρμογή στο περιβάλλον και την απουσία παρα-προϊόντων.



Σχήμα 3.2 Αποτελέσματα BOD, COD, TSS και TN σε διάφορα στάδια της πορείας επεξεργασίας



Σχήμα 3.3 Αποτελέσματα μετρήσεων φωσφόρου και μικροβιακής ποιότητας στα διάφορα στάδια της πορείας επεξεργασίας

3.3. ΕΞΕΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΥΛΗΣ Ν. ΡΕΘΥΜΝΟΥ

3.3.1. Σχεδιαστικά στοιχεία

Ο τεχνητός υδροβιότοπος της Αργυρούπολης αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

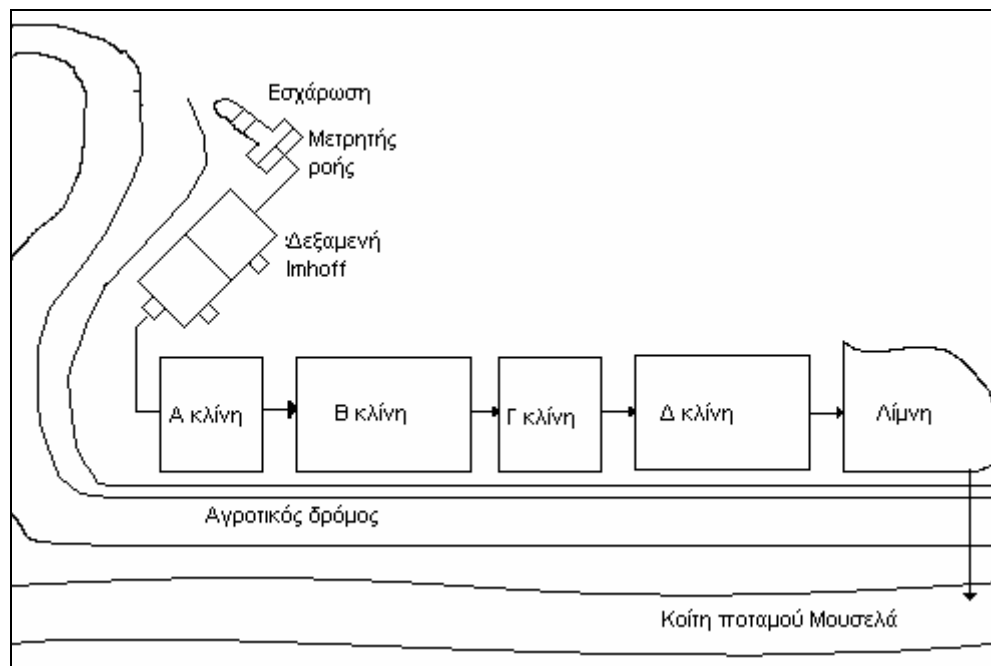
- Εσχάρωση και μετρητή παροχής. Στο συγκεκριμένο στάδιο, συγκρατούνται στερεά με διαστάσεις άνω των 10 mm.
- Δεξαμενή Imhoff για την πρωτοβάθμια καθίζηση. Ο όγκος της δεξαμενής είναι ίσος με 320 m³ και είναι σημαντικά μεγαλύτερος από την προβλεπόμενο για να εξασφαλίζεται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής τόσο των λυμάτων, όσο και της ιλύος. Με βάση την θερινή παροχή ισχύουν:

Μέσος χρόνος παραμονής των λυμάτων 4 ώρες

Μέσος χρόνος σταθεροποίησης της ιλύος 100 ημέρες

- Για λόγους ευελιξίας, προσαρμογής στο χώρο και δυνατότητας παρεμβάσεων προτείνονται 2 σειρές κλινών επεξεργασίας στον ριζικό χώρο, διαιρούμενων σε 4 διαμερίσματα. Η συνολική επιφάνεια φθάνει το 2.500 m². Σημειώνεται εδώ ότι η μελέτη σχεδιασμού προβλέπει χρήση των δυο πρώτων κλινών συγχρόνως και ως έκταση χώνευσης της αναερόβιας ιλύος από τη δεξαμενή Imhoff.
- Μια λίμνη 1200 m², στεγανοποιημένη μεμβράνη πάχους 0,75 mm. Η λίμνη αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την φυσική απομάκρυνση των μικροοργανισμών μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Το βάθος νερού είναι ίσο με 1,5 m.

Τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης παρουσιάζονται στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.4 Διάταξη των επιμέρους στοιχείων της εγκατάστασης του οικισμού Αργυρούπολης

Πίνακας 3.4 Σχεδιαστικά μεγέθη του συστήματος του οικισμού Αργυρούπολης

Παράμετρος	Μονάδες	Χειμώνας	Θέρος
Υδραυλικό φορτίο			
Εξυπηρετούμενος πληθυσμός	ι.κ.	400	1200
Παροχή ανά κάτοικο	m ³ /ι.κ.	160	240
Μέση ημερήσια ροή	m ³ /d	64	288
Μέγιστη ωριαία ροή	m ³ /d	160	720
Εισροή			
COD	mg/L	563	375
BOD ₅	mg/L	375	250
Αιωρούμενα Στερεά, SS	mg/L	313	208
N	mg/L	69	46

Απαιτήσεις Εξόδου			
COD	mg/L	90	90
BOD ₅	mg/L	15	15
Αιωρούμενα Στερεά,SS	mg/L	30	30
N	mg/L	18	18

3.3.2. Αποτελέσματα

Το έργο κατασκευάστηκε το έτος 2000 και από τότε συνεχίζει να είναι η μονάδα καθαρισμού του οικισμού. Ωστόσο, αρκετά προβλήματα ανέκυψαν κατά την διάρκεια λειτουργίας του, τα οποία αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής:

- Το κυριότερο σημείο συνίσταται στα προβλήματα ροής. Συγκεκριμένα, μετά την πρώτους μήνες τα φυτά παρουσίασαν σημαντική ανάπτυξη με αποτέλεσμα το ριζικό τους σύστημα να εξαπλωθεί σε υπερκορεσμένο ίσως βαθμό σε όλα τα σημεία του υγροβιοτόπου, αλλά και μερικά μέτρα έξω από τις λεκάνες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, να εμποδίζεται η ροή των λυμάτων από την δεξαμενή Imhoff προς την πρώτη λεκάνη του υγροβιοτόπου. Κατά συνέπεια, το σύστημα δεν ήταν σε θέση να λειτουργήσει ως υποεπιφανειακής ροής, όπως είχε αρχικά σχεδιαστεί. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, ο αγωγός διάθεσης των λυμάτων στις κλίνες έγινε επιφανειακός, με αποτέλεσμα το σύστημα να λειτουργεί μέχρι σήμερα περισσότερο ως ένας συνδυασμός επιφανειακής και υποεπιφανειακής ροής.



Εικόνα 3.1 Αποψη των καλαμιών εντός των κλινών

- Ένα εξίσου σημαντικό σημείο είναι η σχεδόν ολοκληρωτική έλλειψη συντήρησης ακόμη και παρακολούθησης του συστήματος. Είναι σαφές ότι τα φυσικά συστήματα έχουν μικρές απαιτήσεις συντήρησης και λειτουργίας. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι δύναται να λειτουργούν εις αεί δίχως την οποιαδήποτε μέριμνα. Πέρα από τα πρώτα έτη λειτουργίας του έργου, όπου η επίβλεψη και συντήρηση ήταν τακτική, η σημερινή κατάσταση τείνει στα όρια της εγκατάλειψης. Η επίβλεψη περιορίζεται σε σχεδόν μια επίσκεψη ανά 20-40 ημέρες.
- Ένα επιπλέον σημείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον αφορά την διάθεση της ιλύος από την δεξαμενή Imhoff. Συγκεκριμένα, όπως προβλέπει η μελέτη του έργου η χωνευμένη λάσπη της πρωτοβάθμιας καθίζησης, είχε τελικό αποδέκτη την πρώτη και την τρίτη κλίνη. Ωστόσο, από οι πρώτες προσπάθειες διάθεσης αποδείχθηκαν ζημιογόνες για τα καλάμια, καθώς εμφανίστηκαν σημάδια αλλαγής του υγιούς σκούρο πράσινου χρώματος σε κίτρινο, με αποτέλεσμα να διακοπεί η διάθεση.
- Επιπλέον, παρότι οι κλίνες είναι μονωμένες με πλαστική μεμβράνη διαπιστώνεται μικρή αστοχία ανάμεσα στην 3^η και την 4^η κλίνη. Εξαιτίας αυτού σημειώνεται μια σχετικά μικρή διαρροή, τα λύματα από την οποία, αν και απαλλαγμένα σε σημαντικό βαθμό από τους ρυπαντές, διασχίζουν επιφανειακά τον πλησίον δρόμο και καταλήγουν στον ποταμό. Κατά συνέπεια, αξίζει να προσεχθεί πολύ το θέμα της μόνωσης στο κατασκευαστικό στάδιο.
- Διαπιστώνεται κάλυψη σχεδόν της μισής επιφάνειας της λίμνης από επιπλέοντα άλγη. Αυτά εμποδίζουν την αντιμικροβιακή δράση του φωτός.
- Τέλος, αν και η μελέτη σχεδιασμού προβλέπει την δημιουργία αρδευτικού δικτύου, για την άρδευση παραποτάμιας βλάστησης, εντούτοις αυτό το τμήμα του έργου δεν έχει κατασκευαστεί. Απόρροια τούτου είναι η υπερχειλίση της λίμνης που βρίσκεται στο τελευταίο στάδιο και την κατάληξη των επεξεργασμένων λυμάτων στον παρακείμενο ποταμό Μουσελά, αφού προηγουμένως διασχίσουν επιφανειακά τον παρακείμενο στο έργο αγροτικό δρόμο. Στο σημείο αυτό είναι εμφανή τα αποτελέσματα της έλλειψης συντήρησης.

Παρόλα αυτά, όμως, η εγκατάσταση της Αργυρούπολης αποτελεί ένα ακόμη παράδειγμα αξιοπιστίας των φυσικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, ίσως το πιο αξιοπρόσεκτο σημείο στην λειτουργία της εγκατάστασης είναι ότι παρόλο το

μέγεθος των προβλημάτων και την μηδαμινή συντήρηση και παρακολούθηση αυτής, η ποιότητα εκροής εξακολουθεί να κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αναλυτικότερα, οι τιμές των ρυπαντών στα επιμέρους στάδια του έργου, παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα. Η σχετικά ικανοποιητική ποιότητα εκροής είναι εμφανής. Εξαίρεση ως ένα βαθμό αποτελούν οι μικροβιολογικοί παράμετροι, όπου η εκροή κυμαίνεται στα επίπεδα των 103 αποικιών/ 100ml. Πάντως, η μικροβιακή απόδοση της λίμνης θα μπορούσε να είναι σημαντικά πιο αυξημένη στην περίπτωση που απομακρύνονται συχνά τα επιπλέοντα άλγη, τα οποία καλύπτουν σχεδόν την μισή επιφάνεια της λίμνης.



Εικόνα 3.2 Άποψη της λίμνης στο τέλος του φυσικού συστήματος Αργυρούπολης, όπου είναι εμφανής η ελλιπής συντήρηση

Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων ανά στάδιο της μονάδας επεξεργασίας του οικισμού Αργυρούπολης

Παράμετρος	Μονά- δες	Εισροή	Εκροή Imhoff	Εκροή κλινών	Εκροή εγκατάστασης	
Ημερομηνία	μην/εε	Σεπτ 05	Σεπτ 05	Σεπτ 05	Σεπτ 00	Σεπτ 05
COD	mg/L	266	83	-	41	45**
BOD	mg/L	150	50	10	<5*	31**
Αιωρούμενα Στερεά	mg/L	90	18	1	7	3

Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια	Απ./ 100 ml	$1,4 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^7$	10^6	$8 \cdot 10^3$	-
Θολότητα	NTU	144,2	25,6	8,4	3,78	18,4
Αγωγιμότητα	mS/cm	0,13	0,11	-	0,63	0,12
TDS	mg/L	51	46	-		49

* Φιλτραρισμένα δείγματα

** Μη φιλτραρισμένα δείγματα

3.3.3. Συμπεράσματα

Η εγκατάσταση διαθέτει ποιότητα εκροής που μπορεί να χαρακτηριστεί ως σχετικά ικανοποιητική. Ωστόσο, αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα. Αυτά συνίστανται στην μη δυνατότητα λειτουργίας του υδροβιότοπου ως σύστημα υποεπιφανειακής ροής λόγω προβλημάτων ροής των λυμάτων, στην μηδαμινή συντήρηση και παρακολούθηση, σε προβλήματα διάθεσης της ιλύος και στην απουσία μέριμνας για την τελική διάθεση των λυμάτων. Γενικότερα, στην συγκεκριμένη περίπτωση διαπιστώνουμε τα προβλήματα που δημιουργούνται στην πράξη με την εφαρμογή υποεπιφανειακής ροής. Για το λόγο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό και στην συντήρηση στην περίπτωση χρήσης του τύπου αυτού.

3.4. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΛΙΜΝΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3.4.1. Γενικά

Η εμπειρία από τις περιπτώσεις όπου μελετήθηκε ή/και κατασκευάστηκε και λειτούργησε σύστημα λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η εμπειρία αυτή αποτελεί ουσιαστικά τον οδηγό για την συνειδητοποίηση των δυσκολιών και των σφαλμάτων που μπορεί να ανακύψουν κατά την μελέτη και κατασκευή ανάλογων εγκαταστάσεων, αλλά και συνάμα το πιο χρήσιμο, ενδεχόμενα, εργαλείο για την επίλυσή τους.

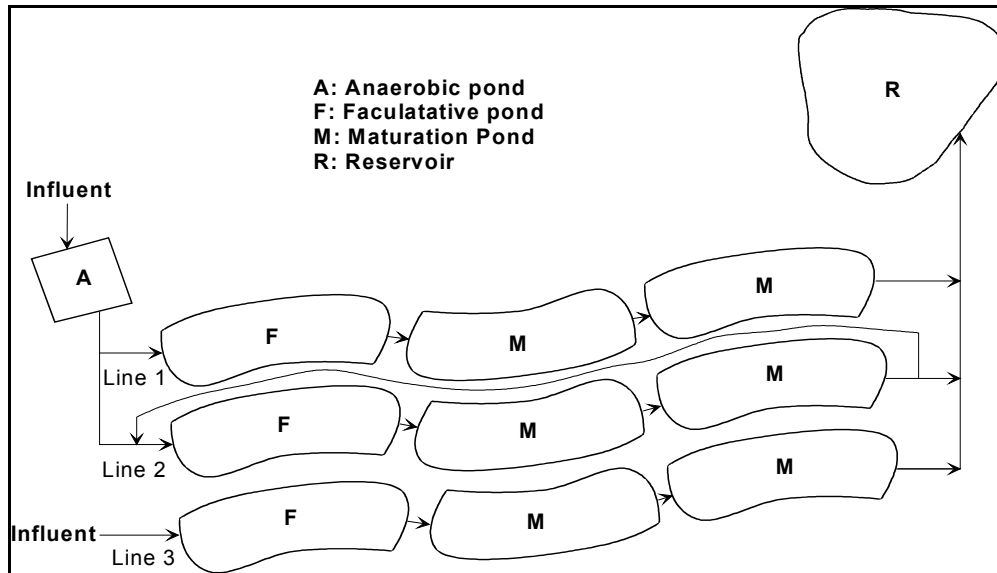
Η έρευνα που γίνεται πάνω στα φυσικά συστήματα αυτού του τύπου δείχνει ότι η τεχνική αυτή δύναται να παρέχει κατάλληλης ποιότητας εκροή, που πληρεί εγχώρια και ευρωπαϊκά νομοθετικά όρια. Παρόλο που οι συνθήκες της χώρας μας τα ευνοούν, το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι χαμηλό, η αξιοπιστία της ποιότητας εκροής είναι σταθερή, εντούτοις αυτού του είδους τα συστήματα δεν έχουν ακόμη εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα στην Ελλάδα μας. Η εμπειρία της πηγής [22] δείχνει ότι αυτά τα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης που αρχικά κατασκευάστηκαν, είτε σχεδιάστηκαν με ανοικονόμητη διαστασιολόγηση, ή αφέθηκαν να λειτουργούν δίχως συντήρηση. Αλλά ακόμη και αυτά τα συστήματα που κατασκευάστηκαν με αυτόν τον τρόπο διαθέτουν ικανοποιητική ποιότητα εκροής που μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον δίχως κάποια επιβάρυνση. Το γεγονός αυτό ενισχύει την αξιοπιστία των συστημάτων αυτών και τα καθιστά μια ωφέλιμη τεχνική, ιδιαίτερα όταν το κόστος γης είναι χαμηλό.

Αναλυτικότερα, η έρευνα της πηγής [22] συγκεντρώνει τόσο πρωτογενή και δευτερογενή δεδομένα από όλες τις εγκαταστάσεις λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα, όσο ποιοτικές παραμέτρους σε σχέση με τον σχεδιασμό και την λειτουργία τους. Επιπλέον, συγκεντρώνονται δεδομένα από την κύρια πιλοτική μονάδα λιμνών σταθεροποίησης ως ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της εφαρμοσιμότητας αλλά της αλλαγής της αποτελεσματικότητας από τον διαφορετικό σχεδιασμό των εν λόγω συστημάτων.

3.4.2. Πορίσματα από την λειτουργία πιλοτικής εγκατάστασης στην Σίνδο

Η εγκατάσταση της Σίνδου (Θεσσαλονίκη) αποτελεί την μόνη πιλοτική μονάδα λιμνών με καλό σχεδιασμό και συντήρηση. Κατά την λειτουργία της, λύματα μετά από τον εσχαρισμό τους από την συμβατική εγκατάσταση καθαρισμού της Θεσσαλονίκης εισέρχονται στην αναερόβια λίμνη με παροχή 120m³/d. Η ροή αυτή

διακλαδώνεται κατά 30m³/d στην γραμμή 1 και στην γραμμή 2 όπου και υπάρχει σύστημα ανακύκλωσης. Συγχρόνως, μια τρίτη γραμμή λειτουργία η οποία παραλαμβάνει τα λύματα δίχως την προεπεξεργασία στην λίμνη αερισμού. Οι εκροές και από τις 3 γραμμές συλλέγονται σε δεξαμενή και στην συνέχεια οδηγούνται προς άρδευση εσθιόμενων και μη καρπών.



Σχήμα 3.5 Τρεις γραμμές λιμνών σταθεροποίησης με διαφορετικό σχεδιασμό στην Σίνδο (Θεσσαλονίκη)

Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά και για τους τρεις τρόπους σχεδιασμού, με υπεροχή ελαφρά της πρώτης διάταξης λιμνών, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Σίνδος βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες με τις νοτιότερες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή τους στην Κρήτη, θα αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα.

Πίνακας 3.6. Χαρακτηριστικά των λυμάτων σε διάφορα στάδια, για θερμοκρασίες αέρα πάνω από 10oC [23]

	Q	BOD ₅	COD	SS	TC	FC
Σημείο δειγματοληψίας	m ³ /d	mg/L	mg/L	mg/L	/ 100 ml	/ 100 ml
Αναερόβια λίμνη-εισροή	120	387	860	565	1.5x10 ⁷	1.4x10 ⁷
Αναερόβια λίμνη-εκροή	120	213	403	161	5x10 ⁶	4x10 ⁶

Γραμμή Α-εκροή(φιλτρ.)	30	8	133	70	8×10^2	4×10^2
Γραμμή Β-εκροή(φιλτρ.)	90	14	104	95	4.7×10^3	3.4×10^3
Γραμμή Γ (μετά από Α'βάθμια επεξεργασία)	50	134	290	119		
Γραμμή Γ-εκροή (φιλτρ.)	50	11	118	93	1.2×10^3	5×10^2

3.4.3. Παρουσίαση συστημάτων λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα

Αρχικά, ένα χαρακτηριστικό σημείο της ήδη εφαρμογής των λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα είναι το ότι δυο Νομοί (Καβάλα και Σέρρες) διαθέτουν σχεδόν το σύνολο των εγκαταστάσεων. Αυτό είναι απόρροια της αποτελεσματικότητας τους με συνέπεια και οι γειτονικοί δήμοι να εμπιστεύονται την χρήση τους, ενώ η δυσπιστία αρκετών δήμων της χώρας συνιστά μια σημαντική αιτία μη εξάπλωσης τους.

Όλες οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από μια επαμφοτερίζουσα λίμνη, η οποία ακολουθείται από μια σειρά μιας ως τριών λιμνών ωρίμανσης. Στις περισσότερες λίμνες έχουν προβλήματα συντήρησης και λειτουργίας, όπως οσμές, εμφάνιση φυτών κ.α. Η εκροή χρησιμοποιείται για ανάγκες της τοπικής γεωργίας.

Τα συστήματα που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν ή όχι στην ελληνική επικράτεια παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Γίνεται εμφανές σε αυτόν τον πίνακα ότι αρκετά συστήματα αν και προχώρησε η μελέτη του δεν κατασκευάστηκαν για πολιτικούς λόγους. Αυτό έγκειται σε ένα μεγάλο ποσοστό στην λαθεμένη αντίληψη ότι μία αποτελεσματική εγκατάσταση θα πρέπει να περιέχει μια σειρά από πολύπλοκα μηχανήματα.

Πίνακας 3.7 Υφιστάμενα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης στην χώρα μας

A/A	Περιοχή	Έτος έναρξης	ι.κ. ¹	Κατάσταση	Λίμνες ²	Παρατηρήσεις
1.	Κοκκινόχωμα 1	1995	1000	Λειτουργία	FMMRF	
2.	Κοκκινόχωμα 2	1998	1000	Λειτουργία	FMMRF	
3.	Πλατανότοπος		1000	Αποτυχία	FMMRF	Σταμάτησε η κατασκευή
4.	Αντιφιλίπποι		1000		FMM	Σχεδιάστηκε/ δεν κατασκευάστηκε

5.	Καρυανή		1000	Αποτυχία	FMM	Σταμάτησε η κατασκευή
6.	Πρίνος		2000		FMMM	Σχεδιάστηκε/ δεν κατασκευάστηκε
7.	Μεσορόπη		800	Αποτυχία	FMMRF	Σταμάτησε η κατασκευή
8.	Μαριές		1000	Αποτυχία	FM	Σταμάτησε η κατασκευή
9.	Άνω Πορόια	1992	2000	Λειτουργία	FMMRF	
10.	Μαυρόλοφος		500	Λειτουργία	FM	
11.	Μεσοράχη	1991	500	Λειτουργία	FMM	
12.	Πεντάπολη	1989	3000	Αποτυχία	FMM	Αποτυχία εξαιτίας ζημιάς στον αγωγό εισροής λυμάτων
13.	Σιτοχώρι	1982	1000	Λειτουργία	FMM	Το πρώτο σύστημα λιμνών στην Ελλάδα
14.	Βαμβακόφυτο	1988	1000	Λειτουργία	FMM	
15.	Χαροπό	1994	2300	Λειτουργία	FMM	
16.	Σύμη		10000		2xAFMM	Σχεδιάστηκε/ δεν κατασκευάστηκε

¹ Ως αναφέρεται στην μελέτη σχεδιασμού ή εκτιμήσεις όπου δεν είναι διαθέσιμο το μέγεθος αυτό

² Α: Αναερόβια (Anaerobic), F: Επαμφοτερίζουσα (Facultative), M: Ωρίμανσης (Maturation), RF: Χαλικόφιλτρο (Rock Filter)

Σχεδόν το σύνολο των συστημάτων λιμνών σταθεροποίησης σχεδιάστηκαν πανομοιότυπα, όσο αφορά την πρώτη λίμνη, όσο και στις αντίστοιχες ωρίμανσης. Συγκεκριμένα, κατά σχεδιασμό ακολουθήθηκαν οι παρακάτω τιμές:

Επαμφοτερίζουσα λίμνη			Λίμνη ωρίμανσης		
Παράμ. σχεδιασμού	M/δες	Τιμή	Παράμ. σχεδιασμού	M/δες	Τιμή
παροχή ανά κάτοικο	L/d	150	T χειμώνα	°C	12
BOD/ κάτοικο	g /d	45	Βάθος	m	1,5

SS	g /d	60	k για απομάκρ.BOD	/d	0,135
Βάθος	m	2,5	BOD εκροής	mg/L	30
Απομάκρ.λάσπης	Έτη	5	FC	/100 mL	5.000
Χρόνος παραμονής	d	15-30			
Απομάκρυνση BOD	%	30			

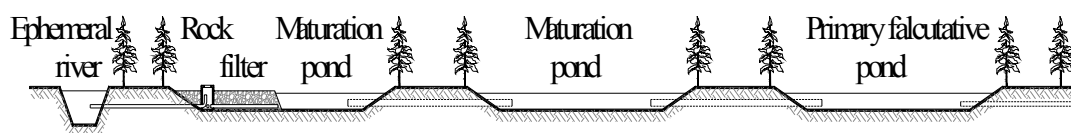
3.4.4. Συνοπτική μελέτη περιπτώσεων

3.4.4.1. Άνω Πορόια

Κατά την λειτουργία αυτού του συστήματος αναφέρθηκαν οσμές και αυξημένος πληθυσμός κουνουπιών. Τα προβλήματα αυτά συνίστανται στην μηδενική συντήρηση, η οποία προκάλεσε ανάπτυξη φυτών μέσα στις λίμνες. Οι μέσες τιμές COD και DO ήταν το 1994 στα επίπεδα των 84 και 2,1mg/L, αντίστοιχα στην έξοδο.

3.4.4.2. Κοκκινόχωμα

Στην περιοχή αυτή κατασκευάστηκαν δύο ξεχωριστά συστήματα λιμνών σταθεροποίησης από το 1995, εξυπηρετώντας το καθένα πληθυσμό ίσο, με 900 ι.κ.. Στο ένα από αυτά μελετήθηκε και διαπιστώθηκε ότι η κατασκευή ήταν ανακόλουθη με τον σχεδιασμό, ενώ και οι δυο διαφέρανε από τις βέλτιστες τιμές της μεθοδολογίας σχεδιασμού που προτείνεται από τον Mara (1998).



Σχήμα 3.6 Διάταξη των λιμνών στην περιοχή Κοκκινόχωμα

Ειδικότερα, διαπιστώθηκε ότι η αρχική συγκέντρωση BOD του σχεδιασμού ήταν η μισή (200 έναντι 400 mg/L) της πραγματικής τιμής, με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν μικρότερου όγκου λίμνες. Επίσης, οι δυο τελευταίες λίμνες ωρίμανσης δεν λειτουργούσαν λόγω υπεράντλησης από τους αγρότες, δίχως να γνωρίζουν τους κινδύνους που εγκυμονούν τα μερικώς επεξεργασμένα απόβλητα. Εν μέρει η κατάσταση αυτή οφείλεται στην αστοχία προσδιορισμού της μέσης ημερίσιας παροχής, η οποία έφθανε μόλις τα 50m³, ενώ ο σχεδιασμός ήταν 135 m³. Από την άλλη πλευρά, όμως, αυτό επέφερε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής με αποτέλεσμα την καλύτερη απόδοση του συστήματος! Η ποιότητα εκροής ήταν για 95, 91,77, 68 και 49% απομάκρυνση για BOD, SS, COD TN και

ΤΡ, δηλαδή κυμαινόταν στα επίπεδα απομάκρυνσης ενός πολυδάπανου συμβατικού συστήματος. [22]

3.4.4.3. Σύμη

Το 1999 είχε αναφερθεί ο σχεδιασμός της μεγαλύτερης εγκατάστασης λιμνών σταθεροποίησης στην Ελλάδα στην νήσο Σύμη. Ο εξυπηρετούμενος ισοδύναμος πληθυσμός ήταν 3.000 το χειμώνα και 10.000 τους θερινούς μήνες. Ο σχεδιασμός πρότεινε τον ίδιο απαιτούμενος όγκος και για τις δυο εποχές, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι. Ωστόσο, η τελική επιλογή ήταν ένα σύστημα ενεργού ιλύος, παρόλο που μια τέτοια λύση θα μπορούσε είτε να αποδειχθεί αναποτελεσματική, ή ακόμη και να διακοπεί η λειτουργία της (όπως συνέβη σε πλήθος ανάλογων μικρών εγκαταστάσεων) εξαιτίας της μικρής δυνατότητας του μικρού αυτού νησιού να παράσχει κατάλληλη λειτουργία και συντήρηση. Αυτό, αποτελεί ένα ακόμη παράδειγμα που η πολιτική βούληση διάκειται δυσμενώς στην εφαρμογή τους.

3.4.5. Συμπεράσματα

Η εφαρμογή συστημάτων λιμνών σταθεροποίησης είναι δυνατόν να αποτελέσει κατάλληλη και βιώσιμη μέθοδο επεξεργασίας των λυμάτων. Ακόμη και αυτές οι εγκαταστάσεις με ανορθόδοξο σχεδιασμό ή μηδενική συντήρηση έχουν ικανοποιητική απόδοση και ποιότητα εκροής, ενώ οι συμβατικές εγκαταστάσεις με τέτοιες συνθήκες θα είχαν αποτύχει. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά αν και χρειάζονται μικρή συντήρηση σε σχέση με άλλα συστήματα, εντούτοις αυτό δεν σημαίνει ότι δεν απαιτείται φροντίδα στην λειτουργία τους. Επιπλέον, η εμπειρία δείχνει ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων και προσεκτική επιτόπια εκτίμηση. Ταυτόχρονα, τα συστήματα αυτά αν και χρειάζονται μικρή συντήρηση σε σχέση με άλλα συστήματα, εντούτοις αυτό δεν σημαίνει ότι δεν απαιτείται φροντίδα στην λειτουργία τους.

Γενικά, όπου εφαρμόστηκαν λίμνες σταθεροποίησης για την επεξεργασία των λυμάτων, τα συστήματα αυτά έδειξαν ιδιαίτερα αξιοπιστία και συνέπεια όσο αφορά την ποιότητα εκροής και σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος τους, αποτελούν μια αποτελεσματική λύση, ιδιαίτερα όταν το κόστος γης είναι χαμηλό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

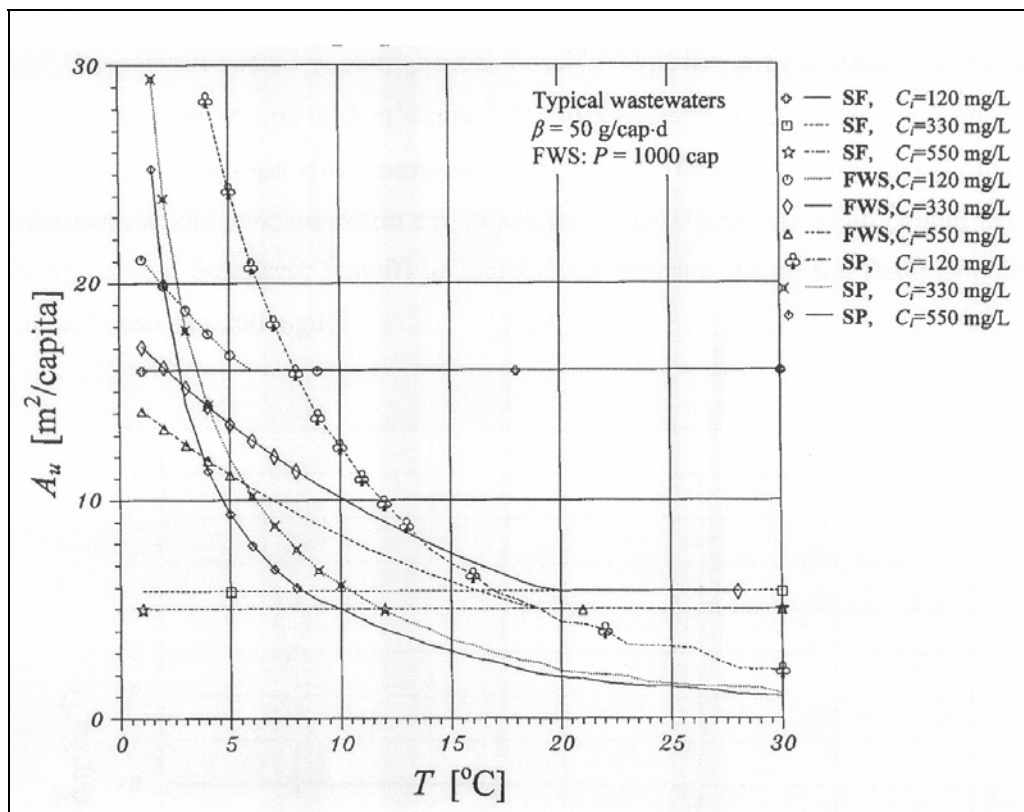
- 4.1. Σύγκριση λιμνών σταθεροποίησης και τεχνητών υδροβιοτόπων
- 4.2. Σύγκριση της εφαρμοσιμότητας των φυσικών συστημάτων ανά περιοχή της Ελλάδας
- 4.3. Σύγκριση κόστους
 - 4.3.1. Κόστος κατασκευής
 - 4.3.2. Κόστος λειτουργίας
 - 4.3.3. Κόστος χημικών
 - 4.3.4. Κόστος ενέργειας
 - 4.3.5. Συνολικό κόστος της εγκατάστασης

4.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΙΜΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΩΝ

Η συγκριτική αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων φυσικών συστημάτων παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον. Γίνεται προσπάθεια να παρουσιαστούν τα σημεία όπου γίνεται πιο προσιτή η κάθε τεχνική, καθορίζονται τα όρια εντός των οποίων η κάθε μέθοδος είναι εφαρμόσιμη και γίνεται μια ανάλυση ευαισθησίας για όλο το εύρος θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων εισροής. Η πηγή [11] είναι χαρακτηριστική της ανάλυσης ευαισθησίας της απαιτούμενης έκτασης ανά κάτοικο των υδροβιότοπων επιφανειακής και υποεπιφανειακής ροής και των λιμνών σταθεροποίησης που παρέχουν δευτεροβάθμια επεξεργασία για διάφορες τιμές συγκέντρωσης φορτίου BOD της εισροής. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει την προκαταρκτική σύγκριση και την ταχεία πρώτη εκτίμηση της αποδοτικότητας κάθε μεθόδου.

Το σχήμα που παρουσιάζεται παρακάτω δείχνει γραφικά την μεταβολή της απαιτούμενης έκτασης ανά κάτοικο στα συστήματα φυσικών υδροβιότοπων (επιφανειακής και υποεπιφανειακής ροής) και λιμνών σταθεροποίησης για τυπική συγκέντρωση εισροής BOD C_i (mg/L) σε διάφορες τιμές του εύρους 120-550 mg/L και ημερήσια παραγωγή ανά κάτοικο ίση με 50 g/l.k.d. Ο σχεδιασμός των φυσικών συστημάτων γίνεται για πληθυσμό ίσο με 1000 ισοδυνάμους κατοίκους. Το σύστημα των λιμνών εμπεριέχει μια αερόβια, μια επαμφοτερίζουσα ακολουθούμενη από μία ή και περισσότερες λίμνες ωρίμανσης.

Από την συγκριτική αντιπαράθεση της μεταβολής της απαιτούμενης επιφάνειας για κάθε τύπο συστήματος και εισερχόμενης συγκέντρωσης σε σχέση με την θερμοκρασία, προκύπτει ότι για ψυχρά κλίματα οι υδροβιότοποι και ειδικότερα οι υδροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής ευνοούνται για αυξημένες συγκεντρώσεις και μικρές διαφορές μεταξύ χειμερινού και θερινού πληθυσμού. Επομένως, σε περιοχές όπου παρατηρούνται υψηλές τιμές της συγκέντρωσης BOD και σε περιοχές με εύκρατο ή ψυχρό κλίμα και σχετικά σταθερό πληθυσμό, οι τεχνητοί υδροβιότοποι αποτελούν μια προσιτή λύση.

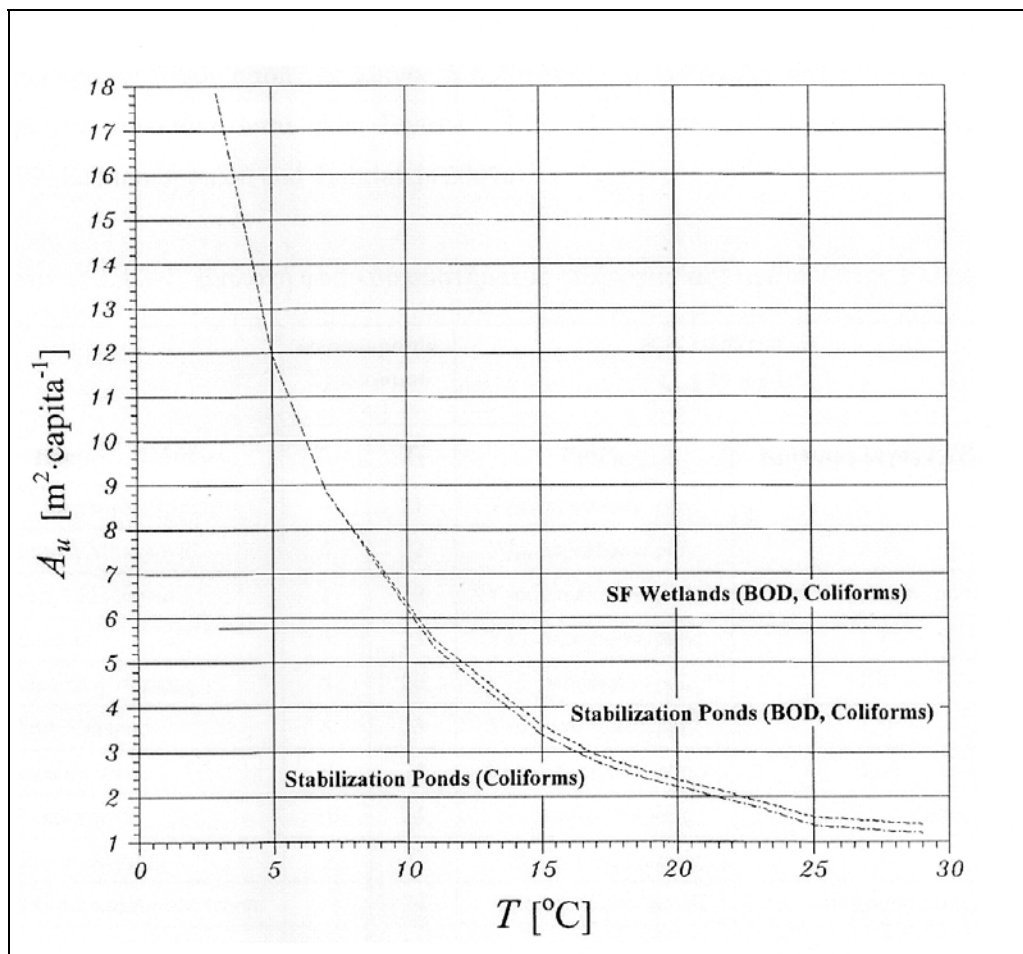


Σχήμα 4.1 Απαιτούμενη έκταση ανά κάτοικο των υδροβιοτόπων υποεπιφανειακής (SF) και επιφανειακής ροής (FWS) και των λιμνών σταθεροποίησης (SP), για φόρτιση ίση με $50 \text{ g/ι.κ.} \cdot \text{d}$

4.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Τα φυσικά συστήματα από την φύση τους αυξάνουν την απόδοσή τους στους θερινούς μήνες. Η ιδιότητά τους αυτή αντισταθμίζει την αύξηση του λόγου $\Pi_{\text{θερους}}/\Pi_{\text{χειμωνα}}$ και σε συνδυασμό με το εύκρατο κλίμα που επικρατεί δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων με χρήση φυσικών συστημάτων (τεχνητούς υγροβιότοπους και λίμνες σταθεροποίησης). Για την εξεύρεση της καταλληλότερης μεθόδου για κάθε κλιματική περιοχή της χώρας μας, απλοποιείται το προηγούμενο γράφημα, γίνεται η παραδοχή των τυπικών τιμών συγκέντρωσης και φόρτισης ανά κάτοικο και εξετάζονται οι επιφανειακές απαιτήσεις των υγροβιότοπων υποεπιφανειακής ροής και λιμνών σταθεροποίησης. Το σύστημα επιφανειακής ροής δεν λαμβάνεται υπόψιν καθότι η απαιτούμενη έκταση είναι πάντοτε υψηλότερη από την αντίστοιχη του συστήματος υποεπιφανειακής ροής.

Στην ανάλυση που παρουσιάζεται στην πηγή [11], θεωρούνται τυπικά χαρακτηριστικά αστικών λυμάτων στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η ημερήσια ροή ανά κάτοικο θεωρείται ίση με $0,15 \text{ m}^3/\text{i.k.}\cdot\text{d}$, η συγκέντρωση της εισροής θεωρείται ίση με 330 mg/L και η μικροβιακή φόρτιση ίση με $10^8/100\text{mL}$. Για τον υγροβιότοπο υποεπιφανειακής ροής γίνεται η θεώρηση ότι τα λύματα υποβάλλονται σε πρωτοβάθμια επεξεργασία, π.χ. με την βοήθεια της δεξαμενής Imhoff με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του BOD εισροής να μειώνεται στα 200 mg/L .



Σχήμα 4.2. Ανηγγόμενη απαιτούμενη έκταση των φυσικών συστημάτων σε σχέση με τα κριτήρια σχεδιασμού [11]

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά, κατασκευάζεται το πιο πάνω γράφημα. Σε αυτό διαπιστώνεται ότι οι λίμνες σταθεροποίησης απαιτούν μικρότερες εκτάσεις γης πάνω από 10,5 βαθμούς οC περίπου. Αντίθετα, κύριο μειονέκτημα τους είναι οι μεγάλες ανάγκες για έκταση σε μικρές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να καθίστανται ουσιαστικά ακατάλληλη μέθοδος για ψυχρές περιοχές. Συγχρόνως, πιστοποιείται η μικρή διαφορά της απαιτούμενης έκτασης για τις τυπικές τιμές σχεδιασμού.

Προκειμένου να γίνει μια πρώτη εκτίμηση για την καταλληλότητα της κάθε τεχνικής στις διάφορες περιοχές της χώρας μας, χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχες μηνιαίες θερμοκρασίες από το 1977 μέχρι το 1994. Στην συνέχεια, οι πόλεις κατανεμήθηκαν σε 12 περιοχές ώστε η τυπική απόκλιση των θερμοκρασιών θέρους και χειμώνα να είναι

μικρότερη του 1°C. Η αντίστοιχη θερμοκρασία σχεδιασμού της λίμνης ή δεξαμενής παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1 Εφαρμοσιμότητα ανά περιοχή της Ελλάδας υποεπιφανειακής ροής υδροβιοτόπων και λιμνών σταθεροποίησης ανάλογα με τον λόγο πληθυσμού

Περιοχές Ελλάδας	Θερμοκρασία σχεδιασμού		Ne≤1000/100 mL Ce≤30 mg/L	
	T _{χειμώνα} (°C)	T _{θέρους} (°C)	Π _{θέρους} =Π _{χειμώνα}	Κρίσιμος λόγος Π _{θέρους} /Π _{χειμώνα}
Αν.Μακεδονία/Θράκη	4	21	Υγρ.υποεπιφ. ροής	2,5
Κεντρική Μακεδονία	5	22	Υγρ.υποεπιφ. ροής	2,0
Δυτική Μακεδονία	1	19	Υγρ.υποεπιφ. ροής	Υγρ.υποεπιφ. ροής
Ηπειρωτική Ήπειρος	5	20	Υγρ.υποεπιφ. ροής	2,0
Πεδινή Ήπειρος	8	23	Υγρ.υποεπιφ. ροής	1,3
Θεσσαλία	6	23	Υγρ.υποεπιφ. ροής	1,7
Στέρεα Ελλάδα	9	24	Υγρ.υποεπιφ. ροής	1,3
Πελοπόννησος	10	24	Λ.σταθερ/σης	Λ.σταθερ/σης
Νησιά Β. Αιγαίου	9	22	Υγρ.υποεπιφ. ροής	1,1
Κυκλάδες και Δωδεκάνησα	11	24	Λ.σταθερ/σης	Λ.σταθερ/σης
Ιόνια νησιά	11	23	Λ.σταθερ/σης	Λ.σταθερ/σης
Κρήτη	12	24	Λ.σταθερ/σης	Λ.σταθερ/σης

Το σχήμα 4.2 χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της απαιτούμενης επιφάνειας ανά κάτοικο των τεχνητών υδροβιοτόπων και λιμνών σταθεροποίησης για κάθε θερμοκρασία σχεδιασμού. Από την εικόνα αυτή μπορεί να εκτιμηθεί η τιμή της απαιτούμενης έκτασης ανά κάτοικο που απαιτείται για την αφαίρεση BOD και κολοβακτηριδίων, η οποία είναι σταθερή και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας, ίση με 5,8 m²/i.κ.. Όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως, η κρίσιμη θερμοκρασία πάνω από την οποία οι λίμνες σταθεροποίησης έχουν πιο μικρές απαιτήσεις έκτασης είναι ίση με 10,5 °C περίπου. Αλλά, και σε περιοχές με αυξημένο τουρισμό οι λίμνες

σταθεροποίησης είναι πιο συμφέρουσες ακόμα και με θερμοκρασίες χειμώνα πιο χαμηλές από την κρίσιμη (10,5 °C), αν επαληθεύονται οι παρακάτω δυο ανισότητες:

$$Au_{\text{Θέρος}} \leq 5,8$$

και

$$\frac{\Pi_{\text{Θέρος}}}{\Pi_{\text{Χειμώνα}}} \geq \frac{Au_{\text{Χειμώνα}}}{5,8}$$

όπου Au είναι η απαιτούμενη έκταση ανά κάτοικο των λιμνών σταθεροποίησης.

