



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΛΥΜΑΤΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ*

ΕΚΠΟΝΗΣΗ:

Μπέμπελος Απόστολος

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Λασπίδου Χρυσή

Επικ. Καθηγήτρια

ΒΟΛΟΣ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2014

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ / ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

ΜΠΕΜΠΕΛΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: κ. ΛΑΣΠΙΔΟΥ ΧΡΥΣΗ

Εξεταστική Επιτροπή: Χ. Λασπίδου, Επίκ. Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

Α. Λιακόπουλος, Καθηγητής

Β. Κανακούδης, Επίκ. Καθηγητής

ΒΟΛΟΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2014

“For most of history, man has had to fight nature to survive; in this century he is beginning to realize that, in order to survive, he must protect it.”

«Σε όλη τη διάρκεια της Ιστορίας, ο άνθρωπος έπρεπε να παλεύει με τη Φύση για να επιβιώσει. Σ' αυτόν τον αιώνα, έχει αρχίσει να συνειδητοποιεί ότι για να επιβιώσει, πρέπει να την προστατέψει.»

Jacques-Yves Cousteau

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων παίζει καθοριστικό ρόλο στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Στην παρούσα εργασία γίνεται επισκόπηση της λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Βόλου με σκοπό την μέτρηση των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα ποσοτικοποίησης των εκπομπών, ένα στατικό (Bridle Model) και ένα δυναμικό (BSM2). Τα αποτελέσματα των μοντέλων αποτελούν μια βάση δεδομένων για τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Αυτά συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των επιστημονικών μελετών όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία. Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οι περισσότερες εκπομπές προκύπτουν από την αναερόβια χώνευση. Τέλος, για εισαγωγή δεδομένων (μέσων τιμών) για μεγάλα χρονικά διαστήματα και ίδιες παραμέτρους τα μοντέλα δίνουν πολύ κοντινές τιμές εκπομπών ΑΦΘ.

Λέξεις - κλειδιά: εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, μοντέλο Bridle, μοντέλο ASM1, μοντέλο BSM2, Δήμος Βόλου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα αποτελεί τη Διπλωματική εργασία στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια κα Χρυσή Λασπίδου για την παρότρυνσή της να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, την άριστη συνεργασία μας και την πολύτιμη καθοδήγησή της σε κάθε στάδιο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους Καθηγητές κ. Αντώνιο Λιακόπουλο και κ. Βασίλειο Κανακούδη που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της παρούσας.

Ακόμη, ευχαριστώ την Προϊσταμένη της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων του Δήμου Βόλου κα Ευτυχία Διομή, τον κ. Στέφανο Κανταρντζή καθώς και τα υπόλοιπα στελέχη για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών και πρωτογενών δεδομένων.

Και τέλος, επειδή σε κάθε ταξίδι δεν έχει σημασία μόνο ο προορισμός αλλά και η διαδρομή, θέλω να ευχαριστήσω όλους αυτούς τους υπέροχους ανθρώπους που είναι καθημερινά γύρω μου και ομορφαίνουν τον κόσμο μου. Και περισσότερο απ' όλους την οικογένειά μου για την υποστήριξη και τη βοήθειά τους στη συνολική πορεία μου έως τώρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	vii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	3
1.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ	5
1.1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	5
1.1.2 ΑΕΡΙΑ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	7
1.1.3 ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΣΕ CO ₂	9
1.1.4 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	10
1.2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΑ ΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ ΣΤΗΝ ΕΕ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	10
1.2.1 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ	11
1.2.1.1 Η ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	11
1.2.1.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	12
1.2.1.3 ΘΕΣΜΙΚΟ - ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ ΓΙΑ ΤΑ ΛΥΜΑΤΑ	13
1.2.1.4 ΘΕΣΜΙΚΟ - ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ	14
1.2.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	18
1.2.2.1 ΘΕΣΜΙΚΟ - ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	18

1.2.2.2 ΘΕΣΜΙΚΟ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ	20
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	22
2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΒΟΛΟΥ	22
2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΠΑΝΩ ΣΕ ΑΥΤΑ	31
2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ	33
2.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	37
2.4.1 Bridle Model	37
2.4.2 Benchmark Simulation Model 2 (BSM2)	51
2.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	55
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	56
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	60
4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	63
A. Bridle model calculations	63
B. BSM2 calculations	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78
A. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	78
B. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Απευθείας συμβολή αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	9
Πίνακας 1.2: Ισοδυναμία των ΑΦΘ σε CO ₂ (GWP), 2013 IPCC	9
Πίνακας 1.3: Ισοδυναμία των ΑΦΘ σε CO ₂ (GWP), 2007 IPCC, (2001 IPCC)	10
Πίνακας 1.4: Κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την παρακολούθηση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων	13
Πίνακας 1.5: Νομοθεσία για τα Υγρά Απόβλητα	18
Πίνακας 1.6: Νομοθεσία για τις εκπομπές ΑΦΘ και το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών	20
Πίνακας 3.1: Σύγκριση εκπομπών ΑΦΘ που υπολογίστηκαν και βιβλιογραφίας	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση πορείας λυμάτων	3
Σχήμα 1.2: Αναπαράσταση ισοζυγίου ΜΕΛ	4
Σχήμα 1.3: Εξάρτηση των εκπομπών ΑΦΘ	5
Σχήμα 1.4: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	6
Σχήμα 1.5: Εκτιμώμενο δυναμικό μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2020 ..	16
Σχήμα 1.6: Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο μέχρι το 2020	17
Σχήμα 2.1: Χάρτης δικτύου	22
Σχήμα 2.2: Οριζοντιογραφία ΜΕΛ Δήμου Βόλου	23
Σχήμα 2.3: Προκαταρτική επεξεργασία	24
Σχήμα 2.4: Χημική επεξεργασία	25
Σχήμα 2.5: Βιολογική επεξεργασία	27
Σχήμα 2.6: Επεξεργασία λάσπης	29
Σχήμα 2.7: Οι εκπομπές ΑΦΘ της ΜΕΛ που λαμβάνονται υπόψη	34
Σχήμα 2.8: Ο μικροβιακός κύκλος του αζώτου (Jetten, 2008)	35
Σχήμα 2.9: Η σχηματική εικόνα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο Bridle Model για τον υπολογισμό των ΑΦΘ σύμφωνα με διαφορετικές διαδικασίες	38
Σχήμα 2.10: Οι εκπομπές ΑΦΘ που παράγονται σε μια ΜΕΛ, που υπολογίζονται από το BSM2 είναι σε κουτιά και οι εκπομπές ΑΦΘ που υπολογίζονται από το Bridle model είναι σε διακεκομμένα κουτιά	52
Σχήμα 2.11: Οι αντικαταστάσεις του BSM2 στο Bridle model (μπλε χρώμα)	53
Σχήμα 3.1: Η συμβολή των διεργασιών της ΜΕΛ στην εκπομπή ΑΦΘ (Bridle Model) ...	59
Σχήμα 3.2: Η συμβολή των διεργασιών της ΜΕΛ στην εκπομπή ΑΦΘ (BSM2)	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UNFCCC	Ηνωμένα Έθνη για την Κλιματική Αλλαγή
WSAA	Water Services Association of Australia
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΥΑ	Αστικά Υγρά Απόβλητα
ΑΦΘ	Αέρια που συμβάλουν στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
ΒΙ.ΠΕ.	Βιομηχανική Περιοχή
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚ	Ευρωπαϊκή Κοινότητα
ΕΟΚ	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
ΕΣΚΔΕ	Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΕΛ	Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων
Ν.	Νόμος
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΠΔΠ	Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον
ΠΥΣ	Πρακτικά Υπουργικού Συμβουλίου
ΥΑ	Υπουργική Απόφαση
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα που τίθενται στην παγκόσμια στρογγυλή τράπεζα είναι η πράσινη ανάπτυξη. Στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης, η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί μείζον ζήτημα, άρρηκτα συνδεδεμένο τόσο με την προστασία της δημόσιας υγείας, όσο και με την εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας.

Καθίσταται λοιπόν, και στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης, επιτακτική η ανάγκη σχεδιασμού και εφαρμογής ολοκληρωμένων Σχεδίων Διαχείρισης των αστικών υγρών αποβλήτων (ΑΥΑ), που θα εξετάζουν τη διαδικασία ολιστικά, υπό το φάσμα όλων των πιθανών επιπτώσεων.

Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια, το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής κυριαρχεί στη θεματολογία των διακρατικών συναντήσεων για θέματα περιβάλλοντος και είναι διαρκώς παρόν στις περιβαλλοντικές ατζέντες. Μία πτυχή αυτού του ζητήματος είναι αδιαμφισβήτητη και το οφειλόμενο στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η διαχείριση των ΑΥΑ από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (ΜΕΛ) είναι μία από τις σημαντικές πηγές εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (ΑΦΘ), και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο την τελευταία δεκαετία αρκετές έρευνες πάνω στην διαχείριση των ΑΥΑ από τις ΜΕΛ περιλαμβάνουν τις εκπομπές των ΑΦΘ με σκοπό να επικεντρωθούν στην εύρεση τρόπων μείωσης των εν λόγω εκπομπών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αφενός να παρουσιάσει τη διαδικασία μιας ΜΕΛ και αφετέρου να υπολογίσει τις εκπομπές των ΑΦΘ της ΜΕΛ του Δήμου Βόλου μέσω δύο διαφορετικών μοντέλων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός αυτός δεν γίνεται μόνο για δεοντολογικούς περιβαλλοντολογικούς λόγους, που τους υπαγορεύει η πράσινη ανάπτυξη και η προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και γιατί μετά το 2020 θα υπάρχει περιορισμός στους αέριους ρύπους του θερμοκηπίου, βάσει της κοινοτικής νομοθεσίας. Δηλαδή τα κράτη μέλη θα μπορούν να εκπέμπουν συγκεκριμένη ποσότητα αέριων ρύπων, η υπέρβαση της οποίας θα τα επιβαρύνει με τσουχτερά πρόστιμα.

Οι επί μέρους στόχοι της εργασίας είναι:

- Η κατανόηση της σημαντικότητας της διαχείριση των ΑΥΑ.
- Η συνοπτική παρουσίαση του θεσμικού πλαισίου και της νομοθεσίας της ΕΕ και της Ελλάδας σχετικά με τις ΜΕΛ και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από αυτές.
- Η περιγραφή των εκπομπών των σημαντικότερων ΑΦΘ από τις μεθόδους διαχείρισης των ΜΕΛ.
- Η καταγραφή όλων των σταδίων της επεξεργασίας σε μία ΜΕΛ.
- Η περιγραφή της λειτουργίας των μοντέλων που υπολογίζουν τις εκπομπές των ΑΦΘ από τη διαδικασία της διαχείρισης των ΜΕΛ.

- Η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 4 κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που πρέπει κανείς να γνωρίζει για να μπορεί να αξιολογήσει τις εκπομπές ΑΦΘ από μία ΜΕΛ. Πιο αναλυτικά γίνεται αναφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα αέρια που το επηρεάζουν. Επίσης παρατίθεται και η σχετική με τις ΜΕΛ νομοθεσία σε επίπεδο λυμάτων και εκπομπών ΑΦΘ.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ΜΕΛ του Δήμου Βόλου και τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των εκπομπών ΑΦΘ από αυτή.

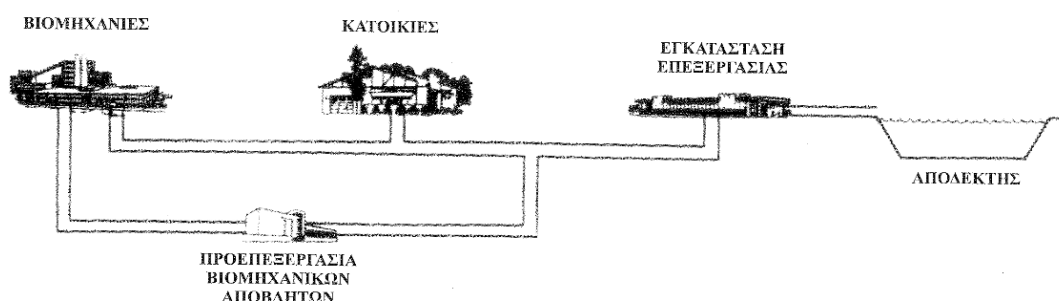
Στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιώντας τα δύο μοντέλα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, η εργασία κλείνει με το τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και ορισμένες προτάσεις σχετικά τόσο με τη διαχείριση των ΑΥΑ από τις ΜΕΛ, όσο και με ενδεχόμενες μελλοντικές έρευνες.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Ο σύγχρονος καπιταλιστικός και καταναλωτικός τρόπος ζωής, η συσσώρευση των ανθρώπων στα αστικά κέντρα, αλλά και η βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων στερεών και υγρών αποβλήτων. Επομένως, η διαχείριση των αποβλήτων αυτών αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την αποφυγή της μόλυνσης του περιβάλλοντος και την διατήρηση της ισορροπίας στον πλανήτη.

Τα απόβλητα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα στερεά και τα υγρά. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν τα υγρά απόβλητα (λύματα) και οι μονάδες επεξεργασίας αυτών.

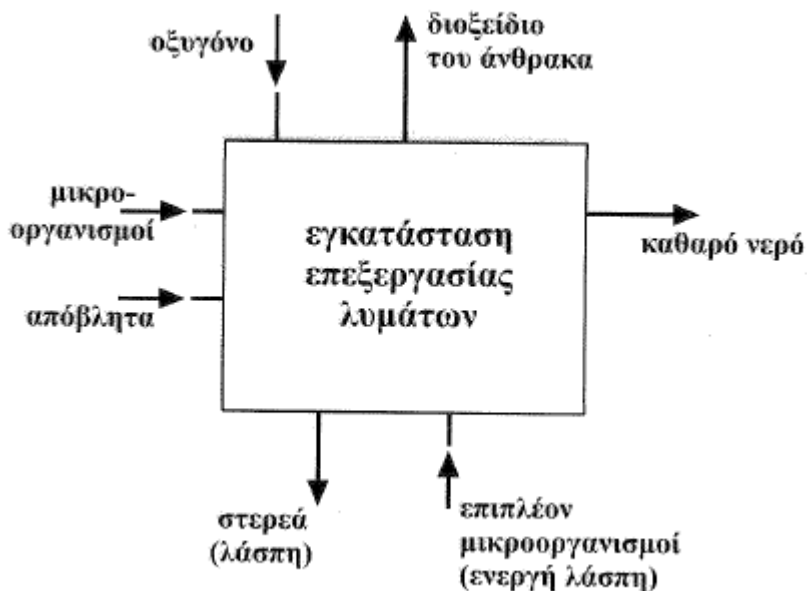


Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση πορείας λυμάτων

Ο όρος λύματα αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης (αστικά λύματα). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα (ΑΥΑ). Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180 - 300 λίτρα ανά άτομο κάθε ημέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από δημόσια κτίρια, νοσοκομεία κλπ. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν - παρανόμως - ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο μιας πόλης.

Ο βιολογικός καθαρισμός των λυμάτων είναι η διαδικασία της μετατροπής των οργανικών στοιχείων σε ανόργανα, με τη βοήθεια αερόβιων βακτηριδίων. Πραγματοποιείται από σειρά βιολογικών αερόβιων διεργασιών σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (ΜΕΛ). Σε αυτές επιτυγχάνεται η τροποποίηση των χαρακτηριστικών των ΑΥΑ, με σκοπό την εξάλειψη ή τη μείωση των δυσμενών συνεπειών που προέρχονται από τη διάθεση τους, και κυρίως ο διαχωρισμός των επικίνδυνων ουσιών από το νερό, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, είναι αυτό της ενεργούς ιλύος. Το εν λόγω σύστημα αναπτύχθηκε αρχικά στην Αγγλία στις αρχές του περασμένου αιώνα και

έκτοτε η συνεχής εξέλιξή του οδήγησε σε αρκετές παραλλαγές του τυπικού συστήματος, οι οποίες αύξησαν τις δυνατότητες εφαρμογής του. Στην Ελλάδα το 90% των εγκαταστάσεων ακολουθεί αυτό το σύστημα, εξυπηρετώντας περίπου 8.000.000 κατοίκους. Η λειτουργία των ΜΕΛ θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, όπου θα εξεταστεί συγκεκριμένα η ΜΕΛ του Δήμου Βόλου, η οποία χρησιμοποιεί το σύστημα της ενεργούς ιλύος.



Σχήμα 1.2: Αναπαράσταση ισοζυγίου ΜΕΛ

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. 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 τους ενδεχομένους κινδύνους και περιορισμούς.

Είναι πλέον αναγνωρισμένο ότι τα θρεπτικά συστατικά των λυμάτων έχουν αμελητέα συνεισφορά στην εξοικονόμηση λιπασμάτων και ότι το βασικό πλεονέκτημα έγκειται στην εξοικονόμηση νερού. Κατά συνέπεια το αναμενόμενο όφελος είναι άμεσα συσχετισμένο με τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και επομένως η σκοπιμότητα της επαναχρησιμοποίησής τους θα πρέπει να αξιολογείται σε συνάρτηση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής.

Επομένως καταλήγουμε ότι ένα από τα βασικά κριτήρια για τη λειτουργία μιας ΜΕΛ είναι η ποιότητα εκροής των υδάτων στον υδατικό αποδεκτή. Αυτή πρέπει να είναι, βάσει της νομοθεσίας της ΕΕ, μέσα σε κάποια προκαθορισμένα επιτρεπτά όρια. Ένας άλλος παράγοντας που παίζει βασικό ρόλο στις ΜΕΛ, όπως και σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες, είναι το κόστος λειτουργίας. Τέλος, λόγω της αλλαγής και της εφαρμογής νέου και αυστηρότερου νομοθετικού πλαισίου από την ΕΕ, τα τελευταία

χρόνια, μας ενδιαφέρει να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές των ΑΦΘ. Συμπερασματικά, το τρίπτυχο ποιότητα εκροής – κόστος λειτουργίας – εκπομπές ΑΦΘ είναι αυτό που καθορίζει τη λειτουργία μιας ΜΕΛ. Για αυτό το λόγο οι εκπομπές ΑΦΘ από τις ΜΕΛ, που είναι και το θέμα της παρούσας διπλωματικής, έχουν άμεση εξάρτηση από την ποιότητα εκροής.



Σχήμα 1.3: Εξάρτηση των εκπομπών ΑΦΘ

1.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ

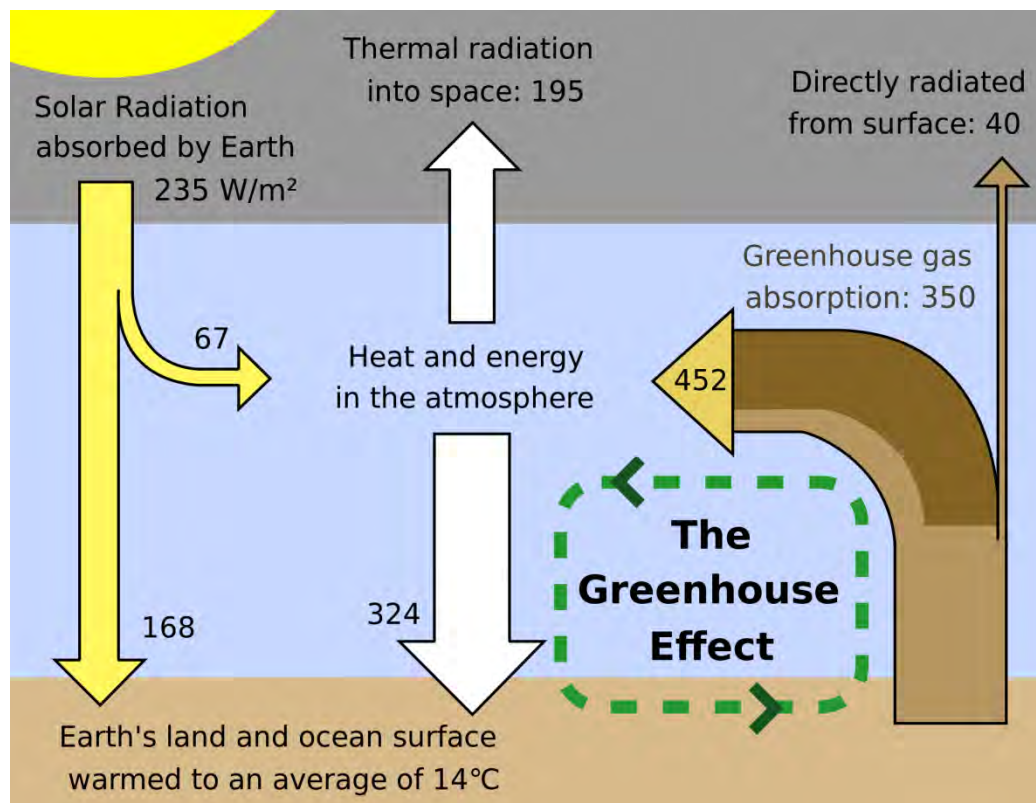
1.1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο, χάρη στο οποίο η θερμοκρασία της γης διατηρείται σταθερή, με μέση ετήσια θερμοκρασία 15°C σε παγκόσμια βάση, και συνεπώς ευνοείται η ανάπτυξη ζωής στον πλανήτη. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου η θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν περίπου -15°C (<http://enviroment.about.com>).

Από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που προσκρούει στη γη, μόνο το 50% καταφέρνει να διαπεράσει την ατμόσφαιρα και να θερμάνει την επιφάνεια του πλανήτη και το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, ενώ το 30% περίπου αντανακλάται στο διάστημα από τα σύννεφα και τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας, και το υπόλοιπο 20% κατακρατείται από τα σύννεφα, τα αιωρούμενα σωματίδια και τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας (αέρια του θερμοκηπίου).

Επίσης, η επιφάνεια της γης λόγω της θέρμανσής της από την ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία προς το διάστημα, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας (90%) απορροφάται από τα αέρια του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας και επιστρέφει στη γη, γεγονός από το οποίο ονομάστηκε το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Le Treut et al., 2007).



Σχήμα 1.4: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η αρνητική διάσταση που δίδεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αποδίδεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αυξάνουν τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την αύξηση της απορρόφησης ακτινοβολίας από αυτά και τη συνεπαγόμενη αύξηση της θερμικής ενέργειας που επιστρέφει προς τη γη, με συνέπεια την υπερθέρμανση του πλανήτη (Le Treut et al., 2007). Σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες παρατηρούνται ήδη από την προβιομηχανική εποχή, σημειώνοντας μία αύξηση της τάξης του 70% από το 1970 έως το 2004 (IPCC, 2007). Οι κυριότερες δραστηριότητες που συμβάλλουν στο φαινόμενο είναι η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η αποψίλωση των δασών (Le Treut et al., 2007). Αναλυτικότερα, οι δραστηριότητες που είναι κυρίως υπεύθυνες, σύμφωνα με τον υπολογισμό των επιπέδων εκπομπών του 2004, είναι (Rogner et al., 2007, www.epa.gov, www.e-education.psu.edu):

- Η παραγωγή ενέργειας: η καύση του άνθρακα, του φυσικού αερίου και του πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και θέρμανσης είναι η μεγαλύτερη πηγή παραγωγής εκπομπών, με ποσοστό συμβολής 26%.

- Οι βιομηχανικές δραστηριότητες: εκτός από την καύση ορυκτών καυσίμων για την επιτόπου παραγωγή ενέργειας στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σε αυτόν τον τομέα περιλαμβάνονται επίσης οι εκπομπές από την παραγωγή χημικών, από μεταλλουργεία και διαδικασίες μετασχηματισμού ορυκτών που δε σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης και από διυλιστήρια.
- Οι αλλαγές στις χρήσεις γης και κυρίως η δασοκομία: οι εκπομπές προέρχονται κυρίως από την αποψίλωση των δασών και την εκχέρσωση για γεωργία, καθώς και την αποσύνθεση της εναπομένουσας βιομάζας από την υλοτομία.
- Οι αγροτικές δραστηριότητες, όπως η διαχείριση γεωργικού εδάφους, η κτηνοτροφία και η καύση γεωργικών αποβλήτων (βιομάζας).
- Οι μεταφορές: οι εκπομπές προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο κίνησης, βενζίνη – diesel) για τις οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές.
- Η αστική χρήση γης – κτήρια εμπορίου και κατοικίας: οι εκπομπές αυτού του τομέα αναφέρονται στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και της βιομάζας (για θέρμανση).
- Η διαχείριση στερεών αποβλήτων και λυμάτων: η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αυτού του τομέα είναι η υγειονομική ταφή, ενώ ακολουθούν οι εκπομπές από τη διαχείριση των λυμάτων στις ΜΕΛ (που αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας) και από την καύση των απορριμμάτων που σχετίζονται με ορυκτά καύσιμα (πλαστικά, συνθετικά υφάσματα).

1.1.2 ΑΕΡΙΑ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τα αέρια που συμβάλλουν στο πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου, μέσω της απορρόφησης και συγκράτησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα μόρια τους, είναι κυρίως τριατομικά ή πολυατομικά αέρια. Τα βασικότερα από αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), ενώσεις του αζώτου (N₂O, NO_x), το φρέον, το όζον (O₃), αλλά και οι υδρατμοί που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Πιο αναλυτικά (www.eap.gov):

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂): το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κυριότερο αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κατά τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη φύση, οι εκπομπές του αλλά και η απορροφησή του αποτελούν μέρος του κύκλου του άνθρακα, ενώ εκπέμπεται κυρίως από την αναπνοή των ζώων και των φυτών, τις ηφαιστειακές εκρήξεις και τις ανταλλαγές μεταξύ ωκεανών και ατμόσφαιρας. Ωστόσο, υπεύθυνες για το πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου θεωρούνται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Αυτές παράγονται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας) και τις αλλαγές στις χρήσεις γης, καθώς επίσης και από τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, από τα προϊόντα ξυλείας αλλά και από χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τις βιομηχανικές διεργασίες (όπως κατά την παραγωγή τσιμέντου). Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει παρουσιάσει αύξηση κατά 40% από την προβιομηχανική εποχή ως σήμερα, δηλαδή από 280 μέρη στο εκατομμύριο κατ' όγκο (ppmv) που εκτιμήθηκε για τον 18^ο αιώνα, να φτάνει τα 390 ppmv κατά το έτος 2010.

Μεθάνιο (CH₄): είναι το δεύτερο επικρατέστερο αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αφού πάνω από 60% των εκπομπών του

οφείλονται σε αυτές και η συγκέντρωσή του εξαιτίας αυτών έχει αυξηθεί από την προβιομηχανική εποχή έως σήμερα κατά 250%. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί σημαντική επιβράδυνση στο ρυθμό αύξησης της συγκέντρωσής του. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που είναι υπεύθυνες για τις εκπομπές μεθανίου είναι η παραγωγή και η μεταφορά των ορυκτών καυσίμων και κυρίως του φυσικού αερίου, η κτηνοτροφία και η αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Υποξείδιο του αζώτου (N₂O): Το N₂O εκπέμπεται από φυσικές πηγές και είναι ένα αέριο που προέρχεται από τον κύκλο του αζώτου. Ενώ η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα ήταν ανέκαθεν σχετικά σταθερή, από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά έχει παρατηρηθεί αύξηση κατά 18% και ιδιαίτερα με ταχύτερους ρυθμούς τις τελευταίες δεκαετίες. Σε παγκόσμιο επίπεδο οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για το 40% των εκπομπών του N₂O, το οποίο εκπέμπεται κατά τις γεωργικές δραστηριότητες (κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων), από τις μεταφορές (καύσιμα), και από βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η παραγωγή λιπασμάτων και συνθετικών ινών, αλλά και κατά την καύση ορυκτών καυσίμων και των στερεών αποβλήτων.

Φθοριούχα αέρια: όπως υδροφθοράνθρακες (HFCs), χλωροφθοράνθρακες (CFCs), υπέρφθοράνθρακες (PFCS), υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και εξαφθοριούχο θείο (SF₆). Αυτά είναι ισχυρά συνθετικά – τεχνητά παραγόμενα – αέρια του θερμοκηπίου και προέρχονται μόνο από ανθρωπογενείς πηγές. Ενώ εκπέμπονται σε μικρότερες ποσότητες, έχουν ισχυρές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω του υψηλού δυναμικού τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις και λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής τους, γι' αυτό και αναφέρονται και ως αέρια με υψηλό δυναμικό θέρμανσης (High Global Warming Potential gases – High GWP gases). Εκπέμπονται από βιομηχανικές διεργασίες, όπως από την παραγωγή αλουμινίου και την επεξεργασία μαγνησίου, από τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών όπου χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται και ως διαλύτες και επιβραδυντικά πυρκαγιάς.

Ένα ακόμα αέριο του θερμοκηπίου είναι το όζον, το οποίο δημιουργείται από τη χημική αντίδραση του φωτός με τις εκπομπές οξειδίου του αζώτου και πτητικών οργανικών ενώσεων που προέρχονται από τα αυτοκίνητα, τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και άλλες βιομηχανικές πηγές.

Επίσης, οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας παίζουν σημαντικό ρόλο στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συγκέντρωσή τους παραμένει σχετικά σταθερή αφού ρυθμίζεται από τη θερμοκρασία και τις κατακρημνίσεις, και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να επηρεάσουν τη συγκέντρωση μόνο σε τοπική κλίμακα. Επομένως, οι υδρατμοί δε λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Πίνακας 1.1: Απευθείας συμβολή αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Compound	Water vapor and clouds	Carbon dioxide	Methane	Ozone
Formula	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	O ₃
Contribution (%)	36 - 72%	9 - 26%	4 - 9%	3 - 7%

1.1.3 ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΑΕΡΙΩΝ ΣΕ CO₂

Το Δυναμικό Θέρμανσης του πλανήτη (GWP – Global Warming Potentials) είναι μια ποσοτική μέτρηση των σχετικών μέσων όρων ακτινοβολίας και των επιπτώσεων της σε παγκόσμιο επίπεδο ενός αερίου του θερμοκηπίου και ορίζεται από την EPA (2012a) ως «ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας σε ολοκληρωμένο χρόνο από τη στιγμιαία απελευθέρωση 1 Kg ίχνους της ουσίας (του αερίου) προς 1 Kg του αερίου αναφοράς». Ουσιαστικά αντικατοπτρίζει το πόσο καιρό παραμένει στην ατμόσφαιρα ένα αέριο και πόσο έντονα απορροφά ενέργεια. Ως αέριο αναφοράς χρησιμοποιείται το CO₂ και οι σταθμισμένες εκπομπές των αερίων μετρούνται σε Teragrams (Tg) (ή εκατομμύρια μετρικούς τόνους) ισοδύναμου CO₂ (Tg CO₂ Eq.) (EPA, 2012a). Το χρονικό διάστημα στο οποίο αντιστοιχούν οι μετρήσεις είναι συνήθως 100 έτη. Η σχέση μετατροπής των επιπτώσεων ενός αερίου σε ισοδύναμο CO₂ είναι η εξής: Tg CO₂ Eq. = (Gg αερίου) x (GWP) x (Tg/1000 Gg) (EPA, 2012a). Ακολουθούν οι Πίνακες 1.2 και 1.3 με τα ισοδύναμα CO₂ των αερίων που μελετώνται κατά τη σύγκριση των εκπομπών των αερίων από τις μεθόδους διαχείρισης ΑΥΑ στις ΜΕΛ, καθώς και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα σε έτη.

