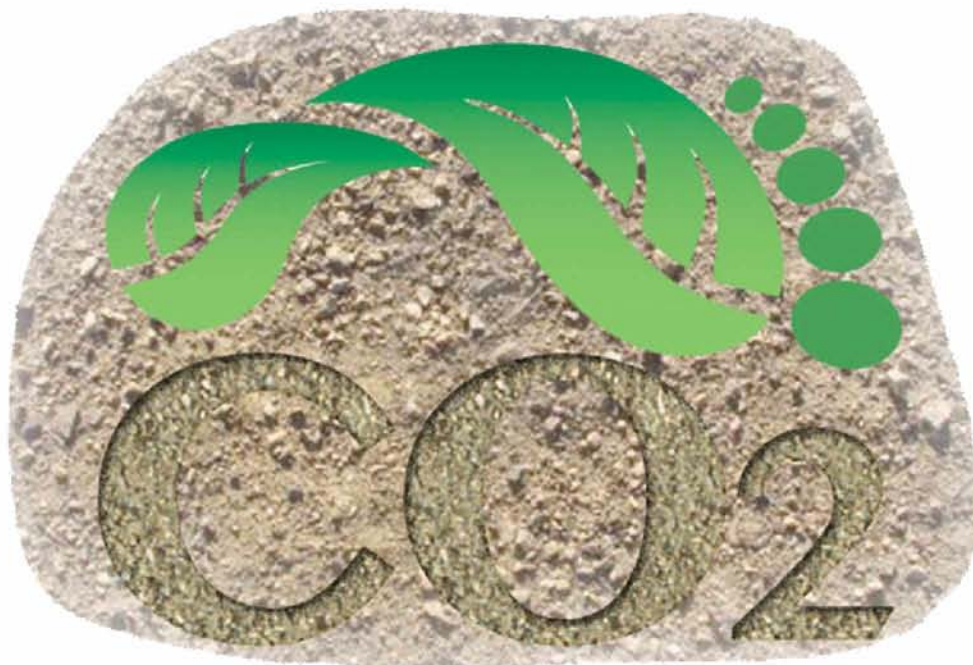


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΜΣ :ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑ**



ΕΚΠΟΝΗΣΗ:

ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΟΥΝΑΒΗ

Πολιτικός Μηχανικός

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΧΡΥΣΗ ΛΑΣΠΙΔΟΥ

Επ. Καθηγήτρια

ΒΟΛΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2014

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΜΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑ**

ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΟΥΝΑΒΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: κα ΧΡΥΣΗ ΛΑΣΠΙΔΟΥ

Εξεταστική Επιτροπή: Χ. Λασπίδου, Επ. Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)
Α. Κούγκολος, Καθηγητής
Ο. Χριστοπούλου, Καθηγήτρια

**ΒΟΛΟΣ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2014**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή για αυτό και η ανάγκη για την μέτρηση των εκπομπών αυτών διαφαίνεται ξεκάθαρα μέσα από πολιτικές για το κλίμα. Στόχος της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι να αναλύσει την έννοια και να προβάλλει τη σημασία του αποτυπώματος άνθρακα στη μέτρηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και επιπλέον να παρουσιάσει τις διάφορες μεθόδους εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα σε Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια να υπολογιστεί το αποτύπωμα άνθρακα της ΜΕΥΑ Λάρισας βάσει του ολοκληρωμένου μοντέλου Bridle, τα αποτελέσματα να συγκριθούν με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από άλλες ΜΕΥΑ, να αναλυθούν οι διαφορές που προκύπτουν ανάλογα με το προσεγγιστικό μοντέλο που επιλέγεται και τέλος να διερευνηθεί η πιθανότητα μηδενικού αποτυπώματος άνθρακα σε Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων μέσω των εναλλακτικών μεθόδων επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Λέξεις κλειδιά: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, Αποτύπωμα άνθρακα, Κλιματική Αλλαγή, Μονάδες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, ΜΕΥΑ Λάρισας, ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα

ABSTRACT

The release of greenhouse gas emissions into the atmosphere contributes to climate change and the need to measure these emissions is quite visible through climate policies. The objective of this study is to analyze the meaning and highlight the importance of carbon footprint in the measurement of greenhouse gas emissions and also to present the different methods of evaluating the carbon footprint of wastewater treatment plants. Then, an attempt is made to calculate the carbon footprint of WWTP of Larissa based on the comprehensive Bridle model, to compare these results with the results obtained by other studies, to analyze the differences which arise depending on the selected model and finally to investigate the possibility of a zero carbon footprint of wastewater treatment plants by means of alternative methods of reuse of treated wastewater .

Keywords: Greenhouse gas emissions, carbon footprint, climate change, waste water treatment plants, WWTP of Larissa, carbon neutrality

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ABSTRACT.....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	ix
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	4
1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.	4
1.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	4
1.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΗ ΛΑΡΙΣΑ	5
1.4 ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ	6
1.5 Η ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	8
1.6 ΜΕΤΡΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	9
1.7 ΕΜΠΟΡΙΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	10
1.8 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	10
1.9 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	12
2. ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	14
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	14
2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΙΑΣ ΧΩΡΑΣ	14
2.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	15
2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	15
2.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	16
2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	17
2.7 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	20
2.8 ΑΝΑΓΚΗ ΘΕΣΠΙΣΗΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ.....	21
2.9 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΟΥ ΔΡΑΣΗΣ	22

2.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	25
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BRIDLE ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΗΣ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	28
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	28
3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ	29
3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	31
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΩΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ	36
3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ.....	39
3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	40
3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	43
3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	44
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	47
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	47
4.2 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	48
4.2.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	48
4.2.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	50
4.2.3 ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ.....	53
4.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	54
4.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ.....	54
4.3.2 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	56
4.4 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ	57
4.5 ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΠΟΔΕΚΤΗ.....	58
4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ	58
4.6.1 ΠΑΧΥΝΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	59
4.6.2 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	60
4.6.3 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ	61
4.7 ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	62
4.7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BRIDLE ΣΤΗ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	65
5.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	65
5.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΙΣΟΔΟΥ - ΕΞΟΔΟΥ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	66
5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	69

5.4 ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ	72
5.5 ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	73
6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΙΣ ΜΕΥΑ.....	75
6.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΩΡΑ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	75
6.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΙΣ ΜΕΥΑ.....	76
6.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΜΙΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	77
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	78
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94
Α. ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94
Β. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
Γ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Διαφορετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία για τον προσδιορισμό του αποτυπώματος άνθρακα.....	20
Πίνακας 2-2: GWP των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται σε μια ΜΕΥΑ.....	25
Πίνακας 3-1: Εισερχόμενα δεδομένα στο μοντέλο Bridle.....	30
Πίνακας 3-2: Υπολογισμοί με το μοντέλο Bridle.....	30
Πίνακας 4-1: Τιμές Σχεδιασμού ΜΕΥΑ Λάρισας.....	62
Πίνακας 4-2: Περιβαλλοντικοί όροι διάθεσης επεξεργασμένων λυμάτων.....	63
Πίνακας 5-1: Δεδομένα μετρήσεων στη ΜΕΥΑ Λάρισας.....	67
Πίνακας 5-2: Παράμετροι εμπειρικών μοντέλων.....	68
Πίνακας 5-3: Σύγκριση του αποτυπώματος άνθρακα διαφόρων ΜΕΥΑ που υπολογίζεται από διαφορετικά μοντέλα.....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1-2: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2007	13
Γράφημα 2-1: Απεικόνιση των βημάτων για τη δημιουργία ενός καταλόγου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	18
Γράφημα 5-1: Μετρήσεις εισόδου έτους 2013	66
Γράφημα 5-2: Μετρήσεις εξόδου έτους 2013.....	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ορισμοί πεδίου	24
Εικόνα 4-1: Μονάδα επεξεργασίας βοθρολυμάτων.....	49
Εικόνα 4-2: Φίλτρο απόσμησης.....	49
Εικόνα 4-3: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποφρακτικών στη ΜΕΥΑ Λάρισας.....	49
Εικόνα 4-4: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποφρακτικών στη ΜΕΥΑ Λάρισας.....	49
Εικόνα 4-5: Ανυψωτικοί κοχλίες τύπου Αρχιμήδη στην ΕΕΛ Λάρισας.....	51
Εικόνα 4-6: Εσωτερικό μονάδας εξάμμωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.....	52
Εικόνα 4-7: Εξωτερικό της μονάδας εξάμμωσης της ΕΕΛ	52
Εικόνα 4-8: Κανάλι τύπου Venturi για την μέτρηση παροχής στην ΕΕΛ Λάρισας	52
Εικόνα 4-9: Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	53
Εικόνα 4-10: Αερισμός κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας της μονάδας	56
Εικόνα 4-11: Αερισμός κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας της μονάδας	56
Εικόνα 4-12: Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης κατά τη διάρκεια της κατασκευής της.....	57
Εικόνα 4-13: Δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης κατά τη διάρκεια της κατασκευής της.....	57
Εικόνα 4-14: Χλωρίωση	58
Εικόνα 4-15: Φρεάτιο εξόδου επεξεργασμένου νερού	58
Εικόνα 4-16: Εξωτερικό του παχυντή ιλύος.....	59
Εικόνα 4-17: Εσωτερικό του παχυντή ιλύος.....	59
Εικόνα 4-18: Μονάδα πάχυνσης της ιλύος.....	60
Εικόνα 4-19: Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.....	62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΦΘ	Αέρια Φαινομένου του Θερμοκηπίου
ΔΕΥΑΛ	Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Λάρισας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΛ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
ΕΟΚ	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
ΕΣΚ	Εθνικό Σχέδιο Κατανομής
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
Η/Χ	Ηλεκτρολογικός / Μηχανολογικός
ΙΧ	Ιδιωτικής Χρήσεως
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΕΥΑ	Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΥΠΕΧΩΔΕ	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
CBOD	Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand
CRIS	Climate Registry Information System
DO	Dissolved Oxygen
EC	European Council
EPA	Environment Protection Agency
eq	equal
GHG	Greenhouse Gases
GVC	Gross Calorific Value
GWP	Global Warming Potential
HRT	Hydraulic Retention Time
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LGO	Local Governments Operations
MLVSS	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
NGER	National Greenhouse Gases and Energy Reporting
ppm	Parts per million
SRT	Sludge Retention Time
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	Total Nitrogen
TSS	Total Suspended Solids
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VS	Volatile Solids
WCI	Western Climate Initiative
WRI	World Resources Institute
WSAA	Water Services Association of Australia

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών με τίτλο «Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια κα Λασπίδου Χρυσή για τη πρόταση της να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, την εξαιρετική συνεργασία που αναπτύξαμε σε όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα και τη συμβολή της στην ολοκλήρωση της Διπλωματικής αυτής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους Καθηγητές κ. Αθανάσιο Κούγκολο και κα Όλγα Χριστοπούλου που δέχτηκαν να είναι μέλη της επιτροπής αξιολόγησης της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ θερμά το προσωπικό της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων Λάρισας και συγκεκριμένα τον κ. Κόκκινο Νίκο, Χημικό και τον κ. Αλέξη Χλέτσα, Μηχανολόγο για την άμεση ανταπόκριση τους και την πολύτιμη βοήθεια τους στην παροχή των απαραίτητων εκείνων πληροφοριών για την εκπόνηση της παρούσας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη τους την υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος καθώς επίσης και τη συμφοιτήτρια και φίλη μου Ιωάννα που έκανε την πορεία αυτή πιο ευχάριστη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και η άμεση σύνδεση τους με την κλιματική αλλαγή οδηγούν στην ανάγκη υιοθέτησης ενός δείκτη που θα εκτιμάει το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος (Galli et al., 2012). Ο δείκτης αυτός είναι το αποτύπωμα άνθρακα και η σπουδαιότητα του έγκειται στο γεγονός ότι υπολογίζει εκτός από τις εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αυτές που εισάγονται σε μια χώρα (Aichele and Felbermayr, 2012).

Για την πηγή και τον αντίκτυπο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ενδιαφέρονται τόσο οι καταναλωτές όσο και οι προμηθευτές, οι κυβερνήσεις και οι παγκόσμιοι οργανισμοί (Mo and Zhang, 2012). Εξίσου όμως σημαντικός με τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή και τη χρήση ενός προϊόντος είναι και ο υπολογισμός που αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος (Mo and Zhang, 2012). Είναι δηλαδή σημαντικό να υπολογίζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάθεση και την επεξεργασία των αποβλήτων.

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιαστούν και να αναλυθούν οι απαραίτητες διαδικασίες για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (MEYA) κάτω από το γενικότερο πρίσμα της συμβολής των αερίων του θερμοκηπίου στην κλιματική αλλαγή. Η προσπάθεια να υπολογιστεί το αποτύπωμα άνθρακα της MEYA Λάρισας οδηγεί στη λήψη μέτρων για τη μείωση της τιμής του, ενώ ταυτόχρονα η διερεύνηση αν μια MEYA μπορεί να έχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα προβάλλει ως ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο επιχειρείται η προσέγγιση του θέματος της κλιματικής αλλαγής καθώς και η σύνδεση του φαινομένου με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια σημαντική προσπάθεια να αναπτυχθούν συγκεκριμένες πολιτικές για το κλίμα οι οποίες θα θέτουν ένα ανώτατο επιτρεπτό όριο στις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι σημαντικότερες από αυτές τις πολιτικές είναι η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και το Πρωτόκολλο του Κυότο. Ερευνάται επίσης, στο πρώτο αυτό κεφάλαιο

το κατά πόσο οι πολιτικές αυτές έχουν συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η έννοια του αποτυπώματος άνθρακα και η σύνδεση του με τις πολιτικές για το κλίμα. Το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός δείκτης για την κατάσταση του περιβάλλοντος και χρησιμεύει στις πολιτικές για την κλιματική αλλαγή (Aichele and Felbermayr, 2012). Στη συνέχεια, ο δείκτης αυτός επικεντρώνεται στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καθώς ένα τμήμα των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την επεξεργασία των αποβλήτων. Η διαδικασία για την εκτίμηση των αερίων του θερμοκηπίου σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως εύκολη υπόθεση ενώ διέπεται από συγκεκριμένες αρχές. Οι μέθοδοι υπολογισμού ποικίλλουν καθώς υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα διαθέσιμα για τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου σε μια ΜΕΥΑ, τα οποία συνήθως καταλήγουν σε διαφορετικές εκτιμήσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο επιχειρείται η παρουσίαση ενός ολοκληρωμένου προσεγγιστικού μοντέλου από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και συγκεκριμένα του μοντέλου Bridle. Το μοντέλο Bridle επιλέχθηκε για να υπολογιστεί το αποτύπωμα άνθρακα της ΜΕΥΑ Λάρισας καθώς αποτελεί μια προσεγγιστική μέθοδο η οποία ειδικεύεται στις ΜΕΥΑ, ενώ ταυτόχρονα στηρίζεται τόσο σε εμπειρικές μεταβλητές όσο και σε μετρήσεις πεδίου. Παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι εξισώσεις εκείνες που οδηγούν στον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα της ΜΕΥΑ σε ισοδύναμο CO₂ (CO_{2eq}). Οι διαδικασίες εκείνες κατά τις οποίες, σύμφωνα με το μοντέλο Bridle έχουμε έκλυση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα είναι 5. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία, η χώνευση της ιλύος και η διάθεση της, η απολύμανση, η κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες της ΜΕΥΑ και η χρήση του βιοαερίου. Το τελευταίο αυτό στάδιο πιστώνει κέρδος στη ΜΕΥΑ, γεγονός που συντελεί στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

Σκοπός του τετάρτου κεφαλαίου είναι η περιγραφή της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων της Λάρισας, να δοθούν δηλαδή τα γενικά της στοιχεία και να περιγραφεί η διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που εισέρχονται σε αυτή. Μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην περιγραφή των μεθόδων που συντελούν στο αποτύπωμα άνθρακα της ΜΕΥΑ, όπως αυτές καθορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, γίνεται όμως μια πιο σύντομη περιγραφή και των υπολοίπων μερών της

διαδικασίας επεξεργασίας των λυμάτων (προεπεξεργασία, πρωτοβάθμια επεξεργασία, αφυδάτωση ιλύος) για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της μονάδας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του προσεγγιστικού μοντέλου Bridle στα δεδομένα της μονάδας. Δίνονται αναλυτικά οι μετρήσεις εισόδου και εξόδου των βασικών παραμέτρων της ΜΕΥΑ καθώς και οι τιμές όλων των εμπειρικών μεταβλητών που είναι απαραίτητες για την επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου Bridle. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου συγκρίνονται με αποτελέσματα που έχουν προκύψει από άλλες μελέτες σε διαφορετικές ΜΕΥΑ, όπου σε όλες όμως η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με τη μέθοδο ενεργού ιλύος. Τέλος, προτείνονται κάποιες παρεμβάσεις στη ΜΕΥΑ Λάρισας ώστε να επιτευχθεί η μείωση του ανθρακικού της αποτυπώματος.

Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα στις ΜΕΥΑ όπως αυτά έχουν παρουσιαστεί από διάφορες έρευνες. Στη συνέχεια επιχειρείται και η διερεύνηση της πιθανότητας ουδέτερου ισοζυγίου άνθρακα σε μια ΜΕΥΑ. Η διερεύνηση αν μία μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορεί να έχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα (ή αλλιώς μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα) αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο, μέσα από το οποίο προσφέρονται οι εναλλακτικές της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος, των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η χρήση βιοαερίου για τις ανάγκες της μονάδας ως παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν σε αυτό το σκοπό.

Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με το έβδομο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από όσα ερευνήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.

1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Κατά τη διάρκεια των 10.000 τελευταίων ετών το παγκόσμιο κλίμα παρουσιάζει αξιοσημείωτη σταθερότητα, ευνοώντας έτσι την ανάπτυξη του ανθρώπινου πληθυσμού. Σήμερα, ωστόσο υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι το κλίμα αλλάζει (University of Copenhagen, 2009). Το γεγονός αυτό αναγνωρίζεται ευρέως ως μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το ανθρώπινο είδος. Από τις μετρήσεις των παγκόσμιων συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προκύπτει ότι έχουν σημειωθεί σημαντικές αυξήσεις σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, καθώς τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) υπερβαίνουν κατά πολύ το φυσιολογικό εύρος των τελευταίων 650.000 ετών. Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε από το προβιομηχανικό επίπεδο των 280 ppm (parts per million-μέρη ανά εκατομμύριο) σε 387 ppm το 2008 (EEA, 2010).

Η μέση θερμοκρασία του αέρα το 2009 αυξήθηκε κατά 0,7 έως 0,8°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Έτσι, η διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη που παρατηρείται από τα μέσα του εικοστού αιώνα οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην ανθρώπινη δραστηριότητα (IPCC, 2007).

Επιπροσθέτως, οι πλέον αισιόδοξες προβλέψεις σήμερα κάνουν λόγο για πιθανή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη από 1.8 μέχρι 4 °C –ή από 1.1 έως 6.4°C, εάν συνυπολογιστεί το πλήρες εύρος αβεβαιότητας- κατά τη διάρκεια του αιώνα που διανύουμε, εάν η παγκόσμια δράση για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου δεν αποφέρει καρπούς (IPCC, 2007). Από τις πρόσφατες παρατηρήσεις προκύπτει ότι ο ρυθμός αύξησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου καθώς και οι πολλές κλιματικές επιπτώσεις προσεγγίζουν το ανώτερο και όχι τα κατώτερα όρια των προβλέψεων της διακυβερνητικής επιτροπής για την κλιματική αλλαγή (University of Copenhagen, 2009).

1.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η κλιματική αλλαγή και η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής της κλίμακας συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα πιθανών επιπτώσεων. Ήδη κατά τη διάρκεια των τριών

τελευταίων δεκαετιών, η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη είχε μια εμφανή επίδραση στις αλλαγές που παρατηρήθηκαν σε πολλά ανθρώπινα και φυσικά συστήματα σε παγκόσμια κλίμακα-περιλαμβανομένων των αλλαγών στα πρότυπα κατακρημνίσεων, της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας, της υποχώρησης των παγετώνων και της μείωσης της αρκτικής θαλάσσιας παγοκάλυψης. Επιπροσθέτως σε πολλές περιπτώσεις έχει μεταβληθεί η ροή των ποταμών και ειδικά όσων τροφοδοτούνται από χιόνια ή παγετώνες (EEA,2010).

Άλλες συνέπειες των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών περιλαμβάνουν αύξηση της μέσης θερμοκρασίας των ωκεανών, εκτεταμένη τήξη των στρωμάτων χιονιού και πάγου, αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών για τις αστικές περιοχές και τα οικοσυστήματα, οξίνιση των ωκεανών και ακραία κλιματικά φαινόμενα, όπως κύματα καύσωνα. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να γίνουν αισθητές σε ολόκληρο τον πλανήτη, περιλαμβανομένης της Ευρώπης. Εάν δε ληφθούν μέτρα, οι κλιματικές μεταβολές αναμένεται να προκαλέσουν αισθητές δυσμενείς επιπτώσεις (EEA, 2010)..

1.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΗ ΛΑΡΙΣΑ

Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια το είδος και το εύρος των πιθανών αλλαγών που θα επέλθουν στην περιοχή της Λάρισας, ως αποτέλεσμα των κλιματικών αλλαγών. Οι συνέπειες αυτές θα είναι αντίστοιχες με εκείνες που θα αντιμετωπίσει όλη η χώρα και γενικότερα η περιοχή της Μεσογείου (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Ως άμεση φυσική συνέπεια της αλλαγής του κλίματος αναμένεται να αυξηθούν τα ακραία καιρικά φαινόμενα στην περιοχή. Για παράδειγμα οι καλοκαιρινές ημέρες καύσωνα θα αυξηθούν σημαντικά, το ίδιο και ο αριθμός και η ένταση κάποιων εποχικών καταιγίδων, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα πλημμυρών. Επίσης, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί και η ξηρασία και, επομένως, θα μειωθούν τα αποθέματα πόσιμου νερού, αν και στο θέμα αυτό υπάρχουν και άλλες σημαντικές παράμετροι που επιδρούν (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Ως αποτέλεσμα της αυξημένης ξηρασίας και των αλλαγών στις εποχές του χρόνου, θα αυξηθεί ο κίνδυνος δασικών πυρκαγιών. Ο Όλυμπος θα έχει ένα ολόένα αυξανόμενο κόστος πυροπροστασίας και τελικά κάποιες δασικές φωτιές δε θα είναι δυνατό να αποφευχθούν. Παράλληλα, η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει τα οικοσυστήματα του βουνού, τόσο την χλωρίδα, όσο και την πανίδα και ένας αριθμός

ειδών είναι πιθανόν να εξαφανιστεί, καθώς δε θα μπορεί να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες. Ταυτόχρονα, είναι πιθανό να εξαπλωθούν στην περιοχή άλλα είδη που θα μεταναστεύσουν από τις περιοχές που ζουν σήμερα. Κάτι τέτοιο ήδη παρατηρείται με κάποια είδη εντόμων (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Οι κλιματικές αλλαγές θα οδηγήσουν σε δυσκολία διαχείρισης κάποιων απαραίτητων αγαθών. Έτσι, το νερό, τόσο το πόσιμο, όσο και το νερό για άρδευση και για βιομηχανική χρήση θα γίνει σπανιότερο και πιο ακριβό. Ήδη, πολλές βιομηχανίες στρέφονται στη λύση της αφαλάτωσης για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Η ζήτηση ενέργειας και ισχύος θα αυξηθεί, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε τα συστήματα ψύξης και κλιματισμού θα πρέπει να εργάζονται πολύ περισσότερο σε σχέση με σήμερα. Παράλληλα, θα αυξηθεί και το κόστος της ενέργειας η οποία θα πρέπει να παράγεται σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές, όπως ο ήλιος, ο άνεμος και η βιομάζα (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

1.4 ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ

Η σημαντικότητα και η κρισιμότητα των κλιματικών αλλαγών είναι τόσο μεγάλες για όλο τον πλανήτη που οδήγησαν τη διεθνή κοινότητα να αναλάβει δράση ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, οπότε και ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές αλλαγές, η οποία περιλαμβάνει εκατοντάδες επιστήμονες διεθνούς κύρους και ασχολείται με την ανάλυση του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών και τον προσδιορισμό των πιθανών συνεπειών και των απαιτούμενων δράσεων προσαρμογής (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Το 1992, στη διάσκεψη για τη Γη, στο Ρίο της Βραζιλίας, υπογράφηκε από όλες τις χώρες του πλανήτη η σύμβαση πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές. Με βάση τη σύμβαση αυτή, όλες οι χώρες συμφώνησαν να συμβάλλουν σε μια προσπάθεια για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το είδος και το μέγεθος της συμβολής εξαρτάται από την ανάπτυξη κάθε χώρας. Έτσι οι πλούσιες χώρες έχουν την υποχρέωση όχι μόνο να μειώσουν τις εκπομπές τους, αλλά και να βοηθήσουν τις φτωχότερες προκειμένου οι τελευταίες να αναπτυχθούν κοινωνικά και οικονομικά χαράσσοντας ένα μονοπάτι ανάπτυξης περισσότερο αειφορικό και βιώσιμο που θα στηρίζεται λιγότερο στον άνθρακα. Όλες οι χώρες συναντώνται κάθε χρόνο προκειμένου να αποφασίσουν για τα μέτρα που πρέπει να λάβουν προκειμένου να αντιμετωπίσουν το σοβαρό αυτό ζήτημα. Στην τρίτη συνάντηση που έγινε στο Κυότο,

το 1997, αποφασίστηκε οι πλούσιες χώρες να δεσμευτούν ότι θα μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το διάστημα 2008-2012 κατά τουλάχιστον 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Το Πρωτόκολλο του Κυότο έχει κυρωθεί και εφαρμόζεται (από τις 16/02/2005) από πολλές χώρες, μεταξύ αυτών όλες τις χώρες της Ε.Ε., την Ιαπωνία, τη Ρωσία και την Αυστραλία.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει ιδιαίτερη σημασία στο θέμα των κλιματικών αλλαγών και το προτάσσει ως το σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Για το λόγο αυτό, όλες οι χώρες της Ε.Ε. έχουν υπογράψει και εφαρμόζουν το Πρωτόκολλο του Κυότο. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιανουάριο του 2008 κατόπιν αιτήματος του Συμβουλίου Κορυφής κατέθεσε μία ολοκληρωμένη πρόταση για την αντιμετώπιση του μεγάλου παγκοσμίου διδύμου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και της ζήτησης ενέργειας. Η πρόταση με το συνοπτικό τίτλο «20-20-20 το 2020» προδιαγράφει στόχους εξοικονόμησης ενέργειας κατά 20%, αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ κατά 20% και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% όλα μέχρι το 2020. Η πρόταση αυτή υιοθετήθηκε από το Συμβούλιο και το Ευρωκοινοβούλιο και έχει πλέον λάβει τη μορφή οδηγιών (2009/28/EK, 2009/29/EK, 2009/30/EK) και αποφάσεων (406/2009/EK). Ουσιαστικά η ΕΕ έχει δεσμευτεί μονομερώς για περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2013-2020, δηλαδή με τη λήξη της ισχύος του Πρωτόκολλο του Κυότο. Η μείωση αυτή επιμερίζεται σε κάθε χώρα της ΕΕ ανάλογα με την οικονομική της ανάπτυξη.