Από την τελευταία εξίσωση μπορεί να εκτιμηθεί ο κρίσιμος λόγος του θερινού προς τον αντίστοιχο χειμερινό πληθυσμό, πάνω από τον οποίο τα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης έχουν τις μικρότερες απαιτήσεις σε γη, για κάθε περιοχή. Συνεπώς, στον προηγούμενο πίνακα περιοχές για τις οποίες ισχύει ότι $T_{\text{Χειμώνα}} \geq 10^{\circ}\text{C}$ επιλέγονται τα συστήματα των λιμνών σταθεροποίησης ανεξαρτήτως της εποχιακής διακύμανσης. Για τις υπόλοιπες περιοχές, η επιλογή γίνεται βάσει του λόγου $\Pi_{\text{Θέρος}}/\Pi_{\text{Χειμώνα}}$. Αξίζει να επισημανθεί στο σημείο αυτό ότι όταν οι λίμνες σταθεροποίησης έχουν τις μικρότερες απαιτήσεις γης είναι πιθανόν να αποτελούν και το πιο οικονομικό σύστημα. Ωστόσο, το αντίθετο δεν συμβαίνει εφόσον οι κατασκευή και η λειτουργία των είναι απλούστερη και το επιπλέον κόστος γης μπορεί να μην υπερβαίνει τα υψηλά κόστη κατασκευής και λειτουργίας των συστημάτων τεχνητών υγροβιοτόπων. [11]

4.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Κατά τεκμήριο, τα στοιχεία κόστους που υπάρχουν στην ξένη βιβλιογραφία είναι μη εφαρμόσιμα στην ελληνική πραγματικότητα. Και αυτό διότι βασίζονται σε διαφορετικές συνθήκες οικονομικές και τεχνικές, με αποτέλεσμα στην πράξη να μην είναι αξιόπιστα. Ωστόσο, τα τελευταία έτη εξαιτίας της εμπειρίας που αποκτείται συν τω χρόνω από την διαχείριση των υγρών αστικών αποβλήτων, έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες προς την κατεύθυνση της συλλογής στοιχείων από ήδη υπάρχουσες μονάδες. [9],[19]. Τα στοιχεία αξιολογούνται και αναλύονται σε επιμέρους δαπάνες της εγκατάστασης, που αφορούν κατασκευαστικά θέματα, την λειτουργία και συντήρηση της μονάδας, τους μισθούς των εργαζομένων, την κατανάλωση ενέργειας, την αγορά χημικών ειδών, την αγορά γης και την αποπληρωμή των δανείων.

Μια από τις πρώτες προσπάθειες για την συλλογή στοιχείων που συμβάλλουν στην ταχεία οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων στην χώρα μας παρουσιάζεται στην πηγή [9]. Στην εν λόγω πηγή, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των συνολικών και των επιμέρους δαπανών έξι τύπων συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων (ενεργού ιλύος ΕΙ, παρατεταμένου αερισμού ΠΑ και δίσκων οξείδωσης ΔΟ, είτε με κλίνες ξήρανσης ΚΞ ή με μηχανική αφυδάτωση ΜΑ) και δυο φυσικών συστημάτων (λίμνων σταθεροποίησης και υποεπιφανειακής ροής υγροβιοτόπων).

Όσο αφορά τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, όλες οι μέθοδοι διαθέτουν ένα στάδιο προκαταρκτικής επεξεργασίας. Τα συμβατικά συστήματα διαθέτουν σύστημα χλωρίωσης για απολύμανση. Οι λίμνες σταθεροποίησης περιλαμβάνουν μια αναερόβια, μια επαμφοτερίζουσα και δυο λίμνες ωρίμανσης στην σειρά. Τα συστήματα τεχνητών υγροβιοτόπων διαθέτουν μια δεξαμενή Imhoff και υποεπιφανειακής ροής κλίνες καλαμιών.

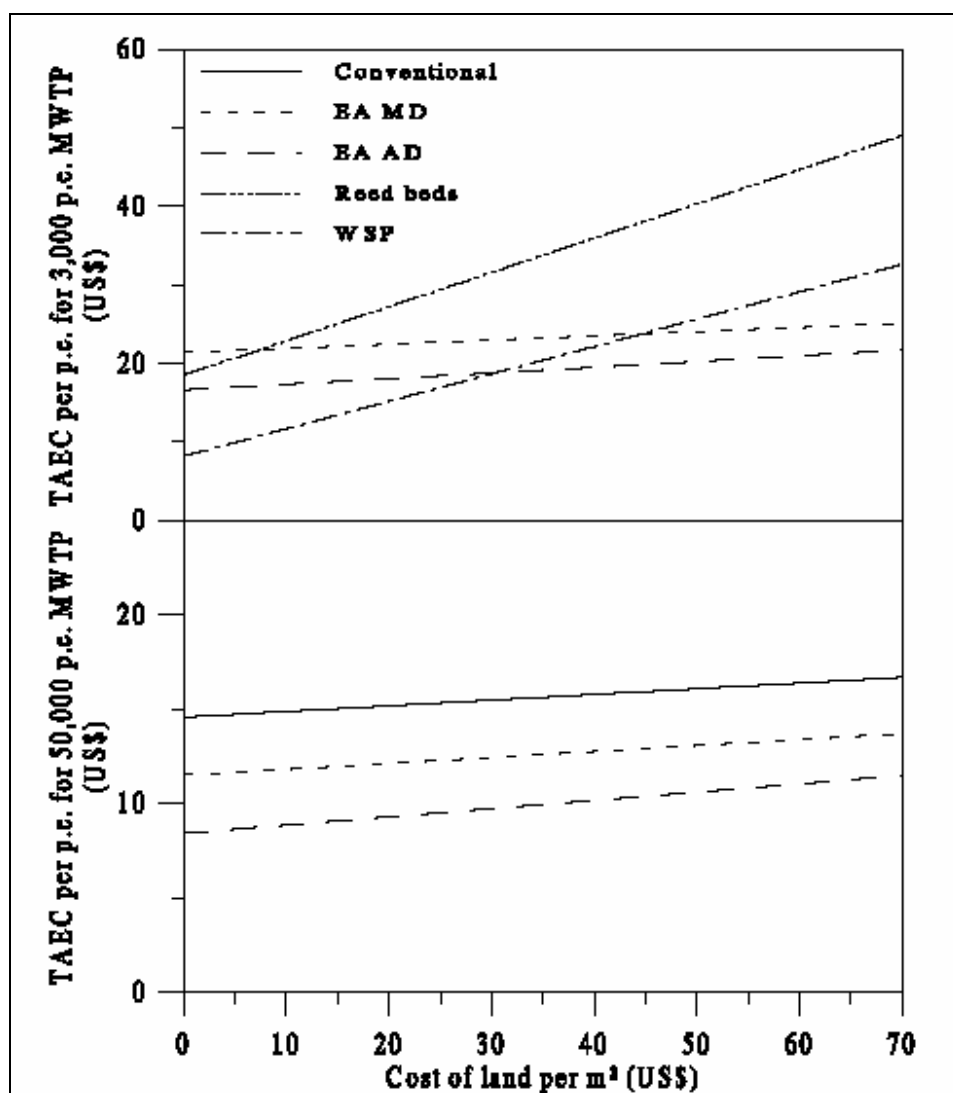
Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι το κόστος κατασκευής υπολογίζεται για περίοδο 3 ετών, οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για περίοδο λειτουργίας ίση με 40 έτη. Επιπλέον, όλες οι ταμειακές ροές μετατρέπονται σε σημερινή αξία με επιτόκιο ίσο με 6%. Το κόστος γης λαμβάνεται ίσο με 1.500 €/στρέμμα. Για κάθε περίπτωση υπολογίζονται οι συναρτήσεις του συνολικού κόστους σε σχέση με την δυναμικότητα της μονάδας, καθώς και οι συναρτήσεις κατασκευαστικού κόστους, δαπανών λειτουργίας, προμήθειας χημικών ειδών και κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος,

όλες οι δαπάνες ανάγονται σε κόστος ανά ισοδύναμο κάτοικο και συσχετίζονται με την δυναμικότητα της μονάδος.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προαναφερθείσα ανάλυση έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και παρουσιάζονται υπό την μορφή εξισώσεων για συγκεκριμένο εύρος τιμών της εισερχόμενης παροχής. Στην παρούσα εργασία κρίθηκε σκόπιμη η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων όπου δίδεται μια πιο σαφής εικόνα της οικονομίας κλίμακος που επιτυγχάνεται κάθε φορά και καθορίζεται το εύρος τιμών για το οποίο η μια τεχνολογία είναι πιο οικονομικά συμφέρουσα από μια άλλη.

4.3.1. Συνολικό κόστος της εγκατάστασης

Ενδεικτική πηγή όπου αναφέρεται το ύψος του συνολικού κόστους της εγκατάστασης είναι η πηγή [19]. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η μεταβολή του συνολικού μέσου ισοδυνάμου κόστους (TAEC) της εγκατάστασης τόσο για 3 τύπους συμβατικών εγκαταστάσεων, όσο και για δύο τύπους φυσικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται το ισοδύναμο κόστος ανά κάτοικο (\$/ι.κ) με βάση το κόστος γης (\$/m²), όσο και με βάση το επιτόκιο.

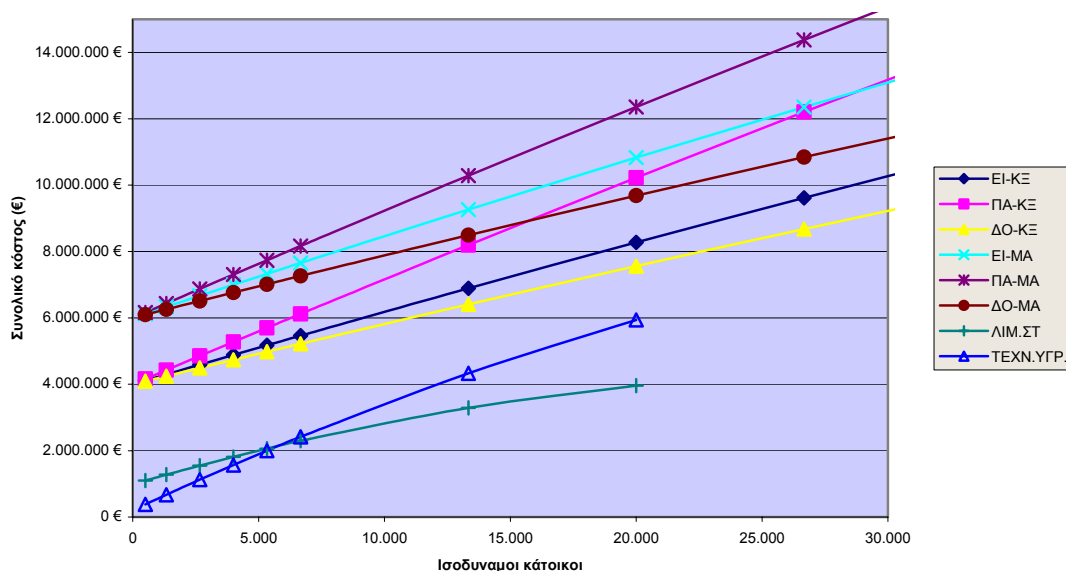


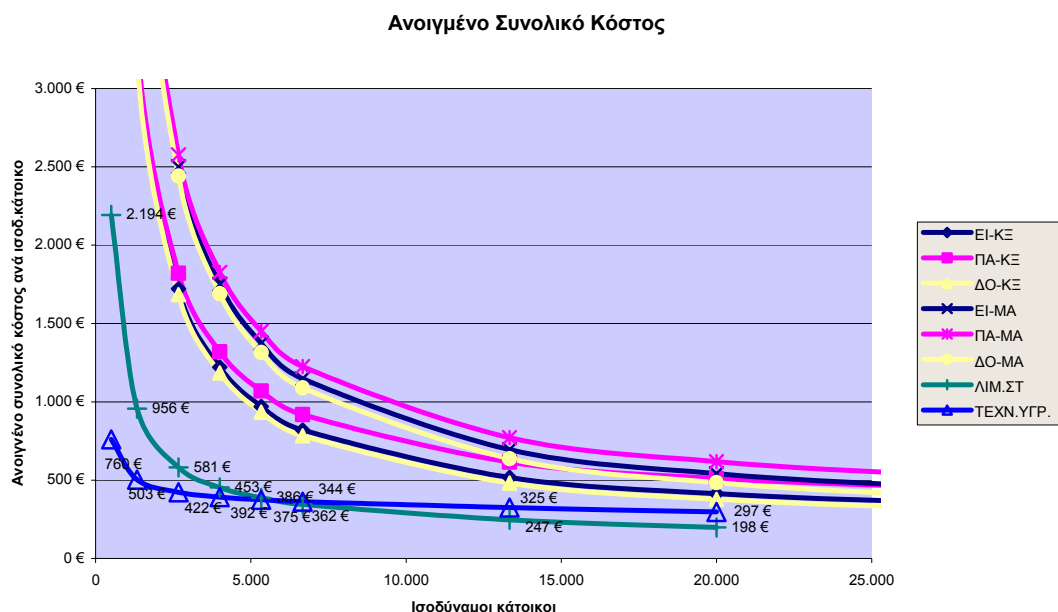
Σχήμα 4.3 Μεταβολή του ολικού μέσου ετησίου κόστους ανά τύπο εγκατάστασης [19]

Από το παραπάνω γράφημα διαπιστώνεται ότι για πληθυσμό ίσο με 3000 οι λίμνες σταθεροποίησης παρουσιάζουν μικρότερο συνολικό μέσο ισοδύναμο κόστος. Κυρίως αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος κατασκευής των λιμνών σταθεροποίησης.

Ωστόσο, ενδιαφέρουσα είναι και η εργασία της πηγής [9] πάνω σε αυτό το θέμα. Στην πηγή αυτή πιστοποιείται επίσης χαμηλότερο ετήσιο κόστος για τις λίμνες σταθεροποίησης, αλλά μόνο για οικισμούς άνω των 5000 κατοίκων. Η συγκεκριμένη πηγή δίνει και τα πιθανά κόστη κατασκευής, συντήρησης, χημικών και ενέργειας.

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ





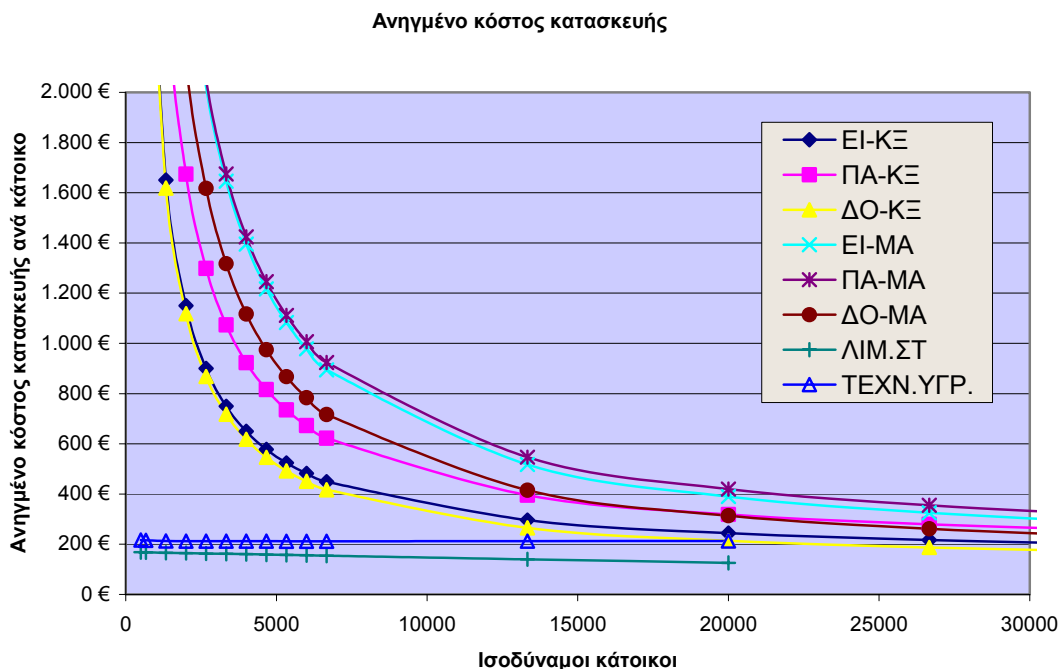
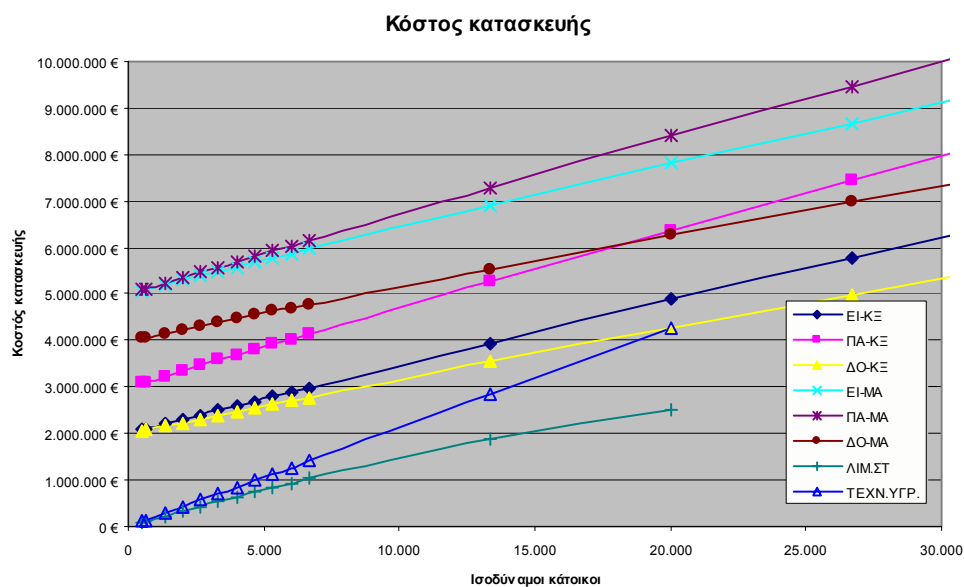
Τα παραπάνω γραφήματα είναι ενδεικτικά και δεν ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις εγκαταστάσεων όπου τα απρόβλεπτα έξοδα, είναι δυνατόν να οδηγήσουν το κόστος μιας εγκατάστασης αρκετά εκτός της καμπύλης, εντούτοις παρέχουν μια πρώτη ένδειξη της κατάστασης. Ειδικότερα:

- Διαπιστώνεται αναντιστοιχία ανάμεσα στις δύο πηγές [9] και [19] ως προς το ολικό μέσο ισοδύναμο ετήσιο κόστος των φυσικών συστημάτων. Στην πηγή [19] πιστοποιείται μεν χαμηλότερο ετήσιο κόστος για τις λίμνες σταθεροποίησης, αλλά μόνο για οικισμούς άνω των 5000 κατοίκων. Σύμφωνα με συζητήσεις που έγιναν με μελετητές, διατυπώθηκε αμφιβολία για το εάν οι υγροβιότοποι έχουν χαμηλότερες δαπάνες, ειδικά στον τομέα της συντήρησης και επομένως μάλλον θεωρείται ίσως πιο αντιπροσωπευτικό το αρχικό διάγραμμα. Εξαιτίας του ότι το κόστος μιας εγκατάστασης εξαρτάται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά του σχεδιασμού, σε κάθε περίπτωση είναι καλό να ερευνηθεί ο αναλυτικός υπολογισμός των επιμέρους δαπανών.
- Για μικρούς πληθυσμούς, διαπιστώνεται το πλεονέκτημα των φυσικών συστημάτων έναντι όλων των τύπων συμβατικών συστημάτων. Ιδιαίτερα, για μικρούς οικισμούς η λύση των συμβατικών συστημάτων γίνεται στην πράξη μη

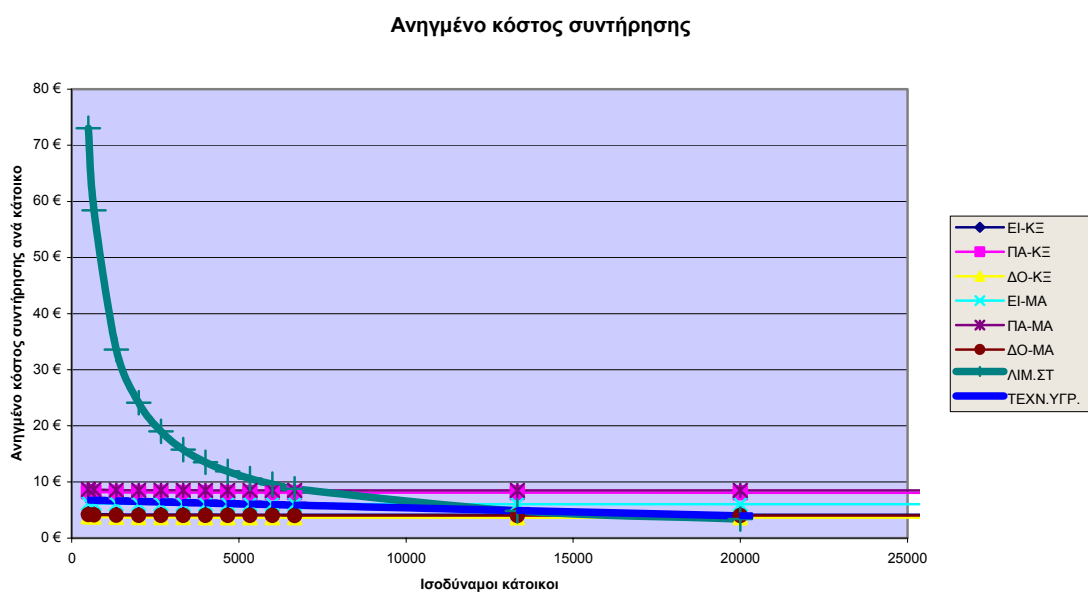
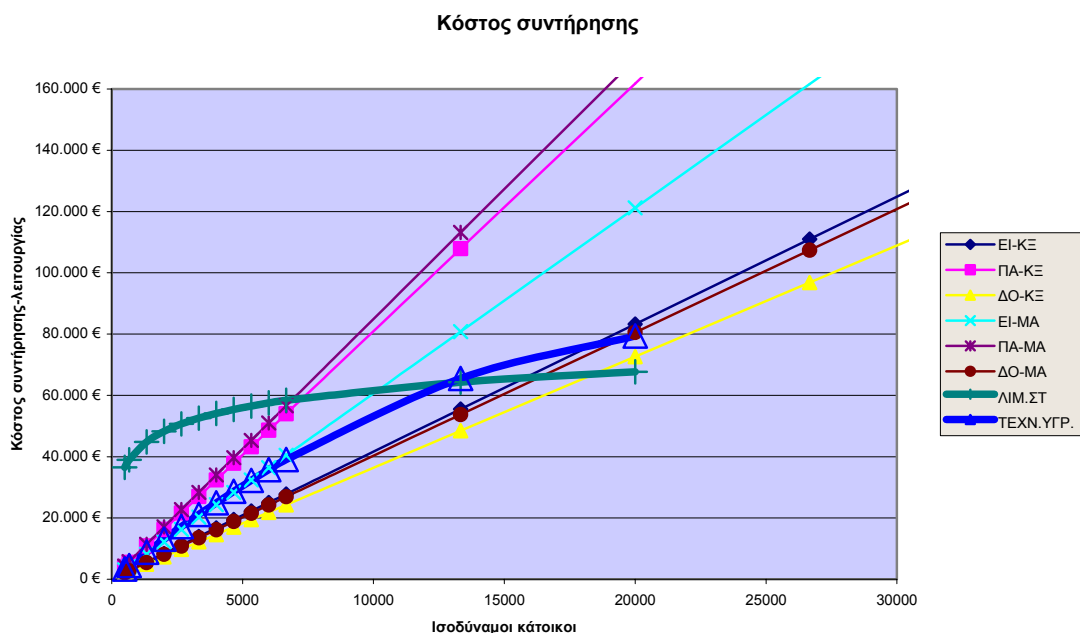
εφαρμόσιμη, καθώς οι δαπάνες ανά ισοδύναμο κάτοικο φθάνουν τα επίπεδα των 7000€/ι.κ.

- Όσο αφορά τα συμβατικά συστήματα, η επιλογή του συστήματος μηχανικής αφυδάτωσης οδηγεί σε σαφώς υψηλότερες συνολικές δαπάνες εν συγκρίσει με την λύση των κλινών ξηράνσεως, εξαιτίας του μεγαλύτερου κόστους κατασκευής.
- Παράλληλα, τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού φέρονται να διαθέτουν τις μεγαλύτερες συνολικές απαιτήσεις, ενώ σε δεύτερη θέση έρχονται τα συστήματα ενεργού ιλύος.

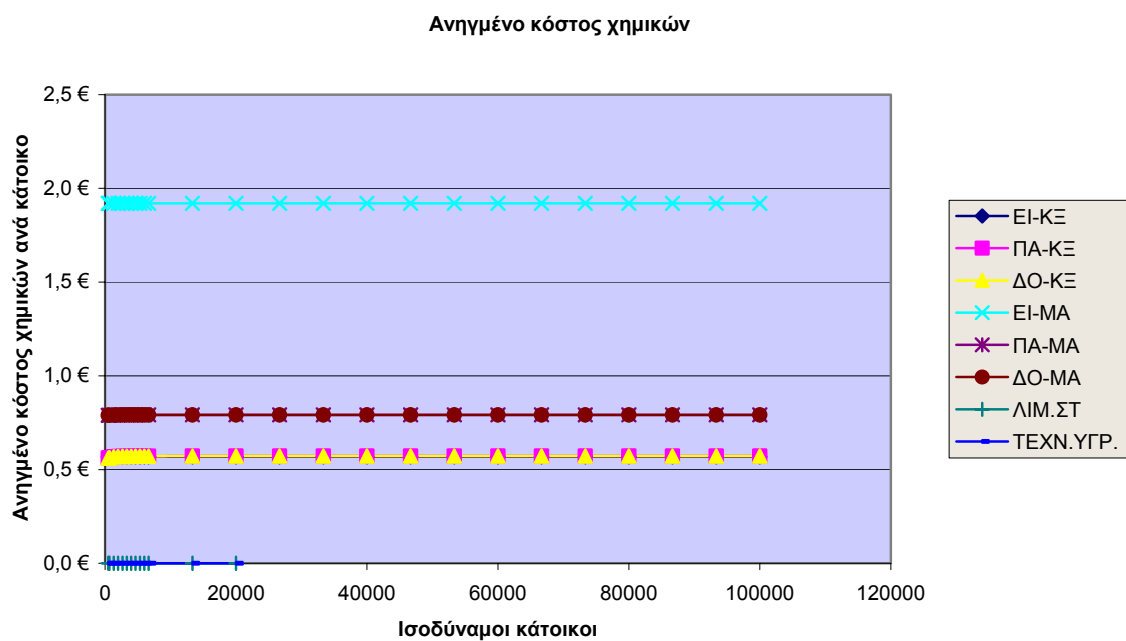
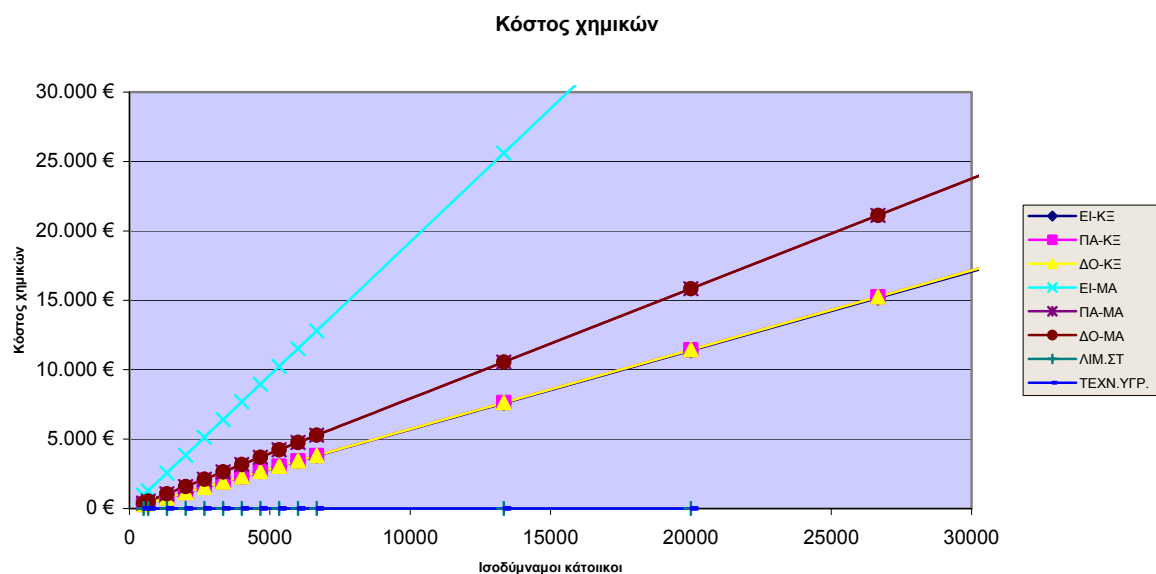
4.3.2. Κόστος κατασκευής



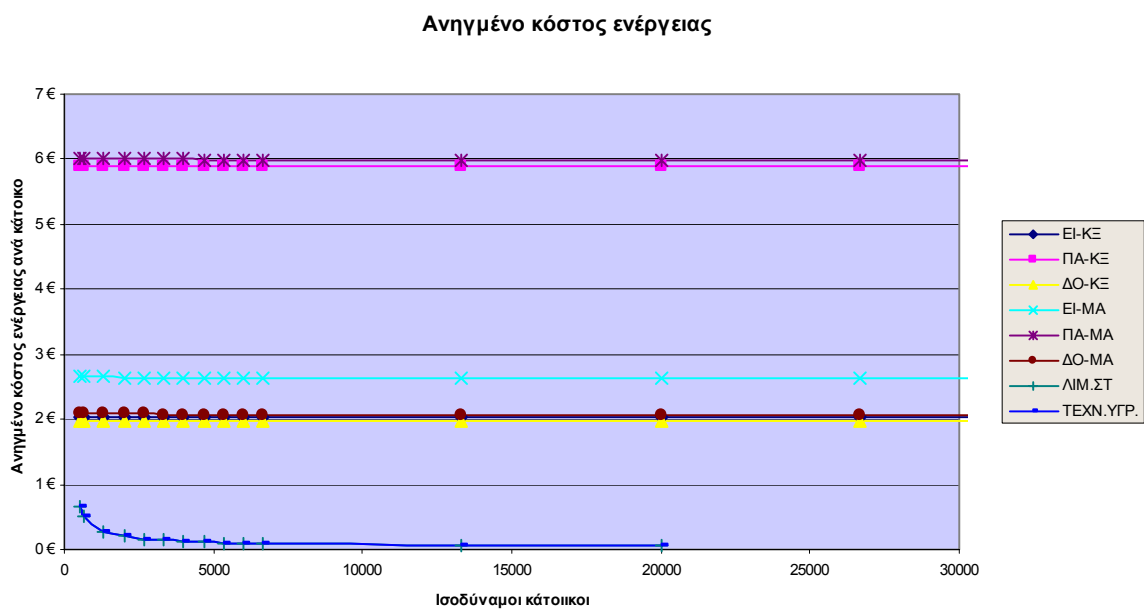
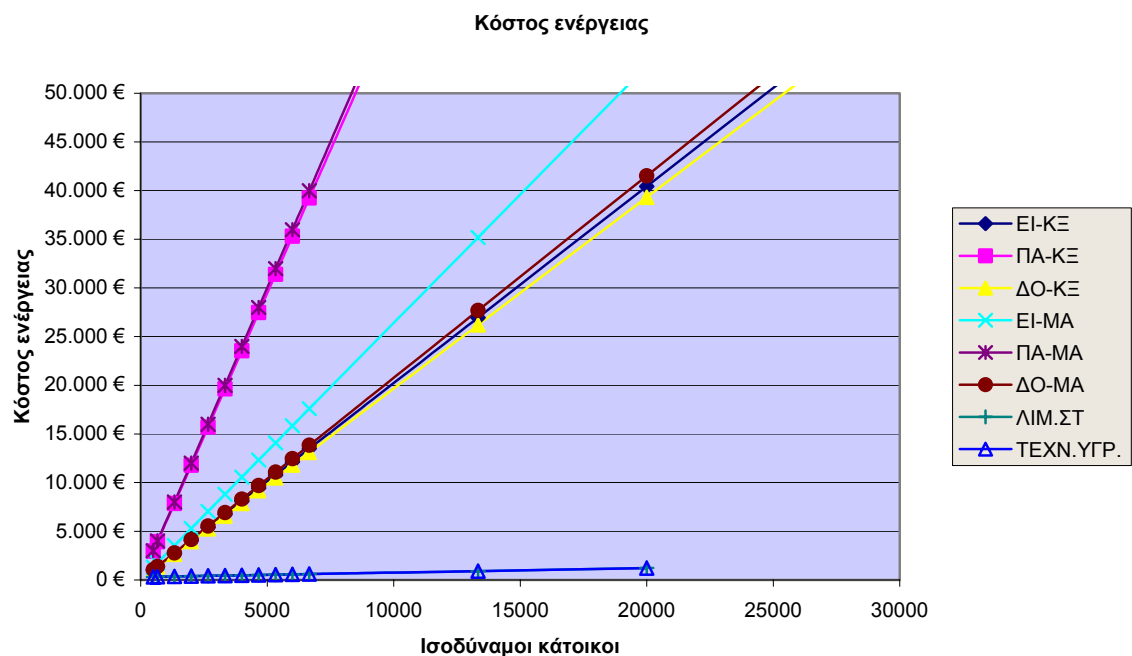
4.3.3. Κόστος λειτουργίας- συντήρησης



4.3.4. Κόστος χημικών



4.3.5. Κόστος ενέργειας



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

- 5.1. Ειδικό διαχειριστικό σύστημα επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων
 - 5.1.1. Περιγραφή του ειδικού διαχειριστικού συστήματος
 - 5.1.2. Μοντέλα και αλληλεπιδράσεις
 - 5.1.3. Διάγραμμα προτεραιοτήτων
- 5.2. Μοντέλο ρύπανσης ποταμών
- 5.3. Μέθοδος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής FAO Penmann-Monteith
 - 5.3.1. Προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς
 - 5.3.2. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ETc)
 - 5.3.3. Συντελεστής καλλιέργειας Kc

5.1. ΕΙΔΙΚΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ

5.1.1. Περιγραφή του ειδικού διαχειριστικού συστήματος

Ο στόχος του διαχειριστικού συστήματος, που παρουσιάζεται στην πηγή [20], είναι να βοηθήσει στην δημιουργία ολοκληρωμένων διαχειριστικών πλάνων, που μεγιστοποιούν την χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς, συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις επεξεργασίας που ισχύουν σε κάθε περιοχή, λαμβάνουν υπόψη τις ανάγκες επεξεργασίας που πηγάζουν από την ποιότητα της εκροής και την ποιότητα των φυσικών αποδεκτών, διαμορφώνουν πρακτικούς κανόνες διαχείρισης και ελαχιστοποιούν τις δαπάνες επεξεργασίας.

Το διαχειριστικό σύστημα είναι εκ φύσεως δυναμικό καθώς οι τιμές σχεδιασμού των δεδομένων εισόδου που εφαρμόζονται στον υπολογισμό των απαιτήσεων άρδευσης, η αφομοιωτική ικανότητα των αποδεκτών και η απόδοση των φυσικών συστημάτων είναι παράμετροι που μεταβάλλονται από μήνα σε μήνα στην διάρκεια του έτους. Υπό τις συνθήκες αυτές, η λύση που θεωρείται ως η πιο κατάλληλη είναι ένα βέλτιστο ετήσιο σχέδιο επεξεργασίας-επαναχρησιμοποίησης-διάθεσης, το οποίο μπορεί να ενέχει την χρήση περισσότερων του ενός αποδεκτή.

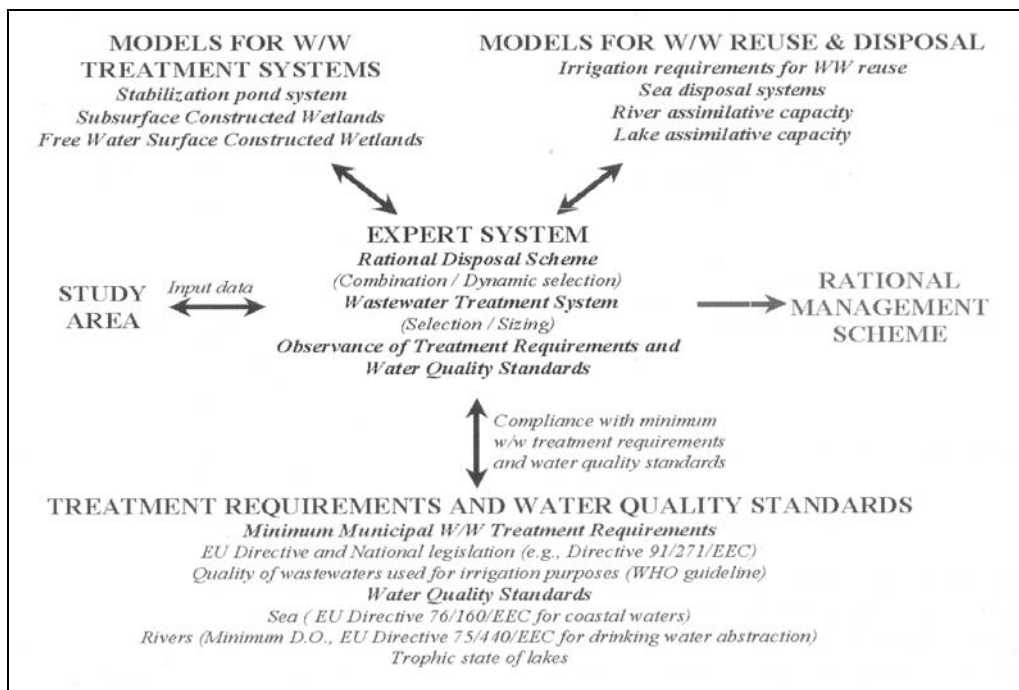
Επομένως, το διαχειριστικό σύστημα λαμβάνει υπόψιν την μεταβολή της θερμοκρασίας σε ετήσια βάση, με αποτέλεσμα η αυξημένη χωρητικότητα του αποδέκτη κατά τους θερινούς μήνες να αντισταθμίζει την αύξηση του πληθυσμού που συμβαίνει συνήθως το καλοκαίρι. Παράλληλα, κατά τους θερινούς μήνες λαμβάνει υπόψιν την αύξηση στην απόδοση των φυσικών συστημάτων και την διακύμανση στις αρδευτικές ανάγκες, ούτως ώστε να ρυθμίσει τις απαιτήσεις επεξεργασίας προκειμένου να επιτυγχάνεται καλή ποιότητα της εκροής ή να δημιουργείται αντίβαρο στην μείωση της αφομοιωτικής ικανότητας του αποδέκτη ποταμού. Ομοίως, τον χειμώνα λαμβάνει υπόψιν την αύξηση της απόδοσης των υποθαλασσιών αγωγών και της χωρητικότητας φορτίου των ποταμών, προκειμένου να αντισταθμιστεί η μειωμένη απόδοση των φυσικών συστημάτων το χειμώνα.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα διαχειριστικό σχέδιο, βασισμένα σε ετήσια βάση, ώστε να επιλέγει και να διαστασιολογεί την πιο κατάλληλη μέθοδο επεξεργασίας και υπολογίζει την απόδοσή του ανά μήνα, προσδιορίζει την μέγιστη έκταση γης που μπορεί να αρδευθεί κάτω από τις τοπικές κλιματικές και εδαφικές συνθήκες και για την επιλεγμένη αρδευόμενη καλλιέργεια, υπολογίζει το υπόλειμμα

επεξεργασμένων λυμάτων σε μηνιαία βάση που προορίζεται για διάθεση στους υπόλοιπους αποδέκτες.

5.1.2. Μοντέλα και αλληλεπιδράσεις

Όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα, προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, το ειδικό διαχειριστικό σύστημα συνεργάζεται με ένα αριθμό μοντέλων για την αναζήτηση του κατάλληλου σχεδιασμού και της απόδοσης πιθανών διαφορετικών φυσικών συστημάτων επεξεργασίας, για τον υπολογισμό των αναγκών άρδευσης, για την διαστασιολόγηση και την εκτίμηση της αποδόσεως των υποθαλασσίων αγωγών, και για την αποτίμηση την αφομοιωτικής ικανότητας των ποταμών ή/και λιμνών. Άξιο προσοχής είναι ότι τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να συνδυάζουν γενικά αξιόπιστες προβλέψεις με ευκολία στην χρήση και μειωμένες απαιτήσεις στοιχείων πεδίου.

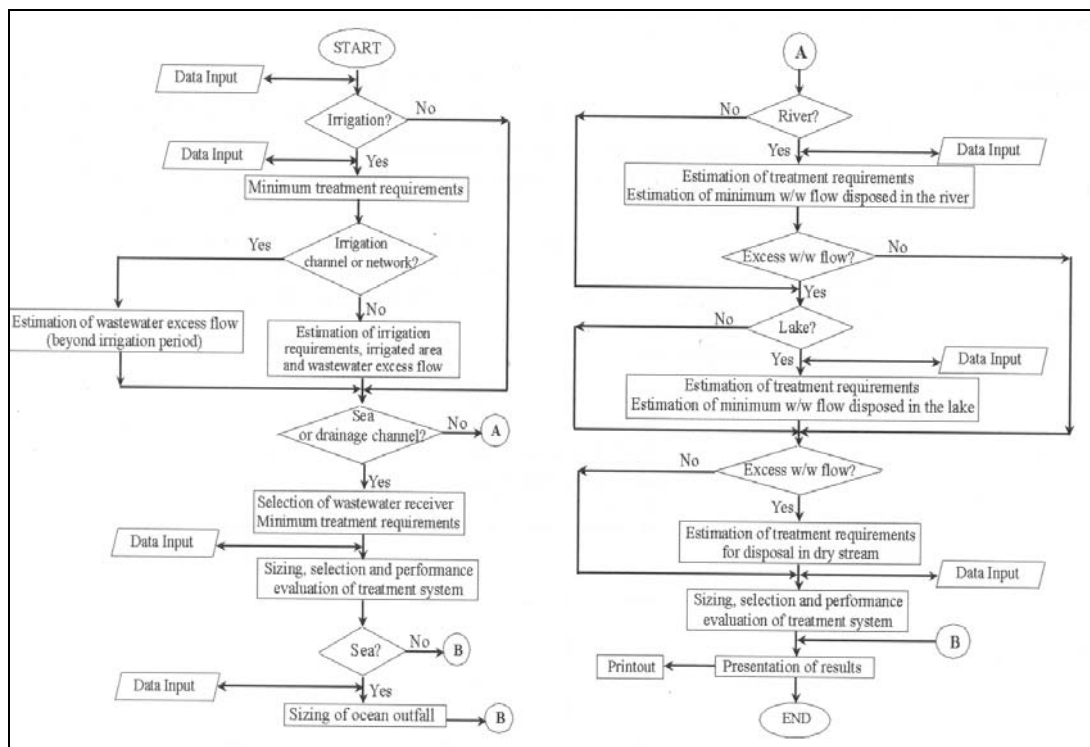


Σχήμα 5.1 Συνεργαζόμενα μοντέλα και αλληλεπιδράσεις του διαχειριστικού συστήματος [20]

5.1.3. Διάγραμμα προτεραιοτήτων

Ένα λογικό **διάγραμμα ροής** που εφαρμόζει τις αλληλεπιδράσεις που περιγράφονται παραπάνω, παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα. Όπως μπορεί να φανεί, η πρώτη προτεραιότητα δίδεται στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για την ανάπτυξη καλλιεργούμενων εκτάσεων. Εάν αυτό είναι εφικτό, το ειδικό διαχειριστικό σύστημα, θέτει τις απαιτήσεις σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία στην διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, και υπολογίζει την

ποσότητα που επαναχρησιμοποιηθεί στην άρδευση. Το τελευταίο εξαρτάται από την υφιστάμενη υποδομή σε συστήματα άρδευσης. Αν οι επεξεργασμένες ποσότητες της εκροής μπορούν να διατεθούν σε αρδευτικά κανάλια ή σε ένα δίκτυο ποτίσματος, μπορεί να υποτεθεί ότι όλη η ποσότητα των επεξεργασμένων λυμάτων επαναχρησιμοποιείται κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου, καθότι οι ποσότητες λυμάτων από μικρούς οικισμούς είναι συνήθως ένα μικρό μόνο κλάσμα των αρδευτικών αναγκών της περιοχής. Κατά την περίπτωση που επιλεγεί ως τρόπος διάθεσης το πότισμα άγονης περιοχής, το διαχειριστικό σύστημα υπολογίζει τις ανάγκες άρδευσης ανά μονάδα επιφάνειας σε μια προσέγγιση μήνα προς μήνα, υπολογίζει την μέγιστη έκταση γης που θα χρειαστεί τον πιο θερμό μήνα και προσδιορίζει τις ποσότητες που απομένουν προς διάθεση στους υπόλοιπους αποδέκτες στους υπόλοιπους μήνες. Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών βασίζεται στα μοντέλα των Penmann (1963) και USDA (1979).