Πίνακας 1.2: Ισοδυναμία των ΑΦΘ σε CO₂ (GWP), 2013 IPCC

GWP values and lifetimes from 2013 IPCC AR5 p1071 (with climate-carbon feedbacks)	Chemical formula	Lifetime (years)	GWP time horizon	
			20 years	100 years
Carbon dioxide	CO ₂		1	1
Methane	CH ₄	12.4	86	34
Nitrous oxide	N ₂ O	121.0	268	298

Πίνακας 1.3: Ισοδυναμία των ΑΦΘ σε CO₂ (GWP), 2007 IPCC, (2001 IPCC)

GWP values and lifetimes from 2007 IPCC AR4 p212 (2001 IPCC TAR in parentheses)	Chemical formula	Lifetime (years)	GWP time horizon		
			20 years	100 years	500 years
Carbon dioxide	CO ₂		1	1	1
Methane	CH ₄	12 (12)	72 (62)	25 (23)	7.6 (7)
Nitrous oxide	N ₂ O	114 (114)	289 (275)	298 (296)	153 (156)

Όσο μεγαλύτερο Δυναμικό έχει ένα αέριο, τόση περισσότερη ενέργεια απορροφά, και συνεπώς τόσο περισσότερο εντείνεται πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου. Παρατηρείται ότι οι κατηγορίες αερίων στις 3 τελευταίες στήλες έχουν πολύ υψηλότερο δυναμικό, γι' αυτό και συνήθως αναφέρονται ως αέρια υψηλού GWP (EPA, 2012a), ωστόσο λόγω της σχετικά χαμηλής συγκέντρωσής τους, ιδίως από τις εκπομπές από τις μεθόδους διαχείρισης ΑΥΑ, αυτά τα αέρια δε συμπεριλαμβάνονται στις μελέτες εκπομπών. Τα αέρια που μελετώνται είναι το CO₂, το CH₄ και το N₂O.

1.1.4 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Τα κυριότερα ΑΦΘ που εκπέμπονται από τις διάφορες μεθόδους διαχείρισης ΑΥΑ στις ΜΕΛ και στα οποία επικεντρώνονται οι περισσότερες έρευνες είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Θα τα δούμε όμως αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο στο οποίο θα αναλύσουμε και τα στάδια επεξεργασίας στη ΜΕΛ του Δήμου Βόλου.

1.2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΑ ΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ ΣΤΗΝ ΕΕ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Με βάση την αρχή της «βιώσιμης ανάπτυξης», η οποία λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες των μελλοντικών γενεών σχετικά με τους φυσικούς πόρους και κατ' επέκταση την προστασία του περιβάλλοντος, η βιώσιμη διαχείριση των λυμάτων στοχεύει πρώτιστα:

- Στην ελάττωση της παραγόμενης ποσότητας λυμάτων.
- Στην αύξηση της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των συστατικών τους.
- Στην προστασία του περιβάλλοντος και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Καθώς επίσης περιλαμβάνει και παράγοντες οικολογικούς, οικονομικούς και κοινωνικής αποδοχής (Παναγιωτακόπουλος, 2002, www.ntua.gr).

Συμπερασματικά, δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη βέλτιστη λύση συνδυασμού μεθόδων για όλες τις περιπτώσεις, η οποία να μπορεί να αποτελέσει πανάκεια στο θέμα της διαχείρισης, αφού οι ανάγκες του κάθε συστήματος διαφέρουν τοπικά ανάλογα με το βιοτικό επίπεδο της κάθε περιοχής.

Ωστόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καταρτίσει τους βασικούς άξονες και τις κατευθυντήριες γραμμές για την πολιτική της βιώσιμης διαχείρισης των ΑΥΑ μέσω του νομοθετικού της πλαισίου.

1.2.1 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ

1.2.1.1 Η ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαχείριση των λυμάτων, καθώς το ζήτημα της διαχείρισης εμπεριέχεται ήδη από τη δεκαετία του 70 στο νομοθετικό έργο και τα Προγράμματα Δράσης για το Περιβάλλον (ΠΔΠ). Η πρώτη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον έγινε στη Στοκχόλμη το 1972 και στη συνέχεια το Νοέμβριο του 1973 εγκρίθηκε το πρώτο Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Δράσης για το διάστημα 1973-1976, ενώ αριθμούνται μέχρι στιγμής 6 ΠΔΠ, με το έβδομο να στοχεύει στο 2014-2020 (Απόφαση 2012/0337/ΕΚ). Η πρώτη θεματική στρατηγική της ΕΕ για τη διαχείριση των λυμάτων, η Κοινοτική Στρατηγική για τη Διαχείριση των Αποβλήτων (Hansen et al, 2002), εγκρίθηκε το 1989 με τη Σύμβαση της Βασιλείας, αφορώντας στην καθαρότερη παραγωγή, στην ελαχιστοποίηση των επικίνδυνων αποβλήτων και στους ελέγχους διακίνησής τους (<http://ec.europa.eu>), και αναθεωρήθηκε το 1996 (Shinn, 2005), ενώ με τις συνθήκες του Μάαστριχτ (1993) και του Άμστερνταμ (1997) συνδέεται η προστασία του περιβάλλοντος με τη βιώσιμη ανάπτυξη και ιδιαίτερα η αρχή της πρόληψης.

Η περιβαλλοντική πολιτική της ΕΕ δεν διαμορφώνεται αυτόνομα και ανεξάρτητα, αλλά σύμφωνα με ένα σύνολο οικουμενικών αρχών, διεθνών συμφωνιών και δεσμευτικών συμβάσεων για όλες τις χώρες σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι το 1992 στο Ρίο με την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής του ΟΗΕ για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη διαμορφώθηκε η Ατζέντα 21 (είναι ένα περιβαλλοντικό σχέδιο δράσης για τον 21^ο αιώνα). Αυτήν αναφέρεται στα ΑΦΘ και την ανάγκη μείωσής τους με στόχο την προστασία της ατμόσφαιρας (Δράση 9) (<http://habitat.igc.org/agenda21/>). Το 2002 στην Παγκόσμια Συνδιάσκεψη για την Αειφόρο Ανάπτυξη στο Γιοχάνεσμπουργκ εγκρίθηκε πρόγραμμα εφαρμογής για την διαχείριση των αποβλήτων που στηρίζεται στην Ατζέντα 21 και προτείνει τη θέσπιση μέτρων για την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων, την ελαχιστοποίηση των παραγομένων ποσοτήτων και τη μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης υλικών.

Η διαχείριση των αποβλήτων συνδέεται και με την ατμοσφαιρική ρύπανση, αφού από τις διαδικασίες της διαχείρισης εκπέμπονται αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ΕΕ έχει καθορίσει μέσα από οδηγίες ανώτατες τιμές για τις εκπομπές των ακόλουθων αέριων ρύπων: διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, οξείδια του αζώτου, αιωρούμενα σωματίδια, μόλυβδος, βενζόλιο, μονοξείδιο του άνθρακα, όζον, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες, νικέλιο, κάδμιο, αρσενικό και υδράργυρος (Καλλία –

Αντωνίου, 2012). Το 2002 συμπεριλήφθηκε στα μέτρα της ΕΕ το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών, το οποίο περιορίζει τις ποσότητες εκπομπών CO₂ από τους βασικούς κλάδους των βιομηχανιών (www.civitas.org.uk).

Ειδικότερα για τα ΑΦΘ, η ΕΕ το 2002 κύρωσε το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997) το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή το Φεβρουάριο του 2005 (Καλλία – Αντωνίου, 2012), με το οποίο ρυθμίζονται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄), του υποξειδίου του αζώτου (N₂O), των υδροφθορανθράκων (HFC), των υπερφθοριωμένων υδρογονανθράκων (PFC), και του εξαφθοριούχου θείου (SF₆). Επίσης με το Πρωτόκολλο του Κιότο τίθενται στόχοι μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 κατά 8% ως το 2012 και 20% ως το 2020, καθώς επίσης και η δέσμευση το 20% της ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (www.civitas.org.uk).

1.2.1.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα 6 συνολικά Προγράμματα Δράσης κατευθύνουν τη χάραξη της περιβαλλοντικής πολιτικής, αποτελώντας πλαίσια μακροπρόθεσμης στρατηγικής πολιτικής και περιβαλλοντικού προσανατολισμού, ξεκινώντας αρχικά με στόχο τη διαχείριση των πιο σημαντικών προβλημάτων και εν συνεχεία προχωρούν σε μια περισσότερο ολιστική αντιμετώπιση του θέματος, με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων να έχει καίρια θέση από την αρχή και στη συνέχεια να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστός κλάδος της περιβαλλοντικής πολιτικής (Απόφαση 2012/0337/ΕΚ).

Στο πρώτο ΠΔΠ συνδέθηκε η προστασία του περιβάλλοντος με την βιώσιμη ανάπτυξη, ενώ βασικοί στόχοι ήταν η πρόληψη και ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και η ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων. Επίσης έγινε ειδική αναφορά τόσο στον τομέα της διαχείρισης των λυμάτων όσο και στον έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων.

Το 1977 ακολούθησε το δεύτερο ΠΔΠ, όπου ουσιαστικά συμπληρώθηκε το εύρος των ζητημάτων του πρώτου και συντάχθηκαν οι οδηγίες-πλαίσια για τα νερά και τα απόβλητα, ενώ οι στόχοι του τρίτου (1982) και του τέταρτου (1987) ΠΔΠ σχετικά με τα απόβλητα ήταν ο έλεγχος και ο περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων, η μείωση της παραγωγής αποβλήτων και η αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων, και ουσιαστικά με το τέταρτο ΠΔΠ ξεκίνησε η περισσότερο ολιστική προσέγγιση του κλάδου των αποβλήτων.

Με το πέμπτο ΠΔΠ το 1992 εκδόθηκαν νεότερες οδηγίες-πλαίσια και ορίστηκαν οι βασικές αρχές για τη διαχείριση των αποβλήτων. Επίσης, στα τέλη της δεκαετίας του 90 ορίστηκαν νέες οδηγίες-πλαίσια σχετικά με την εμπορία των εκπομπών CO₂, ορίζοντας τα ανώτατα όρια εκπομπών όπως και ποσοτικούς αλλά και ποιοτικούς στόχους για τα κράτη-μέλη. Οι βασικές προτεραιότητες του έκτου ΠΔΠ διαμορφώνουν στόχους οι οποίοι καθορίζονται περισσότερο σε πλαίσια θεματικών πολιτικών, δίνοντας έμφαση με δύο θεματικές στρατηγικές στην πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων και τη χρήση της ανακύκλωσης, τη μείωση των εκπομπών ΑΦΘ και στη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων (Hey, 2005; Morgera, 2010). Τέλος, έχει προταθεί το έβδομο ΠΔΠ «Ευημερία εντός των ορίων του πλανήτη μας» για το 2014-2020, το οποίο στηρίζεται στη στρατηγική «Ευρώπη 2020» και στη σύνοδο κορυφής του Ρίο και θέτει 9 στόχους προτεραιότητας. Το έβδομο ΠΔΠ αποβλέπει «στη μετατροπή της ΕΕ σε μια πράσινη και

ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών και αποδοτικής χρήσης των πόρων». Σχετικά με το θέμα των ΑΦΘ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών τους κατά 20% ως το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 και κατά 80-95% ως το 2050, σύμφωνα με το χάρτη πορείας για τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών ως το 2050, στα πλαίσια της παγκόσμιας προσπάθειας για την αποτροπή της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Απόφαση 2012/0337/ΕΚ).

1.2.1.3 ΘΕΣΜΙΚΟ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ ΓΙΑ ΤΑ ΛΥΜΑΤΑ

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα καθορίζει τις υποχρεώσεις των φορέων που σχετίζονται με τη λειτουργία, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ΜΕΛ, μέσα από ένα σύνολο Οδηγιών και Αποφάσεων προς όλα τα κράτη-μέλη, προκειμένου να υφίσταται ένας κοινός γνώμονας και ενιαία προσέγγιση και να μην παρατηρούνται ελλείψεις και διαφοροποιήσεις ως προς τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα.

Στον Πίνακα 1.4 που ακολουθεί παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το Κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο.

Πίνακας 1.4: Κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την παρακολούθηση των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, όπως αυτή τροποποιείται από την Οδηγία 98/15/ΕΚ , του Συμβουλίου της 27/10/1998.
Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία.
Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
Οδηγία 91/676/ΕΚ του Συμβουλίου της 12/12/1991 για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης.
Οδηγία 75/440/ΕΚ του Συμβουλίου της 16/6/1975 περί της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού.
Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/12/1977 περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων.
Οδηγία 79/869/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 9/10/1979 περί με των μεθόδων μετρήσεως και περί της συχνότητας των δειγματοληψιών και της αναλύσεως των επιφανειακών υδάτων τα οποία προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος στα κράτη – μέλη.

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

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

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

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

1.2.1.4 ΘΕΣΜΙΚΟ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΕ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ

Σύστημα Δικαιωμάτων Εκπομπών – Στόχοι 20-20-20

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητά της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική από ενεργειακή άποψη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007, επεσήμανε ότι, για να επιτευχθεί ο στόχος της Σύμβασης, η σταθεροποίηση δηλαδή των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, η συνολική μέση ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη δεν θα πρέπει να υπερβεί τους 2 °C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικής εποχής επίπεδα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50% έναντι των επιπέδων του 1990.

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Κοινότητα θα πρέπει να συνεχίσουν να μειώνονται και πέραν του 2020 ως τμήμα των προσπαθειών της Κοινότητας να συμβάλει στην επίτευξη αυτού του παγκόσμιου στόχου μείωσης των εκπομπών. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 αποφάσισε ότι, έως ότου συναφθεί παγκόσμια και συνολική συμφωνία για τη μετά το 2012 περίοδο, η Κοινότητα αναλαμβάνει μονομερή δέσμευση να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20 % έως το 2020, σε σχέση με το 1990. Επιπλέον, το Συμβούλιο, ενέκρινε για την Κοινότητα στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 30 % μέχρι το 2020, σε σχέση με το 1990, ώστε να συμβάλει στην επίτευξη παγκόσμιας και συνολικής συμφωνίας για τη μετά το 2012 εποχή, εφόσον και άλλες ανεπτυγμένες χώρες δεσμευθούν για ανάλογες μειώσεις εκπομπών και εφόσον οι

οικονομικά πιο προηγμένες αναπτυσσόμενες χώρες συμβάλουν καταλλήλως ανάλογα με τις ευθύνες και τις δυνατότητές τους.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητά της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική από ενεργειακή άποψη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Οι απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων αφορούσαν:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990.
- 20% της κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Οι παραπάνω απαιτήσεις είναι γνωστές ως στόχοι 20-20-20. Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε δεσμευτική νομοθεσία για την υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Η γνωστή ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», η οποία συμφωνήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2008 και έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009, περιλαμβάνει τα παρακάτω νομοθετήματα:

1. Την Οδηγία 2009/29/ΕΚ **«για τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ με στόχο τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας»**

2. Την απόφαση 406/2009/ΕΚ **«περί των προσπαθειών των κρατών μελών να μειώσουν τις οικείες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ώστε να τηρηθούν οι δεσμεύσεις της Κοινότητας για μείωση των εκπομπών αυτών μέχρι το 2020».**

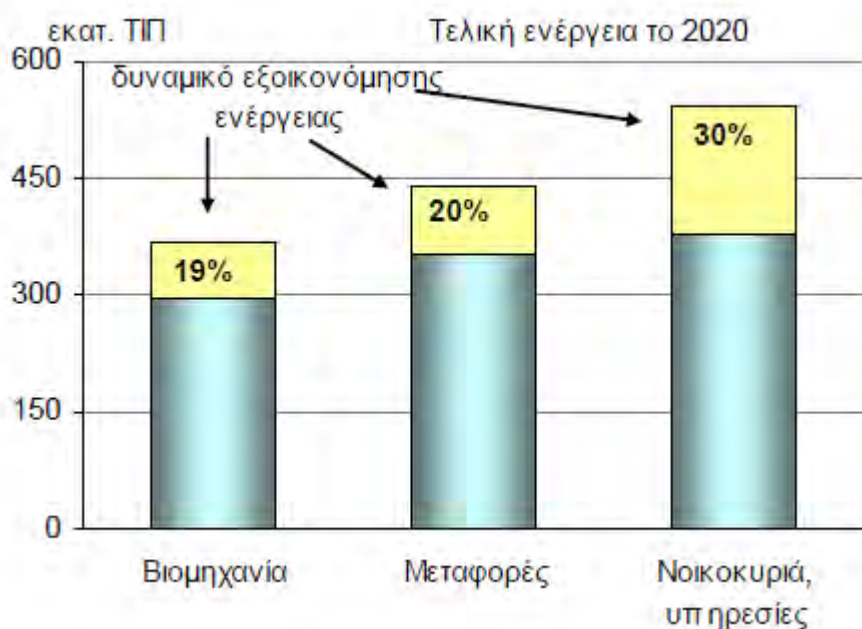
Για να συμφέρει οικονομικά η επιδιωκόμενη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 20 % έναντι των επιπέδων του 1990 μέχρι το 2020, θα πρέπει να συμβάλουν στις μειώσεις των εκπομπών όλοι οι τομείς της οικονομίας. Συνεπώς, τα κράτη μέλη θα πρέπει να εφαρμόσουν πρόσθετες πολιτικές και μέτρα σε μια προσπάθεια περαιτέρω περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από πηγές που δεν καλύπτει η οδηγία 2003/87/ΕΚ. Η απόφαση αφορά τον επιμερισμό της προσπάθειας των κρατών-μελών για μείωση των εκπομπών από τομείς που δεν καλύπτονται από το σύστημα εμπορίας, όπως οι μεταφορές, ο οικιακός τομέας, η γεωργία και τα απόβλητα.

Τα δύο παραπάνω νομοθετήματα στοχεύουν στην επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών κατά 20%, στόχος που εξειδικεύεται σε μείωση κατά 21% στους τομείς του συστήματος εμπορίας και κατά 10% στους τομείς εκτός εμπορίας.

3. Οδηγία 2009/28/ΕΚ **«σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές».** Δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι αποβλέπουν σε συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στην ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο ΕΕ. Οι στόχοι θα συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από τις εισαγωγές ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

4. Οδηγία 2009/31/ΕΚ «**σχετικά με την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς**». Ένα νομικό πλαίσιο για την προώθηση της ανάπτυξης και την ασφαλή χρήση της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS). Η ΕΕ σκοπεύει να δημιουργηθεί ένα δίκτυο μονάδων επίδειξης CCS μέχρι το 2015 για να δοκιμάσει τη βιωσιμότητά της, με σκοπό την εμπορική εφαρμογή της μέχρι το 2020 περίπου.

5. Η **βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης** γίνεται μέσω του σχεδίου δράσης για την ενεργειακή απόδοση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η Επιτροπή αναλαμβάνει πρωτοβουλίες για να κινητοποιήσει την κοινή γνώμη, τους φορείς λήψης αποφάσεων και των φορέων της αγοράς και θεσπίζει ελάχιστα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κανόνες για την επισήμανση των προϊόντων, υπηρεσιών και υποδομών.



Σχήμα 1.5: Εκτιμώμενο δυναμικό μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι το 2020



Σχήμα 1.6: Διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο μέχρι το 2020

Ευρωπαϊκός Χάρτης πορείας προς μία οικονομία χαμηλού άνθρακα μέχρι το 2050

Είναι γεγονός ότι η κλιματική αλλαγή παραμένει μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες προκλήσεις. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι ήδη σχεδόν κατά 0,8° C υψηλότερη από την αντίστοιχη της προβιομηχανικής περιόδου. Υπάρχει ευρεία επιστημονική συναίνεση ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη πρέπει να διατηρηθεί κάτω από 2° C ώστε να αποφευχθούν επικίνδυνες και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Κατά την διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC, COP-15 το 2009 στην Κοπεγχάγη), οι χώρες που αντιπροσωπεύουν πάνω από το 80% των παγκόσμιων εκπομπών υπέγραψαν τη «Συμφωνία της Κοπεγχάγης» (γνωστή και ως Copenhagen Accord) η οποία κατέστησε σαφές ότι το όριο αυτό ήταν απαραίτητο για την αποφυγή ή τουλάχιστον τον μετριασμό των πλέον επικίνδυνων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος της διατήρησης της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από 2° C σε κάθε χώρα, σε όλο τον κόσμο, θα πρέπει να κινηθούμε γρήγορα προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, οι αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 80-95% έως το 2050.

Η ΕΕ είναι πρωτοπόρος στις βιώσιμες μειώσεις των εκπομπών. Συλλογικά, τα κράτη-μέλη αποφάσισαν το 2008 να μειώσουν έως το 2020 τις δικές τους εκπομπές αερίων κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990, μαζί με κάλυψη του 20% των ενεργειακών τους αναγκών από ανανεώσιμες πηγές και θέτοντας πορεία προς μια βελτίωση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης. Η ΕΕ έχει επίσης θέσει σε εφαρμογή ένα δεσμευτικό πλαίσιο πολιτικής που διασφαλίζει ότι, στο σύνολό της, θα εξασφαλίσει αυτούς τους σημαντικούς στόχους.

Επιπλέον, η ΕΕ είναι έτοιμη να αναβαθμίσει τις προσπάθειές της για μια μείωση των εκπομπών ως και 30% έως το 2020, υπό την προϋπόθεση ότι και οι λοιπές

βιομηχανικές χώρες θα δεσμευτούν για ανάλογες μειώσεις εκπομπών και οι αναπτυσσόμενες χώρες θα συμβάλουν επαρκώς στην παγκόσμια προσπάθεια για μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Τον περασμένο Μάιο, η ΕΕ παρουσίασε μια ανάλυση των επιπτώσεων που θα προκύψει από τη μετάβαση σε 30% υπό τις νέες οικονομικές συνθήκες και μετά τη διεθνή συμφωνία στην Κοπεγχάγη. Η ανάλυση αυτή αποκάλυψε τις επιλογές για περαιτέρω μειώσεις των εκπομπών έως το 2020, την μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από το ξένο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και παρουσίασε πως θα γίνει ευκολότερο για την Ευρώπη να ανταποκριθεί στους μακροπρόθεσμους στόχους μείωσης των εκπομπών.

Αναλαμβάνοντας ηγετικό ρόλο στην οικοδόμηση μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα, η ΕΕ θα αποκτήσει τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από το γεγονός ότι θα είναι από τους πρώτους που θα μεταβούν στην αναδυόμενη αγορά των χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η παγκόσμια αγορά για τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα προβλέπεται να είναι εξαιρετικά μεγάλη και η καινοτομία στις τεχνολογίες αυτές αναμένεται να προσφέρει πρόσθετα οφέλη στην οικονομική παραγωγικότητα.

Τόσο στην Ελλάδα, όσο και στην Ευρώπη είμαστε μπροστά σε μια σχεδόν άνευ προηγουμένου οικονομική κρίση. Η κρίση αυτή έχει ασκήσει τεράστιες πιέσεις στην κοινωνία και στις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις ενώ έχει επιφέρει και σημαντική συρρίκνωση των δημόσιων οικονομικών σε μια προσπάθεια για τον περιορισμό της. Είναι πάντως γεγονός ότι την ίδια στιγμή που τα μέτρα για την ενθάρρυνση της πράσινης οικονομίας αρχίζουν να αποφέρουν οφέλη, οι τομείς χαμηλών εκπομπών άνθρακα ευδοκούν σε ορισμένες από τις πιο δυναμικές περιοχές του κόσμου, επιβεβαιώνοντας ότι υπάρχουν πραγματικές ευκαιρίες για την Ευρώπη στην οικοδόμηση μιας κοινωνίας που θα αξιοποιεί πιο αποδοτικά τους πόρους της.

Η υλοποίηση της απεξάρτησης του άνθρακα από την ενέργεια και τις μεταφορές θα μειώσει την εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, αυξάνοντας την αντοχή της στο ευμετάβλητο παγκόσμιο επίπεδο των τιμών της ενέργειας και θα μειώσει τις αβεβαιότητες στις αλυσίδες εφοδιασμού.

1.2.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το πολιτικό και θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα για τα λύματα και τις εκπομπές ΑΦΘ εναρμονίζεται πλήρως με το Κοινοτικό μέσω των ακόλουθων διατάξεων.

1.2.2.1 ΘΕΣΜΙΚΟ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Πίνακας 1.5: Νομοθεσία για τα Υγρά Απόβλητα

ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192B): Καθορίζει τα μέτρα και τους όρους για την επεξεργασία αστικών λυμάτων. Επίσης αφορά ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα περιέχοντα κυρίως οργανικό φορτίο και τα οποία μπορούν να διοχετευτούν σε αποχετευτικά δίκτυα και σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων, αφού προηγουμένως έχουν υποβληθεί σε προκαταρκτική επεξεργασία.

Υγειονομική Διάταξη Ε1β 221/65 (ΦΕΚ 138/B): «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων», όπως τροποποιήθηκε με την Υ.Α. Γ1/17831/71 (ΦΕΚ
--

986/B) και Υ.Α. Γ4/1305/74 (ΦΕΚ 801/B) .
ΚΥΑ 4859/726/01 (ΦΕΚ 253/B): «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από απορρίψεις και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο ΙΙ της Οδηγίας 74/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4ης Μαΐου 1976».
ΚΥΑ 55648/2210/91 (ΦΕΚ 323B): «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών και επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα».
ΠΥΣ 255/94 (ΦΕΚ 123/A): Συμπλήρωση του παραρτήματος του άρθρου 12 της υπ' αριθ. 55648/2210/1991 ΚΥΑ «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών και επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα».
ΥΑ 90461/2193/94 (ΦΕΚ 843/B): Συμπλήρωση του παραρτήματος του άρθρου 12 της υπ' αριθ. 55648/2210/1991 ΚΥΑ «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών και επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα».
ΠΥΣ 73/90 (ΦΕΚ 90/A): «Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών, που υπάγονται στον κατάλογο Ι του παραρτήματος Α του άρθρου 6 της αριθ. 144/2.11.1987 Πράξης του Υπουργικού Συμβουλίου».
ΠΥΣ 144/87 (ΦΕΚ 197/A): «Προστασία υδάτινου περιβάλλοντος από τη ρύπανση που προκαλείται από επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον».
ΚΥΑ 26857/553/88 (ΦΕΚ 196/B): «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών από απόρριψη επικίνδυνων ουσιών».
ΚΥΑ 18186/271/88 (ΦΕΚ 126/B): «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικινδύνων ουσιών στα υγρά απόβλητα».
ΥΑ 45/2280/83 (ΦΕΚ 720/B): «Προστασία των νερών που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση της περιοχής Πρωτεύουσας από ρυπάνσεις και μολύνσεις».
ΥΑ 15519/83 (ΦΕΚ 455/B): «Περί των όρων διάθεσης λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες και καθορισμού των ανωτάτων επιτρεπτών ορίων ρυπαντών».
ΠΔ 179182/656/79 (ΦΕΚ 582/B): «Περί διαθέσεως υγρών αποβλήτων από τις παραγωγικές διαδικασίες των βιομηχανιών περιοχής Μείζονος Περιοχής Πρωτεύουσας δια του δικτύου υπονόμων και των ρευμάτων που εκτρέπονται στον Κ.Α.Α. και που εποπτεύονται από τον ΟΛΠ με αποδέκτη τη θαλάσσια περιοχή Κερατσινίου Πειραιώς».
Ν. 743/77 (ΦΕΚ 319/A): «Περί προστασίας του θαλασσίου περιβάλλοντος και ρυθμίσεως συναφών θεμάτων».

1.2.2.2 ΘΕΣΜΙΚΟ – ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΦΘ

Πίνακας 1.6: Νομοθεσία για τις εκπομπές ΑΦΘ και το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

<p>54409/2632/2004 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1931/Β'/27.12.2004) των Υπουργών Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης, Οικονομίας και Οικονομικών, Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων περί «Συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ».</p>
<p>36028/1604/2006 ΚΥΑ (ΦΕΚ 1216/Β'/01.09.2006) των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, περί «Έγκρισης Εθνικού Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) αερίων θερμοκηπίου περιόδου 2005-2007, σύμφωνα με το άρθρο 7 της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 ΚΥΑ «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ».</p>
<p>52115/2970/Ε103/2008 ΚΥΑ (ΦΕΚ 2575/Β'/19.12.2008) των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, περί «Έγκρισης Εθνικού Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) αερίων θερμοκηπίου περιόδου 2008-2012, σύμφωνα με το άρθρο 7 της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 ΚΥΑ «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ».</p>
<p>57495/2959/Ε103/2010 ΚΥΑ (ΦΕΚ 2030/Β'/29.12.2010) των Υπουργών Οικονομικών, Υφυπ. Οικονομικών, Οικονομίας Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας, Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων, περί Τροποποίησης της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 ΚΥΑ «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ».</p>
<p>Οδηγία 2003/87/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου.</p>
<p>Οδηγία 2008/101/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ ώστε να ενταχθούν οι αεροπορικές δραστηριότητες στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας.</p>
<p>Απόφαση της Επιτροπής 2011/278/ΕΕ σχετικά με τον καθορισμό ενωσιακών μεταβατικών κανόνων για την εναρμονισμένη δωρεάν κατανομή δικαιωμάτων εκπομπής κατ' εφαρμογή του άρθρου 10 α της οδηγίας 2003/87/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.</p>
<p>Απόφαση της Επιτροπής 2011/638/ΕΕ σχετικά με τους συντελεστές σύγκρισης για</p>

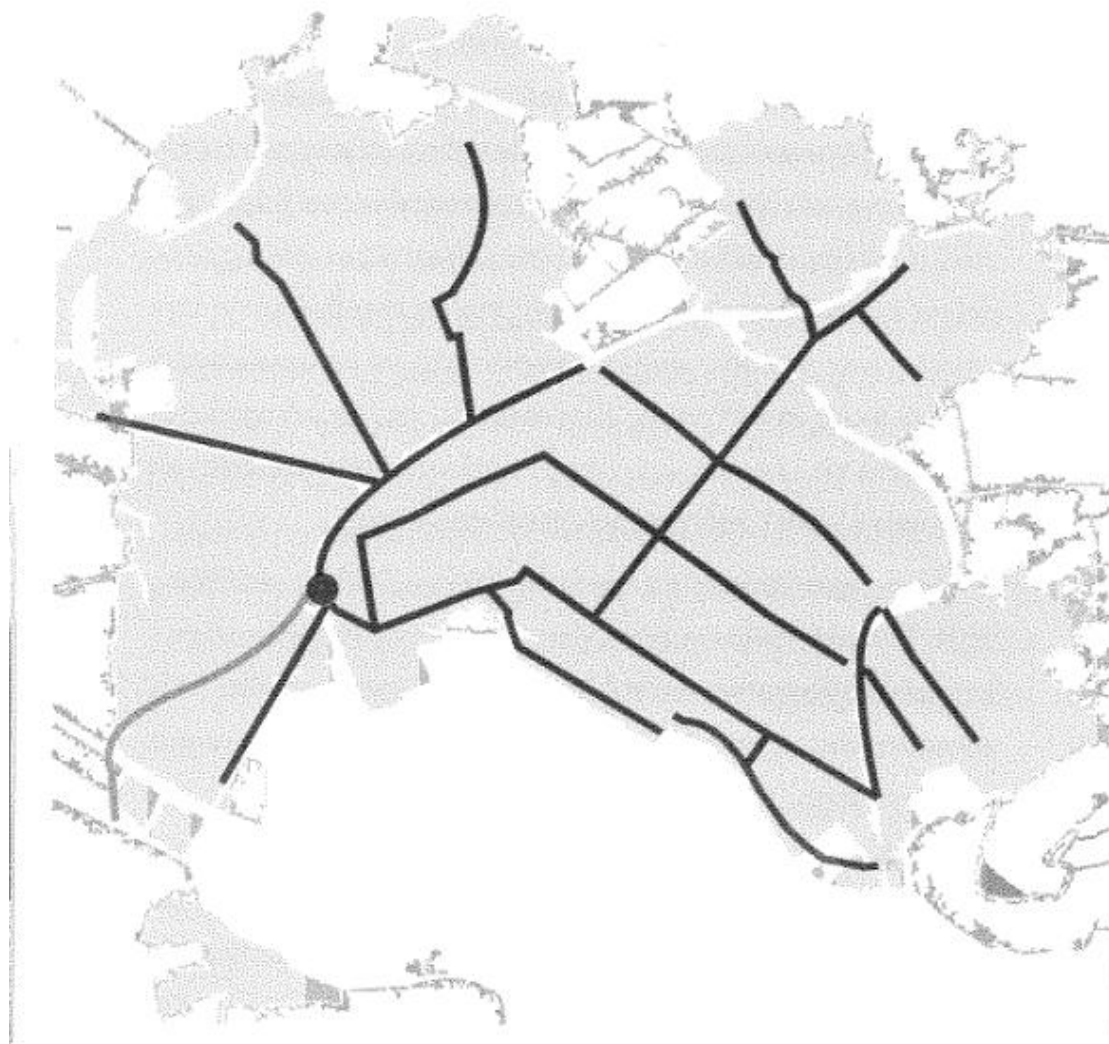
τη δωρεάν κατανομή δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε φορείς εκμετάλλευσης αεροσκαφών βάσει του **άρθρου 3ε της οδηγίας 2003/87/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.