Όλες οι χώρες του πλανήτη έχουν αναγνωρίσει πια ότι οι κλιματικές αλλαγές είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο απειλεί όλη την ανθρωπότητα. Η έκθεση Stern που δημοσιεύτηκε το 2006, προβλέπει ότι η αποτυχία να αντιμετωπίσουμε τις κλιματικές αλλαγές, θα επιβαρύνει το ΑΕΠ κάθε χώρας κατά 5-20%. Όλοι σχεδόν συμφωνούν ότι για να αποφευχθεί μια αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μεγαλύτερη των 2°C, απαιτείται δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, κατά 50% τουλάχιστον μέχρι το 2050 και ταυτόχρονα απαιτείται η αποτελεσματική προστασία των δασών του πλανήτη. Ωστόσο, δεν έχουν ακόμη συμφωνήσει τους τρόπους με τους οποίους θα πετύχουν αυτούς τους στόχους (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

1.5 Η ΠΡΟΣΠΙΘΕΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Η Ελλάδα, ως χώρα μέλος της ΕΕ συναποφασίζει τις πολιτικές προτεραιότητες και το κοινοτικό δίκαιο μαζί με τις υπόλοιπες χώρες και βέβαια δεσμεύεται από αυτά. Έχει κυρώσει τόσο τη σύμβαση πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές όσο και το πρωτόκολλο του Κυότο. Στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου, η Ελλάδα έχει την υποχρέωση, κατά το διάστημα 2008-2012, να μην αυξήσει τις εκπομπές της περισσότερο από 25% σε σχέση με τις εκπομπές που είχε το 1990. Με βάση το πακέτο μέτρων «20-20-20 το 2020», η Ελλάδα έχει, μεταξύ άλλων, την υποχρέωση έως το 2020 να μειώσει κατά 4% τις εκπομπές της, σε σχέση με το 2005. Ο στόχος αυτός αφορά τις εκπομπές εκτός βιομηχανίας, γιατί οι μεγάλες βιομηχανίες συμμετέχουν στο σύστημα εμπορίας ρύπων, όπου ισχύουν διαφορετικοί κανόνες και στόχοι μείωσης.

Η Ελλάδα έχει εκπονήσει και εφαρμόζει ένα εθνικό σχέδιο μείωσης εκπομπών. Το αρχικό σχέδιο εκπονήθηκε το 2003 και στη συνέχεια αναθεωρήθηκε το 2006. Το Εθνικό Σχέδιο περιλαμβάνει δράσεις όπως την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και φυσικού αερίου (το οποίο έχει μικρότερες εκπομπές σε σχέση με το πετρέλαιο και το γαιάνθρακα). Περιλαμβάνει επίσης, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, τη διαχείριση απορριμμάτων έτσι ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές μεθανίου και την προώθηση των μέσων μαζικής μεταφοράς σε σχέση με τα ΙΧ οχήματα (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Ο Βόλος είναι η πρώτη ελληνική πόλη που αποκτά ένα τοπικό Σχέδιο Δράσης για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Η επιτυχία του Σχεδίου σχετίζεται άμεσα με την ενεργό συμμετοχή τόσο των φορέων που συμμετέχουν στο Σχέδιο όσο και όλων των δημοτών.

Ο άμεσος στόχος του Σχεδίου Δράσης αφορά στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου με παράπλευρα οφέλη τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και δε στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Αξίζει να σημειωθεί η συμμετοχή του Δήμου Βόλου στο έργο «Ανάπτυξη τοπικών σχεδίων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέχρι το 2020», του προγράμματος χρηματοδότησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής “Life+2007”. Το έργο ξεκίνησε στις αρχές του 2009 και έχει ως βασικό αντικείμενο την ανάπτυξη εργαλείων και δράσεων που θα χρησιμοποιεί η Τοπική Αυτοδιοίκηση για τη μείωση των

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε τοπικό επίπεδο, με χρονικό ορίζοντα το 2020 (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

Ο στόχος του Σχεδίου Δράσης για την αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής που τίθεται για την ευρύτερη περιοχή του Βόλου είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 7% έως το 2020, σε σχέση με τις εκπομπές του 2007. Με τις υφιστάμενες εκτιμήσεις, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρόκειται να μειωθούν κατά 70 χιλιάδες τόνους ισοδύναμο CO₂ έως το 2020 (<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>).

1.6 ΜΕΤΡΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η ΕΕ συμμετέχει στην προσπάθεια των Ηνωμένων Εθνών για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος και επικύρωσε με την απόφαση της 94/69, τη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές αλλαγές. Μετά από μακρές διαπραγματεύσεις θεσπίστηκε το 1997, το Πρωτόκολλο του Κυότο, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το Φεβρουάριο του 2005. Η Ευρωπαϊκή Ένωση κύρωσε το Πρωτόκολλο με την Απόφαση του Συμβουλίου 2002/358. Το Πρωτόκολλο ρυθμίζει τις εκπομπές έξι αερίων, που θεωρούνται υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου: του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄), του υποξειδίου του αζώτου (N₂O), των υδροφθορανθράκων (HFC), των υπερφθοριωμένων υδρογονανθράκων (PCF) και του εξαφθοριούχου θείου (SF₆). Ως βραχυπρόθεσμο στόχο θέτει τη μείωση κατά 5.2% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά το διάστημα 2008-2012 σε συνάρτηση με τα επίπεδα του 1990. Ως μακροπρόθεσμο στόχο, μέχρι το 2020, θέτει τη μείωση των αερίων αυτών κατά 20% (Κάλλια-Αντωνίου, 2012).

Στην παγκόσμια Σύνοδο του ΟΗΕ στο Κανκούν, το 2010 και στο Ντέρμπαν, το 2011 δεν αποφασίστηκε, αν θα υιοθετηθεί νέο Πρωτόκολλο μετά τη λήξη του Πρωτοκόλλου του Κυότο, εγκρίθηκε όμως μία Συμβιβαστική Συμφωνία. Οι ανεπτυγμένες χώρες δεσμεύτηκαν να διαθέσουν 100 δισεκατομμύρια δολάρια στις αναπτυσσόμενες χώρες έως το 2020 και να ιδρύσουν το «Πράσινο Ταμείο για το Κλίμα», από το οποίο θα διοχετεύεται το πλείστον των χρημάτων προς τις αναπτυσσόμενες χώρες που απειλούνται από την κλιματική αλλαγή, ώστε να προστατευθούν τα τροπικά δάση και να ελεγχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας (Κάλλια-Αντωνίου, 2012).

1.7 ΕΜΠΟΡΙΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Εφαρμόζοντας το άρθρο 17 του Πρωτοκόλλου του Κυότο η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε με την Οδηγία 2003/87 ένα σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ανωτέρω Οδηγία τροποποιήθηκε με την Οδηγία 2008/101, η οποία εντάσσει τις αεροπορικές δραστηριότητες στο σύστημα εμπορίας ρύπων, από 1 Ιανουαρίου 2012 και την Οδηγία 2009/29, η οποία βελτιώνει και επεκτείνει το σύστημα εμπορίας ρύπων προσθέτοντας και νέες σταθερές εγκαταστάσεις στην κατανομή δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Οι εμπορικές συναλλαγές εκπομπών αποτελούν ένα σύστημα κατανομής μεριδίων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε επιχειρήσεις με βάση την αρχή της αντιστάθμισης, δηλαδή ορισμένες εταιρείες λαμβάνουν την άδεια να εκπέμπουν περισσότερο από το επιτρεπόμενο όριο εφόσον μια άλλη εταιρεία, η οποία έχει εκπέμψει λιγότερο από το επιτρεπόμενο όριο, τους πωλεί το δικό της μερίδιο (Κάλλια-Αντωνίου, 2012).

Πρόκειται για το πρώτο παγκοσμίως διακρατικό εργαλείο αγοραπωλησίας μεριδίων, «δικαιωμάτων» ρύπανσης. Κάθε κράτος μέλος είναι υποχρεωμένο να καθορίσει οριακές εθνικές τιμές εκπομπών CO₂ και να τις επιμερίσει ανάμεσα σε ορισμένες κατηγορίες επιχειρήσεων που καταναλίσκουν μεγάλα ποσά ενέργειας (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, χαλυβουργεία, διυλιστήρια πετρελαίου, χαρτοποιίες, υαλουργίες και τσιμεντοβιομηχανίες και αργότερα παραγωγή αλουμινίου, χημική βιομηχανία και μεταφορές), εκδίδοντας ένα συνολικό αριθμό αδειών (μεριδίων ή δικαιωμάτων) ρύπανσης. Κάθε κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης καταρτίζει Εθνικό Σχέδιο Κατανομής ΕΣΚ, στο οποίο αναφέρει τα δικαιώματα που σκοπεύει να κατανείμει για την καθορισμένη περίοδο, καθώς και τον τρόπο κατανομής τους στις εγκαταστάσεις (Κάλλια-Αντωνίου, 2012).

1.8 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ ΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Πολλές αναλύσεις έχουν γίνει για το κατά πόσο οι χώρες έχουν συμμορφωθεί με το Πρωτόκολλο του Κυότο για την κλιματική αλλαγή, για το κατά πόσο δηλαδή έχουν καταφέρει να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990 που έχουν θέσει ως έτος βάση και με ορίζοντα το 2020. Πρωταρχικό στόχο αποτελεί η

μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2% την περίοδο 2008-2012. Σύμφωνα με το EC,(2012) οι χώρες της ΕΕ έχουν πετύχει το στόχο τους για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2% την περίοδο 2008-2012.

Όμως, τα αποτελέσματα της οικονομετρικής ανάλυσης που διεξήχθη από τους Aichele and Felbermayr, (2012) έδειξαν μια διαφορετική οπτική γωνία. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, προκύπτει ότι η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κυότο έχει συμβάλει στην κατά μέσο όρο μείωση των εγχώριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όμως αυτό που έχει πραγματικό ενδιαφέρον, είναι ότι προκάλεσε αύξηση των εισαγωγών, έτσι τελικά το αποτύπωμα άνθρακα της χώρας δεν άλλαξε. Η *διαρροή αυτή άνθρακα (carbon leakage)* εξαιτίας της αδυναμίας του Πρωτοκόλλου του Κυότο για πλήρη κάλυψη όλων των παραμέτρων εξουδετερώνει το αποτέλεσμα της μείωσης των εγχώριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη των Aichele and Felbermayr, (2012) συνοψίζονται ως εξής:

- Πρώτον, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που ενσωματώνονται στις διεθνείς εμπορικές ροές είναι ποσοτικά σημαντικές: το 1995, περίπου 16% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συναλλάχθηκαν, το 2007 αυτή η τιμή έφτασε στο 21%. Η αύξηση ξεκίνησε το 2002 τον πρώτο χρόνο δηλαδή που η Κίνα έγινε μέλος του διεθνή οργανισμού εμπορίας και είναι το έτος επίσης που οι περισσότερες χώρες επικύρωσαν τις δεσμεύσεις τους ως προς το Πρωτόκολλο του Κυότο.
- Δεύτερον υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των χωρών στα επίπεδα και τους ρυθμούς ανάπτυξης με την πάροδο του χρόνου των εγχώριων εκπομπών και του αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα.

Επιπροσθέτως δίνονται κάποια αριθμητικά δεδομένα για να γίνουν όλα τα παραπάνω κατανοητά: Το 1995, οι κατά κεφαλήν εκπομπές ποίκιλλαν δραματικά μεταξύ των χωρών. Για παράδειγμα οι εκπομπές αερίων στην Ινδία ή στην Ινδονησία είναι της τάξης το 0,88 και 1,04 τόνοι/έτος ενώ στη αντίπερα όχθη βρίσκονται οι ΗΠΑ, η Αυστραλία και ο Καναδάς με κατά κεφαλήν εκπομπές της τάξης των 19.65, 16.24, και 16.01 τόνων/έτος. Το εμπόριο ρύπων είναι επίσης πολύ βασικό. Για παράδειγμα το 2007 η Ελβετία εισήγαγε αγαθά που ενσωματώνουν σχεδόν το 122% των εγχώριων CO₂ εκπομπών της. Οι εισαγωγές στην Ιρλανδία, την Ολλανδία, τη Σουηδία, τη Νορβηγία και τη Γαλλία υπερβαίνουν το 30% των αντίστοιχων εγχώριων

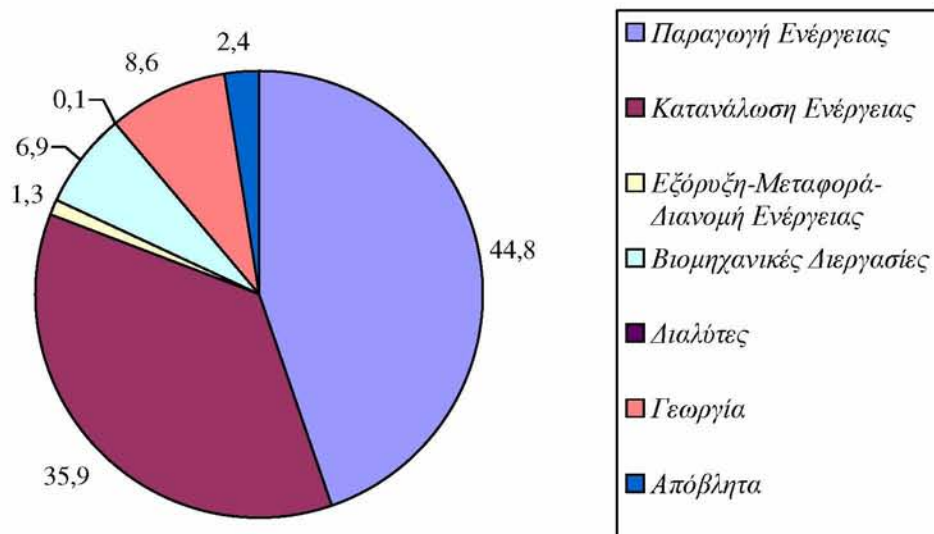
εκπομπών τους. Το μερίδιο των εκπομπών που εξάγονται είναι υψηλότερο στην Κίνα (27%), στην Νότια Αφρική (20%) στην Τσεχία(18%) και στην Αυστραλία (15%). Επομένως από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι το να είσαι εξαγωγέας ρύπων δεν είναι ένα περιορισμένο φαινόμενο στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Συμπερασματικά φαίνεται ότι οι δεσμεύσεις του Πρωτοκόλλου του Κυότο οδήγησαν σε μείωση των εγχώριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 7%, αλλά το αποτύπωμα άνθρακα δεν άλλαξε. Ως συνέπεια, η αναλογία των εισαγωγών CO₂ σε σχέση με τις εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκε κατά μέσο όρο κατά 14 ποσοστιαίες μονάδες.

1.9 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ενέργεια αποτελεί τον τομέα με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο σύνολο σχεδόν των Συμβαλλομένων Μερών της Σύμβασης και του Πρωτοκόλλου. Ειδικά για την Ελλάδα οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2007 (περίπου 132 εκατομμύρια t CO₂eq) έχουν αυξηθεί κατά 24,9% από το 1990 και κατά 23,2% σε σχέση με τις εκπομπές βάσης (για την Ελλάδα έτος βάσης περιλαμβάνει τις εκπομπές του 1990 για τα CO₂, CH₄ ΚΑΙ N₂O), με την Ενέργεια να ευθύνεται για το 82% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2007. Τα απόβλητα (στερεά και υγρά μαζί) κατέχουν το ποσοστό του 2,4% στο σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου για το 2007. Αναλυτικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα για το έτος 2007 φαίνονται στο γράφημα 2.1 που ακολουθεί.

Γράφημα 1-2: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα το 2007.



Πηγή: <http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf>

Αν και η ύδρευση και η διαχείριση των αστικών λυμάτων δεν προκαλούν σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αποτελούν βασικές δραστηριότητες της λειτουργίας μίας πόλης.

2. ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το αποτύπωμα άνθρακα (Carbon Footprint) μετράει το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από μια δραστηριότητα ή εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος (αγαθό ή υπηρεσία). Περιλαμβάνει ατομικές δραστηριότητες, δραστηριότητες πληθυσμών, εταιριών, οργανισμών, βιομηχανικούς παράγοντες (Galí et al., 2012). Το αποτύπωμα άνθρακα μιας χώρας είναι το σύνολο όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναφέρονται στην κατανάλωση μιας χώρας, συμπεριλαμβανομένου και των εισαγωγών αερίων του θερμοκηπίου (εμπόριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου) (Galí et al., 2012). Παρόλο το όνομά του, το αποτύπωμα άνθρακα δεν εκφράζεται σε μονάδες επιφάνειας. Ο συνολικός αριθμός αερίων του θερμοκηπίου μετριέται σε μονάδες μάζας (kg,t) και όχι σε μονάδες επιφάνειας (ha, m²). Όταν περιλαμβάνεται μόνο το CO₂ η μονάδα είναι kg CO₂, ενώ αν εκτός από το CO₂ συμπεριλαμβάνονται και άλλα αέρια του θερμοκηπίου τότε αναφερόμαστε σε ισοδύναμο CO₂, δηλαδή CO_{2eq}.

2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΙΑΣ ΧΩΡΑΣ

Το αποτύπωμα άνθρακα μιας χώρας αντιπροσωπεύει όλες τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προκαλούν οι κάτοικοι μιας χώρας με το να καταναλώνουν ή να αγοράζουν ένα συγκεκριμένο φορέα αγαθών (Aichele and Felbermayr, 2012) Τα αγαθά αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από εγχώριες εκπομπές είτε να εισάγονται στη χώρα. Παρόλα αυτά σύμφωνα με τη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC) υπολογίζονται ως αποτύπωμα άνθρακα μιας χώρας μόνο οι ισοδύναμες εκπομπές εγχώριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η ποσότητα δηλαδή του άνθρακα που ενσωματώνεται σε ένα φορέα αγαθών που παράγονται στην επικράτεια μιας χώρας (Aichele and Felbermayr, 2012). Με τη διεθνή ανταλλαγή προϊόντων γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η διαφορά μεταξύ του αποτυπώματος άνθρακα μιας χώρας και των εγχώριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έγκειται στο *περιεχόμενο άνθρακα του καθαρού εμπορίου* (Aichele and Felbermayr, 2012).

2.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Τα παγκόσμια υγρά απόβλητα είναι η πέμπτη μεγαλύτερη πηγή ανθρωπογενών εκπομπών μεθανίου, συμβάλλοντας στο 9% περίπου των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου το 2000. Η Ινδία, η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και η Ινδονησία μαζί είναι υπεύθυνες για το 49% των παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου από τις ΜΕΥΑ. Οι παγκόσμιες εκπομπές μεθανίου υπολογίζεται να αυξηθούν κατά 20% περίπου από το 2005 μέχρι το 2020 (Gupta,2012).

Επίσης, τα παγκόσμια υγρά απόβλητα είναι η έκτη μεγαλύτερη πηγή στην εκπομπή N₂O στην ατμόσφαιρα, που αντιστοιχεί περίπου σε ποσοστό 3% των συνολικών εκπομπών N₂O από όλες τις πηγές. Η Ινδονησία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ινδία και η Κίνα είναι υπεύθυνες για το 50% των συνολικών εκπομπών N₂O από τα αστικά υγρά απόβλητα για το 2000. Οι παγκόσμιες εκπομπές N₂O αναμένεται να αυξηθούν κατά 13% περίπου από το 2005 μέχρι το 2020 (Gupta,2012).

Το υψηλότερο ποσοστό εκπομπών μεθανίου προέρχεται από την Ασία και συγκεκριμένα από την Κίνα και την Ινδία. Άλλες χώρες με υψηλά ποσοστά έκλυσης μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι η Τουρκία, η Βουλγαρία, το Ιράν, η Βραζιλία, η Νιγηρία και η Αίγυπτος. Οι συνολικές παγκόσμιες εκπομπές μεθανίου στην ατμόσφαιρα λόγω των αναερόβιων συνθηκών κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στις ΜΕΥΑ υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί περισσότερο από 50% από το 1990 μέχρι το 2020. Στην αύξηση αυτή συμβάλουν κυρίως αναπτυσσόμενες χώρες από την ανατολική και νότια Ασία, τη Μέση Ανατολή, την Καραϊβική και την κεντρική και νότια Αμερική. Η ΕΕ έχει δεσμευτεί για χαμηλότερες εκπομπές μέχρι το 2020 σε σχέση με το 1990 (Gupta,2012).

2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Τα σημερινά παγκόσμια φαινόμενα δίνουν μια εικόνα έντονης κλιματικής αλλαγής η οποία δεν πρέπει να υποτιμηθεί. Οι δεσμεύσεις απέναντι στο Πρωτόκολλο του Κυότο είναι μια πρώτη αξιόλογη προσπάθεια να εκτιμηθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και να τεθεί ένα ανώτατο επιτρεπτό όριο. Όμως η ανάγκη για μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση μέσω της υιοθέτησης ενός πιο σύνθετου δείκτη όπως είναι το αποτύπωμα άνθρακα προβάλλει επιτακτική. Η ανάγκη αυτή

παρουσιάζεται μέσω μιας οικονομετρικής ανάλυσης των Aichele and Felbermayr, (2012), οι οποίοι υπολογίζουν τη διαρροή άνθρακα (carbon leakage) ανάμεσα στις αναπτυσσόμενες και στις ανεπτυγμένες χώρες.

Επιπλέον, μέσω των περιγραφικών διαδικασιών διαφόρων υπολογιστικών μοντέλων επιχειρείται μια πρώτη γνωριμία με μοντέλα υπολογισμού αποτυπώματος άνθρακα μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ενώ στη συνέχεια δίνεται έμφαση στις διαφορές που μπορεί να προκύψουν στις μετρήσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ίδια την μονάδα ανάλογα με το μοντέλο που θα επιλεγεί. Οι διαφορές αυτές αναλύονται και εντοπίζονται οι διαδικασίες οι οποίες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις αερίων του θερμοκηπίου.

Τέλος, επιχειρείται μια διερεύνηση της πιθανότητας μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων να έχει μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα ή αλλιώς ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι μέσα από τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί το ουδέτερο ισοζύγιο, ενώ συγχρόνως γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που είναι σε θέση να προσφέρει κάθε μέθοδος που σκοπεύει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

2.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η ανάγκη το αποτύπωμα άνθρακα να είναι ο δείκτης συμμόρφωσης ως προς τις απαιτήσεις του Πρωτοκόλλου του Κυότο καθώς εκτός από τις εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λαμβάνει υπόψη και τις εισαγόμενες επισημαίνεται από τους Aichele and Felbermayr, (2012), οι οποίοι εντοπίζοντας αυτό το κενό μεταξύ του νομοθετικού πλαισίου του Κυότο και του αποτυπώματος άνθρακα προτείνουν μέσω ενός οικονομετρικού μοντέλου, μία στρατηγική εκτίμησης και συγκεκριμένα την “first-differenced IV estimation strategy”, ούτως ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο το εμπόριο ρύπων αποτελεί ένα συχνό φαινόμενο ανάμεσα στις χώρες που έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κυότο και πως αυτό κατ’ επέκταση επηρεάζει το αποτύπωμα άνθρακα μιας χώρας . Σημαντικό σημείο αυτής της στρατηγικής αποτελεί το έτος επικύρωσης του Πρωτοκόλλου του Κυότο από κάθε χώρα καθώς από εκείνο το χρονικό σημείο και μετά θεωρείται ότι το Πρωτόκολλο επιδρά στα αποτελέσματα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της κάθε χώρας.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός πως ενώ με μια πρώτη επιφανειακή ματιά φαίνεται πως οι χώρες που έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κυότο έχουν συμμορφωθεί ως προς τις δεσμεύσεις του, μια δεύτερη πιο προσεχτική ματιά οδηγεί σε διαφορετικά συμπεράσματα καθώς εκτός από τις ετήσιες εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της κάθε χώρας, εκτιμάται και το ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα των χωρών καθώς και το ποσοστό εισαγωγών αερίων του θερμοκηπίου ως επί τοις εκατό ποσοστό εκπομπών, το ονομαζόμενο και ως *διαρροή άνθρακα* “carbon leakage”. Να σημειωθεί ότι γίνεται αναγωγή όλων των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμο διοξείδιο του θείου CO_{2eq} ούτως ώστε να γίνεται πάντα αναφορά σε μια κοινή βάση, καθώς το CO₂ είναι το πιο διαδεδομένο από τα αέρια του θερμοκηπίου και αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες στην ατμόσφαιρα.

2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στις μέρες μας η ανάγκη να προσδιορίσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχει γίνει λίγο πολύ πανταχού παρών σε όλη την οικονομία. Οι καταναλωτές στρέφονται προς τη ζήτηση για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα και υπηρεσίες και πιέζουν ακόμη περισσότερο τους προμηθευτές προς την παροχή καταστάσεων της εταιρείας με την καταγραφή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Όχι μόνο οι καταναλωτές ενδιαφέρονται για τις εκπομπές αερίων ενός προϊόντος, της διαδικασίας παραγωγής ή της εταιρείας αλλά και οι αρχηγοί των κρατών, οι κυβερνήσεις, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενδιαφέρονται για τόσο την πηγή όσο και για τον αντίκτυπο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης εκτός από την ανάγκη να υπολογίζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν κατά την παραγωγή και τη χρήση ενός προϊόντος, οι εκπομπές που συνδέονται με τον ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος συμπεριλαμβανομένης και της διάθεσής του πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη (Braschel and Posch, 2013).

Πολλές μέθοδοι εκτίμησης είναι διαθέσιμες για την μέτρηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι περισσότερες από αυτές έχουν αναπτυχθεί ώστε να στηρίζουν τους παραγωγούς και τους προμηθευτές και όχι εκείνους που ασχολούνται με τη διάθεση των προϊόντων ή διαδικασιών επεξεργασίας αποβλήτων. Αυτό δημιουργεί σημαντικές δυσκολίες καθώς συχνά παρατηρούνται φαινόμενα διαφορετικών αποτελεσμάτων ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού και σαφή έλλειψη

συγκρισιμότητας, ώστε να αξιολογηθούν οι σχετικές επιπτώσεις από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Προς αποφυγή όλων των παραπάνω οι Braschel and Posch, (2013) προτείνουν μία συγκεκριμένη διαδικασία που αποτελείται από 6 βήματα τα οποία πρέπει κάθε φορά να ακολουθούνται όταν πρόκειται για προσδιορισμό αερίων του θερμοκηπίου κατά τις διαδικασίες επεξεργασίας των αποβλήτων (αναφέρονται τόσο σε διαδικασίες επεξεργασίας στερεών όσο και υγρών αποβλήτων). Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας στην επεξήγηση της σχηματικής προσέγγισης δίνονται παραδείγματα που αφορούν μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και των αντίστοιχων διαδικασιών. Τα έξι βήματα απεικονίζονται στο Γράφημα 2-1.