Σχήμα 5.2 Λογικό διάγραμμα ροής του ειδικού διαχειριστικού συστήματος [20]

Για την τελική διάθεση του εναπομείναντος νερού, το ειδικό διαχειριστικό σύστημα, δίδει προτεραιότητα σε εναπόθεση σε τάφρους αποξήρανσης ή σε ανοιχτές θαλάσσιες περιοχές. Και αυτό διότι οι αποδέκτες αυτοί μπορούν να αφομοιώσουν όλη την υπολειπόμενη ροή και είναι γενικά λιγότερο ευαίσθητοι στην μόλυνση από ότι οι ποταμοί και οι λίμνες. Σε περίπτωση όπου και οι δύο αυτοί αποδέκτες είναι διαθέσιμοι, κρίνεται πιο συμφέρουσα η λύση της διάθεσης σε τάφρους αποξήρανσης, καθότι δεν εισάγονται καθόλου επιπλέον κόστη.

Ωστόσο, το σύστημα επεξεργασίας πρέπει να σχεδιαστεί ούτως ώστε να παρέχει εκροή με συγκέντρωση BOD₅ χαμηλότερη των 50 mg/L, προκειμένου να μην επιβαρύνει σημαντικά τις ανοξικές συνθήκες οι οποίες συνήθως υπάρχουν. Σε αυτό το στάδιο το σύστημα δύναται να προχωρήσει στον κατάλληλο σχεδιασμό των εναλλακτικών φυσικών συστημάτων και στην εκτίμηση του εκάστοτε κόστους κατασκευής. Ωστόσο, το επιλεγόμενο σύστημα μπορεί να μην είναι αναγκαστικά το φθηνότερο, αλλά κάποιο διαφορετικό όταν άλλοι λόγοι, όπως κοινωνικοί και λειτουργικοί, το καθιστούν πιο αποτελεσματικό.

Εάν δεν υπάρχουν τάφροι αποστράγγισης, το διαχειριστικό σύστημα αναζητεί λύσεις θαλάσσιας διάθεσης, μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία, σύμφωνα με τις οδηγίες 91/271/ΕΟΚ και 76/160/ΕΟΚ, λαμβάνοντας υπόψιν την απαιτούμενη ποιότητα των νερών όπως και τις απαιτήσεις ελάχιστου μήκους του υποθαλάσσιου αγωγού. Στην περίπτωση αυτή, το διαχειριστικό σύστημα ολοκληρώνει την αποστολή του με την διαστασιολόγηση της δεξαμενής εξισορρόπησης και της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, επιλέγοντας τον κατάλληλο τύπο διάθεσης εκροής (μονής οπής ή με διαχυτήρα) και το σχεδιάζει ώστε να προκαλεί την επιθυμητή αραίωση.

Όταν κανείς από τους παραπάνω αποδέκτες είναι διαθέσιμος, το διαχειριστικό σύστημα δίδει προτεραιότητα στην διάθεση σε ποταμούς. Εάν ένας αποδέκτης ποταμός είναι διαθέσιμος, το σύστημα υπολογίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις επεξεργασίας σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ και την ΚΥΑ 5673/400/97, και συνεχίζει στην εκτίμηση σε μηνιαία βάση της μέγιστης επιτρεπτής παροχής και συγκέντρωσης σε ρυπαντές, BOD και κολοβακτηρίδια, των επεξεργασμένων λυμάτων προς τον ποταμό, σύμφωνα με την αφομοιωτική ικανότητα του τελευταίου. Οι κρίσιμες παράμετροι της ποιότητας του νερού του ποταμού είναι το διαλυμένο οξυγόνο σε αυτό, μιας και είναι απαραίτητο για την επιβίωση των ψαριών, καθώς επίσης τα επίπεδα BOD και μικροβιακής μόλυνσης, σύμφωνα με την οδηγία 75/440/ΕΟΚ στην κατηγορία επιφανειακών υδάτων με προοπτική άντλησης για την χρήση του ως πόσιμο νερό.

Κατά την περίπτωση, όπου οι παραπάνω αποδέκτες δεν δύνανται να παραλάβουν όλο το φορτίο της εκροής, το διαχειριστικό σύστημα θέτει προτεραιότητα στην διάθεση της εναπομένουσας εκροής σε λίμνες. Όταν μια λίμνη είναι διαθέσιμη ως αποδέκτης, το σύστημα υπολογίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις επεξεργασίας σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/97 και την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, και χρησιμοποιείται το μοντέλο του Vollenweider (1976) ή των Cierka et al. (1979) ούτως ώστε να προσδιοριστεί το κρίσιμο ετήσιο φορτίο ολικού φωσφόρου το οποίο δύναται να παραλάβει η λίμνη με βάση το επιθυμητό επίπεδο ευτροφισμού της

λίμνης. Από αυτό το τελευταίο υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπτή παροχή επεξεργασμένων λυμάτων προς την λίμνη σε ετήσια βάση. Αν υπάρχει ακόμη υπόλειμμα νερού, το σύστημα προβλέπει την εξέταση της διάθεσης σε ξηρά ρέματα ή στο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή, επιδιώκεται ποιότητα εκροής σύμφωνα με τις Υγειονομικές Διατάξεις Ε1β/3161/61 (ΦΕΚ 444/Β/18-12-61), και Ε1β/221/65 των Υπουργών Εσωτερικών και Υγείας, καθώς και την οδηγία του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (1989).

Απαξ το πρόβλημα της διάθεσης επιλυθεί με την ιεραρχημένη επιλογή ενός ή περισσοτέρων αποδεκτών όπως περιγράφηκε πιο πάνω, το διαχειριστικό σύστημα ανακεφαλαιώνει όλες τις απαιτήσεις επεξεργασίας και ποιότητας εκροής που έχουν προκύψει για κάθε στάδιο και για κάθε μήνα και επιλέγονται εκείνες με τα πιο αυστηρά όρια που πρέπει να καλύπτονται από την εγκατάσταση.

Στο στάδιο αυτό, ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στην κατάλληλη διαστασιολόγηση διαφορετικών φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και στην εκτίμηση των επιμέρους δαπανών της κάθε προτεινόμενης λύσης. Κατά γενικό κανόνα, επιλέγεται το φυσικό σύστημα εκείνο που είναι σε θέση να επιτύχει τα όρια και διαθέτει το χαμηλότερο ετήσιο κόστος επένδυσης και λειτουργίας. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες ως κριτήρια επιλογής, που συνήθως είναι η αξιοπιστία, η ανεξαρτησία από ρυθμίσεις, η ικανότητα για διακοπτόμενη λειτουργία, η προσαρμοστικότητα σε οργανικά και τοξικά φορτία αιχμής, καθώς παράγοντες πέρα των τεχνικών, όπως η κοινωνική αποδοχή, η ένταξη στο φυσικό κάλος της περιοχής και η πολιτική βούληση.

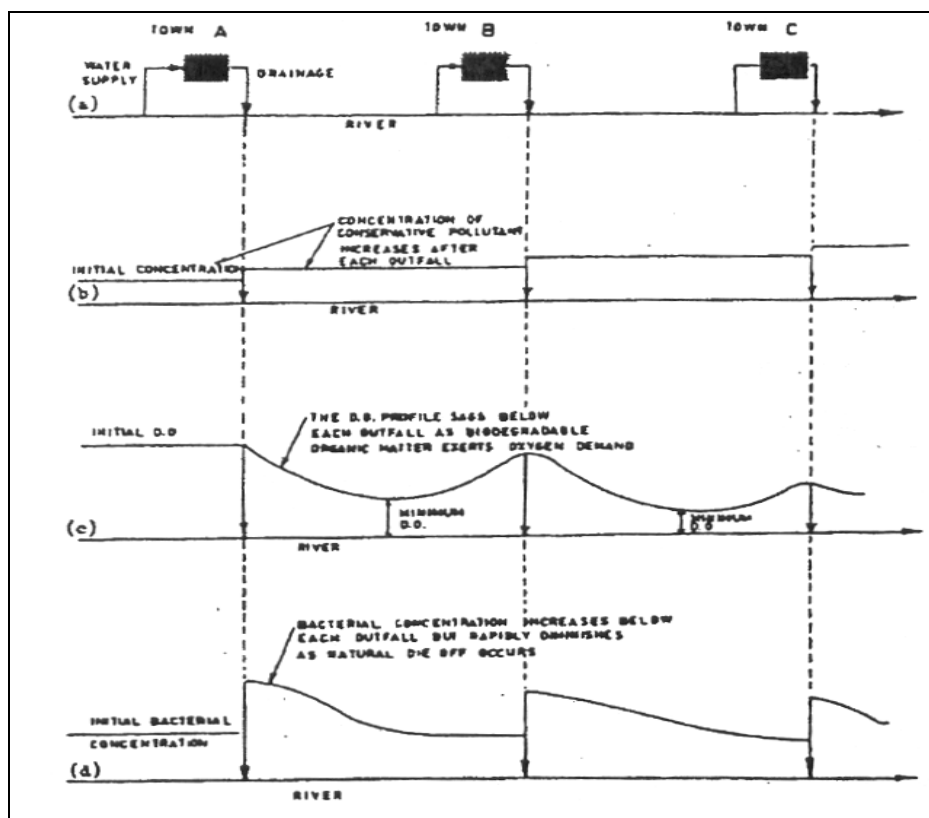
Στο λογικό διάγραμμα ροής, γίνονται εμφανή τα σημεία όπου τροφοδοτούνται στο σύστημα δεδομένα. Η κύρια λειτουργία αυτής της διαδικασίας είναι η βήμα προς βήμα ζήτηση δεδομένων που περιορίζεται μόνο εκεί όπου ικανοποιούνται οι απαιτήσεις από την εφαρμογή των μοντέλων. Γενικά, αυτό το ειδικό διαχειριστικό σύστημα της πηγής [20] μπορεί να είναι χρήσιμο σε εφαρμογές διαχείρισης αστικών υγρών αποβλήτων σε μικρούς έως μεσαίου μεγέθους οικισμούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χρήση των φυσικών συστημάτων ενδείκνυται και η διάθεση για αρδευτικούς σκοπούς είναι συχνά εφικτή. Μια τέτοια περίπτωση, είναι και η περίπτωση του οικισμού της Τυλίσου.

5.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

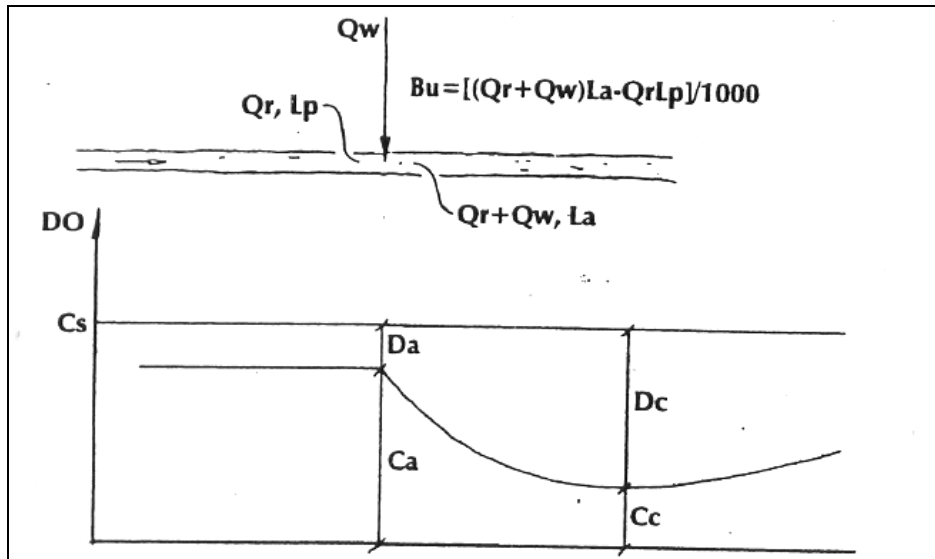
5.2.1. Μοντέλο εκτίμησης κρίσιμου φορτίου BOD

Η εκτίμηση της ρύπανσης του ποταμού που χρησιμοποιείται ως αποδέκτης αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα ενός διαχειριστικού σχεδίου στην περίπτωση του Δήμου Τυλίσου, καθώς η διάθεση σε ποταμό αποτελεί μια από τις προς εξέταση εκδοχές. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παρούσα περίπτωση παρουσιάζεται στην πηγή [28] και η εφαρμογή του είναι ταχεία και απλή, ενώ τα αποτελέσματά του μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα.

Αξίζει ίσως να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι για την ρύπανση του αποδέκτη με οργανικά φορτία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια απλή σχέση ανάμειξης δυο ροών με διαφορετική συγκέντρωση καθώς οι οργανικοί ρύποι είναι κατά κύριο λόγο μη συντηρητικοί. Κατά συνέπεια, η δυσμενέστερη περίπτωση της απόρριψης φορτίων δεν εμφανίζεται στο σημείο συμβολής των δυο ροών αλλά μερικά μέτρα ή και χιλιόμετρα στα κατάντη του ποταμού. Τα επόμενα σχήματα είναι ενδεικτικά της μεταβολής της ρύπανσης σε σχέση με την απόσταση από το σημείο εκβολής. Παράλληλα ορίζονται τα βασικά μεγέθη και απεικονίζεται το βασικό νομογράφημα υπολογισμού παραμέτρων του μοντέλου.



Σχήμα 5.3 Επιπτώσεις από την διάθεση διαφόρων ειδών ρυπαντών στο ποτάμι



Σχήμα 5.4. Απεικόνιση βασικών μεταβλητών στην καμπύλη κάμψης του D.O. και ισοζύγιο μάζας για τον υπολογισμό του κρίσιμου οργανικού φορτίου

5.2.1.1. Συνήθη δεδομένα προβλημάτων

Ca. Αρχική συγκέντρωση DO (λίγο πριν ή αμέσως μετά το σημείο εκβολής). Εάν δεν υπάρχουν σχετικά στοιχεία από προηγούμενες παρατηρήσεις, η πραγματοποίηση μετρήσεων είναι σκόπιμη και εύκολη). Εάν δεν είναι εφικτό μπορούμε να υποθέσουμε ότι $Ca \sim Cs$ για περίπτωση καθαρών ποταμών.

Cc. Η κρίσιμη (ελάχιστη επιτρεπτή) συγκέντρωση DO που εξαρτάται από τα είδη των οργανισμών που προστατεύονται. Μπορεί να υπολογιστεί από τον Πίνακα 1 ή από τα όρια που ισχύουν στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 5.1. Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση DO σε νερά ποταμών

	<u>C_c, mg/l</u>
Πέστροφα	5
Σολομός και άλλα ψάρια ποιότητας	4
Μερικά ψάρια χαμηλής ποιότητας	2

Lp. Συγκέντρωση του BODu μόλις πριν την εκροή. Εάν δεν υπάρχουν στοιχεία παρατηρήσεων, θα ήταν ενδεδειγμένη η πραγματοποίηση ορισμένων μετρήσεων, όταν δεν είναι δυνατόν χρησιμοποιούνται οι τιμές του Πίνακα 2.

Πίνακας 5.2. Συσχέτιση βαθμού ρύπανσης ποταμού και BOD_u

	BOD_u, mg/l
Πολύ καθαρό	1.3
Καθαρό	2.5
Σχετικά καθαρό	4.0
Αμφίβολο	6.0
Κακής ποιότητας	13.0

Qr. Παροχή του ποταμού κατά τη δυσμενέστερη εποχή. Συνήθως την ελάχιστη ροή κατά τη διάρκεια της ξηράς (θερινής) εποχής.

Qw. Παροχή των υγρών αποβλήτων (απαιτούμενη μόνο σε περιπτώσεις όπου η Qw είναι σημαντική σε σχέση με την Qr, διαφορετικά μπορεί να θεωρηθεί μηδενική)

T. Θερμοκρασία του νερού κατά τη δυσμενέστερη εποχή.

5.2.1.2. Διαδικασία επίλυσης προβλημάτων

Εκτιμούνται τα C_s , D_S , D_a , F , D_a/D_c , L_a/D_c , L_a και B_u όπως περιγράφεται παρακάτω.

C_s . Συγκέντρωση κορεσμού του DO στο νερό, λαμβάνεται από τον Πίνακα 3 ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του νερού του ποταμού.

D_c . Το κρίσιμο (μέγ. Επιτρεπτό) έλλειμμα DO υπολογίζεται από την Εξίσωση 1

$$D_c = C_s - C_c \quad [1]$$

D_a . Το αρχικό έλλειμμα DO υπολογίζεται από την Εξίσωση 2

$$D_a = C_s - C_a \quad [2]$$

f. Η σταθερά αυτοκαθαρισμού (λαμβάνεται απευθείας από το Σχήμα 3 ή υπολογίζεται με τη βοήθεια της Εξίσωσης 3).

$$f = \frac{k_2}{k_r} \quad [3]$$

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\frac{L_a}{D_c} = f^{1 + \left(1 - \frac{D_a}{D_c}\right)^{0.418}} \frac{1}{f-1}$$

Όπου τα k_2 και k_r υπολογίζονται από τους Πίνακες 4 και 5 αντίστοιχα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που οι τιμές k_2 και k_r εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, ο λόγος τους είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητος από αυτή.

D_a/D_c . οριακές τιμές είναι 0 για πολύ καθαρά νερά (μέγιστα επιτρεπτά φορτία BOD_u) και 1 για νερά στο κρίσιμο επίπεδο ρύπανσης(στην περίπτωση είναι μηδενικά).

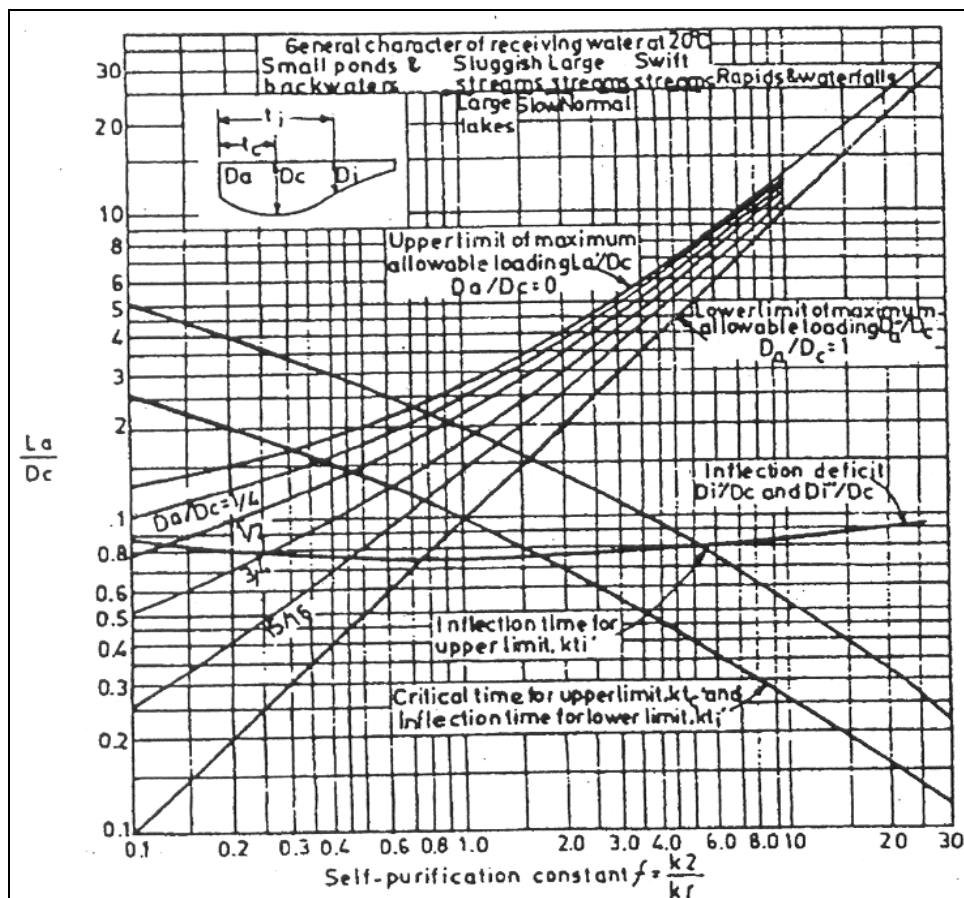
L_a/D_c . Λαμβάνεται από το Σχήμα 3 ως συνάρτηση των f και D_a/D_c .

L_a . Η επιτρεπτή συγκέντρωση του BOD_u αμέσως μετά το σημείο εκβολής, υπολογίζεται από την Εξίσωση 4 συνάρτηση των γνωστών D_c και L_a/D_c .

$$L_a = D_c \frac{L_a}{D_c} \quad [4]$$

B_u . Μέγιστο επιτρεπτό φορτίο BOD_u στο ποτάμι (Το αντίστοιχο φορτίο BOD_5 είναι περίπου 30% λιγότερο), που εκφράζει το ισοζύγιο μάζας.

$$B_u = \frac{(Q_r + Q_w)L_a - Q_r L_p}{1000} \quad [5]$$



Σχήμα 5.5. Επιτρεπτό φορτίο BOD_u για τα νερά του αποδέκτη

Πίνακας 5.3 . Συγκέντρωση κορεσμένου DO στα ποτάμια

Θερμοκρασία Νερού, °C	C _S , mg/l _t σε 1 Bar	Θερμοκρασία Νερού, °C	C _S , mg/l _t σε 1 Bar
0	14.621		
1	14.217	21	8.915
2	13.830	22	8.744
3	13.461	23	8.578
4	13.108	24	8.418
5	12.771	25	8.264
6	12.448	26	8.114
7	12.139	27	7.969
8	11.843	28	7.828
9	11.560	29	7.691
10	11.288	30	7.559
11	11.027	31	7.430
12	10.777	32	7.305
13	10.537	33	7.183
14	10.306	34	7.065
15	10.084	35	6.949
16	9.870	36	6.837
17	9.665	37	6.727
18	9.467		
19	9.276		
20	9.093		

* Διόρθωση πίεσης: $C_S = P(C_S)_{1 \text{ Bar}}$ (P = ατμοσφαιρική πίεση, Bars)

Πίνακας 4. Τυπικές τιμές της σταθεράς αερισμού k_2

	$(k_2)_{20}$,	Day ⁻¹
	Βαθειά	Ρηχά
Μικρές λίμνες, στάσιμα νερά	0.12	0.24
Ρεύματα με μικρή ροή, μεγάλες λίμνες	0.24	0.36
Μεγάλα ποτάμια με μικρή ταχύτητα	0.36	0.46
Μεγάλα ποτάμια με κανονική ταχύτητα	0.46	0.67
Ρεύματα με γρήγορη ροή	0.67	1.15
Ορμητικά ποτάμια και καταρράκτες	1.15	& παραπάνω

Μερική κατάσταση εμπειρικών σχέσεων που προτείνονται στη βιβλιογραφία

$$(k_2)_{20} = 5.03 u^{0.969} d^{-1.673}$$

$$(k_2)_{20} = 5.344 u^{0.67} d^{-1.85} \text{ for } 0.12 < 3.3 \text{ m \& } 0.03 < u < 1.5 \text{ m/s}$$

$$(k_2)_{20} = 5.15 u d^{-1.33}$$

$$(k_2)_{20} = 3.95 u^{0.5} d^{-1.5}$$

Όπου:

u = μέση ταχύτητα νερού, m/s

d = μέσο βάθος νερού, m

Διόρθωση θερμοκρασίας : $k_2 = (k_2)_{20} \theta^{T-20}$, όπου $\theta = 1.024$ μέχρι 1.028

Πίνακας 5. Τυπικές τιμές της σταθεράς του ρυθμού απομάκρυνσης BOD_u, k_r

	$(k_r)_{20}$, day ⁻¹
	(για $Q_r < 72,000 \text{ m}^3/\text{h}$)
Αμέσως μετά το σημείο εκβολής	0.3 – 2.0
Χαμηλότερα κατά το ποταμού	0.3 – 0.8

Εμπειρική Εξίσωση Προτεινόμενη από τους Wright and Mc Donnell (1979):

$$(k_r)_{20} = 99.3 Q_r^{-0.49}, \text{ day}^{-1}$$

Όπου:

$$Q_r = \text{Ροή του ποταμού, m}^3/\text{hr}$$

Διόρθωση Θερμοκρασίας :

$$k_r = (k_r)_{20} \theta^{T-20}, \text{ όπου } \theta = 1.135 \text{ για } 4 < T < 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ \& } \theta = 1.056 \text{ για } T > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.2.2. Μοντέλο εκτίμησης μικροβιακής ρύπανσης, και από συντηρητικές – μη συντηρητικές ουσίες.

Η αρχική συγκέντρωση οποιαδήποτε ουσίας ή των μικροοργανισμών που εισάγονται σε ένα ποτάμι καθορίζεται από το βαθμό της αρχικής αραιώσης σύμφωνα με παρακάτω εξισώσεις:

$$C_a = \frac{Q_r C_r + Q_i C_i}{Q_r + Q_i} \quad N_a = \frac{Q_r N_r + Q_i N_i}{Q_r + Q_i}$$

Στην περίπτωση μη συντηρητικών ουσιών όπως τα βαρέα μέταλλα ή των μη εύκολα διασπώμενων χημικών, η συγκέντρωση του C_a μετά το σημείο εισαγωγής παραμένει αναλλοίωτη μέχρι να πραγματοποιηθεί μια καινούρια εισροή (Σχήμα 1d) και μπορούν αν υπολογιστούν από τις Εξισώσεις 8-10.

$$C_t = C_a e^{-kt} \quad [8] \quad N_t = N_a e^{-kt} \quad [9] \quad K = K_{20} \theta^{T-20} \quad [10]$$

C_a	Συγκέντρωση του ρύπου στο νερό του ποταμού, αμέσως μετά το σημείο εκροής των αποβλήτων, mg/l
C_i	Συγκέντρωση του ρύπου στα απόβλητα, mg/l
C_r	Συγκέντρωση του ρύπου στο νερό του ποταμού, μόλις πριν το σημείο εκροής των αποβλήτων, mg/l
C_t	Συγκέντρωση του ρύπου στο νερό του ποταμού, μετά την παρέλευση t ημερών, mg/l
K	Σταθερά αντίδρασης ή ρυθμού θνησιμότητας των μικροβίων, d ⁻¹
K_{20}	Σταθερά αντίδρασης ή ρυθμού θνησιμότητας των μικροβίων στους 20 °C (1,0-1,8), d ⁻¹
N_a	Συγκέντρωση κολοβακτηριδίων στο νερό του ποταμού, αμέσως μετά το σημείο εκροής των υγρών αποβλήτων, αριθμός ανά 100 ml
N_i	Συγκέντρωση κολοβακτηριδίων στα απόβλητα, αριθμός ανά 100 ml
N_r	Συγκέντρωση κολοβακτηριδίων στο νερό του ποταμού, μόλις πριν το σημείο εκροής των αποβλήτων, αριθμός ανά 100 ml
N_t	Συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων στο νερό του ποταμού, μετά την παρέλευση t ημερών, αριθμός ανά 100 ml
Q_r	Παροχή του ποταμού, m ³ /hr
Q_i	Παροχή των υγρών αποβλήτων, m ³ /hr
T	Θερμοκρασία το νερού του ποταμού, °C
t	Χρόνος, d
θ	Σταθερά ίση με 1,075 για τα κολοβακτηριδία

5.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ FAO PENMANN-MONTEITH

Στο συγκεκριμένο διαχειριστικό σχέδιο των λυμάτων της περιοχής μελέτης, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός τόσο των αρδευτικών αναγκών όσο και των απωλειών υδραυλικού φορτίου από την εξατμισοδιαπνοή εντός των συστημάτων. Κατά συνέπεια, το διαχειριστικό σύστημα πρέπει να συνεργαστεί με μια μέθοδο εκτίμησης του μεγέθους των εξατμισοδιαπνευστικών διεργασιών που λαμβάνουν μέρος.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι μια έννοια που περιέχει τόσο τη διαπνοή από την βλάστηση όσο και την εξάτμιση από υδάτινες επιφάνειες. Η επιλογή της μεθόδου εκτίμησης της εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της υπό μελέτης επιφάνειας και την επιδιωκόμενη ακρίβεια, ενώ είναι στην επιλογή να επηρεάζονται και παράγοντες όπως το κόστος, η ευκολία, η τεχνική της κάθε μεθόδου και τα διαθέσιμα στοιχεία.

Η μέθοδος FAO Penmann-Monteith, έτσι όπως περιγράφεται αναλυτικά από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) στην πηγή [27], θεωρήθηκε ως πιο κατάλληλη για την περίπτωση, παρά τον όγκο των δεδομένων που απαιτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες υπολογιστικές μεθόδους. Η εν λόγω μέθοδος προσδιορίζει την εξατμισοδιαπνοή ως συνάρτηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εδάφους και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.

5.3.1. Προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ET_c για κάθε τύπο καλλιέργειας γίνεται με τον υπολογισμό αρχικά της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_o. Η μεθοδολογία υπολογισμού περιγράφεται στην αντίστοιχη παράγραφο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται καθώς και οι σχέσεις υπολογισμού της αναφοράς εξατμισοδιαπνοής παρίστανται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.4 Δεδομένα εισόδου και βήματα υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ET_o σύμφωνα με την μέθοδο FAO Penmann-Monteith.

Βήμα	Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδες	Τύπος υπολογισμού
	Μέση θερμοκρασία	T	°C	Δεδομένο εισόδου
	Θερμοκρασία νερού στην επιφάνεια	T _s	°C	Δεδομένο εισόδου

	Υψόμετρο	Z	m	Δεδομένο εισόδου
	Ταχύτητα ανέμου σε 2m	u2	m/s	Δεδομένο εισόδου
	Ώρες ηλιοφάνειας / Ημέρα	n	ώρες	Δεδομένο εισόδου
	Αστρονομική διάρκεια ημέρας	N	ώρες	Δεδομένο εισόδου
	Σχετική ηλιοφάνεια	n/N	-	n/N
	Σχετική υγρασία	U	%	Δεδομένο εισόδου
	Πυκνότητα ύδατος	$\rho_{\text{νερού}}$	kg/m ³	$\rho_{\text{νερού}}=1000 \text{ kg/m}^3$
1	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης	λ	kJ/kg	$\lambda = 2501-2,361T_s$
2	Ατμοσφαιρική πίεση	p	hPa	$p=1013 \times (1-2,218 \cdot 10^{-5} \cdot Z)^{5,256}$
3	Ψυχομετρικός συντελεστής	γ	hPa/°C	$\gamma = \frac{c_p \cdot p}{\varepsilon \cdot \lambda}$
4	Πίεση κορεσμού υδρατμών	e_s	hPa	$e_s = 6,11 \cdot \exp\left(\frac{17,27}{T+237,3}\right)$
5	Πίεση υδρατμών	e	hPa	$e=U \cdot e_s$
6	Έλλειμμα τάσης ατμών	D	hPa	$D= e_s-e$
7	Κλίση καμπύλης πίεσης κορ.	Δ	hPa/°C	$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T+237,3)^2}$
8	Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία	So	kJ/m ² /d	Από πίνακα
9	Λευκαύγεια (albedo)	a	-	Νερό 0,04-0,10 (τυπική τιμή 0,08) Έδαφος 0,10-0,25 Έρημος 0,20-0,35 Κωνοφόρο δάσος 0,11-0,16 Δενδρώδεις καλλιέργειες 0,15-0,20 Λοιπές καλλιέργειες 0,20-0,26 Τυπ.τιμή για Ελλάδα 0,25
10	Συντελεστής απορρόφησης	fs	-	$f_s=0,25+0,50 \cdot n/N,$
11	Καθαρή ακτινοβολία βραχέων κυμάτων	Sn	kJ/m ² /d	$S_n=(1-a) \cdot f_s \cdot S_o$
12	Καθαρή ικανότητα θερμ.εκπομπής	ε_n	-	$\varepsilon_n = 0,56 - 0,08 \sqrt{e}$
13	Συντ.επίδρασης της	f_L	-	$f_L=0,1+0,9 \cdot n/N$

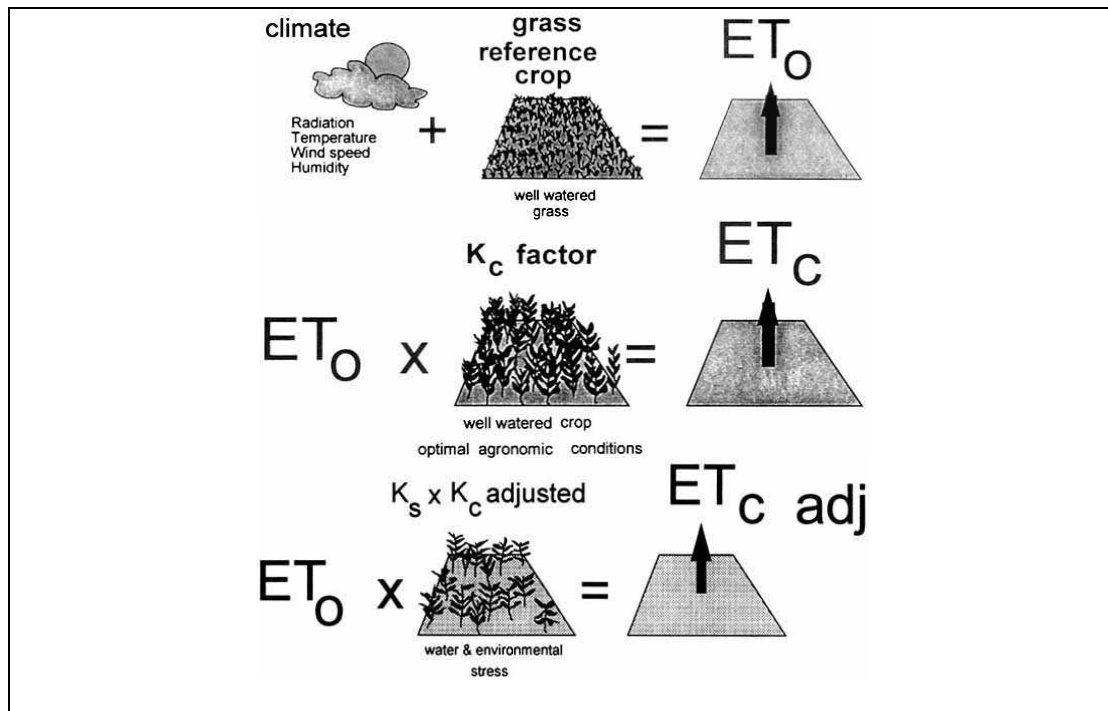
	νέφωσης			
14	Σταθερά Stefan-Bolzman	σ	$\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K}^4\text{d})$	$\sigma = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K}^4\text{d})$
15	Καθαρή ακτινοβολία μακρών κυμάτων	L_n	$\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$	$L_n = \varepsilon_n f_L \sigma (T + 273)^4$
16	Καθαρή ακτινοβολία R_n	R_n	$\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$	$R_n = L_n - S_n$
17	Συντελεστής γ'	γ'	$\text{hPa}/^\circ\text{C}$	$\gamma' = \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u)$
18	Ροή θερμότητας εδάφους	G	$\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$	Όταν υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή σε μηνιαία βάση στην διάρκεια του χρόνου: $G = 0,14 \cdot (T_{\text{προηγούμενου μήνα}} - T_{\text{επόμενου μήνα}})$
19	Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς	ET_o	mm/d	$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$ ET_o [mm day ⁻¹], R_n [MJ m ⁻² day ⁻¹], G [MJ m ⁻² day ⁻¹], T [°C], u_2 [m s ⁻¹], e_s [kPa], e_a [kPa], $(e_s - e_a)$ [kPa], Δ [kPa °C ⁻¹], γ [kPa °C ⁻¹].

5.3.2. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (ETc)

Κάθε τύπος καλλιέργειας έχει τις δικές του ιδιότητες και τάσεις απώλειας νερού από το έδαφος και τους πόρους των φύλλων. Ο τύπος της καλλιέργειας, η ποικιλία και το στάδιο ανάπτυξης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όταν εκτιμάται η εξατμισοδιαπνοή. Διαφορές στην αντίσταση διαπνοής, το ύψος των φυτών, την τραχύτητά τους, την ανάκλαση, το ποσοστό κάλυψης του εδάφους και το ριζικό σύστημα του φυτού συντελούν σε διαφορετικά επίπεδα εξατμισοδιαπνοής σε διαφορετικά είδη καλλιεργειών κάτω από ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος. Η εξατμισοδιαπνοή από καλλιέργειες σε σταθερές συνθήκες (ETc) αναφέρεται στις απαιτήσεις εξάτμισης από τα φυτά που αναπτύσσονται με ικανοποιητικές αρδευτικές συνθήκες.

Για το λόγο αυτό έχει καθιερωθεί να χρησιμοποιείται μια καλλιέργεια αναφοράς ως βάση για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τα υπόλοιπα είδη

καλλιιεργειών. Σύμφωνα με την προσέγγιση των Penmann-Monteith χρησιμοποιείται ως καλλιέργεια αναφοράς το γρασίδι όταν βρίσκεται σε συνθήκες μη ελλειπών υγρασίας του εδάφους. Ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής από τις υπόλοιπες καλλιέργειες γίνεται με τον πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή καλλιέργειας K_c , όπως παρίσταται στο ακόλουθο σχήμα. Ωστόσο, σε συνθήκες ελλειπών ποτίσματος υπεισέρχεται στους υπολογισμούς και ένας συντελεστής K_s , που εκφράζει την μείωση στις απώλειες νερού εξαιτίας της ελλειπών τροφοδότσης του φυτού με εδαφικό νερό. Στην περίπτωση μας, δεν θα μας απασχολήσει ο εν λόγω συντελεστής καθώς στις μεν αρδευόμενες εκτάσεις σκοπός είναι η μέγιστη χρήση της χωρητικότητας του εδάφους σε νερό, στα δε φυσικά συστήματα ομοίως δεν θα υπάρχει πρόβλημα έλλειψης υδραυλικού φορτίου.



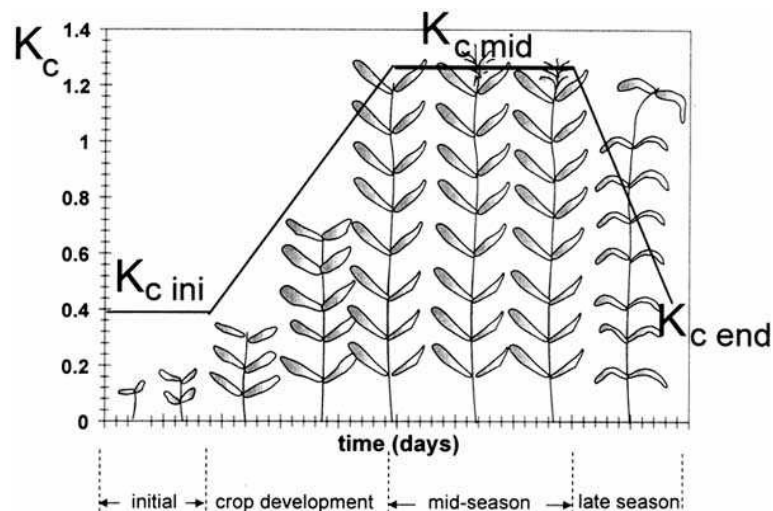
Σχήμα 5.5 Γενική εικόνα του τρόπου υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0), της εξατμισοδιαπνοής κάτω από συνθήκες άρδευσης (ET_c) και μη πλήρους άρδευσης ($ET_c \text{ adj}$)

5.3.3. Συντελεστής καλλιέργειας K_c

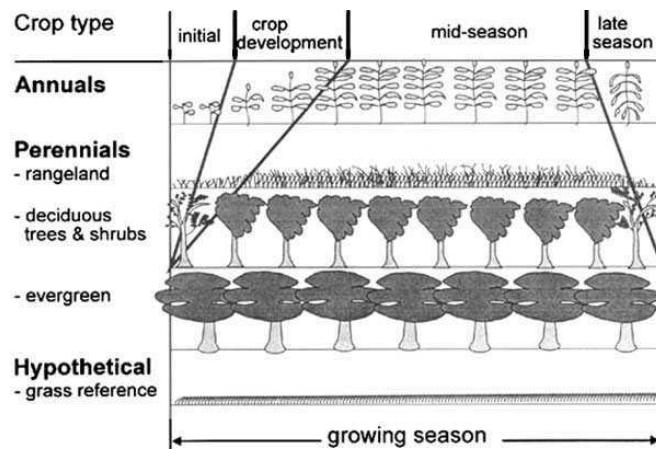
Ο συντελεστής καλλιέργειας εμπεριέχει την επίδραση των χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν μια τυπική καλλιέργεια από το γρασίδι αναφοράς, το οποίο είναι ομοιόμορφο και καλύπτει πλήρως το έδαφος. Ως εκ τούτου, διαφορετικές καλλιέργειες θα έχουν και διαφορετικό συντελεστή. Υπόλοιποι παράγοντες που

επηρεάζουν την τιμή του συντελεστή είναι το κλίμα και η εδαφική εξάτμιση, έτσι όπως περιγράφονται αναλυτικά από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) στην πηγή [27].

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο συντελεστής καλλιέργειας δεν είναι σταθερός κατά την διάρκεια του έτους. Η μεταβολή του αυτή δύναται να διακριθεί σε τέσσερα βασικά στάδια: αρχικό, ανάπτυξης, μεσαίο και τελικό στάδιο. Το αρχικό στάδιο (initial) αρχίζει από την ημέρα της φύτευσης του φυτού έως την ημέρα όπου καλύπτεται το 10% περίπου της επιφάνεια από τα φυτά. Στις πολυετείς καλλιέργειες η περίοδος αυτή καλύπτεται από την περίοδο δημιουργίας νέου φυλλώματος. Ακολουθεί το στάδιο ανάπτυξης του φυτού που εκτείνεται έως η καλλιέργεια να φθάσει την μέγιστη κάλυψη. Το μεσαίο στάδιο αρχίζει από την περίοδο άνθισης έως και την περίοδο ωρίμανσης των καρπών. Το τέταρτο στάδιο είναι το τελικό στάδιο (late) που αρχίζει από την ωρίμανση των καρπών ως και την συγκομιδή ή τελική γήρανση. Η διάρκεια κάθε περιόδου είναι σημαντική για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής και λαμβάνεται από πίνακες της πηγής [27]. Για κάθε μια περίοδο αντιστοιχεί και μια τιμή του K_c και έτσι κατασκευάζεται μια καμπύλη του K_c σε ετήσια βάση.



Σχήμα 5.6 Ο συντελεστής K_c ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού



Σχήμα 5.7 Μεταβολή της διάρκειας των σταδίων ανάπτυξης ανάλογα με το είδος του φυτού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

6. Χαρακτηριστικά της περιοχής

6.1. Περιγραφή της περιοχής

6.1.1. Γεωγραφική θέση

6.1.2. Τύποι καλλιεργειών της περιοχής

6.2. Ανάλυση πληθυσμιακών στοιχείων

6.2.1. Χρονικός ορίζοντας εκτίμησης πληθυσμού

6.2.2. Στοιχεία απογραφών

6.2.3. Εκτίμηση τάσεων μεταβολής του πληθυσμού

6.2.4. Εκτίμηση πληθυσμού σχεδιασμού

6.3. Συνοπτική περιγραφή στοιχείων κλίματος, ατμόσφαιρας

6.3.1. Βροχοπτώσεις

6.3.2. Θερμοκρασία αέρα

6.3.3. Σχετική υγρασία του αέρα

6.3.4. Άνεμοι

6.3.5. Ηλιοφάνεια

6.3.6. Κλίμα

6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

6.1.1. Γεωγραφική θέση

Ο οικισμός της Τυλίσου βρίσκεται στον Νομό Ηρακλείου, έχει 1100 περίπου κατοίκους και απέχει 13 km ΝΔ από την πόλη του Ηρακλείου. Ο οικισμός είναι χτισμένος βορειοανατολικές πλαγίες του Ψηλορείτη (Ιδη) σε υψόμετρο 200 μέτρων και διατηρεί έως σήμερα το αρχαίο όνομά του. Ο οικισμός από το 1997 αποτελεί την έδρα του ομώνυμου δήμου, ο οποίος εκτείνεται κυρίως ανατολικά του οικισμού συνορεύοντας με τον νομό Ρεθύμνης και τον δήμο Ανωγείων. Η περιοχή γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως αγροτική, ωστόσο δε τα τελευταία έτη χρησιμοποιείται εν μέρει ως προάστιο του Ηρακλείου εξαιτίας της μικρής αποστάσεως από την πόλη και του ιδιαίτερου φυσικού κάλους της περιοχής.