Η θέσπιση αυτού του δεσμευτικού νομοθετικού πλαισίου από την ΕΕ, όσον αφορά τα λύματα, αλλά ακόμα περισσότερο αυτού που αφορά τις εκπομπές ΑΦΘ και κυρίως την εμπορία των δικαιωμάτων των εκπομπών, μας οδηγεί στην προσπάθεια για εύρεση νέων μοντέλων και τρόπων διαχείρισης στις ΜΕΛ. Σκοπός είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη εκπομπή ΑΦΘ και η εξοικονόμηση ενέργειας.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΒΟΛΟΥ

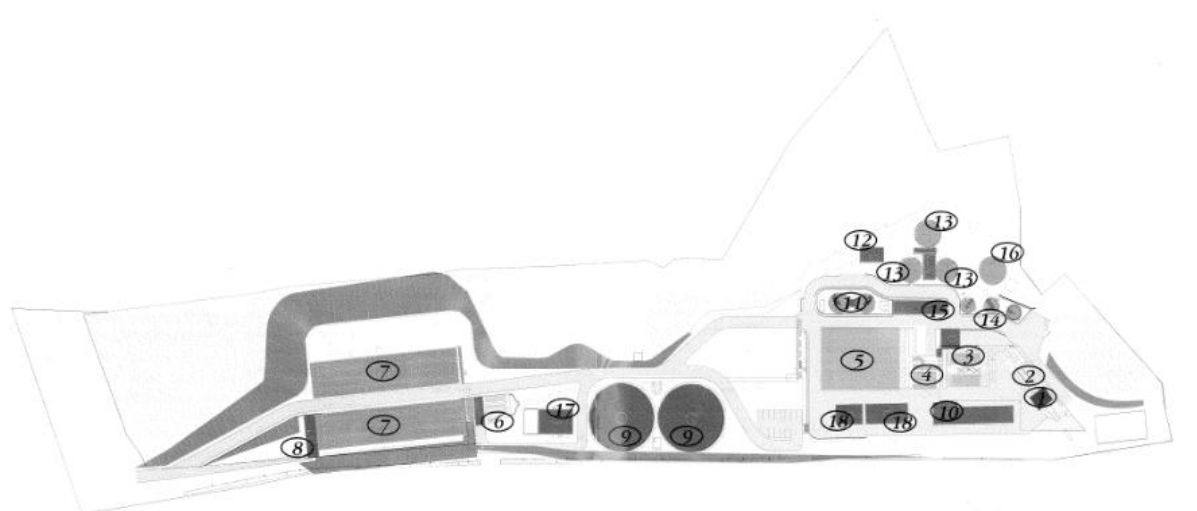
Τα αστικά λύματα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος του Δήμου με ένα δίκτυο αγωγών αποχέτευσης μήκους 400000 μέτρων, συγκεντρώνονται στο Κεντρικό Αντλιοστάσιο, που βρίσκεται στη συμβολή των οδών Αθήνας - Λάρισας και αντλούνται στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Τα βιομηχανικά απόβλητα των Α' και Β' ΒΙ.ΠΕ. οδηγούνται με βαρύτητα στην ίδια εγκατάσταση με ξεχωριστό δίκτυο, μήκους 40000 μέτρων. Επίσης, στην εγκατάσταση υπάρχει μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων, στην οποία με βυτιοφόρα μεταφέρονται βοθρολύματα περιοχών της πόλης, που δεν έχουν ακόμη συνδεθεί με το δίκτυο.



Σχήμα 2.1: Χάρτης δικτύου

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τρία μεγάλα στάδια στη σειρά, την προκαταρτική, την χημική και την βιολογική επεξεργασία, στα οποία βήμα - βήμα αποχωρίζονται από το λύμα και απομακρύνονται τα στερεά περιεχόμενα υλικά. Στην προκαταρτική επεξεργασία, ο σκοπός είναι να απομακρυνθούν, με φυσικές μεθόδους, τα χοντρά υλικά και η άμμος, που υπάρχουν στο λύμα. Στην χημική επεξεργασία, ο σκοπός είναι να απομακρυνθεί, με συνδυασμό φυσικών και χημικών μεθόδων, μικρό μέρος οργανικού φορτίου, σημαντικό ποσοστό των αιωρούμενων στερεών και, κυρίως, οι ενώσεις φωσφόρου. Ο μεγάλος σκοπός του τρίτου σταδίου είναι, με βιολογικές διεργασίες, να απομακρυνθούν τα ρυπαντικά φορτία, που είναι διαλυμένα στο λύμα και δεν είναι δυνατή η απομάκρυνσή τους με άλλη μέθοδο.

Σε όλα τα παραπάνω στάδια, οι ρυπογόνες ουσίες με τη μορφή στερεών καθιζάνουν και απομακρύνονται. Αυτά τα στερεά, που ονομάζονται ιλύς ή λάσπη, υφίστανται στη συνέχεια τη δική τους επεξεργασία, που περιλαμβάνει διεργασίες πάχυνσης, χώνευσης, αφυδάτωσης. Η επεξεργασμένη λάσπη, σήμερα, αποτίθεται στο χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (χωματερή), ενώ, παράλληλα, γίνονται προσπάθειες να αξιοποιηθεί στη γεωργία.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ					
1	ΕΣΧΑΡΩΣΗ	7	ΑΕΡΙΣΜΟΣ	13	ΧΩΝΕΥΣΗ
2	ΕΞΑΜΜΩΣΗ-ΑΠΟΣΥΛΛΟΓΗ	8	ΚΤΙΡΙΟ ΦΥΣΗΤΗΡΩΝ	14	ΜΕΤΑΠΑΧΥΝΣΗ
3	ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ	9	ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	15	ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ
4	ΚΡΟΚΙΑΔΩΣΗ	10	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΔΙΑΘΕΣΗΣ	16	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΒΙΟΛΕΙΟΥ
5	ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΘΙΖΗΣΗ	11	ΠΡΟΠΑΧΥΝΣΗ	17	ΚΤΙΡΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
6	ΚΟΧΛΙΩΤΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ	12	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΧΥΝΣΗ	18	ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Σχήμα 2.2: Οριζοντιογραφία ΜΕΛ Δήμου Βόλου

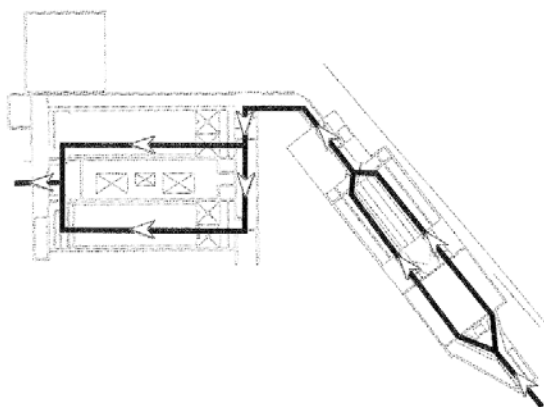
Προκαταρτική Επεξεργασία

Τα λύματα, με την είσοδό τους στην εγκατάσταση, υφίστανται την πρωτογενή επεξεργασία. Σ' αυτή τη φάση, με σειρά από διαδικασίες, απομακρύνονται τα περισσότερα στερεά που μπορούν να συκρατηθούν από σχάρες, να επιπλεύσουν ή να καθιζήσουν.

Από το φρεάτιο εισόδου της εγκτάστασης, τα αστικά λύματα και τα προεπεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα διέρχονται από δύο ζεύγη σχάρες. Στο πρώτο ζεύγος σχαρών, παράλληλες μπάρες από ανοξείδωτο χάλυβα, συγκρατούνται τα ευμεγέθη στερεά, που υπάρχουν στο λύμα, όπως ξυλαράκια, κουρέλια, πλαστικά κουτιά κ.ά. και στη συνέχεια απομακρύνονται χειρονακτικά. Στο δεύτερο ζεύγος σχαρών λεπτού εσχαρισμού, συγκρατούνται όλα τα στερεά, που επιπλέουν στο λύμα και έχουν διάμετρο μέχρι και 3 χιλιοστά. Η λειτουργία είναι αυτόματη και τα στερεά που συλλέγονται συμπιέζονται και απομακρύνονται με κοχλιομεταφορείς. Η διαδικασία του εσχαρισμού είναι απαραίτητη, ώστε ξένα προς το λύμα υλικά, να μην προκαλέσουν φθορές σε αγωγούς και αντλίες, που ακολουθούν. Αμέσως μετά, τα λύματα οδηγούνται στον αμμοκράτη, ο οποίος αποτελείται από δύο επιμήκεις χωριστές δεξαμενές. Στο κεντρικό τμήμα κάθε δεξαμενής, όπου διαχέεται αέρας, η άμμος, τα χαλίκια και άλλα βαρύτερα του νερού στερεά καθιζάνουν, αντλούνται σε κανάλι αμμοσυλλογής, πλένονται, διαχωρίζονται από το νερό και διατίθενται στη χωματερή. Στο πλευρικό τμήμα κάθε δεξαμενής, πάλι με τη βοήθεια του αέρα, περισυλλέγονται λίπη και έλαια και απομακρύνονται.

Μετά τον αμμοκράτη, το λύμα περνάει από τη διώρυγα μέτρησης της παροχής και οδηγείται σε δύο δεξαμενές επίπλευσης. Σε ειδικά δοχεία πίεσης, συμπιεσμένο διάλυμα λύματος - αέρα, αναμειγνύεται συνεχώς με το λύμα. Αυτή η διαδικασία παρασύρει, στην επιφάνεια των δεξαμενών, το ελαφρύ ρυπαντικό φορτίο, ενώ παράλληλα, στον πυθμένα καταβυθίζονται στερεά με ειδικό βάρος μεγαλύτερο της μονάδας. Τόσο το πυκνό στρώμα λάσπης που επιπλέει, όσο και η λάσπη του πυθμένα των δεξαμενών αντλούνται στη δεξαμενή ομογενοποίησης λάσπης.

Σ' αυτή την πρώτη φάση επεξεργασίας, το λύμα απαλλάσσεται από τα επιπλέοντα αντικείμενα (ξύλα, ράκη, πλαστικά), τα αδρανή (άμμος, χαλίκια), τα λίπη, καθώς και ένα μικρό ποσοστό των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού φορτίου, 40% και 20%, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.3: Προκαταρτική επεξεργασία

Χημική Επεξεργασία

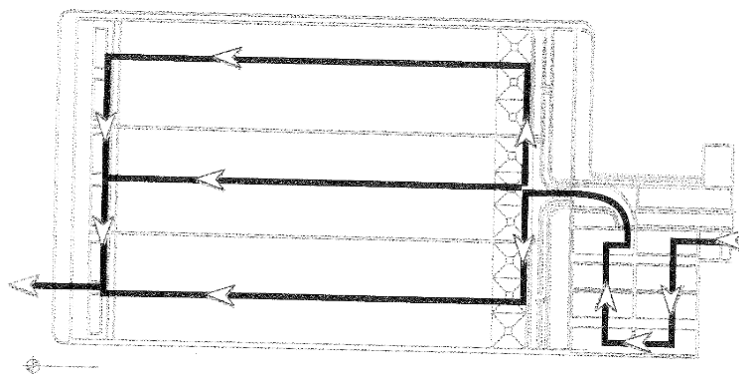
Τα λύματα στη συνέχεια υφίστανται την χημική επεξεργασία. Σ' αυτή τη φάση, με την προσθήκη στο λύμα χημικών, απομακρύνεται ένα μεγάλο ποσοστό αιωρούμενων στερεών, κολλοειδή υλικά, μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων, που τυχόν υπάρχουν στα βιομηχανικά απόβλητα και πάνω απ' όλα άλατα φωσφόρου. Η μονάδα καθίζησης

είναι σχεδιασμένη, έτσι ώστε τα λύματα να παραμένουν για μερικές ώρες εκεί. Στο διάστημα αυτό, τα αιωρούμενα στερεά βρίσκουν τον απαιτούμενο χρόνο να καθιζήσουν στον πυθμένα.

Η φυσική αυτή διαδικασία υποστηρίζεται με χημικές ουσίες, τα λεγόμενα κροκιδωτικά, τα οποία αναμειγνύονται με το λύμα και αφ' ενός διευκολύνουν την συνένωση κολλοειδών μεταξύ τους, αφ' ετέρου αντιδρούν με τον διαλυμένο φώσφορο και τον καταβυθίζουν. Τα συσσωματώματα που δημιουργούνται - κροκίδες - συμπαρασύρουν άλλα αιωρούμενα, οργανικά, βαριά μέταλλα, βελτιώνοντας έτσι τη διαδικασία της ιζηματοποίησης και τον βαθμό καθαρισμού.

Τα λύματα από τη μονάδα επίπλευσης οδηγούνται σε δεξαμενή ανάμειξης, όπου γίνεται και η προσθήκη του κροκιδωτικού (χλωροθειικό άλας του σιδήρου $FeClSO_4$) και οδεύουν στη συνέχεια σε τέσσερα διαμερίσματα ανάδευσης. Εδώ σχηματίζονται τα συσσωματώματα, που διατηρούνται σε αιώρηση με τέσσερις αργόστροφους αναδευτήρες, ώστε να δημιουργηθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την ιζηματοποίηση. Ακολουθούν τρεις ορθογώνιες δεξαμενές χημικής καθίζησης, όπου άλατα και κροκίδες καθιζάνουν και με σαρωτή λάσπης μεταφέρονται στα φρεάτια λάσπης, στην είσοδο των δεξαμενών. Τα αιωρούμενα, που απομακρύνονται σε αυτό το σημείο, είναι ένα μείγμα πρωτογενούς και χημικής λάσπης, η οποία αντλείται στην δεξαμενή ομογενοποίησης λάσπης. Επιπλέοντα υλικά συλλέγονται με επιφανειακό σαρωτή και απομακρύνονται στο φρεάτιο αφρού, αυτόματα.

Στην δεύτερη αυτή φάση, τα λύματα απαλλάσσονται από το 70% των αιωρούμενων στερεών, από ένα 20% ακόμη του οργανικού φορτίου και από 70 - 80% του φωσφόρου.



Σχήμα 2.4: Χημική επεξεργασία

Βιολογική Επεξεργασία

Το λύμα, στην έξοδό του από την καθίζηση, περιέχει ακόμα μερικά αιωρούμενα και άλλα στερεά, τα οποία είναι διαλυμένα στο νερό. Αυτά τα υλικά, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, είναι πηγές τροφής για πρωτόζωα, μούχλες, φύκη και εκατοντάδες ποικιλίες από βακτήρια. Η βιολογική διεργασία γίνεται σε αυστηρά ελεγχόμενο τεχνητό περιβάλλον, στο οποίο οι μικροσκοπικοί οργανισμοί βρίσκουν την ευκαιρία να δουλέψουν, όσο πιο γρήγορα και όσο πιο αποδοτικά μπορούν. Μετατρέπουν, έτσι, τα διαλυμένα στερεά του λύματος σε αιωρούμενα στερεά, τα οποία, με φυσικές διαδικασίες ξανά, καθιζάνουν στις δεξαμενές τελικής καθίζησης.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εφαρμογής της βιολογικής επεξεργασίας. Η πιο κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι η διαδικασία της «ενεργούς λύσης», η οποία μπορεί, με τον καλύτερο και ασφαλέστερο τρόπο, να ελέγχεται συνέχεια.

Σύμφωνα με την θεωρία αυτή λύμα και μικροοργανισμοί αναμειγνύονται, έρχονται και παραμένουν σε επαφή μερικές ώρες, σε μεγάλες επιμήκεις δεξαμενές, σε σταθερή παροχή αέρα και ρυθμό ανάδευσης. Απαιτείται φροντίδα, ώστε παράγοντες όπως θερμοκρασία, οξυγόνο και χρόνος επαφής να κυμαίνονται στα επίπεδα εκείνα, που διασφαλίζουν την γρήγορη και πλήρη κατανάλωση του διαλυμένου οργανικού φορτίου. Τα τελικά προϊόντα είναι διοξείδιο του άνθρακα, νερό, ενέργεια για την αύξηση των μικροοργανισμών και όλο και περισσότεροι μικροοργανισμοί.

Στην εγκατάστασή μας, το λύμα, μετά τις δεξαμενές καθίζησης, μέσω ενός οχετού, οδεύει προς το αντλιοστάσιο ενδιάμεσης ανύψωσης. Εκεί, με τρεις κοχλίες Αρχιμήδη ανυψώνεται και μοιράζεται σε πέντε δεξαμενές αερισμού - νιτροποίησης - απονιτροποίησης, που αποτελούν την καρδιά της βιολογικής επεξεργασίας.

Στις δεξαμενές αυτές, δύο διαμερισμάτων και όγκου 3500 m³ η καθεμία, ο εμπλουτισμός του λύματος με οξυγόνο γίνεται με υποβρύχια διάχυση αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σύστημα από πέντε αεροσυμπιεστές - φυσητήρες, ρυθμιζόμενης παροχής από 600 - 3000 m³ αέρα την ώρα και με 1100 διαχυτές ελαστικής μεμβράνης - λεπτής φυσαλίδας, που είναι διαστρωμένοι στον πυθμένα των δεξαμενών. Η αιώρηση του λύματος επιτυγχάνεται με 35 αναμεικτές, επτά ανά δεξαμενή. Η παρακολούθηση του συστήματος παροχής οξυγόνου είναι απολύτως αυτόματη και ελεγχόμενη, με μετρήσεις όγκου, θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα προσαγωγής στις δεξαμενές.

Οι βιολογικές διεργασίες, που πραγματοποιούνται στη μονάδα αυτή κατά «μήκος» της ροής του λύματος, είναι οι παρακάτω:

Η είσοδος του λύματος γίνεται στο πρώτο τμήμα του πρώτου διαμερίσματος των δεξαμενών, όπου η απουσία αέρα επιτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών, που καταναλώνουν φώσφορο και άλατα. Ένα σημαντικό τμήμα του φωσφόρου απομακρύνεται από το λύμα και σ' αυτό το διαμέρισμα, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες.

Στη συνέχεια, το λύμα προχωρεί στο δεύτερο τμήμα του πρώτου διαμερίσματος, όπου σε συνθήκες ανοξικές (πολύ μικρή συγκέντρωση οξυγόνου) αναπτύσσονται ετερότροφα βακτήρια. Αυτά, καταναλώνοντας το οξυγόνο των νιτρικών αλάτων, μετατρέπουν τα νιτρικά σε άζωτο, το οποίο ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Στο ίδιο τμήμα, μικροοργανισμοί καταναλώνουν και ενώσεις άνθρακα, απομακρύνοντας, μ' αυτόν τον τρόπο, τμήμα του οργανικού φορτίου, που υπάρχει στο λύμα.

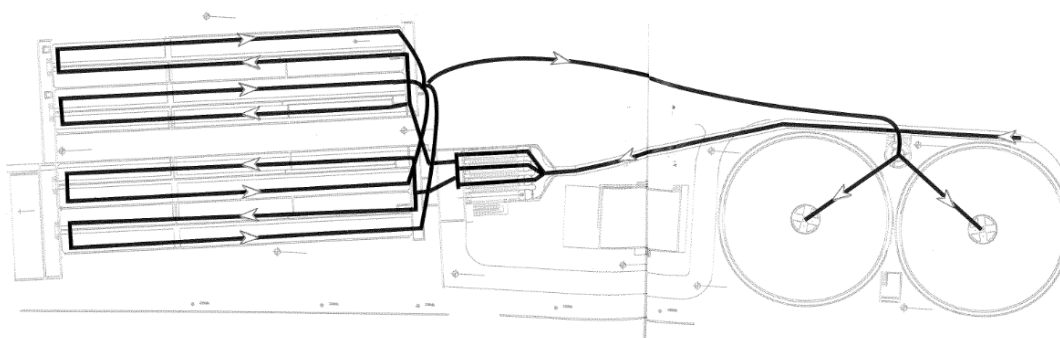
Στη συνέχεια, το λύμα εισβάλλει στο δεύτερο διαμέρισμα των δεξαμενών, όπου, με το συγκρότημα φυσητήρων - διαχυτών, παροχετεύεται αέρας και οι συνθήκες γίνονται αερόβιες. Άλλου είδους μικροοργανισμοί, τα αυτότροφα βακτήρια Nitrosomonas και Nitrobacter εδώ προκαλούν την διαδικασία της νιτροποίησης, μετατρέποντας την αμμωνία, που υπάρχει στο λύμα, σε νιτρικά ιόντα. Παράλληλα, καταναλώνεται και το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου και σαν διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται.

Τα νιτρικά, όμως, που παράγονται σ' αυτή τη διαδικασία της νιτροποίησης, απαιτούν ανοξικές συνθήκες για να μετατραπούν σε άζωτο. Έτσι ανακυκλοφορούν στο ανοξικό

τμήμα του πρώτου διαμερίσματος, που περιγράψαμε, με αντλίες πενταπλάσιας αντλητικής δυναμικότητας από αυτή της ροής του λύματος, που εισέρχεται στις δεξαμενές. Ολοκληρώνοντας το λύμα την πορεία του στις δεξαμενές αερισμού - νιτροποίησης - απονιτροποίησης έχει απαλλαγεί από το διαλυμένο οργανικό ρυπαντικό φορτίο, καθώς έχει μετατραπεί σε αιωρούμενους μικροοργανισμούς και σωματίδια.

Αυτό το «μεικτό υγρό» οδηγείται στις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Πρόκειται για ένα ζεύγος δεξαμενών, διαμέτρου 36m η καθεμία και συνολικού όγκου 7000 m³. Στις δεξαμενές αυτές γίνεται η τελευταία πράξη της επεξεργασίας του λύματος. Εκεί δίνεται ο απαραίτητος χρόνος στα αιωρούμενα σωματίδια και μικροοργανισμούς - ενεργή ιλύς - να πυκνώσουν και να καθιζήσουν στον πυθμένα των δεξαμενών, ώστε, από την επιφάνεια των δεξαμενών, το καθαρό επεξεργασμένο λύμα αν μπορεί να επιστρέψει στη φύση. Η ενεργή ιλύς, που συγκεντρώνεται στον πυθμένα των δεξαμενών, ακολουθεί δύο δρόμους. Η μεγαλύτερη ποσότητα επιστρέφει στις δεξαμενές αερισμού, ώστε να αποτελέσει «μαγιά» και βοήθεια στις διεργασίες, ενώ μια μικρότερη ποσότητα αντλείται στην μονάδα πάχυνσης της βιολογικής λάσπης, ώστε να ακολουθήσει άλλη επεξεργασία.

Στην τρίτη φάση, το λύμα απαλλάσσεται από το 90% του οργανικού (βιοαποικοδομήσιμου) φορτίου, το 70% των αιωρούμενων στερεών, το 75% του αζώτου και το 50% του φωσφόρου.



Σχήμα 2.5: Βιολογική επεξεργασία

Έργα Διάθεσης

Από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης, το επεξεργασμένο λύμα οδηγείται στο αντλιοστάσιο εκροής και απομακρύνεται, μέσω καταθλιπτικού αγωγού 8km, που εκβάλλει στην εγκατάσταση διάθεσης, στο ακρωτήριο Αγκίστρι.

Αυτή αποτελείται από διθάλαμη δεξαμενή αναρρύθμισης και από υποθαλάσσιο αγωγό από HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυεθυλένιο), 800m μήκους, που εδράζεται στον πυθμένα. Στο άκρο του, σε βάθος 54m, είναι κλειστός, ενώ στα 230 τελευταία μέτρα του έχουν τοποθετηθεί 28 διαχυτήρες.

Με την δεξαμενή αναρρύθμισης και τους διαχυτήρες, η εκροή των λυμάτων, αφ' ενός είναι σταθερή σε όλο το 24ωρο, αφ' ετέρου γίνεται «κατά μάζες χωριστές», με αποτέλεσμα το καθαρό πλέον νερό να αφομοιώνεται ομαλά από τον αποδέκτη.

Επιπλέον, η θέση του αγωγού στο Αγκίστρι, σε μια θαλάσσια δηλαδή περιοχή εκτός εσωτερικού κόλπου, με πολύ καλή κυκλοφορία και ανανέωση μαζών, διευκολύνει αποτελεσματικά τη διάχυση των επεξεργασμένων λυμάτων.

Σε τελική ανάλυση, οι ευνοϊκές αυτές συνθήκες συμβάλλουν ώστε, το διαλυμένο οξυγόνο, η διαύγεια και η αισθητική εικόνα στην περιοχή εκβολής και στις γειτονικές ακτές, να βρίσκονται μέσα σε αποδεκτά επίπεδα.

Επεξεργασία Λάσπης

Καθώς το λύμα οδεύει στις διάφορες μονάδες επεξεργασίας, διάφοροι τύποι από «στερεά» απομακρύνονται, ώστε να απαλλαγεί από τα ρυπαντικά φορτία και να αποκτήσει ξανά την καθαρότητά του. Η επεξεργασία αυτών των στερεών μπορεί, συχνά, να αποβεί πιο ακριβή και σύνθετη διαδικασία από την επεξεργασία του λύματος. Τα διάφορα στερεά αναφέρονται, όπως είπαμε, με το όνομα «ιλύς ή λάσπη», χωρίς όμως να έχουν σχέση με την γνωστή μας λάσπη, που συναντούμε μετά τη βροχή.

Οι λάσπες αυτές παραμένουν πολύ υδαρή διαλύματα, 100 φορές, όμως, πυκνότερα από το ανεπεξέργαστο λύμα. Δηλαδή, αν 1 κυβικό ανεπεξέργαστο λύμα, που μπαίνει στην εγκατάσταση, περιέχει 300 γραμμάρια και λιγότερα στερεά, 1 κυβικό λάσπης περιέχει 30 κιλά. Η φιλοσοφία για την επεξεργασία της λάσπης στηρίζεται στην τεχνική της συμπύκνωσης, η οποία αυξάνει τα στερεά σε 250 – 300 κιλά το κυβικό. Σαν ένα πρακτικό κανόνα, μπορούμε να πούμε, όσο ψηλότερος ο βαθμός επεξεργασίας των αποβλήτων, τόσο μεγαλύτεροι όγκοι λάσπης παράγονται. Για παράδειγμα, 1000 m³ λύματος παράγουν 2,5 – 3 m³ λάσπη κατά την πρωτοβάθμια, 4 – 5 m³ κατά την χημική και 15 – 25 m³ κατά την βιολογική επεξεργασία τους.

Οι μέθοδοι που ακολουθούνται για την επεξεργασία λάσπης είναι πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση και διάθεση.

Στην εγκατάσταση του Βόλου, όπως έχει ήδη περιγραφεί, παράγονται τρία είδη λάσπης: πρωτογενής, χημική και βιολογική. Επειδή η χημική και βιολογική λάσπη είναι ιδιαίτερα υδαρείς ακολουθούν τη διαδικασία της πάχυνσης, η χημική σε δύο παχυντές βαρύτητας, ενώ η βιολογική σε μηχανικό παχυντή. Το επόμενο βήμα είναι η ομογενοποίηση και των τριών ειδών, ώστε να τροφοδοτούνται οι τρεις χωνευτές με κοινό μείγμα. Αυτό γίνεται σε μια δεξαμενή ομογενοποίησης, όπου αντλούνται η λάσπη της επίπλευσης, η παχυμένη χημική και η παχυμένη βιολογική λάσπη. Η μεικτή ιλύς πλέον περιέχει 30 – 40 κιλά στερεών ανά κυβικό μέτρο (μετά την πάχυνση).

Οι χωνευτές είναι ένα συγκρότημα τριών δεξαμενών, συνολικού όγκου 5600 m³. Εκεί η λάσπη θερμαίνεται σε 33 – 35 C, ανακυκλοφορεί πάνω από εναλλάκτη θερμότητας και με μηχανικό σύστημα ανάδευσης εξασφαλίζεται η γρήγορη ανάμειξη και θέρμανσή της. Οι μακρομοριακές οργανικές ενώσεις, που περιέχει, διασπώνται σε απλούστερες με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών, που βρίσκονται σε αφθονία στη λάσπη οικιακών λυμάτων.

Παράλληλα καταστρέφονται ορισμένοι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Το τελικό προϊόν της χώνευσης είναι ένα μείγμα αερίων, το οποίο λέγεται βιοαέριο και αποτελείται, κυρίως, από διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Το παραγόμενο βιοαέριο στους τρεις χωνευτές οδηγείται σε αεροφυλάκιο, τύπου κώδωνα, που βρίσκεται τοποθετημένο μέσα σε δεξαμενή νερού και αφ' ενός εξισορροπεί τις διακυμάνσεις στην παραγωγή –

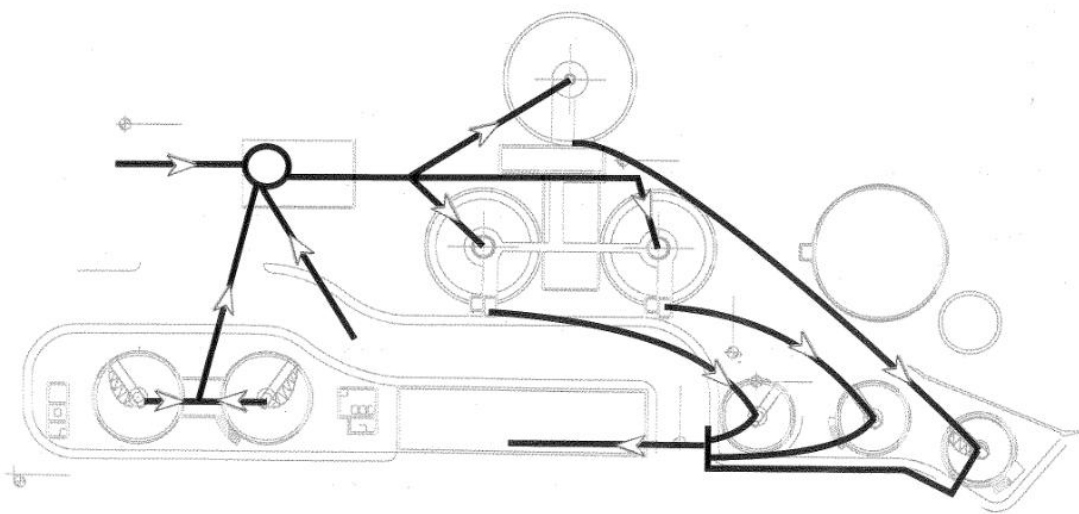
κατανάλωση αερίου, αφ' ετέρου γεμίζει το χωνευτή με αέριο κατά την εκροή χωνευμένης ιλύος.

Το βιοαέριο, μετά την συγκέντρωσή του, οδηγείται στην μονάδα παραγωγής ενέργειας. Εκεί καίγεται σε δύο κινητήρες αερίου, που κινούν δύο γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, αποδίδεται στη ΔΕΗ, ενώ η παραγόμενη θερμότητα επιστρέφει στους χωνευτές και αξιοποιείται στη θέρμανση της λάσπης.

Η χωνευμένη λάσπη, έχοντας υποστεί εξυγίανση και σταθεροποίηση και έχοντας απαλλαγεί από ενοχλητικές οσμές, είναι σε θέση πλέον να αφυδατωθεί. Οδηγείται, για το σκοπό αυτό, με βαρύτητα στις δεξαμενές μεταπάχυνσης, οι οποίες λειτουργούν παρόμοια με τους προπαχυντές και συμπυκνώνεται ακόμη περισσότερο, 50 - 60 κιλά το κυβικό.