Γράφημα 2-1: Απεικόνιση των βημάτων για τη δημιουργία ενός καταλόγου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου



Πηγή: (Braschel and Posch,2013)

1. **Βήμα 1:** Εξαρχής είναι απαραίτητο να καθορίσουμε ξεκάθαρα το στόχο να ορίσουμε δηλαδή τι αφορά το αποτύπωμα άνθρακα που ενδιαφερόμαστε να υπολογίσουμε. Το αποτύπωμα άνθρακα μπορεί να αναφέρεται στον υπολογισμό αερίων του θερμοκηπίου μιας συγκεκριμένης διαδικασίας, μιας ολόκληρης εταιρίας, ενός κράτους ή διαδικασιών ενός ολόκληρου τομέα

2. **Βήμα 2:** Το δεύτερο βήμα αποτελεί το σημαντικότερο από τα 6 βήματα της παραπάνω διαδικασίας προσέγγισης, καθώς πρόκειται για τον καθορισμό των ορίων του συστήματος. Τα όρια αυτά αναφέρονται σε υλικά όρια ποιον τύπο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μετράμε. Έχει ήδη αναφερθεί ότι εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, μας ενδιαφέρουν και άλλα αέρια του θερμοκηπίου με κυριότερα το υποξείδιο του αζώτου και το μεθάνιο σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Άλλα όρια που πρέπει να τεθούν είναι χωρικά και χρονικά όρια, όπως η γεωγραφική περιοχή καθώς και ο χρόνος προέλευσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ακολουθούν λειτουργικά και τομεακά όρια το οποία καθορίζουν τις λειτουργικές μονάδες μέσα στην περιοχή μελέτης, της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην προκειμένη περίπτωση.
3. **Βήμα 3:** Το επόμενο βήμα αποσκοπεί στην προσεκτική και αξιόπιστη συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα πρέπει σε πρώτο στάδιο να συλλέγονται από μετρήσεις της ίδιας της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και εν συνεχεία ορισμένα δεδομένα κυρίως συντελεστές μετατροπής μπορούν να υιοθετούνται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία ή από άλλες μελέτες.
4. **Βήμα 4:** Κατά τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και ιδιαίτερες τεχνικές προσέγγισης καθώς αυτές προέρχονται από διαφορετικές διαδικασίες κατά τη διάρκεια του “κύκλου ζωής” των αποβλήτων. Συνήθως, οι διαδικασίες υπολογισμού καταλήγουν σε μια συγκεκριμένη τιμή αερίων του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά, καθώς αυτή η τιμή προέρχεται από πολλά συστατικά πρέπει να επεξεργάζεται με ιδιαίτερη προσοχή και απαιτεί προσεκτική ερμηνεία.
5. **Βήμα 5:** Όσον αφορά τα αποτελέσματα η παρουσίαση τους πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε όσοι δεν είναι εξοικειωμένοι με το θέμα να μπορούν να κατανοήσουν τη σημασία τους και να καταλάβουν την προέλευσή τους. Επομένως κατά τη διαδικασία της παρουσίασης πρέπει να επεξηγούνται όλες οι πτυχές ανάπτυξης του θέματος λεπτομερώς.
6. **Βήμα 6:** Το τελευταίο βήμα περιλαμβάνει μια ανασκόπηση της όλης διαδικασίας. Κριτική στάση απέναντι στα αποτελέσματα καθώς και προς όλη την διαδικασία προσέγγισης είναι απαραίτητη ώστε να αποτελέσει την απαρχή για περαιτέρω έρευνα.

2.7 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον να προσδιοριστεί το αποτύπωμα άνθρακα μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση ενέργειας, την παραγωγή ενέργειας και την πίστωση αερίων του θερμοκηπίου στη μονάδα. Αυτό το ολόένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον έχει οδηγήσει σε αύξηση των μοντέλων που είναι διαθέσιμα για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη μοντέλων διαθέσιμα για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Από τη μία πλευρά υπάρχουν εμπειρικά μοντέλα-simple comprehensive απλή ολοκληρωμένη διαδικασία, (Bridle et al., 2008), (Monteith et al., 2005), (Bani Shahabadi et al., 2009) που υπολογίζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σαν μέση τιμή των δεδομένων για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν δυναμικά- μηχανιστικά μοντέλα (Activated Sludge Model 1) που υπολογίζουν το αποτύπωμα άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ως αποτέλεσμα καταγραφής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για μια χρονική διάρκεια μεγαλύτερη του ενός έτους, ενώ συχνά παρουσιάζονται και μοντέλα ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των δύο παραπάνω κατηγοριών. Υπάρχουν επίσης και άλλες προσεγγιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ευρέως όμως όλες τους παρουσιάζουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως φαίνεται στον Πίνακα 2-1

Πίνακας 2-1: Διαφορετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία για τον προσδιορισμό του αποτυπώματος άνθρακα των ΜΕΥΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Inter-Governmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006)	Διεθνώς αναγνωρισμένο, βάση για τα επακόλουθα πρωτόκολλα	"Top Down" προσέγγιση δεν ειδικεύεται στις ΜΕΥΑ έχει σχεδιαστεί για αξιολογήσεις μεγαλύτερης κλίμακας
Water Services Association of Australia (WSAA) Greencount (2006)	Βιομηχανικό πρότυπο για τις ΜΕΥΑ	Ειδικεύεται σε επίπεδο χώρας
Local Governments Operations (LGO) Protocol (2008)	Πρότυπο των ΗΠΑ περιλαμβάνει και τις ΜΕΥΑ	Βασίζεται στη "Top Down" προσέγγιση

Bridle (2008)	Ολοκληρωμένο μοντέλο ειδικεύεται στις ΜΕΥΑ	Πρόσφατο, ένα μη τυποποιημένο πρότυπο για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα
National Greenhouse Gases and Energy Reporting, Australia (NGER) (2009)	Ενημερωμένο βιομηχανικό πρότυπο για τις ΜΕΥΑ της Αυστραλίας, περιλαμβάνει και τις εκπομπές N ₂ O	Ειδικεύεται σε επίπεδο χώρας

Πηγή: (Pagilla et al., 2009)

Ο Πίνακας 2-1 απαριθμεί τα βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία σήμερα και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα πρωτόκολλα γενικά χρησιμοποιούν “top down” μεθόδους «από την κορυφή προς τα κάτω», μέθοδοι οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για να δώσουν αποτελέσματα σε ένα ευρύ περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο και έτσι αυτές οι εκτιμήσεις δεν διαθέτουν επαρκείς λεπτομέρειες ώστε να δώσουν μια ακριβή εκτίμηση σε επίπεδο μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

2.8 ΑΝΑΓΚΗ ΘΕΣΠΙΣΗΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

Επειδή η ομοσπονδιακή κυβέρνηση και πολλοί νομοθέτες έχουν εισάγει προτάσεις για την παρακολούθηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, φαίνεται πιθανό ότι κανονισμός για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι αναπόφευκτος (Water Environment Federation, 2009).

Προς το παρόν, οι ΜΕΥΑ δεν είναι υποχρεωμένες να αναφέρουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκτός αν παράγουν περισσότερο από 1MW ηλεκτρικής ενέργειας ή εκπέμπει περισσότερο από 2500Mg αερίων του θερμοκηπίου. Πολλοί ειδικοί στην Καλιφόρνια θεωρούν ότι μόλις οι νομοθεσίες εξελιχθούν περισσότερο όλες οι ΜΕΥΑ θα είναι υποχρεωμένες να υπολογίζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Water Environment Federation, 2009).

Το Σεπτέμβριο του 2009 η U.S.EPA υιοθέτησε έναν υποχρεωτικό κανόνα αναφοράς των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό, οι μονάδες εκείνες που εκλύουν στην ατμόσφαιρα περισσότερες από 25.000Mg ετησίως είναι υποχρεωμένες να το αναφέρουν. Υπολογίζεται ότι περίπου 10.000 μονάδες

παγκοσμίως θα επηρεαστούν από αυτό τον κανονισμό, που συνθέτουν το 85 με 90% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αρχικά, αυτός ο αριθμός θα περιλαμβάνει μόνο μερικές από τις μεγαλύτερες ΜΕΥΑ παγκοσμίως, καθώς οι απαιτήσεις υποβολής εκθέσεων περιλαμβάνουν μόνο βιομηχανικές και όχι δημοτικές ΜΕΥΑ (Water Environment Federation, 2009).

Αρκετοί οργανισμοί έχουν θεσπίσει εθελοντικά εκθέσεις αναφοράς των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός το οποίο θέτει τις βάσεις για πρωτόκολλα αναφοράς εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε μια διευρυμένη βάση. Σε αυτούς τους οργανισμούς ανήκουν και αρκετές ΜΕΥΑ που έχουν ήδη εκτελέσει οι προετοιμάζουν τις ετήσιες αναφορές αερίων του θερμοκηπίου (Water Environment Federation, 2009).

Αν και είναι σαφές ότι κάθε ΜΕΥΑ θα χρειαστεί να υπολογίσει τόσο τις άμεσες όσο και τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τις διεργασίες επεξεργασίας των λυμάτων δεν είναι ακόμα σαφές πως αυτή η πληροφορία θα χρησιμοποιηθεί.

Ένα Πρωτόκολλο για τη θέσπιση δειγμάτων και αναφορών σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά τις διαδικασίες επεξεργασίας των λυμάτων πρέπει να αναπτυχθεί και να γίνει αποδεκτό από τις εκάστοτε ρυθμιστικές αρχές (Water Environment Federation, 2009).

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων προσφέρουν την ευκαιρία για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος. Η ποσοτικοποίηση των πραγματικών εκπομπών από κάθε εγκατάσταση, συμπεριλαμβανομένης της φύσης των άμεσων εκπομπών, είναι ένα καλό σημείο εκκίνησης για την αξιολόγηση των δυνητικά οφέλη για το περιβάλλον από εναλλακτικές επιλογές επεξεργασίας (Water Environment Federation, 2009).

2.9 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΟΥ ΔΡΑΣΗΣ

Η πρώτη σκέψη για την ανάπτυξη του αποτυπώματος άνθρακα είναι τα «όρια» για την αξιολόγηση. Πρόκειται δηλαδή για μια σαφή οριοθέτηση του τι δραστηριότητες, διαδικασίες, εκπομπές και χρονοδιαγράμματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα. Τα πραγματικά όρια που επιλέγονται για την εκτίμηση εξαρτώνται από το σκοπό της εκτίμησης. Για παράδειγμα, εάν το αποτύπωμα άνθρακα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση

της εγκατάστασης ως μέρος ενός ευρύτερου τοπικού ή περιφερειακού προγράμματος που απευθύνεται σε μια ποικιλία χρήσεων και δραστηριοτήτων, τότε είναι σημαντικό ότι η χρησιμότητα ακολουθεί το εκάστοτε πρότυπο πρωτόκολλο που προορίζεται για το πρόγραμμα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για Climate Registry Information System (CRIS), the World Resources Institute (WRI) or the Western Climate Initiative (WCI) για να εξασφαλιστεί ότι πρόκειται πρώτον για μια σύγκριση ομοιόμορφων και δεύτερον ότι τα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λαμβάνουν τη δέουσα πίστωση. Εάν ο σκοπός του αποτυπώματος άνθρακα είναι να εξετάσει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσα στα όρια μιας ΜΕΥΑ, ή να απομονώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ή να πουλήσει τα αντισταθμιστικά οφέλη του άνθρακα, τότε το πρόγραμμα μπορεί να θέλει να θέλει να διευρύνει την αξιολόγηση και αυτή να περιλαμβάνει και τις βιογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες συνήθως δεν περιλαμβάνονται σε τυποποιημένα πρωτόκολλα (Pagilla, 2009).

Σε γενικές γραμμές, η θέσπιση των ορίων για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα θα πρέπει να περιλαμβάνει χωρικές και χρονικές κλίμακες. Για τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οι χωρικές και χρονικές οριακές συνθήκες θα περιλαμβάνουν όλες τις σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μπορεί να παρασταθούν εύκολα σε άλλα συστήματα ταξινόμησης. Ο στόχος είναι να καθοριστούν σαφή και πρακτικά όρια της αξιολόγησης για το σκοπό αυτό, ανεξάρτητα από τα συστήματα ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν (Pagilla, 2009).

Ανεξάρτητα από το μοντέλο που θα επιλέξει κάποιος για να υπολογίσει το αποτύπωμα άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων οι τρόποι ή αλλιώς τα πεδία δράσης σε μια μονάδα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες.

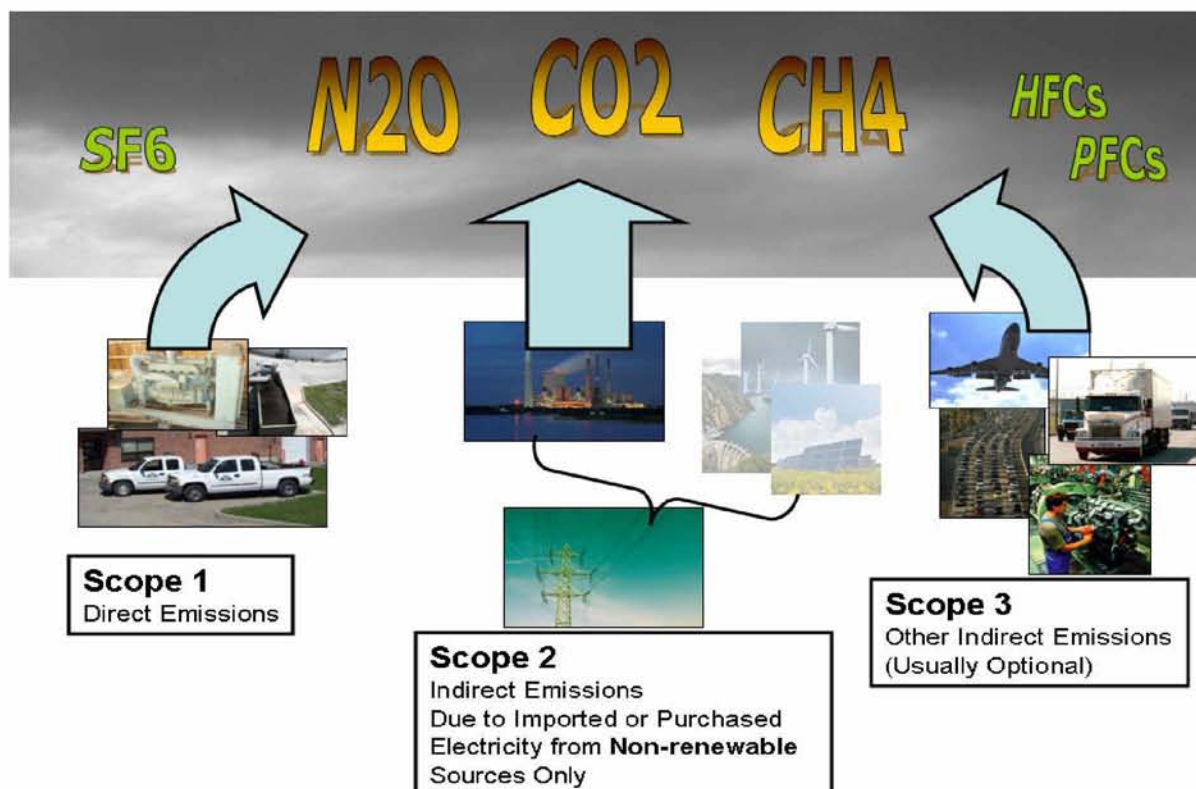
- **Πεδίο Δράσης 1:** Περιλαμβάνει τις άμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από όλες τις διαδικασίες μέσα σε μία ΜΕΥΑ, όπως η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου από τη μέθοδο ενεργούς ιλύος. Πολλά μοντέλα δεν τις λαμβάνουν υπόψη τις συγκεκριμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθώς οι εκπομπές αυτές θα εκλύονταν στην ατμόσφαιρα κάτω από φυσικές διαδικασίες.
- **Πεδίο Δράσης 2:** Περιλαμβάνει τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που συνδέονται με την άμεση κατανάλωση ενέργειας σε μια

ΜΕΥΑ, όπως οι εκπομπές από την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη διαδικασία του αερισμού των υγρών αποβλήτων

- **Πεδίο Δράσης 3:** Περιλαμβάνει τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την έμμεση κατανάλωση ενέργειας, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια παραγωγής των χημικών που χρησιμοποιούνται σε μια ΜΕΥΑ. Μπορεί η παραγωγή των χημικών να μη γίνεται μέσα στα γεωγραφικά όρια της μονάδας, από τη στιγμή όμως που τα χημικά χρησιμοποιούνται στη μονάδα μας αφορά η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου που συνεπάγονται.

Οι άμεσες και οι έμμεσες εκπομπές αερίων όπως ορίστηκαν παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 2-1.

Εικόνα 2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ορισμοί πεδίου



Πηγή: (Pagilla,2009)

Σε σύγκριση με τα 6 αέρια του θερμοκηπίου που αναφέρονται στο Πρωτόκολλο του Κυότο 3 αέρια μας ενδιαφέρουν σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων: το διοξείδιο του άνθρακα CO₂, το μεθάνιο CH₄ και το υποξείδιο του αζώτου N₂O. Αν και το διοξείδιο του άνθρακα είναι το μεγαλύτερο σε ποσότητα αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από μια ΜΕΥΑ, εντούτοις είναι πολύ σημαντικό να υπολογίσουμε τις ποσότητες CH₄, και N₂O καθώς έχουν υψηλότερο GWP (Global Warming Potential – δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη).

Το GWP μεταφράζεται ως το ποσοστό θερμότητας που παγιδεύεται σε μία μονάδα μάζας του αερίου, σε σχέση με το CO₂ για μια χρονική περίοδο 100 ετών. Οι τιμές GWP δίνονται από το IPCC (Intergovernmental panel on climate change- Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος) και διαφέρουν ανάλογα με τη χρονιά. Ο υπολογισμός του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι πολύ σημαντικός καθώς μια μικρή ποσότητα υποξειδίου του αζώτου που θα εκλυθεί έχει μεγαλύτερη επίδραση στην ατμόσφαιρα από την ίδια ή ακόμα και μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα.

Στον πίνακα 2 αποτυπώνονται οι τιμές GWP των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, όπως υπολογίζονται από την IPCC και αναφέρονται σε δύο διαφορετικές χρονιές.

Πίνακας 2-2: GWP των αερίων του θερμοκηπίου παράγονται σε μια ΜΕΥΑ

Αέριο	Χημική Ονομασία	2001 IPCC GWP	2007 IPCC GWP
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1	1
Μεθάνιο	CH ₄	23	25
Υποξείδιο του Αζώτου	N ₂ O	296	298

Πηγή: (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>)

2.10 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η επιλογή του μοντέλου εκτίμησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι πολύ σημαντική καθώς οδηγεί σε

διαφορετικά αποτελέσματα. Η κρίσιμη αυτή διαπίστωση αποτέλεσε το έναυσμα για τους Corominas et al., (2012) να συγκρίνουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα της ίδιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με χρήση δύο διαφορετικών μοντέλων.

Στην συγκεκριμένη μελέτη επιχειρείται η σύγκριση του εμπειρικού μοντέλου που προτείνουν οι Bridle et al., (2008) και ενός μηχανικού μοντέλου του BSM2G στην ίδια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στην αρχική τους προσέγγιση τα 2 μοντέλα διαφέρουν ως προς τον τρόπο υπολογισμού:

- Των εκπομπών N_2O κατά το στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας
- Τις διαδικασίες που αφορούν τη διάθεση και την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος

Μετά το πέρας της διαδικασίας εκτίμησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην περιοχή μελέτης τα αποτελέσματα που προκύπτουν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις. Οι σημαντικότερες από αυτές συνοψίζονται ως εξής:

1. Μεγάλες διαφορές προκύπτουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά το στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Σύμφωνα με το μοντέλο BSM2G η τιμή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκτιμάται κατά 30% μεγαλύτερη σε σχέση με το μοντέλο Bridle.
2. Επίσης μεγάλες διαφορές της τάξεως του 50% προέρχονται από την «καθαρή» κατανάλωση ενέργειας. Η διαφορά αυτή έγκειται κυρίως στην πίστωση που προσφέρει η χρήση του βιοαερίου που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος, κατά τη διαδικασία χρησιμοποίησης του για τις ανάγκες θέρμανσης της μονάδας
3. Ενώ αντίθετα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη διαδικασία χώνευσης της ιλύος είναι μικρές της τάξης του 6%.

Γενικά, τρία είναι τα σημεία κλειδιά για τις πιθανές διαφορές που θα προκύψουν κατά την εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα στις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων:

- Χρήση διαφορετικών προσεγγίσεων, διαφορετικών δηλαδή μοντέλων

- Είδος των δεδομένων που εισάγονται (αν πρόκειται δηλαδή για δυναμικά δεδομένα, δεδομένα πάνω του ενός έτους ή αν πρόκειται για τη μέση τιμή αντίστοιχα λιγότερων δεδομένων)
- Αξιολόγηση των αλλαγών στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα της αλλαγής της διαμόρφωσης της διαδικασίας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (αερόβιες-αναερόβιες διαδικασίες)

Συμπερασματικά προκύπτει ότι όποια μέθοδο και να επιλέξει κάποιος για να υπολογίσει το αποτύπωμα άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πρέπει εξ αρχής να θέσει τα όρια μέσα στα οποία κινείται η εκτίμηση του, να συλλέξει αξιόπιστα δεδομένα, να είναι προετοιμασμένος για τις διαφορές που πιθανόν να προκύψουν στην εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα ανάλογα με το μοντέλο προσέγγισης που θα επιλέξει, να είναι σε θέση να αξιολογήσει αυτές τις διαφορές και τέλος να σταθεί με κριτική στάση απέναντι στα αποτελέσματα της έρευνας του.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BRIDLE ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΗΣ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ

3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι μετρήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σύμφωνα με το μοντέλο που προτείνουν οι Bridle et al., (2008) γίνεται με βάση το πεδίο δράσης 3, όπως αναφέρθηκε αναλυτικά προηγουμένως. Αφορά δηλαδή τις άμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τις διαδικασίες επεξεργασίας των αποβλήτων, τις έμμεσες εκπομπές που προκύπτουν από την άμεση κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες της μονάδας και τις έμμεσες εκπομπές αερίων που προκύπτουν κατά την έμμεση κατανάλωση ενέργειας.

Οι μετρήσεις προκύπτουν από 6 διαφορετικά στάδια κατά τη διάρκεια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τα στάδια αυτά είναι τα εξής:

1. Εκπομπές CO₂ και N₂O από το στάδιο της **βιολογικής επεξεργασίας** υγρών αποβλήτων και συγκεκριμένα κατά τα στάδια: εκπομπής CO₂ κατά την οξείδωση των οργανικών και τη διαδικασία της ενδογενούς αναπνοής (διαδικασία σταθεροποίησης της παραγόμενης ιλύος), πίστωση CO₂ κατά τη νιτροποίηση και εκπομπή N₂O κατά την αφαίρεση αζώτου
2. **Επεξεργασία ιλύος**, κυρίως κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος παράγεται βιοαέριο. Το βιοαέριο είναι μείγμα CO₂ και CH₄ και άλλων αερίων. Η χώνευση της ιλύος είναι το 3^ο και τελευταίο στάδιο επεξεργασίας της ιλύος και διαδέχεται ουσιαστικά τις διαδικασίες της πάχυνσης και της αφυδάτωσης. Κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης σκοπός είναι η αποδόμηση των οργανικών ασταθών ενώσεων.
3. **Χημικά**, εκπομπή CO₂ κατά τη διαδικασία παραγωγής των χημικών που χρησιμοποιούνται στη ΜΕΥΑ Αν και τα χημικά δεν παράγονται μέσα στην μονάδα εντούτοις από τη στιγμή που χρησιμοποιούνται για σκοπούς τις μονάδας, η τελευταία τα χρεώνει.

- 4. Διάθεση και επαναχρησιμοποίηση ιλύος** εκπομπές CO₂ κατά τη διαδικασία μεταφοράς της επεξεργασμένης ιλύος για επαναχρησιμοποίηση: γεωργία, δάση ή καύση. Το συγκεκριμένο μοντέλο θεωρεί ότι η επεξεργασμένη ιλύς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για 3 διαφορετικούς σκοπούς και για καθένα από αυτούς το μερίδιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπολογίζεται διαφορετικά (αναγωγή με διαφορετικούς συντελεστές μετατροπής).
- 5. Κατανάλωση ενέργειας**, όλη η απαιτούμενη ενέργεια για τη λειτουργία μιας ΜΕΥΑ, ανάγκες θέρμανσης και ηλεκτρισμού μετατρέπεται σε CO₂. Το ποσοστό απαιτούμενης ενέργειας σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Σύμφωνα με τους Mo and Zhang,(2012) οι απαιτήσεις ενέργειας των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ αποτελούν το 1/5 της ενέργειας που καταναλώνεται για όλες της δημόσιες χρήσεις, ενώ η τιμή αυτή δείχνει αυξητική τάση.
- 6. Χρήση Βιοαερίου**, πιστώνει στην ΜΕΥΑ CO₂ με το να χρησιμοποιεί το βιοαέριο που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος. Το τελευταίο στάδιο συχνά απαντάται και σαν ένα στάδιο μαζί με το στάδιο 5 και αναφέρεται ως καθαρό αποτύπωμα άνθρακα. Αποτελεί ουσιαστικά την διαφορά των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των 2 αυτών σταδίων.

Να σημειωθεί ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τους εργαζόμενους οι οποίοι μετακινούνται από και προς τη μονάδα, όπως για παράδειγμα οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων. Ο λόγος που δεν λαμβάνονται υπόψη οι συγκεκριμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι πρώτον ότι είναι πολύ συγκεκριμένες για την κάθε μονάδα και δεύτερον ότι είναι μικρές σε σχέση με τις εκπομπές αερίων από τις άλλες πηγές αερίων που μελετώνται.

3.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σύμφωνα με το μοντέλο Bridle τα αέρια του θερμοκηπίου παράγονται σε 5 διαδικασίες της λειτουργίας της ΜΕΥΑ. Αυτές είναι: οι βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη δευτεροβάθμια καθίζηση, η επεξεργασία της ιλύος, η χρήση

χημικών ουσιών κατά την απολύμανση, η κατανάλωση ενέργειας και η παραγωγή βιοαερίου (Bridle Consulting, 2007). Για καθένα από τα 5 αυτά μέρη υπολογίζονται τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται σε μονάδες kg CO₂/day. Απαραίτητα στη διαδικασία του υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος της μονάδας είναι: μετρήσεις εισροών και εκροών, μεγάλος αριθμός παραμέτρων καθορίζονται ώστε να προσομοιώσουν τις βιολογικές διεργασίες, ενώ στη συνέχεια με τη χρήση τύπων και συντελεστών μετατροπής υπολογίζεται η ποσότητα kg CO₂ ανά ημέρα στην εκάστοτε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3-1: Εισερχόμενα δεδομένα στο μοντέλο Bridle.

Παροχή
HRT(υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού)
SRT (χρόνος παραμονής ιλύος στη δεξαμενή αερισμού)
MLVSS (Αιωρούμενα πτητικά στερεά)
TKNεισόδου,1βάθμια,εξόδου (ολικό άζωτο κατά Kjeldahl, αμμωνία NH ₃ και αμμώνιο NH ₄ ⁺)
TNεισόδου,1βάθμια,εξόδου (Ολικό άζωτο (TKN+(NO-N))
BODεισόδου, εξόδου (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)
BOD (ποσοστό αφαίρεσης)
TSSεισόδου (Ολικά Αιωρούμενα Στερεά)
TSS (ποσοστό αφαίρεσης)
VS% 1βάθμια και 2βάθμια ιλύς (Πτητικά Στερεά)
Χωνευτής/Απόδοση του κινητήρα βιοαέριο
Κλάσματα διάθεσης της ιλύος
Χημικά για απολύμανση
Ενέργεια εκτός από το στάδιο αερισμού

(Πηγή: Bridle Consulting,2007)



Πίνακας 3-2 : Υπολογισμοί με το μοντέλο Bridle.

CO ₂ δευτεροβάθμια επεξεργασία
N ₂ O δευτεροβάθμια επεξεργασία
Βιοαέριο CH ₄ και CO ₂

Ποσότητα Ιλύος
Επαναχρησιμοποίηση Ιλύος
Ενέργεια για Αερισμό (Η κατανάλωση ενέργειας για αερισμό αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του λειτουργικού κόστους σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων 15-60%)
Χημικά CO ₂

(Πηγή: Bridle Consulting,2007)



GHG's

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος της ΜΕΥΑ Λάρισας ακολουθεί παρακάτω και η διαδικασία υπολογισμού χωρίζεται σε 6 μέρη. Τα 6 αυτά μέρη αντιπροσωπεύουν τις διαδικασίες στη ΜΕΥΑ όπου παράγονται αέρια του θερμοκηπίου και αυτά είναι τα εξής: βιολογική επεξεργασία, χώνευση ιλύος, επαναχρησιμοποίηση ιλύος, χρήση χημικών για απολύμανση, κατανάλωση ενέργειας και χρήση βιοαερίου.