Εικόνα 6.1 Η γεωγραφική θέση της Τυλίσου στο νομό Ηρακλείου

- Πρόκειται για ιστορικό οικισμό. Στους Κλασικούς Χρόνους η πόλη ήταν ανεξάρτητη και αυτόνομη και σύμμαχος της Κνωσού. Σήμερα διασώζονται κυρίως

τα ακόλουθα μνημεία-αξιοθέατα στην περιοχή, τα οποία παρουσιάζουν και τουριστικό ενδιαφέρον:

- Τα ερείπια τριών μινωικών επαύλεων (Νεοανακτορικής Περιόδου), που καταστράφηκαν, όπως και τα μεγάλα μινωικά ανάκτορα, γύρω στο 1450-1400 π.Χ.
- Τα ερείπια μινωικού μεγάρου, με προσανατολισμό από Β προς Ν και διπλή είσοδο από Α, στο Σκλαβόκαμπο, 11 χλμ δυτικότερα. Το συγκρότημα, που χρονολογείται στο 1500 π.Χ.
- Το Μοναστήρι της Κυρίας Παλιανής, χαρακτηριστικό σημαντικό μνημείο της περιοχής σε μικρή απόσταση από τον οικισμό με έντονη ιστορία

6.1.2. Τύποι καλλιεργειών της περιοχής

Η περιοχή έχει γενικά αγροτικό χαρακτήρα και χαρακτηρίζεται από έφορα εδάφη. Κύριες καλλιέργειες που συναντούνται στην περιοχή είναι η καλλιέργεια ελιάς, τα αμπέλια καθώς και κηπευτικά είδη. Το σημαντικότερο τμήμα της έκτασης χρησιμοποιείται ως ελαιώνες. Οι ελιές διακρίνονται στην κατηγορία των μουρέλαιων και στην κατηγορία της χοντροελιάς. Τα αμπέλια προορίζονται για την παραγωγή οίνου και την παραγωγή σταφύδας, σε μικρότερο βαθμό. Τα κηπευτικά προωθούνται τόσο στην αγορά του Ηρακλείου, όσο σε άλλες περιοχές ανά την Ελλάδα. Για την άρδευση αυτών των καλλιεργειών χρησιμοποιούνται 3 κεντρικές δεξαμενές που βρίσκονται ΝΔ του οικισμού και στην συνέχεια διοχέτευση μέσα από κλειστούς αγωγούς στα επιμέρους κτήματα.



Εικόνα 6.2 Χαρακτηριστική εικόνα της μορφολογίας του εδάφους στην περιοχή



Εικόνα 6.3 Καλλιέργεια ελιάς στην περιοχή μελέτης

6.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

6.2.1. Χρονικός ορίζοντας εκτίμησης πληθυσμού

Ο αριθμός των ισοδυνάμων κατοίκων που θα εξυπηρετεί η μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων της περιοχής παίζει ουσιαστικό ρόλο στο σχεδιασμό του συστήματος καθώς εξαρτάται άμεσα από αυτό η κλίμακα και οι επιμέρους παράμετροι σχεδιασμού του.

Η εκτίμηση του πληθυσμού αναφοράς στον οποίο θα βασιστεί ο σχεδιασμός του συστήματος κρίνεται σκόπιμο να έχει χρονικό ορίζοντα 20 τουλάχιστον ετών, διάστημα το οποίο κρίνεται ικανοποιητικό ως διάρκεια λειτουργίας του συστήματος δίχως παρεμβάσεις αυξομειώσης της δυναμικότητας του. Επομένως, το ζητούμενο στην παρούσα εκτίμηση είναι ο μέγιστος πληθυσμός του οικισμού, τόσο σε θερινή όσο και σε χειμερινή βάση, στο διάστημα 2005-2025.

6.2.2. Στοιχεία απογραφών

Για την εκτίμηση αυτή χρησιμοποιούνται τα στοιχεία από δυο πιο πρόσφατες απογραφές, αλλά και γίνεται προσπάθεια εκτίμησης των ρυθμών ανανέωσης, εσωτερικής μετανάστευσης, αλλά και εγκατάστασης πληθυσμού στον υπό μελέτη οικισμό.

Οι απογραφές της τελευταίας 20ετίας , των ετών 1991 και 2001, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Οικισμός	1991	2001
Δ.Δ. Τυλίσου	1.450	1.055
Μεταβολή	-	-38%

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται μια σημαντική ελάττωση του πληθυσμού κατά την δεκαετία 1991-2001, η οποία κυμαίνεται στο ποσοστό του 38%. Η μείωση αυτή του πληθυσμού εκτιμάται ότι οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αστυφιλία προς τα αστικά κέντρα, με κύριο προορισμό το Ηράκλειο, αλλά και σε μικρότερο βαθμό στον ανεπαρκή ρυθμό φυσικής ανανέωσης του πληθυσμού.

6.2.3. Εκτίμηση τάσεων μεταβολής του πληθυσμού

Η μεταβολή του πληθυσμού οφείλεται σε δύο παράγοντες:

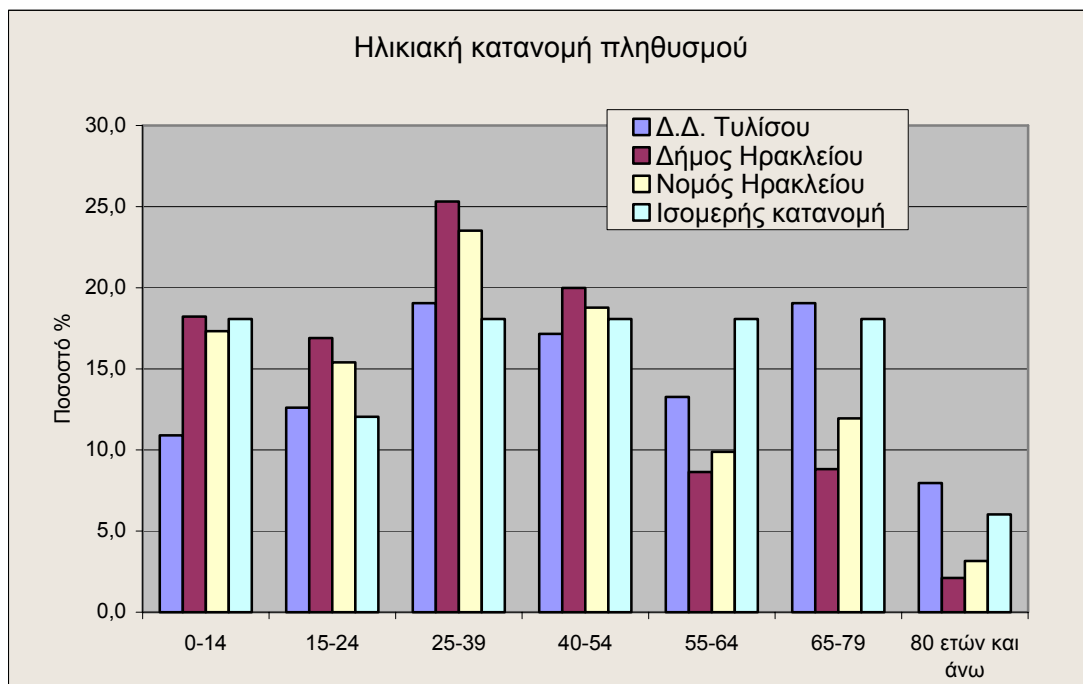
- Στο ρυθμό ανανέωσης του πληθυσμού
- Στην μετακίνηση πληθυσμού τόσο από όσο και προς τον οικισμό

Για να εκτιμηθούν οι τάσεις αυτές του πληθυσμού σκόπιμη κρίνεται η σύγκριση της κατανομής του πληθυσμού κατά ηλικίες όσο αφορά το Δ.Δ. Τυλίσου με την αντίστοιχη κατανομή της ευρύτερης περιοχής, αλλά και με την αντίστοιχη που θα επικρατούσε αν ο πληθυσμός ήταν ισομερώς κατανεμημένος.

Πίνακας 6.1 Ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού στην ευρύτερη περιοχή της Τυλίσου με την απογραφή του 2001

Περιοχή	Αμφότερα των φύλων							
	Σύνολο	0-14	15-24	25-39	40-54	55-64	65-79	80 ετών και άνω
Κρήτη	594.368	101.547	88.098	138.986	110.187	58.313	75.923	21.314
Νομός Ηρακλείου	291.225	50.458	44.838	68.485	54.684	28.781	34.783	9.196
Δήμου Ηρακλείου	142.112	25.900	24.019	35.970	28.407	12.283	12.538	2.995
Καποδ.Δήμος Τυλίσου	2.930	336	374	530	485	384	582	239
Δ.Δ.Τυλίσου	1.055	115	133	201	181	140	201	84

Στην συνέχεια, τα αριθμητικά δεδομένα του παραπάνω πίνακα ανάγονται σε ποσοστό στο σύνολο του πληθυσμού, δίνοντας την εικόνα της κατανομής στην κάθε περιοχή. Με αυτό τον τρόπο, δίδεται η δυνατότητα σύγκρισης τόσο του επιμέρους πληθυσμού κατά ηλικίες εντός του οικισμού, όσο και με την συμπεριφορά συγκεκριμένης ομάδας πληθυσμού σε σχέση με την περιοχή και την ισομερή κατανομή.



Σχήμα 6.1 Κανονικοποιημένη κατανομή του πληθυσμού στην περιοχή

Από τα παραπάνω δύνανται να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα, όσο αφορά την τάση μεταβολής του πληθυσμού. Ειδικότερα:

- Διαπιστώνεται σημαντικό έλλειμμα στις ηλικίες κάτω των 14 ετών, εντός του οικισμού. Αυτό σημαίνει ανεπαρκή ρυθμό ανανέωσης του πληθυσμού. Επίσης, διαπιστώνεται ότι οι ηλικίες πάνω από 65 ετών έχουν αυξημένο κλάσμα του πληθυσμού. Σε συνδυασμό αυτών, βγαίνει το συμπέρασμα ότι στην περίπτωση που δεν αλλάξει σημαντικά η κατάσταση αυτή, ο ντόπιος πληθυσμός του οικισμού σε 20 έτη έχει την τάση να μειωθεί.
- Διαπιστώνεται η διαφορά στην κατανομή εν συγκρίσει με το πλησιέστερο μεγάλο αστικό κέντρο. Η διαφοροποίηση αυτή είναι προϊόν της αστυφιλίας, η οποία είναι πολύ έντονη σε ηλικίες κάτω των 40 ετών. Η αστυφιλία, επομένως, για τα επόμενα έτη δημιουργεί τάση περαιτέρω μείωσης του πληθυσμού.

Ωστόσο, παρά τις δυο παραπάνω τάσεις τα τελευταία έτη υπάρχει έντονα φαινόμενα μετεγκατάστασης κατοίκων της πόλεως από την πόλη στα περίχωρα της πόλεως. Η τάση αυτή αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα έτη, εξαιτίας της υπερβολικής διόγκωσης της πόλεως, του τοπικού φυσικού κάλους και της μικρής αποστάσεως (13 km) του οικισμού από την αυτή. Παράλληλα, η περιοχή έχει και αρχαιολογικό ενδιαφέρον εξαιτίας του αρχαίου οικισμού της Τυλίσου που υπάρχει πλησίον του νέου οικισμού δημιουργώντας ένα πόλο τουρισμού που εκτιμάται ότι

ως ένα ποσοστό θα συμβάλλει στην οικονομική υποστήριξη της περιοχής, με ευοίωνο αντίκτυπο στην σταθεροποίηση του πληθυσμού.

Ένα σημαντικό σημείο που χρήζει προσοχής είναι η εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις υπευθύνων του Δήμου ο πληθυσμός παρουσιάζει σημαντική αύξηση κατά τους θερινούς μήνες. Η εν λόγω μεταβολή εκτιμάται κοντά στο 40%.

6.2.4. Εκτίμηση πληθυσμού σχεδιασμού

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, αν και υπάρχει μη επαρκής ρυθμός ανανέωσης του πληθυσμού και φαινόμενα αστυφιλίας, η κατάσταση αναμένεται να αντισταθμιστεί εξαιτίας φαινομένων μετεγκατάστασης κατοίκων του Ηρακλείου στα περίχωρα της πόλεως. Πάντως, το σίγουρο είναι ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις για σημαντική αύξηση του πληθυσμού. Ακόμη και στην περίπτωση που αστοχήσει η εκτίμηση για σταθερό πληθυσμό, είναι τουλάχιστον δύσκολο να αστοχήσει από την πλευρά της αύξησης. Όμως και σε αυτή την περίπτωση, η χρήση της σημερινής τιμής για τον σχεδιασμό θα είναι επιτυχημένη για να καλυφθούν οι ανάγκες του σημερινού πληθυσμού.

	Χειμώνας	Θέρος
Πληθυσμός έτους 2025	1100	1450
Συντελεστής ασφαλείας	1,1	1,1
Τιμή σχεδιασμού	1200	1600

6.3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΣ, ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

6.3.1. Βροχοπτώσεις

Βροχομετρικά στοιχεία από έξι βροχομετρικούς σταθμούς παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Αβδού-στο υψόμ.+230, Ηράκλειο στο +30, Καστέλλι στο +340) . Οι μέσες ετήσιες τιμές των βροχοπτώσεων από τους ανωτέρω σταθμούς έπονται στην συνέχεια. Οι μέσες μηνιαίες τιμές των βροχοπτώσεων και μηνιαία-εποχιακή κατανομή (%) των κατακρημνισμάτων φαίνεται στους επόμενους πίνακες. Σημειώνεται ότι για την περιοχή πιο αντιπροσωπευτικές θεωρούνται περισσότερο οι τιμές βροχόπτωσης του σταθμού Ηρακλείου και του σταθμού του Κρουσώνα.

Πίνακας 6.2 Ετήσια ύψη βροχόπτωσης για την περίοδο 1970-1996

ΕΤΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΒΔΟΥ	ΚΑΣΤΕΛΛΙ	ΕΤΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΑΒΔΟΥ	ΚΑΣΤΕΛΛΙ
1970	261	716	545				
1971	458	607	571	1985	409	759	671
1972	390	763	827	1986	482	912	743
1973	428	727	578	1987	475	890	765
1974	289	612	573	1988	422	846	823
1975	496	821	753	1989	368	561	459
1976	714	1084	845	1990	294	476	412
1977	562	983	956	1991	624	1024	824
1978	434	1019	934	1992	345	480	423
1979	520	973	862	1993	367		480
1980	482	572	652	1994	672		1035
1981	566	765	747	1995	272		
1982	545	673	639	Μ.Ο.	456	781	705
1983	555	1021	972				
1984	522	839	767				

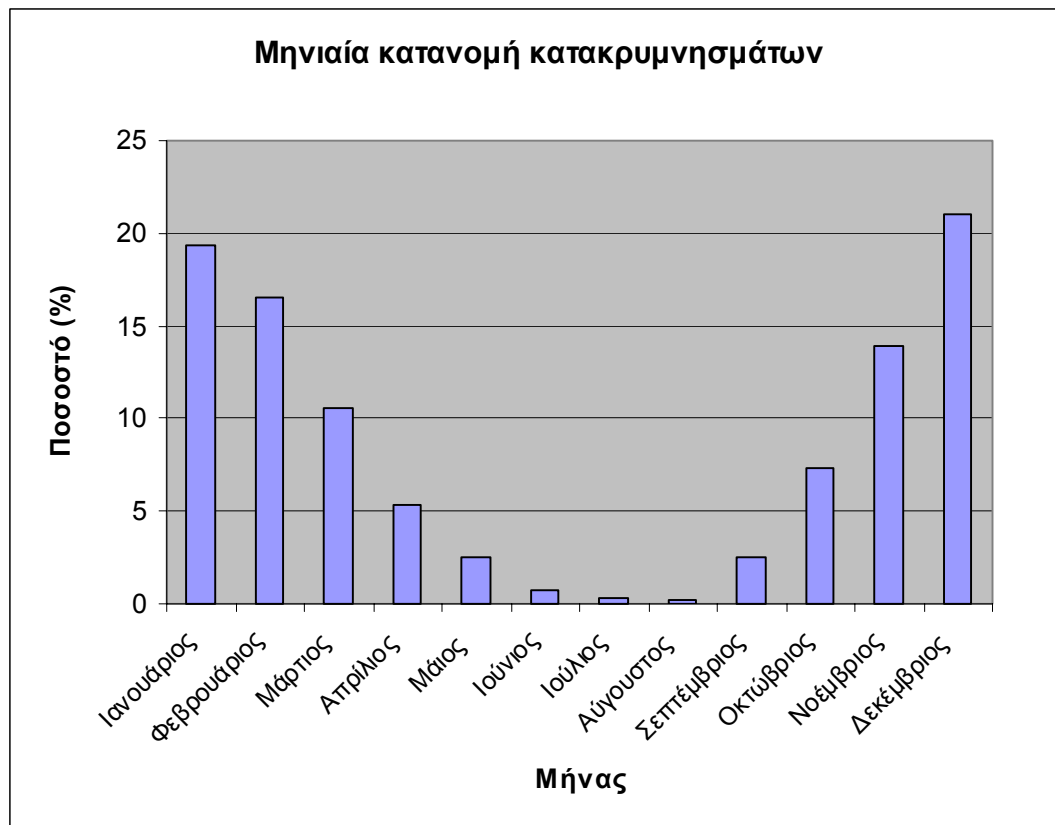
Πίνακας 6.3 Μέσες μηνιαίες τιμές των βροχοπτώσεων στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής έρευνας (περ. 1970-1992)

	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΚΡΟΥΣΩΝ	ΑΒΛΟΥ	ΚΑΣΤΕΛΛΙ
Ιανουάριος	142,1	221,9	126,2	82,0
Φεβρουάριος	124,9	184,5	111,8	64,4
Μάρτιος	85,1	139,8	70,7	52,4
Απρίλιος	45,8	54,3	33,3	28,4
Μάιος	26,5	21,5	14,3	17,1
Ιούνιος	14,2	7,8	3,9	4,1
Ιούλιος	3,6	3,8	2,8	1,3
Αύγουστος	1,8	0,9	1,3	0,9
Σεπτέμβριος	23,1	21,0	18,6	14,5
Οκτώβριος	58,2	91,3	60,0	48,7
Νοέμβριος	110,8	121,9	86,3	64,7
Δεκέμβριος	144,9	193,3	125,0	81,0
ΕΤΗΣΙΟ	780,9	1062,0	654,0	459,2

Πίνακας 6.4 Μηνιαία και εποχική κατανομή των κατακρημνισμάτων (χρονική περίοδος 1970-1992)

ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ			
ΜΗΝΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	ΜΗΝΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Ιανουάριος	19,3	Ιούλιος	0,3
Φεβρουάριος	16,5	Αύγουστος	0,2
Μάρτιος	10,6	Σεπτέμβριος	2,5
Απρίλιος	5,3	Οκτώβριος	7,3
Μάιος	2,5	Νοέμβριος	13,9
Ιούνιος	0,7	Δεκέμβριος	21,0
ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ			
ΕΠΟΧΗ	ΜΕΓΙΣΤΟ (%)	ΜΕΣΟ (%)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ (%)

Χειμώνας	61,4	57	49,5
Άνοιξη	21,3	18,2	15,9
Καλοκαίρι	2,5	1	0,1
Φθινόπωρο	27,8	23,8	20



Σχήμα 6.2 Μηνιαία κατανομή των κατακρυμνησμάτων για την περίοδο 1970-1992

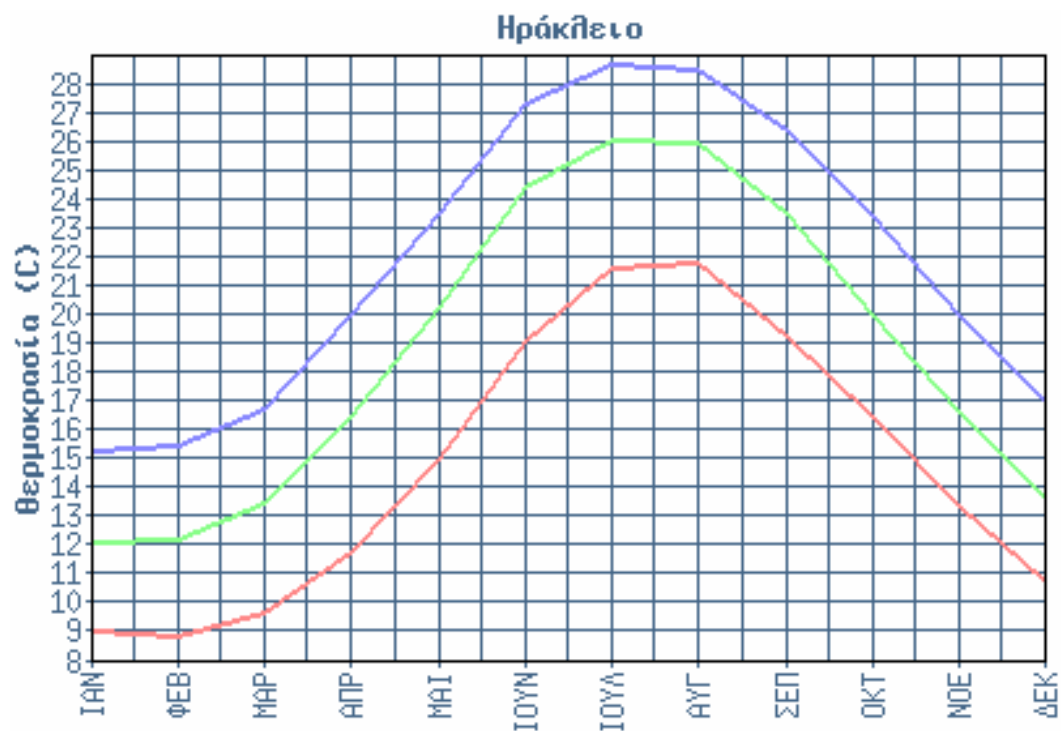
6.3.2. Θερμοκρασία αέρα

Από στοιχεία των σταθμών Ηρακλείου, Κρουσώνος και Καστελλίου προκύπτει ότι οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος εκτός από τον σταθμό Καστελλίου για τον οποίο είναι ο Φεβρουάριος. Θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος για τους σταθμούς Ηράκλειο, και ο Αύγουστος για τους σταθμούς Προτόρια και Καστέλλι.

Πίνακας 6.5 Τιμές της μέσης μηνιαίας και μέσης ετήσιας θερμοκρασίας σε οC

	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΚΡΟΥΣΩΝ	ΚΑΣΤΕΛΛΙ
--	-----------------	----------------	-----------------

Ιανουάριος	12,1	9,5	9,5
Φεβρουάριος	12,2	9,7	9,1
Μάρτιος	13,5	11,0	10,7
Απρίλιος	16,5	14,1	14,0
Μάιος	20,2	17,7	17,6
Ιούνιος	24,2	21,8	21,5
Ιούλιος	26,0	23,6	23,2
Αύγουστος	26,0	23,4	23,2
Σεπτέμβριος	23,4	21,0	20,9
Οκτώβριος	20,0	17,5	17,3
Νοέμβριος	16,6	14,1	13,5
Δεκέμβριος	13,7	11,2	10,9
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ	18,71	16,2	15,98



Σχήμα 6.3 Γραφική παράσταση του εύρους της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στο σταθμό του Ηρακλείου (Ε.Μ.Υ)

Ο πλησιέστερος σταθμός μέτρησης της θερμοκρασίας στην περιοχή είναι ο σταθμός του Ηρακλείου. Ωστόσο, αν συνεκτιμηθεί το στοιχείο ότι η υψομετρική

διαφορά των δυο σταθμών δεν είναι αμελητέα (160m), γεννάται ο προβληματισμός για το κατά πόσο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του Ηρακλείου. Στην πηγή [29] αναφέρεται ότι στην Κρήτη από δεδομένα 31 σταθμών μέτρησης της θερμοκρασίας προκύπτει ότι η θερμοβαθμίδα ανέρχεται σε $-4,2 \text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$. Επομένως, είναι προτιμότερο κατά τον σχεδιασμό να χρησιμοποιηθούν οι κάτωθι τιμές.

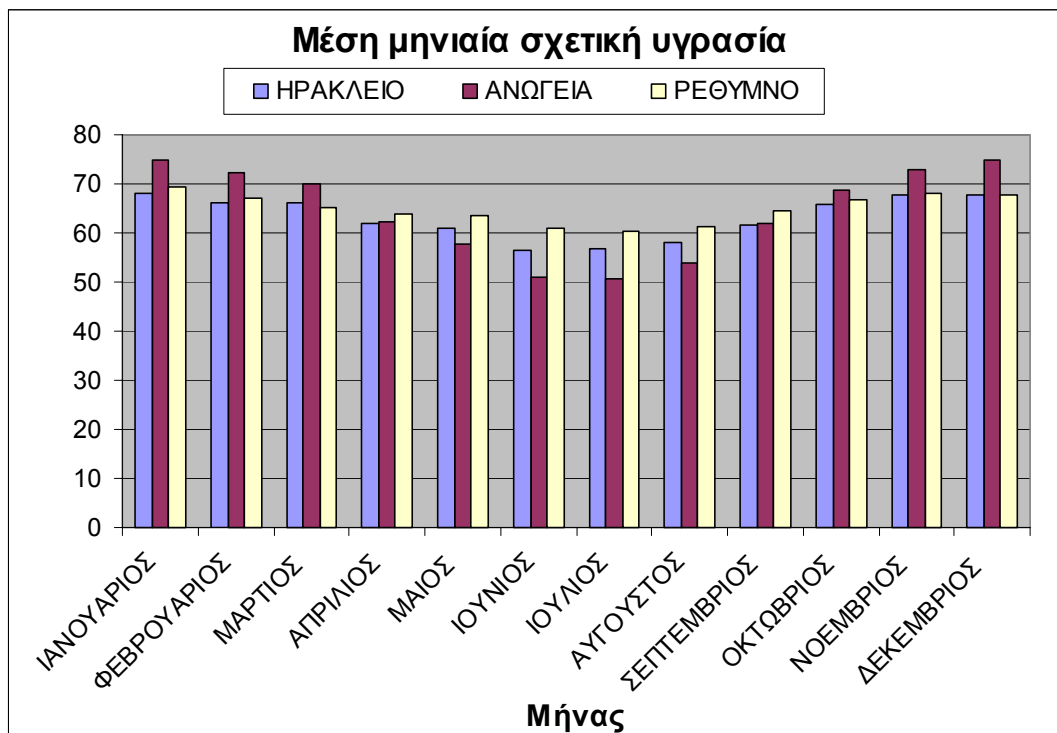
Μήνας	Θερμ/σια Τυλίσου, $^{\circ}\text{C}$
Ιανουάριος	11,23
Φεβρουάριος	11,20
Μάρτιος	12,36
Απρίλιος	15,66
Μάιος	19,62
Ιούνιος	23,98
Ιούλιος	25,65
Αύγουστος	25,62
Σεπτέμβριος	23,18
Οκτώβριος	20,10
Νοέμβριος	15,99
Δεκέμβριος	12,85

6.3.3. Σχετική υγρασία του αέρα

Για την ατμοσφαιρική υγρασία υπάρχουν στοιχεία από τους σταθμούς Ηρακλείου, Ανωγείων και Ρεθύμνου, όπως παρουσιάζονται στους πίνακες που έπονται. Από την επεξεργασία των στοιχείων προκύπτει ότι οι υγρότεροι μήνες για όλους τους σταθμούς είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος και ακολουθούν οι μήνες Νοέμβριος και Φεβρουάριος. Ξηρότερος μήνας είναι ο Ιούλιος και ακολουθεί ο Αύγουστος.

Πίνακας 6.6 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία (στοιχεία ΕΜΥ)

	ΗΡΑΚΛΕΙΟ (ΕΤΗ 1955- 1990)	ΑΝΩΓΕΙΑ (ΕΤΗ 1950- 1975)	ΡΕΘΥΜΝΟ (ΕΤΗ 1957- 1975)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	68,0	75,0	69,2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	66,2	72,2	67,0
ΜΑΡΤΙΟΣ	66,1	69,9	65,1
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	62,0	62,4	63,8
ΜΑΙΟΣ	61,1	57,9	63,5
ΙΟΥΝΙΟΣ	56,6	51,0	61,0
ΙΟΥΛΙΟΣ	56,7	50,8	60,3
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	58,1	53,8	61,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	61,5	62,0	64,5
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	65,7	68,8	66,7
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	67,6	72,8	68,0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	67,8	75,0	67,9



Σχήμα 6.4 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία για τους δήμους Ηρακλείου, Ανωγείων και Ρεθύμνου

Πίνακας 6.7 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία του σταθμού Ηρακλείου 1985-95

(στοιχεία EMY)

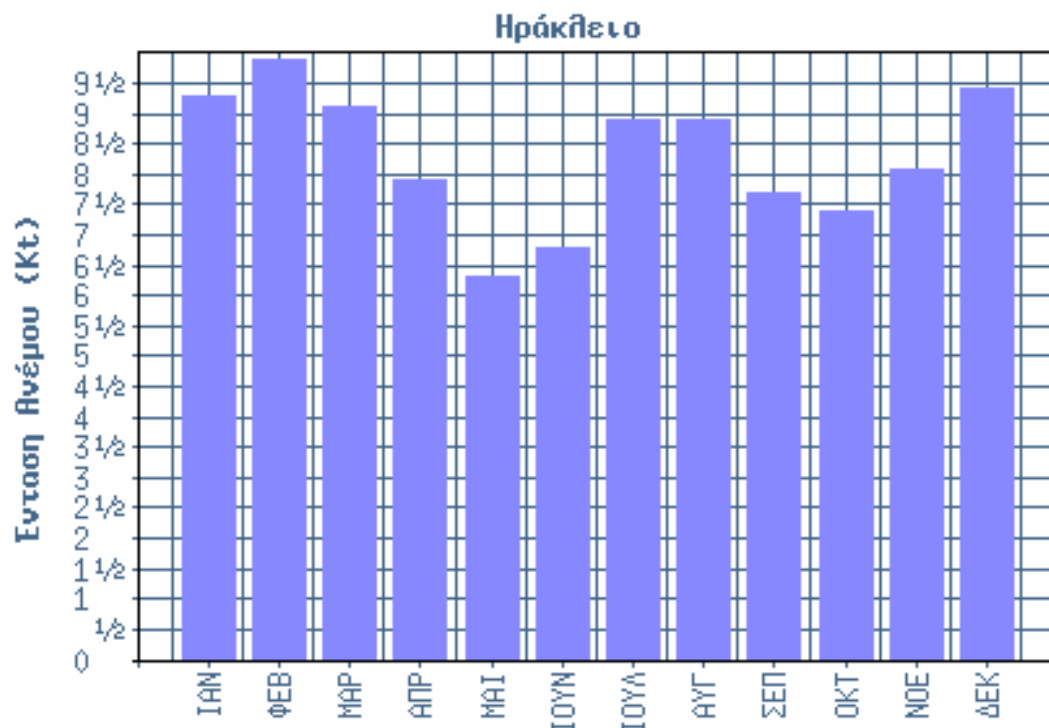
ΜΗΝ ΑΣ	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
ΙΑΝ	69	65	63		62	68	69	65	68	69	66
ΦΕΒ	66	63	63	57	61	62	70	62	63	66	65
ΜΑΡ	70	71	65	61	69	62	71	64	60	67	63
ΑΠΡ	56	58	64	63	59	61	64	58	60	61	58
ΜΑΙ	66	63	62	56	63	55	60	66	66	58	53
ΙΟΥΝ	60	60	57	51	56	54	57	57	55	55	56
ΙΟΥΛ	55	61	59	56	59	54	60	59	52	57	58
ΑΥΓ	59	62	59	59	63	58	61	63	58	54	63
ΣΕΠ	61	66	60	60	63	62	59	56	61	64	61
ΟΚΤ	65	65	63	65	66	65	64	58	65	72	64
ΝΟΕ	66	67	69	64	69	66	68	65	66	65	57
ΔΕΚ	72	69	64	69	68	68	68	64	70	68	69

6.3.4. Άνεμοι

Λόγω του ανοικτού πελάγους στο οποίο βρίσκεται η Κρήτη, είναι συχνοί οι σφοδροί άνεμοι που πνέουν και επιδρούν στη διαμόρφωση του κλίματος. Οι επικρατούσες διευθύνσεις ανέμων με βάση τα δεδομένα του σταθμού Ηρακλείου είναι κυρίως βόρειες και λιγότερο νότιες τους Χειμερινούς και βορειοδυτικές κατά τη διάρκεια των μηνών Μαρτίου-Οκτωβρίου, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Η μέση ταχύτητα των ανέμων εμφανίζει μέγιστες τιμές το χρονικό διάστημα από Φεβρουάριο-Μάρτιο και τον Ιούλιο-Αύγουστο και ελάχιστες το μήνα Μάιο (σχήμα 4.1). Το ετήσιο ποσοστό νηνεμίας ανέρχεται σε 18,75%. Στον πίνακα 4.9 φαίνονται η μέση ταχύτητα ανέμου σε κλίμακα Beaufort σε σχέση τις επικρατούσες διευθύνσεις (στοιχεία EMY, 1955-1990).

Πίνακας 6.8 Μέση ταχύτητα ανέμου σε Beaufort και κόμβους επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου για τον σταθμό του Ηρακλείου

Μήνες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Κόμβοι	9,3	9,9	9,1	7,9	6,3	6,8	8,9	8,9	7,7	7,4	8,1	9,4
Beauf	2,6	2,7	2,7	2,4	1,8	2,2	2,7	2,7	2,4	2,3	2,2	2,7
Κατεύθυνση	N	N	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	N	N



Σχήμα 6.5 Η διακύμανση της έντασης των ανέμων σε κόμβους ($1kt=0,515m/s$)

6.3.5. Ηλιοφάνεια

Η ηλιοφάνεια είναι σημαντικός παράγοντας θερμότητας της ατμόσφαιρας και του εδάφους, επηρεάζοντας την εξάτμιση του νερού. Η ηλιοφάνεια στην Κρήτη είναι από τις μεγαλύτερες στην Ελλάδα. Με βάση τα στοιχεία της ηλιοφάνειας από το σταθμό του Ηρακλείου κατά την περίοδο 1960-1975 (στοιχεία EMY) το μέγιστο της ηλιοφάνειας παρατηρείται το μήνα Ιούλιο (387 ώρες) και το ελάχιστο το μήνα

Ιανουάριο (107 ώρες). Σημειώνεται επίσης ότι τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μεγάλη ηλιοφάνεια, παρά τη μικρή διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα, για την Κρήτη ισχύουν οι ακόλουθες τιμές [26]:

Μήνες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Ηλ/νεια (ώρες/ μέρα)	5	6	7	9	11	12	13	12	11	8	7	6
Διάρκεια ημέρας (ώρες)	9,8	10,6	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6

6.3.6. Κλίμα

Ο δείκτης ξηρότητας (I_d), που ορίζεται από τη σχέση $I_d = P/(\theta+10)$, όπου P η μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm και θ η μέση θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$, έχει τιμή 16 για το σταθμό Ηρακλείου (ημίξηρος τύπος κλίματος) και 25,8 για το σταθμό Καστελλίου (μεσογειακός τύπος κλίματος). Σύμφωνα με την κλιματική υποδιαίρεση του Korpen, (1936), το κλίμα της περιοχής έρευνας ανήκει στον τύπο Csa, που δηλώνει εύκρατο με ξηρό θέρος και μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 22°C . Σύμφωνα δε με την κλιματική ταξινόμηση κατά Thornthwaite (1951) ο κλιματικός τύπος είναι D d B3' a', όπου:

D: δηλώνει ημίξηρο κλίμα

d: απουσία ή μικρό πλεόνασμα ύδατος

B3' : μεσόθερμο τύπο, και

a': μικρό ποσοστό θερμικής δραστηριότητας το καλοκαίρι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

7. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

- 7.1. Απαιτήσεις επεξεργασίας για την διάθεση αποβλήτων
- 7.2. Μελέτη δυνατών επιλογών αρδευτικού συστήματος
 - 7.2.1. Υφιστάμενη κατάσταση ποτίσματος
 - 7.2.2. Διαφορετικοί τρόποι σχεδιασμού της αρδευτικής έκτασης
 - 7.2.2.1. Παράλληλο δίκτυο,
 - 7.2.2.2. Φόβοι χρήσης του νερού
 - 7.2.2.3. Απομονωμένο δίκτυο
- 7.3. Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών
 - 7.3.1. Μέθοδοι εκτίμησης αρδευτικών αναγκών
 - 7.3.2. Μέθοδος Penmann-Monteith
 - 7.3.2.1. Ισοζύγιο
 - 7.3.2.2. Χρήση τιμών στο μοντέλο
 - 7.3.2.3. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς
 - 7.3.2.4. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής
 - 7.3.3. Εμπειρικές τιμές αρδευτικών αναγκών
 - 7.3.4. Σύγκριση και τελική χρήση τιμών

7.1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο οικισμός της Τυλίσου διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά, όσο αφορά την ενταξή του στις αντίστοιχες κατηγορίες οικισμών της νομοθεσίας:

- Διαθέτει πληθυσμό <2000 κατοίκων
- Οι πιθανοί αποδέκτες είναι
 - ποταμός (μη ευαίσθητης περιοχής, χωρίς θεσπισμένες ειδικές οδηγίες για την προστασία του)
 - έδαφος (επιφανειακή διάθεση)
 - έδαφος (άρδευση φυτών)
- Το σύστημα ποτίσματος θα είναι στάγδην για άρδευση καλλιεργειών ελιάς με πιθανή έκθεση εργαζομένων στα επεξεργασμένα λύματα

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά προκύπτουν οι ακόλουθες απαιτήσεις ως προς την επεξεργασία και την διάθεση των λυμάτων του οικισμού:

Αποδέκτης	Νομοθεσία αναφοράς	Επεξεργασία	Ποιότητα εκροής	Παρατηρήσεις
Ποταμός (μη ευαίσθητης περιοχής)	Οδηγία 91/271/ΕΟΚ	Κατάλληλη επεξεργασία ή/και διάθεση	-	-
	ΚΥΑ 5673/400/97	Δευτεροβάθμια ή Ισοδύναμη	BOD ₅ ≤ 25 mg/L COD ≤ 125 mg/L TSS ≤ 35 mg/L	-
Έδαφος (επιφανειακή διάθεση)	Απόφαση Ε1β/3161/61	Εσχαρισμός (με άνοιγμα 2,5 εκ.)	Ο εσχαρισμός επαρκεί	Όχι σηπτική κατάσταση (πιθανή απαίτηση αερισμού ή χλωρίωσης) Επαρκής έκταση Αποφυγή υπερφόρτισης εδάφους Αποφυγή στασίμων νερών

				30 μ. από φρέατα, πηγές 15 μ. από σωλήνες υδραγωγείου Ικανή απόσταση από κατοικ. περιοχή, υδροληψία οπωρώνες Μέτρα απαγόρευσης εισόδου αναρμοδίων προσώπων, ζώων
Έδαφος (άρδευση φυτών)	Απόφαση Ε1β/3161/61	Εσχαρισμός (με άνοιγμα 2,5 εκ.) Καθίζηση 2 ωρών	Επαρκεί ο εσχαρισμός και η καθίζηση	Η άρδευση θα διακόπτεται 2 εβδομάδες πριν τη συγκομιδή ή βοσκή γαλακτοφόρων ζώων Δεν θα είναι μολυσμένα με σπόρια άνθρακα Πρόβλεψη άλλου τρόπου υγιεινής διάθεσης όταν όχι για άρδευση
	Προτεινόμενα μικροβιολογικά όρια της Π.Ο.Υ	Λίμνες σταθ. με θ=8-10 d με μια λίμνη ωρ/σης ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία	Κωπ.Κολοβ/δια ≤1000απ./100ml, Εντ. νηματοειδή αυγά ≤ 1 / L	Τα όρια προτείνονται έτσι όπως συμπληρώνονται στην οδηγία της Π.Ο.Υ από την πηγή [21]

7.2. ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

7.2.1. Υφιστάμενη κατάσταση ποτίσματος

Η περιοχή της Τυλίσου έως το έτος 1987 δεν διέθετε κάποιο σύστημα εκμετάλλευσης του υπόγειου υδατικού δυναμικού. Από το έτος αυτό ξεκίνησε η προσπάθεια συστηματικής άρδευσης των καλλιεργειών στην περιοχή, γεγονός που συνέβαλε τόσο στην αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών και στην καλλιέργεια νέων ειδών με μεγαλύτερες απαιτήσεις ποτίσματος, όπως είναι τα κηπευτικά. Για τις ανάγκες ποτίσματος, δημιουργήθηκε σταδιακά δίκτυο κλειστών αγωγών. Η κατασκευή του έγινε τμηματικά μέχρι να καλυφθεί το σύνολο της περιοχής. Το δίκτυο κατασκευάστηκε από τον Οργανισμό Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης, ο οποίος είναι και ο φορέας διαχείρισής του, υπεύθυνος τόσο για την συντήρηση και την παρακολούθηση του, όσο και για την τυχόν τροποποίησή του για τις ανάγκες άρδευσης από τα επεξεργασμένα λύματα του οικισμού.

Αρχικά, το νερό από τις γεωτρήσεις αποθηκεύεται σε 3 κεντρικές δεξαμενές που βρίσκονται ΝΔ του οικισμού σε υψόμετρο αρκετό για να τροφοδοτείται με την βαρύτητα όλη η αρδευόμενη περιοχή. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό καθώς η περίπτωση διοχέτευσης των λυμάτων εντός των οικισμών, η οποία θα εξασφάλιζε ουσιαστικά πλήρη επαναχρησιμοποίηση της εκροής στην αρδευτική περίοδο, δεν θα ήταν εφικτή. Αυτό συνεπάγεται από το ότι η προτεινόμενη και κατάλληλη θέση δημιουργίας του φυσικού συστήματος βρίσκεται ΒΑ του οικισμού και σε αρκετά χαμηλότερο υψόμετρο από τις δεξαμενές. Επομένως, μια τέτοια λύση αν και επιθυμητή, θα συνέβαλε στην υπερβολική αύξηση του κόστους του συστήματος εξαιτίας των αντλιοστασίων και της απαιτούμενου μεγάλου μήκους του αγωγού διάθεσης.

7.2.2. Διαφορετικοί τρόποι σχεδιασμού της αρδευτικής έκτασης

7.2.2.1. Παράλληλο δίκτυο

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι λύσεις που είναι προσιτές είναι οι λύσεις που αφορούν την άρδευση μέσω ενός ξεχωριστού δικτύου. Μια εξ αυτών είναι η λύση του παράλληλου δικτύου. Με την λύση αυτή εισάγεται ένα επιπλέον δίκτυο παράλληλο με το ήδη ιστάμενο. Ο γεωργός έχει την δυνατότητα να ποτίσει από το δίκτυο που θα επιλέξει. Στην περίπτωση χρήσης του νερού από τα επεξεργασμένα απόβλητα, θα

μπορούσαν να δωθούν κίνητρα προς την κατευθυνση αυτή, όπως η μικρότερη χρέωση ανά χρησιμοποιούμενο κ.μ. και η ενημέρωση για τις ποσότητες φυσικού αζώτου και φωσφόρου που αφενός χρησιμοποιούνται ως οικολογικό λίπασμα και αφετέρου ελαττώνουν σημαντικά τις ανάγκες λίπανσης. Η λύση αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης στην αρδευτική περίοδο καθώς αν οι γεωργοί δίδουν προτεραιότητα στην χρήση αυτού του νερού, θα γίνεται χρήση του συμβατικού δικτύου μόνο σε περιπτώσεις ανεπαρκούς κάλυψης των αναγκών από το δίκτυο των επεξεργασμένων λυμάτων. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο θα γίνεται και μια αξιοσημείωτη μείωση των αναγκών άντλησης από τις γεωτρήσεις που αντιμετωπίζουν προβλήματα υφαλμύρυνσης.