Στη συνέχεια, αντλείται σε τρεις ταινιοφιλτρώπρεςσες και, με προσθήκη πολυηλεκτρολύτη, για διευκόλυνση της διαδικασίας, η λάσπη αφυδατώνεται. Το τελικό προϊόν που προκύπτει είναι χώμαστη φυσική του υγρασία με περιεκτικότητα σε στερεά από 250 - 300 κιλά το κυβικό.

Η αφυδατωμένη λάσπη που παράγεται, μεταφέρεται με κοντέινερ στο χώρο για την τελική της διαχείριση.



Σχήμα 2.6: Επεξεργασία λάσπης

Προχωρημένη Επεξεργασία

Όλα τα αστικά λύματα και ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν ουσίες, που αναφέρονται σαν «θρεπτικά άλατα». Μεγάλες ποσότητες θρεπτικών, όταν αποβάλλονται στη θάλασσα, προκαλούν υπέρμετρη αύξηση φυτοπλαγκτού και γενικότερα υδρόβιων φυτών, δηλαδή το γνωστό φαινόμενο του ευτροφισμού.

Κατά την αποδόμηση της αυξημένης αυτής πρωτογενούς φυτικής παραγωγής μπορεί να καταναλωθεί τόσο πολύ διαλυμένο οξυγόνο, ώστε αυτό που απομένει να μην επαρκεί για τη ζωή των ψαριών και άλλων οργανισμών στο υδάτινο οικοσύστημα.

Ένα από τα σημαντικότερα θρεπτικά, που πρέπει να ελέγχεται η απόρριψή του, είναι ο φώσφορος, ο οποίος προάγει την αύξηση φυτοπλαγκτού στα επιφανειακά νερά. Τυπικά ο φώσφορος απομακρύνεται με την προσθήκη χημικών στο λύμα, καθώς δημιουργούνται αδιάλυτα ιζήματα, που καθιζάνουν σαν λάσπη. Τα τελευταία χρόνια, απομακρύνεται επίσης με βιολογική διαδικασία από βακτήρια ονόματι «πολυφωσφορικά» σε αναερόβιες συνθήκες, που αναπτύσσονται σε ιδιαίτερα τμήματα των δεξαμενών αερισμού. Στην εγκατατάστασή μας επιτυγχάνεται ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, ο οποίος δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα με το μικρότερο κόστος.

Το άζωτο είναι και αυτό ένα θραπτικό, που προκαλεί υπεραύξηση, όπως ο φώσφορος, επιπλέον όμως γίνεται επικίνδυνο, όταν οι ποσότητες που αποβάλλονται στη θάλασσα είναι μεγάλες. Το άζωτο υπάρχει στη μορφή αμμωνίας στα αστικά λύματα, η οποία δύσκολα απομακρύνεται με συμβατικές επεξεργασίες. Απαιτείται ειδική βιολογική διαδικασία για την ικανοποιητική μείωση της συγκέντρωσής της στο επεξεργασμένο λύμα, η οποία περιλαμβάνει δύο στάδια: 1) την νιτροποίηση, για τη μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα και στη συνέχεια 2) την απονιτροποίηση, για τη μετατροπή των νιτρικών σε μοριακό άζωτο, το οποίο, σ' αυτή τη μορφή είναι εντελώς ακίνδυνο και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Και οι δύο αυτές διαδικασίες γίνονται σε ιδιαίτερα τμήματα των δεξαμενών αερισμού, όπως το περιγράψαμε σε προηγούμενη παράγραφο.

Εκμετάλλευση Βιοαερίου – Αξιοποίηση Λάσπης

Κατά την επεξεργασία των αποβλήτων παράγονται δύο «παραπροϊόντα», το βιοαέριο και η αφυδατωμένη λάσπη, τα οποία γίνεται προσπάθεια να αξιοποιηθούν με τρεις στόχους: 1) τη φιλική τους επιστροφή στο περιβάλλον, 2) την οικονομικότερη λειτουργία της εγκατάστασης και 3) τον περιορισμό της εξάντλησης των φυσικών πόρων.

Το βιοαέριο παράγεται στη διαδικασία της χώνευσης, 2000 – 3000 κυβικά μέτρα την ημέρα και αποτελείται από 50 – 60% μεθάνιο, 35 – 45% διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αδρανή αέρια. Συγκεντρώνεται στο θόλο των χωνευτών και στη συνέχεια αποθηκεύεται στο αεροφυλάκιο, απ' όπου με σταθερή παροχή τροφοδοτείται η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Εκεί είναι εγκατεστημένα δύο συστήματα Caterpillar, 350 KW συνολικής ισχύος. Το καθένα αποτελείται από μία αεριομηχανή, συνδεδεμένη απ' ευθείας με ασύγχρονη γεννήτρια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ. Η θερμική ενέργεια που αποδίδεται χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης της λάσπης στους χωνευτές, καθώς και του κτηρίου διοίκησης. Σε περίπτωση που η σύσταση του βιοαερίου δεν είναι η κατάλληλη, έχει προβλεφθεί διάταξη μείξης του βιοαερίου με φυσικό αέριο.

Η χωνευμένη και αφυδατωμένη λάσπη συνδιατίθεται σήμερα με τα οικιακά απορρίμματα στην οργανωμένη χωματερή υγειονομικής ταφής του Δήμου.

Ανακεφαλαίωση

Στο βιολογικό καθαρισμό ουσιαστικά οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο βιοαντιδραστήρα διασπουν τους οργανικούς ρυπούς και τρεφονται απο αυτους, ενω ταυτόχρονα πολλαπλασιάζονται. Πιο συγκεκριμένα μέσα στο βιοαντιδραστήρα υπάρχει μεγάλος αριθμός ετεροτροφικών μικροοργανισμών, που αποτελούν τη βιολογική ιλύ (λάσπη), ενώ παράλληλα, μέσω ενός συστήματος αερισμού, διοχετεύεται στη μάζα των αποβλήτων αέρας, που είναι απαραίτητος για τη διεργασία, και γίνεται συνεχής ανάδευση του νερού και της βιολογικής μάζας. Έτσι τα βοθρολύματα καθαρίζονται έως και 95%.

Συχνά, αντί για αέρας διοχετεύεται στα απόβλητα καθαρό οξυγόνο, που αυξάνει την απόδοση του βιοαντιδραστήρα, δηλαδή την ικανότητα επεξεργασίας αποβλήτων ανά μονάδα όγκου του. Όταν πλέον οι μικροοργανισμοί καταναλώσουν όλη την ποσότητα των οργανικών ουσιών που έχουν την ικανότητα να διασπάσουν και ολοκληρωθεί η βιολογική διεργασία, αρχίζουν να καταναλώνουν το δικό τους οργανικό υλικό, οπότε μειώνεται η συνολική τους μάζα. Τότε τα απόβλητα διοχετεύονται σε μία δεξαμενή καθίζησης, όπου οι εναπομείναντες ζώντες μικροοργανισμοί διαχωρίζονται και επαναδιοχετεύονται στο βιοαντιδραστήρα, ενώ το καθαρισμένο νερό μπορεί να μεταβιβαστεί σε υδάτινους αποδέκτες στο περιβάλλον. Μετά το διαχωρισμό των μικροοργανισμών, στη δεξαμενή καθίζησης παραμένει ένα υπόλειμμα (ιλύς) από στερεά υλικά, οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομήθηκαν, νεκρούς μικροοργανισμούς κ.λπ. Η ιλύς αυτή πρέπει να αδρανοποιηθεί πριν απορριφθεί στο περιβάλλον, πρέπει επομένως να υποστεί επεξεργασία-συμπύκνωση (πάχυνση), αερόβια ή αναερόβια ζύμωση για τη διάσπαση των μακρομοριακών οργανικών ενώσεων, αφυδάτωση και τελικά απόθεση στο περιβάλλον ή καύση.

Η λάσπη (ιλύς) που θα προέλθει από τα λύματα πρέπει να υποστεί διαχείριση και επεξεργασία με αποτελεσματικό και ασφαλή τρόπο. Ο σκοπός της χώνευσης της λάσπης είναι η μείωση της οργανικής ύλης και των παθογόνων μικροοργανισμών.

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία η οποία πραγματοποιείται με την απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία είναι μεσόφιλη χώνευση, στην οποία η λάσπη βρίσκεται υπό ζύμωση μέσα σε δεξαμενές σε θερμοκρασία 36° C. Κατά την αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των δεξαμενών καθώς και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των εγκαταστάσεων. Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας διαδικασίας είναι η παραγωγή του μεθανίου και τα μειονεκτήματα είναι η μεγάλη χρονική περίοδος που χρειάζεται η διαδικασία (ως 30 ημέρες) καθώς και το υψηλό κόστος.

2.2 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΠΑΝΩ ΣΕ ΑΥΤΑ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μοντέλων που είναι διαθέσιμοι για την εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ. Αφ 'ενός υπάρχουν εμπειρικά στατικά μοντέλα ((Bridle Consulting, 2007), (National Greenhouse Gas Inventory Committee, 2007), (Monteith, Sahely, MacLean & Bagley, 2005)) που υπολογίζουν τις εκπομπές ως μέση τιμή για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν λεπτομερή μηχανιστικά μοντέλα που περιγράφουν δυναμικά τη συμπεριφορά των συστημάτων ενεργού ιλύος

(π.χ. Μοντέλο Ενεργοποιημένης Ιλύος 1 (ASM1) (IAWPRC Task Group, 1986)). Τα μοντέλα αυτά μπορούν να επεκταθούν για να συμπεριλάβουν τα ΑΦΘ ως μεταβλητές κατάστασης. Τα μηχανιστικά (δυναμικά) μοντέλα χρησιμοποιούν τα στατικά σαν μοντέλα βάσης. Πάνω σε αυτά στηρίζονται και αναπτύσσουν κάποιες δυναμικές μεθόδους-διεργασίες που περιγράφουν πιο ολοκληρωμένα την πραγματική λειτουργία (μεταβλητότητα των παραμέτρων) μέσα στη ΜΕΛ. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για την ποιότητα της εκροής με χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες έχουν προωθήσει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και την εφαρμογή των εννοιών ελέγχου για να βελτιώσουν τις συνολικές επιδόσεις των ΜΕΛ. Εφαρμογές πλήρους κλίμακας έχουν δείξει την σκοπιμότητα αυτόματου ελέγχου σε συστήματα αερισμού, σε χημικές δοσολογίες και στην ανακύκλωση των ροών (Oennerth et al, 1996; Ingildsen et al, 2002; Devisscher et al, 2002; Olsson et al, 2005). Μελέτες δυναμικής προσομοίωσης έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για να συγκριθεί η απόδοση των διαφορετικών στρατηγικών ελέγχου (μοντέλων) (Zhao et al., 1995; Spanjers et al, 1998; Corominas et al, 2006; Stare et al, 2007; Flores - Alsina et al, 2009; Machado et al, 2009) ή για να τις αξιολογούν πριν από την εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα (Ayesa et al., 2006). Σε επίπεδο λειτουργίας ΜΕΛ έχει εισαχθεί επίσης να λαμβανονται υπόψη οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διεργασιών (Gujer και Erni, 1978; Lessard και Beck, 1993; Jeppsson et al, 2007). Ωστόσο, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις εκπομπές των ΑΦΘ από την επεξεργασία αποβλήτων οδηγεί στην επανεξέταση των παραδοσιακών μηχανιστικών προσεγγίσεων με την προσθήκη αυτής της νέας παραμετρού. Επομένως, νέα εργαλεία απαιτούνται για την εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ και την αξιολόγηση διαφορετικών συστημάτων λειτουργίας (μοντέλων) που προλαμβάνουν ή ελαχιστοποιούν την παραγωγή των ΑΦΘ στις ΜΕΛ.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η επιστημονική κοινότητα έχει αναπτύξει κάποια μαθηματικά εργαλεία για την εκτίμηση - αξιολόγηση της παραγωγής των ΑΦΘ στις ΜΕΛ. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι φαίνεται να είναι ακατάλληλες για την εκτίμηση των στρατηγικών ελέγχου στις κατά περίπτωση ΜΕΛ για αρκετές λόγους. **Πρώτα απ' όλα**, οι τρέχουσες προσεγγίσεις βασίζονται σε υπολογισμούς σταθερής κατάστασης, δηλαδή εμπειρικές προσεγγίσεις (π.χ. IPCC, 2006; LGO, 2008; NGER, 2008) ή ολοκληρωμένα-συνολικά μοντέλα (Bridle et al., 2008; Bani Shahabadi et al., 2009; Pagilla et al., 2009), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δυναμική της επεξεργασίας των λυμάτων. Έτσι, δεν είναι δυνατόν να εξετάσουν πώς οι αλλαγές στο φορτίο εισροής (ημερήσιο, εβδομαδιαίο, εποχικό), στη θερμοκρασία (χειμώνας, καλοκαίρι) και στις συνθήκες λειτουργίας (DO, SRT, αναλογία COD/N) επηρεάζουν την παραγωγή εκπομπών ΑΦΘ. **Δεύτερον**, μερικές από αυτές τις εκτιμήσεις επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα τμήματα, χημικές ενώσεις και τεχνολογίες που έχουν να κάνουν με τα λύματα και δεν λαμβάνουν υπόψη το σύνολο. Για παράδειγμα, οι Cakir and Stenstrom (2005), Keller and Hartley (2003) and Monteith et al. (2005) μελετούν τη συμβολή της αερόβιας υποβάθμισης του ανθρακικού βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (CBOD) στις εκπομπές ΑΦΘ. Άλλες έρευνες, όπως αυτές των von Schulthess and Gujer (1996); Hiatt and Grady (2008a,b), and Foley et al. (2010), ποσοτικοποιούν τις εκπομπές N₂O σε ΜΕΛ που λειτουργούν με αερόβιες - ανοξικές συνθήκες σύμφωνα με το μοντέλο της ενεργούς ιλύος (ASM1). Οι Batstone et al. (2002) and Greenfield and Batstone (2003) αξιολόγησαν τις εκπομπές του μεθανίου (CH₄) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Παρόλα αυτά, με τις προαναφερθείσες προσεγγίσεις είναι δύσκολο να έχουμε το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα σε όρους CH₄, CO₂ και N₂O όταν η ΜΕΛ λειτουργεί με έναν ορισμένο τρόπο. **Τρίτον**, καμία από τις προσεγγίσεις

αυτές δεν περιλαμβάνει αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων που να συνδυάζει πληροφορίες για τις εκπομπές ΑΦΘ με αυστηρή ποσοτικοποίηση για την ποιότητα εκροής και το λειτουργικό κόστος. Έτσι δεν είναι επιτρεπτή η ποσοτικοποίηση και η σύγκριση της συνολικής βιωσιμότητας των προσεγγίσεων μεταξύ τους.

Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί και να συμπεριληφθούν οι εκπομπές ΑΦΘ κατά την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου στις ΜΕΛ, οι μελετητές προτείνουν το συνδυασμό ψευδο-εμπειρικών εξισώσεων και μηχανιστικών μοντέλων. Η προσέγγιση αυτή (που προτείνεται) διερευνά μεταβλητές εισροής, εκροής και λειτουργικές μεταβλητές σε κάθε βήμα προσομοίωσης. Στη συνέχεια, οι λειτουργικές διαδικασίες ή οι στρατηγικές ελέγχου που μπορεί να προκαλέσουν ευνοϊκές συνθήκες για τις εκπομπές ΑΦΘ μπορούν να εκτιμηθούν, παρέχοντας μια επιπλέον διάσταση στα παραδοσιακά κριτήρια, που είναι: η ποιότητα εκροής, τα οικονομικά και τα νομικά.

2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η συνολική προσέγγιση που προτείνεται από τον Monteith et al. (2005) και επεκτάθηκε στο Bridle et al. (2008) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση όλων των πιθανών εκπομπών ΑΦΘ από την εξεταζόμενη ΜΕΛ που δεν μπορούν να ληφθούν από τα ρητά αποτελέσματα του τροποποιημένου BSM2. Μια ολοκληρωμένη περιγραφή της μεθοδολογίας μπορεί να βρεθεί στο Snip (2010) και στο Corominas et al. (2010).

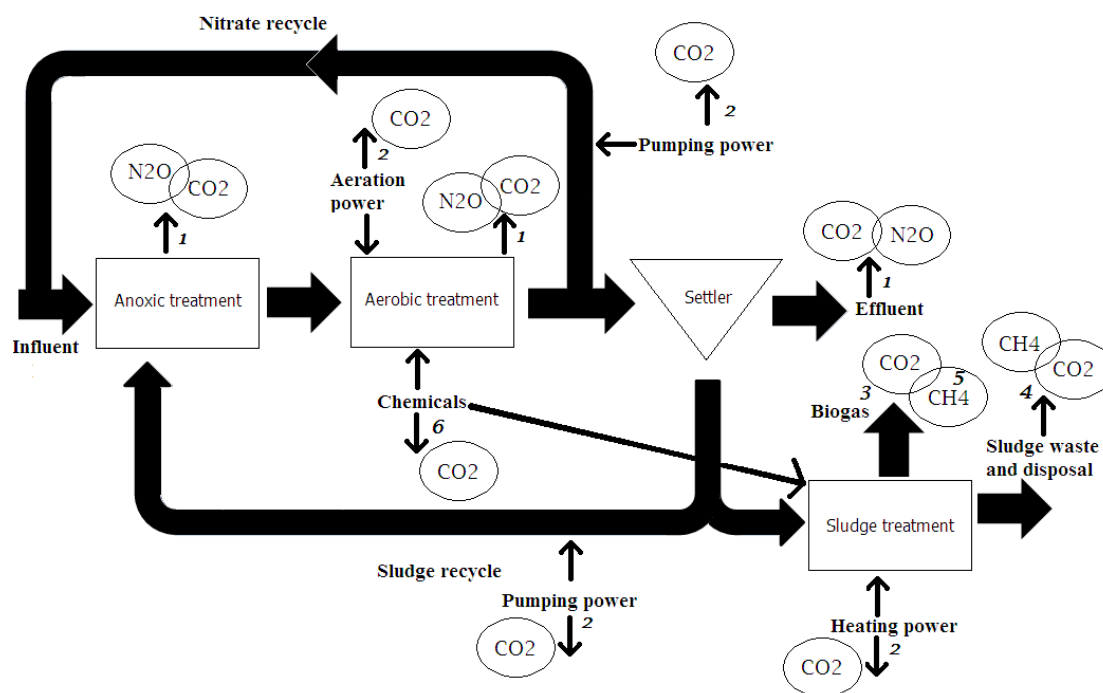
Υπάρχουν τρεις **Σκοπιές** που ορίζονται από τα Ηνωμένα Έθνη για να εξετάσουμε τις εκπομπές μιας βιομηχανικής εγκατάστασης. Η **Σκοπιά 1** περιλαμβάνει τις άμεσες εκπομπές ΑΦΘ, «οι άμεσες εκπομπές ΑΦΘ προκύπτουν από τις πηγές που ανήκουν ή ελέγχονται από την εταιρεία» (The Greenhouse Gas Protocol Initiative, 2004). Οι εκπομπές CO₂ από την καύση της βιομάζας δεν περιλαμβάνονται σε αυτή τη Σκοπιά. Η **Σκοπιά 2** περιλαμβάνει εκτός από τις άμεσες εκπομπές ΑΦΘ της Σκοπιάς 1 και τις εκπομπές ΑΦΘ που προκύπτουν από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Με το The Greenhouse Gas Protocol Initiative, 2004 οι επιπλέον εκπομπές περιγράφεται ως εξής: «Οι εκπομπές ΑΦΘ από την παραγωγή της αγορασμένης ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από την εταιρεία». Η αγορασμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι η ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από την εγκατάσταση ή μπαίνει στο οργανωτικό όριό της. Οι πραγματικές εκπομπές ΑΦΘ προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι δεν είναι στην εγκατάσταση. Ωστόσο, λόγω της χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση αυτές οι εκπομπές πρέπει να προστίθενται στις εκπομπές της εγκατάστασης σύμφωνα με τη Σκοπιά 2. Για μια ΜΕΛ θα συμπεριλαμβάνει για παράδειγμα τις εκπομπές της ενέργειας που χρησιμοποιείται για αερισμό. Η **Σκοπιά 3** περιλαμβάνει εκτός από τις εκπομπές ΑΦΘ κατά τις Σκοπιές 1 και 2, και άλλα έμμεσα ΑΦΘ. Αυτό ισχύει για εκπομπές από «πηγές που δεν ανήκουν ή ελέγχονται από την εταιρεία» (World Business Council for Sustainable Development). Για μια ΜΕΛ αυτό είναι για παράδειγμα οι εκπομπές ΑΦΘ που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στη ΜΕΛ.

Για την εκτίμηση των εκπομπών ΑΦΘ των ΜΕΛ με συγκρίσιμο τρόπο πρέπει να αναγράφονται οι εξεταζόμενες εκπομπές. Προκειμένου να ασχοληθεί με τη διαφορετική φύση των παραγόμενων ΑΦΘ (CO₂, CH₄ και N₂O), αυτά μετατρέπονται σε ισοδύναμες μονάδες CO₂ (CO₂e). Τα επιλεγμένα όρια είναι από την Σκοπιά 3 και παρατίθενται παρακάτω (Bridle Consulting, 2007):

1. Εκπομπές CO₂ και N₂O κατά τον βιολογικό καθαρισμό, την ενδογενή αναπνοή, την οξείδωση BOD, την νιτροποίηση, το κέρδος-πίστωση CO₂ και την αφαίρεση αζώτου.

2. Η χρήση ενέργειας της εγκατάστασης για τον αερισμό, την ανάμιξη και την άντληση τα οποία οδηγούν σε εκπομπές CO₂.
3. Η χώνευση της λάσπης, το βιοαέριο CH₄ και CO₂.
4. Η διάθεση της ιλύος, οι εκπομπές των φορτηγών από και προς το χώρο διάθεσης-επαναχρησιμοποίησης, οι εκπομπές CO₂ από την ορυκτοποίηση.
5. Το κέρδος ενέργειας από τη χρήση του βιοαερίου.
6. Οι εκπομπές ΑΦΘ από τη χρήση χημικών.

Στο Σχήμα 2.7 εμφανίζεται σχηματικά μια ΜΕΛ. Τα διάφορα κουτάκια δείχνουν τις διαδικασίες μεταχείρισης. Τα ΑΦΘ που μπορούν να απελευθερωθούν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών επεξεργασίας δίνονται στους κύκλους. Οι αριθμοί στο σχήμα αντιστοιχούν με τους αριθμούς του καταλόγου των ορίων. Οι εκπομπές που δεν έχουν ληφθεί υπόψη είναι έμμεσες εκπομπές που προκύπτουν από τους εργαζόμενους όταν «ταξιδεύουν» προς την δουλειά τους, για παράδειγμα, οι εκπομπές του αυτοκινήτου που χρησιμοποιείται από έναν εργαζόμενο. Αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη, δεδομένου του ότι είναι πολύ συγκεκριμένο για κάθε ΜΕΛ και θα είναι μικρό σε σύγκριση με τις άλλες πηγές.

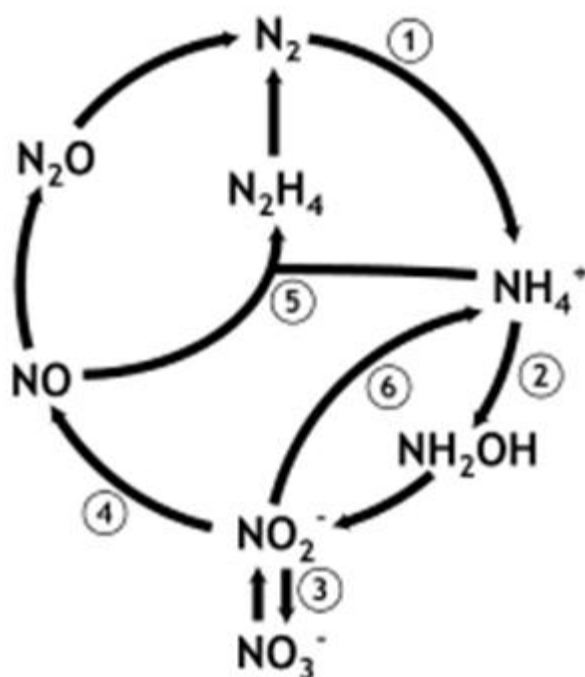


Σχήμα 2.7: Οι εκπομπές ΑΦΘ της ΜΕΛ που λαμβάνονται υπόψη

Παραγωγή οξειδίου του αζώτου (N₂O) σε ΜΕΛ

Όπως αναφέρθηκε πριν το GWP του N₂O είναι 298 φορές μεγαλύτερο από αυτό του CO₂. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι διεργασίες που δημιουργούν N₂O στις ΜΕΛ διερευνούνται τα τελευταία χρόνια. Οι διάφορες διαδικασίες στις ΜΕΛ που μπορεί να παράγουν N₂O θα παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο.

Το άζωτο μπορεί να προκύψει σε διάφορες μορφές στο περιβάλλον. Στο Σχήμα 2.8 φαίνονται οι διάφορες μορφές με τις οποίες το άζωτο μπορεί να σχηματίζεται μικροβιακά.



Σχήμα 2.8: Ο μικροβιακός κύκλος του αζώτου (Jetten, 2008)

Η διαδικασία 1 είναι δέσμευση N₂O, η διαδικασία 2 είναι αερόβια οξείδωση αμμωνίου από βακτήρια και archaea, η διαδικασία 3 είναι αερόβια οξείδωση νιτρικών, η διαδικασία 4 είναι απονιτροποίηση, η διαδικασία 5 είναι αναερόβια οξείδωση αμμωνίου και η διαδικασία 6 είναι αναγωγή νιτρικών και νιτρικών σε αμμώνιο (Jetten, 2008). Οι κύριες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στη ΜΕΛ για την αφαίρεση του αζώτου είναι η αερόβια οξείδωση του αμμωνίου σε συνδυασμό με αερόβια οξείδωση νιτρικών το οποίο επίσης ονομάζεται νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες στη ΜΕΛ που μπορούν να παράγουν N₂O, και ονομάζονται απονιτροποίηση, νιτροποίηση και χημικές αντιδράσεις (Kampschreur, Temmink, Kleerebezem, Jetten & van Loosdrecht, 2009).

Παραγωγή N₂O κατά τη διάρκεια της απονιτροποίησης. Η απονιτροποίηση γίνεται με ανοξική ανάπτυξη ετερότροφων (heterotrophs). Ανοξική ανάπτυξη συμβαίνει όταν

δεν υπάρχει οξυγόνο για να χρησιμοποιηθεί ως δέκτης ηλεκτρονίων και τα βακτήρια είναι σε θέση να χρησιμοποιούν άζωτο αντ'αυτού. Η απονιτροποίηση είναι μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων, καθώς τα ετερότροφα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν νιτρικό, νιτρώδες, νιτρικό οξείδιο και υποξείδιο του αζώτου ως δέκτη ηλεκτρονίου. Η απονιτροποίηση ακολουθεί τα τέσσερα βήματα σύμφωνα με:



Όπως μπορεί να φανεί το N_2O είναι ένα ενδιάμεσο σε αυτή τη διαδικασία. Έτσι, N_2O μπορεί να παράγεται και να απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα λόγω της ελλιπούς απονιτροποίησης.

Παραγωγή N_2O κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης. Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορεί να παραχθεί N_2O σε μια ΜΕΛ είναι από τα βακτήρια που εκτελούν τη διαδικασία της νιτροποίησης. Κατά τη διάρκεια της νιτροποίησης η αμμωνία αντιδρά σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά. Αυτό γίνεται με δύο διαφορετικά αυτότροφα βακτήρια, τα οξειδωτικά νιτρώδων και τα οξειδωτικά αμμωνίας. Αυτότροφα είναι τα βακτήρια που χρησιμοποιούν ένα διαφορετικό υπόστρωμα από άνθρακα για να αναπτυχθούν. Τα οξειδωτικά βακτήρια νιτρώδων χρησιμοποιούν ελεύθερο νιτρώδες οξύ ως υπόστρωμα και τα οξειδωτικά βακτήρια αμμωνίας χρησιμοποιούν ελεύθερη αμμωνία. Υπάρχουν οξειδωτικά βακτήρια αμμωνίας που μπορούν να παράγουν N_2O αν και δεν είναι ένα ενδιάμεσο στη νιτροποίηση (Colliver, 2000). Η διαδικασία που γίνεται με οξειδωτικά βακτήρια αμμωνίας και στην οποία μπορεί να παραχθεί N_2O ονομάζεται αερόβια απονιτροποίηση. Αυτή είναι το αντίθετο της νιτροποίησης των βακτηρίων στα οποία η αμμωνία μετατρέπεται σε νιτρώδες. Ο μηχανισμός αυτής της διαδικασίας χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

Παραγωγή N_2O λόγω χημικών αντιδράσεων. Υποξείδιο του αζώτου μπορεί επίσης να παραχθεί κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης μεταξύ των νιτρώδων και υδροξυλαμίνης, NH_2OH (Cleemput, 1998). Η υδροξυλαμίνη είναι ένα ενδιάμεσο από τα οξειδωτικά βακτήρια αμμωνίας. Δεν είναι γνωστό πόσο μεγάλη είναι η συμβολή αυτής της αντίδρασης στο συνολικό σχηματισμό N_2O . Ως εκ τούτου, αυτό χρειάζεται επίσης περαιτέρω έρευνα. Για το μοντέλο που θα πρέπει να περιλαμβάνει την παραγωγή N_2O κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας μόνο η διαδικασία της απονιτροποίησης συμπεριλαμβάνεται.

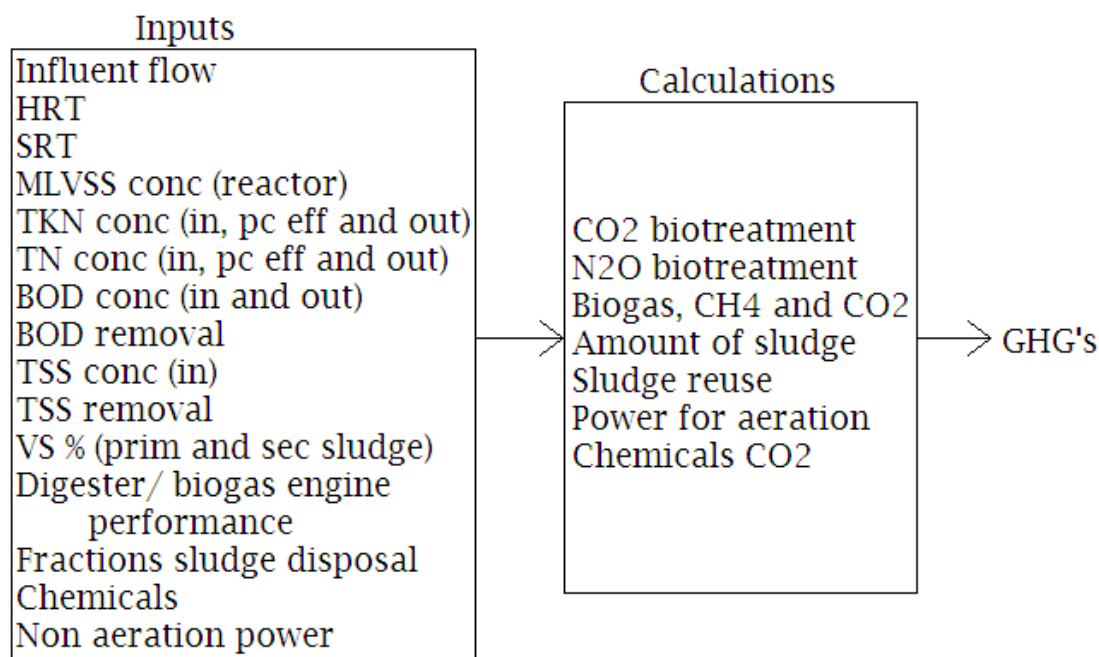
Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να ποσοτικοποιηθούν οι εκπομπές ΑΦΘ σε ΜΕΛ με τη χρήση προσεγγίσεων που βασίζονται σε μοντέλα. Το στατικό μοντέλο που παρουσιάζεται στο Bridle Consulting, 2007 συνδυάζεται με ένα δυναμικό ντετερμινιστικό μοντέλο που περιγράφει την παραγωγή N_2O . Αυτά τα μοντέλα εφαρμόζονται και χρησιμοποιούνται για δύο διαφορετικές εφαρμογές. Κατά την πρώτη εφαρμογή το στατικό μοντέλο χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό των εκπομπών ΑΦΘ της Benchmark εγκατάστασης no.2 (Jeppsson et al., 2007). Σε μία δεύτερη εφαρμογή το ντετερμινιστικό μοντέλο μαζί με το στατικό μοντέλο χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών της Benchmark εγκατάστασης no.1 (Copp et al., 2002) και για την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας (δηλαδή τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, τα διαφορετικά επίπεδα νιτρικών και αμμωνίας) στην παραγωγή ΑΦΘ.