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η βιολογική επεξεργασία περιλαμβάνει 3 βασικές διαδικασίες: την ενδογενή χώνευση, την αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου και την απομάκρυνση του αζώτου. Κατά τη διάρκεια αυτών των διεργασιών παράγεται και καταναλώνεται CO₂ και παράγεται επίσης N₂O.

Το μοντέλο Bridle υπολογίζει τη βιομάζα που αποσυντίθενται:

$$X_{\text{decayed}} = Q_{\text{εισρ}} * \text{HRT} * \text{MLVSS} * \text{KD} \quad (5.1)$$

Όπου,

X_{decayed} είναι η ποσότητα βιομάζας που αποσυντίθενται ανά ημέρα (kgVSS/day)

$Q_{\text{εισροής}}$ μέση ημερήσια παροχή (m³/day)

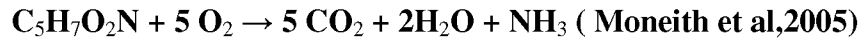
HRT υδραυλικός χρόνος παραμονής (days)

MLVSS η συγκέντρωση των αιωρούμενων πτητικών στερεών (kg/m³)

KD συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης δίνεται από τους
Black&Veatch

(1/day)

Για τη μετατροπή της ποσότητας της βιομάζας που αποσυντίθεται σε CO₂ είναι απαραίτητη η χημική αντίδραση που την περιγράφει. Η στοιχειακή σύνθεση της βιομάζας είναι C₅H₇O₂N (Bridle Consulting, 2007).



Ο λόγος της βιομάζας προς το CO₂ είναι 113: 5*44 που ισοδυναμεί με 1:1.947. Αυτό σημαίνει πως για την αποσύνθεση 1 kg βιομάζας παράγεται 1.947 kg CO₂.

$$\text{CO}_{2, \text{decayed}} = \text{X}_{\text{decayed}} * 1.947 \quad (5.2)$$

Επίσης, κατά την παραγωγή βιομάζας εκλύεται CO₂. Το μοντέλο Bridle πρώτα υπολογίζει την παρατηρούμενη απόδοση της βιομάζας.

$$\text{Y}_{\text{obs}} = \text{Y}/(1+\text{KD}*\text{SRT}) \quad (5.3)$$

Όπου,

Y_{obs} είναι η παρατηρούμενη απόδοση βιομάζας (kgVSS/kg BOD_{removed})

Y είναι η απόδοση που καθορίζει το μοντέλο Bridle (kgVSS/kg BOD_{removed})

SRT ο χρόνος παραμονής της ιλύος (days)

Η καθαρή βιομάζα που παράγεται υπολογίζεται από:

$$\text{X}_{\text{net,produced}} = \text{Y}_{\text{obs}} * \text{BOD}_{\text{ox}} \quad (5.4)$$

Όπου,

X_{net,produced} είναι η καθαρή βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα (kgVSS/day)

Το BOD που οξειδώνεται υπολογίζεται από:

$$\text{BOD}_{\text{ox}} = \text{Q}_{\text{εισρ}} * ((100\% - \text{BOD}_{\text{rem}})/100\% * \text{BOD}_{\text{εισρ}} - \text{BOD}_{\text{εκρ}}) \quad (5.5)$$

Όπου,

BOD_{ox} είναι η ποσότητα BOD που οξειδώνεται (kgBOD/day)

BOD_{rem} είναι το ποσοστό που απομακρύνεται στην 1βάθμια επεξεργασία (%)

BOD_{εισρ} είναι η τιμή του BOD κατά την εισροή στη MEYA (kg BOD/m³)

BOD_{εκρ} είναι η τιμή του BOD κατά την εκροή από τη ΜΕΥΑ (kg BOD/m³)

Μαζί με την καθαρή βιομάζα που παράγεται το ποσοστό του οξυγόνου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$R_{O_2} = BOD_{ox}/(f) - 1,42 * X_{net,produced} \quad (5.6)$$

Όπου,

R_{O₂} είναι το ποσοστό κατά το οποίο η βιομάζα χρησιμοποιεί το οξυγόνο (kgO₂/day)

f είναι η αναλογία BOD₅_BOD_u . (-)

Με την ποσότητα του οξυγόνου που χρησιμοποιείται γνωστή η ποσότητα του CO₂ που παράγεται ανά ημέρα υπολογίζεται από τη σχέση:

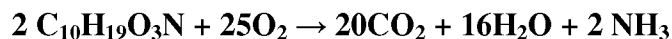
$$CO_{2, BOD_{ox}} = R_{O_2} * CO_{2fromBOD_{ox}} \quad (5.7)$$

Όπου,

CO_{2, BOD_{ox}} είναι η ποσότητα CO₂ που παράγεται ανά ημέρα κατά την

οξειδωση του BOD (kgCO₂/day)

CO_{2fromBOD_{ox}} είναι ένας συντελεστής μετατροπής η οποίος προέρχεται από τη χημική αντίδραση στην οποία C₁₀H₁₉O₃N είναι η στοιχειακή σύνθεση του BOD:



Η αναλογία μεταξύ O₂ και CO₂ είναι 25*32 : 20*44 το οποίο είναι 1 : 1.1. Άρα, για 1kg O₂ εκλύονται στην ατμόσφαιρα 1.1 kg CO₂.

Το τρίτο και τελευταίο βήμα της βιολογικής επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση του αζώτου. Κατά την απομάκρυνση αμμωνίας, καταναλώνεται CO₂ το οποίο οδηγεί σε πίστωση CO₂ στην ΜΕΥΑ. Κατά την απονιτροποίηση εκλύονται στην ατμόσφαιρα CO₂ και N₂O.

Η ποσότητα αζώτου στη βιομάζα υπολογίζεται από τη στοιχειακή σύνθεση. Το μοριακό βάρος του αζώτου (N) είναι 14 και της βιομάζας 113 όπως αναφέραμε και παραπάνω. Άρα, η ποσότητα αζώτου που έχει ενσωματωθεί στην καθαρή παραγόμενη βιομάζα είναι:

$$N_{biomass} = X_{net,produced} * 14/113 \quad (5.8)$$

Όπου,

N_{biomass} είναι η ποσότητα του αζώτου στη βιομάζα (kgN/day)

Η ποσότητα αμμωνίας που οξειδώνεται υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NH_{\text{ox}} = Q_{\text{εισ}} * (TKN_{\text{p.c. effluent}} - TKN_{\text{effluent}}) - N_{\text{biomass}} \quad (5.9)$$

Όπου,

$TKN_{\text{p.c. effluent}}$ είναι το ολικό άζωτο στην εκροή από την 1-βάθμια επεξεργασία (kgN/m³)

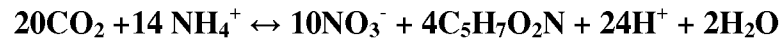
TKN_{effluent} είναι το ολικό άζωτο στην εκροή (kgN/m³)

Η πίστωση CO₂ από την οξείδωση της αμμωνίας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$CO_{2, \text{credit}} = NH_{\text{ox}} * CO_{2, \text{consumed}} \quad (5.10)$$

Όπου,

το $CO_{2, \text{consumed}}$ βάση στοιχειομετρίας είναι:



Η αναλογία CO₂ προς N είναι 20*44 : 14*14 το οποίο ισούται με 4.49 : 1 και επομένως η ποσότητα CO_{2, consumed} είναι 4.49 kg CO₂ για 1 kg N.

Η ποσότητα CO₂ που σχηματίζεται κατά τη βιολογική επεξεργασία υπολογίζεται με τον υπολογισμό αρχικά, της ποσότητας αζώτου που απομακρύνεται.

$$N_{\text{removed}} = Q_{\text{εισ}} * (TN_{\text{p.c. effluent}} - TN_{\text{effluent}}) - N_{\text{biomass}} \quad (5.11)$$

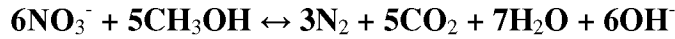
Όπου,

N_{removed} είναι το άζωτο που αφαιρείται από τα βακτήρια (kgN/day)

$TN_{\text{p.c. effluent}}$ είναι το ολικό άζωτο στην εκροή από την 1-βάθμια επεξεργασία (kg/m³)

TN_{effluent} είναι το ολικό άζωτο στην εκροή των λυμάτων από τη μονάδα (kg/m³)

Με τη στοιχειομετρία η ποσότητα CO₂ που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης αζώτου μπορεί να υπολογιστεί, υποθέτοντας ότι η μεθανόλη είναι η πηγή άνθρακα.



Η αναλογία CO₂ προς N είναι 6*14 : 5*44, το οποίο ισούται με 1 : 2.62. Παρόλα αυτά, αυτό δεν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό επειδή οι απονιτροποιητές χρησιμοποιούν το BOD ως πηγή άνθρακα.

Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) που εκλύεται κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης του αζώτου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{emission}} = Q_{\text{εισ}} * \text{TN}_{\text{p.c.effluent}} * R_{\text{N}_2\text{O,generation}} \quad (5.12)$$

Όπου,

N₂O_{emission} είναι η ποσότητα N₂O που εκλύεται (kgN₂O/day)

R_{N₂O,generation} είναι ο συντελεστής μετατροπής του αζώτου για την τροφοδοσία του N₂O σε kg N₂O/kg N τροφή.

Το ισοδύναμο CO₂ του N₂O μπορεί να υπολογιστεί βάση των μετρήσεων όπως δόθηκαν από το IPCC:

$$\text{CO}_{2,\text{equivalent}} = \text{N}_2\text{O}_{\text{emission}} * \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} \quad (5.13)$$

Όπου,

GWP_{N₂O} είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (IPCC,2007)

(kg CO₂/kg N₂O)

CO_{2,equivalent} είναι το ισοδύναμο των εκπομπών N₂O σε CO₂

(kg CO₂/day)

Η συνολική ποσότητα των εκπομπών CO₂ σε kg CO₂/day προκύπτει τελικά από τη σχέση:

$$\text{CO}_{2,\text{biotreatment}} = \text{CO}_{2,\text{decay}} + \text{CO}_{2,\text{BODox}} - \text{CO}_{2,\text{credit}} + \text{CO}_{2,\text{equivalent}} \quad (5.14)$$

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΩΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Στη συνέχεια το μοντέλο Bridle υπολογίζει το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κατά την επεξεργασία της ιλύος. Η επεξεργασία της λυματολάσπης χωρίζεται σε 2 μέρη: τη χώνευση και την επαναχρησιμοποίηση.

Κατά τη χώνευση της ιλύος εκλύεται στην ατμόσφαιρα τόσο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) όσο και μεθάνιο (CH₄). Το μοντέλο Bridle αρχίζει υπολογίζοντας την ποσότητα της ιλύος που σχηματίζεται σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η ποσότητα της ιλύος που οδηγείται στη διαδικασία της χώνευσης μπορεί να υπολογιστεί και από τον υπολογισμό του βιοαερίου που σχηματίζεται. Με την ποσότητα του βιοαερίου γνωστή η ποσότητα του CO₂ και του CH₄ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\text{Sludge}_{\text{primary mass}} = Q_{\text{εισ}} * \text{TSS}_{\text{εισ}} * \text{TSS}_{\text{rem}} \quad (5.15)$$

Όπου,

$\text{Sludge}_{\text{primary mass}}$ είναι η ποσότητα της ιλύος. Πρωτογενής ιλύς προέρχεται από σωματίδια τα οποία είναι στην είσοδο της MEYA (kg sludge/day)
 $\text{TSS}_{\text{εισ}}$ είναι η ποσότητα των ολικών στερεών στην εισροή στη MEYA (kg/m³)
 TSS_{rem} είναι το ποσοστό των ολικών στερεών που απομακρύνεται (-)

Στη συνέχεια υπολογίζεται η δευτεροβάθμια ιλύς από τη βιομάζα που σχηματίζεται:

$$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}} = X_{\text{net,produced}} / \text{VS}_{\text{secondary sludge}} - Q_{\text{εισ}} * \text{TSS}_{\text{εκρ}} + \text{TSS}_{\text{εισ}} * Q_{\text{εισ}} * (1 - \text{TSS}_{\text{rem}}) * 0.27 \quad (5.16)$$

Όπου,

$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}}$ είναι η ιλύς (kg/day)
 $\text{VS}_{\text{secondary sludge}}$ είναι μια παράμετρος που περιγράφει το κλάσμα VSS στη δευτεροβάθμια ιλύς (-)
 $\text{TSS}_{\text{εκρ}}$ είναι η ποσότητα των ολικών στερεών στην εκροή (kg TSS/m³)
 0.27 είναι το ποσοστό της λάσπης που δεν ανακυκλώνεται (-)

Η ιλύς που πηγαίνει στο χωνευτή (Sludge_{total}) είναι το άθροισμα της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας ιλύς. Για την συνολική ιλύ τα VSS υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\mathbf{VS_{combined\ sludge} = (Sludge_{primary\ mass} * VS_{primary\ sludge} + Sludge_{secondary\ mass} * VS_{secondary\ sludge}) / Sludge_{total}} \quad (5.17)$$

Όπου,

VS_{combined sludge} είναι τα πτητικά στερεά στην ιλύ εκφρασμένο ως ποσοστό TS (-)

VS_{primary sludge} είναι το ποσοστό VSS στην πρωτοβάθμια ιλύ (-)

Τα VS που πηγαίνουν στο χωνευτή είναι :

$$\mathbf{VS_{digestion} = Sludge_{total} * VS_{combined\ sludge}} \quad (5.18)$$

Το ποσοστό των VS_{digestion} που καταστρέφεται είναι:

$$\mathbf{VS_{destroyed} = VS_{digestion} * VS_{destruction}} \quad (5.19)$$

Όπου,

VS_{destroyed} είναι το τμήμα των VS που καταστρέφεται (kg/day)

VS_{destruction} το ποσοστό των VS που καταστρέφεται (-)

Η ιλύς που χωνεύεται υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\mathbf{Sludge_{digested} = Sludge_{total} - VS_{destroyed}} \quad (5.20)$$

Όπου,

Sludge_{digested} είναι η χωνευμένη ιλύς (kg/day)

Στη συνέχεια η μάζα του βιοαερίου μπορεί να υπολογιστεί ως η διαφορά της χωνευμένης ιλύος από την συνολική:

$$\mathbf{Biogas_{mass} = Sludge_{total} - Sludge_{digested}} \quad (5.21)$$

Για τη μετατροπή της ιλύος σε βιοαέριο ένας συντελεστής μετατροπής είναι απαραίτητος. Σύμφωνα με το μοντέλο Bridle 1 kg ιλύος ισοδυναμεί με 1 kg βιοαερίου.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η συγκέντρωση του μεθανίου:

$$\text{Conc}_{\text{CH}_4 \text{ biogas}} = (100 * \text{Biogas}_{\text{CH}_4 \text{ content}} * \text{MW}_{\text{CH}_4} / \text{MV}) / (\text{Biogas}_{\text{CH}_4 \text{ content}} * \text{MW}_{\text{CH}_4} / \text{MV} + (100 - \text{Biogas}_{\text{CH}_4 \text{ content}}) * \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MV}) \quad (5.22)$$

Όπου,

$\text{Conc}_{\text{CH}_4 \text{ biogas}}$ είναι το ποσοστό μάζας του μεθανίου στο βιοαέριο (%)

$\text{Biogas}_{\text{CH}_4 \text{ content}}$ είναι το ποσοστό όγκου του μεθανίου στο βιοαέριο (%)

MW_{CH_4} είναι το μοριακό βάρος του μεθανίου (g/mol)

MV είναι ο όγκος ενός mole σε θερμοκρασία 20 C (m^3/mol)

MW_{CO_2} είναι το μοριακό βάρος του διοξειδίου του άνθρακα (g/mol)

Με το ποσοστό της μάζας μεθανίου γνωστό η ποσότητα του CH_4 αερίου υπολογίζεται:

$$\text{Biogas}_{\text{CH}_4} = \text{Biogas}_{\text{mass}} * \text{Conc}_{\text{CH}_4 \text{ biogas}} / 100\% \quad (5.23)$$

Έτσι, το CO_2 αέριο είναι το υπόλοιπο του βιοαερίου, άρα:

$$\text{Biogas}_{\text{CO}_2} = \text{Biogas}_{\text{mass}} - \text{Biogas}_{\text{CH}_4} \quad (5.24)$$

Όπου,

$\text{Biogas}_{\text{CO}_2}$ είναι η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (kg CO_2/day)

Στο μοντέλο Bridle ένα τμήμα του βιοαερίου καίγεται. Άρα εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα:

$$\text{CO}_{2\text{combustion}} = (\text{Biogas}_{\text{boiler}} + \text{Biogas}_{\text{flare}}) * (\text{Biogas}_{\text{CO}_2} + \text{Biogas}_{\text{CH}_4} * \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MW}_{\text{CH}_4}) / 100\% \quad (5.25)$$

Όπου,

$\text{CO}_{2\text{combustion}}$ είναι η ποσότητα CO_2 που παράγεται κατά την καύση (kg CO_2/day)

$\text{Biogas}_{\text{boiler}}$ είναι το ποσοστό του βιοαερίου που πάει στο λέβητα (%)

$\text{Biogas}_{\text{flare}}$ είναι το ποσοστό του βιοαερίου που καίγεται στον πυρσό καύσης (%)

Ένα άλλο μέρος του βιοαερίου πάει στη μηχανή:

$$\mathbf{CO_{2engine} = Biogas_{engine} * (Biogas_{CO_2} + Biogas_{CH_4} * MW_{CO_2}/MW_{CH_4}) / 100 \%} \quad (5.26)$$

Όπου,

$CO_{2engine}$ είναι η ποσότητα CO_2 που παράγει ο κινητήρας (kg CO_2 /day)

$Biogas_{engine}$ είναι το ποσοστό του βιοαερίου που πάει στον κινητήρα (%)

Το μοντέλο Bridle επίσης θεωρεί ότι ένα μέρος του βιοαερίου διαρρέει:

$$\mathbf{CO_{2leak} = Biogas_{leak} * ((Biogas_{CO_2} + Biogas_{CH_4} * GWP_{CH_4}) / 100 \%)} \quad (5.27)$$

Όπου,

CO_{2leak} είναι η ποσότητα CO_2 που θεωρείται ότι διαρρέει (kg CO_2 /day)

$Biogas_{leak}$ είναι το ποσοστό του βιοαερίου που θεωρείται ότι διαρρέει (%)

GWP_{CH_4} είναι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (IPCC,2007) (kg CO_2 /kg CH_4)

Η συνολική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου κατά την επεξεργασία της ύλης είναι:

$$\mathbf{CO_{2total\ sludge} = CO_{2\ combustion} + CO_{2\ engine} + CO_{2leak}} \quad (5.28)$$

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Όταν προστίθενται χημικά σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αυτό έχει ως συνέπεια την έκλυση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Το μοντέλο Bridle υπολογίζει τις εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα για τη χρήση 5 διαφορετικών χημικών: ασβέστης, χλωρίνη, καυστικά, υποχλωρικά, και πολυμερή. Στη ΜΕΥΑ Λάρισας η απολύμανση των υγρών αποβλήτων πριν την εκροή τους στον Πηνειό ποταμό γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο (NAOCL).

Επομένως ο υπολογισμός των εκπομπών CO_2 γίνεται ως εξής:

$$\mathbf{CO_{2hypoclorite} = Hypoclorite_{use} * Hypoclorite_{CO_2} / 1000} \quad (5.29)$$

Όπου,

$CO_{2,hypochlorite}$ είναι η ποσότητα CO_2 που εκπέμπονται εξαιτίας της χρήσης υποχλωριώδες νατρίου (kg CO_2 /day)

$Hypochlorite_{use}$ είναι η ποσότητα υποχλωριώδους νατρίου που χρησιμοποιείται (kg/day)

$Hypochlorite_{CO_2}$ είναι η ποσότητα kg CO_2 που εκλύεται στην ατμόσφαιρα όταν χρησιμοποιείται ένα τόννος υποχλωριώδους νατρίου (kg CO_2 /tonne NAOCL)

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το μοντέλο Bridle υπολογίζει μόνο την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για τον αερισμό. Η ενέργεια που χρειάζεται για τις υπόλοιπες λειτουργίες της εγκατάστασης λαμβάνεται ως δεδομένη. Η ποσότητα των KW μετατρέπεται σε CO_2 μέσω ενός συντελεστή μετατροπής.

Για να υπολογιστεί η ενέργεια που απαιτείται για τον αερισμό η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται στη δεξαμενή υπολογίζεται ως εξής:

$$O_{2,respiration} = X_{decayed} * O_{2VSS} \quad (5.30)$$

Όπου,

$O_{2,respiration}$ είναι η ποσότητα O_2 που χρειάζεται για την αναπνοή της χωνευμένης βιομάζας (kg O_2)

O_{2VSS} βάση στοιχειομετρίας είναι ο λόγος VSS για 1 kg O_2 (kg O_2 /kg VSS)



Επομένως, προκύπτει 113:5*32 ισούται με 1:1.416

Το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση του BOD έχει ήδη υπολογιστεί. Στη συνέχεια υπολογίζεται το οξυγόνο που απαιτείται για τη νιτροποίηση ως εξής:

$$O_{2,nitrification} = NH_{ox} * O_{2NH} \quad (5.31)$$

Όπου,

$O_{2,nitrification}$ είναι η ποσότητα O_2 που απαιτείται για τη νιτροποίηση (kg O_2 /day)

NH_{ox} είναι η ποσότητα αμμωνίας που οξειδώνεται (kg N/day)

O_{2NH} είναι βάση στοιχειομετρίας είναι ο λόγος N για 1 kg O_2 (kg O_2 /kg N)



Όπως φαίνεται και από την αντίδραση, η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται για την νιτροποίηση του αζώτου είναι $1.83 \cdot 32 : 14$ ισούται με 1:4.18. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με το μοντέλο Bridle η ποσότητα O_2 που καταναλώνεται τίθεται ίση με 4.32 και για αυτό αυτή η τιμή χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς.

Ωστόσο, υπάρχει και ένα κέρδος για τη μονάδα κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης, το οποίο προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{O}_{2,\text{denitrification}} = \text{N}_{\text{removed}} * \text{O}_{2\text{N}} \quad (5.32)$$

Όπου,

$\text{O}_{2,\text{denitrification}}$ είναι η ποσότητα O_2 που καταναλώνεται για την απονιτροποίηση (kg O_2 / day)

$\text{O}_{2\text{N}}$ είναι ο στοιχειομετρικός παράγοντας του οξυγόνου που καταναλώνεται για το άζωτο (kg O_2 /kg N)

Το ολικό οξυγόνο που χρειάζεται είναι:

$$\text{O}_{2,\text{total}} = \text{O}_{2,\text{respiration}} + \text{O}_{2,\text{nitrification}} - \text{O}_{2,\text{denitrification}} \quad (5.33)$$

Η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται οι οργανισμοί δεν είναι το ίδιο με την ποσότητα του οξυγόνου στη δεξαμενή. Προστίθεται επιπλέον οξυγόνο:

$$\text{O}_{2,\text{sat coef}} = 51.6 * \text{C}_{\text{s}20} / (31.6 + \text{T}) \quad (5.34)$$

Όπου,

$\text{O}_{2,\text{sat coef}}$ είναι ο συντελεστής κορεσμού του οξυγόνου (mg/l)

$\text{C}_{\text{s}20}$ είναι ο συντελεστής κορεσμού για το καθαρό νερό στους 20 °C (mg/l)

T είναι η θερμοκρασία (C)

$$\text{Field oxygen transfer coefficient} = \text{SOTR} * \alpha * (\beta * \text{O}_{2,\text{sat coef}} - \text{Conc}_{\text{O}_2 \text{ in basin}}) * \text{C}_{\text{s}20} \quad (5.35)$$

Όπου,

SOTR είναι ένας συντελεστής μεταφοράς οξυγόνου (kg O₂ / kWh)

α είναι η απόδοση αερισμού (-)

β είναι διορθωτικός συντελεστής για τη διαλυτότητα του οξυγόνου (-)

Conc_{CO₂ in basin} είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου στη δεξαμενή (mg/L)

Η ποσότητα της ενέργειας υπολογίζεται:

$$P_{\text{aeration}} = O_{2,\text{total}} / (\text{Field oxygen transfer coefficient} * 24) \quad (5.36)$$

Όπου,

P_{aeration} είναι η ενέργεια που απαιτείται για τον αερισμό (Kw)

Με την ποσότητα της ενέργειας που χρειάζεται γνωστή η ποσότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να υπολογιστεί. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις μελέτης του μοντέλου Bridle προέρχεται από σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καύσης άνθρακα, με εκπομπές 0.94kg CO₂/kWh. Ο άνθρακας είναι αυτό το καύσιμο που ρυπαίνει περισσότερο από όλα την ατμόσφαιρα και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού (Bani Shabadi et al.,2009 και Keller & Hartley,2003).

$$CO_{2 \text{ aeration}} = P_{\text{aeration}} * CO_{2\text{kWh}} * 24 \quad (5.37)$$

Όπου,

CO_{2 aeration} είναι η ποσότητα CO₂ που εκλύεται για τη χρήση ενέργειας για αερισμό (kgCO₂/day)

CO₂kWh είναι συντελεστής μετατροπής (kgCO₂/kWh)

Η ενέργεια χρησιμοποιείται και για άλλους σκοπούς εκτός από τον αερισμό. Στο μοντέλο Bridle η ενέργεια αυτή δίνεται ως δεδομένη:

$$CO_{2 \text{ non aeration}} = P_{\text{non aeration}} * CO_{2\text{kWh}} * 24 \quad (5.38)$$

Όπου,

CO_{2 non aeration} είναι το CO₂ που εκλύεται με τη χρήση ενέργειας για σκοπούς πέρα του αερισμού (kg CO₂/day)

$P_{\text{non aeration}}$ είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς πέρα του αερισμού (KW)

Οι ολικές εκπομπές CO_2 είναι το άθροισμα της ποσότητας $\text{CO}_2_{\text{aeration}}$ συν την ποσότητα $\text{CO}_2_{\text{non aeration}}$:

$$\text{CO}_2_{\text{total}} = \text{CO}_2_{\text{aeration}} + \text{CO}_2_{\text{non aeration}} \quad (5.39)$$

3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Εκτός από την παραγωγή CO_2 που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, το μοντέλο Bridle υπολογίζει και το κέρδος που προσφέρει στη ΜΕΥΑ η χρήση του βιοαερίου που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος, για την κάλυψη αναγκών της μονάδας. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας αντί να χρησιμοποιείται ενέργεια από το δίκτυο. Προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από το βιοαέριο, χρειάζεται να υπολογιστεί η GCV (gross calorific value). GCV ενός καυσίμου είναι η ποσότητα θερμότητας που παράγεται από την καύση του. Η διαδικασία της καύσης παράγει υδρατμούς και μερικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση της ποσότητας της θερμότητας που περιέχεται στον ατμό του νερού με συμπύκνωσή της. Με τη GVC το νερό της καύσης συμπυκνώνεται εξ ολοκλήρου και η θερμότητα που περιέχεται στον ατμό του νερού ανακτάται.