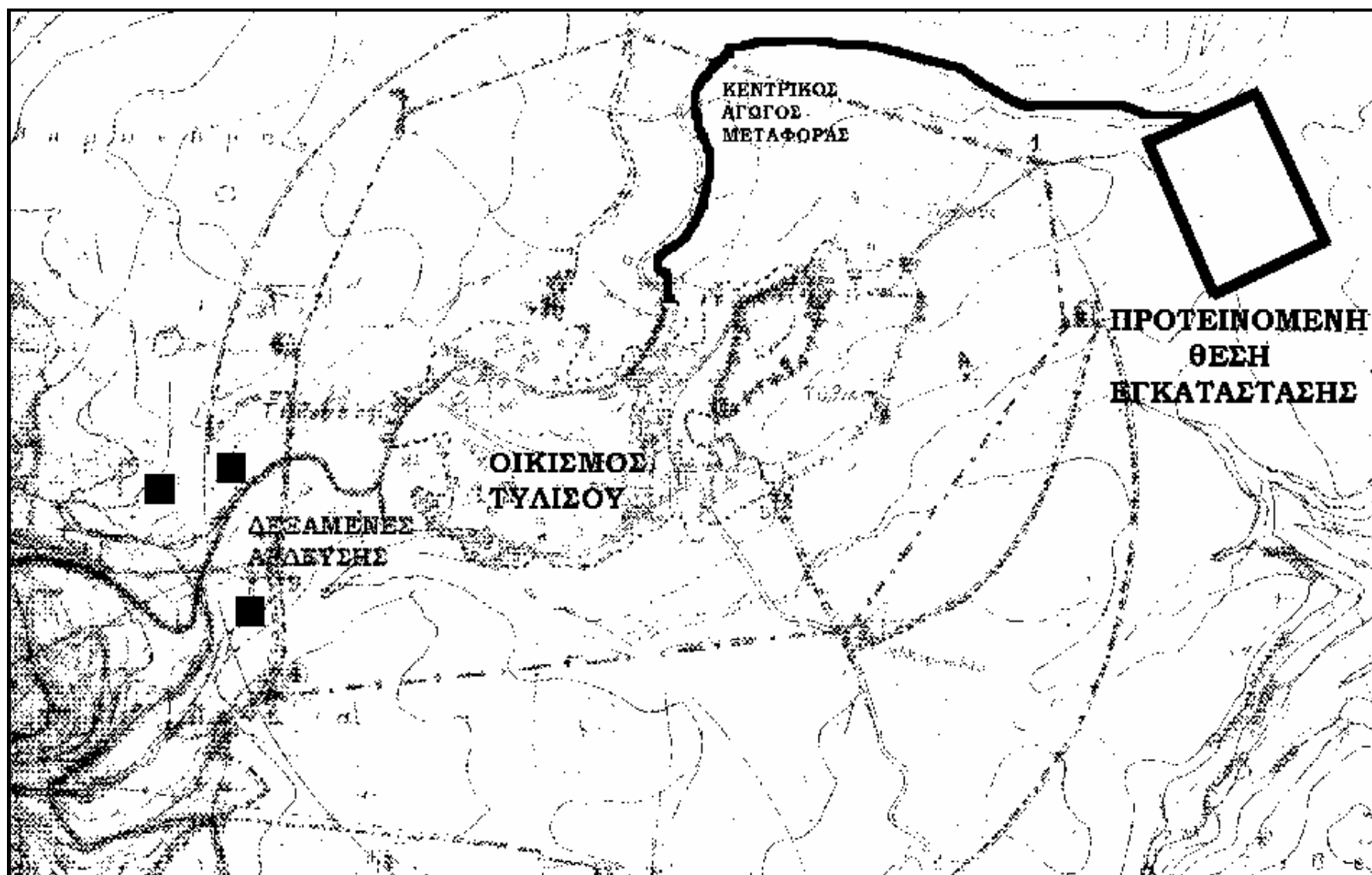
7.2.2.2. Φόβοι χρήσης του νερού

Ωστόσο, εκφράζονται φόβοι ότι η παραπάνω προτεινόμενη μέθοδος διάθεσης πρόκειται να εγείρει σημαντικούς κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων στα κτήματα. Σύμφωνα με προσωπική επικοινωνία με υπευθύνους του Ο.ΑΝ.Α.Κ., εκφράζονται έντονες ανησυχίες που φθάνουν σε βαθμό σχεδόν βεβαιότητας ότι ένα τέτοιο σχέδιο διαχείρισης θα είχε ως αποτέλεσμα την προσβολή της υγείας των γεωργών, εξαιτίας της συνήθειας που επικρατεί να χρησιμοποιούν το νερό αυτό και ως πόσιμο. Η ενημέρωση όσο και καλά οργανωμένη να ήταν, εκτιμάται ότι δεν είχε ουσιαστικό αποτέλεσμα, ιδιαίτερα όταν υπάρχει και ο κίνδυνος συγχύσεως στο ποιο δίκτυο έχει συνδεθεί το χωράφι.

7.2.2.3. Απομονωμένο δίκτυο

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αναζήτηση λύσεων κατευθύνεται στην επιλογή της λύσης του απομονωμένου δικτύου. Η μέθοδος αυτή οδηγεί στην απομόνωση τμήματος του ήδη υπάρχοντος δικτύου και τροφοδότησή του με επεξεργασμένα λύματα. Η αρδευόμενη έκταση στην περίπτωση αυτή σχεδιάζεται με βάση τις μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες στην διάρκεια του χρόνου και είναι σταθερή. Η βέλτιστη λύση σε αυτή την περίπτωση θα ήταν η δημιουργία μιας δεξαμενής άντλησης, η οποία θα τροφοδοτείται με επεξεργασμένα απόβλητα και όταν δεν επαρκεί θα συμπληρώνεται με νερό των γεωτρήσεων. Αυτό όμως σύμφωνα με τον Ο.ΑΝ.Α.Κ. θα είχε αποτέλεσμα την αρδευτική κάλυψη μεγάλων εκτάσεων, όπου δύσκολα θα μπορούσε να ελεγχθεί ο κίνδυνος πόσης του νερού. Το σίγουρο πάντως είναι ότι πρόκειται για ένα θέμα προς

προβληματισμό, αλλά φαίνεται πως ο κίνδυνος προσβολής της υγείας των γεωργών είναι ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στο σχεδιασμό. Ίσως, δεν έχει ωριμάσει αρκετά μέχρι στιγμής η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων στην χώρα μας. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας κρίθηκε σκόπιμη η τήρηση των ορίων του Ο.Α.Ν.Α.Κ., και ο σχεδιασμός του δικτύου με χρήση επεξεργασμένων αποβλήτων αποκλειστικά. Αυτό σημαίνει ότι το υπόλειμμα της εκροής που δεν θα χρειάζεται στους υπόλοιπους μήνες του έτους θα οδηγείται στο δευτερεύοντα αποδέκτη διάθεσης, που για την περιοχή μας είναι ο ποταμός Γαζανός. Στην περίπτωση δε που η αφομοιωτική ικανότητα του ποταμού δεν είναι αρκετή για να παραλάβει ο ποταμός τα φορτία της εκροής, ορίζεται ως τρίτος αποδέκτης η εδαφική διάθεση.



7.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

7.3.1. Μέθοδοι εκτίμησης αρδευτικών αναγκών

Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με τους παρακάτω δύο τρόπους:

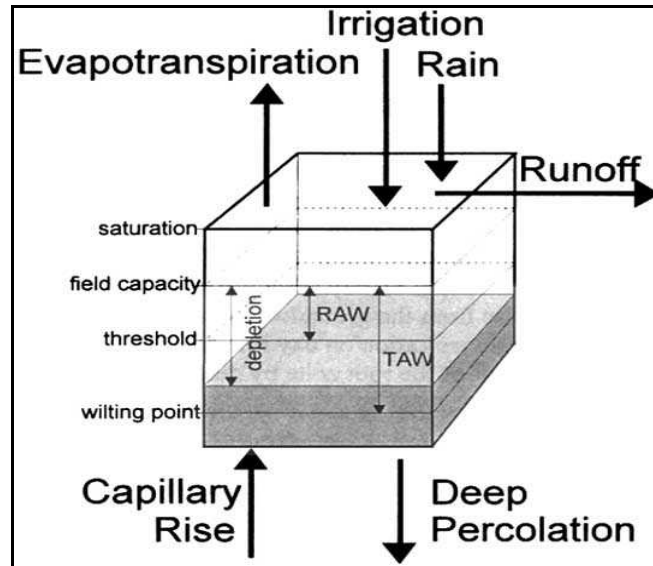
- Με τον προσδιορισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των συγκεκριμένων καλλιεργειών της περιοχής με την χρήση του μοντέλου των Penmann-Monteith, και την επίλυση του ισοζυγίου μάζας του νερού. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψιν η τιμή της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των τοπικών ατμοσφαιρικών συνθηκών και της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος.
- Με την χρήση εμπειρικών και δοκιμασμένων τιμών, για την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης. Αυτές οι τιμές είναι διαθέσιμες από τις διάφορες κατά τόπους γεωπονικές υπηρεσίες

7.3.2. Μέθοδος FAO Penmann-Monteith

7.3.2.1. Ισοζύγιο

Στο συγκεκριμένο βήμα σκοπός είναι ο προσδιορισμός των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών που υπάρχουν στην περιοχή και θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως εκτάσεις που θα χρησιμοποιούνται ως αρδευτικός αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων του οικισμού.

Η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών κάθε καλλιέργειας απαιτεί την επίλυση του ισοζυγίου μάζας του νερού του εδάφους. Συγκεκριμένα, όπως διαπιστώνεται από το παρακάτω σχήμα, κύριες εισροές ύδατος σε μια μονάδα όγκου επιφανειακού εδάφους είναι οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (κυρίως για την Κρήτη βροχόπτωση), νερό από αρδευτικές δραστηριότητες αλλά και οι εισροές ύδατος από ανοδικές τάσεις τριχοειδών φαινομένων. Οι κύριες εκροές είναι η διήθηση, η επιφανειακή απορροή και η εξατμισοδιαπνοή τόσο από το έδαφος όσο και από τους πόρους των φύλλων των φυτών.



Σχήμα 7.1 Εισροές και εκροές ύδατος σε όγκο επιφανειακού εδάφους

Για την επίλυση του ισοζυγίου, γίνεται η παραδοχή ότι η επιφανειακή απορροή, οι εισροές από τριχοειδή φαινόμενα και η διήθηση θεωρούνται είτε μηδενικές ή μη σημαντικές-οριακές, καθώς στην περίπτωση υπολογισμού των αρδευτικών απαιτήσεων, το νερό του συστήματος είναι σταθερό και ίσο με αυτό που απαιτεί η κάθε καλλιέργεια. Απόκλιση σε αυτό αποτελούν οι χειμερινοί μήνες όπου και υπάρχει πλεόνασμα ύδατος το οποίο είτε διηθείται ή απορρέει επιφανειακά, χωρίς όμως να επηρεάζει τις ανάγκες της αρδευτικής περιόδου. Κατά συνέπεια, μπορούμε να θεωρήσουμε:

$$[\text{Αρδευτικές ανάγκες}] \text{ (mm/d)} = [\text{Εξατμισοδιαπνοή}] \text{ (mm/d)} - [\text{Βροχόπτωση}] \text{ (mm/d)}$$

Το ύψος των βροχοπτώσεων της περιοχής είναι γνωστό. Επομένως, το σημείο στο οποίο επικεντρώνεται η προσπάθεια εκτίμησης των αρδευτικών αναγκών είναι ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής για τους 12 μήνες του έτους.

7.3.2.2. Χρήση τιμών στο μοντέλο

Τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο που χρειάζονται για την τροφοδότηση των εξισώσεων λαμβάνονται από την παράγραφο που αναλύονται τα κλιματικά χαρακτηριστικά της

περιοχής. Επομένως, δεν απαιτείται ιδιαίτερη αναφορά στις τιμές των δεδομένων. Ωστόσο, για την αξιοπιστία των στοιχείων και για την δυνατότητα του αναγνώστη να εισάγει στο μοντέλο κάποιο ενδεχόμενο πιο αξιόπιστο στοιχείο παραθέτουμε τις πηγές που αντιστοιχούν σε κάθε παράμετρο, της οποίας γίνεται χρήση στην μέθοδο.

A/A	Παράμετρος	Πηγή
1	Μέση Θερμοκρασία	Μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου
2	Θερμοκρασία νερού στην επιφάνεια	Μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου
3	Υψόμετρο	Χάρτης
4	Ταχύτητα ανέμου σε 2m	Μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου
5	Ωρες ηλιοφάνειας	Διασταύρωση τιμών από 3 οδηγούς για την Κρήτη
6	Αστρονομική διάρκεια ημέρας	Πίνακας από πηγή [26]
7	Σχετική υγρασία	Μετεωρολογικός σταθμός Ηρακλείου
8	Πυκνότητα ύδατος	Σταθερά
9	Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία	Πίνακας από πηγή [26]
10	Λευκαύγεια (albedo)	Προτεινόμενη τιμή για Ελλάδα πηγή [4]

7.3.2.3. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Πίνακας 7.1 Πίνακας υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με την μέθοδο Penmann-Monteith

Β ή μ α	Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Δ.Ε. ¹	Μέση Θερμοκρασία	T	°C	11,23	11,20	12,37	15,66	19,63	23,98	25,65	25,62	23,18	20,10	15,99	12,85
Δ.Ε.	Θερμοκρασία νερού στην επιφάνεια	Ts	°C	11,23	11,20	12,37	15,66	19,63	23,98	25,65	25,62	23,18	20,10	15,99	12,85
Δ.Ε.	Υψόμετρο	Z	m	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Δ.Ε.	Ταχύτητα ανέμου σε 2m	u2	m/s	4,79	5,10	4,68	4,07	3,24	3,50	4,58	4,58	3,96	3,81	4,17	4,84
Δ.Ε.	Ώρες ηλιοφάνειας / Ημέρα	n	ώρες	5	5	7	9	11	12	13	12	11	8	7	6
Δ.Ε.	Αστρονομική διάρκεια ημέρας	N	ώρες	9,8	10,6	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6
Δ.Ε.	Σχετική ηλιοφάνεια	n/N	-	0,51	0,47	0,60	0,70	0,79	0,83	0,92	0,90	0,90	0,72	0,69	0,63
Δ.Ε.	Σχετική υγρασία	U	%	68	66,1	66	61,7	60,8	56,3	56,6	58,3	61,2	65,5	67,7	67,7
1	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης	λ	kJ/kg	2474	2475	2472	2464	2455	2444	2440	2441	2446	2454	2463	2471
2	Ατμοσφαιρική πίεση	p	hPa	990	990	990	990	990	990	990	990	990	990	990	990
3	Ψυχομετρικός συντελεστής	γ	hPa/°C	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65
4	Πίεση κορεσμού υδρατμών	e _s	hPa	13,33	13,30	14,37	17,80	22,85	29,82	32,94	32,88	28,42	23,54	18,18	14,84
5	Πίεση υδρατμών	e	hPa	9,07	8,79	9,49	10,98	13,90	16,79	18,64	19,17	17,39	15,42	12,31	10,04
6	Έλειμμα τάσης ατμών	D	hPa	4,27	4,51	4,89	6,82	8,96	13,03	14,30	13,71	11,03	8,12	5,87	4,79
7	Κλίση καμπύλης πίεσης κορ.	Δ	hPa/°C	0,88	0,88	0,94	1,14	1,42	1,79	1,95	1,95	1,72	1,46	1,16	0,97
8	Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία	So	kJ/m ² /d	17604	22349	28967	35447	39820	41571	40725	37225	31510	24651	18879	16230
9	Λευκαύγεια (albedo)	a	-	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

¹ Δ.Ε : Δεδομένο Εισόδου

10	Συντελεστής απορρόφησης	fs	-	0,51	0,49	0,55	0,60	0,65	0,67	0,71	0,70	0,70	0,61	0,60	0,56
11	Καθαρή ακτινοβολία βραχέων κυμάτων	Sn	kJ/m ² /d	6847	8361	12248	16345	19798	21340	22194	20000	17004	11585	8672	7030
12	Καθαρή ικανότητα θερμ.εκπομπής	en	-	0,319	0,323	0,314	0,295	0,262	0,232	0,215	0,210	0,226	0,246	0,279	0,306
13	Συντ.επίδρασης της νέφωσης	f _L	-	0,559	0,525	0,638	0,728	0,812	0,850	0,924	0,906	0,911	0,749	0,724	0,663
14	Σταθερά Stefan-Boltzman	σ	kJ/(m ² K ⁴ d)	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06	4,9E-06
15	Καθαρή ακτινοβολία μακρών κυμάτων	Ln	kJ/m ² /d	5707	5412	6506	7303	7640	7524	7728	7404	7781	6657	6910	6642
16	Καθαρή ακτινοβολία Rn	Rn	kJ/m ² /d	1140	2949	5742	9042	12158	13816	14465	12596	9223	4929	1762	387
17	Συντελεστής γ'	γ'	hPa/°C	1,68	1,75	1,66	1,53	1,36	1,42	1,66	1,66	1,52	1,48	1,56	1,70
	Κλίση καμπύλης πίεσης κορ.	Δ	kPa/°C	0,088	0,088	0,094	0,114	0,142	0,179	0,195	0,195	0,172	0,146	0,116	0,097
	Ατμοσφαιρική πίεση p	p	kPa	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	Ψυχομετρικός συντελεστής γ	γ	kPa/°C	0,065	0,065	0,065	0,065	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,065	0,065
	Πίεση κορεσμού υδρατμών es	es	kPa	1,333	1,330	1,437	1,780	2,285	2,982	3,294	3,288	2,842	2,354	1,818	1,484
	Πίεση υδρατμών e _a	e _a	kPa	0,907	0,879	0,949	1,098	1,390	1,679	1,864	1,917	1,739	1,542	1,231	1,004
	Έλκειμα τάσης ατμών D=es-ea	D=es-ea	kPa	0,427	0,451	0,489	0,682	0,896	1,303	1,430	1,371	1,103	0,812	0,587	0,479
	Καθαρή ακτινοβολία Rn	Rn	MJ/m ² /d	1,140	2,949	5,742	9,042	12,158	13,816	14,465	12,596	9,223	4,929	1,762	0,387
18	Ροή θερμότητας εδάφους	G	MJ/m ² /d	-0,231	0,159	0,625	1,016	1,165	0,844	0,230	-0,345	-0,773	-1,007	-1,015	-0,667
19	Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς	ETo	mm/d	1,67	1,88	1,98	2,47	2,73	3,77	4,72	4,47	3,38	2,46	1,95	1,81

7.3.2.4. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

Για την μετατροπή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o) σε πραγματική (ET_c), απαιτείται η χρήση των τιμών των συντελεστών καλλιέργειας K_c, σε 12μηνιαία βάση και χρήση της εξίσωσης:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

Ο τύπος καλλιεργειών για τα οποία προορίζονται τα επεξεργασμένα λύματα είναι η ελιά για παραγωγή λαδιού και τα αμπέλια για την παραγωγή οίνου. Για τα συγκεκριμένα, είδη απαιτείται η διάρκεια των αντίστοιχων περιόδων. Στην πηγή [27] αναφέρεται ο μήνας έναρξης, η διάρκεια της κάθε περιόδου σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Είδος καλλιέργειας	Αρχική περίοδος	Στάδιο αναπτύξεως	Μεσαίο στάδιο	Τελικό στάδιο	Συνολική διάρκεια	Ημερομηνία έναρξης	Περιοχή
Ελιές	30	90	60	90	270	Μάρτιος	Μεσόγειος
k_c ΕΛΙΑΣ	0,55	-	0,65	0,65			
Αμπέλια	30	60	40	80	210	Απρίλιος	Μεσαία γεωγραφικά πλάτη
k_c ΑΜΠΕΛΙΑ	0,15	-	0,80	0,60			

Παράμετρος	Σύμβολο	Μον/δες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
ΕΛΙΑ														
Συντελεστής καλλιέργειας	k_c ΕΛΙΑΣ	-	0,50	0,50	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,55	0,60	0,65	0,50
Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή	ET _c ΕΛΙΑΣ	mm/d	0,84	0,94	1,29	1,48	1,50	1,88	2,12	2,01	1,86	1,48	1,27	0,90
Βροχοπτώσεις	P	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
Άρδευση		mm/d	-1,38	-0,90	-0,97	0,91	1,24	1,78	2,11	2,01	1,62	0,01	-0,85	-1,90
ΑΜΠΕΛΙΑ														
Συντελεστής καλλιέργειας	k_c ΑΜΠΕΛΙΑ	-	0,00	0,00	0,00	0,30	0,45	0,70	0,80	0,70	0,60	0,50	0,00	0,00
Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή	ET _c ΑΜΠΕΛΙΑ	mm/d	0,00	0,00	0,00	0,74	1,23	2,64	3,77	3,13	2,03	1,23	0,00	0,00
Βροχοπτώσεις	P	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
Άρδευση		mm/d	-2,22	-1,84	-2,26	0,17	0,96	2,53	3,76	3,13	1,79	-0,23	-2,12	-2,80

7.3.3. Εμπειρικές τιμές αρδευτικών αναγκών

Για την εξακρίβωση των στοιχείων από το μοντέλο Penmann-Monteith σκόπιμη κρίθηκε η σύγκρισή τους με στοιχεία από γεωπονικές υπηρεσίες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εκτιμήσεις του Ινστιτούτου Υποτροπικών Φυτών και Ελιάς Χανίων.

Πίνακας 7.2 Απαιτήσεις άρδευσης για καλλιέργειες σύμφωνα με το Ινστιτούτο Υποτροπικών Φυτών και Ελιάς

Καλλι- έργεια	Μονάδες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Ελιά	L/φυτό	0	0	0	0	35	45	52	55	45	0	0	0
	mm/d ή m ³ /d/ στρέμμα	0	0	0	0	1,26	1,62	1,87	1,98	1,62	0	0	0
Αμπέλια	L/φυτό	0	0	0	0	0	10,0	12,8	7,8	0	0	0	0
	mm/d ή m ³ /d/ στρέμμα	0	0	0	0	0	3,00	3,83	2,33	0	0	0	0

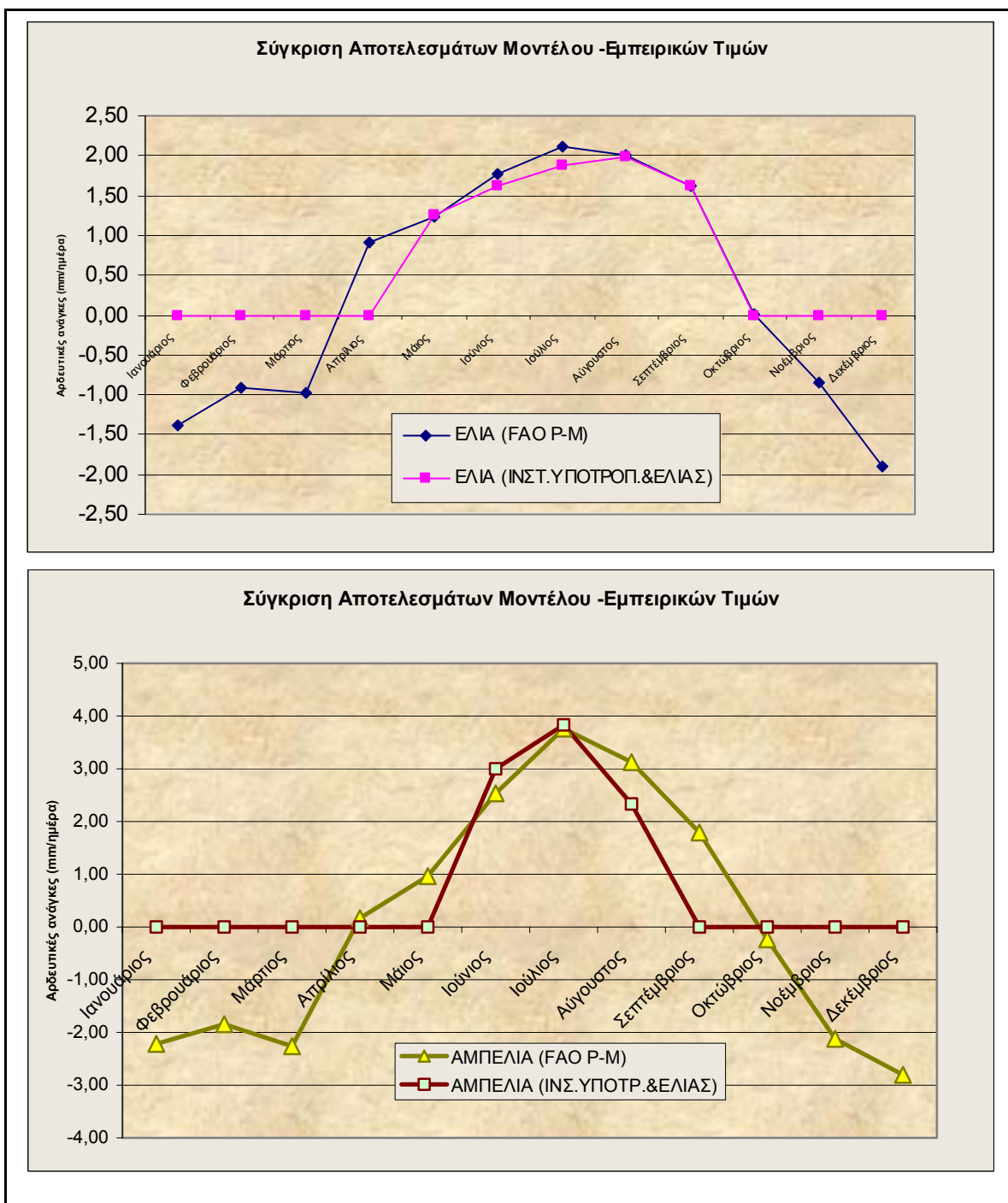
7.3.4. Σύγκριση και τελική χρήση τιμών

Από τις δύο αυτές μεθόδους, παρατηρείται ότι οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν σε σημαντικό βαθμό, σε όμοια επίπεδα, χωρίς να λείπουν και οι αποκλίσεις. Ειδικά στην περίπτωση της ελιάς οι τιμές είναι ανέλπιστα κοντά. Αυτό ίσως να σημαίνει δύο πράγματα: Πρώτον ότι η τιμές του Ινστιτούτου είναι πιθανόν να εκτός από τις παρατηρούμενες τιμές για την Κρήτη, να βασίστηκαν και στην προτινόμενη μεθοδολογία υπολογισμού με το μοντέλο του Παγκοσμίου Οργανισμού Τροφίμων του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (FAO). Δεύτερον ότι αν και δεν ήταν αναμενόμενο να συγκλίνουν σε τέτοιο βαθμό οι τιμές, ίσως αυτό να σημαίνει ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι σε γενικές γραμμές μια πρώτη βάση, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στην παράγραφο 8.2, όπου για τους υδροβιότοπους δεν υπάρχουν διαθέσιμα εμπεριρικά στοιχεία.

Ωστόσο, κρίθηκαν ως πιο αξιόπιστα τα στοιχεία του Ινστιτούτου Υποτροπικών Φυτών και Ελιάς Χανίων, λόγω της πολυετούς εμπειρίας αλλά και τις ακριβούς γνώσεις του τοπικών συνθηκών. Αυτό αν και ήταν εξ αρχής φανερό, εντούτοις,

κρίθηκε σκόπιμη η παράθεση των τιμών του μοντέλου για λόγους επιστημονικού ενδιαφέροντος και κατανόησης της απόκλισης των τιμών του Penmann και των εμπειρικών τιμών, μιας και είναι ούτως ή άλλως αναγκαίος ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς στο επόμενο στάδιο σχεδιασμού.

Κατά συνέπεια, στο σχεδιασμό του διαχειριστικού συστήματος των λυμάτων του οικισμού της Τυλίσου, θα γίνει χρήση των τιμών του Ινστιτούτου για τις αρδευτικές ανάγκες τις περιοχής.



Σχήμα 7.2 Διαγράμματα αντιπαράθεσης τιμών μεθόδου εκτίμησης αρδευτικών αναγκών και εμπειρικών τιμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ

8. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ

8.1. Μεθοδολογία σχεδιασμού

- 8.1.1. Εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων
- 8.1.2. Διαθέσιμη ποσότητα εκροής προς διαχείριση
- 8.1.3. Μέγιστη αρδευόμενη έκταση
- 8.1.4. Δεξαμενή εξισορρόπησης
- 8.1.5. Περίσσεια ποσότητας νερού
- 8.1.6. Ρύθμιση ρύπανσης ποταμού
- 8.1.7. Εδαφική διάθεση
- 8.1.8. Γραφήματα

8.2. Διαθέσιμες ποσότητες νερού για διάθεση με την μέθοδο FAO Penmann-Monteith

- 8.2.1. Ισοζύγιο
- 8.2.2. Πίνακας υπολογισμών

8.3. Μοντέλο ρύπανσης ποταμού

- 8.3.1. Σκοπός χρήσης του μοντέλου
- 8.3.2. Λειτουργία του μοντέλου
- 8.3.3. Χρήση τιμών στο μοντέλο
- 8.3.4. Απαιτήσεις επεξεργασίας νερού για διάθεση στο ποτάμι
- 8.3.5. Μέγιστο φορτίο αποβλήτων ποταμό

8.4. Αποτελέσματα

- 8.4.1. Πίνακες υπολογισμών
- 8.4.2. Γραφήματα διαχείρισης εκροής σε ετήσια βάση

8.5. Συμπεράσματα

8.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το διαχειριστικό σχέδιο βασίζεται στο ειδικό διαχειριστικό σύστημα που αναπτύχθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, προσαρμοσμένο στις ανάγκες της περιοχής μελέτης. Στο σχεδιασμό τίθεται ως η πιο προτιμητέα διάθεση η άρδευση, ορίζεται ως δεύτερος εναλλακτικός αποδέκτης ο ποταμός Γαζανός και ως τρίτη λύση η εδαφική διάθεση.

8.1.1. Εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων

Οι τιμές της βιβλιογραφίας ισχύουν για αστικές κυρίως περιοχές, όπου σύμφωνα με την εμπειρία η παροχή λυμάτων ανά ισοδύναμο κάτοικο είναι αρκετά αυξημένη σε σχέση με τις αγροτικές περιοχές, όπως η υπό μελέτη περιοχή. Κατά συνέπεια, μη έχοντας μετρήσεις της παροχής από την έξοδο του δικτύου αποχέτευσης, η πιο ασφαλής λύση εκτίμησης του όγκου των λυμάτων είναι η χρήση των παραπάνω τιμών, προσαρμοσμένων, όμως, κατάλληλα για χρήση σε αγροτικές περιοχές. Ειδικότερα, μια καλή τιμή θεωρείται η τιμή των 120 l/κ/ημέρα, στην διάρκεια των θερινών μηνών εκτιμάται ως πιο κατάλληλη η τιμή των 140 l/κ/ημέρα.

Μια επίσης σημαντική παράμετρος, όσο αφορά τα ποσοτικά χαρακτηριστικά, είναι ο συντελεστής αιχμής της παροχής. Στο σχεδιασμό των συμβατικών συστημάτων ένεκα του μικρού όγκου λυμάτων που δύνανται να αποθηκεύσουν διαθέτουν μικρής κλίμακας χρόνους παραμονής που κυμαίνονται σε διαστήματα μερικών ωρών. Απόρροια αυτού είναι η ανάγκη χρήσης ενός συντελεστή αιχμής τέτοιου ώστε το σύστημα να είναι σε θέση να παραλάβει τα αυξημένα φορτία κατά την διάρκεια της ημέρας. Συνήθως, ο συντελεστής αιχμής στα συμβατικά συστήματα 1,5. Ωστόσο, στα φυσικά συστήματα η ανάγκη χρήσης της μέγιστης ημερήσιας παροχής ως παροχή σχεδιασμού δεν είναι τόσο έντονη. Αυτό συμβαίνει διότι τα φυσικά συστήματα και ιδιαίτερα οι λίμνες σταθεροποίησης, διαθέτουν μεγάλη χωρητικότητα ικανή να παραλάβει τις αιχμές στην διάρκεια της ημέρας. Ωστόσο, είναι καλό να προβλέπονται και περίοδοι συναπτόν αυξημένων τιμών παροχής, ίσως μόνο για τους υδροβιότοπους, όπως είναι οι περίοδοι των γιορτών του Πάσχα, των Χριστουγέννων και του Δεκαπενταυγούστου. Καλό επομένως είναι να θεωρηθεί η τιμή 1,30 για του υδροβιότοπους και η τιμή 1,0 για τις λίμνες σταθεροποίησης.

Για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων της Τυλίσου είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 1.2. Ως απόρροια των παραπάνω θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τις παρακάτω τιμές, για την υπό μελέτη περιοχή:

Παράμετρος	Χειμώνας	Θέρος
	mg/L	mg/L
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD ₅	270	330
Αιωρούμενα στερεά, TSS	280	320
Ολικό άζωτο TKN	50	60
Ολικός φώσφορος, TP	11	14

8.1.2. Διαθέσιμη ποσότητα εκροής προς διαχείριση

Στο επόμενο στάδιο της ανάλυσης ακολουθεί ο υπολογισμός της διαθέσιμης ποσότητας επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση έτσι όπως μεταβάλλεται στην διάρκεια του έτους. Στο σημείο αυτό, εξαιτίας του ότι κάθε φυσικό σύστημα έχει διαφορές στις απώλειες, απαιτείται η εξέταση 3 περιπτώσεων μία για κάθε τύπο συστήματος επεξεργασίας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των απωλειών λόγω εξατμισοδιαπνοής και για τους τρεις πιθανούς τύπους φυσικών συστημάτων δεν δείχνουν σημαντικές διαφορές στην διαθέσιμη παροχή εκροής. Κατά συνέπεια, κατά προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί η ίδια παροχή. Επομένως, συνεκτιμώντας τη μέση παροχή στην εισροή, τη βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοή και εφαρμόζοντας το ισοζύγιο μάζας προσδιορίζεται η παροχή εξόδου σε 12μηνιαία βάση. Επιπλέον, υπολογίζεται το ποσοστό εκροής επί των εισροών του συστήματος. Η διαθέσιμη ποσότητα της εκροής ανά τύπο φυσικού συστήματος προσδιορίζεται στην παράγραφο 8.2.

8.1.3. Μέγιστη αρδευόμενη έκταση

Αρχικά, δίδεται προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αποβλήτων μέσω άρδευσης. Υπολογίζονται οι αρδευτικές ανάγκες τόσο των καλλιεργειών ελιάς, όσο και των καλλιεργειών αμπελιών. Θεωρώντας ότι η περιοχή άρδευσης καλύπτεται κατά 70% από ελαιώνες και 30% από αμπελώνες, υπολογίζονται οι συνολικές απαιτήσεις για εκτάσεις με την παραπάνω αναλογία.

Έχοντας προσδιορίσει τόσο την διαθέσιμη ποσότητα για άρδευση σε 12μηνιαία βάση, όσο και τις αρδευτικές ανάγκες ανά στρέμμα, εκτιμάται η μέγιστη πλήρως αρδευόμενη

έκταση για κάθε μήνα του έτους, σύμφωνα με τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών που έχουν επιλεγεί. Ως αρδευόμενη έκταση επιλέγεται η μικρότερη προκειμένου να καλύπτονται πλήρως οι απαιτήσεις των καλλιεργειών για όλους τους μήνες της αρδευτικής περιόδου.

8.1.4. Δεξαμενή εξισορρόπησης

Η κατανάλωση νερού για άρδευση δεν είναι σταθερή. Παρουσιάζει μέγιστο στην διάρκεια της ημέρας, ενώ τις νυχτερινές ώρες σχεδόν γίνεται μηδαμινή. Σκοπός της δεξαμενής εξισορρόπησης είναι η αποθήκευση υδραυλικού φορτίου, ώστε να καλύπτεται η κατανάλωση στις ώρες αιχμής. Στην παρούσα ανάλυση γίνεται διαστασιολόγηση της δεξαμενής θεωρώντας αποθηκευτική ικανότητα 9,6 ωρών και βάθος 4 m.

8.1.5. Ρύθμιση ρύπανσης ποταμού

Στο στάδιο αυτό υπολογίζεται η ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων μήνα προς μήνα που δεν διατίθεται προς άρδευση. Ορίζεται ως δεύτερος προτιμητέος τρόπος διάθεσης η απόρριψη στον ποταμό Γαζανό. Στο σημείο αυτό το διαχειριστικό σύστημα συνεργάζεται με το μοντέλο εκτίμησης της ρύπανσης του ποταμού. Η εφαρμογή του μοντέλου στην περιοχή μελέτης περιγράφεται στην παράγραφο 8.3. Το μοντέλο πέραν της ρύπανσης του ποταμού επιστρέφει και την μέγιστη επιτρεπτή παροχή επεξεργασμένων αποβλήτων προς τον ποταμό Γαζανό, έτσι ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις ποιότητας για τους υδρόβιους οργανισμούς. Έπειτα, υπολογίζεται το νέο υπόλειμμα.

8.1.6. Εδαφική διάθεση

Ως τρίτη κατά προτίμηση επιλογή διάθεσης ορίζεται η εδαφική διάθεση. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, τα απόβλητα οδηγούνται με διήθηση στο έδαφος. Σύμφωνα με την πηγή [4] ο ρυθμός διήθησης θεωρείται ότι κυμαίνεται στα 50 m/έτος. Εναλλακτικά της χρήσης επιφάνειας όπου εναποτίθενται η εκροή, μπορούν τα επεξεργασμένα απόβλητα να διατεθούν σε παραπλήσια ξηρά ρέματα, όπου η διήθηση γίνεται με φυσικό τρόπο, δίχως την ανάγκη χρήσης επιπλέον επιφάνειας.

Τονίζεται σε αυτό το σημείο ότι σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, εάν η εκροή του συστήματος επεξεργασίας είναι μικρότερη των 25mg/L BOD₅, 125 mg/L COD και 35 mg/L TSS, η εκροή δύναται να διατεθεί στον ποταμό. Τα όρια αυτά εύκολα τηρούνται από τα φυσικά συστήματα, όπως παρουσιάστηκε στις παραγράφους 3.2, 3.3

και 3.4. Επομένως, η εδαφική διάθεση είναι προαιρετική, μιας και ο ποταμός Γαζανός δεν θεωρείται ευαίσθητος αποδέκτης. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία αποδεικνύεται ποια είναι η ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων που δεν δημιουργούν προβλήματα στον αποδέκτη και από ποιο σημείο και έπειτα αρχίζει να δημιουργείται πρόβλημα εξαιτίας της απόρριψης ποσότητας εκροής πέρα από αυτή που μπορεί να αφομοιώσει ο ποταμός.

Εξάλλου, όπως φαίνεται στην παρακάτω ανάλυση, η ανάγκη διήθησης εμφανίζεται τους μήνες του φθινοπώρου, όπου και ροή των ρεμάτων και ποταμών της περιοχής είναι μηδαμινή. Συν τοις άλλοις, η διήθηση έχει το πλεονέκτημα της αποθήκευσης, τρόπον τινά, υδατικού δυναμικού στον υδροφόρο ορίζοντα, αν και οι ποσότητες είναι σχετικά μικρές.

8.1.7. Γραφήματα

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν γραφικές λύσεις. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της διαθέσιμης παροχής της εκροής και οι ποσότητες αυτής που οδηγούνται προς άρδευση. Επιπλέον, γίνεται μια επί τοις εκατό (%) ανάλυση της ποσότητας που διατίθεται σε κάθε αποδέκτη.

Έχοντας προσδιορίσει ποια είναι τα απαιτούμενα όρια για την απόδοση του συστήματος επεξεργασίας, μπορεί να προχωρήσει η κατάλληλη διαστασιολόγηση διαφορετικών φυσικών συστημάτων επεξεργασίας.

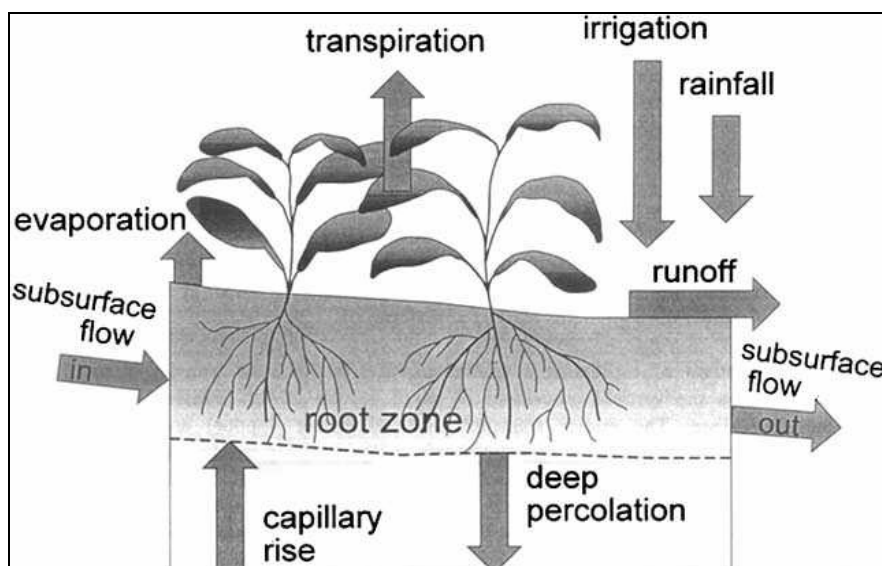
8.2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ FAO PENMANN-MONTEITH

Είναι ιδιαίτερα αναγκαίο κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος άρδευσης να υπολογίζονται οι ακριβείς ποσότητες νερού που είναι διαθέσιμες για τις ανάγκες των καλλιεργειών. Όπως είναι αντιληπτό γεννάται ο προβληματισμός περί της απώλειας υδραυλικού φορτίου εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής. Και αυτό διότι η επιφάνεια των υδάτων είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των συμβατικών συστημάτων και, ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν διαθέσιμες αναλυτικές εκτιμήσεις για όλη την διάρκεια του έτους. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή του μοντέλου των Penmann-Monteith κρίθηκε αναγκαία για όσο το δυνατόν πιο ακριβή εκτίμηση των διαθέσιμων υδραυλικών φορτίων από την εκροή σε 12μηνιαία βάση.

8.2.1. Ισοζύγιο

Το κύριο χαρακτηριστικό των φυσικών συστημάτων ως προς το ισοζύγιο μάζας του νερού είναι ότι ο πυθμένας είναι μονωμένος. Επομένως, όπως γίνεται αντιληπτό και από το παρακάτω σχήμα, τόσο για υγροβιότοπους, όσο και για τις λίμνες σταθεροποίησης θα ισχύει:

$$[\text{Παροχή εκροής}] (\text{m}^3/\text{d}) = [\text{Παροχή εισροής}] (\text{m}^3/\text{d}) + [\text{Βροχόπτωση}] (\text{m}^3/\text{d}) - [\text{Εξατμισοδιαπνοή}] (\text{m}^3/\text{d})$$



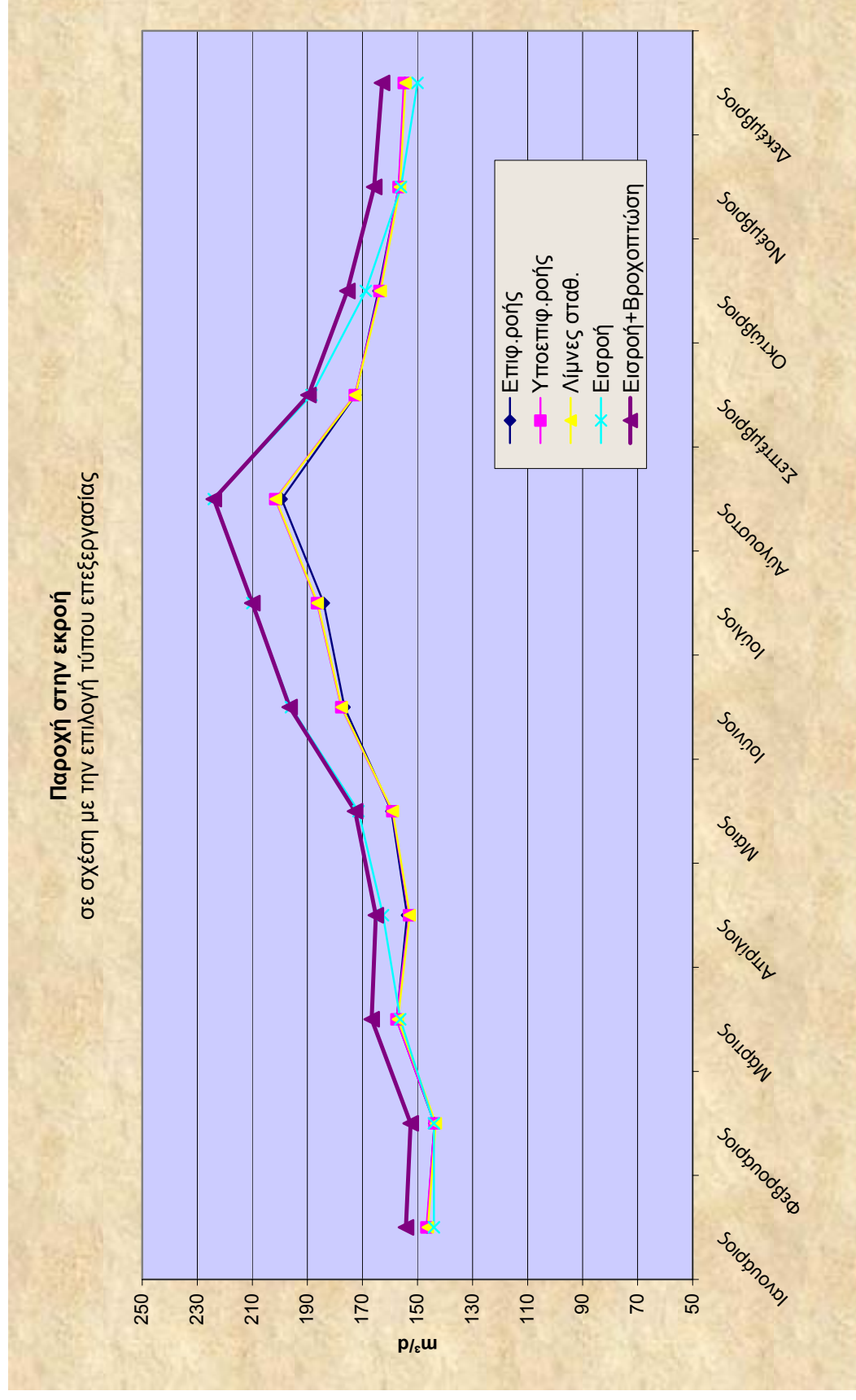
Σχήμα 8.1 Ισοζύγιο μάζας νερού σε υγροβιότοπο

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι σε αντίθεση με το σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας εδώ μας ενδιαφέρει η μέση παροχή στην εισροή και όχι η μέγιστη. Η χρήση της μέσης παροχής ενδείκνυται διότι:

- Θα ήταν καλό να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση των αρδευόμενων εκτάσεων, καθώς σε περίπτωση που αστοχήσει ο υπολογισμός με την χρήση της μέγιστης τιμής, αυτό θα σημαίνει ανεπαρκή άρδευση των καλλιεργειών και επομένως ζημιά για τους χρήστες του δικτύου επεξεργασμένων λυμάτων. (Ωστόσο, για εξάλειψη της πιθανότητας αυτής ενδείκνυται και η δυνατότητα συμπλήρωσης με νερό από το δίκτυο του ΟΑΝΑΚ, όταν και αν κριθεί απαραίτητο.)
- Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται για μικρές χρονικές περιόδους. Ακόμη και στην περίπτωση που διαρκεί ημέρες, εξαιτίας του μεγάλου χρόνου παραμονής στα φυσικά συστήματα, η παροχή εξόδου δεν μεταβάλλεται.