Στην εργασία αυτή, πρώτα θα εξεταστεί ένα υπάρχον στατικό μοντέλο για τον υπολογισμό των εκπομπών ΑΦΘ. Ο υπολογισμός του N_2O σε αυτό το μοντέλο θα αντικατασταθεί από ένα μαθηματικό μοντέλο που προβλέπει το σχηματισμό N_2O . Διαφορετικά υπάρχοντα μοντέλα που περιλαμβάνουν δύο στάδια νιτροποίησης και τέσσερα βήματα απονιτροποίησης συγκρίνονται για αυτό. Μετά από αυτή την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας το στατικό μοντέλο θα προσαρμοστεί. Τα αποτελέσματα του Benchmark Simulation Model 2 (BSM2), το οποίο χρησιμοποιεί το Μοντέλο Ενεργοποιημένης Ιλύος 1 (ASM1) και το Μοντέλο Αναερόβιας Χώνευσης 1 (ADM1) για να περιγράψει την απόδοση της ΜΕΛ μπορεί να αντικαταστήσει ορισμένους από τους υπολογισμούς που γίνονται στο στατικό μοντέλο. Η εκτιμώμενη παραγωγή ΑΦΘ στη συνέχεια θα συγκριθεί με τις εκτιμήσεις της βιβλιογραφίας. Στη συνέχεια, για να αντικατασταθεί ο υπολογισμός της παραγωγής N_2O στο στατικό μοντέλο, ένα από τα αξιολογημένα μοντέλα με δύο στάδια νιτροποίησης και τέσσερα στάδια απονιτροποίησης θα προσαρμοστεί. Αυτό το μοντέλο στη συνέχεια θα ελεγχθεί και θα επαληθευτεί προκειμένου να εξασφαλιστεί η απόδοση. Τέλος, θα εξεταστεί η επιρροή των συγκεντρώσεων του οξυγόνου, της αμμωνίας και των νιτρικών στην παραγωγή N_2O και την παραγωγή ΑΦΘ συνολικά. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να επιλεγούν οι ιδανικές συνθήκες για την ελαχιστοποίηση της παραγωγής ΑΦΘ.

2.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

2.4.1 *Bridle Model*

Ο Bridle έχει διακρίνει πέντε μέρη όπου εκπέμπονται τα ΑΦΘ, τα οποία είναι η βιολογική επεξεργασία, η επεξεργασία της ιλύος, η χρήση χημικών, η κατανάλωση ενέργειας και η παραγωγή βιοαερίου (Bridle Consulting, 2007). Για κάθε μέρος υπολογίζει τα ΑΦΘ που εκπέμπονται σε μονάδες $kg CO_2/day$. Εδώ για μετρημένη εισροή και εκροή, υπολογίζεται η απόδοση ενός χωνευτήρα ιλύος και καθορίζεται ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων για την προσομοίωση των βιολογικών διαδικασιών. Στη συνέχεια, υπολογίζεται με τύπους και συντελεστές μετατροπής το ποσό των $kg CO_2$ που εκπέμπεται ανά ημέρα από μία ΜΕΛ. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση αυτή φαίνονται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Η σχηματική εικόνα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο Bridle Model για τον υπολογισμό των ΑΦΘ σύμφωνα με διαφορετικές διαδικασίες

Στο Σχήμα 2.9 χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες συντμήσεις:

HRT είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής

SRT είναι ο χρόνος κατακράτησης (παραμονής) της ιλύος

MLVSS είναι τα μικτά υγρά πτητικά αιωρούμενα στερεά

TKN είναι το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl, το οποίο είναι η αμμωνία και το αμμώνιο μαζί

TN είναι το ολικό άζωτο, το οποίο είναι το νιτρικό, το νιτρώδες και το TKN

BOD είναι η βιολογική ζήτηση οξυγόνου

TSS είναι τα ολικά αιωρούμενα στερεά

VS είναι τα πτητικά στερεά

Ο Bridle έχει δημιουργήσει ένα φύλλο Excel για την εκτέλεση των υπολογισμών. Σε αυτό το φύλλο Excel οι υπολογισμοί εφαρμόζονται σε τρεις μελέτες περιπτώσεων. Το φύλλο έχει χρησιμοποιήσει δύο μοντέλα-υποδείγματα για τον υπολογισμό των εκπομπών, δηλαδή το ολοκληρωμένο μοντέλο και το μοντέλο WSAA. Το μοντέλο WSAA έχει δημιουργηθεί από την Water Services Association of Australia και το ολοκληρωμένο μοντέλο από τον Bridle Consulting. Υπάρχουν δύο μεγάλες διαφορές μεταξύ αυτών των μοντέλων. Η πρώτη διαφορά είναι ο τρόπος που υπολογίζονται οι εκπομπές της βιολογικής επεξεργασίας. Το μοντέλο WSAA παίρνει μόνο τις εκπομπές N₂O υπόψη και

τις μετατρέπει σε CO₂ με το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP). Στο ολοκληρωμένο μοντέλο η βιολογική επεξεργασία χωρίζεται σε τρεις διαδικασίες όπου λαμβάνει χώρα η παραγωγή ΑΦΘ, δηλαδή την ενδογενή αποσύνθεση της βιομάζας, την οξείδωση BOD και την απομάκρυνση του αζώτου. Σε αυτές τις διαδικασίες οξειδώνεται οργανική ύλη το οποίο οδηγεί σε εκπομπές CO₂. Η άλλη διαφορά μεταξύ των μοντέλων είναι ότι το συνολικό μοντέλο περιλαμβάνει επίσης τις εκπομπές που οφείλονται στη χρήση των χημικών ουσιών. Κοιτάζοντας τα όρια που έχουν επιλεγεί για την εκτίμηση των ΑΦΘ, το συνολικό μοντέλο είναι μια καλύτερη επιλογή για να χρησιμοποιηθεί αντί για το μοντέλο WSA. Το ολοκληρωμένο μοντέλο θα ονομαστεί Bridle Model για το υπόλοιπο της παρούσης εργασίας.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια εξηγούνται οι διαφορετικοί υπολογισμοί που χρησιμοποίησε ο Bridle. Χωρίζεται συνολικά σε 6 υποκεφάλαια: βιολογική επεξεργασία, χώνευση ιλύος, επαναχρησιμοποίηση ιλύος, χρήση χημικών, ενέργεια κατανάλωσης και χρήση βιοαερίου. Τα διάφορα υποκεφάλαια είναι οι διαδικασίες της ΜΕΛ όπου παρουσιάζονται οι εκπομπές ΑΦΘ.

1. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από την βιολογική επεξεργασία

Η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πραγματοποιείται μέσω τριών διαδικασιών, δηλαδή την ενδογενή αποσύνθεση, την οξείδωση BOD και την αφαίρεση του αζώτου, όπως προαναφέρθηκε. Σε αυτές τις διαδικασίες παράγεται CO₂, καταναλώνεται, και παράγεται N₂O.

Το Bridle Model υπολογίζει την βιομάζα που αποσυντίθεται από:

$$X_{\text{decayed}} = Q_{\text{influent}} * \text{HRT} * \text{MLVSS} * k_D$$

X_{decayed} είναι η βιομάζα που αποσυντίθεται ανά ημέρα [kg VSS / day]

Q_{influent} είναι η μέση ημερήσια ροή [m³ / day]

HRT είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής [days]

MLVSS είναι η συγκέντρωση των μικτών υγρών πτητικών αιωρούμενων στερεών [kg/m³]

k_D είναι ο συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης [1 / day]

Η μέση ημερήσια ροή, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής και το MLVSS μετρώνται. Ο συντελεστής ενδογενούς αποσύνθεσης προέρχεται από τους Black & Veatch όπως περιλαμβάνεται στο Bridle Model.

Για να μεταβείτε από τη βιομάζα που αποσυντίθεται στο CO₂ που παράγεται είναι απαραίτητη η χημική αντίδραση που περιγράφει την αποσύνθεση της βιομάζας. Η στοιχειακή σύνθεση της βιομάζας είναι C₅H₇O₂N (Bridle Consulting, 2007).

Μπέμπελος Απόστολος



Η αναλογία της βιομάζας προς το CO₂ είναι 113 : 5 * 44 η οποία ισούται με 1 : 1,947. Αυτό σημαίνει ότι για την αποσύνθεση ενός κιλού βιομάζας παράγονται 1,947 κιλά CO₂.

$$\text{CO}_{2,\text{decay}} = \text{X}_{\text{decayed}} * 1.947$$

Επίσης, κατά τη διάρκεια της παραγωγής βιομάζας εκπέμπεται CO₂. Το Bridle Model υπολογίζει πρώτα την παρατηρηθείσα απόδοση της βιομάζας.

$$\text{Y}_{\text{obs}} = \text{Y} / (1 + \text{k}_D * \text{SRT})$$

Y_{obs} είναι η παρατηρούμενη απόδοση της βιομάζας [kg VSS / kg BOD_{removed}]

Y είναι η απόδοση που ορίζεται στην χαλινάρι μοντέλο [kg VSS / kg BOD_{removed}]

SRT είναι ο χρόνος κατακράτησης (παραμονής) της ιλύος που δίνεται σε [days]

Η «καθαρή» βιομάζα που παράγεται υπολογίζεται από:

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

X_{net,produced} είναι η καθαρή βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα [kg VSS / day]

Το BOD που οξειδώνεται υπολογίζεται από:

$$\text{BOD}_{\text{ox}} = \text{Q}_{\text{influent}} * ((100\% - \text{BOD}_{\text{rem}}) / 100\% * \text{BOD}_{\text{influent}} - \text{BOD}_{\text{effluent}})$$

BOD_{ox} είναι το BOD που οξειδώνεται από τη βιομάζα [kg BOD / day]

BOD_{rem} είναι η απόδοση της αφαίρεσης BOD της πρωτογενούς καθίζησης [%]

BOD_{influent} είναι η εισροή BOD [kg BOD/m³]

BOD_{effluent} είναι η εκροή BOD [kg BOD/m³]

Με την καθαρή βιομάζα που παράγεται το ποσοστό του οξυγόνου που χρησιμοποιείται μπορεί να υπολογιστεί:

$$\text{R}_{\text{O}_2} = \text{BOD}_{\text{ox}} / (f) - 1,42 * \text{X}_{\text{net,produced}}$$

R_{O₂} είναι ο ρυθμός με τον οποίο το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τη βιομάζα [kg O₂/day]

(f) είναι ο λόγος BOD₅ / BOD_u, ένα κλάσμα που ορίζεται στο Bridle Model [-]

Όταν το ποσοστό του οξυγόνου που χρησιμοποιείται είναι γνωστό μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα του CO₂ που παράγεται ανά ημέρα.

$$\text{CO}_{2,\text{BODox}} = \text{R}_{\text{O}_2} * \text{CO}_{2\text{fromBODox}}$$

CO_{2,BODox} είναι η ποσότητα του CO₂ που παράγεται ημερησίως από την οξείδωση BOD [kg CO₂/day]

CO_{2fromBODox} είναι ένας συντελεστής μετατροπής που προέρχεται από τη χημική αντίδραση στην οποία το C₁₀H₁₉O₃N είναι η στοιχειακή σύνθεση του BOD:



Η αναλογία μεταξύ του O_2 και του CO_2 είναι τότε $25 * 32 : 20 * 44$ η οποία είναι 1 : 1,1. Έτσι, για 1 κιλό O_2 παράγεται 1,1 kg CO_2 .

Το τελευταίο βήμα στο μέρος της βιολογικής επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του αζώτου. Με την απομάκρυνση της αμμωνίας, το CO_2 καταναλώνεται οδηγώντας σε ένα κέρδος CO_2 . Όταν τα νιτρικά απονιτροποιούνται εκπέμπονται CO_2 και N_2O .

Η ποσότητα του N στη βιομάζα υπολογίζεται από τη στοιχειακή σύνθεση. Το μοριακό βάρος του N είναι 14 και αυτό της βιομάζας 113, όπως φαίνεται παραπάνω. Έτσι, η ποσότητα του N που ενσωματώνεται στην καθαρή παραγόμενη βιομάζα είναι:

$$N_{\text{biomass}} = X_{\text{net,produced}} * 0,12 (=14/113)$$

N_{biomass} είναι η ποσότητα του αζώτου στη βιομάζα [kg N / day]

Η ποσότητα της αμμωνίας που οξειδώνεται υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

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

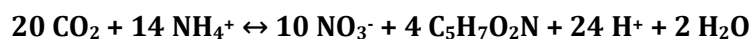
$TKN_{\text{p.c. effluent}}$ είναι το συνολικό άζωτο κατά Kjeldahl στην εκροή της πρωτογενούς καθίζησης [kg N/m³]

TKN_{effluent} είναι το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl που βγαίνει από την εγκατάσταση [kg N/m³]

Το κέρδος CO_2 από την αμμωνία που οξειδώνεται υπολογίζεται με:

$$CO_{2,\text{credit}} = NH_{\text{ox}} * CO_{2,\text{consumed}}$$

Το $CO_{2,\text{consumed}}$ έχει οριστεί από την στοιχειομετρία



Το CO_2 σε αναλογία με το N είναι $20 * 44 : 14 * 14$ η οποία οδηγεί σε 4,49 : 1 και έτσι η ποσότητα του $CO_{2,\text{consumed}}$ είναι 4,49 kg ανά kg N που νιτροποιείται.

Η ποσότητα του CO_2 που σχηματίζεται από την βιολογική επεξεργασία υπολογίζεται αφού πρώτα υπολογιστεί το ποσό του αζώτου που απομακρύνεται.

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

N_{removed} είναι το άζωτο που αφαιρείται από τα βακτήρια [kg N / day]

$TN_{\text{p.c. effluent}}$ είναι το συνολικό άζωτο στην εκροή της πρωτογενούς καθίζησης [kg/m³]

TN_{effluent} είναι το συνολικό άζωτο που βγαίνει από την εγκατάσταση [kg/m³]

Με στοιχειομετρία η ποσότητα του CO_2 που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης του αζώτου μπορεί να υπολογιστεί, υποθέτοντας ότι η μεθανόλη είναι η πηγή άνθρακα.



Η αναλογία του N προς το CO₂ είναι $6 * 14 : 5 * 44$, η οποία ισούται με 1 : 2,62. Ωστόσο αυτό δεν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό επειδή οι απονιτροποιητές χρησιμοποιούν BOD ως πηγή άνθρακα. Έτσι, ο υπολογισμός του CO₂ που παράγεται ήδη περιλαμβάνεται στον υπολογισμό για την οξείδωση του BOD.

Το N₂O που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης του αζώτου υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{emission}} = \text{Q}_{\text{influent}} * \text{TN}_{\text{p.c. effluent}} * \text{R}_{\text{N}_2\text{O, generation}}$$

N₂O_{emission} είναι η ποσότητα του εκπεμπόμενου N₂O [kg N₂O / day]

R_{N₂O, generation} είναι ο συντελεστής μετατροπής του N στην τροφοδοσία N₂O σε kg N₂O / kg N που τροφοδοτείται, η τιμή προέρχεται από τα δεδομένα του Lee Walker, όπως περιλαμβάνονται στο Bridle Model. Ο παράγοντας αυτός πρέπει να μετρηθεί για κάθε ΜΕΛ.

Με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, όπως υπολογίζεται από το IPCC, το ισοδύναμο CO₂ του N₂O μπορεί να υπολογιστεί:

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

GWP_{N₂O} είναι το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη για το N₂O (IPCC, 2013) [kg CO₂ / kg N₂O]

CO_{2, equivalent} είναι το ισοδύναμο CO₂ των εκπομπών N₂O [kg CO₂/day]

Η συνολική ποσότητα των εκπομπών CO₂ σε kg CO₂/day είναι:

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

2. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από τη χώνευση της λάσπης

Μετά τον υπολογισμό του CO₂ που παράγεται στην βιολογική επεξεργασία κατά τη διάρκεια της ενδογενούς αποσύνθεσης, της οξείδωσης BOD και της απομάκρυνσης του αζώτου, υπολογίζεται το CO₂ που παράγεται κατά την επεξεργασία της ιλύος. Η διαδικασία επεξεργασίας της λάσπης είναι χωρισμένη σε δύο μέρη, το μέρος της χώνευσης που εξηγείται σε αυτό το υποκεφάλαιο και το μέρος της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος που θα εξηγηθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Με την χώνευση της ιλύος εκπέμπονται CO₂ και CH₄. Το Bridle Model ξεκινά με τον υπολογισμό της ποσότητας της ιλύος που σχηματίζεται στη ΜΕΛ. Η ποσότητα της ιλύος που χωνεύεται μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί και από αυτό υπολογίζεται το βιοαέριο που σχηματίζεται. Με το ποσό του βιοαερίου να είναι γνωστό μπορεί να υπολογιστεί η παραγωγή του CO₂ και CH₄.

$$\mathbf{Sludge_{primary\ mass} = Q_{influent} * TSS_{influent} * TSS_{rem}}$$

$Sludge_{primary\ mass}$ είναι η ποσότητα της ιλύος. Η πρωτεύουσα ιλύ προέρχεται από τα σωματίδια που βρίσκονται στα εισρέοντα λύματα της ΜΕΛ. [kg ιλύος / day]

$TSS_{influent}$ είναι η ποσότητα του συνόλου των αιωρούμενων στερεών που βρίσκονται στα εισρέοντα λύματα της ΜΕΛ [kg/m³]

TSS_{rem} είναι το κλάσμα του συνόλου των αιωρούμενων στερεών που αφαιρείται [-]

Στη συνέχεια υπολογίζεται η δευτερεύουσα ιλύ που σχηματίζεται από τη βιομάζα:

$$\mathbf{Sludge_{secondary\ mass} = X_{net,produced} * VS_{secondary\ sludge} - Q_{influent} * TSS_{effluent} + TSS_{influent} * Q_{influent} * (1 - TSS_{rem}) * 0,27}$$

$Sludge_{secondary\ mass}$ είναι η λάσπη [kg / day]

$VS_{secondary\ sludge}$ είναι μια παράμετρος που περιγράφει το κλάσμα του VSS στη δευτερογενή ιλύ [-]

$TSS_{effluent}$ είναι το ποσό των ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή [kg TSS/m³]

0,27 είναι το κλάσμα της ιλύος που δεν ανακυκλώνεται. [-]

Η ιλύς που πηγαίνει προς τη χώνευση, $Sludge_{total}$ είναι η πρωτεύουσα ιλύ και η δευτερεύουσα ιλύ μαζί. Από τη συνολικής παραγόμενη λυματολάσπης, η παρούσα VSS υπολογίζεται από:

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

$VS_{combined\ sludge}$ είναι η παρούσα VS στην ιλύ που εκφράζεται ως κλάσμα του TS [-]

$VS_{primary\ sludge}$ είναι το κλάσμα της VSS στην πρωτογενή ιλύ [-]

Το VS που πηγαίνει προς την χώνευση είναι [kg VS / day]

$$\mathbf{VS_{digestion} = Sludge_{total} * VS_{combined\ sludge}}$$

Το κλάσμα του $VS_{digestion}$ που καταστρέφεται είναι

$$\mathbf{VS_{destroyed} = VS_{digestion} * VS_{destruction}}$$

$VS_{destroyed}$ είναι το μέρος των VS που καταστρέφεται [kg / day]

$VS_{destruction}$ είναι το κλάσμα της VS που καταστρέφεται [-]

Η ιλύς που χωνεύεται υπολογίζεται

$$\mathbf{Sludge_{digested} = Sludge_{total} - VS_{destroyed}}$$

$Sludge_{digested}$ είναι η χωνεμένη ιλύς [kg / day]

Στη συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί η μάζα του βιοαερίου [kg / day]

$$\mathbf{Biogas_{mass} = Sludge_{total} - Sludge_{digested}}$$

Για να πάμε από την ιλύ στο βιοαέριο πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής μετατροπής. Ο Bridle υποθέτει ότι 1 κιλό ιλύος ισούται με 1 κιλό βιοαερίου.

Η συγκέντρωση μεθανίου στο ποσοστό μάζας υπολογίζεται κατόπιν

$$\mathbf{Conc_{CH_4\ biogas} = (100 * Biogas_{CH_4\ content} * MW_{CH_4} / MV) / (Biogas_{CH_4\ content} * MW_{CH_4} / MV + (100 - Biogas_{CH_4\ content}) * MW_{CO_2} / MV)}$$

$Conc_{CH_4\ biogas}$ είναι το ποσοστό της μάζας του μεθανίου στο βιοαέριο [%]

$Biogas_{CH_4\ content}$ είναι το ποσοστό του όγκου του μεθανίου στο βιοαέριο [%]

MW_{CH_4} είναι το μοριακό βάρος του μεθανίου [g / mole]

MV είναι ο όγκος του 1 mole σε θερμοκρασία 20 ° C [m³/mole]

MW_{CO_2} είναι το μοριακό βάρος του διοξειδίου του άνθρακα [g / mole]

Με το ποσοστό της μάζας του μεθανίου γνωστό μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα του αερίου μεθανίου [kg CH₄/day]

$$\mathbf{Biogas_{CH_4} = Biogas_{mass} * Conc_{CH_4\ biogas} / 100}$$

Τότε το αέριο CO₂ υποτίθεται ότι είναι το υπόλοιπο του βιοαερίου, έτσι

$$\mathbf{Biogas_{CO_2} = Biogas_{mass} - Biogas_{CH_4}}$$

$Biogas_{CO_2}$ είναι η ποσότητα του CO₂ [kg CO₂/day]

Στο Bridle Model ένα μέρος του βιοαερίου καίγεται. Διά του παρόντος CO₂ θα εκπέμπεται καθώς

$$\mathbf{CO_{2,combustion} = (Biogas_{boiler} + Biogas_{flare}) * (Biogas_{CO_2} + Biogas_{CH_4} * MW_{CO_2} / MW_{CH_4}) / 100}$$

$CO_{2,combustion}$ είναι το CO₂ που παράγεται κατά την καύση [kg CO₂/day]

$Biogas_{boiler}$ είναι ένα ποσοστό του όγκου του βιοαερίου που πηγαίνει προς το λέβητα [%]

$Biogas_{flare}$ είναι ένα ποσοστό του όγκου του βιοαερίου που πηγαίνει προς τον πυρσό [%]

Ένα άλλο μέρος πηγαίνει σε μια μηχανή

$$\mathbf{CO_{2,engine} = Biogas_{engine} * (Biogas_{CO_2} + Biogas_{CH_4} * GWP_{CH_4}) / 100}$$

$CO_{2,engine}$ είναι η ποσότητα του CO₂ που παράγεται στον κινητήρα [kg CO₂/day]

$Biogas_{engine}$ είναι ένα ποσοστό του όγκου του βιοαερίου που πηγαίνει στον κινητήρα [%]

Ο Bridle υποθέτει επίσης ότι ένα μέρος του βιοαερίου έχει διαρρεύσει.

$$\text{CO}_{2,\text{leak}} = \text{Biogas}_{\text{leak}} * (\text{Biogas}_{\text{CO}_2} + \text{Biogas}_{\text{CH}_4} * \text{GWP}_{\text{CH}_4}) / 100$$

$\text{CO}_{2,\text{leak}}$ είναι η ποσότητα CO_2 που υποτίθεται ότι διαρρέει [kg CO_2 /day]

$\text{Biogas}_{\text{leak}}$ είναι ένα ποσοστό του όγκου που υποτίθεται ότι διαρρέει [%]

GWP_{CH_4} είναι το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη του μεθανίου, 34 (IPCC, 2013) [kg CO_2 /kg CH_4]

3. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος

Μετά την επεξεργασία της ιλύος, η ιλύς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους. Το Bridle Model δίνει τέσσερις διαφορετικές επιλογές, επαναχρησιμοποίηση για τη γεωργία, επαναχρησιμοποίηση για κομποστοποίηση, επαναχρησιμοποίηση για τη δασοκομία και επαναχρησιμοποίηση για άλλες επιλογές. Για κάθε ΜΕΛ μπορεί να δοθούν διαφορετικά κλάσματα της επαναχρησιμοποίησης της λάσπης. Πρώτον, η ποσότητα της ιλύος που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί πρέπει να υπολογιστεί. Στη συνέχεια, η ποσότητα του άνθρακα στην ιλύ είναι απαραίτητη, για να υπολογιστεί πόσος άνθρακας θα μετατραπεί σε CO_2 . Στην περίπτωση μας δεν έχουμε επαναχρησιμοποίηση και για το λόγο αυτό παραλείπονται οι παρακάτω υπολογισμοί.

Το κλάσμα του VS στην χωνεμένη ιλύ είναι:

$$\text{Fraction}_{\text{VSS,digested sludge}} = (\text{VS}_{\text{digestion}} - \text{VS}_{\text{destroyed}}) / \text{Sludge}_{\text{digested}} \quad [-]$$

Τότε ο άνθρακας στην ιλύ αξιολογείται από μια εμπειρική σχέση για να υπολογιστεί πόσο CO_2 μπορεί να σχηματιστεί.

$$\text{C}_{\text{sludge}} = 0,3962 * \text{VS}_{\text{digested sludge}} * 100\% + 9,4548$$

C_{sludge} είναι η ποσότητα του άνθρακα στην ιλύ [%]

Οι τιμές 0,3962 και 9,4548 είναι από τα δεδομένα του Bridle consulting

Με γνωστό το ποσό του άνθρακα στην ιλύ μπορούν να υπολογιστούν οι εκπομπές CO_2 από τις διάφορες επιλογές επαναχρησιμοποίησης:

$$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge agri}} = \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MW}_{\text{C}} * \text{C}_{\text{sludge}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Carbon}_{\text{mineralization}} * \text{Fraction}_{\text{agriculture}} / 10000$$

$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge agri}}$ είναι οι εκπομπές CO_2 μέσω της επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία [kg CO_2 /day]

MW_{C} είναι το μοριακό βάρος του άνθρακα [g / mole]

$\text{Carbon}_{\text{mineralization}}$ είναι ο άνθρακας της ιλύος που ανοργανοποιείται σε CO_2 [%]

$\text{Fraction}_{\text{agriculture}}$ είναι το κλάσμα της ιλύος που επαναχρησιμοποιείται για σκοπούς γεωργίας [-]

Μπέμπελος Απόστολος

Η ιλύς πρέπει να μεταφερθεί από τη ΜΕΛ στο χώρο επαναχρησιμοποίησης για τη γεωργία. Χρησιμοποιούνται φορτηγά για τη μεταφορά της ιλύος και εκπέμπεται CO₂ με την καύση του καυσίμου.

$$\text{CO}_{2,\text{trucking agri}} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{agriculture}} * \text{Trucking}_{\text{emissions}} * \text{distance}_{\text{agriculture site}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

CO_{2, trucking agri} είναι η ποσότητα των εκπομπών CO₂ από τη χρήση φορτηγών μέχρι το χώρο της γεωργίας και πίσω [kg CO₂/day]

Trucking_{emissions} είναι το ποσό των kg CO₂ ανά χιλιόμετρο [kg CO₂/km]

Distance_{agriculture site} είναι η απόσταση της ΜΕΛ από την περιοχή της γεωργίας [km]

V_{truck} είναι ο όγκος της λάσπης που μπορεί να μεταφέρει το φορτηγό [m³]

Solids_{cake} είναι το ποσοστό των στερεών στην ιλύ [%]

Το επιπλέον 1000 με το οποίο διαιρείται η sludge_{digested mass} είναι η πυκνότητα της λάσπης [kg/m³]

Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται επίσης και για τις άλλες επιλογές επαναχρησιμοποίησης

$$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge composting}} = \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MW}_{\text{C}} * \text{C}_{\text{sludge}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Carbon}_{\text{mineralization}} * \text{Fraction}_{\text{composting}} / 10000$$

CO_{2, Carbonsludge composting} είναι η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται από την κομποστοποίηση ιλύος [kg CO₂/day]

Fraction_{composting} είναι το κλάσμα της ιλύος που επαναχρησιμοποιείται για σκοπούς λιπασματοποίησης [-]

$$\text{CO}_{2,\text{trucking composting}} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{composting}} * \text{Trucking}_{\text{emissions}} * \text{distance}_{\text{composting site}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

CO_{2, trucking composting} είναι η ποσότητα των εκπομπών CO₂ από τη χρήση φορτηγών στο χώρο κομποστοποίησης και πίσω [kg CO₂/day]

Distance_{composting site} είναι η απόσταση της ΜΕΛ από την περιοχή της κομποστοποίησης [km]

$$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge forestry}} = \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MW}_{\text{C}} * \text{C}_{\text{sludge}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Carbon}_{\text{mineralization}} * \text{Fraction}_{\text{forestry}} / 10000$$

CO_{2, Carbonsludge forestry} είναι η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται από τη δασοκομία [kg CO₂/day]

Fraction_{forestry} είναι το κλάσμα της ιλύος που επαναχρησιμοποιείται για δασικούς σκοπούς [-]

Μπέμπελος Απόστολος

$$\text{CO}_{2,\text{trucking forestry site}} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{forestry}} * \text{Trucking}_{\text{emissions}} * \text{distance}_{\text{forestry site}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

$\text{CO}_{2,\text{trucking forestry}}$ είναι η ποσότητα των εκπομπών CO_2 από τη χρήση φορτηγών μέχρι το δασικό χώρο και πίσω [kg CO_2/day]

$\text{Distance}_{\text{forestry site}}$ είναι η απόσταση της ΜΕΛ από το δασικό χώρο [km]

$$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge other reuse}} = \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MW}_c * \text{C}_{\text{sludge}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Carbon}_{\text{mineralization}} * \text{Fraction}_{\text{other reuse}} / 10000$$

$\text{CO}_{2,\text{Carbonsludge other reuse}}$ είναι η ποσότητα CO_2 που εκπέμπεται από την επαναχρησιμοποίηση της λάσπης για άλλους σκοπούς [kg CO_2/day]

$\text{Fraction}_{\text{other reuse}}$ είναι το κλάσμα της ιλύος που επαναχρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς [-]

$$\text{CO}_{2,\text{trucking other reuse}} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{other reuse}} * \text{Trucking}_{\text{emissions}} * \text{distance}_{\text{other reuse site}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

$\text{CO}_{2,\text{trucking other reuse}}$ είναι η ποσότητα των εκπομπών CO_2 από τη χρήση φορτηγών μέχρι το χώρο άλλης επαναχρησιμοποίησης και πίσω [kg CO_2/day]

$\text{Distance}_{\text{other reuse site}}$ είναι η απόσταση της ΜΕΛ από το χώρο άλλης επαναχρησιμοποίησης [km]

Το μόνο που υπολογίζεται είναι οι εκπομπές από την μεταφορά της λάσπης μέχρι τον ΧΥΤΑ.

$$\text{CO}_{2,\text{trucking ΧΥΤΑ}} = \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Fraction}_{\text{ΧΥΤΑ}} * \text{Trucking}_{\text{emissions}} * \text{distance}_{\text{ΧΥΤΑ}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

$\text{CO}_{2,\text{trucking ΧΥΤΑ}}$ είναι η ποσότητα των εκπομπών CO_2 από τη χρήση φορτηγών μέχρι το ΧΥΤΑ και πίσω [kg CO_2/day]

$\text{Distance}_{\text{ΧΥΤΑ}}$ είναι η απόσταση της ΜΕΛ από το ΧΥΤΑ [km]

Οι συνολικές εκπομπές CO_2 από την επεξεργασία ιλύος είναι:

$$\text{CO}_{2,\text{total sludge}} = \text{CO}_{2,\text{combustion}} + \text{CO}_{2,\text{engine}} + \text{CO}_{2,\text{leak}} + \text{CO}_{2,\text{trucking ΧΥΤΑ}} + \text{CO}_{2,\text{carbonsludge agri}} + \text{CO}_{2,\text{trucking agri}} + \text{CO}_{2,\text{carbonsludge composting}} + \text{CO}_{2,\text{trucking composting}} + \text{CO}_{2,\text{carbonsludge forestry}} + \text{CO}_{2,\text{trucking forestry}} + \text{CO}_{2,\text{carbonsludge other reuse}} + \text{CO}_{2,\text{trucking other reuse}}$$

4. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από τη χρήση χημικών

Η σκοπιά που χρησιμοποιείται για τα όρια περιλαμβάνει επίσης, πέρα από τις εκτός-χώρου εκπομπές λόγω της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τις εκτός-χώρου εκπομπές που οφείλονται στη χρήση χημικών. Όταν οι χημικές ουσίες προστεθούν στη ΜΕΛ, έχουν αντίκτυπο στις εκπομπές CO_2 . Με την

Μπέμπελος Απόστολος

παραγωγή των χημικών ουσιών εκπέμπεται CO₂. Αυτό, επομένως, δεν γίνεται στη ΜΕΛ, αλλά περιλαμβάνονται οι εκπομπές λόγω των ορίων που έχουν επιλεγεί. Το Bridle Model υπολογίζει τις εκπομπές CO₂ για πέντε διαφορετικές χημικές ουσίες: ασβέστη, χλώριο, καυστικό, υποχλωριώδες και πολυμερή.

$$\text{CO}_{2,\text{lime}} = \text{Lime}_{\text{added}} * \text{Sludge}_{\text{total}} * \text{Lime}_{\text{CO}_2} / 1000$$

CO_{2,lime} είναι το CO₂ που εκπέμπεται λόγω της χρήσης του ασβέστη [kg CO₂/day]

Lime_{added} είναι το ποσό του ασβέστη που προστίθεται στη ΜΕΛ [kg ασβέστη / kg ξηρών στερεών]

Lime_{CO₂} είναι το ποσό των kg CO₂ που εκλύονται όταν χρησιμοποιείται ένας τόνος ασβέστη [kg CO₂/tonne ασβέστη]

Για το χλώριο, το ποσό του CO₂ που εκπέμπεται υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{CO}_{2,\text{chlorine}} = \text{Chlorine}_{\text{use}} * \text{Chlorine}_{\text{CO}_2} / 1000$$

CO_{2,chlorine} είναι το CO₂ που εκπέμπεται λόγω της χρήσης του χλωρίου [kg CO₂/day]

Chlorine_{use} είναι η ποσότητα του χλωρίου που χρησιμοποιείται [kg χλώριο / day]

Chlorine_{CO₂} είναι το ποσό των kg CO₂ που εκλύονται όταν χρησιμοποιείται ένας τόνος χλωρίου [kg CO₂/tonne χλώριο]

Για τις χημικές ουσίες καυστικό και υποχλωριώδες οι υπολογισμοί είναι ίδιοι με το χλώριο, αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικές παράμετροι.