Η GVC της συνδυασμένης ιλύος (1βάθμια η 2βάθμια ιλύς) δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{GVC}_{\text{combined sludge}} = \text{VS}_{\text{combined sludge}} * 0.263-1.535 \quad (5.40)$$

Όπου,

$\text{GVC}_{\text{combined sludge}}$ είναι η ποσότητα θερμότητας που παράγεται από την καύση της ιλύος (MJ/kg)

Οι αριθμοί 0.263-1.535 προέρχονται από τα δεδομένα του μοντέλου Bridle

Ομοίως, η GCV της χωνευμένης ιλύος είναι:

$$\mathbf{GVC_{digested\ sludge} = VS_{combined\ sludge} * 0.263 - 1.535} \quad (5.41)$$

Η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί υπολογίζεται από:

$$\mathbf{P_{generated} = (Sludge_{total} * GVC_{combined\ sludge} - Sludge_{digested} * GVC_{digested\ sludge}) * 11.57 * efficiency_{gas\ engine} * Biogas_{engine} / (100 * 1000)} \quad (5.42)$$

Όπου,

$P_{generated}$ είναι η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί (KW)

$efficiency_{gas\ engine}$ είναι η αποδοτικότητα της μηχανής, 43% (%)

(Saravanamuttoo et. al., 2009)

Η ποσότητα της δυνητικής ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να υπολογιστεί:

$$\mathbf{REC = P_{generated} * 24} \quad (5.43)$$

Άρα η πίστωση CO₂ στη ΜΕΥΑ από τη χρήση του βιοαερίου προκύπτει από:

$$\mathbf{CO_{2credit\ biogas} = P_{generated} * CO_{2kWh} * 24} \quad (5.44)$$

3.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ GHG ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Μετά την επεξεργασία της η ιλύς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους. Το μοντέλο Bridle δίνει 4 διαφορετικούς τρόπους επαναχρησιμοποίησης: επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία, στα δάση, στη κομποστοποίηση και σε άλλους τομείς. Για κάθε ΜΕΥΑ διαφορετικοί συντελεστές της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος μπορούν να δοθούν. Πρώτα από όλα, υπολογίζεται η ποσότητα της ιλύος που δίνεται να επαναχρησιμοποιηθεί. Στη συνέχεια, η ποσότητα του άνθρακα στην είναι απαραίτητη για να υπολογιστεί πόσος άνθρακας θα μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Ο συντελεστής της των πτητικών στερεών (VS) στη χωνευμένη ιλύ είναι:

$$\mathbf{Fraction_{VSS, digested\ sludge} = (VS_{digestion} - VS_{destroyed}) / Sludge_{digested}} \quad (5.45)$$

Στη συνέχεια, ο άνθρακας στην ιλύ εκτιμάται από μια εμπειρική σχέση με σκοπό να υπολογιστεί πόση ποσότητα CO₂ παράγεται:

$$C_{\text{sludge}} = 0.3962 * VS_{\text{digested sludge}} * 100\% + 9.4548 \quad (5.46)$$

Όπου,

$$C_{\text{sludge}} \text{ είναι το ποσοστό άνθρακα στην ιλύ} \quad (\%)$$

Οι αριθμοί 0.3962 και 9.4548 είναι από τα δεδομένα του μοντέλου Bridle

Με την ποσότητα του άνθρακα στην ιλύ γνωστή οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$CO_2 \text{ carbonsludge agri} = MW_{CO_2}/MW_C * C_{\text{sludge}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Carbon mineralization} * \text{Fraction}_{\text{agriculture}}/1000000 \quad (5.47)$$

Όπου,

CO₂ carbonsludge agri είναι η εκπομπή αερίων CO₂ κατά την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία (kg CO₂/day)

MW_C είναι το μοριακό βάρος του άνθρακα (g/mol)

Carbon mineralization είναι το ποσοστό άνθρακα που μετατρέπεται σε CO₂ (%)

Fraction_{agriculture} είναι η αναλογία ιλύος που επαναχρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς (-)

Η ιλύς χρειάζεται να μεταφερθεί από τη μονάδα στα σημεία εκείνα όπου χρησιμοποιείται ως λίπασμα. Φορτηγά χρησιμοποιούνται ώστε να μεταφερθεί η ιλύς και κατά τη μεταφορά αυτή συντελείται έκλυση αερίων του θερμοκηπίου λόγω της καύσης του καυσίμου:

$$CO_2 \text{ trucking agri} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{agriculture}} * \text{Trucking emissions} * \text{Distance}_{\text{agriculture site}} * 2 * 100 / (V_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 100000) \quad (5.48)$$

Όπου,

$CO_{2\text{trucking agri}}$ είναι η ποσότητα αερίων CO_2 από τη χρήση φορτηγών για τη μεταφορά της ιλύος από τη ΜΕΥΑ στα σημεία απόθεσης και πίσω (kg CO_2 /day)

Trucking emissions είναι η ποσότητα CO_2 που εκλύεται ανά χιλιόμετρο (kg CO_2 /km)

$Distance_{\text{agriculture site}}$ είναι η απόσταση από τη ΜΕΥΑ στα αγροτικά σημεία (km)

V_{truck} είναι η ποσότητα ιλύος που μπορεί να μεταφέρει το φορτηγό (m^3)

$solids_{\text{cake}}$ είναι το ποσοστό στερεών στην ιλύ (%)

Τα επιπλέον 1000 με τα οποία διαιρείται η $Sludge_{\text{digested mass}}$ είναι η πυκνότητα της ιλύος (kg/ m^3)

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΛΑΡΙΣΑΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η επεξεργασία των λυμάτων εφαρμόζεται σήμερα ως ένα απαραίτητο μέτρο για τον περιορισμό των επιπτώσεων από τη διάθεση τους σε διάφορους αποδέκτες. Ο όρος λύματα περιλαμβάνει τα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) αλλά και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης (αστικά λύματα). Τα οικιακά και τα αστικά λύματα παρουσιάζουν συνήθως μικρές μόνο διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά τους και αντιμετωπίζονται ως μια κοινή κατηγορία υγρών αποβλήτων όσον αφορά την επεξεργασία τους. Η επεξεργασία που είναι απαραίτητη, εξαρτάται τόσο από την παροχή των λυμάτων όσο και από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διασφαλίζονται από τον αποδέκτη διάθεσής τους (Metcalf and Eddy, 2003).

Η λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ποιότητα της εισροής αλλά από τις διακυμάνσεις που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων. Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν την απόδοση των διαφορετικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (Νταμήτρου κ.α., 2010).

Η πόλη της Λάρισας διαθέτει πλήρες αποχετευτικό δίκτυο που καλύπτει ολόκληρο το σχέδιο πόλης. Το αποχετευτικό δίκτυο αποτελείται από ορισμένους κεντρικούς συλλεκτές και μεγάλο αριθμό από συμβάλλοντες σε αυτούς δευτερεύοντες και τριτεύοντες αγωγούς οι οποίοι μαζί και με 4 ενδιάμεσα αντλιοστάσια συγκεντρώνουν τα λύματα της πόλης στο κεντρικό αντλιοστάσιο πλησίον του Πηνειού. Από εκεί τα λύματα οδηγούνται μέσω κεντρικού αγωγού προς την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Λάρισας. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Λάρισας λειτουργεί από το 1991 με αρχική δυναμικότητα 110.000 ατόμων ενώ πρόσφατα έγινε επέκταση και αναβάθμιση της μονάδας με τελική δυναμικότητα 210.000 ατόμων που καλύπτει τις ανάγκες τουλάχιστον μέχρι το 2030. Η εγκατάσταση δέχεται το σύνολο των λυμάτων της Λάρισας καθώς και βυτία με βοθρολύματα από εκτός σχεδίου περιοχές, βιοτεχνίες, αποφρακτικά του δήμου, κλπ. Η περιγραφή της μονάδας

επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που ακολουθεί στηρίζεται σχεδόν εξολοκλήρου στα δεδομένα της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Λάρισας, όπως αυτά περιγράφηκαν στη μελέτη « Διερεύνηση για Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Νερών και Ιλύος της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Λάρισας».

Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που απομακρύνει τις επικίνδυνες ουσίες από τα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Ο αντικειμενικός σκοπός της επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων είναι η ασφαλής διάθεση τους σε κάποιον αποδέκτη χωρίς κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων ή την πρόκληση ρύπανσης στο φυσικό περιβάλλον (Νταμήτρου κ.α.,2010).

Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με έναν συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών μέσω των οποίων δεσμεύονται και αφαιρούνται οι ρύποι από τη μάζα του νερού ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη συνέπειες (Νταμήτρου κ.α.,2010)..

4.2 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

4.2.1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Τα λύματα από το αποχετευτικό δίκτυο της πόλης συγκεντρώνονται στο κεντρικό αντλιοστάσιο αποχέτευσης και διοχετεύονται προς την εγκατάσταση μέσω αγωγού βαρύτητας διατομής Φ1500, που φτάνει μέχρι το φρεάτιο εισόδου-εκτροπής. Λίγο πριν την εγκατάσταση συμβάλει στον παραπάνω αγωγό ο παλαιότερος παντοροϊκός αγωγός διατομής Φ1100. Στο φρεάτιο εκτροπής η υπερβάλλουσα παροχή λόγω όμβριων εκτρέπεται μέσω υπερχειλιστή προς τον παρακαμπτήριο αγωγό διατομής Φ1500 που οδηγεί προς την τάφρο εκβολής στον Πηνειό (Αγγελάκης κ.α., 2005). Ένα άλλο κομμάτι λυμάτων, τα βοηρολύματα εισέρχεται στην μονάδα με διαφορετικό τρόπο, με ειδικά βυτία.

Εικόνα 4.1 – 4.2: Μονάδα επεξεργασίας βοθρολυμάτων και φίλτρο απόσμησης στη ΜΕΥΑ Λάρισας



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Επίσης, στη μονάδα εκτός από την επεξεργασία των βοθρολυμάτων σε ειδική διάταξη γίνεται και επεξεργασία των λυμάτων που προέρχονται από τα φρεάτια των δρόμων. Η συλλογή τους γίνεται με αποφρακτικά μηχανήματα του δήμου και ο λόγος που είναι απαραίτητη η επεξεργασία τους πριν την είσοδο στον βιολογικό καθαρισμό, είναι ότι περιέχουν μεγάλες ποσότητες στερεών (πέτρες, χώματα σκουπίδια και άλλα), οι οποίες επιφέρουν ζημιές και δυσκολίες σε όλη την βιολογική επεξεργασία. Για τον λόγο αυτό, υπάρχει ειδική διάταξη της εταιρείας HUBER η οποία συγκρατεί τα στερεά και τα αποθέτει σε κάδους, ενώ τα υγρά απόβλητα, απαλλαγμένα πλέον από αυτά συνεχίζουν προς την βιολογική τους επεξεργασία.

Εικόνα 4.3 – 4.4: Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων αποφρακτικών στη ΜΕΥΑ Λάρισας.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.2.2.ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα υγρά απόβλητα στη συνέχεια οδηγούνται στην μονάδα προεπεξεργασίας. Η προεπεξεργασία των αστικών λυμάτων αποτελεί ένα σημαντικό στάδιο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Εάν δεν σχεδιαστεί σωστά επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση των επόμενων σταδίων. Στόχος της προεπεξεργασίας είναι η αφαίρεση ευμεγέθους αιωρούμενου υλικού (εσχαρισμός), η αφαίρεση άμμου (αμμοσυλλογή) καθώς και η αντιμετώπιση διαφόρων άλλων συστατικών ή χαρακτηριστικών (όπως λιπών κ ελαίων) (Τσώνης,2004)..

Στην περιοχή της προεπεξεργασίας θα πρέπει να λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση πιθανών οσμών. Οι οσμές προέρχονται κυρίως από λύματα τα οποία έχουν μετατραπεί σε σηπτικά (π.χ. λύματα που έχουν παραμείνει επί μακρό χρονικό διάστημα στο σύστημα αποχέτευσης ή και από βοθρολύματα που τροφοδοτούνται στην είσοδο της εγκατάστασης). Επίσης οσμές ενδέχεται να προέρχονται από τα εσχαρίσματα καθώς και από την ελαφρά ανάδευση των λυμάτων καθώς διέρχονται από τις διάφορες διατάξεις στην κεφαλή της εγκατάστασης (περιοχή προεπεξεργασίας).

Συγκεκριμένα, στην είσοδο της μονάδας προεπεξεργασίας υπάρχει αυτόματη εσχάρα κατακόρυφου τύπου (50 mm). Η εσχάρα αυτή που παρεμποδίζει τη δίοδο, διαμέσου των ανοιγμάτων της, υλικού με διαστάσεις μεγαλύτερες από 50mm. Το υλικό κατακρατείται στην επιφάνεια των εσχάρων και απομακρύνεται κατά διαστήματα για να αποφεύγεται η έμφραξη (βούλωμα) των ανοιγμάτων. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται με μηχανικά μέσα (μηχανικά καθαριζόμενες εσχάρες)(ΔΕΥΑΛ,2005).

Στη συνέχεια, η ποσότητα που διέρχεται από την εσχάρα οδηγείται στο αντλιοστάσιο ανύψωσης. Εκεί υπάρχουν πέντε αντλητικές μονάδες, τύπου Αρχιμήδη, παροχής 1.080 m³/ώρα που ανυψώνουν τα εισερχόμενα λύματα κατά 7,0 m.

Τα λύματα μετά την ανύψωσή τους οδηγούνται στις εγκαταστάσεις προκαταρκτικής επεξεργασίας, που περιλαμβάνουν **εσχαρισμό, εξάμμιση-λιποσυλλογή** και μέτρηση παροχής.

Η εγκατάσταση εσχαρισμού αποτελείται από τρία κανάλια με τρεις αυτοκαθαριζόμενες εσχάρες (15 mm). Για την συμπίεση των εσχαρισμάτων, χρησιμοποιείται συμπιεστής. Παρατηρούμε ότι στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται μέσες εσχάρες (5mm έως 40mm) ενώ πριν την ανύψωσή τους χρησιμοποιείται χονδρή εσχάρα (40 έως 150mm).

Εικόνα 4-5: Ανυψωτικοί κοχλίες τύπου Αρχιμήδη στην ΕΕΛ Λάρισας



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Για την αποτελεσματική συγκράτηση της άμμου, των ψηφίδων και των λιπών-ελαίων, υπάρχουν τρεις παράλληλες δεξαμενές αμμοσυλλογής - λιποσυλλογής, χωρητικότητας 165 m^3 η κάθε μία. Σκοπός της εξάμμωσης είναι η απομάκρυνση των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής, με διάμετρο μεγαλύτερη από $200 \mu\text{m}$ που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο των σωληνώσεων, φθορά του ηλεκτρολογικού - μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλίες κλπ.) και μείωση της απόδοσης των επόμενων μονάδων επεξεργασίας.

Σκοπός της λιποσυλλογής είναι η απομάκρυνση των λιπών και ελαίων για την αποφυγή προβλημάτων στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας. Τα λίπη που επιπλέουν στις επιφάνειες λιποσυλλογής οδηγούνται σε παρακείμενο φρεάτιο λιπών (πλευρικά κανάλια) με επιφανειακά ξέστρα προσαρμοσμένα σε μεταλλική κινούμενη γέφυρα. Στο φρεάτιο συλλογής των λιπών γίνεται με κατάλληλη διάταξη σωλήνων "Γ" η απομάκρυνση των νερών, ενώ τα λίπη παραμένουν στην επιφάνεια και απομακρύνονται με απορρόφηση.

Εικόνα 4.6 – 4.7: Εσωτερικό και εξωτερικό μονάδας εξάμμωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Το όλο συγκρότημα των έργων εισόδου έχει στεγασθεί, σε κλειστό, εξαεριζόμενο και αποσμώμενο κτίριο, μεταλλικής κατασκευής. Η απόσμηση γίνεται με σύστημα απόσμησης εμποτισμένου ενεργού άνθρακα. Στην έξοδο της εξάμμωσης υπάρχουν τρία παράλληλα κανάλια τύπου Venturi, με εγκατεστημένους 3 μετρητές παροχής. Στην συνέχεια υπάρχει ο μεριστής παροχής που διαθέτει τέσσερα διαμερίσματα διανομής.

Εικόνα 4-8: Κανάλι τύπου Venturi για την μέτρηση παροχής στην ΕΕΛ Λάρισας.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.2.3. ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Με βάση την οδηγία 91/271/ΕΟΚ ονομάζεται πρωτοβάθμια επεξεργασία η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με φυσική ή και χημική μέθοδο με την οποία μειώνεται το BOD_5 των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων τουλάχιστον κατά 20% και τα αιωρούμενα στερεά τουλάχιστον κατά 50% (Κούγκολος, 2007). Η πρωτοβάθμια καθίζηση χρησιμοποιείται δηλαδή κυρίως για την αφαίρεση αιωρούμενων στερεών από τα αστικά λύματα αφού δεν πρόκειται για αφαίρεση διακεκριμένων σωματιδίων και ακόμη αναφερόμαστε σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών.

Στην ΕΕΛ Λάρισας χρησιμοποιούνται 3 κυκλικές δεξαμενές ακτίνας 25m και ωφέλιμου ύψους υγρού 2.6 m η κάθε μια, στις οποίες ισοκατανέμονται τα λύματα. Τα λύματα παραμένουν στις δεξαμενές για περίπου 30 λεπτά και στη συνέχεια η υπερχειλίση οδηγείται στις δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας. Η αφαίρεση της λάσπης γίνεται με κατάλληλα ξέστρα σάρωσης του πυθμένα και προώθησης της λάσπης σε μια κεντρική χοάνη απ' όπου γίνεται η άντλησή της. Η διάταξη αυτή στηρίζεται σε περιστρεφόμενη γέφυρα που διέρχεται από το κέντρο της δεξαμενής. Από τα φρεάτια εξόδου κάθε ζεύγους δεξαμενών, τα λύματα οδηγούνται προς το αντίστοιχο ζεύγος βιοαντιδραστήρων. Από τον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης, η ιλύς οδηγείται στον παχυντή βαρύτητας μέσω αντλιοστασίου.

Η μέση αφαίρεση αιωρούμενων στερεών στην καθίζηση είναι 65% και σε οργανικό φορτίο είναι 35%. Η προκύπτουσα λάσπη καλείται “πρωτοβάθμια” είναι μη χωνευμένη και περιέχει σημαντικό οργανικό φορτίο των λυμάτων.

Εικόνα 4-9: Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.3 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ (ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η δευτεροβάθμια ή αλλιώς βιολογική επεξεργασία αποσκοπεί κυρίως στην βιοχημική οξείδωση του οργανικού φορτίου των λυμάτων και οργανικής φύσης αποβλήτων με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών, ενώ ακόμα στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων. Ακόμα με τη βιολογική επεξεργασία μπορούν να αφαιρεθούν και άλλες ανεπιθύμητες ουσίες (Μαρκαντωνάτος,1990).

Κατά τη βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων αναπτύσσονται αερόβιοι μικροοργανισμοί οι οποίοι καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των λυμάτων αφενός σαν τροφή για την αναπαραγωγή τους και αφετέρου μέσω της βιοχημικής οξείδωσης χρησιμοποιούν την εκλυόμενη ενέργεια. Ακόμα εφόσον η παραμονή της βιολογικής ιλύος είναι αρκετή (πάνω από μέρες) αναπτύσσονται και αυτότροφοι μικροοργανισμοί (νιτροβακτηρίδια) τα οποία επιτελούν την βιοχημική οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρικά (νιτρικοποίηση) κάτω από αερόβιες συνθήκες. Τέλος, κάτω από ανοξικές συνθήκες (απουσίας οξυγόνου αλλά παρουσίας νιτρικών) μπορεί να επιτευχθεί από ορισμένους ετερότροφους μικροοργανισμούς η αναγωγή των νιτρικών σε αέριο άζωτο (απονιτρικοποίηση) οπότε επέρχεται μια συνολική μείωση των αζωτούχων ενώσεων.

4.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Από τις διάφορες παραλλαγές συστημάτων αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας αυτό που εφαρμόζεται συνηθέστερα στην ΕΕΛ Λάρισας είναι το Σύστημα ενεργού ιλύος με ημι-παρατεταμένο αερισμό. Η μέθοδος της ενεργού ιλύος (activated sludge) αναπτύχθηκε στο Μάντσεστερ της Αγγλίας το 1914 και ονομάστηκε έτσι λόγω της παραγωγής δραστικής λάσπης από μικροοργανισμούς, που έχει την ικανότητα της αερόβιας διάσπασης του οργανικού φορτίου των αποβλήτων (Κούγκολος,2007).

Οι μονάδες παρατεταμένου αερισμού συγκριτικά με τις συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη και σταθερή απόδοση αφαίρεσης του οργανικού φορτίου, μειωμένη παραγωγή λάσπης η οποία είναι ταυτόχρονα πλήρως σταθεροποιημένη. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ο υψηλός βαθμός οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά (νιτρικοποίηση) η οποία στη συνέχεια ανάγεται σε αέριο άζωτο κάτω από ανοξικές συνθήκες (απονιτρικοποίηση) καθώς και η αφαίρεση πολλών άλλων ανεπιθύμητων ρύπων (Τσώνης,2004).

Το οξυγόνο παρέχεται στις δεξαμενές αερισμού είτε από συστήματα επιφανειακού αερισμού (επιφανειακοί αεριστήρες, παλαιά μονάδα) είτε από συστήματα υποβρύχιας διάχυσης. Ακόμα θα πρέπει να υπάρχει συνεχής ανακυκλοφορία της παραγόμενης βιολογικής λάσπης έτσι ώστε να διατηρείται σταθερό το ποσοστό της βιομάζας εντός του αερισμού.

Η κατανάλωση ενέργειας για αερισμό αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του λειτουργικού κόστους σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (45%-60% σε συστήματα ενεργού ιλύος κλασσικού τύπου).

Η βιολογική επεξεργασία της ΕΕΛ Λάρισας περιλαμβάνει (Λασπίδου, 2013):

Βιοεπιλογέα στην είσοδο της βιολογικής επεξεργασίας εντός του οποίου επιστρέφεται η ανακυκλοφορία της βιολογικής λάσπης. Σκοπός του βιοεπιλογέα είναι η διατήρηση για μικρό χρόνο (15-20 λεπτά) αναερόβιων συνθηκών που εμποδίζει την ανάπτυξη των ανεπιθύμητων νηματοειδών μικροοργανισμών οι οποίοι προκαλούν σημαντικό αφρισμό στη βιολογική επεξεργασία.

Ανοξικό διαμέρισμα βρίσκεται υπό ανάδευση χωρίς αερισμό και στην είσοδο του ανακυκλώνεται μεγάλη ποσότητα μικτού υγρού από την έξοδο της βιολογικής επεξεργασίας πλούσιο σε νιτρικά. Εντός αυτού επικρατούν ανοξικές συνθήκες που ευνοούν την αναγωγή των νιτρικών σε άζωτο (απονιτρικοποίηση). Το ανοξικό διαμέρισμα είναι αναδευόμενο και έχει συνολικό όγκο 4.000 m³

Δεξαμενές αερισμού αποτελούν συνέχεια του ανοξικού τμήματος όπου λαμβάνουν χώρα αερόβιες βιοχημικές δράσεις όπως η οξείδωση των οργανικών, η οξείδωση της αμμωνίας (νιτριοποίηση) καθώς και η σύνθεση κυτταρικού υλικού (ενεργός ιλύς) και τέλος η μερική σταθεροποίηση της παραγόμενης ιλύος μέσω της ενδογενούς αναπνοής.

Για τη διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης βιομάζας εντός της δεξαμενής (περίπου 4-5.000 mg/l) γίνεται συνεχής ανακυκλοφορία αυτής από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης προς την είσοδο της βιολογικής επεξεργασίας (βιοεπιλογέα).

Για τον αερισμό της δεξαμενής υπάρχει σύστημα επιφανειακών αεριστήρων (παλαιά μονάδα) και σύστημα υποβρύχιου αερισμού αποτελούμενο από φυσητήρες

αέρα, σωληνώσεις και διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας στον πυθμένα της δεξαμενής. Η ποσότητα του παρεχόμενου οξυγόνου υπολογίζεται με βάση το σύνολο των αερόβιων δράσεων και παράλληλα μετράται συνεχώς με οξυγονόμετρα. Οι δεξαμενές αερισμού είναι ορθογωνικές αποτελούμενες από 4 παράλληλες γραμμές συνολικού όγκου 13.000m³. Ο χρόνος παραμονής των υγρών είναι 8-10 ώρες ενώ ο χρόνος παραμονής της ιλύος περίπου 12 ημέρες.

Εικόνα 4.10 – 4.11: Αερισμός κατά την διάρκεια μη λειτουργίας της μονάδας



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.3.2. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Η δευτεροβάθμια καθίζηση έχει ως σκοπό της την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών που δημιουργούνται από τη βιολογική δράση. Η τελική καθίζηση αποσκοπεί στο διαχωρισμό των υγρών από τη λάσπη δια της βαρύτητας κάτω από συνθήκες ηρεμίας.

Στην ΕΕΛ Λάρισας υπάρχουν 4 κυκλικές δεξαμενές καθίζησης διαμέτρου 37,0μ και βάθους στην περιφέρεια 3,10μ και στο κέντρο περίπου 4,50μ. Οι δεξαμενές διαθέτουν ημιδιαμετρική γέφυρα σάρωσης της λάσπης στον πυθμένα (νέα μονάδα) ή σύστημα υδραυλικής αναρρόφησης της καθιζάνουσας λάσπης (παλαιά μονάδα) που οδηγείται στον κεντρικό κώνο της δεξαμενής, καθώς και ξέστρο επιφάνειας για τα επιπλέοντα που οδηγούνται σε ειδική χοάνη. Τα υγρά μετά τη καθίζηση υπερχειλίζουν από περιμετρικό υπερχειλιστή και οδηγούνται στη δεξαμενή χλωρίωσης, ενώ η βιολογική λάσπη συλλέγεται από τον πυθμένα και οδηγείται μέσω αντλιών στο μεγαλύτερο μέρος (90%) για ανακυκλοφορία και μικρό ποσοστό (περίσσεια) προς τον παχυντή.

Η προκύπτουσα περίσσεια λάσπη καλείται "βιολογική" είναι μερικώς χωνευμένη και περιέχει κυρίως μικροοργανισμούς.

Γενικά οι δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης προσομοιάζουν με τις πρωτοβάθμιες με κύριες διαφορές το μέγεθος του χώρου συγκέντρωσης της ιλύος, που είναι μικρότερος στις δευτεροβάθμιες και το ρυθμό αντλήσεως της ενεργής ιλύος, που είναι συνεχής στις δευτεροβάθμιες.

Εικόνες 4.12 – 4.13: Δεξαμενή δευτεροβάθμια καθίζησης κατά τη διάρκεια κατασκευής της.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.4 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών με τα νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Η απολύμανση των επεξεργασμένων υγρών γίνεται με υποχλωριώδες νάτριο μέσω δοσομετρικών αντλιών. Για την αποφυγή της φόρτισης του αποδέκτη με υπολειμματικό χλώριο γίνεται αποχλωρίωση με μεταδιθειώδες νάτριο. Η ενέργεια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς η επίδραση του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον είναι δυσμενής.

Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής (π.χ. ψάρια) λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα με τον σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων, από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες.

4.5 ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Τα επεξεργασμένα νερά, μετά την απολύμανση, περνούν στο φρεάτιο εξόδου, απ' όπου διοχετεύονται με αγωγό και ανοικτή τάφρο προς τον ποταμό Πηνειό.

Εικόνα 4.14 – 4.15: Χλωρίωση και φρεάτιο εξόδου επεξεργασμένου νερού.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΛΥΟΣ

Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων, μαζί με την τελική απορροή, παράγονται ταυτόχρονα και ορισμένα παραπροϊόντα, όπως τα εσχαρίσματα, η άμμος και η ιλύς από τις δεξαμενές καθιζήσεως. Από τα παραπροϊόντα αυτά το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό είναι η ιλύς.

Η ιλύς στην προκειμένη περίπτωση δεν είναι πυκνή ή με στερεή μορφή αιώρημα, αλλά είναι εντελώς υδαρές υγρό, που παρότι περιέχει 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από τα αστικά λύματα, εξακολουθεί να έχει μορφή υγρού. Μόνο μετά την επεξεργασία συμπυκνώσεως, χωνεύσεως, αφυδατώσεως κ.λπ. η ιλύς παίρνει στερεή μορφή με αρκετή ακόμη υγρασία (περίπου 60 %), που όμως μπορεί να ελαττωθεί πολύ (< 10 %) με θερμική επεξεργασία, προκειμένου να αποτεφρωθεί ή να γίνει λίπασμα.