8.2.2. Πίνακας υπολογισμών

Παράμετρος	Μονάδες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση παροχή στην εισροή ΦΣ	m ³ /d	144	144	156	163	171	196	210	224	189	169	156	150
Επιφανειακής ροής													
Βροχοπτώσεις	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
A	m ²	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600
Εισροές (εισροή +Βροχ)	m ³ /d	154	152	167	165	173	196	210	224	190	175	166	163
ΕΤο	mm/d	1,67	1,88	1,98	2,47	2,73	3,77	4,72	4,47	3,38	2,46	1,95	1,81
k _c ΕΠΙΦ.ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΒ.	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	1,20	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00
ΕΤc ΕΠΙΦ. ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΒ.	mm/d	1,67	1,88	1,98	2,47	2,87	4,33	5,66	5,36	3,72	2,46	1,95	1,81
Παροχή στην εκροή ΦΣ	m ³ /d	147	144	158	154	159	177	184	199	172	164	157	155
Ποσοστό εκροής	%	95	94	95	93	92	90	88	89	91	94	95	95
Ελάχιστο ποσ.εκροής	%	88											
Υποεπιφανειακής ροής													
Βροχοπτώσεις	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
A	m ²	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Εισροές (εισροή +Βροχ)	m ³ /d	155	153	168	165	173	197	210	224	190	176	167	164
ΕΤο	mm/d	1,67	1,88	1,98	2,47	2,73	3,77	4,72	4,47	3,38	2,46	1,95	1,81
k _c ΥΠΟΕΠ. ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΒ.	-	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	1,10	1,20	1,20	0,80	0,90	0,90	0,90
ΕΤc ΥΠΟΕΠ. ΡΟΗΣ ΥΓΡΟΒ.	mm/d	1,51	1,69	1,79	2,22	2,73	4,14	5,66	5,36	2,71	2,21	1,76	1,63
Παροχή στην εκροή ΦΣ	m ³ /d	147	144	158	153	159	178	186	202	173	164	157	155
Ποσοστό εκροής	%	95	94	94	93	92	90	89	90	91	93	94	94
Ελάχιστο ποσ.εκροής	%	89											
Λίμνες Σταθεροποίησης													
Βροχοπτώσεις	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
A	m ²	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800
Εισροές (εισροή +Βροχ)	m ³ /d	155	153	167	165	173	196	210	224	190	176	166	163
ΕΤο	m ³ /d	1,67	1,88	1,98	2,47	2,73	3,77	4,72	4,47	3,38	2,46	1,95	1,81
k _c ΛΙΜΝΕΣ	-	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
ΕΤc ΛΙΜΝΕΣ	mm/d	1,76	1,98	2,08	2,59	2,87	3,96	4,95	4,69	3,55	2,58	2,05	1,90
Παροχή στην εκροή ΦΣ	m ³ /d	146	143	157	153	159	178	186	201	173	163	156	154
Ποσοστό εκροής	%	95	94	94	92	92	90	89	90	91	93	94	94
Ελάχιστο ποσ.εκροής	%	89											



Σχήμα 8.2 Σύγκριση της παροχής στην εισροή και στην έξοδο ανά τύπο φυσικού συστήματος

8.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ

8.3.1. Σκοπός χρήσης του μοντέλου

Ο σκοπός χρήσης του μοντέλου, που περιγράφεται στην παράγραφο 5.2, είναι η εκτίμηση της αφομοιωτικής ικανότητας του ποταμού Γαζανού, ο οποίος θα χρησιμοποιείται ως ο δεύτερος κατά σειρά προτίμησης αποδέκτης. Και αυτό διότι στην περίπτωση που εκβάλλονται φορτία BOD, κολοβακτηριδίων και άλλων ρυπαντών χωρίς καμία μελέτη των επιπτώσεων τους στην ποιότητα του νερού, ενδέχεται να δημιουργηθούν τόσο συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, όσο και εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων ρυπαντών στο ποτάμι με δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

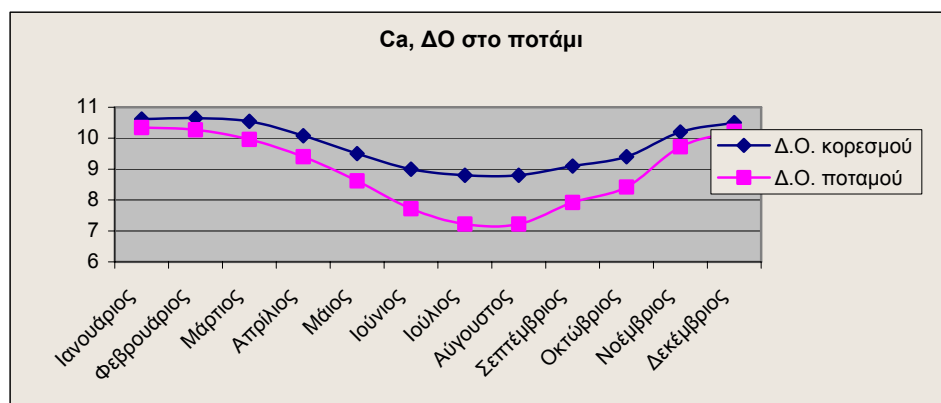
Ως κριτήριο ποιότητας θεωρείται το διαλελυμένο οξυγόνο του νερού (Δ.Ο. ή D.O.). Η παράμετρος αυτή είναι ενδεικτική της ποιότητας του ποταμού, απαραίτητη για την απουσία οσμών αλλά και για την διατήρηση των υδρόβιων οργανισμών. Η τιμή που τίθεται ως κατώτερο επιτρεπτό συγκέντρωσης διαλελυμένου οξυγόνου είναι συνάρτηση της επιδιωκόμενης ποιότητας του ποταμού, αλλά και των απαιτήσεων των ειδών που διαβιούν στο σύστημα του ποταμού. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μη έχοντας ψάρια ποιότητας, όπως είναι ο σολομός και η πέστροφα, ένα ανεκτό κατώτατο όριο είναι η τιμή των 3 mg/L

Υπεύθυνη διεργασία για την ελάττωση της ποσότητας του οξυγόνου στο νερό είναι η βιολογική αποδόμηση των οργανικών φορτίων. Η τελευταία αν και καταναλώνει οξυγόνο για την διάσπαση των φορτίων σε απλούστερες ενώσεις, εντούτοις οδηγεί στον αυτοκαθαρισμό του ποταμού. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου αρχικά μειώνεται και στην συνέχεια τείνει να επανέλθει στα αρχικά επίπεδα. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια σχέση απλής ανάμειξης για τον υπολογισμό της οργανικής ρύπανσης αμέσως μετά το σημείο εκβολής. Με άλλα λόγια, η ρύπανση δεν εμφανίζεται κοντά στο σημείο εκβολής, αλλά μερικές εκατοντάδες μέτρα ή κάποια χιλιόμετρα πιο κάτω. Αυτή την δυσκολία υπολογισμού της ρύπανσης και των μέγιστων επιτρεπτών φορτίων καλύπτει το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

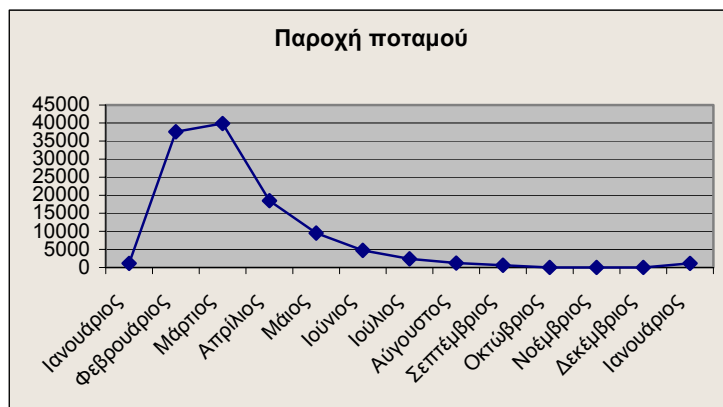
8.3.2. Χρήση τιμών στο μοντέλο

Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες τιμές:

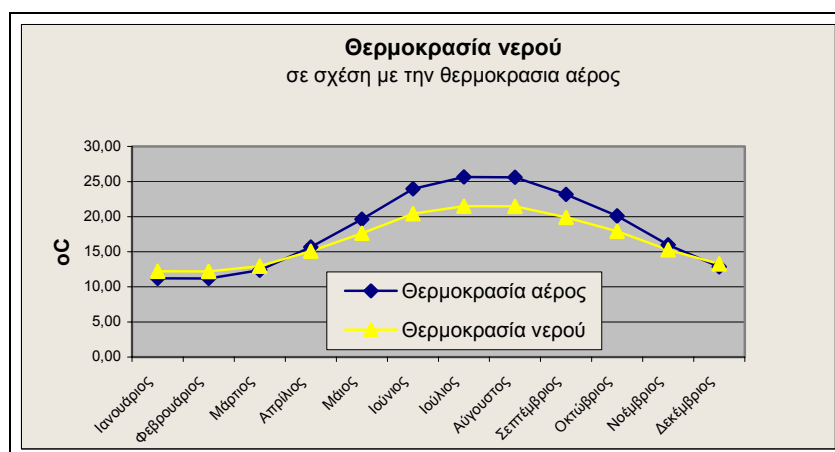
- Αρχικό Διαλ.Οξυγόνο, Ca, mg/L. Για τον ποταμό Γαζανό, δεν υπάρχουν μετρήσεις ποιότητας. Ωστόσο, για την εκτίμηση αυτού του μεγέθους θεωρείται μη ύπαρξη βιομηχανιών στα ανάντι που να διοχετεύουν την εκροή στον συγκεκριμένο ποταμό. Ωστόσο, θεωρείται για λόγους ασφαλείας μια μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στους θερινούς ιδίως μήνες όπου η παροχή είναι μικρότερη. Κατά συνέπεια, θεωρείται η ακόλουθη μορφή της καμπύλης Δ.Ο



- Κρίσιμη συγκέντρωση Δ.Ο. στο ποτάμι, Cs. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα καλό κατώτατο όριο του Δ.Ο. είναι η τιμή των 3 mg/L, για όλες τις εποχές του έτους.
- Συγκέντρωση BODu του ποταμού, Lp. Λαμβάνοντας υπόψιν όσα αναφέρθηκαν για την ρύπανση του ποταμού, γίνεται η παραδοχή των 3 mg/L.
- Παροχή του ποταμού, Qi. Οι τιμές αυτού του μεγέθους λαμβάνονται από τις τιμές παροχής του ποταμού στον κόμβο Nγ1, όπως εκτιμήθηκαν στην πηγή [24] με την βοήθεια του μοντέλου SWBM. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κόμβος Nγ1 απέχει μόλις δεκάδες μέτρα από το σημείο εκβολής, σημείο ιδιαίτερα σημαντικό για την μη μεταβολή των τιμών.



- Παροχή των αποβλήτων, Q_w . Λαμβάνεται μετά από τον υπολογισμό της ποσότητας που οδηγείται για άρδευση.
- Θερμοκρασία νερού, $T_{\text{νερού}}$. Το μόνο γνωστό μέγεθος θερμοκρασίας που υπάρχει από τον μετεωρολογικό σταθμό είναι η θερμοκρασία αέρος. Η θερμοκρασία του νερού δεν ακολουθεί την ίδια διακύμανση, καθώς το νερό έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα. Συν τοις άλλοις, στο ποτάμι υπάρχουν υπόγειες εισροές με θερμοκρασία που κυμαίνεται στην θερμοκρασία του υπόγειου ύδατος (13oC). Κατά συνέπεια, προτείνεται η δημιουργία μιας κατανομής με βάση την θερμοκρασία αέρος ελαττωμένη κατά (-4,5 oC) περίπου το καλοκαίρι και ελάχιστα αυξημένη (+1oC) το χειμώνα, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



- Συγκέντρωση κορεσμού Δ.Ο., Cs. Η συγκέντρωση αυτή παρέχεται από πίνακες για την αντίστοιχη θερμοκρασία.

Πίνακας 8.2 Μοντέλο ρύπανσης ποταμών

Παράμετρος	Σύμ βολο	Μονάδε	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Αρχικό Διαλ.Οξυγόνο	Ca	mg/L	10,5	10,3	10,0	9,4	8,6	7,7	7,2	7,2	7,9	8,4	9,7	10,2
Κρίσιμο Διαλ.Οξυγόνο	Cc	mg/L	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Συγκ. BODu ποταμού	Lp	mg/L	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Παροχή ποταμού	Qr	m ³ /d	1141	37569	39882	18504	9509	4736	2369	1221	597	1	1	1
Παροχή αποβλήτων	Qw	m ³ /d	147	144	158	153	92	24	0	43	87	164	157	155
Θερμοκρασία ύδατος	Tνερού	oC	12,23	12,21	12,96	15,07	17,62	20,41	21,49	21,47	19,90	17,92	15,28	13,27
Συγκ.κορεσμού Δ.Ο.	Cs	mg/L	10,62	10,65	10,54	10,08	9,5	9	8,8	8,8	9,1	9,4	10,2	10,5
Κρίσιμο έλλειμα Δ.Ο	Dc	mg/L	8,62	8,65	8,54	8,08	7,5	7	6,8	6,8	7,1	7,4	8,2	8,5
Αρχικό έλλειμα Δ.Ο.	Da	mg/L	0,12	0,38	0,58	0,68	0,88	1,28	1,58	1,58	1,18	0,98	0,48	0,28
Σταθερά αερισμού, 20oC	k2 20	1/d	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Σταθερά αερισμού	k2	1/d	0,37	0,37	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,47	0,45	0,43	0,40	0,38
Σταθερά ρυθμού απομάκ. BODu, 20oC	kr 20	1/d	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	20,9	20,9	20,9
Σταθερά ρυθμού απομάκ. BODu	kr	1/d	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	0,9	16,1	11,5	8,9
σταθερά αυτοκαθαρισμού	f	1/d	1,48	8,24	7,87	4,36	2,43	1,30	0,83	0,60	0,50	0,03	0,03	0,04
Λόγος Da/Dc	Da/Dc	1/d	0,01	0,04	0,07	0,08	0,12	0,18	0,23	0,23	0,17	0,13	0,06	0,03
Λόγος La/Dc	La/Dc	1/d	3,34	10,97	10,53	6,65	4,38	2,91	2,22	1,89	1,80	0,89	1,03	1,10
Μεγ.επιτρεπτό BODu αμέσως μετά το σημείο	La	mg/L	28,8	94,9	89,9	53,8	32,9	20,4	15,1	12,8	12,8	6,6	8,5	9,3

εκβολής																		
Μεγ. επιτρεπτό BODu προς το ποτάμι	BODu μεγ. επιτρεπτό	mg/L	33,6	3465,3	3481,1	947,6	287,2	82,7	28,6	12,6	7,0	1,1	1,3	1,5				
Μεγ. επιτρεπτό BOD ₅ προς ποτάμι	BOD ₅ μεγ. επιτρεπτό	mg/L	23,6	2425,7	2436,8	663,3	201,0	57,9	20,0	8,8	4,9	0,8	0,9	1,0				
(συνγκ. αποβλήτων)	BOD ₅ μεγ. επιτρεπτό	g/d	3458	348815	384255	101248	18518	1365	0	383	422	124	147	158				
Μεγ. επιτρεπτό BOD ₅ προς ποτάμι (φορτίο)	BOD ₅ εξόδου Φ.Σ.	mg/L	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25				
BOD ₅ εξόδου Φυσ. Συστ. (συγκέντρωση)	Q _w μεγ. επιτρεπτό	m ³ /d	138,3	13952,6	15370,2	4049,9	740,7	54,6	0,0	15,3	16,9	5,0	5,9	6,3				

8.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.4.1. Πίνακας υπολογισμών

Πίνακας 8.3 Σχεδιασμός συστήματος διάθεσης των αποβλήτων

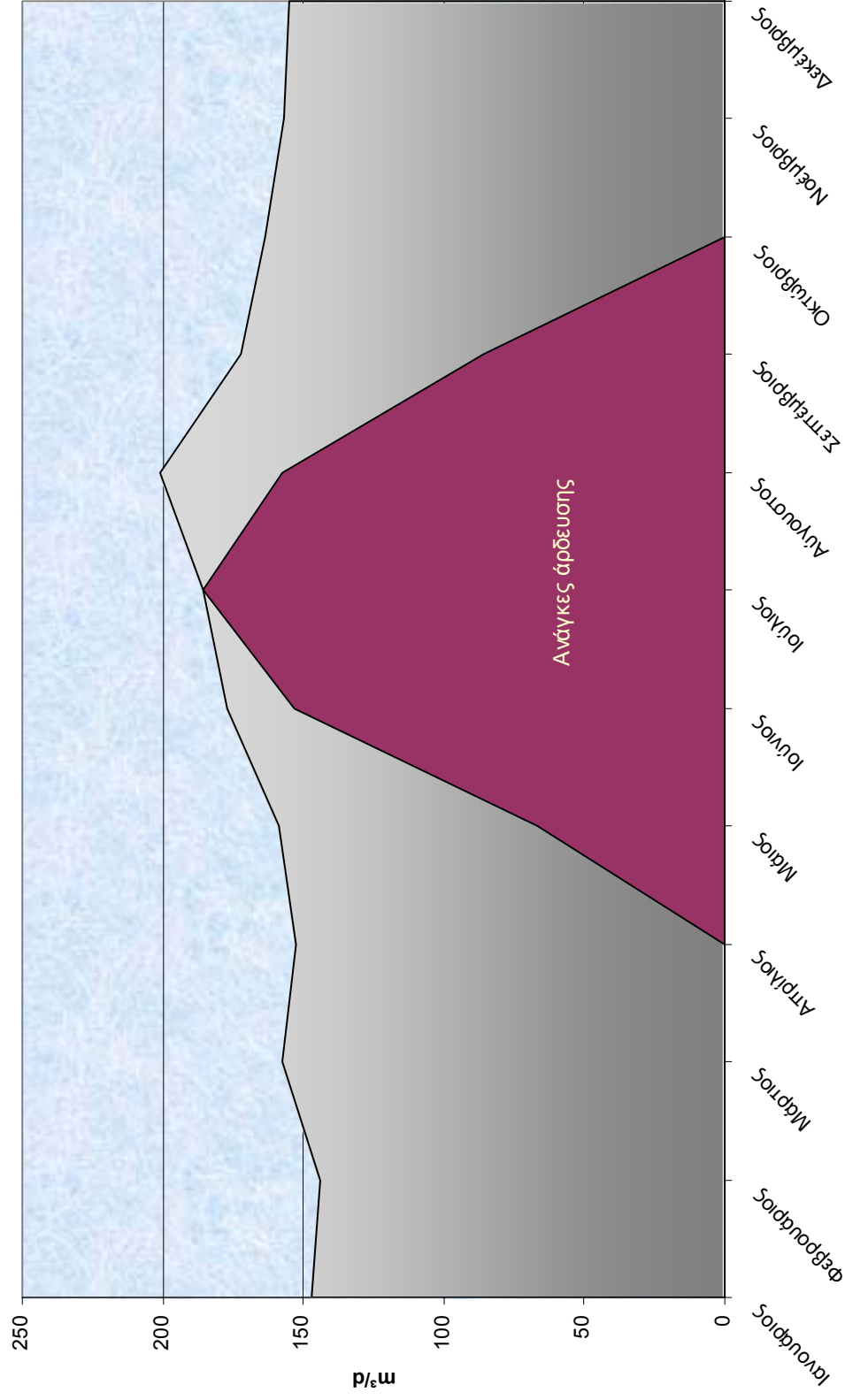
Παράμετρος	Μονάδες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Μέση παροχή στην εισροή ΦΣ	m³/d	144	144	156	163	171	196	210	224	189	169	156	150
Βροχοπτώσεις	mm/d	2,22	1,84	2,26	0,57	0,27	0,10	0,01	0,00	0,24	1,46	2,12	2,80
A	m²	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5200
Παροχή από βροχοπτ.	m³/d	11,53	9,58	11,76	2,98	1,38	0,54	0,05	0,00	1,24	7,61	11,02	14,58
Μέση παροχή από συνολικές εισροές	m³/d	156	154	168	165	173	197	210	224	190	176	167	165
ΕΤε ΕΠΦ. ΡΟΗΣ	mm/d												
ΥΓΡΟΒ.		1,67	1,88	1,98	2,47	2,73	3,77	4,72	4,47	3,38	2,46	1,95	1,81
Μέση παροχή στην εκροή ΦΣ	m³/d	147	144	158	153	159	177	186	201	172	164	157	155
Ποσοστό εκροής	%	94	94	94	92	92	90	88	90	91	93	94	94
Αρδευση	L/ελιά/d	0	0	0	0	35	45	52	55	45	0	0	0
Χαρακτηριστικά	ελιές/στρέμματα	36											
Αρδευση	m³/d/στρέμμα	0	0	0	0	1,26	1,62	1,87	1,98	1,62	0	0	0
Ποσοστό ελαιώνων	%	70											
Αρδευση	L/φυτό/d	0	0	0	0	0	10,00	12,78	7,78	0	0	0	0
Χαρακτηριστικά	φυτά/στρέμματα	300											

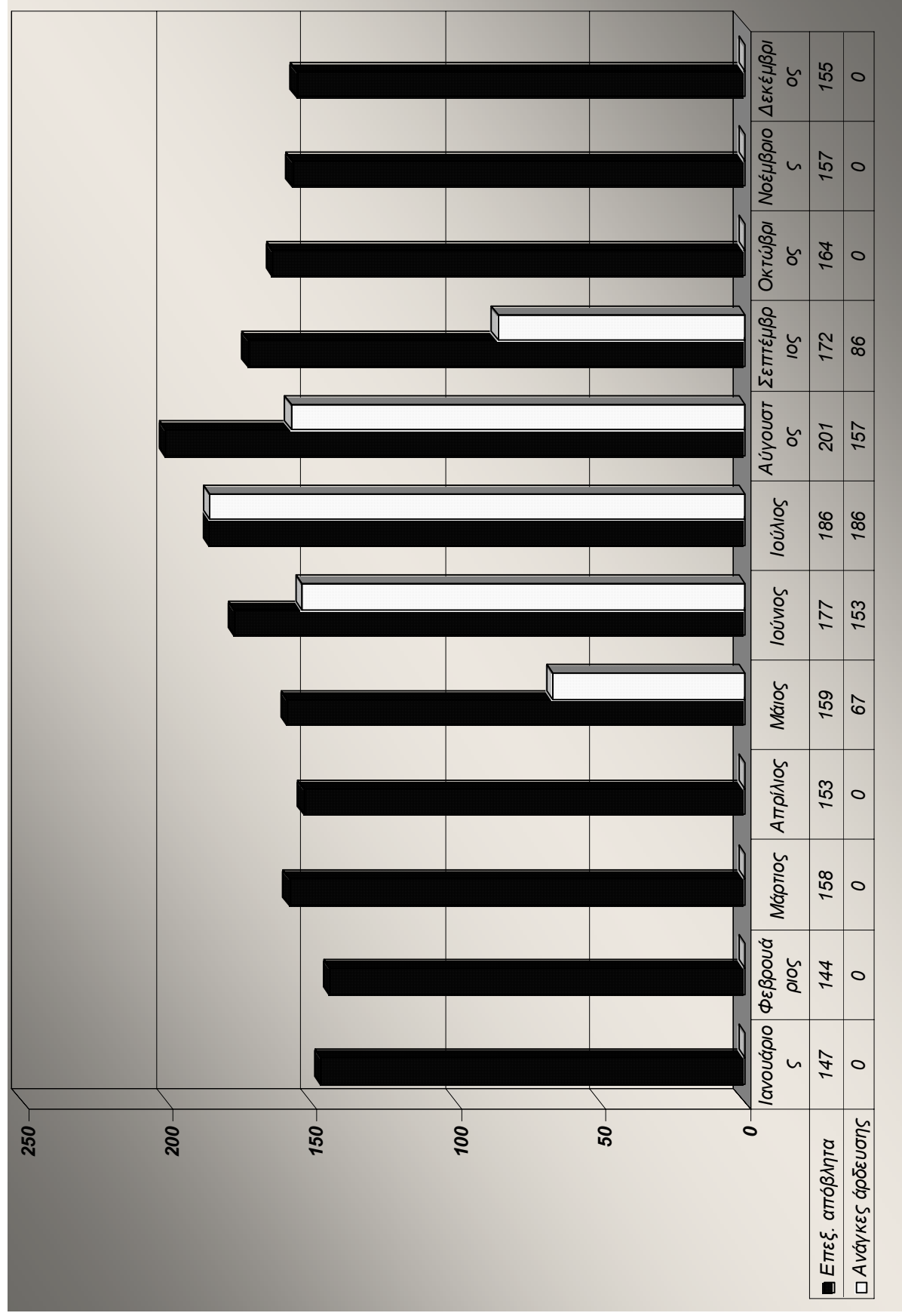
Αρδευση	m ³ /d/στρέμμα	0	0	0	0	0	0	0	0	3,00	3,83	2,33	0	0	0	0
Ποσοστό αμπελώνων	%	30														
Αρδευση 70% Ελαιώνες 30% Αμπέλια	m ³ /d/στρέμμα	0	0	0	0	0	0,882	2,034	2,460	2,086	1,134	0	0	0	0	0
Μέγιστη πλήρως αρδ. εκτάση	στέμματα	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	179,8	87,0	75,4	96,2	151,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ανάγκες άρδευσης 75,4 στρεμμάτων	m ³ /d	0	0	0	0	0	67	153	186	157	86	0	0	0	0	0
Αποθηκ.ικανότη τα	d	0,40														
Όγκος δ/νής εξισσορόπησης	m ³	74,2														
βάθος	m	4,0														
επιφάνεια	m ²	18,6														
Ανάγκες άρδευσης 35 στρεμμάτων	m ³ /d	0	0	0	0	0	133	307	371	315	171	0	0	0	0	0
Περίσσεια παροχής	m ³ /d	147	144	158	153	92	24	24	0	43	87	164	157	155		
QW μεγ.επιτρεπτό	m ³ /d	138	13953	15370	4050	741	55	55	0	15	17	5	6	6		
Παροχή προς ποταμό	m ³ /d	138	144	158	153	92	24	24	0	15	17	5	6	6		
Περίσσεια παροχής	m ³ /d	9	0	0	0	0	0	0	0	28	70	159	151	149		
Ρυθμός διήθησης	m/έτος	50														
Ρυθμός διήθησης	m/d	0,137														

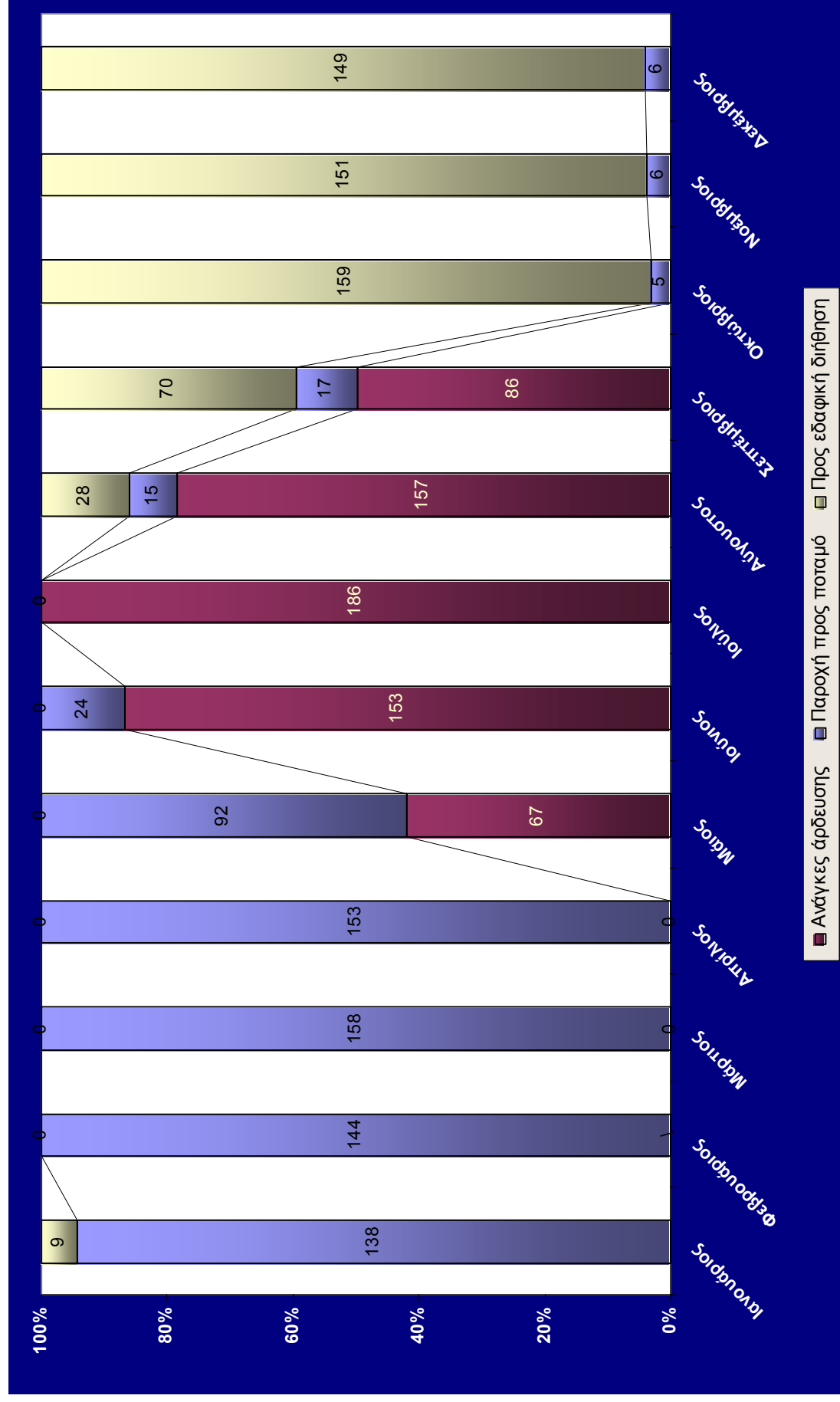
Απαιτούμενη επιφάνεια	m ²		62	0	0	0	0	0	0	0	206	509	1158	1102	1087
Επιφάνεια σχεδιασμού	m ²		1158												

8.4.2. Γραφήματα

Εκροή-Άρδευση







Σχήμα 8.5 Ποσοστιαία ανάλυση των ποσοτήτων προς κάθε αποδέκτη

8.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παραπάνω ανάλυση, σχεδιάστηκε ένα διαχειριστικό σχέδιο που αφορά την διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων της εκροής, δίδοντας προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων μέσω άρδευσης. Εναλλακτικοί τρόποι διάθεσης ορίστηκαν, κατά σειρά προτίμησης, ο ποταμός Γαζανός και η εδαφική διάθεση. Η όλη ανάλυση έγινε σε 12μηνη βάση.

Αρχικά, υπολογίστηκε η διαθέσιμη ποσότητα για κάθε τύπο συστήματος επεξεργασίας. Με την εφαρμογή της μεθόδου FAO Penmann-Monteith, υπολογίστηκαν οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής από κάθε τύπο φυσικού συστήματος. Η παραπάνω μέθοδος οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι απώλειες τους θερινούς μήνες κυμαίνονται στο 10% της εισροής, αν και ενδεχόμενα να περίμενε κανείς μεγαλύτερες απώλειες. Πάντως, το σημείο αυτό παρουσιάζει ενδιαφέρον και είναι προς διερεύνηση. Ωστόσο, μη έχοντας άλλα αξιόπιστα στοιχεία έγινε χρήση των τιμών της παραπάνω μεθόδου συνυπολογίζοντας και τους συντελεστές K_c για κάθε τύπο συστήματος. Επίσης από την μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται οι απώλειες να κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και για τους τρεις τύπους φυσικών συστημάτων και επομένως σχεδιάστηκε ένα σύστημα διάθεσης για τα συστήματα αυτά.

Στο επόμενο στάδιο, εκτιμήθηκε η αφομοιωτική ικανότητα του ποταμού Γαζανού, ο οποίος ορίστηκε και ο δεύτερος κατά προτίμηση αποδέκτης. Χρησιμοποιώντας την ελάχιστη παροχή του ποταμού στα όρια της τυπικής απόκλισης ($Q_{μέση} - Q_{τυπικής\ απόκλισης}$), όπως αυτή προκύπτει από χρονοσειρές τιμών παροχής 30 ετών, προκύπτει μηδενική παροχή του ποταμού κατά τους μήνες Οκτώβριο ως και Δεκέμβριο. Το γεγονός της απουσίας ροής αυτούς τους μήνες στην ουσία οδηγεί στην αποφυγή διάθεσης στον ποταμό. Με την χρήση του μοντέλου ρύπανσης ποταμών έγινε δυνατή η εκτίμηση της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής επεξεργασμένων αποβλήτων προς το ποτάμι. Με αυτό την μέθοδο στην ουσία γίνεται δυνατή η ρύθμιση της ρύπανσης του ποταμού.

Το επόμενο βήμα, περιελάμβανε τον υπολογισμό της μέγιστης δυνατής αρδευόμενης έκτασης. Προς την κατεύθυνση αυτή, εκτιμώνται οι μέσες αρδευτικές ανάγκες ανά στρέμμα με την σύγκριση στοιχείων που προκύπτουν από την μέθοδο FAO Penmann-Monteith και εμπειρικών στοιχείων γεωπονικών υπηρεσιών. Από τα δυο γίνονται δεκτά ως πιο αξιόπιστα τα τελευταία. Επιλέγοντας, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.2, τη λύση της απομόνωσης τμήματος του υπάρχοντος δικτύου, υπολογίστηκε ότι η μέγιστη πλήρως αρδευόμενη έκταση σύμφωνα με τις διαθέσιμες ποσότητες είναι ίση με 75,4 στρέμματα. Με βάση την έκταση αυτή υπολογίζονται η κατανάλωση για άρδευση και διαστασιοποιείται η

δεξαμενή εξισορρόπησης προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι αιχμές της ζήτησης. Η δεξαμενή αυτή απαιτεί επιφάνεια ίση με $18,6 \text{ m}^2$.

Στα επόμενα στάδια, μελετήθηκε η διαχείριση των εναπομείνουσων ποσοτήτων. Συνεκτιμώντας την αφομοιωτική ικανότητα του ποταμού, υπολογίζεται η μέγιστη δυνατή ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων που θα καταλήγουν στον ποταμό. Για το υπόλειμμα προτείνεται να οδηγείται προς εδαφική διάθεση. Ωστόσο, σύμφωνα και με τα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.1.7, η νομοθεσία δεν επιβάλλει την εδαφική διάθεση και επομένως η εκροή αυτή δύναται να διατεθεί και στον ποταμό. Ωστόσο, αποδεικνύεται ποια είναι η ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων που δεν δημιουργεί προβλήματα στον αποδέκτη και από ποιο σημείο και έπειτα αρχίζει να δημιουργείται πρόβλημα εξαιτίας της απόρριψης ποσότητας εκροής μεγαλύτερης από αυτή που μπορεί να αφομοιώσει ο ποταμός. Συν τοις άλλοις, η διήθηση έχει το πλεονέκτημα της, τρόπον τινά, αποθήκευσης υδατικού δυναμικού στον υδροφόρο ορίζοντα και κατά συνέπεια καλό είναι να προτιμηθεί η εφαρμογής της. Εξαιτίας του ότι προκύπτουν επιπλέον 1160 m^2 στην περίπτωση χρήσης από το σύστημα επιπλέον επιφάνειας για διήθηση, προτιμάται τα επεξεργασμένα απόβλητα να διατεθούν σε παραπλήσια ξηρά ρέματα, όπου η διήθηση γίνεται με φυσικό τρόπο, δίχως την ανάγκη αγοράς επιπλέον επιφάνειας.

Η προτεινόμενη λύση της διαχείρισης της εκροής παρουσιάζεται στα γραφήματα της παραγράφου 8.3.2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

9. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- 9.1. Απαιτήσεις απόδοσης
- 9.2. Δεδομένα εισόδου
 - 9.2.1. Θερμοκρασία
 - 9.2.2. Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά
 - 9.2.3. Προεπεξεργασία
- 9.3. Διαστασιολόγηση υγροβιοτόπου επιφανειακής ροής
 - 9.3.1. Παράμετροι σχεδιασμού
 - 9.3.2. Πίνακας αποτελεσμάτων
 - 9.3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων
- 9.4. Διαστασιολόγηση υγροβιοτόπου υποεπιφανειακής ροής
 - 9.4.1. Παράμετροι σχεδιασμού
 - 9.4.2. Πίνακας αποτελεσμάτων
 - 9.4.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων
- 9.5. Διαστασιολόγηση συστήματος λιμνών σταθεροποίησης
 - 9.5.1. Παράμετροι σχεδιασμού
 - 9.5.2. Πίνακες αποτελεσμάτων
 - 9.5.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων
- 9.6. Αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων-Επιλογή

9.1. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, τίθενται συγκεκριμένες προδιαγραφές που πρέπει να απαιτεί το σύστημα επεξεργασίας. Αυτές πηγάζουν τόσο από την ισχύουσα νομοθεσία, όσο και από την διαχείριση της ρύπανσης του ποταμού. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα με την βοήθεια και της παραγράφου 7.1.

Πίνακας 9.1 Απαιτήσεις επεξεργασίας από νομικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς

Τύπος αποδέκτη διάθεσης	Απαιτούμενες Προδιαγραφές
Ποταμός (διαχείριση ρύπανσης ποταμού)	$BOD_5 \leq 25 \text{ mg/L}$
Ποταμός (ΚΥΑ 5673/400/97)	$BOD_5 \leq 25 \text{ mg/L}$, $COD \leq 125 \text{ mg/L}$ $TSS \leq 35 \text{ mg/L}$,
Έδαφος -επιφανειακή διάθεση	Εσχαρισμός επαρκεί (2,5εκ.)
Έδαφος -άρδευση φυτών	Εσχαρισμός, Καθίζηση 2 ωρών
Έδαφος -άρδευση φυτών (WHO,1989)	$\text{Κωπ.Κολοβ/δια} \leq 1000 \text{ απ /100ml}$, Εντ. νηματοειδή αυγά $\leq 1 / \text{L}$

Έχοντας καθορίσει τον τρόπο διάθεσης και τις απαιτήσεις επεξεργασίας που πρέπει να πληρεί η εγκατάσταση, είμαστε σε θέση να διαστασιολογήσουμε το σύστημα επεξεργασίας.

9.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Για το σχεδιασμό του συστήματος επεξεργασίας του οικισμού της Τυλίσου, κρίθηκε ότι τα συμβατικά συστήματα δεν είναι σε θέση να καλύψουν τις τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς που έχει ένας οικισμός 1200 κατοίκων. Συνεπώς, η επιλογή του συστήματος επεξεργασίας θα πρέπει να αναζητηθεί στους διαφόρους τύπους φυσικών συστημάτων. Κρίθηκε ότι η λύση είναι καλύτερο να προκύψει μέσα από την εξέταση των επιμέρους παραμέτρων 3 εναλλακτικών τύπων φυσικών συστημάτων. Προς την κατεύθυνση αυτή, διαστασιολογήθηκαν ένα σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου επιφανειακής ροής, ένα σύστημα υγροβιότοπου υποεπιφανειακής ροής και ένα σύστημα λιμνών σταθεροποίησης.

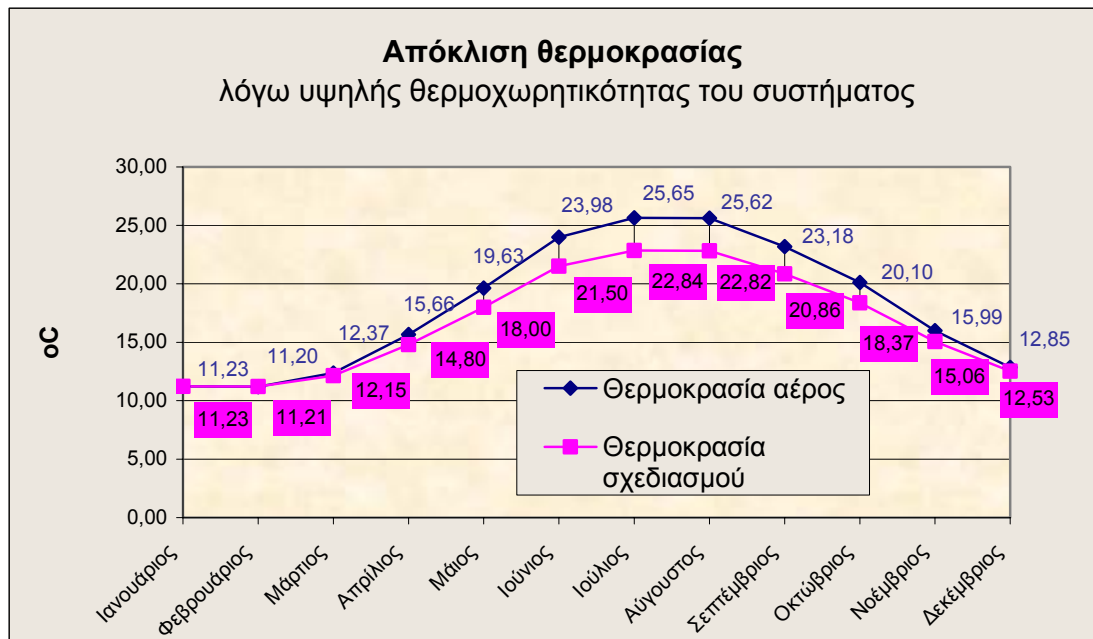
9.2.1. Θερμοκρασία

Κύριας σημασίας παράμετρος για τον σχεδιασμό ενός φυσικού συστήματος επεξεργασίας είναι η θερμοκρασία. Από αυτή καθορίζεται η κινητική της αποδόμησης των οργανικών, νιτρικών και φωσφορικών φορτίων. Η μεταβολή της επιφέρει αλλαγές στην ταχύτητα αποδόμησης, στην απαιτούμενη επιφάνεια και εν γένει στην συνολική απόδοση του συστήματος.

Αυτό που ωστόσο πρέπει να τονιστεί με έμφαση είναι ότι όλα τα παραπάνω επηρεάζονται όχι από την θερμοκρασία του αέρα αφ' εαυτής, αλλά από την θερμοκρασία του υγρού αποβλήτου. Η τελευταία δεν ακολουθεί τις τιμές του αέρα, αλλά τείνει να έχει μικρότερες διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του έτους. Σε αντίθεση με ένα συμβατικό σύστημα, ένα φυσικό σύστημα έχει μεγάλους χρόνους παραμονής. Ως απόρροια αυτού, το σύστημα διαθέτει θερμοχωρητικότητα ικανή να διατηρεί την θερμοκρασία κατά 3οC περίπου χαμηλότερη τους θερινούς μήνες, και αντίστοιχα 3οC υψηλότερη τους ψυχρούς μήνες.

Υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν σε μικρότερες απαιτούμενες εκτάσεις. Άρα, η πιο πάνω θεώρηση είναι πιθανόν να συντελέσει στην υποεκτίμηση της απαιτούμενης έκτασης κατά το χειμώνα. Είναι προτιμότερο, επομένως, για λόγους ασφαλείας να γίνει η θεώρηση ότι η θερμοκρασία του νερού είναι μόνο χαμηλότερη από την αντίστοιχη του αέρα.

Για τον υπολογισμό των τιμών της θερμοκρασίας σχεδιασμού γίνεται η παραδοχή της απόκλισης κατά -3°C το θερμότερο μήνα, ενώ η απόκλιση αυτή μεταβάλλεται αναλογικά κατά τους υπόλοιπους μήνες. Τελικά, προκύπτει το ακόλουθο γράφημα.



Σχήμα 9.1 Απόκλιση της θερμοκρασίας σχεδιασμού από την θερμοκρασία αέρος

9.2.2. Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά

Οι τιμές αυτών των χαρακτηριστικών λαμβάνονται από το κεφάλαιο 8. Σημειώνεται ότι όλα τα φορτία μεταφράζονται και σε μάζα ανά ι.κ και ημέρα, ενώ υπολογίζεται και το συνολικό βιολογικό φορτίο των λυμάτων.

Ωστόσο, ιδιαίτερα κομβική είναι η τιμή του συντελεστή αιχμής που θα χρησιμοποιηθεί. Αν και για τα συμβατικά συστήματα μια συνήθης τιμή είναι η τιμή του 1,5, εντούτοις κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει για τα φυσικά συστήματα, ένεκα του μεγάλου χρόνου παραμονής που διαθέτουν. Στις λίμνες σταθεροποίησης δε ο συντελεστής αιχμής να μην είναι απαραίτητος ένεκα του μεγάλου όγκου τους. Στην μελετούμενη περίπτωση, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 8.1.1, θεωρείται συντελεστής αιχμής ίσος με 1,30 για τους υγροβιοτόπους και 1,0 για τις λίμνες σταθεροποίησης.

9.2.3. Προεπεξεργασία

Για τις ανάγκες των τεχνητών υδροβιοτόπων θεωρείται προεπεξεργασία με δεξαμενή Imhoff πριν την είσοδο των λυμάτων σε αυτούς. Η απομάκρυνση της δεξαμενής Imhoff κυμαίνεται στα ακόλουθα πλαίσια:

Πίνακας 9.2 Αποτελεσματικότητα της δεξαμενής Imhoff

Παράμετροι	Απομάκρυνση
Βιοχ. Απαιτ. Οξυγόνου, BOD	40 %
Ολικό Άζωτο, TN	30 %
Αιωρούμενα Στερεά, TSS	70 %
Ολικός Φώσφορο, TP	30 %

9.3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ

9.3.1. Παράμετροι σχεδιασμού

Στην διαστασιολόγηση του συστήματος, οι σχέσεις που υπεισέρχονται και η όλη εν γένει μεθοδολογία λαμβάνονται από την παράγραφο 2.3. Στην συγκεκριμένη εργασία, κρίθηκε σκόπιμη η αντιπροβολή της διαστασιολόγησης ως διαφόρους ρυπαντές με σκοπό τόσο τον έλεγχο της απομάκρυνσης των ρυπαντών, όσο και από πλευράς επιστημονικού ενδιαφέροντος την σύγκριση των απαιτήσεων γης ανάλογα με το ρυπαντή που επιλέγεται κάθε φορά. Προς την κατεύθυνση αυτή, διαστασιολογείται το σύστημα υγροβιοτόπου επιφανειακής ροής ως προς τους ακόλουθους ρυπαντές:

- ολικό άζωτο TN
- βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD,
- ολικά αιωρούμενα στερεά, TSS
- ολικός φώσφορος, TP

9.3.2. Πίνακας αποτελεσμάτων

Πίνακας 9.3 Σχεδιασμός συστήματος επιφανειακής ροής

ΤΥΛΙΣΟΣ		ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ											
Παράμετροι	μονάδες	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
ι.κ.	-	1200	1200	1250	1300	1350	1400	1500	1600	1450	1350	1300	1250
Παροχή/ι.κ.	(L/d)/ι.κ.	120	120	125	125	127	140	140	140	130	125	120	120
Συντ. αιχμής	-	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Συγκ. BOD	mg/L	330	330	320	320	315	285	285	285	305	320	330	300
Συγκ. TN	mg/L	70	70	67	67	65	60	59	59	64	67	70	70
Συγκ. TSS	mg/L	300	300	288	288	283	257	257	257	276	288	300	300
Συγκ. TP	mg/L	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Απομάκρυνση BOD	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Απομάκρυνση TN	%	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Απομάκρυνση TSS	%	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Απομάκρυνση TP	%	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Απώλειες λόγω ET	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Θερμοκρ. Σχεδιασμού	oC	11,23	11,21	12,15	14,80	18,00	21,50	22,84	22,82	20,86	18,37	15,06	12,53
Παροχή Σχεδιασμού	m ³ /d	187	187	203	211	223	255	273	291	245	219	203	195
Μέση παροχή	m ³ /d	120	120	131	138	146	168	182	196	163	144	132	126
Βιολογικό φορτίο BOD	kg/d	61,8	61,8	65,0	67,6	70,2	72,6	77,8	83,0	74,7	70,2	66,9	58,5
Φορτίο BOD/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	51,5	51,5	52,0	52,0	52,0	51,9	51,9	51,9	51,5	52,0	51,5	46,8
Φορτίο TN/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	10,9	10,9	10,9	10,9	10,7	10,9	10,7	10,7	10,8	10,9	10,9	10,9
Φορτίο TSS/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	46,8	46,8	46,8	46,8	46,7	46,8	46,8	46,8	46,6	46,8	46,8	46,8
Φορτίο TP/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9
	(g/d)/ι.κ.	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0
	mg/L	300,0	300,0	288,0	288,0	283,5	257,1	257,1	257,1	276,9	288,0	300,0	300,0
ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ													
CeNH ₃ ή Ce	mg/L	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
K τ	-	0,1450	0,1448	0,1513	0,1714	0,1991	0,2346	0,2499	0,2496	0,2276	0,2027	0,1735	0,1541
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
CoNO ₃ ή Co	mg/L	34,5	34,5	32,4	32,4	31	27,5	26,8	26,8	30,3	32,4	34,5	34,5
As	m ²	7.487	7.496	7.502	6.891	6.097	5.500	5.445	5.815	5.782	6.051	6.777	7.337
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	6,2	6,2	6,0	5,3	4,5	3,9	3,6	3,6	4,0	4,5	5,2	5,9
CoNO ₃	mg/L	34,5	34,5	32,4	32,4	31	27,5	26,8	26,8	30,3	32,4	34,5	34,5
K τ'	-	0,2935	0,2926	0,3337	0,4833	0,7557	1,2331	1,4882	1,4832	1,1269	0,7968	0,5016	0,3523
t	d	8,4	8,4	7,8	6,8	5,7	4,5	4,2	4,2	5,0	5,8	7,0	7,9
CeNO ₃	mg/L	2,9	2,9	2,4	1,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1,0	2,1
Ce	mg/L	17,43	17,45	16,93	15,68	14,90	14,60	14,55	14,55	14,61	14,82	15,52	16,63
Lmax	m	331,50	331,75	314,34	289,36	257,31	219,73	208,45	208,61	233,18	258,75	294,06	318,25

w	m	35,33	35,35	35,36	33,89	31,88	30,28	30,12	31,13	31,04	31,76	33,61	34,97
L	m	105,98	106,04	106,08	101,67	95,63	90,83	90,37	93,39	93,13	95,27	100,82	104,90
BOD													
Ce _{BOD}	mg/L	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
K _τ	1/d	0,407	0,429	0,501	0,603	0,740	0,800	0,799	0,713	0,617	0,509	0,439	0,439
D	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
N	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Co _{BOD}	mg/L	198	192	192	189	171	171	171	183	192	198	180	180
As	m ²	4.536	4.596	4.096	3.559	3.153	3.124	3.337	3.260	3.453	3.930	4.177	4.177
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,8	3,7	3,2	2,6	2,3	2,1	2,1	2,2	2,6	3,0	3,3	3,3
Φορτίο/επιφάνεια	g/m ² /d	8,2	8,5	9,9	11,8	13,8	14,9	14,9	13,8	12,2	10,2	8,4	8,4
Επιτρ. φορτίο/επιφ	g/m ² /d	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
As αναπροσαρμοσμένο	m ²	4.536	4.596	4.096	3.830	3.961	4.244	4.527	4.077	3.829	3.930	4.177	4.177
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,8	3,7	3,2	2,6	2,3	2,1	2,1	2,2	2,6	3,0	3,3	3,3
L _{max}	m	237,3	226,7	204,5	188,7	176,5	176,5	176,5	184,7	190,7	204,5	218,6	218,6
w	m	27,5	27,7	26,1	24,4	22,9	22,8	23,6	23,3	24,0	25,6	26,4	26,4
L	m	82,5	83,0	78,4	73,1	68,8	68,5	70,7	69,9	72,0	76,8	79,2	79,2
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ													
Ce _{TSS}	mg/L	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
K _p	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
N	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Co _{TSS}	mg/L	90	86,4	86,4	84,9	77,1	77,1	77,1	82,8	86,4	90	90	90
As	m ²	756	725	754	756	673	721	769	776	783	819	787	787
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
L _{max}	m	71,85	66,17	66,17	63,99	54,15	54,15	54,15	61,12	66,17	71,85	71,85	71,85
w	m	11,22	10,99	11,21	11,23	10,59	10,96	11,32	11,37	11,42	11,68	11,45	11,45
L	m	33,67	32,97	33,62	33,68	31,77	32,89	33,96	34,12	34,26	35,04	34,36	34,36
ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ													
Ce _{TP}	mg/L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
k _p	-	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Co _{TP}	mg/L	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
As	m ²	3.557	3.860	4.014	4.236	4.842	5.188	5.534	4.657	4.169	3.854	3.706	3.706
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,0	3,1	3,1	3,1	3,5	3,5	3,5	3,2	3,1	3,0	3,0	3,0
L _{max}	m	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84
w	m	24,35	25,36	25,87	26,57	28,41	29,41	30,37	27,86	26,36	25,34	24,85	24,85
L	m	73,05	76,09	77,60	79,71	85,22	88,22	91,11	83,58	79,08	76,03	74,56	74,56

ΣΥΝΟΛΙΚΑ												
Βάση σχεδιασμού	Βιοχημικά απαιτούμενο											
	As	m ²	οξυγόνο, BOD									
	Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	4596									
	Lmax	m	3,8									
	Αριθμός κλινών	-	239,4									
	w	m	2									
L	m	27,7										
		83,0										
ΕΠΤΥΗΣΕΙΣ ΕΚΦΡΩΣ												
Υδραυλ. ρυθμός												
φόρτισης	cm/d	4,1	4,4	4,6	4,8	5,5	5,9	6,3	5,3	4,8	4,4	
Υδραυλ.χρ.παραμονής	d	5,16	4,75	4,57	4,33	3,79	3,54	3,31	3,94	4,40	4,95	
BOD εκροής	mg/L	24,3	25,0	19,5	13,9	10,4	10,1	12,1	11,1	12,7	17,6	
Αζωτο εκροής	mg/L	8,8	8,6	8,6	8,4	8,0	7,9	8,0	8,4	8,7	9,0	
Αιωρ.στερεά εκροής	mg/L	11,0	10,7	10,7	10,5	9,7	9,8	9,8	10,4	10,7	11,1	
Φώσφορος εκροής	mg/L	4,3	4,5	4,6	4,8	5,1	5,3	5,5	5,0	4,7	4,4	

9.3.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η πιο πάνω διαδικασία εύρεσης των απαιτούμενων διαστάσεων του υγροβιοτόπου, Η έγινε βάσει των εξισώσεων που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.3 και πραγματοποιήθηκε για τέσσερις παραμέτρους ρύπανσης, ολικό άζωτο, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, αιωρούμενα στερεά και ολικό φώσφορο. Ο υπολογισμός των απαιτούμενων εκτάσεων και της απόδοσης του συστήματος στην ουσία βοηθά στον έλεγχο του συστήματος, καθώς ελέγχεται αν η επιλεγόμενη έκταση καλύπτει τις ανάγκες των ρυπαντών και εκτιμάται η ποιότητα της εκροής. Ιδιαίτερα, ως προς το άζωτο και τον φώσφορο αυτό είναι βαρύνουσας σημασίας, λαμβανόμενης υπόψιν της διάθεσης της εκροής για άρδευση.

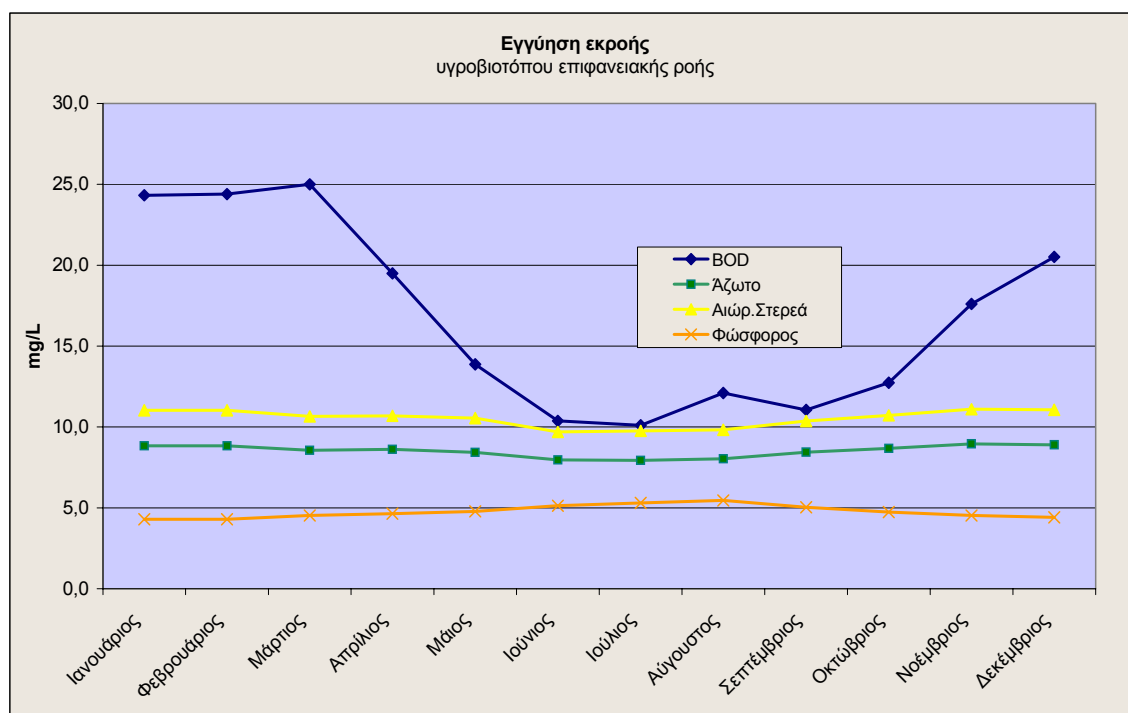
Στην μελετούμενη περίπτωση επιλέγεται η διαστασιολόγηση του συστήματος ως προς το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο. Αυτό συνίσταται στην μεγάλη απαιτούμενη έκταση για την αποτελεσματική απομάκρυνση του ολικού αζώτου και την ανάγκη μη αφαίρεσης σημαντικού μέρους αζώτου για λόγους φυσικής λίπανσης των εδαφών. Εξάλλου το τελευταίο ίσως να αποτελεί και μια από τις κύριες αιτίες προτίμησης της χρήσης των επεξεργασμένων αποβλήτων έναντι του νερού των γεωτρήσεων από τους γεωργούς.

Η παραπάνω διαδικασία διαστασιολόγησης δίδει ως αποτέλεσμα ότι η απαιτούμενη έκταση των κλινών του υγροβιοτόπου είναι ίση με 4.596 m^2 . Η επιφάνεια ανά ισοδύναμο κάτοικο φθάνει τα $3,8 \text{ m}^2$. Αυτό φαίνεται λογικό αν ληφθούν υπόψιν οι γενικά αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή.

Ο αριθμός κλινών που επιλέγεται είναι ίσος με 2. Γενικά είναι καλό να υπάρχουν περισσότερες από 1 κλίνη, προκειμένου να αποφεύγεται η περίπτωση βραχυκύκλωσης της ροής. Αυτό συνεπάγεται την δημιουργία 2 κλινών εκτάσεως 2298 m^2 εκάστη. Οι διαστάσεις αυτών θα είναι 27,7 m και 83,0 m, το πλάτος και το μήκος τους αντίστοιχα.

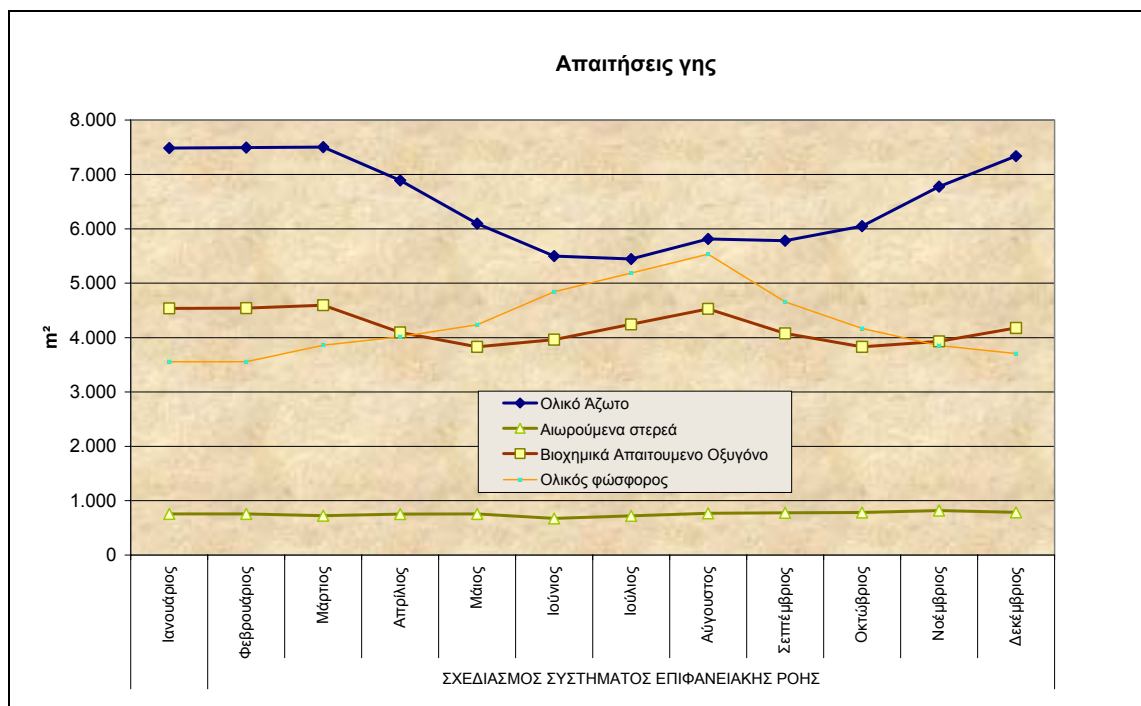
Ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα του σχεδιασμού είναι και οι εγγυήσεις που μπορούν να δωθούν για την ποιότητα των παραμέτρων της εκροής. Συγκεκριμένα, με βάση την έκταση που έχει επιλεγεί προκύπτουν οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών για όλους τους μήνες του έτους. Οι τιμές των συγκεντρώσεων διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν ως επιθυμητές κατά την διαστασιολόγηση γιατί αφενός στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε διαφορετική παράμετρος ως βάση σχεδιασμού είναι σαφές ότι διαφοροποιείται και η απόδοση του συστήματος και αφετέρου διότι στην περίπτωση του BOD η διαστασιολόγηση έγινε για το μήνα με τις μεγαλύτερες

απαιτήσεις και επομένως για τους υπόλοιπους μήνες που είχαν μικρότερες απαιτήσεις η απόδοση αναμένεται να είναι μεγαλύτερη.



Σχήμα 9.2 Εγγυήσεις των παραμέτρων ποιότητας για την εκροή του υγροβιοτόπου

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι η συγκέντρωση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου βρίσκεται σταθερά κάτω από το όριο των 25 mg/L που τέθηκε κατά την ρύθμιση της ρύπανσης του ποταμού. Μάλιστα, αξίζει να σημειωθεί ότι φθάνει κοντά στο όριο μόνο στις περιόδους που η ροή του ποταμού είναι αυξημένη. Όσο αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους αυτές κυμαίνονται σε σταθερά και ικανοποιητικά πλαίσια.



Σχήμα 9.3 Διακύμανση των απαιτήσεων γης ανάλογα με τον μήνα σχεδιασμού και την επιλεγόμενη παράμετρο

Όσο αφορά την διακύμανση των απαιτήσεων γης αυτή είναι συνάρτηση κυρίως της μεταβολής της θερμοκρασίας και της διαφοροποίησης της παροχής εισόδου στο σύστημα. Για το ολικό άζωτο οι απαιτήσεις γης ανέρχονται σε 7500m² στην διάρκεια του χειμώνα και 5500m² περίπου κατά την θερμή περίοδο. Η επιλεγόμενη επιφάνεια καλύπτει και τις ανάγκες για αποτελεσματική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών σε όλη την διάρκεια του έτους, ενώ για τον φώσφορο καλύπτονται εν μέρει αν και η σημαντική απομάκρυνση του φωσφόρου δεν είναι επιθυμητή, εξαιτίας των αναγκών λίπανσης των εδαφών.

9.4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ

9.4.1. Παράμετροι σχεδιασμού

Η διαστασιολόγηση του υγροβιοτόπου υποεπιφανειακής ροής ακολουθεί τα βήματα που ακολουθήθηκαν πιο πάνω. Οι σχέσεις που υπεισέρχονται και η όλη εν γένει μεθοδολογία λαμβάνονται από την παράγραφο 2.3. Ομοίως, κρίθηκε σκόπιμη η αντιπαραβολή της διαστασιολόγησης ως διαφόρους ρυπαντές με σκοπό τόσο τον έλεγχο της απομάκρυνσης των ρυπαντών, όσο και από πλευράς επιστημονικού ενδιαφέροντος την σύγκριση των απαιτήσεων γης ανάλογα με το ρυπαντή που επιλέγεται κάθε φορά. Προς την κατεύθυνση αυτή, διαστασιολογείται το σύστημα υγροβιοτόπου υποεπιφανειακής ροής ως προς τους ακόλουθους ρυπαντές, ομοίως με προηγούμενως.

- ολικό άζωτο TN
- βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD,
- ολικά αιωρούμενα στερεά, TSS
- ολικός φώσφορος, TP

9.4.2. Πίνακας αποτελεσμάτων

Πίνακας 9.4 Σχεδιασμός συστήματος υποεπιφανειακής ροής

ΤΥΛΙΣΟΣ		ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ											
		ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ											
Παράμετροι	μονάδες	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
ι.κ.	-	1200	1200	1250	1300	1350	1400	1500	1600	1450	1350	1300	1250
Παροχή/ι.κ.	L/d	120	120	125	125	127	140	140	140	130	125	120	120
Συντ. αιχμής	-	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Συγκ. BOD	mg/L	330	330	320	320	315	285	285	285	305	320	330	300
Συγκ. TN	mg/L	70	70	67	67	65	60	59	59	64	67	70	70
Συγκ. TSS	mg/L	300	300	288	288	283	257	257	257	276	288	300	300
Συγκ. TP	mg/L	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Απομάκρυνση BOD	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Απομάκρυνση TN	%	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Απομάκρυνση TSS	%	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Απομάκρυνση TP	%	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Απώλειες λόγω ET	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Θερμοκρ. Σχεδιασμού	οC	11,23	11,21	12,15	14,80	18,00	21,50	22,84	22,82	20,86	18,37	15,06	12,53
Ποσοστό ανάπτυξης rz	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Παροχή Σχεδιασμού	m ³	187	187	203	211	223	255	273	291	245	219	203	195
Μέση παροχή	m ³ /d	120	120	131	138	146	168	182	196	163	144	132	126
Βιολογικό φορτίο BOD	kg/d	61,8	61,8	65,0	67,6	70,2	72,6	77,8	83,0	74,7	70,2	66,9	58,5
Φορτίο BOD/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	51,5	51,5	52,0	52,0	52,0	51,9	51,9	51,9	51,5	52,0	51,5	46,8
Φορτίο TN/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	10,9	10,9	10,9	10,9	10,7	10,9	10,7	10,7	10,8	10,9	10,9	10,9
Φορτίο TSS/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	46,8	46,8	46,8	46,8	46,7	46,8	46,8	46,8	46,6	46,8	46,8	46,8
Φορτίο TP/ι.κ.	(g/d)/ι.κ.	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	1,9	1,9
	(g/d)/ι.κ.	54,0	55,0	56,0	57,0	58,0	59,0	60,0	61,0	62,0	63,0	64,0	65,0
	mg/L	300,0	305,6	298,7	304,0	304,5	281,0	285,7	290,5	317,9	336,0	355,6	361,1
		ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ											
CeNH ₃ ή Ce	mg/L	n	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
rz	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
K NH ₃	-	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317
K τ	-	0,210	0,210	0,219	0,248	0,288	0,340	0,362	0,361	0,329	0,293	0,251	0,223
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
CoNO ₃ ή Co	mg/L	40,1	40,1	38	38	36,6	33,1	32,4	32,4	35,9	38	40,1	40,1
As	m ²	7.247	7.255	7.339	6.741	6.010	5.544	5.517	5.891	5.724	5.920	6.560	7.101
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	6,0	6,0	5,9	5,2	4,5	4,0	3,7	3,7	3,9	4,4	5,0	5,7
CoNO ₃	mg/L	40,1	40,1	38	38	36,6	33,1	32,4	32,4	35,9	38	40,1	40,1
K τ'	-	0,2935	0,2926	0,3337	0,4833	0,7557	1,2331	1,4882	1,4832	1,1269	0,7968	0,5016	0,3523
t	d	8,1	8,1	7,6	6,7	5,7	4,6	4,2	4,2	4,9	5,7	6,8	7,6
CeNO ₃	mg/L	3,687	3,707	3,020	1,490	0,507	0,118	0,059	0,059	0,143	0,416	1,328	2,711
Ce	mg/L	12,587	12,607	11,920	10,390	9,407	9,018	8,959	8,959	9,043	9,316	10,228	11,611
Lmax	m	324,4	324,6	309,8	285,1	254,9	220,9	210,3	210,4	231,6	255,0	287,7	311,4
w	m	34,8	34,8	35,0	33,5	31,7	30,4	30,3	31,3	30,9	31,4	33,1	34,4
L	m	104,3	104,3	104,9	100,6	95,0	91,2	91,0	94,0	92,7	94,2	99,2	103,2

BOD														
C _{BOD}	mg/L	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
K _τ	-	0,662	0,661	0,699	0,815	0,982	1,205	1,303	1,301	1,160	1,004	0,828	0,715	0,715
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
C _{BOD}	mg/L	198	198	192	192	189	171	171	171	183	192	198	198	198
As	m ²	2.785	2.789	2.822	2.515	2.186	1.936	1.918	2.049	2.002	2.121	2.413	2.689	2.689
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	2,3	2,3	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,3	1,4	1,6	1,9	2,2	2,2
Φορτίο/επιφάνεια	g/m ² /d	13,3	13,3	13,8	16,1	19,3	22,5	24,3	24,3	22,4	19,9	16,6	14,4	14,4
Εμπρ. φορτίο/επιφ	g/m ² /d	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
As αναπορυσμασμένο	m ²	3.707	3.707	3.900	4.056	4.213	4.357	4.668	4.980	4.484	4.212	4.015	3.861	3.861
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
L _{max}	m	207,4	207,4	203,2	203,2	201,1	188,1	188,1	188,1	196,8	203,2	207,4	207,4	207,4
w	m	24,9	24,9	25,5	26,0	26,5	26,9	27,9	28,8	27,3	26,5	25,9	25,4	25,4
L	m	74,6	74,6	76,5	78,0	79,5	80,8	83,7	86,4	82,0	79,5	77,6	76,1	76,1
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ														
C _e	mg/L	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Co	mg/L	90	90	86,4	86,4	84,9	77,1	77,1	77,1	82,8	86,4	90	90	90
As	m ²	756	756	725	754	756	673	721	769	776	783	819	787	787
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
L _{max}	m	71,85	71,85	66,17	66,17	63,99	54,15	54,15	54,15	61,12	66,17	71,85	71,85	71,85
w	m	11,22	11,22	10,99	11,21	11,23	10,59	10,96	11,32	11,37	11,42	11,68	11,45	11,45
L	m	33,67	33,67	32,97	33,62	33,68	31,77	32,89	33,96	34,12	34,26	35,04	34,36	34,36
ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ														
C _e	mg/L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
kp	-	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
d	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
n	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Co	mg/L	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
As	m ²	3.557	3.557	3.860	4.014	4.236	4.842	5.188	5.534	4.657	4.169	3.854	3.706	3.706
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,5	3,5	3,5	3,2	3,1	3,0	3,0	3,0
L _{max}	m	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84
w	m	24,35	24,35	25,36	25,87	26,57	28,41	29,41	30,37	27,86	26,36	25,34	24,85	24,85
L	m	73,05	73,05	76,09	77,60	79,71	85,22	88,22	91,11	83,58	79,08	76,03	74,56	74,56

ΣΥΝΟΛΙΚΑ	
Βάση σχεδιασμού	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD
As	4980
Επιφάνεια/ ι.κ.	4,1
Lmax	252,6
Αριθμός κλινών	2
w	28,8
L	86,4

ΕΙΓΜΕΝΕΣ ΕΚΡΟΗΣ												
Εγγυήσεις	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
Υδραυλ. ρυθμός	3,8	3,8	4,1	4,2	4,5	5,1	5,5	5,8	4,9	4,4	4,1	3,9
φόρτισης												
Υδραυλ. χρ. παραμονής	5,59	5,59	5,15	4,95	4,69	4,10	3,83	3,59	4,27	4,77	5,16	5,36
BOD εκροής	4,9	4,9	5,3	3,4	1,9	1,2	1,2	1,6	1,3	1,6	2,8	4,3
Άζωτο εκροής	9,8	9,8	9,5	9,6	9,4	8,9	8,9	9,0	9,4	9,6	9,9	9,9
Αωρ. στερέα εκροής	11,0	11,0	10,6	10,6	10,5	9,6	9,7	9,7	10,3	10,7	11,0	11,0
Φόσφορος εκροής	7,8	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	7,9	7,8	7,8	7,8

9.4.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η παραπάνω διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε για τέσσερις παραμέτρους ρύπανσης, ολικό άζωτο, βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, αιωρούμενα στερεά και ολικός φώσφορος. Η διαστασιολόγηση έγινε βάσει των εξισώσεων που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.3. Αν και σε ελάχιστες περιπτώσεις διαστασιολογείται ένα φυσικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων ενός οικισμού και για τις τέσσερις αυτές παραμέτρους, εντούτοις ο υπολογισμός των απαιτούμενων εκτάσεων και της απόδοσης του συστήματος, στην ουσία βοηθά στον έλεγχο του συστήματος. Πιο ειδικά, με αυτό τον τρόπο ελέγχεται αν η επιλεγόμενη έκταση καλύπτει τις ανάγκες των ρυπαντών και εκτιμάται η ποιότητα της εκροής. Ιδιαίτερα, ως προς το άζωτο και τον φώσφορο αυτό είναι βαρύνουσας σημασίας, λαμβανουμένης υπόψιν της διάθεσης της εκροής για άρδευση.

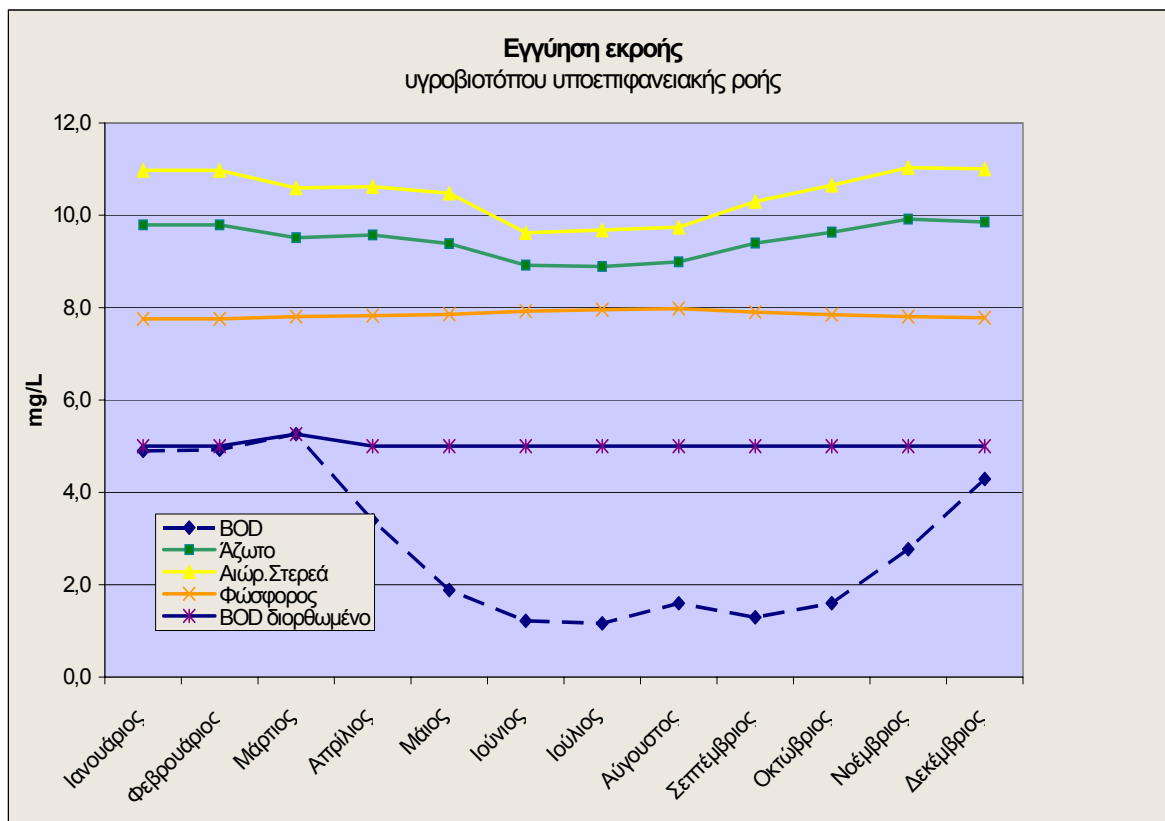
Στην μελετούμενη περίπτωση επιλέγεται η διαστασιολόγηση του συστήματος ως προς το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο. Ο λόγος για τον οποίο συνίσταται η χρήση του οργανικού φορτίου ως βάση σχεδιασμού αφορά αφενός την μεγάλη απαιτούμενη έκταση για την αποτελεσματική απομάκρυνση του ολικού αζώτου και αφετέρου την ανάγκη μη αφαίρεσης σημαντικού μέρους αζώτου για λόγους φυσικής λίπανσης των εδαφών. Εξάλλου το τελευταίο ίσως να αποτελεί και μια από τις κύριες αιτίες προτίμησης της χρήσης των επεξεργασμένων αποβλήτων έναντι του νερού των γεωτρήσεων από τους γεωργούς.

Η παραπάνω διαδικασία διαστασιολόγησης δίδει ως αποτέλεσμα ότι η απαιτούμενη έκταση των κλινών του υδροβιοτόπου είναι ίση με 4.980 m². Η επιφάνεια ανά ισοδύναμο κάτοικο φθάνει τα 4,1 m². Αυτό φαίνεται λογικό αν ληφθούν υπόψιν οι γενικά αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή.

Ο αριθμός κλινών που επιλέγεται είναι ίσος με 2. Γενικά είναι καλό να υπάρχουν περισσότερες από 1 κλίνη, προκειμένου να αποφεύγεται η περίπτωση βραχυκύκλωσης της ροής. Αυτό συνεπάγεται την δημιουργία 2 κλινών εκτάσεως 2490 m² εκάστη. Οι διαστάσεις αυτών θα είναι 28,8 m και 86,4m, το πλάτος και το μήκος τους αντίστοιχα.

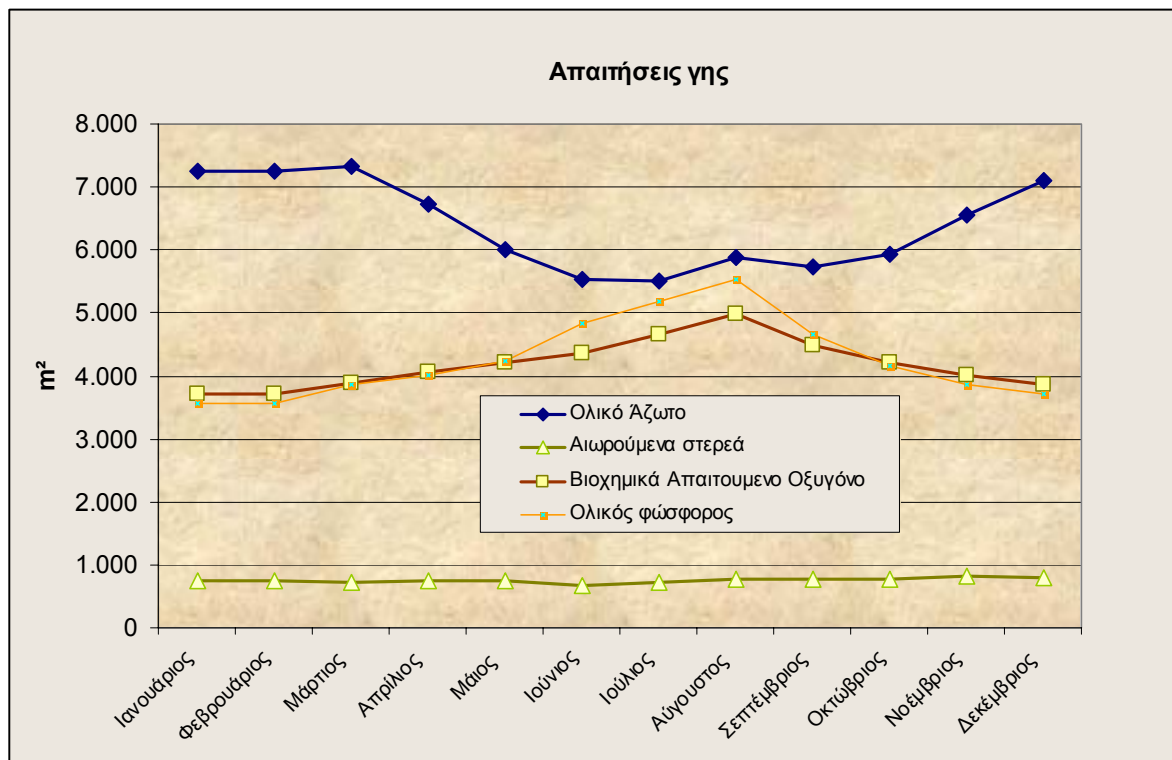
Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι εγγυήσεις των παραμέτρων της εκροής. Συγκεκριμένα, με βάση την έκταση που έχει επιλεγεί προκύπτουν οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών για όλους τους μήνες του έτους. Οι τιμές των συγκεντρώσεων διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν ως επιθυμητές κατά την διαστασιολόγηση γιατί αφενός στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε διαφορετική παράμετρος ως βάση σχεδιασμού είναι σαφές ότι διαφοροποιείται και η απόδοση του συστήματος και αφετέρου διότι στην περίπτωση του BOD η διαστασιολόγηση έγινε για το

μήνα με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις και επομένως για τους υπόλοιπους μήνες που είχαν μικρότερες απαιτήσεις η απόδοση αναμένεται να είναι μεγαλύτερη.



Σχήμα 9.4 Εγγυήσεις των παραμέτρων ποιότητας για την εκροή του υδροβιολογικού

Από το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται μια ιδιαίτερα χαμηλή συγκέντρωση BOD στην έξοδο του συστήματος. Αυτό είναι απόρροια του ότι το μέγεθος της απαιτούμενης έκτασης που επιλέχθηκε στην ουσία προκύπτει από το ανώτατο όριο οργανικής φόρτισης ανά μονάδα επιφάνειας (ίσο με $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) και όχι από την κινητική της αντίδρασης αποδόμησης του οργανικού φορτίου. Ωστόσο, δεν μπορούμε να εγγυηθούμε συγκέντρωση BOD μικρότερη των 5 mg/L , διότι πρόκειται για ένα ζωντανό σύστημα με φυτά που αναπτύσσονται, μεγαλώνουν και στο τέλος ξηραίνονται με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται ελάχιστα το BOD της εκροής.



Σχήμα 9.5 Διακύμανση των απαιτήσεων γης ανάλογα με τον μήνα σχεδιασμού και την επιλεγόμενη παράμετρο

Όσο αφορά την διακύμανση των απαιτήσεων γης αυτή είναι συνάρτηση κυρίως της μεταβολής της θερμοκρασίας και της διαφοροποίησης της παροχής εισόδου στο σύστημα. Για το ολικό άζωτο οι απαιτήσεις γης ανέρχονται σε 7200m² στην διάρκεια του χειμώνα και 5500m² περίπου κατά την θερμή περίοδο. Ο φώσφορος ακολουθεί σε γενικές γραμμές του οργανικού φορτίου. Αυτό συνεπάγεται ότι η επιλεγόμενη έκταση των 4980 m² υγροβιοτόπου καλύπτει τις ανάγκες απομάκρυνσης του φωσφόρου στο μεγαλύτερο μέρος του έτους. Τέλος, γίνεται σαφές ότι η επιλεγόμενη επιφάνεια καλύπτει και τις ανάγκες για αποτελεσματική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

9.5. Διαστασιολόγηση συστήματος λιμνών σταθεροποίησης

9.5.1. Παράμετροι σχεδιασμού

Η εύρεση του καλύτερου δυνατού συνδυασμού λιμνών σταθεροποίησης ανά στάδιο επεξεργασίας και ο υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας κάθε μια λίμνη προκειμένου να καλύπτονται οι ανάγκες ποιότητας της εκροής είναι το ζητούμενο στο σχεδιασμό του συστήματος. Όλες οι σχέσεις και εν γένει η μεθοδολογία που ακολουθείται περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το σύστημα διαστασιολογήθηκε βάσει του ρυθμού φόρτισης οργανικού φορτίου ανά μονάδα επιφάνειας στις λίμνες αερόβια και επαμφοτερίζουσα και βάσει της μικροβιακής ρύπανσης στις λίμνες ωρίμανσης. Θεωρήθηκαν βάθη ίσα με 4, 1,75 και 1,5 στην αερόβια, επαμφοτερίζουσα και στις λίμνες ωρίμανσης, αντίστοιχα. Επίσης, θεωρήθηκε μικροβιακή ρύπανση εισόδου, N_i , στις λίμνες ωρίμανσης ίση με 10^7 αποικίες /100ml, ενώ ως όριο στην έξοδο θεωρήθηκε η τιμή 500 αποικίες /100ml. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ως συντελεστής αιχμής της παροχής η τιμή 1,15, η οποία είναι χαμηλότερη εν συγκρίσει με τους υδροβιότοπους εξαιτίας του μεγάλου χρόνου παραμονής των λιμνών σταθεροποίησης.

Επιπλέον έγινε προσπάθεια σύγκρισης δυο εναλλακτικών τρόπων σχεδιασμού του συστήματος πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Ειδικότερα, εξετάστηκε η περίπτωση κατασκευής μιας πρωτοβάθμιας λίμνης επαμφοτερίζουσας, αντί της αερόβιας και της δευτεροβάθμιας επαμφοτερίζουσας. Από την αναλυτική διαστασιολόγηση των δυο τρόπων σχεδιασμού, προέκυψαν οι επιμέρους παράμετροι κάθε λύσης και κατέστη σαφής η διαφορά στις απαιτήσεις γης.

9.5.2. Πίνακες αποτελεσμάτων

Πίνακας 9.5 Σχεδιασμός συστήματος λιμνών σταθεροποίησης: Έλεγχος συνδυασμών συστημάτων αερόβιας-επαμφοτερίζουσας Β' και επαμφοτερίζουσας Α'.