Θα προσθέσω ακόμα ένα χημικό, το χλωριούχο σίδηρο (FeCl₃), για το οποίο οι υπολογισμοί είναι επίσης ίδιοι με το χλώριο, αλλά και πάλι χρησιμοποιούνται διαφορετικές παράμετροι.

Οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στην προσθήκη πολυμερούς υπολογίζονται διαφορετικά, αφού η χημική ουσία χρησιμοποιείται στην ιλύ.

$$\text{CO}_{2,\text{polymer}} = \text{Polymer}_{\text{added}} * \text{Sludge}_{\text{digested mass}} * \text{Polymer}_{\text{CO}_2} / 1000\ 000$$

CO_{2,polymer} είναι το CO₂ που εκπέμπεται λόγω της χρήσης των πολυμερών [kg CO₂/day]

Polymer_{added} είναι η ποσότητα του πολυμερούς που προστίθεται στη ΜΕΛ [kg πολυμερούς / kg ξηρών στερεών]

Polymer_{CO₂} είναι το ποσό των kg CO₂ που εκλύονται όταν χρησιμοποιείται ένας τόνος πολυμερούς [kg CO₂/tonne πολυμερούς]

5. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από την κατανάλωση ενέργειας

Οι εκτός-χώρου εκπομπές για τη χρήση της ενέργειας περιλαμβάνονται επίσης στα όρια. Το Bridle Model υπολογίζει μόνο το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για τον αερισμό. Η ενέργεια για μη αερισμού ποσοτικοποιείται στο Bridle Model. Η ποσότητα των kW μετατρέπεται σε CO₂ με ένα συντελεστή μετατροπής. Για τον υπολογισμό της ενέργειας αερισμού, υπολογίζεται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται στη δεξαμενή.

$$O_{2, \text{respiration}} = X_{\text{decayed}} * O_{2, \text{VSS}}$$

$O_{2, \text{respiration}}$ είναι η ποσότητα του O₂ που χρειάζεται για την αναπνοή της αποσυντιθέμενης βιομάζας [kg O₂]

$O_{2, \text{VSS}}$ είναι ο στοιχειομετρικός συντελεστής του O₂ ανά kg VSS [kg O₂/kg VSS]



113 : 5 * 32 ισούται με 1 : 1,416.

Το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση BOD έχει ήδη υπολογιστεί στο μέρος της βιολογικής επεξεργασίας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται επίσης, το οξυγόνο που απαιτείται για τη νιτροποίηση.

$$O_{2, \text{nitrification}} = NH_{ox} * O_{2, \text{NH}}$$

$O_{2, \text{nitrification}}$ είναι η ποσότητα του O₂ που απαιτείται για την νιτροποίηση [kg O₂/day]

NH_{ox} είναι η ποσότητα της αμμωνίας που οξειδώνεται [kg N / day]

$O_{2, \text{NH}}$ είναι ο στοιχειομετρικός συντελεστής του οξυγόνου που απαιτείται ανά αμμωνία που οξειδώνεται [kg O₂/kg N]



Όπως φαίνεται από την αντίδραση, η ποσότητα των kg O₂ που καταναλώνεται ανά kg N που νιτροποιείται είναι 1,83 * 32 : 14 το οποίο οδηγεί σε 4,18 kg O₂/kg N. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Bridle η ποσότητα του O₂ που καταναλώνεται έχει οριστεί να είναι 4,32 και έτσι χρησιμοποιείται η τιμή αυτή.

Υπάρχει επίσης ένα κέρδος-πίστωση οξυγόνου από την απονιτροποίηση που πρέπει να εξεταστεί:

$$O_{2, \text{denitrification}} = N_{\text{removed}} * O_{2, \text{N}}$$

$O_{2, \text{denitrification}}$ είναι η ποσότητα του O₂ που καταναλώνεται στην απονιτροποίηση [kg O₂/day]

$O_{2, \text{N}}$ είναι ο στοιχειομετρικός συντελεστής για τα kg οξυγόνου που καταναλώνεται ανά kg αζώτου [kg O₂/kg N]

Το συνολικό O₂ που χρειάζεται είναι [kg O₂/day]

$$O_{2,total} = O_{2,respiration} + O_{2,nitrification} - O_{2,denitrification}$$

Η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται οι οργανισμοί δεν είναι η ίδια με την ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται στις δεξαμενές. Περισσότερο οξυγόνο τροφοδοτείται:

Η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται υπολογίζεται από:

$$P_{aeration} = O_{2,total} / (FOTC * 24)$$

$P_{aeration}$ είναι η ενέργεια που απαιτείται για τον αερισμό [kW]

FOTC είναι ο συντελεστής μεταφοράς του οξυγόνου για το πεδίο [kg O₂/kWh]

Η τιμή που χρησιμοποιούμε για το FOTC είναι 1.

Με γνωστό το ποσό της ενέργειας που απαιτείται μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα των εκπομπών CO₂. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται στις μελέτες περίπτωσης του Bridle προέρχεται από ένα σταθμό παραγωγής ενέργειας που λειτουργεί με καύση άνθρακα με εκπομπή 0,94 kg CO₂/kWh. Ο άνθρακας είναι το πιο ρυπογόνο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στη μελέτη των Bani Shahabadi et al., 2009 και των Keller & Hartley, 2003 μπορεί να βρεθεί η ίδια τιμή για τα kg CO_{2,equivalent} / kWh από την καύση άνθρακα σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη μελέτη των Bani Shahabadi et al., 2009 μπορεί επίσης να βρεθούν και συντελεστές μετατροπής για διάφορα είδη παραγωγής ενέργειας.

$$CO_{2,aeration} = P_{aeration} * CO_{2,kWh} * 24$$

CO_{2,aeration} είναι η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται από τη χρήση ενέργειας για αερισμό [kgCO₂/day]

CO_{2,kWh} είναι ο συντελεστής μετατροπής των Bani Shahabadi et al., 2009 [kg CO₂/kWh]

Ενέργεια χρησιμοποιείται επίσης και για άλλους σκοπούς εκτός από τον αερισμό. Στο Bridle Model αυτό δίνεται με τα δεδομένα εισόδου (input data).

$$CO_{2,non aeration} = P_{non aeration} * CO_{2,kWh} * 24$$

CO_{2,non aeration} είναι το CO₂ που εκπέμπεται από τη χρήση ενέργειας για άλλους σκοπούς εκτός από τον αερισμό [kg CO₂ / day]

$P_{non aeration}$ είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς εκτός από τον αερισμό [kW]

Το σύνολο των εκπομπών CO₂ από τη χρήση ενέργειας είναι το ποσό CO_{2,aeration} συν το ποσό CO_{2,non aeration}.

6. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του Bridle Model από τη χρήση βιοαερίου

Εκτός από την παραγωγή CO₂ υπολογίζεται επίσης και το κέρδος του CO₂ στο μοντέλο. Με τη χρήση του βιοαερίου που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της χώνευσης της

λάσπης μπορεί να αποκτηθεί ένα κέρδος CO₂. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ενέργεια αντί να την πάρουμε από το δίκτυο. Στην περίπτωση μας όλη η ενέργεια που παράγεται από την καύση του βιοαερίου πηγαίνει για θέρμανση στους χωνευτές. Επομένως δεν υπολογίζουμε καθόλου το κέρδος αφού το συμπεριλαμβάνουμε ήδη στην μελέτη διότι δεν χρησιμοποιούμε άλλη εξωτερική πηγή ενέργειας στη ΜΕΛ για να θερμάνουμε τους χωνευτές.

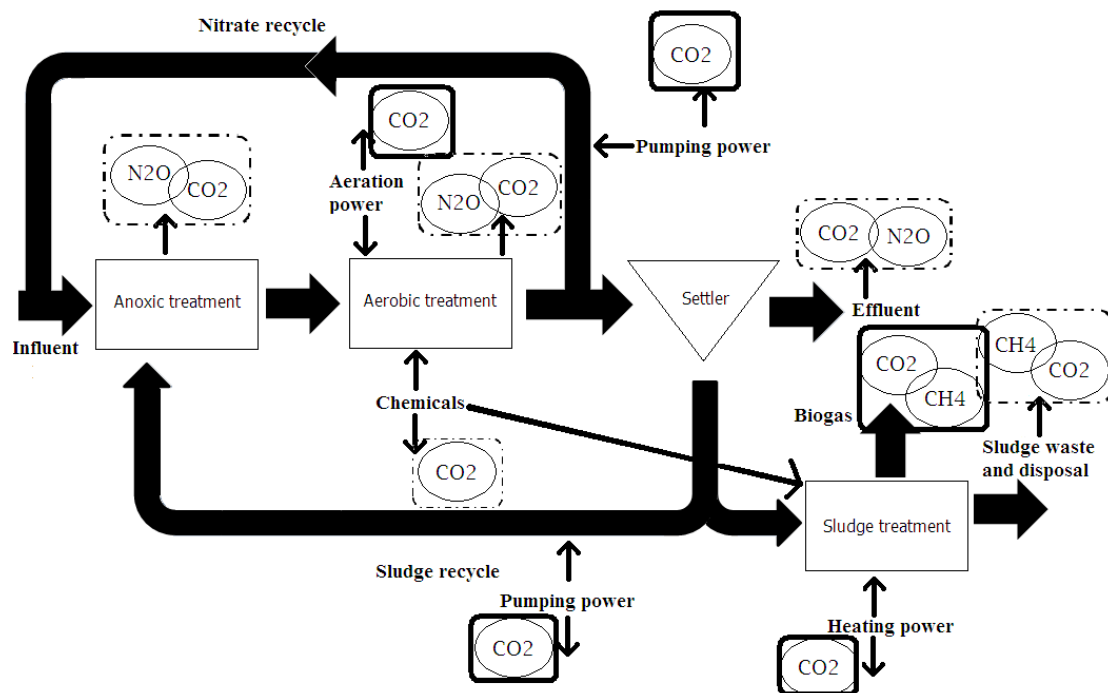
2.4.2 Benchmark Simulation Model 2 (BSM2)

Μετά την ανάλυση των υπολογισμών που χρησιμοποιούνται στο Bridle model, αυτά εφαρμόζονται στην ΜΕΛ του BSM2. Αυτό θα καταστήσει δυνατό τον δυναμικό υπολογισμό των εκπομπών ΑΦΘ. Πρώτα θα εξηγηθεί το BSM2. Στη συνέχεια θα δωθούν τα αποτελέσματα με τους υπολογισμούς του Bridle.

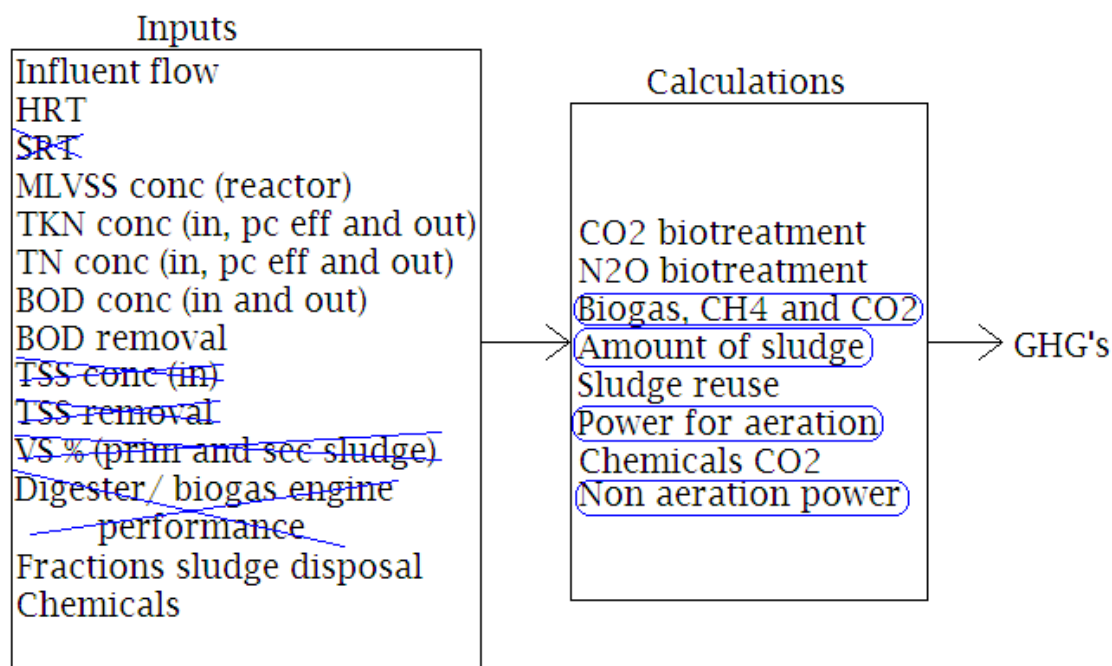
Μια τυπική πλατφόρμα επιλέχθηκε για να αξιολογήσει τις διάφορες στρατηγικές ελέγχου. Αυτό το μοντέλο, το IWA Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1) (Copp 2002) είναι μια τυποποιημένη προσομοίωση και διαδικασία αξιολόγησης. Περιλαμβάνει μια διάταξη της εγκατάστασης, τα μοντέλα προσομοίωσης και τις παραμέτρους των μοντέλων, μία λεπτομερή περιγραφή των διαταραχών που πρέπει να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια της δοκιμής και κριτήρια αξιολόγησης για τη δοκιμή της σχετικής αποτελεσματικότητας των προσομοιωμένων στρατηγικών ελέγχου. Η διάταξη της εγκατάστασης αποτελείται από πέντε βιοαντιδραστήρες σε σειρά που ακολουθούνται από ένα κυκλικό αντιδραστήρα δευτεροβάθμιας καθίζησης. Αυτό το μοντέλο στη συνέχεια αναπτύχθηκε περαιτέρω στο BSM2, συμπεριλαμβάνοντας πρόσθετες μονάδες, όπως η πρωτοβάθμια καθίζηση, οι παχυντές, η αναερόβια χώνευση, η αφυδάτωση και αρκετές επιλογές ανακύκλωσης και παράκαμψης. Το BSM2 αξιολογεί τις στρατηγικές ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη τόσο το νερό όσο και τη γραμμή ιλύος (Jeppsson, et al., 2007). Αυτό το μοντέλο είναι διαθέσιμο για διάφορες πλατφόρμες προσομοίωσης, για παράδειγμα WEST, Fortran, GPS-X και Matlab. Στη συνέχεια είναι δυνατό να συγκριθούν τα αποτελέσματα των διαφόρων στρατηγικών ελέγχου μεταξύ των διαφορετικών πλατφόρμων προσομοίωσης. Η BSM2 αποτελείται επίσης από τα συνήθη μοντέλα που περιγράφουν τις διαδικασίες σε μία ΜΕΛ, για παράδειγμα το ASM1, μια τυπική διαμόρφωση με παραμέτρους και μια τυπική εισροή. Χρησιμοποιώντας την ίδια διαμόρφωση, τα ίδια μοντέλα, τις ίδιες παραμέτρους και τις ίδιες εισροές, θα πρέπει να ληφθούν τα ίδια αποτελέσματα σε διαφορετικές πλατφόρμες προσομοίωσης. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν εύκολα να συγκριθούν οι στρατηγικές ελέγχου. Η BSM2 αποτελείται από πέντε δεξαμενές εκ των οποίων οι δύο πρώτες είναι ανοξικές και οι τρεις τελευταίες αερόβιες.

Το Bridle model υλοποιήθηκε σε ένα αρχείο Excel για να συνεργαστεί με ένα άλλο αρχείο Excel στο οποίο υλοποιήθηκε το BSM2. Έτσι, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι εκπομπές ΑΦΘ με δυναμική εισροή. Αυτό θα δώσει μια πιο ρεαλιστική περιγραφή της απόδοσης της ΜΕΛ καθώς η BSM2 χρησιμοποιεί τα μοντέλα ASM1 και ADM1, (Anaerobic Digestion Model no.1) (Batstone, et al., 2002), για να περιγράψει τις βιολογικές διεργασίες. Τα αποτελέσματα του BSM2 θα αντικαταστήσουν ορισμένους από τους συντελεστές μετατροπής που χρησιμοποιήθηκαν στο Bridle model. Το Σχήμα

2.10 δείχνει ποιες εκπομπές ΑΦΘ υπολογίζονται από το Bridle model και ποιες από το BSM2. Οι υπολογισμοί που γίνονται μέσω του BSM2 είναι μέσα στα μαύρα κουτιά και οι υπολογισμοί που έχουν γίνει με βάση το Bridle model είναι μέσα στα διακεκομμένα κουτιά. Οι προσαρμογές στο Bridle model εξηγούνται περαιτέρω σε αυτό το κεφάλαιο και μπορεί επίσης να τις δει κανείς στο Σχήμα 2.11. Στο Σχήμα 2.11 τα δεδομένα (που εισάγονται στο Bridle - Input) που δεν χρειάζονται στο BSM2 είναι διαγεγραμμένα και οι διαδικασίες που υπολογίζονται από το BSM2 είναι κυκλομένες. Εκτός από τις προσαρμογές, γίνεται επίσης ανά υποκεφάλαιο, μια σύγκριση με το Bridle model και με τα στοιχεία που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία. Χρησιμοποιούνται τα ίδια υποκεφάλαια όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο «Bridle model», τα οποία είναι ο βιολογικός καθαρισμός, η επεξεργασία ιλύος, η επαναχρησιμοποίηση ιλύος, η χρήση χημικών, η κατανάλωση ενέργειας και η χρήση βιοαερίου.



Σχήμα 2.10: Οι εκπομπές ΑΦΘ που παράγονται σε μια ΜΕΛ, που υπολογίζονται από το BSM2 είναι σε κουτιά και οι εκπομπές ΑΦΘ που υπολογίζονται από το Bridle model είναι σε διακεκομμένα κουτιά



Σχήμα 2.11: Οι αντικαταστάσεις του BSM2 στο Bridle model (μπλε χρώμα)

1. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από τη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού

Οι εκπομπές ΑΦΘ υπολογίζονται σε τρεις διαφορετικές διαδικασίες, την ενδογενή αποσύνθεση, την οξείδωση BOD και την αφαίρεση του αζώτου. Τα δεδομένα εισροής για τον υπολογισμό της παραγωγής ΑΦΘ, προέρχονται από το BSM2 σύμφωνα με τις αρχές που περιγράφονται στο Gerbaey et al., 2007. Η ενδογενής αποσύνθεση ποσοτικοποιείται με τη χρήση των συντελεστών μετατροπής που αναφέρονται στο Bridle model, η οποία εκτιμά τον πιθανό σχηματισμό ΑΦΘ από την αποσύνθεση κυτταρικών προϊόντων. Για την εκτίμηση των αερίων ΑΦΘ που παράγονται κατά τη διάρκεια της οξείδωσης BOD χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μετατροπής του Bridle. Τέλος, μια παρόμοια προσέγγιση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κέρδους CO₂ και την παραγωγή N₂O από την απομάκρυνση του αζώτου. Ο συντελεστής μετατροπής για την παραγωγή του N₂O προέρχεται από την MEΛ του Bridle model. Ο συντελεστής μετατροπής που χρησιμοποιείται για τις εκπομπές του BSM2 είναι 0,004 kg N₂O / kg N που τροφοδοτείται.

2. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από τη διαδικασία της χώνευσης ιλύος

Η επεξεργασία της ιλύος έχει δύο μέρη, τη χώνευση ιλύος και την επαναχρησιμοποίηση ιλύος. Πρώτα θα εξηγηθεί η χώνευση της ιλύος. Το βιοαέριο παράγεται κατά τη διάρκεια της χώνευσης και αποτελείται κυρίως από CH₄ και CO₂. Η διεθνώς αποδεκτή ADM1 χρησιμοποιείται στο BSM2 για να περιγράψει την απόδοση του χωνευτή και να προβλέψει την ποσότητα λυματολάσπης που παράγεται σε kg TSS / day. Επίσης η

σύνθεση του βιοαερίου μπορεί να δοθεί από το ADM1 στις συγκεντρώσεις του CH₄ και του CO₂. Ο μόνος υπολογισμός που έχει μείνει για την παραγωγή ΑΦΘ είναι η μετατροπή του CH₄ σε ισοδύναμο CO₂.

Ο συντελεστής μετατροπής της ιλύος σε βιοαέριο είναι 1. Η πραγματικότητα είναι μάλλον ότι το βιοαέριο που παράγεται είναι λιγότερο και επομένως η ποσότητα του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα είναι επίσης χαμηλότερες.

3. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από τη διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης ιλύος

Η χωνεμένη ιλύς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Οι τέσσερις επιλογές που αναφέρονται στο Bridle model είναι για τη γεωργία, για λίπασμα, για τη δασοκομία και άλλες επιλογές, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Το BSM2 δεν λαμβάνει υπόψη την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται τα ποσοστά της επαναχρησιμοποίησης από το Bridle. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, η παραγόμενη ποσότητα της ιλύος δίνεται από το BSM2. Για τον υπολογισμό της παραγωγής CO₂ λόγω της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ποσότητα του άνθρακα στην ιλύ, καθώς ένα μέρος αυτού του άνθρακα μετατρέπεται σε CO₂. Ο άνθρακας στην ιλύ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα στοιχειομετρικό συντελεστή που προκύπτει από την ακόλουθη αντίδραση:



Η στοιχειακή σύνθεση της ιλύος είναι C₅H₇O₂N (Bridle Consulting, 2007). Από το συνολικό COD που παρέχεται από το BSM2 μπορεί να εκτιμηθεί η ποσότητα του άνθρακα στην ιλύ. Το COD που χρησιμοποιείται στην αντίδραση είναι 5 * 32 και ο άνθρακας στην ιλύ είναι 5 * 12. Αυτό οδηγεί στην αναλογία 160/60 η οποία ισούται με 2,67. Έτσι ο άνθρακας στην ιλύ υπολογίζεται διαιρώντας το COD με 2,67. Με γνωστή την περιεκτικότητα σε άνθρακα μπορούν να υπολογιστούν οι εκπομπές CO₂. Τα ποσοστά για τις διάφορες επιλογές επαναχρησιμοποίησης και οι εκπομπές από τα φορτηγά υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως γίνεται στο Bridle model.

4. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από τη χρήση χημικών

Το Bridle model λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές ΑΦΘ που προκαλούνται κατά την παραγωγή των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε μία ΜΕΛ. Για τις ίδιες αυτές χημικές ουσίες υπολογίζονται οι εκπομπές και από το BSM2.

5. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από την κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας στο BSM2 περιλαμβάνει την ενέργεια αερισμού, άντλησης, ανάμιξης και θέρμανσης. Το Bridle model υπολογίζει την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον αερισμό και μετρά την ενέργεια που χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για αερισμό στο BSM2 λειτουργώντας σε σταθερή

κατάσταση χρησιμοποιεί ένα στατικό K_{La} και έτσι η ενέργεια που απαιτείται παραμένει σταθερή.

6. Υπολογισμοί των ΑΦΘ του BSM2 από τη χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της χώνευσης της ύλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το BSM2 χρησιμοποιεί το βιοαέριο για τη θέρμανση του χωνευτή ύλης. Δεδομένου του ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εισάγεται στην ΜΕΛ χρησιμοποιείται για τη χώνευση της ύλης, αυτή είναι μια καλή λύση για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας, η ενέργεια που χρειάζεται για τη θέρμανση δεν λαμβάνεται υπόψη στο άθροισμα για τη συνολική παραγωγή ΑΦΘ του BSM2.

2.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Τα δεδομένα τα οποία εισάγονται στα μοντέλα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με τις βέλτιστες μεθόδους για τη μείωση των εκπομπών περιλαμβάνουν: 1. τις ποσότητες εισροής λυμάτων, 2. τους συντελεστές ενδογενούς αποσύνθεσης (k_D) και του ρυθμού οξειδωσης της βιομάζας (Y), 3. τους χρόνους παραμονής (υδρυλικό και λάσπης), 4. τη μέτρηση των συγκεντώσεων BOD, COD, TKN, TN και TSS στην εισροή, μετά τις καθιζήσεις και στην εκροή, 5. τη μέτρηση των ποσοστών αφαίρεσης BOD στην πρωτογενή καθίζηση και TSS στη χώνευση και το ποσοστό των οργανικών VS που καταστρέφονται, αφαιρούνται ή και παραμένουν μετά από την πρωτογενή και δευτερογενή καθίζηση και τη χώνευση, 6. την ποσότητα και την περιεκτικότητα του βιοαερίου σε CH_4 , 7. τα ποσοτικά δεδομένα από την επεξεργασία της λάσπης, τα ποσοστά της χρήσης της και τις αντίστοιχες αποστάσεις προς τους χώρους χρήσης, 8. την απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή χημικών και για την ίδια την εγκατάσταση και τέλος 9. τις εκπομπές από τις παραπάνω δραστηριότητες.

Η εισαγωγή των δεδομένων και η εφαρμογή του προγράμματος των μοντέλων γίνονται υπό ορισμένες παραδοχές. Οι παραδοχές αυτές αφορούν είτε στο είδος των δεδομένων που εισάγονται, είτε στις τιμές τους. Στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται μπορούμε να εισάγουμε ημερίσιες, μηνιαίες ή και διαφορετικές μέσες τιμές. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε μέσες ετήσιες τιμές. Σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω έλλειψης δεδομένων, χρησιμοποιούνται οι προεπιλεγμένες από τα μοντέλα τιμές για διάφορες παραμέτρους. Τέλος, η καταναλισκόμενη ενέργεια στην εγκατάσταση και στα δύο μοντέλα (Bridle και BSM2) προέρχεται εξ' ολοκλήρου από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη τον γαιάνθρακα. Σύμφωνα με τους Bani Shahabadi et al., (2009) και Keller & Hartley, (2003) οι εκπομπές ΑΦΘ από την καύση γαιάνθρακα σε μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι ίσες με $0,94 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των διαφόρων ΜΕΛ χρησιμοποιούνται οι μονάδες kg ισοδυνάμου CO₂ / m³ επεξεργασμένου νερού.

1. Υπολογισμοί των ΑΦΘ από τη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού

Τα αποτελέσματα από την βιολογική επεξεργασία του Bridle είναι σχεδόν ίδια με τα αποτελέσματα του BSM2, με τιμές 0,521 kg CO_{2e}/m³ και 0,507 kg CO_{2e}/m³ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές δεν βρίσκονται στο ίδιο εύρος με τις ενδεικτικές τιμές των Monteith et al., 2005 (0,153 έως 0,280 kg CO_{2e}/m³), αλλά είναι αρκετά κοντά. Οι εκπομπές λόγω της αποσύνθεσης της βιομάζας χρησιμοποιούν το MLVSS σαν μεταβλητή. Επομένως είναι λογικό να βγάζουν ίδια αποτελέσματα τα δύο μοντέλα αφού έχουν το ίδιο MLVSS. Στις μετρήσεις στις οποίες βασίζεται ο ρυθμός παραγωγής, χρησιμοποιήθηκε και για τα δύο μοντέλα συντελεστής μετατροπής 0,004 kg N₂O / kg N που τροφοδοτείται.

2. Υπολογισμοί των ΑΦΘ από τη διαδικασία της χώνευσης ιλύος

Εάν τα αποτελέσματα συγκριθούν, φαίνεται ότι οι τιμές είναι ίδιες. Οι μέσες τιμές του Bridle model και του BSM2 είναι 930,52 kg CH₄/day και 1096,69 kg CO₂/day. Οι τιμές των εκπομπών CO₂ των δύο μοντέλων πρέπει να αλλάξουν σε kg CO_{2e}/m³. Έτσι η συνολική παραγωγή ΑΦΘ είναι 0,993 kg CO_{2e}/m³. Στο Bridle model υποτίθεται ότι δεν υπάρχουν άλλα αέρια στο βιοαέριο εκτός από το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ το BSM2 υπολογίζει επίσης ότι υπάρχει υδρογόνο στο βιοαέριο και επομένως οι τιμές για το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα είναι χαμηλότερες. Στο Bridle model επίσης υποτίθεται ότι η συνολική ιλύς σε kg/day μείον την χωνεμένη λάσπη σε kg/day είναι το βιοαέριο σε kg/day. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής μετατροπής της ιλύος σε βιοαέριο είναι 1. Η πραγματικότητα είναι μάλλον ότι το βιοαέριο που παράγεται είναι λιγότερο και επομένως η ποσότητα του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα είναι επίσης χαμηλότερες. Παρόλα αυτά η συνεισφορά αυτών των δύο απλοποιητικών παραδοχών είναι αμελητέα στην περίπτωση μας.