Οι κύριοι στόχοι της επεξεργασίας της ιλύος είναι: η ελάττωση του όγκου με απομάκρυνση μέρους του νερού και η αποδόμηση των οργανικών ουσιών. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει συνήθως μετά από την συλλογή και προσωρινή αποθήκευση: συμπύκνωση της ιλύος, χώνευση, πάχυνση και αφυδάτωση, θερμική επεξεργασία και τελική διάθεση της ιλύος. Από τις παραπάνω επεξεργασίες άλλες αποβλέπουν στην απομάκρυνση μέρους του νερού και άλλες στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών

Η επεξεργασία της ιλύος στη ΜΕΥΑ Λάρισας ακολουθεί το γενικό σχήμα πάχυνση-χώνευση-αφυδάτωση.

4.6.1 .ΠΑΧΥΝΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Πάχυνση της ιλύος είναι η μέθοδος κατά την οποία απομακρύνεται μέρος του υγρού από την ιλύ με αποτέλεσμα την αύξηση των στερεών της. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο όγκος της και διευκολύνονται οι επόμενες διαδικασίες επεξεργασίας και ειδικότερα η διαδικασία της αφυδατώσεως, διότι επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των χωνευτών και αύξηση της απόδοσης των συστημάτων αφυδατώσεως.

Έτσι για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης υπάρχουν δύο όμοιοι κυκλικοί παχυντές βαρύτητας (υφιστάμενος και νέος) ωφέλιμου όγκου 600 m^3 και διαμέτρου 15 m, με περιστρεφόμενο ξέστρο.

Εικόνα 4.16 – 4.17: Εξωτερικό και εσωτερικό παχυντή ιλύος.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Η δευτεροβάθμια-βιολογική περίσσεια ιλύος από όλες τις δεξαμενές καθίζησης μεταφέρεται σε δεξαμενή αποθήκευσης, ωφέλιμου όγκου 212 m^3 , μέσω των αντλιών περίσσειας ιλύος των αντλιοστασίων ανακυκλοφορίας. Η δεξαμενή φέρει ξέστρο

περιφερειακής κίνησης και τροφοδοτεί μέσω δύο αντλιών τις δύο μηχανικές πάχυνσης. Η μονάδα μηχανικής πάχυνσης λειτουργεί σε ξεχωριστό κτίριο.

Εικόνα 4-18: Μονάδα μηχανικής πάχυνσης ιλύος.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Η παχυμένη ιλύς συγκεντρώνεται σε δεξαμενή αποθήκευσης 50 m³ και αντλείται από δύο αντλίες, για την τροφοδότηση της δεξαμενής ομογενοποίησης.

4.6.2. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Για τη σταθεροποίηση της λάσπης στην ΕΕΛ Λάρισας εφαρμόζεται η αναερόβια χώνευση σε 4 κλειστές δεξαμενές (χωνευτές) με χρόνο παραμονής τουλάχιστον 20 ημέρες και χωρητικότητα 1.600m³ ο καθένας. Λόγω του σημαντικού μεγέθους της εγκατάστασης προτιμάται η αναερόβια χώνευση σε σχέση με την αερόβια λόγω ότι αντί να απαιτεί ενέργεια, παράγει μέσω της χώνευσης.

Στόχος της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος είναι η σταθεροποίηση των στερεών της, η δραστική μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών καθώς και η παραγωγή χρήσιμου αερίου μείγματος διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) (βιοαέριο) το οποίο αποτελεί καύσιμο υψηλής ποιότητας. Κατά την αναερόβια χώνευση έχουμε καταρχήν διάσπαση των σύνθετων οργανικών σε απλούστερα οργανικά οξέα όπου παρατηρείται και μικρή μείωση του pH και στη συνέχεια αναπτύσσονται μεθανοβακτηρίδια τα οποία μετατρέπουν τον οργανικό άνθρακα σε μεθάνιο σε κατά

60-65% και διοξείδιο του άνθρακα κατά 30-35%, ενώ παράλληλα ακόμα εκλύονται και άλλα αέρια όπως αμμωνία υδρόθειο, που συνολικά αντιπροσωπεύουν το 5%. Το σύνολο των αερίων καλείται βιοαέριο το οποίο λόγω του μεθανίου έχει σημαντική θερμογόνο ισχύ και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη σε καυστήρες για τη θέρμανση της λάσπης. Το πλεονάζον βιοαέριο οδηγείται σε μηχανές εσωτερικής καύσης βιοαερίου όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται με ηλεκτρογεννήτριες σε ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή γίνεται πλήρης ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου.

Ο βαθμός σταθεροποίησης που επιτυγχάνεται με την αναερόβια χώνευση αντιστοιχεί στο ποσοστό μείωσης των πτητικών στερεών της ιλύος. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται στην περιοχή 40% έως 65%. Οι υψηλότερες τιμές μείωσης αντιστοιχούν σε πρωτοβάθμια ιλύ που περιέχει συνήθως μεγαλύτερα ποσοστά ευκολότερα αποδομούμενου οργανικού υλικού.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της αναερόβιας χώνευσης είναι:

- ✓ Ο χρόνος κράτησης των στερεών
- ✓ Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής
- ✓ Η θερμοκρασία
- ✓ Το pH
- ✓ Η ύπαρξη τοξικών συστατικών

Η χώνευση γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία όλο το έτος 35,5 °C (μεσόφιλη χώνευση), μέσω της ανάπτυξης μεσόφιλων αναερόβιων μικροοργανισμών). Το παραγόμενο αέριο αποθηκεύεται σε αεροφυλάκιο. Ένα μέρος του καίγεται σε λέβητα για να διατηρεί τη θερμοκρασία των χωνευτών σταθερή, ένα άλλο καίγεται σε λέβητα για την θέρμανση του διοικητηρίου και το υπόλοιπο καίγεται σε πυρσό.

4.6.3 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ

Στο κτίριο αφυδάτωσης υπάρχουν εγκατεστημένες δύο φιλτρόπρεσσες, ικανότητας η κάθε μία 20 m³/ώρα, με αντλίες τροφοδοσίας ρυθμιζόμενης παροχής. Η αφυδατωμένη ιλύς μεταφέρεται στην έξοδο του κτιρίου σε σειρά δοχείων αποθήκευσης που συλλέγονται από ειδικό όχημα προς αποκομιδή. Όλη η εγκατάσταση έχει κλεισθεί και στο κτίριο αφυδάτωσης έχει εγκατασταθεί πλήρες σύστημα εξαερισμού και απόσμησης, δυναμικότητας 6000 m³/ώρα, αποτελούμενο από το φίλτρο απόσμησης.

Εικόνα 4-19: Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης στην ΕΕΛ Λάρισας.



Πηγή: Χλέτσης, 2014

Τέλος, για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας και τον καλύτερο λειτουργικό έλεγχο έχει εγκατασταθεί ικανός αριθμός on-line οργάνων καθώς και σύστημα δομημένο κατά τρόπο που να επικοινωνεί με σύστημα οπτικού ελέγχου και τηλεχειρισμού μέσω υπολογιστή (SCADA).

4.7 ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ

Στον Πίνακα 4-1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές εισόδου και εξόδου όπως αυτές καθορίζονται από το σχεδιασμό της ΜΕΥΑ Λάρισας καθώς και οι μονάδες στις οποίες αυτές εκφράζονται.

Πίνακας 4-1: Τιμές Σχεδιασμού ΜΕΥΑ Λάρισας

Ισοδύναμος πληθυσμός	κάτοικοι	210.000
Μέση ημερήσια παροχή	m ³ /μέρα	42.000
Παροχή αιχμής ξηρής περιόδου	m ³ /ώρα	4.320
Παροχή αιχμής υγρής περιόδου	m ³ /ώρα	5.400
Οργανικό φορτίο, <u>BOD₅ εισόδου</u>	kg/μέρα	13.650
Αιωρούμενα στερεά, <u>SS εισόδου</u>	kg/μέρα	14.700

Ολικό άζωτο, N _{εισόδου}	kg/μέρα	2.625
Ολικός φώσφορος, P _{εισόδου}	kg/μέρα	630

Ποιότητα εξόδου

BOD ₅	mg/l	10
SS	mg/l	20
Νιτρικά ως άζωτο, N-NO ₃	mg/l	5
Νιτρώδη ως άζωτο, N - NH ₄	mg/l	2
COD	mg/l	45
Υπεροξειδία του φωσφόρου, P-PO ₄	mg/l	1
D.O.	mg/l	>5
Ολικά κολοβακτηριοειδή	MPN/100ml	< 500

Πηγή: (Κόκκινος, 2014)

Θερμοκρασίες υγρών αποβλήτων

- Μέση ετήσια θερμοκρασία 18°C
- Μέση Θερινή θερμοκρασία 23°C
- Μέση Χειμερινή θερμοκρασία 13°C

Ενώ το pH κυμαίνεται μεταξύ 7 και 7.5

Η ποιότητα της εκροής καθορίζεται από τις απαιτήσεις των Περιβαλλοντικών Όρων και της άδειας διάθεσης ενώ όπου είναι δυνατόν η εγκατάσταση σχεδιάζεται με βάση αυστηρότερα κριτήρια όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-2.

Πίνακας 4-2: Περιβαλλοντικοί Όροι Διάθεσης Επεξεργασμένων Λυμάτων

Παράμετρος	Μονάδες	Οριακή Τιμή Περιβαλλοντικοί Όροι
BOD ₅	mg/l	< 25
SS	mg/l	< 30
COD	mg/l	< 90
NH ₃	mg/l	< 2
Ολικό N	mg/l	< 10
P	mg/l	< 10
D.O.	mg/l	> 5

Πηγή: (Τσώνης 2004)

4.7.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την σύγκριση των δύο πινάκων προκύπτει ότι οι τιμές εξόδου των βασικότερων παραμέτρων στην ΕΕΛ Λάρισας είναι ικανοποιητικές και συμμορφώνονται με τους περιβαλλοντικούς όρους. Η συμμόρφωση αυτή είναι καίριας σημασίας για τον ήδη επιβαρυμένο αποδέκτη, τον Πηνειό. Παρόλα αυτά υπάρχει πάντα η περίπτωση αστοχίας του βιολογικού όπου οι μετρήσεις κάποιων παραμέτρων να μην είναι οι αναμενόμενες . Για το λόγο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και σχολαστικότητα στο θέμα της επεξεργασίας των λυμάτων ιδιαίτερα στην περίπτωση των λυμάτων της Λάρισας όπου ο αποδέκτης είναι ο Πηνειός που αντιμετωπίζει ήδη προβλήματα μόλυνσης από τα λιπάσματα και υψηλής συγκέντρωσης νιτρικών.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BRIDLE ΣΤΗ ΜΕΓΑ ΛΑΡΙΣΑΣ

5.1 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «για την επεξεργασία και διάθεση αστικών λυμάτων», όπως αυτή τροποποιήθηκε με την Οδηγία 98/15/ΕΕ, έχει ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις της διάθεσης ανεπεξέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων αστικών και ορισμένων βιομηχανικών λυμάτων και των παραπροϊόντων τους. Στην Ελλάδα η εν λόγω οδηγία ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 (Φ.Ε.Κ. 192B/14-3-1997), με τίτλο "Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων". Το 1999 καθορίστηκε ο κατάλογος των ευαίσθητων αποδεκτών (Κ.Υ.Α. 19661/1982/1999 (Φ.Ε.Κ. 1811B/29-9-1999)), ο οποίος επικαιροποιήθηκε το 2002 (Κ.Υ.Α. 48392/939/3-2-2002 (Φ.Ε.Κ. 405B/3-4-2002)).

Σε εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 15 της Οδηγίας υποβάλλονται ανά διετία στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ) όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ στη χώρα μας (συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων), αλλά και στα υπόλοιπα Κράτη Μέλη. Για τη διετία 2007-2008, η ΕΕ μετά από επεξεργασία των στοιχείων που υποβλήθηκαν από τα κράτη -μέλη δημοσίευσε την 6η Έκθεση για την Εφαρμογή της Επεξεργασίας των αστικών λυμάτων - 6th Summary Report on Implementation of the Urban Waste Water Treatment

Επίσης, βάσει του άρθρου 16 της Οδηγίας, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να μεριμνούν για την ανά διετία δημοσίευση δεδομένων σε Έκθεση Αναφοράς (Situation Report), σχετικά με την κατάσταση της διάθεσης των αστικών λυμάτων τους και της παραγόμενης ιλύος (λυματολάσπης), με στόχο τον έλεγχο συμμόρφωσής τους με την Οδηγία, αλλά και την ευρύτερη ενημέρωση των πολιτών για θέματα περιβάλλοντος. Η Ελλάδα έχει δημοσιεύσει για το 2009 την σχετική έκθεση αναφοράς.

Στο πλαίσιο των απαιτήσεων της Οδηγίας, ολοκληρώθηκε και λειτουργεί η Εθνική Βάση Δεδομένων, για την δια μέσω διαδικτύου εισαγωγή των αποτελεσμάτων παρακολούθησης της λειτουργίας των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) και την άμεση παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ στην

Ελλάδα. Η καταχώρηση όλων των στοιχείων και λειτουργικών δεδομένων των ΕΕΛ έχει ήδη ξεκινήσει και πραγματοποιείται απευθείας από τους αρμόδιους φορείς λειτουργίας τους.

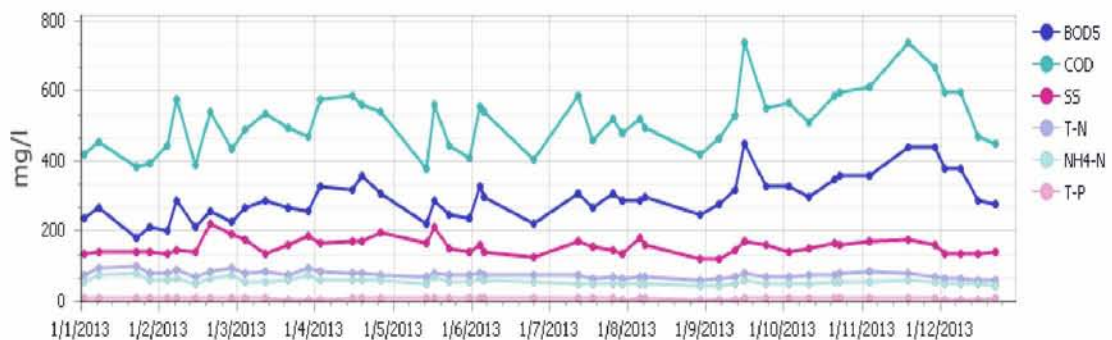
Στη βάση καταχωρούνται και είναι διαθέσιμα στο κοινό τεχνικά και λειτουργικά δεδομένα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα, πληροφορίες για τον τρόπο διάθεσης ή επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων και της ιλύος και οι περιβαλλοντικοί όροι για κάθε εγκατάσταση.

Τα λειτουργικά δεδομένα αξιολογούνται και ελέγχονται για κάθε εγκατάσταση η συμμόρφωση με τις επιταγές της νομοθεσίας περί επεξεργασίας και διάθεσης αστικών λυμάτων.

5.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ

Οι βασικότερες παράμετροι τόσο εισόδου όσο και εξόδου στη ΜΕΥΑ Λάρισας για όλο το έτος 2013 παρουσιάζονται στο Γράφημα 5-1 και στο Γράφημα 5-2 που ακολουθούν, ενώ αναλυτικότερα οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα στη ΜΕΥΑ Λάρισας οι τιμές εισόδου και εξόδου των συγκεκριμένων παραμέτρων προέκυψαν ως μέσος όρος των τιμών όλου του έτους.

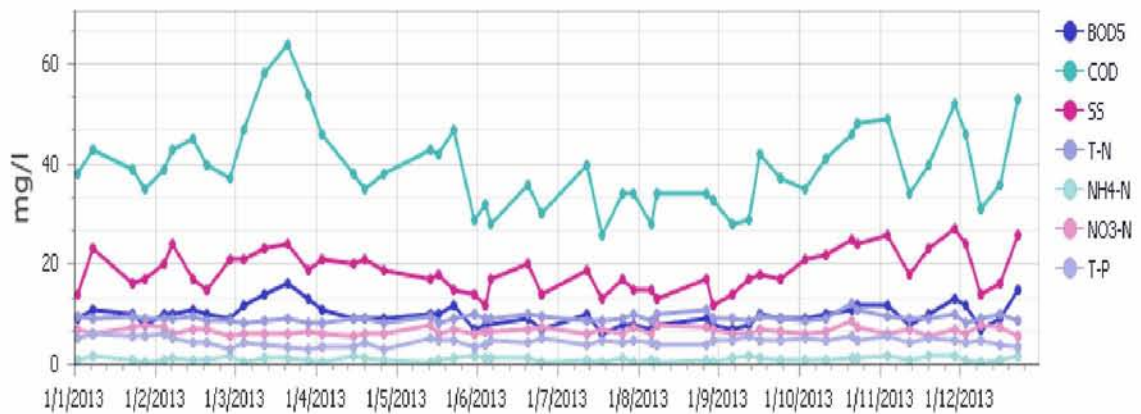
Γράφημα 5-1: Μετρήσεις εισόδου έτους 2013



Πηγή: Εθνική Βάση Δεδομένων

(<http://ypeka.plexscape.com/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR142001011>)

Γράφημα 5-2: Μετρήσεις εξόδου έτους 2013



Πηγή: Εθνική Βάση Δεδομένων

(<http://ypeka.plexscape.com/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR142001011>)

Οι τιμές των παραμέτρων εκείνων που εισήχθησαν στο μοντέλο Bridle ως πραγματικές μετρήσεις στη ΜΕΥΑ Λάρισας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1 που ακολουθεί.

Πίνακας 5-1: Δεδομένα Μετρήσεων στη ΜΕΥΑ Λάρισας

$Q_{\text{εισ}}$	30.000	m^3/day
HRT	0.42	days
SRT	12	days
MLVSS	2.800	mg/l
$BOD_{\text{εισ}}$	296,96	mg/l
$BOD_{\text{εκρ(effl)}}$	9,79	mg/l
BOD_{rem}	35	%
$TKN_{\text{εισ}}$	65,41	mg/l
$TKN_{\text{εκρ(effl)}}$	2,23	mg/l
$TKN_{\text{p.c effl}}$	45,78	mg/l
$TN_{\text{εισ}}$	77,59	mg/l
$TN_{\text{εκρ(effl)}}$	9,29	mg/l
$SS_{\text{εισ}}$	157,96	mg/l
SS_{rem}	88,18	%
$VS_{\text{secondary sludge}}$	65	%
$VS_{\text{primary sludge}}$	72	%
$P_{\text{non aeration}}$	4.000	Kw/day
SS_{effl}	18,67	mg/l

TN_{rem}	88	%
TKN_{rem}	95	%
$TN_{p,c\ effl}$	54,31	mg/l
$Biogas_{boiler}$	60	%
$Biogas_{engine}$	30	%
$Biogas_{flare}$	10	%
Chemicals	-	-

Πηγή: (Κόκκινος, 2014)

Εκτός όμως από τις τιμές που εισήχθησαν ως δεδομένα μετρήσεων στο μοντέλο Bridle, υπάρχουν και εκείνες οι παράμετροι που βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-2 που ακολουθεί.

Πίνακας 5-2: Παράμετροι Εμπειρικών Μοντέλων

k_D	0,05	1/day
Y	0,84	kg VSS / $BOD_{removed}$
f	0,67	-
$RN_2O_{generation}$	0,004	Kg N_2O/day
$VS_{destruction}$	0,60	-
$Biogas_{CH_4content}$	65	%
MW_{CH_4}	16	g/ mol
MV	22,21	m^3/mol
MW_{CO_2}	44	g/ mol
MW_C	12	g/ mol
Carbon Mineralization	80	%
$Fraction_{agriculture}$	0,38	-
Trucking emissions	1	Kg CO_2/ km
$Distance_{agriculture\ site}$	150	km
$Solids_{cake}$	19,6	%
C_{s20}	9,20	mg/l
α	0,8-0,85	-
β	0,9-1,0	-
$CON_{CO_2in\ basin}$	2	mg/l

Πηγή: Snip,2010

5.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αρχικά πρέπει να συνοψίσουμε το πώς προκύπτουν τα 3 αυτά βασικά αέρια του θερμοκηπίου που μας ενδιαφέρουν στον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα προϊόν της αερόβιας αποδόμησης της οργανικής ύλης, το μεθάνιο είναι ένα προϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, ενώ το υποξείδιο του αζώτου δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ατελής οξείδωση της αμμωνίας και του οργανικού αζώτου και την ατελή αναγωγή των νιτρικών σε αέριο άζωτο.

Στη συνέχεια αξίζει να αναφερθεί ακόμα μια φορά ότι η επεξεργασία των λυμάτων στη ΜΕΥΑ Λάρισας γίνεται σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία (οδηγία 91/271/ΕΟΚ, ΚΥΑ 5673/400/1997).

Το συνολικό ετήσιο παραγόμενο φορτίο των λυμάτων της Λάρισας αποτελείται 100% από αστικά λύματα γιατί καμία βιομηχανία δεν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο αποχέτευσης. Η Λάρισα βρίσκεται στο κέντρο της θεσσαλικής πεδιάδας και η οικονομία της στηρίζεται κυρίως στη γεωργία και στις υπηρεσίες και ελάχιστα σε βιομηχανικές δραστηριότητες

(http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf).

Το 100% της ετήσιας παραγόμενης λυματολάσπης επαναχρησιμοποιείται στη γεωργία σε διάφορες καλλιέργειες κυρίως σιτάρι και βαμβάκι σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία (Οδηγία 86/278, ΚΥΑ 80568/4225/91). Η δράση αυτή είναι πρωτοπόρα για την Ελλάδα καθώς είναι η πρώτη φορά που εφαρμόζεται σε αυτή την έκταση στη χώρα. Η πόλη της Λάρισας βρίσκεται στο κέντρο της θεσσαλικής πεδιάδας και ο τρόπος αυτός διαχείρισης θεωρήθηκε ο καταλληλότερος. Στην ουσία προχώρησε στην εφαρμογή της σχετικής ευρωπαϊκής και εθνικής νομοθεσίας σε συνεργασία με τους τοπικούς αρμόδιους κρατικούς φορείς.

Η πρώτη προσπάθεια ξεκίνησε πιλοτικά σε καλλιέργεια βαμβακιού σε αγρό όπου εφαρμόσθηκε πλήρως η νομοθεσία και εκδόθηκε για πρώτη φορά άδεια εφαρμογής της ιλύος στην Ελλάδα, σε αγροτική καλλιέργεια. Η προσπάθεια υπήρξε επιτυχής και το εγχείρημα παρουσίασε μεγάλο ενδιαφέρον για την τοπική κοινωνία και για τα μέσα επικοινωνίας και φυσικά τους αγρότες. Από τότε γίνεται συστηματική εφαρμογή της παραγόμενης ιλύος σε αγροτικές καλλιέργειες, με αποτέλεσμα την επαναχρησιμοποίηση της στη γεωργία και την αποφυγή απόρριψης της σε ΧΥΤΑ (http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf).

Το παραγόμενο βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση της ιλύος χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας απαραίτητης στη διεργασία της χώνευσης. Για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης έχει εγκατασταθεί σύστημα παραγωγής ενέργειας έτσι ώστε το παραγόμενο από τη χώνευση βιοαέριο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο που θα διατίθεται για τις ηλεκτρικές ανάγκες της ΕΕΛ. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλύπτει τουλάχιστον το 30% της απαιτούμενης ενέργειας (http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf).

Σκοπός της συγκεκριμένης προσπάθειας ήταν να ποσοτικοποιηθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Λάρισας χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση βασισμένη στο μοντέλο Bridle (Snip, 2010).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε μια από τις πέντε διαδικασίες κατά τις οποίες εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου συγκρίνονται με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την έρευνα των Bani Shahabadi et al. (2009) αλλά και του μοντέλου BSM2 και του μοντέλου Bridle για μια άλλη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων που εξετάστηκε (Snip, 2010).

Ο Πίνακας 5.3 παρουσιάζει αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα στη ΜΕΥΑ Λάρισας και προκειμένου να έχουν αξία αυτά τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από άλλες μελέτες αποτυπώματος άνθρακα σε άλλες ΜΕΥΑ παγκοσμίως. Για να έχει νόημα αυτή η σύγκριση απαραίτητο στοιχείο είναι να ακολουθούνται οι ίδιες διαδικασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων όπως αυτές περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4. Για παράδειγμα δεν έχει νόημα η σύγκριση των αποτελεσμάτων αποτυπώματος άνθρακα μεταξύ δύο ΜΕΥΑ όπου χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας των λυμάτων. Τα αποτελέσματα στον Πίνακα που ακολουθεί αφορούν ΜΕΥΑ όπου η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με τη μέθοδο ενεργούς ιλύος και η χώνευση της ιλύος γίνεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

Πίνακας 5-3: Σύγκριση του αποτυπώματος άνθρακα διαφόρων ΜΕΥΑ που υπολογίζεται από διαφορετικά μοντέλα

Διαδικασία	Bridle Beenyup WWTP (kg CO ₂ e/m ³)	BSM2 WWTP (kg CO ₂ e/m ³)	Literature (Bani Shahabadi,2009) (kg CO ₂ e/m ³)	ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ (kg CO ₂ e/m ³)
Βιολογική Επεξεργασία	0.07	0.25	0.153-0.280	0.181
Χώνευση Ιλύος + Βιολογική επεξεργασία	1.89	1.46	1.759	1.572
Διάθεση Ιλύος	0.167	0.134	0.006	0.174
Χημικά	0.03	-	0.206	Δεν υπήρχαν δεδομένα
Ενέργεια	0.353	0.392	0.512	0.392
Χρήση Βιοαερίου	-0.324	-0.2	-0.058	-0.387

(Πηγή: Snip, 2010)

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-3 τα περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου παράγονται κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος και την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος. Θεωρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας δε συμβάλει τόσο λόγω της πίστωσης στη ΜΕΥΑ από τη χρήση του βιοαερίου που σε συνδυασμό δίνει σχεδόν καθαρό-μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα. Το μεθάνιο που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της μονάδας γεγονός που πιστώνεται στη ΜΕΥΑ της Λάρισας. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι πολύ δύσκολο να συγκρίνουμε την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος καθώς εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών.

Όλες οι προσεγγιστικές μέθοδοι του αποτυπώματος άνθρακα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκύπτουν κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος (Snip, 2010).

Όσον αφορά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, όπως ήδη έχει αναφερθεί οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου υπολογίζονται κατά τη διάρκεια 3 διαφορετικών διαδικασιών: την ενδογενή αναπνοή, η οξείδωση του BOD και η απομάκρυνση του αζώτου. Η ενδογενής αναπνοή υπολογίζεται με χρήση των συντελεστών μετατροπής που δίνονται από το μοντέλο Bridle. Για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την οξείδωση του BOD χρησιμοποιούνται επίσης οι συντελεστές μετατροπής που προτείνει το μοντέλο Bridle. Με την ίδια λογική υπολογίζονται και η

παραγωγή N₂O κατά την απομάκρυνση του αζώτου καθώς και η πίστωση CO₂ στη ΜΕΥΑ. Οι συντελεστές μετατροπής για την παραγωγή N₂O προέρχονται από την προσομοιωμένη μονάδα Beenpur της οποίας υπολογίστηκε το αποτύπωμα άνθρακα με το μοντέλο Bridle, (Snip, 2010)

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα αποτυπώματος άνθρακα που προκύπτουν για κάθε ΜΕΥΑ θα πρέπει οι ημερήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να μετατραπούν σε ισοδύναμο kg CO_{2eq}/m³. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε μονάδες kg CO_{2eq}/day να διαιρεθούν με την συνολική παροχή στην είσοδο της ΜΕΥΑ (Snip,2010).