ΤΥΛΙΣΟΣ:				ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ-ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΑΣ Β'				ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΑΣ Α' ΒΑΘΜΙΑΣ			
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ				ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ				ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΑ Α'ΒΑΘΜΙΑ			
Παράμετροι	Μονάδες	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Παράμετροι	Μονάδες	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Παράμετροι	Μονάδες	Χειμώνας	Καλοκαίρι
ι.κ.	-	1200	1600	Co	mg/L	330	285	Co	mg/L	330	285
Παροχή/ι.κ.	L/d	120	140	λν	g/m ³ d	124	336	λs	kggr/ha*d	114	323
Συντ. αιχμής	-	1	1	Va	m ³	383	190	Επιφ. Af	m²	4164	1979
Συγκ. BOD	mg/L	330	285	βάθος	m	4	4	βάθος	m	1,75	1,75
Συγκ. TN	mg/L	70	60	Επιφάνεια Aa	m²	96	48	Vf	m ³	7287	3462
Συγκ. TSS	mg/L	300	260	Απομάκρυνση BOD	%	42,4	67,2	θf	d	50,6	15,5
Συγκ. TP	mg/L	12	11	θα	d	2,7	0,8	Απομ. BOD	%	70	80
				Ce	mg/L	190	93	Ce	mg/L	99	57
Απομάκρυνση BOD	%	0	0					Μείωση BOD	%	70	80
Απομάκρυνση TN	%	0	0	ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΑ Β'ΒΑΘΜΙΑ							
Απομάκρυνση TSS	%	0	0	Παράμετροι	Μονάδες	Χειμώνας	Καλοκαίρι				
Απομάκρυνση TP	%	0	0	Co	mg/L	190	93				
Απώλειες λόγω ET	%	0	0	λs	kggr/ha*d	114	323				
Θερμοκρ. Σχεδιασμού	oC	11,2	23,6	Επιφάνεια Af	m²	2399	649				
				βάθος	m	1,75	1,75				
Παροχή Σχεδιασμού	m ³ /d	144	224	Vf	m ³	4197	1136				
				θf	d	29,1	5,1				
				Απομάκρυνση BOD	%	48	39				
				Ce	mg/L	99	57				
				Συνολική μείωση BOD	%	70	80				

Πίνακας 9.5 Σχεδιασμός συστήματος λυμνών σταθεροποίησης: Σχεδιασμός και έλεγχος εοικτών συνδυασμών λυμνών ωρίμανσης κατά τον ψυχρότερο μήνα

ΧΕΙΜΩΝΑΣ											
Τ		Κτ									
οC		l/d									
11,2		0.563									
1ο Βήμα ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ 1Η ΛΙΜΝΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ											
λs	λs (m1)	L	Βάθος	θm1 min							
kg/ha*d	kg/ha*d	m	m	d							
114	86	99	1,5	17,4							
2ο Βήμα ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΟΜΟΙΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ ΩΣΤΕ θm<θm1 min											
Ni	Ne	n	Ni/Ne	1/(1+Ktθa)	1/(1+Ktθf)	θm	Έλεγχος	Am (l)	Am (n)		
CFU/100ml	CFU/100ml	-	-	-	-	d	d	m²	m²		
10000000	500	1	20000	0,4005	0,0575	816,57	Απορ. διότι θm>θf	0,00	0	0	
10000000	500	2	20000	0,4005	0,0575	36,36	Απορ. διότι θm>θf	0,00	0	0	
10000000	500	3	20000	0,4005	0,0575	11,95	Δεκτή	17,35	1135	3404	
10000000	500	4	20000	0,4005	0,0575	6,46	Δεκτή	17,35	616	2465	
10000000	500	5	20000	0,4005	0,0575	4,28	Δεκτή	17,35	410	2048	
10000000	500	6	20000	0,4005	0,0575	816,57	Απορ. διότι θm>θf	0,00	0	0	
3ο Βήμα ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ 1+η ΛΙΜΝΩΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ											
Ni	Ne	n	Ni/Ne	1/(1+Ktθa)	1/(1+Ktθf)	θm	Έλεγχος	Am (l)	Am (n)		
CFU/100ml	CFU/100ml	-	m²	-	-	d	d	m²	m²		
10000000	500	1	20000	0,4005	0,0575	74,27	Απορρίπτεται (θm>θf)	0,00	0	0	
10000000	500	2	20000	0,4005	0,0575	9,85	Δεκτή	9,85	937	1874	
10000000	500	3	20000	0,4005	0,0575	4,44	Δεκτή	4,44	424	1273	
Δεκτή με θmi =θmi min											
10000000	500	4	20000	0,4005	0,0575	2,77	3,00	265	1060		
10000000	500	5	20000	0,4005	0,0575	1,99	Απορρίπτεται	0,00	0	0	
10000000	500	6	20000	0,4005	0,0575	1,55	Απορρίπτεται	0,00	0	0	
4ο Βήμα ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΑΥΑΣΜΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ											
ΣΥΝΟΛΟ											
ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ											
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ		Am (1)	BAΘΟΣ (1)	θm (1)	n	Am (i)	BAΘΟΣ (i)	θm (i)	N	Am	θm
Μονάδες	m²	m	m	d	-	m²	m	d	-	m²	d
ΛΥΣΗ 1	1135	1,5	11,95	11,95	2	1135	1,5	11,95	3	3405	35,85
ΛΥΣΗ 2	1135	1,5	11,95	11,95	2	937	1,5	9,85	3	3009	31,65
ΛΥΣΗ 3	1135	1,5	11,95	11,95	3	424	1,5	4,44	4	2407	25,27
ΛΥΣΗ 4	1135	1,5	11,95	11,95	4	265	1,5	3,00	5	2195	23,95
ΕΠΙΛ.ΛΥΣΗ	1135	1,5	11,95	11,95	4	305	1,5	3,00	5	2355	23,95

Πίνακας 9.5 Σχεδιασμός συστήματος λυμνών σταθεροποίησης: Σχεδιασμός και έλεγχος ερπύων συνδυασμών λυμνών ωρίμανσης κατά το θέρους

ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ																
Τ		Κτ														
οC		l/d														
23,6		4,863														
1ο Βήμα		ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ 1Η ΛΙΜΝΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ														
λs		λs (ml)	L	Βάθος	θm1 min											
kgr/ha*d		kgr/ha*d	mg/L	m	d											
323		242	57	1,5	3,53											
2ο Βήμα		ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΟΜΟΙΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ ΩΣΤΕ θm<θm1 min														
Ni	Ne	n	Ni/Ne	1/(1+Ktθa)	1/(1+Ktθf)	θm	Έλεγχος							Am (l)	Am (n)	
CFU/100ml	CFU/100ml	-	-	-	-	d	d							m²	m²	
1000000	500	1	20000	0,1951	0,0390	31,07	Απορ. διότι θm>θf							0	0	
1000000	500	2	20000	0,1951	0,0390	2,33	Απορ. διότι θm>θf							347	694	
1000000	500	3	20000	0,1951	0,0390	0,89	Δεκτή							133	399	
1000000	500	4	20000	0,1951	0,0390	0,52	Δεκτή							77	308	
1000000	500	5	20000	0,1951	0,0390	0,36	Δεκτή							53	266	
3ο Βήμα		ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ 1+η ΛΙΜΝΩΝ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ														
Ni	Ne	n	Ni/Ne	1/(1+Ktθa)	1/(1+Ktθf)	1/(1+ktθm1)	θm	Έλεγχος							Am (i)	Am (n)
CFU/100ml	CFU/100ml	-	m²	-	-	-	d	d							m²	m²
1000000	500	1	20000	0,1951	0,0390	0,0550	1,51	Δεκτή θmi =θmi min							226	226
1000000	500	2	20000	0,1951	0,0390	0,0550	0,39	Απορρίπτεται							0	0
1000000	500	3	20000	0,1951	0,0390	0,0550	0,21	Απορρίπτεται							0	0
1000000	500	4	20000	0,1951	0,0390	0,0550	0,14	Απορρίπτεται							0	0
1000000	500	5	20000	0,1951	0,0390	0,0550	0,11	Απορρίπτεται							0	0
4ο Βήμα		ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΑΥΑΣΜΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ														
		1η ΛΙΜΝΗ				ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ				ΣΥΝΟΛΟ						
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Am (l)	BAΘΟΣ (l)	θm (l)	n	Am (i)	BAΘΟΣ (i)	θm (i)	N	Am	θm						
Μονάδες	m²	m	d	-	m²	m	d	-	m²	d						
ΛΥΣΗ 1	347	1,5	3,53	1	347	1,5	3,53	2	694	7,06						
ΛΥΣΗ 2	347	1,5	3,53	1	226	1,5	3,00	2	573	6,53						
ΛΥΣΗ 3	347	1,5	3,53	0	0	1,5	3,00	1	0	3,53						
ΛΥΣΗ 4	347	1,5	3,53	0	0	1,5	0,00	1	0	3,53						
ΕΠΙΛ.ΛΥΣΗ	347	1,5	3,53	1	226	1,5	3,53	2	573	7,06						

Πίνακας 9.5 Σχεδιασμός συστήματος λιμνών σταθεροποίησης: Συγκεντρωτικός πίνακας σχεδιασμού για την χειμερινή και θερινή περίοδο με το συνδυασμό αερόβιας-επαμβοτερίζουσας Β΄

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ					
ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΟΒΙΑΣ-ΕΠΑΜΦΟΤΕΡΙΖΟΥΣΑΣ					
ΧΕΙΜΩΝΑ					
ΛΙΜΝΗ	ΑΡ.ΛΙΜΝΩΝ	ΕΚΤΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ	ΟΓΚΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ
	-	m ²	m	m ³	d
Αναερόβια	1	96	4	383	2,66
Επαμφοτερίζουσα	1	2399	1,75	4197	29,15
Σύνολο Ωρίμανσης	5	2355	1,5	3533	23,95
Ωρίμανσης 1 ^η	1	1135	1,5	1703	11,95
Ωρίμανσης υπόλοιπες	4	305	1,5	458	3,00
ΣΥΝΟΛΟ	7	4849	-	8113	55,76
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ					
ΛΙΜΝΗ	ΑΡ.ΛΙΜΝΩΝ	ΕΚΤΑΣΗ	ΒΑΘΟΣ	ΟΓΚΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ
	-	m ²	m	m ³	d
Αναερόβια	1	48	4	190	0,85
Επαμφοτερίζουσα	1	649	1,75	1136	5,07
Ωρίμανσης	1	573	1,5	860	7,06
Ωρίμανσης 1 ^η	1	347	1,5	521	3,53
Ωρίμανσης υπόλοιπες	1	226	1,5	339	3,53
ΣΥΝΟΛΟ	3	1269	-	2185	12,98

9.5.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι ο συνδυασμός αναερόβιας και επαμφοτερίζουσας λίμνης είναι προτιμότερος από την χρήση μόνο επαμφοτερίζουσας. Αυτό είναι ένα γενικότερο συμπέρασμα που ισχύει. Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός των περισσότερων συστημάτων λιμνών στην Ελλάδα έτσι όπως παρουσιάστηκε στις παραγράφους 3.4.3 και 3.4.4 υστερεί ως προς το σημείο αυτό. Για την συγκεκριμένη περίπτωση ο συνδυασμός αναερόβιας και δευτεροβάθμιας επαμφοτερίζουσας απαιτεί έκταση 2495 m² (2399 m² και 96 m²), έναντι 4164 m², της λύσης της πρωτοβάθμιας επαμφοτερίζουσας.

Αναφορικά με το σχεδιασμό των λιμνών ωρίμανσης, έγινε με βάση την απομάκρυνση των κολοβακτηριδίων. Εξετάστηκαν όλες οι δυνατές λύσεις, τόσο με όμοιες λίμνες ωρίμανσης ώστε $\theta_1 \leq \theta_{1min}$, όσο και με σταθερή την πρώτη και όμοιες τις υπόλοιπες. Από την ανάλυση προκύπτει για τον χειμώνα γίνονται δεκτές οι λύσεις των 3 ομοίων λιμνών αλλά και των συνδυασμών 1+2, 1+3 και 1+4. Από την εξέταση των λύσεων αυτών προκύπτει η προτιμότερη λύση με τις μικρότερες απαιτήσεις είναι η λύση του συνδυασμού 1+4, με απαιτήσεις 1135m² + 4×305m² και συνολικό χρόνο παραμονής ίσο με 23,95 d. Η εξέταση της περιόδου του καλοκαιριού δίνει ως προτιμητέα λύση την εκδοχή των 2 λιμνών με απαιτήσεις έκτασης 347+226 m²= 573 m².

Όπως παρίσταται στο συγκεντρωτικό πίνακα, το σύστημα λιμνών έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις γης το χειμώνα. Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός έχει ως βάση την περίοδο του χειμώνα και επομένως το φυσικό σύστημα λιμνών σταθεροποίησης θα αποτελείται από τις ακόλουθες λίμνες:

Πίνακας 9.6 Σύνοψη της επιλεγόμενης λύσης λιμνών σταθεροποίησης

Τελική Λύση	Αρ. Λιμνών	Αμ	Βάθος
	-	m ²	m
Αναερόβια	1	96	1
Επαμφοτερίζουσα	1	2399	1
Σύνολο Ωρίμανσης	5	2355	5
Ωρίμανσης 1 ^η	1	1135	1
Ωρίμανσης υπόλοιπες	4	305	4
ΣΥΝΟΛΟ	7	4849	-

Μετά την διαστασιολόγηση των λιμνών γεννάται ο προβληματισμός περί της απόδοσης του συστήματος τόσο για τον χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση των μοντέλων απομάκρυνσης των ρυπαντών, τα οποία περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.3. Από την εφαρμογή των μοντέλων αυτών προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

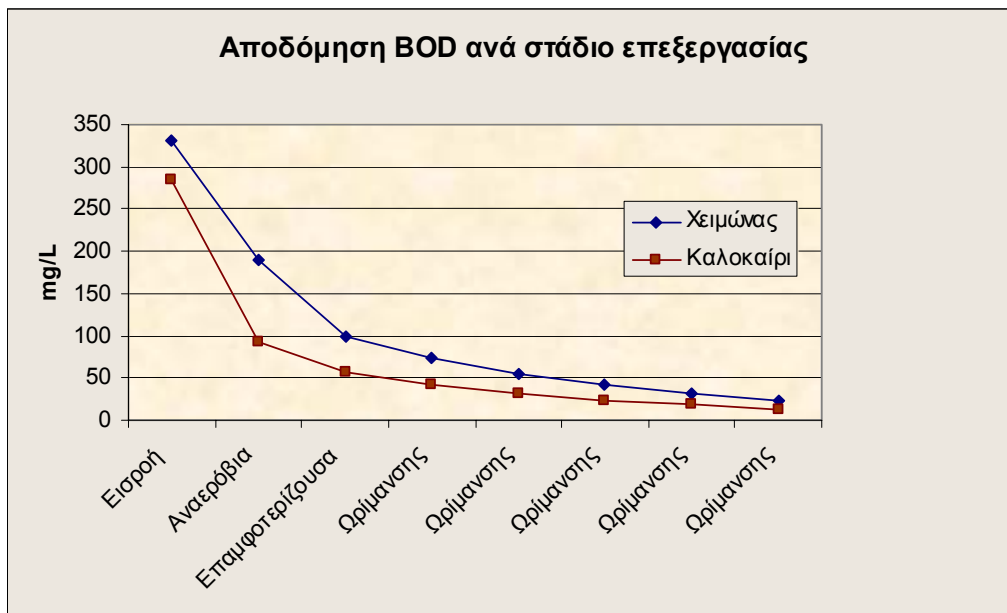
Πίνακας 9.7 Εγγυήσεις ποιότητας εκροής και αναμενόμενη ποιότητα κάθε λίμνης

ΧΕΙΜΩΝΑΣ						
ΛΙΜΝΗ	Αριθμός λιμνών	Έκταση	BOD	Συνολική Απομ. BOD	Συνολική Κολοβακτ. Απομ.Κβκτ	
	-	m ²	mg/L	%	CFU/100ml	%
(Εισροή)	-	-	330	0	10000000	0,00
Αναερόβια	1	96	190	42	4004637	59,95
Επαμφοτερίζουσα	1	2399	99	70	230180	97,70
Ωρίμανσης	1	1135	74	78	29807	99,70
Ωρίμανσης	1	305	56	83	11090	99,89
Ωρίμανσης	1	305	42	87	4126	99,96
Ωρίμανσης	1	305	31	91	1535	99,98
Ωρίμανσης	1	305	23	93	571	99,99
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ						
ΛΙΜΝΗ	Αριθμός λιμνών	Έκταση	BOD	Συνολική Απομ. BOD	Συνολική Κολοβακτ. Απομ.Κβκτ	
	-	m ²	mg/L	%	CFU/100ml	%
(Εισροή)	-	-	285	0	10000000	0
Αναερόβια	1	96	93	67	1072904	89,27
Επαμφοτερίζουσα	1	2399	57	80	11645	99,88
Ωρίμανσης	1	1135	43	85	307	100,00
Ωρίμανσης	1	305	32	89	28	100,00
Ωρίμανσης	1	305	24	92	3	100,00
Ωρίμανσης	1	305	18	94	0	100,00
Ωρίμανσης	1	305	14	95	0	100,00

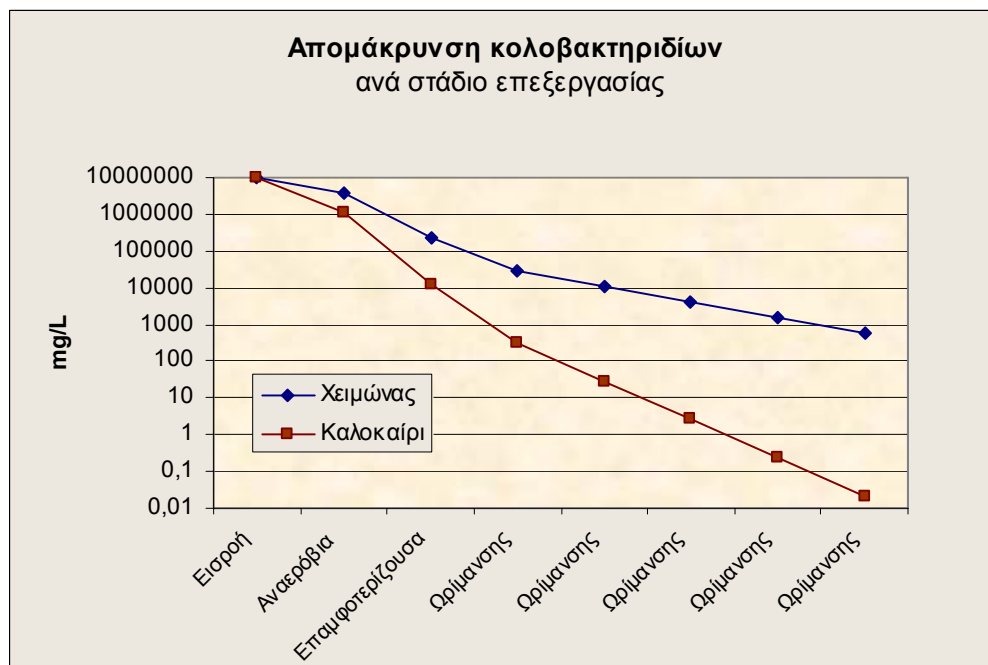
Από τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται η ικανοποιητική απομάκρυνση του οργανικού φορτίου για τον χειμώνα. Η απόδοση του συστήματος αναμένεται να παρουσιάζεται βελτιωμένη το καλοκαίρι. Αυτό είναι κυρίως συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας που συντελεί στην αλλαγή της ταχύτητας αποδόμησης του οργανικού φορτίου.

Η απόδοση του συστήματος παρουσιάζεται ικανοποιητική και για την παράμετρο της μικροβιακής ρύπανσης. Συγκεκριμένα, τον χειμώνα, η τελική εκροή βρίσκεται κοντά

στις 5·101 απ/100 ml, όπως εξάλλου ήταν και το κριτήριο σχεδιασμού. Ωστόσο, το καλοκαίρι η απόδοση του συστήματος αυξάνεται κατακόρυφα. Η αύξηση στην τελική απόδοση του συστήματος είναι περίπου τέσσερις τάξεις μεγέθους.



Σχήμα 9.6 Απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου



Σχήμα 9.7 Απόδοση του συστήματος στην απομάκρυνση της μικροβιακής ρύπανσης

9.6. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Η παραπάνω ανάλυση απέδωσε τα επίμερους σχεδιαστικά στοιχεία για κάθε τύπο φυσικού συστήματος προκειμένου ο φορέας διαχείρισης του έργου που στην περίπτωση μας μπορεί να είναι είτε ο Δήμος Τυλίσου ή ο Ο.ΑΝ.Α.Κ. , να είναι σε θέση να επιλέξει την κατάλληλη και πιο συμφέρουσα λύση. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα:

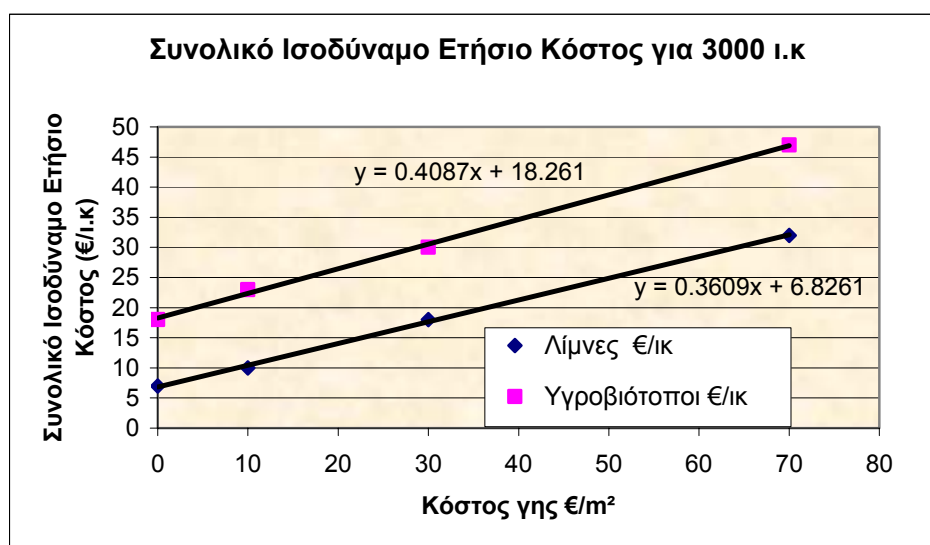
Πίνακας 9.8 Συγκεντρωτικός πίνακας εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού

Υγροβιότοποι επιφανειακής ροής		
Βάση σχεδιασμού		Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD
As	m ²	4596
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	3,83
Lmax	m	239,4
Αριθμός κλινών	-	2
w	m	27,7
L	m	83,0
Υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής		
Βάση σχεδιασμού		Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD
As	m ²	4980
Επιφάνεια/ ι.κ.	m ² /ι.κ.	4,15
Lmax	m	252,6
Αριθμός κλινών	-	2
w	m	28,8
L	m	86,4
Λίμνες σταθεροποίησης		
Βάση σχεδιασμού		Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, BOD, Μικροβιακή ρύπανση
Λίμνες	ΕΚΤΑΣΗ	Έκταση/επιφ.
	m ²	m ² /ι.κ.
Αναερόβια	96	0,08
Επαμφοτερίζουσα	2399	2,00
Ωρίμανσης	1135	0,95
Ωρίμανσης	305	0,25
Ωρίμανσης	305	0,25
Ωρίμανσης	305	0,25
Ωρίμανσης	305	0,25
Σύνολο	4849	4,04

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι διαφορές ανάμεσα στους τρεις τύπους συστημάτων επεξεργασίας είναι μικρότερες από 0,5 στρέμματα.

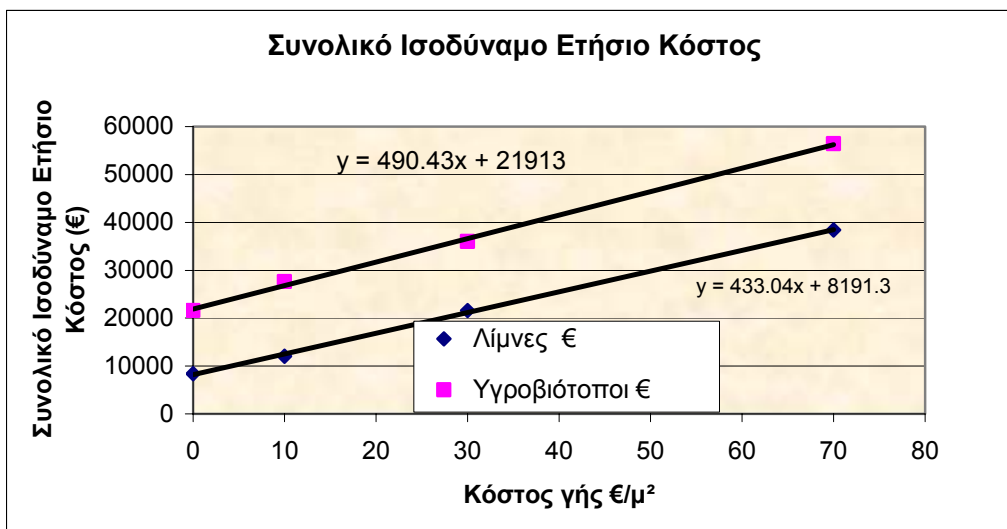
Οικονομική αξιολόγηση

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.3.1 το ολικό ετήσιο ισοδύναμο κόστος δύναται να προκύψει από εμπειρικά γραφήματα που δίνουν το κόστος ως συνάρτηση του κόστους γης. Αν θεωρηθεί ως πιο αξιόπιστη πηγή, η πηγή [19] τότε για την εκτίμηση του μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γράφημα 4.3, το οποίο μπορεί να εκφραστεί ως ακολούθως:



Σχήμα 9.8 Μεταβολή του ολικού μέσου ετησίου κόστους σε €/ι.κ. ανά τύπο εγκατάστασης

Θεωρώντας ότι το κόστος ανά κάτοικο διατηρείται με την μείωση του πληθυσμού μπορεί να θεωρηθεί ότι για τον οικισμό της Τυλίσου ισχύει ενδεικτικά:



Σχήμα 9.9 Ολικό Ισοδύναμο Ετήσιο Κόστος (€) για πληθυσμό 1200 κατοίκων

Αν τονίζεται ιδιαίτερα ότι το παραπάνω γράφημα είναι ενδεικτικό, ωστόσο φαίνεται μια υπεροχή των λιμνών σταθεροποίησης. Ο αναγνώστης δύναται να υπολογίσει το ενδεικτικό ετήσιο κόστος με βάση το κόστος της γης. Αν θεωρηθεί ένα κόστος γης 15 €/μ², το οποίο σύμφωνα με συνομιλίες με κατοίκους της περιοχής θεωρείται γενικά μια αντιπροσωπευτική τιμή για την περιοχή, τότε προκύπτει.

- Υγροβιότοποι 27000€/έτος
- Λίμνες 13000€/έτος

Ωστόσο, η τελική επιλογή εναπόκειται στους υπευθύνους του Δήμου Τυλίσου, όπου θα μπορέσουν να συνεκτιμήσουν και πλήθος άλλων στοιχείων. Κατά συνέπεια, ίσως η πιο αποτελεσματική επιλογή του φυσικού συστήματος θα μπορούσε να γίνει όχι με βάση όχι μόνο την απαιτούμενη έκταση, όσο με άλλες παραμέτρους, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο, όπως είναι η αξιοπιστία, οι ανάγκες συντήρησης, οι οικονομικές απαιτήσεις αλλά και η κοινωνική αποδοχή, οι οποίες είναι ενδεχόμενα από τις πιο καταλυτικές παραμέτρους στην σωστή και συνεχή λειτουργία ενός συστήματος επεξεργασίας σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Αξίζει στο σημείο αυτό να τονιστεί το στοιχείο ότι οι μικροί οικισμοί συνήθως δεν μπορούν να διαθέσουν από μόνοι τους την απαιτούμενη υποδομή για την λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων, διότι η συστηματική παρακολούθηση τόσο του συστήματος επεξεργασίας όσο και του συστήματος διάθεσης, απαιτούν την πρόσληψη κάποιου

λόγου χάρη χημικού ή περιβάλλοντος μηχανικού και ενδεχόμενα 1-3 περισσότερων ανθρώπων που θα συντηρούν το σύστημα. Αν και ίσως τα οικονομικά τέτοιων δήμων να το επιτρέπουν, εντούτοις προτιμάται ως επί το πλείστον οι μισθοί αυτοί να δίνονται σε άλλα έργα πιο άμεσα στους πολίτες. Προς αυτή την κατεύθυνση προβληματισμού μοιάζει μάλλον πιο προσιτή η λύση της συνεργασίας με κάποιο μεγαλύτερο φορέα διαχείρισης παρά μέσω μιας δημοτικής επιχείρησης που θα διαχειρίζεται και θα συντηρεί το συνολικό έργο, καθώς σύμφωνα με την εμπειρία αυτό σε πολλές των περιπτώσεων δημιούργησε δυσβάσταχτες ανάγκες για τους μικρούς οικισμούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γίνεται σαφές ότι στους μικρούς οικισμούς, τα φυσικά συστήματα υπερτερούν έναντι των συμβατικών, εξαιτίας της καλής ποιότητας εκροής, της αξιοπιστίας τους, τις μικρές ανάγκες συντήρησης και του χαμηλού κόστους τους. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, έγινε προσπάθεια συλλογής πολύτιμων εμπειρικών συμπερασμάτων από την λειτουργία ήδη κατασκευασμένων εγκαταστάσεων φυσικών συστημάτων και την παρουσίαση των σχεδιαστικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διαστάσεων και της απόδοσης της λειτουργίας τους. Παράλληλα, έγινε προσπάθεια συγκριτικής αξιολόγησης τους με σχεδιαστικά και οικονομικά κριτήρια. Τα συμπεράσματα της παραπάνω ανάλυσης λήφθηκαν υπόψιν στην δημιουργία ενός διαχειριστικού συστήματος που αναπτύσσεται για τις ανάγκες του Δήμου Τυλίσου Ηρακλείου. Το σύστημα αυτό βασίστηκε σε ένα ειδικό διαχειριστικό σχέδιο που δίδει έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Διαμορφώθηκαν οι απαιτήσεις επεξεργασίας και διάθεσης με βάση την κείμενη νομοθεσία, εκτιμήθηκαν οι αρδευτικές ανάγκες με το μοντέλο του Penmann σε 12μηνιαία βάση, υπολογίστηκε η δυνατή αρδευόμενη έκταση, προσδιορίστηκε η αφομοιωτική ικανότητα και η ρύπανση του ποταμού που θα χρησιμοποιείται ως δευτερογενής αποδέκτης και εκτιμήθηκαν οι ανάγκες εδαφιαίας διάθεσης για την περίσσεια εκροής. Τέλος, σχεδιάστηκαν 3 εναλλακτικοί τύποι φυσικών συστημάτων, ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις του συστήματος διάθεσης και δίδεται η δυνατότητα επιλογής του πιο συμφέροντος διαχειριστικού σχεδίου για τον Δήμο Τυλίσου.

Από την ανάλυση της παρούσας εργασίας είναι δυνατόν να είναι δυνατόν να διεξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα, που αφορούν τα ακόλουθα σημεία:

- Στους μικρούς οικισμούς, τα φυσικά συστήματα υπερτερούν έναντι των συμβατικών, εξαιτίας της καλής ποιότητας εκροής, της αξιοπιστίας τους, τις μικρές ανάγκες συντήρησης και του χαμηλού κόστους τους.
- Η κατάσταση στο πρόσφατο παρελθόν όσο αφορά τις μικρές εγκαταστάσεις στην χώρα μας ήταν δυστυχώς θλιβερή. Λιγότερες από τις μισές λειτουργούσαν, το 23% κατασκευάστηκαν αλλά δεν ήταν σε

λειτουργία ενώ το 9% λειτούργησαν κάτω από το 10% του προβλεπόμενου χρόνου λειτουργίας του.

- Οι κύριες αιτίες ήταν η έλλειψη του αποχετευτικού δικτύου στις μισές περιπτώσεις και ελλιπής συντήρηση των έργων, αιτίες που οφείλονται σε κάποιο βαθμό στην έλλειψη ολοκληρωμένου σχεδιασμού σε αρκετές περιπτώσεις. Αξίζει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι πίσω από την ελλιπή συντήρηση στις πλείστες των εγκαταστάσεων κρύβεται η άστοχη επιλογή ενός οικονομικά δαπανηφόρου συμβατικού συστήματος δίχως προηγουμένως τον έλεγχο για την εφαρμογή ενός φυσικού συστήματος. Ίσως εν μέρει η επιλογή ενός συμβατικού συστήματος στις πλείστες των περιπτώσεων να οφείλεται και στην άγνοια για τις δυνατότητες των φυσικών συστημάτων, αλλά και στην λαθεμένη αντιγραφή του τύπου των εγκαταστάσεων των πόλεων στους μικρούς οικισμούς.
- Σήμερα, εκτιμάται ότι η κατάσταση αυτή τείνει να βελτιωθεί ως ένα βαθμό, εξαιτίας της εμπειρίας που αποκτάται, αλλά και της όλο και επεκτεινόμενης εφαρμογής των φυσικών συστημάτων.
- Η εφαρμογή συστήματος υδροβιοτόπου επιφανειακής ροής στην Πόμπια του Ν. Ηρακλείου δείχνει ότι η μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων με τεχνητούς υδροβιότοπους επιφανειακής ροής μπορεί να αποδειχθεί μια αποτελεσματική τεχνική δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων έχοντας και στην χώρα μας πολύ καλή ποιότητα εκροής, εφάμιλλη των δαπανηφόρων συμβατικών μεθόδων. Ως σύστημα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας δίνει την δυνατότητα σημαντικής μείωσης του BOD, COD και TSS σε επίπεδα του 94,4 %, 96,1 % και 95,5%, αντίστοιχα. Η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου του συστήματος κυμάνθηκε στο 53% περίπου, ενώ η ελάττωση των ολικών και κοπρανώδων κολοβακτηριδίων κυμάνθηκε στο 98,7% και 97,1 %, αντιστοίχως, δίχως τον συνυπολογισμό της απολύμανσης που έπεται.
- Αναφορικά με το φυσικό σύστημα του οικισμού Αργυρούπολης του Ν. Ρεθύμνης διαπιστώθηκαν σημαντικά προβληματικά σημεία. Ειδικότερα, το κυριότερο σημείο συνίσταται στα προβλήματα ροής εντός του υδροβιοτόπου. Κατά συνέπεια, το σύστημα δεν ήταν σε θέση να λειτουργήσει ως υποεπιφανειακής ροής, όπως είχε αρχικά σχεδιαστεί. Παράλληλα, διαπιστώθηκαν προβλήματα διάθεσης της

ιλύος και ελλιπούς συντήρησης. Παρόλα ταύτα, το σύστημα διαθέτει ικανοποιητική απόδοση, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των υδροβιοτόπων.

- Όσο αφορά τα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης, η εμπειρία δείχνει ότι αυτά τα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης που αρχικά κατασκευάστηκαν, σχεδιάστηκαν με ανοικονόμητη διαστασιολόγηση, ή αφέθηκαν να λειτουργούν δίχως συντήρηση. Αλλά ακόμη και αυτά τα συστήματα που κατασκευάστηκαν με αυτόν τον τρόπο διαθέτουν ικανοποιητική ποιότητα εκροής που μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον δίχως κάποια επιβάρυνση. Το γεγονός αυτό ενισχύει την αξιοπιστία των συστημάτων αυτών και τα καθιστά μια ωφέλιμη τεχνική, ιδιαίτερα όταν το κόστος γης είναι χαμηλό.
- Από την σύγκριση της εφαρμοσιμότητας των φυσικών συστημάτων στην Ελλάδα, διαπιστώνεται ότι η χρήση υδροβιοτόπων δύναται να εφαρμοστεί καλύτερα σε ψυχρά κλίματα, ενώ οι λίμνες σταθεροποίησης υπερτερούν στο νότιο τμήμα της Ελλάδας, δηλαδή την Κρήτη και τα νησιά.
- Η εφαρμογή διαχείρισης λυμάτων στο δήμο Τυλίσου δείχνει ότι αν δωθεί προτεραιότητα στην διάθεση της εκροής για άρδευση, η έκταση που μπορεί να καλυφθεί είναι ίση με 74,5 στρέμματα. Η αρδευτική περίοδος διαρκεί τους μήνες Μάιο έως και Σεπτέμβριο. Συνυπολογίζοντας την αφομοιωτική ικανότητα του ποταμού Γαζανού προκύπτουν οι ποσότητες των γραφημάτων της παραγράφου 8.4.2. ανά τύπο αποδέκτη για τους 12 μήνες του έτους.
- Για το υπόλειμμα προτείνεται να οδηγείται προς εδαφική διάθεση. Ωστόσο, σύμφωνα και με τα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.1.7, η νομοθεσία δεν επιβάλλει την εδαφική διάθεση και επομένως η εκροή αυτή δύναται να διατεθεί και στον ποταμό. Ωστόσο, η με την παρούσα ανάλυση αποδεικνύεται ποια είναι η ποσότητα επεξεργασμένων αποβλήτων που δεν δημιουργεί προβλήματα στον αποδέκτη και από ποιο σημείο και έπειτα αρχίζει να δημιουργείται πρόβλημα εξαιτίας της απόρριψης ποσότητας εκροής μεγαλύτερης από αυτή που μπορεί να αφομοιώσει ο ποταμός. Συν τοις άλλοις, η διήθηση έχει το πλεονέκτημα της, τρόπον τινά, αποθήκευσης υδατικού δυναμικού

στον υδροφόρο ορίζοντα και κατά συνέπεια καλό είναι να προτιμηθεί η εφαρμογή της.

- Οι απαιτήσεις έκτασης ανά τύπο φυσικού συστήματος επεξεργασίας παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Τύπος συστήματος επεξεργασίας	Απαιτούμενη έκταση
Υγροβιότοπος επιφανειακής ροής	4596 m ²
Υγροβιότοπος υποεπιφανειακής ροής	4980 m ²
Λίμνες σταθεροποίησης	4849 m ²

Από τον παρακάτω πίνακα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι διαφορές ανάμεσα στους ελάχιστες διαφορές στην απαιτούμενη έκταση. Ωστόσο από την χρήση των διαγραμμάτων του κεφαλαίου 4, πιστοποιείται ότι τα συστήματα λιμνών σταθεροποίησης έχουν μικρότερες απαιτήσεις δαπανών από τα αντίστοιχα των υγροβιοτόπων.

Κατά συνέπεια, ίσως η πιο αποτελεσματική επιλογή του φυσικού συστήματος θα μπορούσε ενδεχόμενα να γίνει όχι με βάση όχι τόσο την απαιτούμενη έκταση, όσο με άλλες παραμέτρους, οι διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο, όπως είναι η αξιοπιστία, οι ανάγκες συντήρησης, οι οικονομικές απαιτήσεις αλλά και η κοινωνική αποδοχή, οι οποίες είναι ενδεχόμενα από τις πιο καταλυτικές παραμέτρους στην σωστή και συνεχή λειτουργία ενός συστήματος επεξεργασίας σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

- Αν θεωρηθεί ένα κόστος γης 15 €/μ², το οποίο σύμφωνα με συνομιλίες με κατοίκους της περιοχής θεωρείται γενικά μια αντιπροσωπευτική τιμή για την περιοχή, τότε προκύπτει ένα ενδεικτικό συνολικό ισοδύναμο ετήσιο κόστος ίσος με:
 - Υγροβιότοποι 27000€/έτος
 - Λίμνες 13000€/έτος

- Ωστόσο, η τελική επιλογή εναπόκειται στους υπευθύνους του Δήμου Τυλίσου, όπου θα μπορέσουν να συνεκτιμήσουν και πλήθος άλλων στοιχείων. Κατά συνέπεια, ίσως η πιο αποτελεσματική επιλογή του φυσικού συστήματος θα μπορούσε να γίνει όχι με βάση όχι μόνο την απαιτούμενη έκταση και τις οικονομικές απαιτήσεις, όσο και με άλλες παραμέτρους, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, όπως είναι η αξιοπιστία, αλλά και η κοινωνική αποδοχή, οι οποίες είναι ενδεχόμενα από τις πιο καταλυτικές παραμέτρους στην σωστή και συνεχή λειτουργία ενός συστήματος επεξεργασίας σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α.Ν.Αγγελάκης «Ανάγκη για αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης αστικών υγρών αποβλήτων»
2. Ευρωπαϊκή Κοινότητα «Οδηγός Εκτατικών Διαδικασιών Καθαρισμού Ακαθάρτων Υδάτων προσαρμοσμένων στις μικρού και μεσαίου μεγέθους κοινότητες»
3. Α.Ν. Αγγελάκης, G.Tchobanoglous, «Υγρά απόβλητα, Φυσικά συστήματα και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών »
4. Τσαγκαράκης, Οικονομόπουλος Α.Π «Σημειώσεις μαθήματος. Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων», 2003
5. Ο.Α.ΔΥ.Κ., «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων κοινότητας Αργυρουπόλης», Χανιά 1999
6. Ο.Α.ΔΥ.Κ., «Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση: Εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων οικισμού Σούγιας Δήμου Ανατολικού Σελίνου Νομού Χανίων», Χανιά Οκτώβριος 2003
7. Αγγελάκης Α.Ν., Παρανυχιανάκης Ν.Β. και Τσαγκαράκης Κ.Π. (2002), "Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων - Αρχές Σχεδιασμού και Λειτουργίας", Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ινστιτούτο Ηρακλείου»
8. Reed, S.C., Crites R.W. and Middlebrooks, E.J. «Natural Systems for Waste Management and Treatment», McGraw-Hill, Inc, New York, 1995
9. M. Gratziou, S. Ekonomou, M. Tsalkatidou, "Cost analysis and evaluation of urban sewage processing units", IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Rethymno, Greece, 8-10 July 2005
10. K.P. Tsakarakis, D.D Mara, N.J Horan and A.N. Angelakis "Small municipal wastewater treatment plants in Greece", Water Science and Technology, IWA Publishing 2000
11. Οικονομοπούλου Μ. Α. , «Διαμόρφωση Διαχειριστικών Σχημάτων για Επεξεργασία και Διάθεση Λυμάτων με Χρήση Έμπειρων Συστημάτων», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Διδακτορική Διατριβή

12. Οικονομοπούλου, Μ.Α. και Οικονομόπουλος Α.Π. (1999), «Δυνατότητες Χρήσης Φυσικών Συστημάτων για Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων», 6^ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πυθαγόρειο Σάμου
13. Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης, Ο.Α.ΔΥ.Κ, Προσωπική επικοινωνία
14. Λουκάτος Α., Παπαδημητρώπουλος Κ, Γεωργόπουλος Δ. και Τσότσος Δ., «Φορείς υποστήριξης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων», Ελληνική επιτροπή διαχείρισης υδατικών πόρων σε νησιώτικες και παράκτιες περιοχές.
15. Κουτσογιάννης Δ., Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, ΕΜΠ, 1999
16. Tsagarakis, K.P., 1999, «The treatment of Municipal Wastewater in Greece», Ph.D., Thesis, University of Leeds, School of Civil Engineering, Leeds, UK
17. Crites R, Tchobanoglous G., 1998, «Small and Decentralized wastewater management systems», McGraw-Hill
18. K.P.Tsagarakis, A.N.Angelakis, “Wastewater Management in Greece: Experience and Lessons for Developing Countries”, Water Science and Technology, vol. 44, No 6, pp 163-172
19. K.P. Tsagarakis, D.D Mara, A.N.Angelakis “Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems”, 2003, Water, Air, and Soil Pollution, Kluwer Academic Publishers
20. M.A. Economopoulou, A.P. Economopoulos, “Expert system for municipal wastewater management with emphasis in reuse”, Water Science and Technology, IWA Publishing 2003
21. R.M. Carr, U.J. Blumenthal and D.D. Mara, «Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture: Developing Realistic Guidelines», 2004
22. N.Kotsovinos, K.P.Tsagarakis and K.Tsakiris, Waste Stabilization Ponds Greece: case studies and perspectives, 2004
23. Parissopoulos G.A., Papadopoulos A., Papadopoulos F. and Karteris, A. (2003). “Comparative design and performance analysis of three different in configuration waste stabilization ponds pilot units in a Mediterranean-temperate climate”. Wat. Sci. Tech.: Wat. Supl., 3 (4): 193-200.
24. Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης, Ο.ΑΝ.Α.Κ, Παρίτσης Ν.Σ., «Μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων του Δήμου Τυλίσου», Ηράκλειο 2001

25. Ματσούκα Βασιλική, «Σχεδιασμός και προσομοίωση εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων», 2003, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Αέρα, Νερών και Εδάφους
26. Τσουκαλά Βασιλική, «Τεχνική Υδρολογία», Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2003
27. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, « Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, 1998 URL: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e01.htm#preface>
28. Οικονομόπουλος Α.Π., Διαχείριση Ρύπανσης Αέρα, Νερών και Εδάφους, ΔΠΘ, 1995
29. Περιφέρεια Κρήτης, Σ.Παπαρηγορίου, Σ.Καιμάκη, Περίληψη και Κύρια Συμπεράσματα της Μελέτης: «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης», Ηράκλειο 2000