Στο έγγραφο των Bani Shahabadi et al., 2008 μπορεί να βρεθεί μια τιμή για την παραγωγή ΑΦΘ από τη βιολογική επεξεργασία και τη χώνευση λάσπης μαζί. Για το Bridle model είναι 1,514 kg CO_{2e}/m³ και για το BSM2 είναι 1,499 kg CO_{2e}/m³. Το έγγραφο αναφέρει την τιμή 1,759 kg CO_{2e}/m³, η οποία είναι στην ίδια κλίμακα.

3. Υπολογισμοί των ΑΦΘ από τη διαδικασία της επαναχρησιμοποίησης ιλύος

Στην περίπτωση μας δεν υπάρχει επαναχρησιμοποίηση ιλύος. Η επαναχρησιμοποίηση ιλύος είναι δύσκολο να συγκριθεί με άλλες μελέτες, καθώς το ποσό των kg CO₂ που παράγεται εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών, όπως για παράδειγμα η

απόσταση στην περιοχή επαναχρησιμοποίησης και το ποσοστό που επαναχρησιμοποιείται. Οι Bani Shahabadi et al., 2009 αναφέρουν την τιμή $6 * 10^{-3}$ kg CO₂/m³ επεξεργασμένου νερού με μια αερόβια επεξεργασία.

4. Υπολογισμοί των ΑΦΘ από τη χρήση χημικών

Στο έγγραφο των Bani Shahabadi et al., 2009 μπορούν να βρεθούν συντελεστές μετατροπής για τη χρήση μεθανόλης και αλκαλικότητας, αντίστοιχα 1,54 g CO_{2e}/g μεθανόλης και 1,74 g CO_{2e}/g αλκαλικότητας. Η χρήση της αλκαλικότητας στην ΜΕΛ των Bani Shahabadi et al., 2009 οδηγεί σε παραγωγή 0,206 kg CO_{2e}/m³. Το Bridle model έχει παραγωγή 0,052 kg CO_{2e}/m³ και το BSM2 έχει παραγωγή 0,06 kg CO_{2e}/m³ λόγω της χρήσης των διαφορετικών χημικών ουσιών. Η ποσότητα των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στην εξεταζόμενη ΜΕΛ είναι χαμηλότερη από την ποσότητα που χρησιμοποιείται στο έγγραφο των Bani Shahabadi et al., 2009, το οποίο εξηγεί τη μεγάλη διαφορά στην παραγωγή CO₂.

5. Υπολογισμοί των ΑΦΘ από την κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας στο BSM2 περιλαμβάνει την ενέργεια αερισμού, άντλησης, ανάμιξης και θέρμανσης. Το Bridle model υπολογίζει την ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον αερισμό και μετρά την ενέργεια που χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για αερισμό στο BSM2 λειτουργώντας σε σταθερή κατάσταση χρησιμοποιεί ένα στατικό K_La και έτσι η ενέργεια που απαιτείται παραμένει σταθερή. Η ποσότητα των εκπομπών CO₂ για την ενέργεια αερισμού σύμφωνα με το BSM2 είναι 8357,35 kg CO₂/day όταν χρησιμοποιείται ο ίδιος συντελεστής μετατροπής από kWh σε CO₂. Με τους υπολογισμούς του Bridle model οι εκπομπές CO₂ είναι 9393,04 kg CO₂/day. Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τις διάφορες διαδικασίες αλλάζει σύμφωνα με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις εισροής και επομένως αλλάζουν και οι εκπομπές CO₂ από την ενέργεια που απαιτείται στο Bridle model.

Το CO₂ που παράγεται στο BSM2 για όλη την ενέργεια που χρησιμοποιείται είναι 0,489 kg CO_{2e}/m³ επεξεργασμένου νερού. Η τιμή για το Bridle model είναι 0,520 kg CO_{2e}/m³. Αυτές οι τιμές είναι στην ίδια κλίμακα με τα 0,512 kg CO_{2e}/m³ επεξεργασμένου νερού στο έγγραφο των Bani Shahabadi et al..

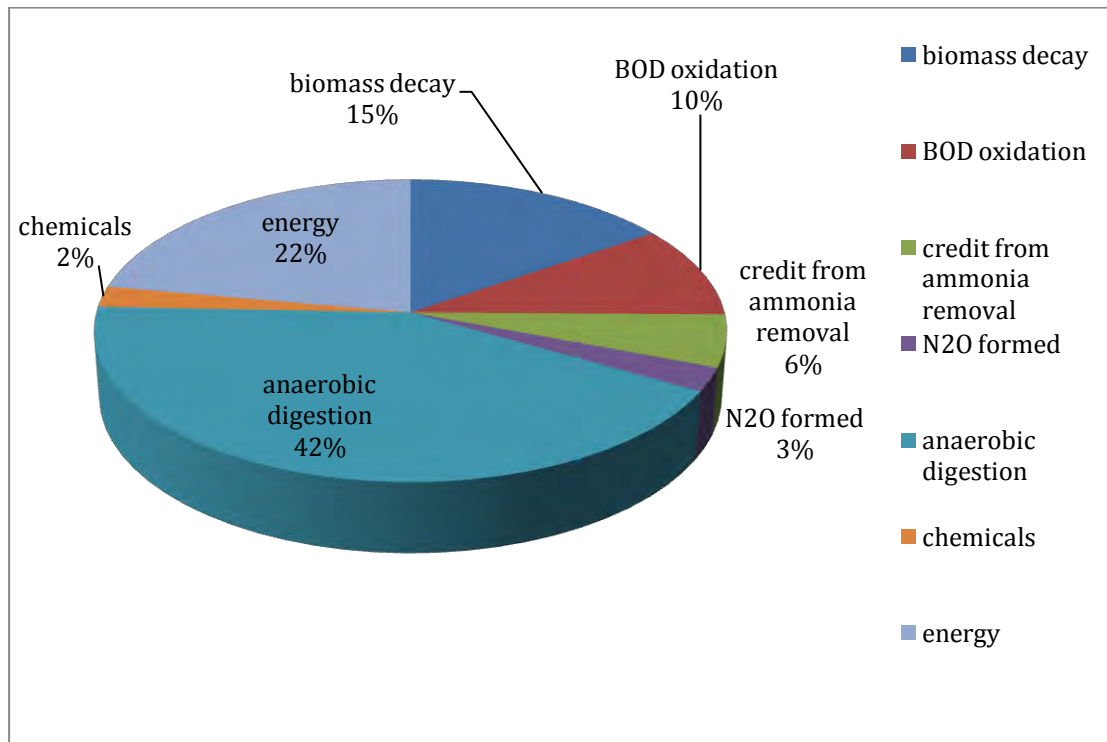
7. Συνολικές εκπομπές ΑΦΘ

Τα περισσότερα ΑΦΘ παράγονται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1 και το Σχήμα 3.2. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς το N₂O που παράγεται είναι υπεύθυνο μόνο για το 2-3% των εκπομπών ΑΦΘ που παράγονται. Όπως αναφέρθηκε πιο πριν το μεθανίο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για τη θέρμανση. Ο Πίνακας 3.1 δίνει μια επισκόπηση των ποσοτήτων

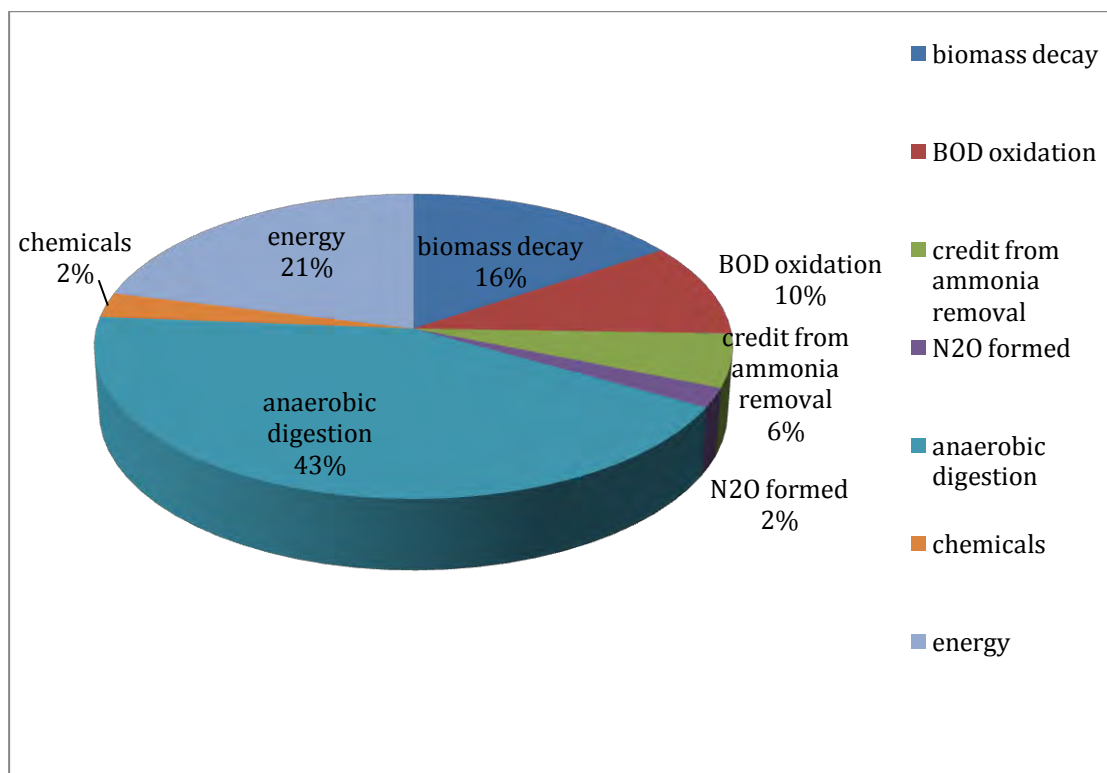
του ισοδύναμου CO₂ που παράγεται ανά m³ επεξεργασμένου λύματος για την ΜΕΛ του Bridle, του BSM2 και των τιμών που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία.

Πίνακας 3.1: Σύγκριση εκπομπών ΑΦΘ που υπολογίστηκαν και βιβλιογραφίας

Διεργασία	Bridle model [kg CO ₂ /m ³]	BSM2 [kg CO ₂ /m ³]	Βιβλιογραφία (Bani Shahabadi et al., 2009) [kg CO ₂ /m ³]
Βιολογική επεξεργασία	0,521	0,507	0,153-0,280
Χώνευση λάσπης + βιολογική επεξεργασία	1,514	1,499	1,759
Απόθεση λάσπης	0,00086	0,00147	0,006
Χρήση χημικών	0,052	0,060	0,206
Ενέργεια	0,520	0,489	0,512
Χρήση βιοαερίου	-	-	-0,058



Σχήμα 3.1: Η συμβολή των διεργασιών της ΜΕΛ στην εκπομπή ΑΦΘ (Bridle Model)



Σχήμα 3.2: Η συμβολή των διεργασιών της ΜΕΛ στην εκπομπή ΑΦΘ (BSM2)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσο πιο μεγάλα είναι τα χρονικά διαστήματα για τα οποία εισάγουμε τα δεδομένα στα μοντέλα, για να υπολογίσουμε τα ΑΦΘ, τόσο πιο «κοντά» είναι τα αποτελέσματα των μοντέλων. Αυτό συμβαίνει διότι εξαλείφονται οι βραχυχρόνιες διακυμάνσεις που υπάρχουν στο σύστημα. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά εφόσον ο χρόνος που θα βρίσκεται το σύστημα σε «παράβαση» είναι σχετικά μικρός (νομοθετικός παραγοντας), διότι στην προκειμένη περίπτωση αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η μέση τιμή των εκπομπών στο χρόνο που τις εξετάζουμε.

Επίδραση της συγκέντρωσης DO στο αεριζόμενο τμήμα

Ο ρυθμός ροής του αέρα στο αερόβιο τμήμα (AER) είναι απαραίτητος στην επεξεργασία της ενεργοποιημένης ιλύος, διότι προωθεί την ανάπτυξη των ετεροτροφών και αυτότροφων βακτηρίων που θα οξειδώσουν την οργανική ύλη και το άζωτο.

Επίδραση του χρόνου παραμονής της ιλύος (SRT)

Οι εκπομπές ΑΦΘ αλλάζουν όταν τροποποιηθεί το χειμερινό / καλοκαιρινό μοτίβο του ρυθμού ροής (Q_w). Σε χαμηλότερο SRT ($Q_w = 400 - 550 \text{ m}^3 \cdot \text{ημέρα}^{-1}$, SRT περίπου 12 ημέρες) υπάρχει μια μικρή αύξηση των εκπομπών ΑΦΘ που οφείλεται στην επεξεργασία και την διάθεση ιλύος επειδή η ποσότητα του TSS που πάει στην γραμμή ιλύος αυξάνεται (Σχ. 4α) σε σύγκριση με την προεπιλεγμένη τιμή SRT ($Q_w = 300 - 450 \text{ m}^3 \cdot \text{ημέρα}^{-1}$).

Επίδραση του λόγου COD/N

Η απόδοση της εγκατάστασης σε διαφορετικές αναλογίες COD/N στο βιολογικό αντιδραστήρα μεταβάλλεται τροποποιώντας την προσθήκη του ρυθμού ροής της εξωτερικής πηγής άνθρακα (Q_{carb}).

Τα βασικά συμπεράσματα συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Με την εφαρμογή ελεγκτών είναι δυνατόν να μειωθούν οι συνολικές εκπομπές ΑΦΘ, καθώς και να βελτιωθεί η ποιότητα εκροής και να μειωθεί το λειτουργικό κόστος.
- Μία αρκετά υψηλή καθορισμένη τιμή DO απαιτείται για τη διασφάλιση ολοκληρωμένης νιτροποίησης, αλλά δεν πρέπει να είναι υπερβολικά υψηλή, καθώς αυτό 1) θα αυξήσει την ανακύκλωση του οξυγόνου στην ανοξική ζώνη με εκπομπές N_2O λόγω ατελούς απονιτροποίησης και 2) θα αυξηθεί η κατανάλωση ενέργειας για τον αερισμό με ταυτόχρονη αύξηση των εκτός-χώρου εκπομπών CO_2 . Χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλές

εκπομπές N_2O εξαιτίας της συσσώρευσης νιτρώδους παρόλο που οι εκτός-χώρου εκπομπές CO_2 μειώνονται.

- Ένας σχετικά χαμηλός SRT πρέπει να προτιμάται επειδή μειώνει τις εκπομπές ΑΦΘ μέσω της αύξησης του κέρδους του CO_2 που οφείλεται στην ενέργεια παραγωγής από CH_4 στην αναερόβια χώνευση, ακόμα και αν αυτό αυξάνει επίσης τις εκπομπές που σχετίζονται με την επεξεργασία της λάσπης. Ένας υψηλός SRT αυξάνει σημαντικά τις εκπομπές ΑΦΘ από την δευτεροβάθμια επεξεργασία.
- Αυξάνοντας την προσθήκη πηγής άνθρακα αυξάνονται οι εκπομπές των ΑΦΘ εξαιτίας της αυξημένης παραγωγής ιλύος που καταλήγει σε αυξημένη ενδογενή αναπνοή, επεξεργασία και διάθεση ιλύος και χρήση χημικών ουσιών και ενέργειας. Ωστόσο, οι εκπομπές N_2O μειώνονται.

Είναι απαραίτητο να βρεθεί μια «συμβιβαστική» λύση μεταξύ ποιότητας εκροής, κόστους, νομικών και κριτηρίων ΑΦΘ για να φθάσουμε σε βιώσιμους τρόπους λειτουργίας.

4.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστούν ποσοτικά τα αέρια του θερμοκηπίου για τις ΜΕΛ, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που βασίζεται σε μοντέλο. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε από τον Bridle ρυθμίστηκε με τα δεδομένα εξόδου της BSM2 εγκατάστασης, το οποίο αντικατέστησε τις εκτιμήσεις της παραγωγής ιλύος, την παραγωγή βιοαερίου και την χρήση ενέργειας. Τα ΑΦΘ μπορούν να εκτιμηθούν ρεαλιστικά με το μοντέλο που δημιουργήθηκε καθώς τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι στην ίδια κλίμακα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους Bani Shahabadi et al. 2009 και Keller & Hartley 2003. Τα περισσότερα ΑΦΘ παράγονται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης.

Περαιτέρω εργασία μπορεί επίσης να επικεντρωθεί στις επιπτώσεις των συνθηκών στην παραγωγή ΑΦΘ, όπως ο χρόνος παραμονής της ιλύος, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής και η θερμοκρασία. Εκτός από τη βελτίωση του μοντέλου, είναι επίσης σοφό να διερευνηθούν και οι άλλες δύο διεργασίες στις οποίες μπορεί να σχηματιστεί N_2O , συγκεκριμένα η νιτροποίηση και οι χημικές αντιδράσεις.

Με τα αποτελέσματα της έρευνας είναι γνωστό από που προέρχεται η κύρια συνεισφορά των εκπομπών ΑΦΘ της ΜΕΛ. Επομένως, για να μειωθούν οι εκπομπές ΑΦΘ της ΜΕΛ το μεγαλύτερο αντίκτυπο θα έχει μάλλον η αλλαγή των διαδικασιών της αναερόβιας χώνευσης και της βιολογικής επεξεργασίας, καθώς αυτές είναι οι κύριες συνεισφέρουσες. Έτσι, για να μειωθούν οι εκπομπές ΑΦΘ από μια ΜΕΛ πρέπει να γίνουν βελτιώσεις σε αυτές τις διεργασίες.

Για την καλύτερη απόδοση στη χώνευση μπορεί να προστεθεί εναλλάκτης και να γίνεται επανατροφοδότηση των καυσαερίων στο χωνευτή, τα οποία έχουν πολύ υψηλή θερμοκρασία (περίπου 220 °C). Με αυτόν τον τρόπο θα αξιοποιείται όλη αυτή η θερμότητα που αυτή τη στιγμή χάνεται. Το αναμενόμενο κέρδος στην απόδοση από

Μπέμπελος Απόστολος

αυτή την προσθήκη θα είναι περίπου 5%. Επιπλέον, για την επίτευξη ακόμα καλύτερης απόδοσης στους χωνευτές μπορούν να μονωθούν περισσότερο ώστε να υπάρχουν λιγότερες απώλειες θερμότητας.

Τέλος, μπορεί να γίνεται επαναχρησιμοποίηση της λάσπης για διάφορους σκοπούς, όπως η δασοκομία και η γεωργία. Αυτή τη στιγμή γίνεται ήδη προσπάθεια για τη χρήση της στη γεωργία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Bridle model calculations

Quantifying the greenhouse gas emissions of Volos waste water treatment plant

The GHG that are emitted in a WWTP are:

	Gas	Chemical name	2013 IPCC GWP
1.	carbon dioxide	CO ₂	1
2.	methane	CH ₄	34
3.	nitrous oxide	N ₂ O	298

Boundaries to estimate GHG emissions in a WWPT:

Scope 1 includes the direct GHG emissions.

"Direct GHG emissions occur from sources that are owned or controlled by the company."
("GHG Protocol Initiative, 2004")

Scope 2 includes the GHG emissions that occur from the use of electricity (+Scope 1).

"GHG emissions from the generation of purchased electricity consumed by the company."
("GHG Protocol Initiative, 2004")

Scope 3 includes other indirect GHG's (+Scope 1 and 2).

"GHG emissions from sources that are not owned or controlled by the company."
("World Business Council for Sustainable Development")

Boundaries to estimate GHG emissions of a WWPT according to Scope 3:

1. direct CO₂ and N₂O: biotreatment (endogenous respiration, BOD oxidation, nitrification (CO₂ credit), nitrogen removal)
2. indirect CO₂: use of energy (aeration, mixing, pumping)
3. biogas CH₄ and CO₂: sludge digestion
4. indirect CO₂: sludge disposal (truck emissions, mineralization)
5. power credit: use of biogas
6. direct GHG: chemicals usage
7. N₂O: denitrification (also produced during nitrification and chemical reactions)

Bridle Consulting model (static empirical model)

calculation are divided in 6 different processes:

1. biotreatment
2. sludge digestion
3. sludge reuse
4. chemical usage
5. power consumption
6. biogas usage

GHG calculations of Bridle model process: 1.biotreatment (3 steps)

Step 1: endogenous decay

$$X_{\text{decayed}} = Q_{\text{influent}} * \text{HRT} * \text{MLVSS} * k_D$$

X_{decayed}	6125	[kg VSS/day]			
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]	tanks		volume
HRT	0,5307038	[days]	5	*	3500
MLVSS	3,5	[kg VSS/m ³]	MLVSS = 3 - 4		
k_D	0,1	[1/day]			



the biomass to CO₂ ratio is: 113 / 5*44 = 1/1,947

$$CO_{2,\text{decay}} = X_{\text{decayed}} * CO_2 \text{ from biomass}$$

$CO_{2,\text{decay}}$	11925,375	[kg CO ₂ /day]
X_{decayed}	6125	[kg VSS/day]
CO ₂ from biomass	1,947	[kg CO ₂ /kg VSS]

Step 2: BOD oxidation

$$Y_{\text{obs}} = Y / (1 + k_D * \text{SRT})$$

Y_{obs}	0,1271186	[kg VSS/kg BOD _{removed}]
Y	0,45	[kg VSS/kg BOD _{removed}]
k_D	0,1	[1/day]
SRT	25,4	[days]

$$BOD_{\text{ox}} = Q_{\text{influent}} * ((100\% - BOD_{\text{rem}}) / 100\% * BOD_{\text{influent}} - BOD_{\text{effluent}})$$

BOD _{ox}	5344,7932	[kg BOD/day]	
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]	
BOD _{rem}	32,667	[%]	Ποσοστό BOD που αφαιρείται στην πρωτογενή καθίζηση
BOD _{influent}	0,251	[kg BOD/m ³]	
BOD _{effluent}	0,00692	[kg BOD/m ³]	

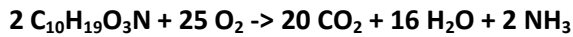
$$X_{\text{net,produced}} = Y_{\text{obs}} * BOD_{\text{ox}}$$

$X_{\text{net,produced}}$	679,42287	[kg VSS/day]
Y_{obs}	0,1271186	[kg VSS/kg BOD _{removed}]
BOD _{ox}	5344,7932	[kg BOD/day]

Μπέμπελος Απόστολος

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

R_{O_2}	6895,2095	[kg O ₂ /day]
(f)	0,68	[-]
BOD_{ox}	5344,7932	[kg BOD/day]
$X_{net,produced}$	679,42287	[kg VSS/day]



the O₂ to CO₂ ratio is: $25*32 / 20*44 = 1/1,1$

$$CO_{2,BODox} = R_{O_2} * CO_{2,fromBODox}$$

$CO_{2,BODox}$	7584,7305	[kg CO ₂ /day]
R_{O_2}	6895,2095	[kg O ₂ /day]
$CO_{2,fromBODox}$	1,1	[kg CO ₂ /kg O ₂]

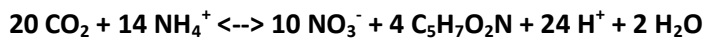
Step 3: nitrogen removal

$$N_{biomass} = X_{net,produced} * N_{frombiomass}$$

$N_{biomass}$	84,176284	[kg N/day]	
$X_{net,produced}$	679,42287	[kg VSS/day]	
$N_{frombiomass}$	0,1238938	[kg N/kg VSS]	(= 14/113)

$$NH_{ox} = Q_{influent} * (TKN_{p.c.effluent} - TKN_{effluent}) - N_{biomass}$$

NH_{ox}	957,17674	[kg N/day]
$Q_{influent}$	32975,08	[m ³ /day]
$TKN_{p.c.effluent}$	0,03254	[kg N/m ³]
$TKN_{effluent}$	0,00096	[kg N/m ³]
$N_{biomass}$	84,176284	[kg N/day]



the CO₂ to N ratio is: $20*44 / 14*14 = 4,49/1$

$$CO_{2,credit} = NH_{ox} * CO_{2,consumed}$$

$CO_{2,credit}$	4297,7236	[kg CO ₂ /day]
NH_{ox}	957,17674	[kg N/day]
$CO_{2,consumed}$	4,49	[kg CO ₂ /kg N]

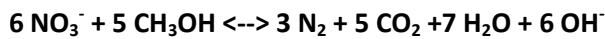
Μπέμπελος Απόστολος

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

N_{removed}	1234,8269	[kg N/day]
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]
$TN_{\text{p.c.effluent}}$	0,05	[kg N/m ³]
TN_{effluent}	0,01	[kg N/m ³]
N_{biomass}	84,176284	[kg N/day]

δεν τα μετρανε

παίρνω τιμές με βάση τη νομοθεσία



the N to CO₂ ratio is: $6*14 / 5*44 = 1/2,62$

not included in the calculation because the denitrifiers use BOD as a carbon source

$$N_2O_{\text{emission}} = Q_{\text{influent}} * TN_{\text{p.c.effluent}} * R_{N_2O, \text{generation}}$$

N_2O_{emission}	6,595016	[kg N ₂ O/day]
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]
$TN_{\text{p.c.effluent}}$	0,05	[kg N/m ³]
$R_{N_2O, \text{generation}}$	0,004	[kg N ₂ O/kg N]

$$CO_{2, \text{equivalent}} = N_2O_{\text{emission}} * GWP_{N_2O}$$

$CO_{2, \text{equivalent}}$	1965,3148	[kg CO ₂ /day]
N_2O_{emission}	6,595016	[kg N ₂ O/day]
GWP_{N_2O}	298	[kg CO ₂ /kg N ₂ O]

$$CO_{2, \text{biotreatment}} = CO_{2, \text{decay}} + CO_{2, \text{BODox}} - CO_{2, \text{credit}} + CO_{2, \text{equivalent}}$$

$CO_{2, \text{biotreatment}}$	17177,697	[kg CO ₂ /day]	=	0,52093	[kg CO ₂ /m ³]
$CO_{2, \text{decay}}$	11925,375	[kg CO ₂ /day]	=	0,361648	[kg CO ₂ /m ³]
$CO_{2, \text{BODox}}$	7584,7305	[kg CO ₂ /day]	=	0,230014	[kg CO ₂ /m ³]
$CO_{2, \text{credit}}$	4297,7236	[kg CO ₂ /day]	=	0,130332	[kg CO ₂ /m ³]
$CO_{2, \text{equivalent}}$	1965,3148	[kg CO ₂ /day]	=	0,0596	[kg CO ₂ /m ³]

GHG calculations of Bridle model process: 2.sludge digestion

$$\text{Sludge}_{\text{primary mass}} = Q_{\text{influent}} * TSS_{\text{influent}} * TSS_{\text{rem}}$$

$\text{Sludge}_{\text{primary mass}}$	3603,6259	[kg sludge/day]
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]
TSS_{influent}	0,261	[kg TSS/m ³]
TSS_{rem}	0,41871	[-]

Μπέμπελος Απόστολος

$$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}} = X_{\text{net,produced}} * \text{VS}_{\text{secondary sludge}} - Q_{\text{influent}} * \text{TSS}_{\text{effluent}} + \text{TSS}_{\text{influent}} * Q_{\text{influent}} * (1 - \text{TSS}_{\text{rem}}) * 0,27$$

$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}}$	1294,4987	[kg sludge/day]	
$X_{\text{net,produced}}$	679,42287	[kg VSS/day]	
$\text{VS}_{\text{secondary sludge}}$	0,8597	[-]	% VSS στη λάσπη (μετά τη δευτερογενή καθίζηση)
Q_{influent}	32975,08	[m ³ /day]	δλδ % οργανικών στη λάσπη
$\text{TSS}_{\text{effluent}}$	0,01942	[kg TSS/m ³]	
$\text{TSS}_{\text{influent}}$	0,261	[kg TSS/m ³]	
TSS_{rem}	0,41871	[-]	

$$\text{Sludge}_{\text{total}} = \text{Sludge}_{\text{primary mass}} + \text{Sludge}_{\text{secondary mass}}$$

$\text{Sludge}_{\text{total}}$	4898,1246	[kg sludge/day]
$\text{Sludge}_{\text{primary mass}}$	3603,6259	[kg sludge/day]
$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}}$	1294,4987	[kg sludge/day]

$$\text{VS}_{\text{combined sludge}} = (\text{Sludge}_{\text{primary mass}} * \text{VS}_{\text{primary mass}} + \text{Sludge}_{\text{secondary mass}} * \text{VS}_{\text{secondary sludge}}) / \text{Sludge}_{\text{total}}$$

$\text{VS}_{\text{combined sludge}}$	0,5656345	[-]	
$\text{Sludge}_{\text{primary mass}}$	3603,6259	[kg sludge/day]	
$\text{VS}_{\text{primary sludge}}$	0,46	[-]	% VSS στη λάσπη (μετά την πρωτογενή καθίζηση)
$\text{Sludge}_{\text{secondary mass}}$	1294,4987	[kg sludge/day]	δλδ % οργανικών στη λάσπη
$\text{VS}_{\text{secondary sludge}}$	0,8597	[-]	
$\text{Sludge}_{\text{total}}$	4898,1246	[kg sludge/day]	

$$\text{VS}_{\text{digestion}} = \text{Sludge}_{\text{total}} * \text{VS}_{\text{combined sludge}}$$

$\text{VS}_{\text{digestion}}$	2770,5484	[kg VS/day]
$\text{Sludge}_{\text{total}}$	4898,1246	[kg sludge/day]
$\text{VS}_{\text{combined sludge}}$	0,5656345	[-]

$$\text{VS}_{\text{destroyed}} = \text{VS}_{\text{digestion}} * \text{VS}_{\text{destruction}}$$

$\text{VS}_{\text{destroyed}}$	2027,2103	[kg VS/day]	
$\text{VS}_{\text{digestion}}$	2770,5484	[kg VS/day]	
$\text{VS}_{\text{destruction}}$	0,7317	[-]	ποσοστό των οργανικών που καταστρέφεται στη χώνεψη λάσπης

$$\text{Sludge}_{\text{digested}} = \text{Sludge}_{\text{total}} - \text{VS}_{\text{destroyed}}$$

$\text{Sludge}_{\text{digested}}$	2870,9143	[kg sludge/day]
$\text{Sludge}_{\text{total}}$	4898,1246	[kg sludge/day]
$\text{VS}_{\text{destroyed}}$	2027,2103	[kg VS/day]

Μπέμπελος Απόστολος

$$\text{Biogas}_{\text{mass}} = (\text{Sludge}_{\text{total}} - \text{Sludge}_{\text{digested}}) * \text{Factor}_{\text{sludge} \rightarrow \text{biomass}}$$

Biogas _{mass}	2027,2103	[kg biogas/day]
Sludge _{total}	4898,1246	[kg sludge/day]
Sludge _{digested}	2870,9143	[kg sludge/day]
Factor _{sludge->biomass}	1	[-]

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

Conc _{CH₄ biogas}	45,901639	[% kg CH ₄ /kg biogas]
Biogas _{CH₄ content}	70	[% m ³ CH ₄ /m ³ biogas]
MW _{CH₄}	16	[g/mole]
MV	0,0224	[m ³ /mole]
MW _{CO₂}	44	[g/mole]

$$\text{Biogas}_{\text{CH}_4} = \text{Biogas}_{\text{mass}} * \text{Conc}_{\text{CH}_4 \text{ biogas}} / 100$$

Biogas _{CH₄}	930,52275	[kg CH ₄ /day]
Biogas _{mass}	2027,2103	[kg biogas/day]
Conc _{CH₄ biogas}	45,901639	[% kg CH ₄ /kg biogas]

$$\text{Biogas}_{\text{CO}_2} = \text{Biogas}_{\text{mass}} - \text{Biogas}_{\text{CH}_4}$$

Biogas _{CO₂}	1096,6875	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{mass}	2027,2103	[kg biogas/day]
Biogas _{CH₄}	930,52275	[kg CH ₄ /day]

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

CO ₂ combustion	0	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{boiler}	0	[%]
Biogas _{flare}	0	[%]
Biogas _{CO₂}	1096,6875	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{CH₄}	930,52275	[kg CH ₄ /day]
MW _{CO₂}	44	[g/mole]
MW _{CH₄}	16	[g/mole]

$$\text{CO}_2 \text{ engine} = \text{Biogas}_{\text{engine}} * (\text{Biogas}_{\text{CO}_2} + \text{Biogas}_{\text{CH}_4} * \text{GWP}_{\text{CH}_4}) / 100$$