Μια παράμετρος που επηρεάζει το αποτύπωμα άνθρακα μιας ΜΕΥΑ είναι η συγκέντρωση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται όσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις σε οξυγόνο με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή N₂O και οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Παρόλα αυτά, από την σκοπιά της κλιματικής αλλαγής, όλες οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από μια ΜΕΥΑ δεν έχουν την ίδια βαρύτητα. Για παράδειγμα, οι βιογενείς εκπομπές CO₂ όπως αυτές προκύπτουν κατά τις αερόβιες/αναερόβιες διαδικασίες επεξεργασίας της ίλως είναι μέρος του φυσικού κύκλου του άνθρακα. Από την άλλη πλευρά όμως, υπάρχουν μη βιογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όπως είναι οι έμμεσες εκπομπές CO₂ εξαιτίας της κατανάλωσης ενέργειας ή τη χρήση χημικών (Alsina et al.,2012).

Στις μετρήσεις (περίπτωση μελέτης Noida) που ερευνούν οι Gupta and Sighn, 2012 μόνο το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα λαμβάνονται υπόψη καθώς το διοξείδιο του άνθρακα προκύπτει από βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν μέσα σε μια ΜΕΥΑ.

5.4 ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ

Πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν ότι η απονιτρικοποίηση μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή N₂O. Δυστυχώς, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο που να υπολογίζει τη συμβολή της απονιτρικοποίησης ανεξάρτητα από τη διαδικασία της νιτρικοποίησης δεν υπάρχει ακόμα (Ni et al., 2012).

Υπάρχουν και άλλες πηγές αερίων του θερμοκηπίου που δυνητικά συμβάλλουν στο ολικό αποτύπωμα άνθρακα της ΜΕΥΑ. Διάφορες εμπειρικές παρατηρήσεις αποκαλύπτουν ότι σημαντική έκλυση μεθανίου θα μπορούσε να λάβει χώρα στην είσοδο της ΜΕΥΑ (Guisasola et al., 2009). Επίσης, δεν μπορούν να υπολογιστούν οι ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου CH_4 κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης της ιλύος (Czerpiel et al., 1993).

Τέλος, οι εκπομπές N_2O και CH_4 κατά τη διάθεση και την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος δεν υπολογίζονται επίσης (EPA, 2010).

Υπάρχουν ενδείξεις ότι η παραγωγή N_2O αυξάνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Kampschreue et al., 2009) Αντίθετα, σύμφωνα με τους Flores-Alsina et al., 2012 η παραγωγή N_2O μειώνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα καθώς μειώνεται και η ποσότητα των λυμάτων που εισέρχονται στη ΜΕΥΑ.

5.5 ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι παρεμβάσεις επικεντρώνονται στη λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, καθώς και στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι παρεμβάσεις είναι τεχνικές και έχουν ως στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του αποχετευτικού συστήματος και της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), καθώς και τη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για τη διαχείριση των λυμάτων της πόλης.

- Περιορισμός των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο συλλογής λυμάτων, που επιβαρύνουν τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και της μονάδας.
- Παρεμβάσεις στον Η/Μ εξοπλισμό της μονάδας, με στόχο τις τοπικές απώλειες.
- Αλλαγή του Η/Μ εξοπλισμού ή άλλες παρεμβάσεις σε αντλιοστάσια ανύψωσης και μεταφοράς λυμάτων, που λειτουργού με χαμηλό συντελεστή απόδοσης. Στόχος είναι η εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού που θα επιφέρει τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού, αλλά και τη μείωση των δαπανών για τη συντήρηση του εξοπλισμού.

- Περαιτέρω επεξεργασία της ιλύος με ενεργειακά πιο αποδοτική μέθοδο ξήρανσης (ηλιακή, θερμική) και διερεύνηση επιλογής βέλτιστης διάθεσης με πιθανή περαιτέρω ενεργειακή αξιοποίηση. Το όφελος προκύπτει από τη μειωμένη απαίτηση σε ενέργεια από τη λειτουργία της ξήρανσης της ιλύος και την παραγωγή προϊόντος ξήρανσης της ιλύος με την ελάχιστη δυνατή περιεκτικότητα σε νερό, το οποίο δύναται να αξιοποιηθεί ενεργειακά.

Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση αστικού και περιαστικού πρασίνου. Πρόκειται για μια ενέργεια που είναι ούτως ή άλλως στα μελλοντικά σχέδια της MEYA για αυτό και η παρέμβαση αυτή παρουσιάζεται ακριβώς όπως έχει μελετηθεί (http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf).

Οι νέες εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν την περαιτέρω επεξεργασία τμήματος της συνολικής παροχής της ΕΕΛ, 10.000m³/day, κυρίως με διήθηση και απολύμανση με UV έτσι ώστε η ποιότητα εκροής μετά την κατασκευή και λειτουργία των νέων έργων να είναι κατάλληλη για την άρδευση δημοτικών πάρκων της πόλης. Στο πλαίσιο των νέων έργων περιλαμβάνονται και το δίκτυο μεταφοράς των επεξεργασμένων λυμάτων. Το έργο είναι ώριμο και υπάρχει ήδη προμελέτη και τεύχη δημοπράτησης και είναι σύμφωνο με την ισχύουσα ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία. Η άρδευση των επεξεργασμένων νερών για άρδευση θα γίνει μέσω δικτύου άρδευσης συνολικού μήκους 13km σε μεγάλα πάρκα στον αστικό ιστό της πόλης όπου σήμερα υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις περιπάτου με δένδρα και θάμνους (http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf).

6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΙΣ ΜΕΥΑ

6.1 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΩΡΑ ΜΕΘΟΔΩΝ

Αρχικά αξίζει να σημειωθεί ότι οι πρόσφατες προσεγγίσεις βασίζονται σε σταθερούς υπολογισμούς, πρόκειται δηλαδή με εμπειρικές μεθόδους (IPCC 2006, LGO 2008, NGER 2008) ή ολοκληρωμένα μοντέλα (Bridle et al.,2008, Bani Shahabadi et al.,2009, Pagilla et al.,2009) χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δυναμική της μονάδας. Έτσι, δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί πως αλλαγές στην εισροή των λυμάτων στη ΜΕΥΑ, αλλαγές στη θερμοκρασία (χειμώνας-καλοκαίρι), και οι συνθήκες λειτουργίας (DO, SRT, λόγος C/N) επηρεάζουν την ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα (Flores-Alsina et al.,2011).

Επίσης, μερικοί από τους υπολογισμούς επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες τεχνολογίες/διαδικασίες και υπολογίζουν την ολική τιμή του αποτυπώματος άνθρακα της ΜΕΥΑ. Για παράδειγμα, οι Cakir and Stenstrom (2005), οι Keller and Hartley (2003) και οι Monteith et al.(2005) μελετούν τη συμβολή της αερόβιας αποσύνθεσης της βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου του άνθρακα, CBOD (carbonaceous biochemical oxygen demand) στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η οποία σχετίζεται με την παρουσία των νιτροποιητικών βακτηρίων (Κούγκολος, 2007) Στην περίπτωση αυτή, προστίθενται στα απόβλητα χημικές ουσίες οι οποίες δρουν ως παρεμποδιστές της δράσης των νιτροποιητικών βακτηρίων και έτσι το οξυγόνο οξειδώνει μόνο τις οργανικές ενώσεις και όχι για παράδειγμα την αμμωνία που υπάρχει στα απόβλητα (Κούγκολος,2007).

Άλλες έρευνες όπως αυτές των Schulthess and Gujer (1996), Hiatt and Grady (2008a,b), και Foley et al. (2010) υπολογίζουν τις εκπομπές N₂O στις αερόβιες μονάδες ενεργού ιλύος. Οι Bastone et al. (2002) και Greenfield and Bastone (2003) υπολογίζουν το μεθάνιο CH₄ και το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Τρίτον, καμία από τις προαναφερθείσες προσεγγίσεις δεν περιλαμβάνουν πολυκριτηριακή ανάλυση συνδυάζοντας τις πληροφορίες για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με αυστηρή ποσοτικοποίηση σχετικά με την εισροή στις ΜΕΥΑ και τα κόστη λειτουργίας (Flores-Alsina et al.,2011).

Προκειμένου να υπερπηδήσουμε αυτούς τους περιορισμούς και να συμπεριλάβουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου στις ΜΕΥΑ, οι Flores-Alsina et al., 2011 προτείνουν το συνδυασμό εμπειρικών εξισώσεων και μηχανιστικών μοντέλων. Αυτή η προσέγγιση ερευνά τις μεταβλητές εισροής, εκροής και λειτουργίας σε κάθε βήμα προσομοίωσης. Έπειτα, διαδικασίες λειτουργίας ή στρατηγικές ελέγχου που μπορεί να προκαλέσουν ευνοϊκές συνθήκες για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, παρέχοντας μια πρόσθετη διάσταση στην παραδοσιακή ποιότητα εκροής, οικονομικά και νομικά κριτήρια.

6.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΙΣ ΜΕΥΑ

Οι Flores-Alsina et al., 2011, διερεύνησαν εναλλακτικά σενάρια προκειμένου να εκτιμήσουν κατά πόσο η αύξηση ή αντίστοιχα η μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στις αερόβιες διαδικασίες επηρεάζει το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα της μονάδας. Η μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου από $DO=2 \text{ g O}_2 / \text{m}^3$ σε $DO=1 \text{ g O}_2 / \text{m}^3$ οδηγεί σε μείωση των εκπομπών CO_2 εξαιτίας της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας αλλά συγχρόνως σε μια ελαφριά αύξηση των άμεσων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η αύξηση της συγκέντρωσης οξυγόνου σε $DO=3 \text{ g O}_2 / \text{m}^3$ αυξάνει την παραγωγή CO_2 εξαιτίας της αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης αυξάνεται η ποσότητα N_2O που εκλύεται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ανολοκλήρωτης απονιτροποίησης που προκαλείται από την ανακυκλοφορία του διαλυμένου οξυγόνου από τον αερόβιο στον ανοξικό αντιδραστήρα.

Άλλο εναλλακτικό σενάριο που διερευνήθηκε ήταν η μείωση χρόνου κράτησης της ιλύος που προκαλεί μια ελαφριά αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου εξαιτίας της επεξεργασίας και της διάθεσης της ιλύος καθώς η ποσότητα των ολικών αιωρούμενων στερεών που φτάνουν στη γραμμή ιλύος αυξάνεται. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το επιπρόσθετο CH_4 στο χωνευτή επιφέρει μεγαλύτερη πίστωση ενέργειας στη ΜΕΥΑ και λιγότερες έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επειδή περισσότερη ενέργεια μπορεί να παράγεται από το βιοαέριο (Flores-Alsina et al., 2011).

Ένα ακόμα εναλλακτικό σενάριο που μελετήθηκε είναι αύξηση και αντίστοιχα η μείωση της αποδοτικότητας της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Οι παράμετροι του μοντέλου έχουν καθοριστεί ώστε να προσφέρουν μια αποδοτικότητα αφαίρεσης TSS

της τάξεως του 50%. Στα εναλλακτικά σεναρία η απόδοση απομάκρυνσης TSS έχει οριστεί σε 33% και 66%, αντίστοιχα (Flores-Alsina et al., 2012).

Αν στην 1-βάθμια επεξεργασία επιτευχθεί 66% απόδοση αυτό οδηγεί σε μείωση της ποσότητας των ολικών αιωρούμενων στερεών που εισέρχονται στην ενεργό ιλύ και τελικά σε καλύτερη ποιότητα εκροής. Το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας είναι εξαιτίας: i) καλύτερη ανάκτηση ενέργειας ii) χαμηλότερο κόστος αερισμού αλλά αύξηση των εκπομπών N_2O λόγω του μικρού λόγου C/N.

Η υπερφόρτωση των βιοαντιδραστήρων, ως αποτέλεσμα χαμηλής απόδοσης αφαίρεσης στην πρωτοβάθμια επεξεργασία 33% έχει ως αποτέλεσμα: i) αύξηση των βιογενών εκπομπές CO_2 κατά την διαδικασία οξείδωσης του BOD και της αποσύνθεσης της βιομάζας στη γραμμή ενεργού ιλύος, ii) αυξάνει τις έμμεσες εκπομπές CO_2 λόγω της αυξημένης ζήτησης ενέργειας κατά το στάδιο της νιτροποίησης και, iii) μειώνει την ανάκτηση ενέργειας από τα οργανικά και iv) μειώνει τις εκπομπές N_2O εξαιτίας υψηλού C/N. Τα αναφερόμενα αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη σημασία μιας προσέγγισης σε επίπεδο εγκατάστασης και την ανάγκη να εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων διαδικασιών επεξεργασίας κατά την αξιολόγηση του αποτυπώματος άνθρακα της ΕΕΛ (Flores-Alsina et al., 2012).

Οι συγγραφείς ανησυχούν για το γεγονός ότι η απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών κατά 66% στην 1-βάθμια επεξεργασία είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χωρίς τη χρήση επιπλέον χημικών (Tchobanoglous et al., 2003) Επιπλέον έρευνα είναι αναγκαία ώστε να εκτιμηθεί ο ρόλος αυτών των χημικών και η συμβολή τους στο αποτύπωμα άνθρακα μιας ΜΕΥΑ.

Έρευνες δείχνουν ότι μια εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κάτω από έλεγχο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 9,6% (Flores-Alsina, 2011).

6.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΜΙΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Το ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αναφέρεται ουσιαστικά στην πιθανότητα η μονάδα να καταφέρει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής της. Η διερεύνηση της πιθανότητας αυτής αποτελεί σίγουρα ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο έρευνας καθώς συνδέει τις

εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατά τη διάρκεια ζωής της με εκείνες τις εκπομπές που μπορεί να “κερδίσει” μια μονάδα μέσω διαφορετικών μεθόδων επαναχρησιμοποίησης.

Οι Mo and Zhang(2012) μελέτησαν την πιθανότητα μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια ζωής μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Κατέληξαν στη μελέτη τριών διαφορετικών τρόπων για μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι τρεις αυτοί τρόποι περιλαμβάνουν:

- Παραγωγή ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης και ηλεκτρισμού. Αφορά κυρίως τη χρήση του βιοαερίου που παράγεται κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης της ίλως.
- Εφαρμογή στο έδαφος της χωνευμένης ίλως. Η επαναχρησιμοποίηση της σταθερής και ξηρής λάσπης στη γεωργία σαν εδαφοβελτιωτικό αποτελεί μια συνηθισμένη περίπτωση επαναχρησιμοποίηση της ίλως σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γαλλία.
- Επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για άρδευση. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης αφορούσε κυρίως την οικιστική άρδευση, άρδευση δηλαδή χώρων πρασίνου μέσα στην πόλη, ξέπλυμα δρόμων κτλ

Σκοπός των Mo and Zhang (2012) είναι να ελέγξουν κατά πόσο η κάθε μια από τις 3 αυτές εναλλακτικές μπορεί να προσφέρει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων, ποια από τις τρεις μπορεί να δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα αλλά και αν ο συνδυασμός και των 3 μεθόδων μπορεί να αποφέρει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Τα αποτελέσματα της μελέτης των Mo and Zhang (2012) για τη πιθανότητα μια ΜΕΥΑ να έχει μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα κατά τον «κύκλο ζωής» της παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αν και η μελέτη έδειξε ότι είναι αδύνατο μια

μονάδα να επιτύχει μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα ακόμα και αν συνδυαστούν και οι 3 προτεινόμενες μέθοδοι εντούτοις η μείωση του αποτυπώματος άνθρακα είναι ιδιαίτερα σημαντική. Πιο συγκεκριμένα:

- Το μέγιστο ποσοστό μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα που μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας από τις 3 προτεινόμενες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης είναι συνάρτηση του μεγέθους της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων
- Το χαμηλότερο αντιστάθμισμα το προσφέρει η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος εξαιτίας των διαδικασιών επεξεργασίας που χρειάζεται ώστε να είναι κατάλληλη για εφαρμογή στο έδαφος. Παρόλα αυτά σε πολλές ΜΕΥΑ οι διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος λαμβάνουν χώρα ασχέτως με το αν τελικά η ιλύς καταλήγει σε ΧΥΤΑ. Επομένως δεν θα πρέπει να αποκλειστεί λόγω του χαμηλού αντισταθμίματος που παρέχει.
- Η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος και των υγρών αποβλήτων συνδυασμένες είναι σε θέση να αντισταθμίσουν το αποτύπωμα άνθρακα του πεδίου δράσεως 2. Είναι δηλαδή ίσου μεγέθους με τις έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω της κατανάλωσης ενέργειας σε μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.
- Είναι απίθανο να πετύχουμε μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα σε μια ΜΕΥΑ ακόμα και αν συνδυαστούν και οι 3 τρόποι με μέγιστα αποτελέσματα

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη συνολική θεώρηση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρκετά και ιδιαίτερα ενδιαφέροντα καθώς εκτός από το θεωρητικό τους υπόβαθρο όσα μελετήθηκαν μπορούν να έχουν και άμεση πρακτική εφαρμογή.

Αδιαμφισβήτητο γεγονός αποτελεί η πεποίθηση ότι η μεταβολή του κλίματος είναι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική πρόκληση που αντιμετωπίζει ο ανθρώπινος πολιτισμός σήμερα. Πολλές συζητήσεις έχουν γίνει για το θέμα αυτό καθώς και για το κατά πόσο οι συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη μπορεί να αποβούν μοιραίες για το μέλλον τις ανθρωπότητας.

Το ζήτημα της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής θέτει σε τρομερή δοκιμασία τις κυβερνήσεις παγκοσμίως καθώς τις θέτει προ των ευθυνών τους και τις υποχρεώνει στη λήψη των απαραίτητων μέτρων για τη διασφάλιση της ισορροπίας του πλανήτη. Το γεγονός αυτό αποτελεί πλέον πρώτη προτεραιότητα και για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Παρόλα αυτά, δεν αρκεί μόνο η αφύπνιση της Ευρωπαϊκής Ένωσης ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής μέσω της λήψης των απαραίτητων μέτρων σε κάθε κράτος μέλος. Στο σημείο αυτό ακριβώς εμπλέκεται και η συνδρομή της τοπικής αυτοδιοίκησης. Η συμμετοχή της τοπικής αυτοδιοίκησης στην επίτευξη των στόχων είναι ζωτικής σημασίας και ενθαρρύνεται με όλα τα διαθέσιμα μέσα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Στην προσπάθεια αυτή να αντιμετωπιστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη και να διαψευστούν οι προβλέψεις για αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και 4°C η διεθνής κοινότητα ενδιαφέρεται για τις ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ γιατί θεωρεί ότι προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία όπως ήδη έχει αναφερθεί μπορεί να έχει πολλές αρνητικές συνέπειες στην παγκόσμια ευημερία.

Η προσπάθεια αυτή της Ευρωπαϊκής Ένωσης και άλλων χωρών παγκοσμίως να επιληφθούν της κατάστασης και να θέσουν όρια στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου διαφαίνεται μέσα από διάφορες πολιτικές με σημαντικότερες από αυτές τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και το Πρωτόκολλο του Κυότο.

Το πρωτόκολλο του Κυότο υπήρξε η πρώτη πολύπλευρη προσπάθεια να τεθεί ένα ανώτατο όριο στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Πολλοί πιστεύουν ότι η σχεδίαση του Πρωτοκόλλου είναι από τη βάση της ελαττωματική, επειδή απαλλάσσει τις αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία, Κίνα) από την υποχρέωση να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και δεν διαθέτει ένα μηχανισμό επιβολής. Αν και το Πρωτόκολλο έχει επηρεάσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι αμφίβολο το κατά πόσο έχει επηρεάσει το αποτύπωμα άνθρακα των χωρών.

Για κάθε επιτυχημένη μελλοντική διεθνή συμφωνία για τις κλιματικές πολιτικές, περισσότερα πρέπει να είναι γνωστά σχετικά με την εμπειρική σχέση του φαινομένου διαρροής.

Έτσι, από τα παραπάνω το αποτύπωμα άνθρακα προβάλλει σαν ένας ιδιαίτερα χρήσιμος δείκτης για την κατάσταση του περιβάλλοντος και χρησιμεύει στις πολιτικές για την κλιματική αλλαγή καθώς λαμβάνει υπόψη εκτός από τις εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τις εισαγόμενες.

Ένα τμήμα των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προέρχεται από την επεξεργασία των αποβλήτων. Η διαδικασία για την εκτίμηση των αερίων του θερμοκηπίου σε μια Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως εύκολη υπόθεση ενώ διέπεται από συγκεκριμένες αρχές. Οι μέθοδοι υπολογισμού ποικίλλουν καθώς υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα διαθέσιμα για τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου σε μια Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων τα οποία συνήθως καταλήγουν σε διαφορετικές εκτιμήσεις.

Η εκτίμηση του αποτυπώματος άνθρακα μιας ΜΕΥΑ παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση του περιβαλλοντικού της αντίκτυπου σε σχέση με την πλειοψηφία των ερευνών που αξιολογούν την επίδοση της στηριζόμενες στην ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για τη δημιουργία του αποτυπώματος άνθρακα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, την κατανάλωση ενέργειας, την παραγωγή ενέργειας, και τις πιστώσεις άνθρακα που έχει μια ΜΕΥΑ από την επεξεργασία λυμάτων. Οι μεθοδολογίες και οι μέθοδοι είναι σε πρώιμο στάδιο και έχουν μεγάλη αβεβαιότητα και η μεταβλητότητα.

Υπάρχει επίσης έλλειψη κατανόησης σε σχέση με κάποια μέρη της μοναδικής ορολογίας που χρησιμοποιείται στο αποτύπωμα άνθρακα και απαιτούνται σαφείς ορισμοί προκειμένου να αποφευχθεί η σύγχυση.

Επομένως, το διευρυμένο πεδίο για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την ποιότητα του νερού και το κόστος, αλλά και τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) και την κλιματική αλλαγή απαιτεί νέα εργαλεία για την αξιολόγηση επιχειρησιακών στρατηγικών και των τεχνολογιών επεξεργασίας.

Η ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι ένα έδαφος έρευνας που επεκτείνεται και εξελίσσεται γρήγορα. Μερικά μοντέλα δεν είναι ακόμα διαθέσιμα ή είναι υπό ανάπτυξη. Παρόλα αυτά, από όλες τις πραγματοποιούμενες έρευνες προκύπτει η ανάγκη θέσπισης ενός πλαισίου ώστε να ποσοτικοποιούνται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για διάφορες στρατηγικές ελέγχου.

Αρκετά προσεγγιστικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί ώστε να εκτιμηθεί το αποτύπωμα άνθρακα των ΜΕΥΑ. Ορισμένα από αυτά τα μοντέλα είναι εμπειρικά ενώ άλλα είναι πιο ολοκληρωμένα καθώς συνδυάζουν τόσο εμπειρικές μεταβλητές όσο και μεταβλητές πεδίου. Παρατηρείται μια τάση να δημιουργηθούν πιο μηχανιστικά μοντέλα τα οποία μέσα από προσομοιώσεις διαφορετικών ΜΕΥΑ και στηριζόμενα σε πιο διευρυμένες βάσεις δεδομένων (περισσότερο από ένα χρόνο) θα μπορούν να προβλέψουν την επίδραση στο αποτύπωμα άνθρακα των ΜΕΥΑ ανάλογα με τα εισαγόμενα δεδομένα.

Η επιλογή του προσεγγιστικού μοντέλου Bridle για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα της ΜΕΥΑ Λάρισας στηρίχτηκε στις δυνατότητες που παρέχει το μοντέλο καθώς συνδυάζει εμπειρικές μεταβλητές με μετρήσεις πεδίου, ενώ επιπλέον αποτελεί ένα προσεγγιστικό μοντέλο που ειδικεύεται στις ΜΕΥΑ.

Όταν μοντελοποιείται μια ΜΕΥΑ ενεργού ιλύος, τότε υπάρχει συνήθως μια διαφωνία σχετικά με τη επιλογή του καλύτερου μοντέλου σε κάθε περίπτωση. Κατά κάποιον τρόπο, η λίστα των πιθανών πηγών αερίων του θερμοκηπίου δεν είναι ολοκληρωμένη, όπως για παράδειγμα το μεθάνιο που όπως δείχνουν μελέτες εκλύεται στην είσοδο της ΜΕΥΑ ή η έκλυση μεθανίου η υποξειδίου του αζώτου κατά την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο σκοπός αυτής της προσέγγισης δεν είναι να προβλέψει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με απόλυτη ακρίβεια. Ο κύριος σκοπός είναι να παρέχει μια καλύτερη εικόνα της συνολικής μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μαζί με τη νέα αυτή διάσταση που ασχολείται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ενθαρρύνεται να συμπεριληφθεί αυτός ο τύπος ανάλυσης καθώς μπορεί να δώσει καλύτερη καθοδήγηση σε αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις, στους μηχανικούς και σε

όσους επαγγελματίες ασχολούνται με τις ΜΕΥΑ στην επιλογή αιφροδικών μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Ο υπολογισμός του αποτύπωματος άνθρακα στη ΜΕΥΑ Λάρισας υπέδειξε την αναερόβια χώνευση της ιλύος ως τον τομέα με το μεγαλύτερη συμβολή στο αποτύπωμα άνθρακα της μονάδας ενώ επίσης σημαντική είναι και η συμβολή της κατανάλωσης ενέργειας και της διάθεσης της ιλύος στη γεωργία. Το παραγόμενο όμως βιοαέριο κατά τη χώνευση της ιλύος προσφέρει εξίσου σημαντική πίστωση στη ΜΕΥΑ Λάρισας με αποτέλεσμα το ισοζύγιο μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνεται στη ΜΕΥΑ με την ενέργεια που παράγεται με τη χρήση του βιοαερίου στη ΜΕΥΑ να είναι μηδενικό.

Η ποσότητα του μεθανίου που παράγεται κατά την διαδικασία της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων πρέπει να δεσμεύεται και να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας αλλιώς θα εκλύεται στην ατμόσφαιρα και θα συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί η συμβολή της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία καθώς είναι αρκετές οι μεταβλητές που επηρεάζουν το αποτέλεσμα και στην εκτίμηση αυτή το μοντέλο Bridle στηρίζεται κυρίως σε εμπειρικές παραμέτρους. Όμως, στην περίπτωση της ΜΕΥΑ Λάρισας όπως και σε παρόμοιες περιπτώσεις η ιλύς μέχρι πρόσφατα κατέληγε σε ΧΥΤΑ, ένα γεγονός που σίγουρα θα οδηγούσε σε έκλυση μεγαλύτερου αριθμού αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Το πιο έντονο ενδιαφέρον εντοπίζεται στον τρόπο που η εκάστοτε ΜΕΥΑ θα μπορούσε να μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα της, με απώτερο σκοπό να επιτύχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα. Αν και οι περισσότερες έρευνες συγκλίνουν ότι το ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα αποτελεί ένα δύσκολο στόχο, παρόλα αυτά η αισθητή μείωση του μεγέθους του θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω του συνδυασμού διαφόρων μεθόδων επαναχρησιμοποίησης των υγρών και στερεών αποβλήτων που παράγονται σε μια ΜΕΥΑ.

Στη ΜΕΥΑ Λάρισας συγκεκριμένα, για να μειωθεί το αποτύπωμα άνθρακα θα πρέπει να περιοριστούν οι παρασιτικές εισροές στο δίκτυο συλλογής λυμάτων, που επιβαρύνουν τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και της μονάδας, ενώ ένα ακόμα βήμα που θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και έτσι να μειωθεί και το αποτύπωμα άνθρακα είναι η αλλαγή του Η/Μ εξοπλισμού ή άλλες παρεμβάσεις σε αντλιοστάσια ανύψωσης και μεταφοράς λυμάτων, που λειτουργού με χαμηλό συντελεστή απόδοσης. Στόχος είναι η εγκατάσταση ενεργειακά

αποδοτικού εξοπλισμού που θα επιφέρει τη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού, αλλά και τη μείωση των δαπανών για τη συντήρηση του εξοπλισμού.