CO ₂ engine	32734,461	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{engine}	100	[%]
Biogas _{CO₂}	1096,6875	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{CH₄}	930,52275	[kg CH ₄ /day]
MW _{CO₂}	44	[g/mole]
MW _{CH₄}	16	[g/mole]
GWP _{CH₄}	34	

$$\text{CO}_2 \text{ leak} = \text{Biogas}_{\text{leak}} * (\text{Biogas}_{\text{CO}_2} + \text{Biogas}_{\text{CH}_4} * \text{GWP}_{\text{CH}_4}) / 100$$

CO ₂ leak	0	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{leak}	0	[%]
Biogas _{CO₂}	1096,6875	[kg CO ₂ /day]
Biogas _{CH₄}	930,52275	[kg CH ₄ /day]
GWP _{CH₄}	34	[kg CO ₂ /kg CH ₄]

GHG calculations of Bridle model process: 3.sludge reuse

$$\text{Fraction}_{\text{VSS,digested sludge}} = (\text{VS}_{\text{digestion}} - \text{VS}_{\text{destroyed}}) / \text{Sludge}_{\text{digested}}$$

Fraction _{VSS,digested sludge}	0,2589204	[-]
VS _{digestion}	2770,5484	[kg VS/day]
VS _{destroyed}	2027,2103	[kg VS/day]
Sludge _{digested}	2870,9143	[kg sludge/day]

$$\text{VS}_{\text{digested sludge}} = \text{VS}_{\text{digestion}} - \text{VS}_{\text{destroyed}}$$

VS _{digested sludge}	743,33814	[kg VS/day]
-------------------------------	-----------	-------------

$$\text{CO}_2 \text{ trucking}_{\text{XYTA}} = \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Fraction}_{\text{XYTA}} * \text{Trucking emissions} * \text{distance}_{\text{XYTA}} * 2 * 100 / (\text{V}_{\text{truck}} * \text{solids}_{\text{cake}} * 1000)$$

CO ₂ trucking _{XYTA}	28,326173	[kg CO ₂ /day]
Sludge _{digested}	2870,9143	[kg sludge/day]
Fraction _{XYTA}	1	[-]
Trucking emissions	1	[kg CO ₂ /km]
distance _{XYTA}	10	[km]
V _{truck}	9,84	[m ³]
solids _{cake}	20,6	[%]

$$\text{CO}_2 \text{ total sludge} = \text{CO}_2 \text{ combustion} + \text{CO}_2 \text{ engine} + \text{CO}_2 \text{ leak} + \text{CO}_2 \text{ trucking disposal}$$

CO ₂ total sludge	32762,787	[kg CO ₂ /day]	=	0,993562	[kg CO ₂ /m ³]
------------------------------	-----------	---------------------------	---	----------	---------------------------------------

GHG calculations of Bridle model process: 4.chemical usage

$$\text{CO}_2 \text{ polymer} = \text{Polymer}_{\text{added}} * \text{Sludge}_{\text{digested}} * \text{Polymer}_{\text{CO}_2} / 1000000$$

CO ₂ polymer	122,92796	[kg CO ₂ /day]
Polymer _{added}	23,788	[kg polymer/kg dry solids]
Sludge _{digested}	2870,9143	[kg sludge/day]
Polymer _{CO₂}	1800	[kg CO ₂ /tonne polymer]

τιμή: 1690 - 1800

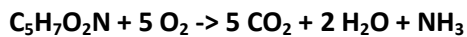
$$\text{CO}_2 \text{ FeCl}_3 = \text{FeCl}_3 \text{ added} * \text{FeCl}_3 \text{ CO}_2 / 1000$$

CO ₂ FeCl ₃	1582,8038	[kg CO ₂ /day]
FeCl ₃ use	3297,508	[kg FeCl ₃ /day]
FeCl ₃ CO ₂	480	[kg CO ₂ /tonne FeCl ₃]

$$\text{CO}_{2,\text{chemical}} = \text{CO}_2 \text{ polymer} + \text{CO}_2 \text{ FeCl}_3$$

CO _{2,chemical}	1705,7318	[kg CO ₂ /day]	=	0,051728	[kg CO ₂ /m ³]
--------------------------	-----------	---------------------------	---	----------	---------------------------------------

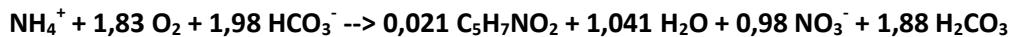
GHG calculations of Bridle model process: 5.power consumption



the biomass to O₂ ratio is: 113 / 5*32 = 1/1,416

$$\text{O}_2 \text{ respiration} = X_{\text{decayed}} * \text{O}_2 \text{ vss}$$

O ₂ respiration	8673	[kg O ₂]
X _{decayed}	6125	[kg VSS/day]
O ₂ vss	1,416	[kg O ₂ /kg VSS]



the kg of O₂ consumed per kg N nitrified is: 1,83*32 / 14 = 4,18 / 1

however according to Bridle the amount of O₂ consumed is set to be 4,32

$$\text{O}_2 \text{ nitrification} = \text{NH}_{\text{ox}} * \text{O}_2 \text{ NH}$$

O ₂ nitrification	4135,0035	[kg O ₂ /day]
NH _{ox}	957,17674	[kg N/day]
O ₂ NH	4,32	[kg O ₂ /kg N]

$$\text{O}_2 \text{ denitrification} = \text{N}_{\text{removed}} * \text{O}_2 \text{ N}$$

O ₂ denitrification	2815,4054	[kg O ₂ /day]
N _{removed}	1234,8269	[kg N/day]
O ₂ N	2,28	[kg O ₂ /kg N]

$$\text{O}_{2,\text{total}} = \text{O}_2 \text{ respiration} + \text{O}_2 \text{ nitrification} - \text{O}_2 \text{ denitrification}$$

O _{2,total}	9992,5982	[kg O ₂ /day]
----------------------	-----------	--------------------------

$$P_{\text{aeration}} = \text{O}_{2,\text{total}} / (\text{FOTC} * 24)$$

P _{aeration}	416,35826	[kW]
O _{2,total}	9992,5982	[kg O ₂ /day]
FOTC	1	[kg O ₂ /kWh]

$$\text{CO}_2 \text{ aeration} = P_{\text{aeration}} * \text{CO}_2 \text{ kWh} * 24$$

CO₂ aeration	9393,0423	[kg CO ₂ /day]
P _{aeration}	416,35826	[kW]
CO ₂ kWh	0,94	[kg CO ₂ /kWh]

0,94 kg CO₂/kWh coal-fired power station

$$\text{CO}_2 \text{ non aeration} = P_{\text{non aeration}} * \text{CO}_2 \text{ kWh} * 24$$

CO₂ non aeration	7764,588	[kg CO ₂ /day]
P _{non aeration}	344,175	[kW]
CO ₂ kWh	0,94	[kg CO ₂ /kWh]

$$\text{CO}_{2,\text{power}} = \text{CO}_2 \text{ aeration} + \text{CO}_2 \text{ non aeration}$$

CO₂,power	17157,63	[kg CO ₂ /day]	=	0,520321	[kg CO ₂ /m ³]
-----------------------------	----------	---------------------------	---	----------	---------------------------------------

GHG calculations of Bridle model process: 6.biogas usage

CO₂ credit biogas	0	[kg CO ₂ /day]	=	0	[kg CO ₂ /m ³]
-------------------------------------	---	---------------------------	---	---	---------------------------------------

$$\text{CO}_2 \text{ total emissions} = \text{CO}_{2,\text{biotreatment}} + \text{CO}_{2,\text{total sludge}} + \text{CO}_{2,\text{chemical}} + \text{CO}_{2,\text{power}} - \text{CO}_{2,\text{credit biogas}}$$

CO₂ total emissions	68803,846	[kg CO ₂ /day]	total emissions	2,086541	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ ,biotreatment	17177,697	[kg CO ₂ /day]	biotreatment	0,52093	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ ,total sludge	32762,787	[kg CO ₂ /day]	sludge total	0,993562	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ ,chemical	1705,7318	[kg CO ₂ /day]	chemical usage	0,051728	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ ,power	17157,63	[kg CO ₂ /day]	power consumption	0,520321	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ ,credit biogas	0	[kg CO ₂ /day]	credit from biogas	0	[kgCO ₂ /m ³]

B. BSM2 calculations**Quantifying the greenhouse gas emissions of waste water treatment plants****The GHG that are emitted in a WWTP are:**

	Gas	Chemical name	2013 IPCC GWP
1.	carbon dioxide	CO ₂	1
2.	methane	CH ₄	34
3.	nitrous oxide	N ₂ O	298

Benchmark Simulation model 2

calculation are divided in 6 different processes:

1. biotreatment
2. sludge digestion
3. sludge reuse
4. chemical usage
5. power consumption
6. biogas usage

CO₂ digester

MW _{CO2}	0,044	[kg/mole]	44	[g/mole]
MW _{CH4}	0,016	[kg/mole]	16	[g/mole]
CH ₄ content	70	[% CH ₄ /biogas]		
CO ₂ content	30	[% CO ₂ /biogas]		
MV	0,02241	[m ³ /mole]	22,41	[lit/mole]
Qgasout	2027,21	[m ³ /day]		

$$\text{CH}_4\text{gasconc} = (\text{CH}_4\text{content} * \text{MW}_{\text{CH}_4} / \text{MV}) / (\text{CH}_4\text{content} * \text{MW}_{\text{CH}_4} / \text{MV} + \text{CO}_2\text{content} * \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MV})$$

$$\text{CH}_4\text{gasconc} = 0,4590164 \quad [\text{kg CH}_4/\text{m}^3]$$

$$\text{CO}_2\text{gasconc} = (\text{CO}_2\text{content} * \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MV}) / (\text{CH}_4\text{content} * \text{MW}_{\text{CH}_4} / \text{MV} + \text{CO}_2\text{content} * \text{MW}_{\text{CO}_2} / \text{MV})$$

$$\text{CO}_2\text{gasconc} = 0,5409836 \quad [\text{kg CO}_2/\text{m}^3]$$

$$\text{Q}_{\text{CH}_4\text{out}} = \text{Qgasout} * \text{CH}_4\text{gasconc}$$

$$\text{Q}_{\text{CH}_4\text{out}} = 930,52262 \quad [\text{kg CH}_4/\text{day}]$$

$$\text{Q}_{\text{CO}_2\text{out}} = \text{Qgasout} * \text{CO}_2\text{gasconc}$$

$$\text{Q}_{\text{CO}_2\text{out}} = 1096,6874 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

CO₂ emissions produced directly by anaerobic digester

CO₂admissions = Q_{CO₂out} + Q_{CH₄out} * GWP_{CH₄}

CO₂admissions 32734,457 [kg CO₂/day] = 0,992703 [kg CO₂/m³]

Sludge reuse CO₂ emissions

C _{mineralisation}	0,8	[-]	
MW _c	0,012	[kg/mole]	12 [g/mole]
CO ₂ truck	1	[kg CO ₂ /km]	
V _{truck}	9,84	[m ³]	
solids _{cake}	20,6	[% kg TSS/kg sludge]	
fraction _{agriculture}	0	[-]	
distance _{agriculture}	0	[km]	
fraction _{composting}	0	[-]	
distance _{composting}	0	[km]	
fraction _{forestry}	0	[-]	
distance _{forestry}	0	[km]	
fraction _{XYTA}	1	[-]	
distance _{XYTA}	10	[km]	
Q _{sludgeout}	4900	[kg TSS/day]	

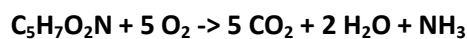
truck_{XYTA} = Q_{sludgeout} * fraction_{XYTA} * CO₂truck * distance_{XYTA} * 2 / (V_{truck} * solids_{cake} / 100 * 1000)

truck_{XYTA} 48,346357 [kg CO₂/day]

CO₂reuse = truck_{XYTA}

CO₂reuse 48,346357 [kg CO₂/day] = 0,001466 [kg CO₂/m³]

Biotreatment CO₂ emissions



the biomass to CO₂ ratio is: 113 / 5*44 = 1/1,947

CO ₂ yield	1,947	[kg CO ₂ /kg biomass respired]	
k _D	0,1	[1/day]	
Q _{influent}	32975,08	[m ³ /day]	
MLVSS	3,5	[kg VSS/m ³]	tanks
V _{tanks}	17500	[m ³]	5 * 3500

$$\text{HRT} = V_{\text{tanks}} / Q_{\text{influent}}$$

HRT 0,5307038 [days]

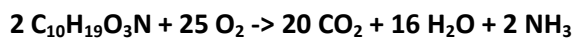
$$\text{biomass}_{\text{decayed}} = Q_{\text{influent}} * \text{HRT} * \text{MLVSS} * k_D$$

biomass_{decayed} 6125 [kg (VSS) biomass/day]

$$\text{CO}_2\text{bdemissions} = \text{biomass}_{\text{decayed}} * \text{CO}_2\text{yield}$$

CO₂bdemissions 11925,375 [kg CO₂/day] = 0,361648 [kg CO₂/m³]

BOD oxidation of all the 5 reactors



the O₂ to CO₂ ratio is: 25*32 / 20*44 = 1/1,1

CO ₂ BODox	1,1	[kg CO ₂ /kg O ₂]	
(f)	0,68	[-]	(Black & Veatch)
Y	0,46	[kg VSS/kg BOD]	(Black & Veatch)
BODrem	32,667	[%]	
SRT	24,7	[days]	
Q _{BOD5in}	0,2505	[kg BOD ₅ /m ³]	
Q _{BOD5out}	0,00692	[kg BOD ₅ /m ³]	

$$\text{Yobs} = Y / (1 + k_D * \text{SRT})$$

Yobs 0,1325648 [kg VSS/kg BOD]

$$\text{BODox} = Q_{\text{influent}} * [(100 - \text{BODrem}) * Q_{\text{BOD5in}} / 100 - Q_{\text{BOD5out}}]$$

BODox 5333,6917 [kg BOD/day]

$$\text{netbiomass}_{\text{produced}} = \text{BODox} * \text{Yobs}$$

netbiomass_{produced} 707,05999 [kg VSS/day]

$$\text{O}_2\text{BOD} = \text{BODox} / (f) - 1.42 * \text{netbiomass}_{\text{produced}}$$

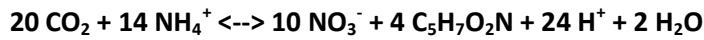
O₂BOD 6839,639 [kg BOD/day]

$$\text{CO}_2\text{oxemissions} = \text{O}_2\text{BOD} * \text{CO}_2\text{BODox}$$

CO₂oxemissions 7523,6029 [kg CO₂/day] = 0,22816 [kg CO₂/m³]

Nitrogen removal from all the 5 reactors

CO₂ credit from ammonia removal



the CO₂ to N ratio is: 20*44 / 14*14 = 4,49/1

CO ₂ cons	4,49	[kg CO ₂ /kg N nitrified]
Q _{TKN} in	0,03278	[kg N/m ³]
Q _{TKN} out	0,00096	[kg N/m ³]



Nbiomass = netbiomass_{produced} * 0.12 (Nfrombiomass = 14/113 = 0,12 [kg N/kg VSS])

Nbiomass	87,600353	[kg N/day]
----------	-----------	------------

NH₃ox = Qinfluent * (Q_{TKN}in - Q_{TKN}out) - Nbiomass

NH ₃ ox	961,66669	[kg N/day]
--------------------	-----------	------------

CO₂cred = NH₃ox * CO₂cons

CO ₂ cred	4317,8835	[kg CO ₂ /day]	=	0,130944	[kg CO ₂ /m ³]
----------------------	-----------	---------------------------	---	----------	---------------------------------------

N₂O formed

N ₂ Ogen	0,004	[kg N ₂ O/kg N feed]	
Q _{TN} in	0,05	[kg N/m ³]	δεν τα μετράνε
Q _{TN} out	0,01	[kg N/m ³]	παίρνω τιμές από νομοθεσία

N₂O = Qinfluent * (Q_{TN}in - Q_{TN}out) * N₂Ogen

N ₂ O	5,2760128	[kg N ₂ O/day]
------------------	-----------	---------------------------

CO₂N₂O = N₂O * GWP_{N₂O}

CO ₂ N ₂ O	1572,2518	[kg CO ₂ /day]	=	0,04768	[kg CO ₂ /m ³]
----------------------------------	-----------	---------------------------	---	---------	---------------------------------------

Chemical use

Polymer _{added}	23,788	[kg polymer/kg dry solids]	
Polymer _{CO₂}	1800	[kg CO ₂ /tonne polymer]	1690 - 1800
FeCl ₃ use	3297,508	[kg FeCl ₃ /day]	
FeCl ₃ CO ₂	480	[kg CO ₂ /tonne FeCl ₃]	
Sludge _{to digester}	9500	[kg sludge/day]	

$$\text{CO}_2\text{polymer} = \text{Polymer}_{\text{added}} * \text{Sludge}_{\text{to digester}} * \text{Polymer}_{\text{CO}_2} / 1000000$$

$$\text{CO}_2\text{polymer} \quad 406,7748 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

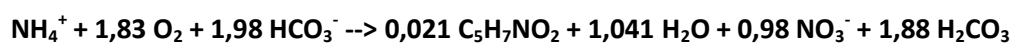
$$\text{CO}_2\text{FeCl}_3 = \text{FeCl}_3_{\text{added}} * \text{FeCl}_3_{\text{CO}_2} / 1000$$

$$\text{CO}_2\text{FeCl}_3 \quad 1582,8038 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

$$\text{CO}_2\text{chem} = \text{CO}_2\text{polymer} + \text{CO}_2\text{FeCl}_3$$

$$\text{CO}_2\text{chem} \quad 1989,5786 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}] \quad = \quad 0,060336 \quad [\text{kg CO}_2/\text{m}^3]$$

Parasitic power draw



the kg of O₂ consumed per kg N nitrified is: 1,83*32 / 14 = 4,18 / 1

however according to Bridle (and BSM2) the amount of O₂ consumed is set to be 4,32



the biomass to O₂ ratio is: 113 / 5*32 = 113 / 160 = 1 / 1.416

CO ₂ kWh	0,94	[kg CO ₂ /kWh]
O ₂ resp	1,416	[kg O ₂ /kg VSS]
O ₂ nit	4,32	[kg O ₂ /kg N nitrified]
O ₂ dn	2,28	[kg O ₂ /kg N removed]
Paer	8890,8	[kWh/day]
Ppump	8260,21	[kWh/day]
Pheat	0	[kWh/day]

$$\text{CO}_2\text{aer} = \text{Paer} * \text{CO}_2\text{kWh}$$

$$\text{CO}_2\text{aer} \quad 8357,352 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

$$\text{CO}_2\text{pump} = \text{Ppump} * \text{CO}_2\text{kWh}$$

$$\text{CO}_2\text{pump} \quad 7764,5974 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

$$\text{CO}_2\text{heat} = \text{Pheat} * \text{CO}_2\text{kWh}$$

$$\text{CO}_2\text{heat} \quad 0 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}]$$

$$\text{CO}_2\text{power} = \text{CO}_2\text{aer} + \text{CO}_2\text{pump} + \text{CO}_2\text{heat}$$

$$\text{CO}_2\text{power} \quad 16121,949 \quad [\text{kg CO}_2/\text{day}] \quad = \quad 0,488913 \quad [\text{kg CO}_2/\text{m}^3]$$

$$\text{CO}_2\text{emissions} = \text{CO}_2\text{admissions} + \text{CO}_2\text{reuse} + \text{CO}_2\text{bdemissions} + \text{CO}_2\text{oxemissions} + \text{CO}_2\text{cred} + \text{CO}_2\text{N}_2\text{O} + \text{CO}_2\text{chem} + \text{CO}_2\text{power}$$

CO ₂ emissions	67597,677	[kg CO ₂ /day]	=	2,049962	[kg CO ₂ /m ³]
CO ₂ emissions	67597,677	[kg CO ₂ /day]	total emissions	2,049962	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ biotreatment	16703,346	[kg CO ₂ /day]	biotreatment	0,506545	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ bdemissions	11925,375	[kg CO ₂ /day]	biomass decay	0,361648	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ oxemissions	7523,6029	[kg CO ₂ /day]	BOD oxidation	0,22816	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ cred	4317,8835	[kg CO ₂ /day]	credit from ammonia removal	0,130944	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ N ₂ O	1572,2518	[kg CO ₂ /day]	N ₂ O formed	0,04768	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ chem	1989,5786	[kg CO ₂ /day]	chemicals	0,060336	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ power	16121,949	[kg CO ₂ /day]	energy	0,488913	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ anaerobicdigestion	32782,803	[kg CO ₂ /day]	anaerobic digestion	0,994169	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ admissions	32734,457	[kg CO ₂ /day]	a d without reuse	0,992703	[kgCO ₂ /m ³]
CO ₂ reuse	48,346357	[kg CO ₂ /day]	disposal	0,001466	[kgCO ₂ /m ³]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Bani Shahabadi, M., Yerushalmi, L., & Haghghat, F. (2009). Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants. *Water research*, 43, 2679-2687.

Batstone, D., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S., Pavlostathis, S., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist H., Vavilin, V.A., (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1). *Water Science & Technology*, 45, No 10, 65-73.

Bridle Consulting. (2007). *Development of a process model to predict GHG emissinos from the water corporation metropolitan WWTPs*.

Bridle, T., Shaw A., Cooper S., Yap K.C., Third K., Domurad M. 2008. Estimation of greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants. In: Proceedings IWA World Water Congress 2008, Vienna, Austria. September 7-12, 2008.

Copp, J. (2002). Defining a simulation benchmark for control strategies. *Water* 21. (APR).

Corominas, L., Sin, G., Puig, S., Traore, A., Balaguer, M., Colprim, J., Vanrolleghem, P.A., 2006. Model-based evaluation of an online control strategy for SBRs based on OUR and ORP measurements. *Water Sci. Technol.* 53 (4-5), 161-169.

Corominas, Ll, Flores-Alsina X, Snip L, Vanrolleghem P.A., 2010. Minimising overall greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants by implementing automatic control. In: Proceedings 7th IWA Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Technologies. Phoenix, AZ, USA, June 2-4, 2010.

Corominas, L., L. Rieger, L., Takacs, I., Ekama, G., Hauduc, H., Vanrolleghem, P., Oehmen, A., Gernaey, K.V., Loosdrecht, M.C.M., Comeau, Y, (accepted). New framework for standardized notation in wastewater treatment modelling. *Water Science & Technology*.

Corominas, L, Xavier Flores-Alsina, Laura Snip, Peter A. Vanrolleghem, 2012. Comparison of Different Modeling Approaches to Better Evaluate Greenhouse Gas Emissions From Whole Wastewater Treatment Plants. Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/bit.24544

Enviromental Protection Agency, 1997. Waste Water Treatment Manuals, Primary, Secondary and Tertiary Treatment, ISBN 1 899965 46 7

Flores-Alsina X, Corominas Ll, Snip L, Vanrolleghem PA. 2011. Including greenhouse gases emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies. *Water research* 45: 4700–4710.

Flores-Alsina, X., Sin, G., Rodriguez-Roda, I., Gernaey, K.V., 2008. Multicriteria evaluation of wastewater treatment plant control strategies under uncertainty. *Water research* 42 (17), 4485-4497.

Foley, J., de Haas, D., Yuan, Z., Lant, P., 2010. Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water research* 44, 831-844.

Gernaey, K., Rosen, C., & Jeppsson, U. (2006). WWTP dynamic disturbance modelling—an essential module for long-term benchmarking development. *Water Science and Technology*, 53, No 4-5, 225-234.

Gernaey KV, Jeppsson U, Vanrolleghem PA, Copp JB, Steyer J-P, editors. 2012. Benchmarking of control strategies for wastewater treatment plants. IWA Scientific and Technical Report. London, UK: IWA Publishing.

Hanaki K, Hong Z, Matsuo T. 1992. Production of nitrous oxide gas during denitrification of wastewater. *Water Sci Technol* 26(5-6):1027- 1036.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., van Loosdrecht, M.C.M., 2000. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Scientific and Technical Report No 9. IWA Publishing, London, UK.

Hiatt, W. C. (2006, May). Activated Sludge Modeling for Elevated Nitrogen Conditions. *A Thesis presented to the Graduate School Clemson University*.

Hiatt, W. C., & Grady, C. L. (2008). An Updated Process Model for Carbon Oxidation, Nitrification, and Denitrification. *Water Environment Research*, 80, 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, 2134-2144.

IAWPRC Task Group. (1986). *Activated Sludge Model No. 1*.

IPCC. 2007. 2007 IPCC Fourth Assessment Report (AR4),” Chapter 2, “Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing,” Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at:

http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch02.pdf

Jeppsson U. and Pons M.-N. (2004). The COST 624 benchmark simulation model – current state and future perspective. Editorial. *Control Engineering Practice*, 12(3), 299-304.

Jeppsson U., Rosen C., Alex J., Copp J.B., Gernaey K.V., Pons M.-N. and Vanrolleghem P.A. (2006). Towards a benchmark simulation model for plant-wide control strategy performance evaluation of WWTPs. *Water Science & Technology*, 53(1), 287-295.

Jeppsson, U., Pons, M.-N., Nopens, I., Alex, J., Copp, J., Gernaey, K., Rosen, C., Steyer, J.-P., Vanrolleghem, P.A. (2007). Benchmark simulation model no 2: general protocol and exploratory case studies. *Water Science & Technology*, 56, 67-78, 287-295.

Jetten, M. S. (2008). The microbial nitrogen cycle. *Environmental Microbiology*, 10, 2903-2909.

Kaelin, D., Manser, R., Rieger, L., Eugster, J., Rottermann, K., & Siegrist, H. (2009). Extension of ASM3 for two-step nitrification and denitrification and its calibration and validation with batch tests and pilot scale data. *Water Research*, 43, 1680-1692.

Kampschreur, M. J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M. S., & van Loosdrecht, M. C. (2009).

Nitrous oxide emissions during wastewater treatment. *Water Research*, 43, 4093-4103.

Keller, J., & Hartley, K. (2003). Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor. *Water Science & Technology*, 47, No 12, 43-48.

Lu, H., Chandran, K., 2010. Factors promoting emissions of nitrous oxide and nitric oxide from denitrifying sequencing batch reactors operated with methanol and ethanol as electron donors. *Biotechnol. Bioeng.* 106 (3), 390-398.

Mardani. Sh., Mirbagheri A., Amin. M. M., Ghasemian M. 2011, Determination of biokinetic coefficients for activated sludge processes on municipal wastewater, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 25-34

Metcalf & Eddy, Inc, (revised by Tchobanoglous, G, Burton, F.L., Stensel, H.D., *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4th Edition, New York, NY, 2003.

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, 390-403.

NGER, 2008. National greenhouse and energy reporting (measurement) technical guidelines 2008 v1.1. July 2008 Available at. Australian Government Department of Climate Change. <http://www.climatechange.gov.au/reporting/>.

National Greenhouse Gas Inventory Committee. (2007). *Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 2006: Waste*. Australian Government, Department of Climate Change. Department of Climate Change.

Ni BJ, Rusalleda M, Pellicer i Na`cher C, Smets BF. 2011. Modelling nitrous oxide production during biological nitrogen removal via nitrification and denitrification: Extensions to the general ASM models. *Environ Sci Technol* 45:7768–7776.

Ni B-J, Yuan Z, Chandran K, Vanrolleghem PA, Murthy S. 2012. Evaluating mathematical models for N₂O production by ammonia-oxidizing bacteria: Towards a unified model. In: *Proceedings of 3rd IWA/ WEF Wastewater Treatment Modelling Seminar, Mont-Sainte-Anne, Que`bec, Canada, February 26–28, 2012.*

Nopens, I., Batstone, D.J., Copp, J.B., Jeppsson, U., Volcke, E., Alex, J., Vanrolleghem, P.A., 2009. An ASM/ADM model interface for dynamic plant-wide simulation. *Water Res.* 43 (7), 1913-1923.

Nopens, I., Benedetti, L., Jeppsson, U., Pons, M.-N., Alex, J., Copp, J.B., Gernaey, K.V., Rosen, C., Steyer, J.-P., Vanrolleghem, P.A., 2010. Benchmark simulation model no 2: finalisation of plant layout and default control strategy. *Water Sci. Technol.* 62 (9), 1967-1974.

Pagilla, K., Shaw, A., Kuntz, T., Schiltz, M. 2009. A systematic approach to establishing carbon footprints for wastewater treatment plants. In: *Proceedings of WEFTEC 2009, Orlando, Florida, USA, October 10-14, 2009.*

Rassamee V, Sattayatewa C, Pagilla K, Chandran K. 2011. Effect of oxic and anoxic conditions on nitrous oxide emissions from nitrification and denitrification processes. *Biotechnol Bioeng* 108(9):2036 – 2045.

Reid, R., Prausnitz, J., & Poling, B. (1987). *The properties of gases and liquids*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Rieger L, Gillot S, Langergraber G, Ohtsuki T, Shaw A, Takacs I, Winkler S. 2012. Guidelines for using activated sludge models—IWA Task Group on Good Modelling Practice. IWA Scientific and Technical Report. ISBN: 9781843391746.

Rosen C. and Jeppsson U. (2006). *Aspects on ADM1 Implementation within the BSM2 Framework*. IWA BSM TG Technical Report (available at www.benchmarkwwtp.org).

Schulthess RV, Kuehni M, Gujer W. 1995. Release of nitric and nitrous oxides from denitrifying activated sludge. *Water Res* 29(1):215–226.

Siegrist, H., & Gujer, W. (1994). Nitrogen removal in activated sludge systems including denitrification in secondary clarifiers. *Water Science & Technology*, 30, No 6, 101-111.

Sin, G., Kaelin, D., Kampschreur, M. J., Takacs, I., Wett, B., Gernaey, K. V., Rieger, L., Siegrist, H., Loosdrecht, M.C.M. (2008). Modelling nitrite in wastewater treatment system: a discussion of different modelling concepts. *Water Science & Technology*, 58, No 6, 1155-1171.

Snip, L. 2010. Quantifying the greenhouse gases emissions of wastewater treatment plants. Msc thesis. Department of Agrotechnology and Food Science. Wageningen University. Département de génie civil. Université Laval (Available at <http://edepot.wur.nl/138115>).

Stare, A., Vrecko, D., Hvala, N., Strmcnik, S., 2007. Comparison of control strategies for nitrogen removal in an activated sludge process in terms of operating costs: a simulation study. *Water Res.* 41 (9), 2004e2014.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill, New York.

The Greenhouse Gas Protocol Initiative. (2004, March). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Checked on October 2009, from World Business Council for Sustainable Development: <http://www.wbcsd.org/web/publications/ghg-protocolrevised.pdf>

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, 521-530.

Vrecko D., Gernaey K.V., Rosen C. and Jeppsson, U. (2006). Benchmark simulation model No 2 in Matlab - Simulink: towards plant-wide WWTP control strategy evaluation. *Wat. Sci. Tech.*, 54(8), 65-72.

Vrecko D., Volcke E.I.P., Jeppsson U. and Gernaey K.V. (2007). *Evaluation Criteria Description and Example for BSM2*. IWA BSM TG Technical Report (available at www.benchmarkwwtp.org).

B. Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Metcalf – Eddy, «Μηχανική υγρών αποβλήτων», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2007.

Αγγελάκης Ανδρέας – Διαμαντόπουλος Ευάγγελος, «Διαχείριση αστικών υγρών και στερεών αποβλήτων», (Ε.Δ.Ε.Υ.Α.), Λάρισα 1999.

Νικολαΐδης Σταύρος, 2009, Πτυχιακή εργασία «Σύστημα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων (ενεργού ιλύος)»

Νταρακάς Ε., «Η Ελληνική νομοθεσία για τη βιομηχανία και τα απόβλητα», 2006, (Επεξεργασία Βιομηχανικών Αποβλήτων, ΑΠΘ, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος)

Τσόγκας Χρήστος, «Δίκτυα αποχέτευσης και επεξεργασία λυμάτων», Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1998.

Τσώνης Στ., «Επεξεργασία λυμάτων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2004.