Επίσης, περαιτέρω επεξεργασία της ίλύος με ενεργειακά πιο αποδοτική μέθοδο ξήρανσης (ηλιακή, θερμική) και διερεύνηση επιλογής βέλτιστης διάθεσης με πιθανή περαιτέρω ενεργειακή αξιοποίηση κρίνονται ως απαραίτητες. Το όφελος προκύπτει από τη μειωμένη απαίτηση σε ενέργεια από τη λειτουργία της ξήρανσης. Τέλος σύμφωνα με μελέτες η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση του πρασίνου τόσο στα πλαίσια της μονάδας όσο και για τις ανάγκες αστικού και περιαστικού πρασίνου της πόλης μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

Η ανάγκη να μειωθεί το αποτύπωμα άνθρακα μιας ΜΕΥΑ μέσω της επαναχρησιμοποίησης της ίλύος, των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ή του βιοαερίου προβάλλει ως επιτακτική. Παρόλα αυτά θα πρέπει πάντα να πραγματοποιείται κάτω από τα αυστηρά νομοθετικά όρια ώστε να αποφευχθούν άλλες δυσάρεστες συνέπειες.

Το ποσοστό της συνολικής δημόσιας ενέργειας που χρησιμοποιείται σε μία ΜΕΥΑ είναι ιδιαίτερα υψηλό και θα συνεχίσει να αυξάνεται τα επόμενα χρόνια εξαιτίας της αυξανόμενης κατανάλωσης νερού και της πιο αυστηρής νομοθεσίας. Ομοίως περισσότερα υλικά και χημικά θα χρησιμοποιούνται στο μέλλον για τη λειτουργία των μονάδων.

Είναι λοιπόν σημαντικό να διαχειριστούμε τις ΜΕΥΑ με έναν τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται η κατανάλωση των πόρων και να ελαττώνεται το περιβαλλοντικό τους φορτίο.

7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Μια πολύ ενδιαφέρουσα μελλοντική εργασία θα ήταν ο υπολογισμός του αποτυπώματος άνθρακα σε μια ΜΕΥΑ όπου σαν προσεγγιστικό μοντέλο θα είναι το μοντέλο Bridle κάποια όμως μέρη της διαδικασίας υπολογισμού θα έχουν αντικατασταθεί με δυναμικές προσεγγίσεις, έτσι ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν οι αλλαγές που θα προκύψουν στο αποτύπωμα άνθρακα της μονάδας κατά τη διάρκεια περισσότερων από ένα έτη.

Επίσης, μια μελλοντική εργασία θα μπορούσε να συγκεντρωθεί στις επιδράσεις άλλων συνθηκών στην παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου, όπως ο χρόνος

παραμονής της ιλύος, ο υδραυλικός χρόνος των υγρών και η θερμοκρασία. Επιπλέον, για τη βελτίωση του μοντέλου, θα ήταν επίσης σοφό να ερευνηθούν και άλλες διαδικασίες κατά τις οποίες μπορεί να παραχθεί N_2O όπως οι χημικές αντιδράσεις.

Τέλος, ένα εξίσου ενδιαφέρον πεδίο μελλοντικής έρευνας αποτελεί ο συνδυασμός διαφορετικών μεθόδων επαναχρησιμοποίησης των υγρών και στερεών παραγώγων μιας ΜΕΥΑ ώστε να προκύψει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα. Το ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα δεν επιτεύχθηκε μέσω του συνδυασμού των 3 μεθόδων: επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία, επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση και χρήση του βιοαερίου για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας. Όμως μπορεί να προκύψει μέσω συμπληρωματικών στρατηγικών όπως η μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

(ΕΘΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ)

Το θεσμικό πλαίσιο που ισχύει για τη διαχείριση των αστικών λυμάτων σήμερα προδιαγράφεται από την ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97 Πλήρως Ανανεωμένη από τις παρακάτω ΚΥΑ) «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων» σε εναρμόνιση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/271/ΕΕC της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η παραπάνω ΚΥΑ τροποποιήθηκε - συμπληρώθηκε με τις ΚΥΑ 19661/1982/99 (ΦΕΚ 1811/Β/29-9-99) και ΚΥΑ 48392/939/28-3-2002 (ΦΕΚ 405/Β/3-4-2002) με την προσθήκη του καταλόγου των ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση των αστικών λυμάτων.

Με την ΚΥΑ αυτή τέθηκαν οι προτεραιότητες για τα έργα διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, οι διατάξεις της ΚΥΑ αναφέρονται στη συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων καθώς και στην επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων που προέρχονται από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς, ώστε με τον καθορισμό και τη λήψη των αναγκαίων μέτρων να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας από τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από τη διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων.

Στις περιπτώσεις όπου δε δικαιολογείται η εγκατάσταση των δικτύων για διάφορους λόγους (οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, τεχνικούς) τότε θα χρησιμοποιούνται μεμονωμένα συστήματα ή κατάλληλα συστήματα με τα οποία θα επιτυγχάνεται ο ίδιος βαθμός προστασίας του περιβάλλοντος.

Σχετικά με τον προσδιορισμό των ευαίσθητων περιοχών ισχύουν τα εξής:

Το Υπουργείο ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τα συναρμόδια Υπουργεία ορίζει κατάλογο των ευαίσθητων και λιγότερο ευαίσθητων περιοχών. Ο προσδιορισμός των περιοχών αυτών έχει τους εξής στόχους: Τα αστικά λύματα που διοχετεύονται σε αποχετευτικά δίκτυα πριν απορριφθούν σε ευαίσθητες περιοχές και εφόσον προέρχονται από οικισμούς με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 10.000 να υποβάλλονται σε επεξεργασία αυστηρότερη από αυτή που προβλέπεται στο άρθρο 7 της ΚΥΑ 5673/400/97. Εναλλακτικά οι απαιτήσεις που προβλέπονται δεν είναι αναγκαίο να εφαρμόζονται για διάθεση σε ευαίσθητες περιοχές από μεμονωμένες εγκαταστάσεις όταν αποδεικνύεται από το ελάχιστο ποσοστό μείωσης του συνολικού φορτίου από όλους τους σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή αυτή ότι είναι τουλάχιστον 75% για τον ολικό φώσφορο και τουλάχιστον 75% για το ολικό άζωτο.

Επίσης με την ΚΥΑ 145116 (ΦΕΚ 354/Β/8-4-2011) ορίζει τις δραστηριότητες στις οποίες μπορεί να γίνεται χρήση επεξεργασμένου νερού και αυτές είναι η άρδευση,

ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, η αστική και περιαστική χρήση (άρδευση στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, και χρήση στην αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών) και η βιομηχανία. Καθορίζονται επίσης οι όροι (όρια μικροβιολογικών και χημικών παραμέτρων, ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία, κ.λπ.) και οι προϋποθέσεις για κάθε περίπτωση. Ορίζονται τέλος οι αρμόδιες αρχές και φορείς που θα διαχειρίζονται το επεξεργασμένο νερό, θα εκδίδουν τις σχετικές άδειες και θα ελέγχουν την ποιότητα του.

Η μέχρι τώρα απουσία ενός ολοκληρωμένου και σαφούς θεσμικού πλαισίου αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση και ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης η οποία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ειδικότερα, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων αφ ενός από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής, και αφ ετέρου από την έντονη ταπείνωση ή /και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας.

Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει εγγενή οφέλη που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη του ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II
(ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΥΑ ΛΑΡΙΣΑΣ)

ΠΙΝΑΚΑΣ Π-1: Αποτελέσματα δειγματοληψιών – Ανεπεξέργαστα Λύματα

	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	BOD₅	COD	SS	T-N	NH₄-N	T-P
1	23/12/2013	280	449	143	61	47	7,8
2	16/12/2013	290	472	134	62	49	7,18
3	9/12/2013	380	596	136	67	49	7,58
4	3/12/2013	380	596	139	67	51	7,34
5	29/11/2013	440	667	163	73	57	8,12
6	19/11/2013	440	739	179	82	60,8	8,4
7	4/11/2013	360	613	174	84	56	8,82
8	23/10/2013	360	596	162	80	54	8,6
9	21/10/2013	350	586	168	78	55	8,96
10	11/10/2013	300	513	151	74	52	8,62
11	3/10/2013	330	568	141	73	51	8,45
12	24/9/2013	330	549	162	72	52	7,98
13	16/9/2013	450	740	173	82	61	8,4
14	12/9/2013	320	531	147	73	49	7,22
15	6/9/2013	280	464	122	67	48	6,16
16	30/8/2013	250	418	122	63	45	6,31
17	8/8/2013	300	494	162	73	52	7,76
18	6/8/2013	290	521	184	71	52	8,07
19	30/7/2013	290	481	138	68	49	7,4
20	26/7/2013	310	521	149	73	52	7,82
21	18/7/2013	270	462	156	68	51	7,62
22	12/7/2013	310	587	174	77	51	8,31
23	25/6/2013	220	406	125	76	56	7,75
24	6/6/2013	300	540	142	78	59	8,96
25	4/6/2013	330	555	164	83	67	8,79
26	31/5/2013	240	411	142	75	57	8,14
27	23/5/2013	250	447	152	77	56	8,88
28	17/5/2013	290	562	210	79	69	8,75
29	14/5/2013	220	380	168	70	53	7,74
30	26/4/2013	310	542	198	76	62	8,98
31	19/4/2013	360	560	173	81	61	8,41
32	15/4/2013	320	589	172	82	62	9,83
33	3/4/2013	330	575	165	84	62	5,96
34	29/3/2013	260	469	187	95	74	5,42
35	21/3/2013	270	497	161	78	59	6,67
36	12/3/2013	290	536	137	88	56	8,88
37	4/3/2013	270	492	179	81	56	8,42
38	27/2/2013	230	437	194	96	77	8,55
39	19/2/2013	260	541	222	88	68	9,36
40	14/2/2013	210	389	143	72	53	8,48

41	7/2/2013	290	575	148	89	68	8,25
42	4/2/2013	200	445	138	81	62	9,64
43	28/1/2013	210	396	142	79	59	7,95
44	23/1/2013	180	386	143	99	82	8,64
45	8/1/2013	270	453	144	98	78	8,12
46	2/1/2013	240	420	138	76	56	9,31
SUM		13660	23766	7266	3569	2655,8	372,8
Χμείση		296,96	516,65	157,96	77,59	57,73	8,10

Πηγή: <http://ypeka.plexscape.com/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR142001011>

ΠΙΝΑΚΑΣ Π- 2 :Αποτελέσματα δειγματοληψιών – Επεξεργασμένη ροή

	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	BOD ₅	COD	SS	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-P
1	23/12/2013	15	53	26	8,74	1,92	5,65	3,48
2	16/12/2013	9	36	16	9,84	0,72	7,6	4,09
3	9/12/2013	7	31	14	9,32	0,36	7,69	4,72
4	3/12/2013	12	46	24	8,31	0,82	6,15	4,34
5	29/11/2013	13	52	27	9,9	1,66	7,02	4,84
6	19/11/2013	10	40	23	9,38	1,85	5,71	5,14
7	12/11/2013	8	34	18	9,32	0,87	7,01	4,28
8	4/11/2013	12	49	26	9,62	1,68	6,17	5,84
9	23/10/2013	12	48	24	10,89	1,49	7,52	4,82
10	21/10/2013	11	46	25	12,3	1,46	8,67	5,79
11	11/10/2013	10	41	22	9,24	1,03	6,61	4,71
12	3/10/2013	9	35	21	8,62	0,82	6,26	5,1
13	24/9/2013	9	37	17	9,18	1,06	6,62	4,96
14	16/9/2013	10	42	18	9,54	1,36	6,81	4,97
15	12/9/2013	8	29	17	8,78	1,75	6,08	5,6
16	6/9/2013	7	28	14	9,21	1,27	6,34	4,77
17	30/8/2013	8	33	12	9,18	0,38	7,15	4,62
18	27/8/2013	9	34	17	10,74	0,95	7,48	4,09
19	8/8/2013	8	34	13	9,88	0,23	7,89	3,85
20	6/8/2013	7	28	15	8,62	0,92	6,1	4,47
21	30/7/2013	8	34	15	9,88	0,35	7,6	4,72
22	26/7/2013	8	34	17	9,11	1,44	6,28	4,22
23	18/7/2013	6	26	13	8,94	0,39	7,2	4,9
24	12/7/2013	10	40	19	8,57	0,82	6,17	3,94
25	25/6/2013	7	30	14	9,62	0,48	7,48	5,25
26	20/6/2013	9	36	20	9,88	1,36	7,21	4,37
27	6/6/2013		28	17	8,97	1,13	6,51	4,75
28	4/6/2013	8	32	12	9,08	1,16	6,74	4,13
29	31/5/2013	7	29	14	9,88	1,86	6,28	3,71
30	23/5/2013	12	47	15	9,38	1,21	6,94	4,92
31	17/5/2013	10	42	18	8,52	0,9	6,3	4,62
32	14/5/2013	10	43	17	9,82	0,41	7,91	5,07
33	26/4/2013	9	38	19	8,42	0,81	6,19	3,21
34	19/4/2013	9	35	21	9,18	1,32	6,05	4,52
35	15/4/2013	9	38	20	8,98	1,89	5,47	3,29
36	3/4/2013	11	46	21	8,09	0,34	6,29	3,28
37	29/3/2013	13	54	19	8,31	0,67	6,42	2,92
38	21/3/2013	16	64	24	9,18	1,29	6,17	3,38
39	12/3/2013	14	58	23	8,91	1,27	6,05	3,92
40	4/3/2013	12	47	21	8,48	0,42	6,24	4,58
41	27/2/2013	9	37	21	8,91	1,75	5,89	3
42	19/2/2013	10	40	15	8,78	0,81	6,88	4,35
43	14/2/2013	11	45	17	9,42	1,06	6,95	4,57

44	7/2/2013	10	43	24	9,4	1,31	6,28	5,37
45	4/2/2013	10	39	20	9,34	0,81	7,27	5,92
46	28/1/2013	8	35	17	9,38	0,32	7,81	5,69
47	23/1/2013	10	39	16	9,72	1,01	7,36	5,73
48	8/1/2013	11	43	23	9,14	1,67	6,06	5,95
49	2/1/2013	9	38	14	9,49	0,95	7,1	5,2
SUM		470	1936	915	455,39	51,81	329,63	223,96
Χμέση		9,79	39,51	18,67	9,29	1,06	6,73	4,57

Πηγή: <http://ypeka.plexscape.com/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR142001011>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑA. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Αγγελάκης, Α., Δεληγιάννης, Κ., Ζάννη, Α., Παπακωνσταντίνου, Α., Πατέρας, Δ., Σακελλαρίου, Μ., Σταματιάδης, Σ. και Τσαντήλας, Χ. (2005) «Διερεύνηση για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων νερών και ιλύος της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Λάρισας». Λάρισα: Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Λάρισας.
- Δήμος Λαρισαίων (2013) *Λάρισα –Αίτηση για το Ευρωπαϊκό Βραβείο Πράσινης Προτεύουσας 2016*. Προσβάσιμο από: http://www.larissa-dimos.gr/new/pdf/EGC_LARISSA_1.pdf. [τελευταία επίσκεψη 19-05-2014].
- Κάλλια-Αντωνίου, Α. (2012) «Δίκαιο Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης-Σύντομη Επισκόπηση: Ατμόσφαιρα και κλιματική αλλαγή-Υδατα-Απόβλητα και Ανακύκλωση-Φύση και Βιοποικιλότητα-Περιβαλλοντική Ευθύνη». *Περιβάλλον και Δίκαιο* 2, σ. 276-280.
- Κόκκινος, Ν. (2014) Υπεύθυνος Χημείου ΕΕΛ Λάρισας, Προσωπική συνέντευξη: 28-04-2014, 11:00 π.μ.
- Κούγκολος, Α. (2007) *Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Λασπίδου, Χ. (2013) «Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων και η εφαρμογή της στην πόλη της Λάρισας: Διάλεξη Μαρκαντωνάτος Π.». Σημειώσεις Μαθήματος Διαχείριση Αποβλήτων, ΠΜΣ Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος, 2^ο εξάμηνο, ΤΜΧΠΠΑ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μαρκαντωνάτος, Γ., (1990) *Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Γαρταγάνης.

- Νταμήτρου, Μ.Δ, Παπακωνσταντίνου, Α, Σκλαρή, Σ. και Σαμαράς, Π.(2010) «Αξιολόγηση της λειτουργίας μιας εγκατάστασης ενεργού ιλύος για την επεξεργασία αστικών λυμάτων». Στο *Τρίτο Διεθνές Συνέδριο Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Νερού και Υγρών Αποβλήτων Μικρής Κλίμακας*. Σκιάθος, Ελλάδα 10-16 Μαΐου 2010.
- Τσώνης, Τ. Π. (2004) *Επεξεργασία Λυμάτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Χλέτσης Α. (2014) Μηχανολόγος ΕΕΛ Λάρισας, Προσωπική συνέντευξη: 28-04-2014, 9:30 π.μ.

Β. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Aichele, R. and Felbermayr, G. (2012) “Kyoto and the carbon footprint of nations”, *Journal of Environmental Economics and Management*, **63** (3), pp. 2679-2687.
- Bani Shahabadi, M., Yerushalmi, L. and Haghghat, F. (2009) “Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants”. *Water research*, **43** (10), pp. 2679-2687.
- Bastone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A., (2002) “The IWA Anaerobic Digestion Model No 1(ADM1)”. *Water Science and Technology*, **45**(10), pp. 65-73.
- Braschel, N. and Posch, A. (2013) “A review of system boundaries of GHG emission inventories in waste management”. *Journal of Cleaner Production*, **44**, pp. 30-38.
- Bridle Consulting (2007) “Development of a process model to predict GHG emissions from the water metropolitan WWTPs”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **136**, pp. 292-300.
- Bridle T., Shaw A., Cooper S., Yap K.C., Third K. and Domurad M. (2008) “Estimation of greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants”. In IWA, *World Water Congress 2008*, Vienna, Austria 7-12 September 2008.

- Cakir, F.Y., Stenstrom, M.K., (2005) “Greenhouse gas production: a comparison between aerobic and anaerobic treatment technology”. *Water Research*, **39**(17), pp. 4197-4203.
- Czepiel P.M., Crill P.M. and Harris R.C. (1993) “Methane emissions from municipal wastewater treatment processes”. *Environmental Science and Technology*, **27** (12), pp. 2472-2477.
- Corominas, L., Flores-Alsina X., Snip L., Vanrolleghem P.A. (2010). “Minimizing overall greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants by implementing automatic control”. In IWA, 7th *Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Technologies*. Phoenix, AZ, USA 2-4 June 2010.
- Corominas, L., Flores-Alsina, X., Snip, L. and Vanrolleghem, P. (2012) “Comparison of Different Modeling Approaches to Better Evaluate Greenhouse Gas Emissions From Whole Wastewater Treatment Plants”. *Biotechnology and Bioengineering*, **109** (11), pp. 2854-2863.
- EC (2012) “Report from the Commission to the European Parliament and the Councils: Progress Towards Achieving the Kyoto Objectives”. Προσβάσιμο από: <http://europeanmemoranda.cabinetoffice.gov.uk/files/2012/11/15500-12.pdf> [τελευταία πρόσβαση 05-05-2014].
- EEA, (2010) “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2008 and inventory report 2010”. Προσβάσιμο από: <file:///C:/Users/%CE%93%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%93%CE%99%CE%91/Downloads/Summary%20EU%20GHG%20inventory%202010.pdf> [τελευταία πρόσβαση 27-04-2014].
- EPA (2009) *Inventory of U.S Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2007*, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA (2010) “Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources”. Προσβάσιμο από: <http://www.epa.gov/outreach/pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf> [τελευταία πρόσβαση 02-05-2014].

- Flores-Alsina X., Corominas L., Snip L. and Vanrolleghem P.A. (2011) “Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies”. *Water Research*, **45**(16), pp. 4700-4710.
- Flores-Alsina, X., Arnell, M., Amerlinck, Y., Corominas, L., Gernaey, K., Guo, L., Lindblom, E. (2012) “A dynamic modelling approach to evaluate GHG emissions from wastewater treatment plants”. In IWA, *World Congress on Water, Climate and Energy*, Dublin, Ireland 21-22 February 2012.
- Foley, J., De Haas, D., Yuan, Z., Lant, R., (2010) “Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants”. *Water Research*, **44** (3), pp. 831-844.
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B. and Giljum, S. (2012) “Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet”. *Ecological Indicators*, **16**, pp. 100-112.
- Greenfield, P.F., Batstone, D.J., (2005) “Anaerobic digestion: impact of future previous term greenhouse next term gases mitigation policies on methane generation and usage”. *Water Science Technology*, **52** (1-2), pp. 39-47.
- Guisasola A., Sharma K.R., Keller J. and Yuan Z. (2009) “Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers”. *Water Research*, **43**(11), pp. 2874-2884.
- Gupta, D. and Singh, S.K. (2012) “Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A Case Study of Noida”. *Journal of Water Sustainability*, **2**(2), pp.131-139.
- Hiatt, W.C., Grady Jr., C.P.L., (2008a) “An updated process model for carbon oxidation, nitrification and denitrification”. *Water Environment Research*, **80**(11), pp. 2145-2156.
- Hiatt, W.C., Grady Jr., C.P.L., (2008b) “Application of the activated sludge model for nitrogen to elevated nitrogen conditions”. *Water Environment Research*, **80**(11), pp. 2134-2144.

- IPCC (2006) “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Προσβάσιμο από: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html> [τελευταία πρόσβαση 09-05-2014].
- IPCC (2007) “Climate change 2007: Synthesis Report (Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)”. Προσβάσιμο από: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf [τελευταία πρόσβαση 09-05-2014].
- Jeppsson U., Pons M.N., Nopens I., Alex J., Copp J.B., Gernaey K.V., Rosen C., Steyer J.P. and Vanrolleghem P.A. (2007) “Benchmark Simulation Model No 2: General protocol and exploratory case studies”. *Water Science Technology*, **56**(8), pp. 67-78.
- Kampschreur, M.J., Temmink, H., Kleerebezem R., Jetten M.S.M. and van Loosdrecht M.C.M. (2009) “Nitrous oxide emission during wastewater treatment”. *Water Research*, **43**(17), pp. 4093-4103.
- Keller, J., Hartley, K., (2003) “Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor”. *Water Science Technology*, **47**(12), pp. 43-48.
- LGO (2008) “Local government operations protocol for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions inventories”. Προσβάσιμο από: http://www.arb.ca.gov/cc/protocols/localgov/archive/final_lgo_protocol_2008-09-25.pdf [τελευταία πρόσβαση 18-04-2014].
- Metcalf and Eddy Inc (2006) *Μηχανική υγρών αποβλήτων: επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση*. 4^η έκδ. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
- Mo, W. and Zhang, Q. (2012) “Can municipal wastewater treatment systems be carbon neutral? ”. *Journal of Environmental Management*, **112**, pp. 360-367.
- Monteith, H.D., Sahely, H.R., MacLean, H.L., Bagley, D.M. (2005) ”A rational procedure for estimation of greenhouse-gas emissions from municipal wastewater treatment plants”. *Water Environment Research*, **77**(4), pp. 390-403.

- NGER(2008) “National Greenhouse and Energy Reporting (Measurement) Technical Guideline 2008 v 1.1” Australia: Department of climate change and energy efficiency.
- Ni B.J., Yuan Z., Chandran K., Vanrolleghem P.A. and Murthy S. (2012) “Evaluating mathematical models for N₂O production by ammonia-oxidizing bacteria: towards a unified model”. In IWA/WEF, *Third Wastewater Treatment Modelling Seminar (WWTmod2012)*. Mont-Sainte-Anne, Québec, Canada 27-29 February 2012.
- Pagilla, K., Shaw, A., Kuntz, T., Schiltz, M. (2009) “A systematic approach to establishing carbon footprints for wastewater treatment plants”. In WEFTEC 2009, Orlando, Florida, USA 10-14 October 2009.
- Saravanamuttoo, H., Rogers, G.F.C., Cohen, G.F.C., Straznicky, P., (2009) *Gas Turbine Theory*. UK: Pearson Education Limited.
- Snip, L. (2010) “Quantifying the greenhouse gases emissions of wastewater treatment plants”. Msc thesis. Department of Agrotechnology and Food Science. Wageningen University. Προσβάσιμο από:
http://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/MSc_s/sniplaura_msc.pdf [τελευταία πρόσβαση 15-05-2014].
- Stern, N., (2006) *Stern Review on the economics of Climate Change*”. London: HM Treasury
- Tchobanoglous G., Burton F.L. and Stensel H.D. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- University of Copenhagen, (2009) “International Scientific Congress Climate Change: Global Risks, Challenges & Decisions-Synthesis Report”, In IARU (International Alliance of Research Universities). Copenhagen, Denmark 10-12 March 2009.
- von Schulthess, R., Gujer, W., (1996) “Release of nitrous oxide (N₂O) from denitrifying activated sludge: verification and application of a mathematical model”. *Water Research*, **30** (3), pp. 521-530.

- Water Environment Federation (2009) *Protocols for estimating Greenhouse Gas Emissions from Municipal Wastewater Sources*. Προσβάσιμο από:
http://www.ncsafewater.org/Pics/Committees_Updated0307/Sustainability/Sustainability2010/susta [τελευταία πρόσβαση 26-05-2014].

Γ. Βιβλιογραφία –Εικονογραφία στο Διαδίκτυο

- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2013) «Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων: Βάση Δεδομένων Παρακολούθησης Λειτουργίας: Λάρισα». Προσβάσιμο από:
<http://ypeka.plexscape.com/Services/Pages/View.aspx?xuwcode=GR142001011>
[τελευταία ενημέρωση 27-05-2014].
- ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.(2014) «ΚΥΑ 80568/4225/91: Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ύλης που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων». Προσβάσιμη από:
http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/641b_91.1149837816400.pdf [τελευταία πρόσβαση 25-05-2014].
- ΕΠΕΜ (2009) «Τοπικό Σχέδιο Δράσης για την Κλιματική Αλλαγή» Προσβάσιμο από:
<http://www.epem.gr/climlocal/pdf/actiongr.pdf> [τελευταία πρόσβαση 30-05-2014].
- ΥΠΕΚΑ (2009) «Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων». Προσβάσιμη από:
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=TAuivm9B%2fEo%3d&tabid=251&language=el-GR> [τελευταία ενημέρωση 28-05-2014].
- ΥΠΕΚΑ (2009) «ΚΥΑ 5673/400/1997: Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων». Προσβάσιμη από:
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=51gKkD2AS5A%3d&tabid=251&language=el-GR> [τελευταία ενημέρωση 28-05-2014].
- ΥΠΕΚΑ (2009) «ΚΥΑ 19661/1982/1999 (ΦΕΚ 1811Β/29-9-1999)». Προσβάσιμη από:
http://ypeka.plexscape.com/FileSystem/Documents/Files/KYA_19661_1982_1999.pdf
[τελευταία πρόσβαση 29-05-2014].

- ΥΠΕΚΑ (2009) «ΚΥΑ 48392/939/3-2-2002 (ΦΕΚ 405B/3-4-2002)». Προσβάσιμη από:
http://ypeka.plexscape.com/FileSystem/Documents/Files/KYA_48392_939_2002.pdf
[τελευταία πρόσβαση 29-05-2014].
- ΥΠΕΚΑ (2009) «6^η Έκθεση για την Εφαρμογή της Επεξεργασίας των αστικών λυμάτων». Προσβάσιμη από: http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/implementation/pdf/SEC_2011_1561_F_EN.pdf [τελευταία πρόσβαση 26-05-2014].

