

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS



ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ
ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Χρήστος Ιωαννίδης

Επιβλέπων:

Κωνσταντίνος Νουτσόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, για την ανάθεση της και την συνεχή καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης ευχαριστώ την Δρ. Έλενα Κουμάκη για την παροχή του προγράμματος πάνω στο οποίο βασίστηκε η εργασία μου και την εκμάθησή του.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γιάννη Τσουκαλά και το μέλος ΕΔΙΠ κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη για την συνεργασία τους, την συμμετοχή τους αλλά και την προθυμία να με βοηθήσουν στην εργασία αυτή.

Ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές μου για το έμπρακτο τους ενδιαφέρον κατά την πορεία μας στην σχολή αλλά και όλους τους φίλους και τους συγγενείς μου για την συμπαράσταση.

Τέλος ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου και τα αδέρφια μου που με στηρίζουν και πιστεύουν σε εμένα καθημερινά.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
2	Συστήματα προσομοίωσης λειτουργίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.).....	2
2.1	Εισαγωγή.....	2
2.2	Μοντέλα Ενεργού Ιλύος	2
2.2.1	Μοντέλο ενεργού ιλύος No.1-ASM1	2
2.2.1.1	Εισαγωγή	2
2.2.1.2	Μεταβλητές Μοντέλου	3
2.2.1.3	Διεργασίες Μοντέλου.....	7
2.2.1.4	Περιορισμοί Μοντέλου	9
2.2.2	Μοντέλο ενεργού ιλύος No.2-ASM2	11
2.2.2.1	Εισαγωγή	11
2.2.2.2	Μεταβλητές Μοντέλου	11
2.2.2.3	Διεργασίες Μοντέλου.....	15
2.2.2.4	Περιορισμοί μοντέλου	19
2.2.3	Μοντέλο ενεργού ιλύος No.2d-ASM2d	23
2.2.3.1	Εισαγωγή	23
2.2.3.2	Μεταβλητές Μοντέλου	23
2.2.3.3	Διεργασίες Μοντέλου.....	24
2.2.3.4	Περιορισμοί Μοντέλου	27
2.2.4	Μοντέλο ενεργού ιλύος No.3-ASM3	29
2.2.4.1	Εισαγωγή	29
2.2.4.2	Μεταβλητές Μοντέλου	29

2.2.4.3	Διεργασίες Μοντέλου.....	32
2.2.4.4	Περιορισμοί Μοντέλου	34
2.3	Συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (Benchmark Simulation Models)	37
2.3.1	Εισαγωγή.....	37
2.3.2	Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1)	38
2.3.2.1	Εισαγωγή	38
2.3.2.2	Διάταξη Μοντέλου	38
2.3.2.3	Εκτίμηση απόδοσης.....	42
2.3.3	Benchmark Simulation Model No. 2 (BSM2)	43
2.3.3.1	Εισαγωγή	43
2.3.3.2	Διάταξη Μοντέλου	44
2.3.3.3	Εκτίμηση Απόδοσης Εγκατάστασης	45
2.4	Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου.....	46
2.4.1	Εισαγωγή.....	46
2.4.2	Διοξείδιο του άνθρακα CO ₂	46
2.4.3	Μεθάνιο CH ₄	47
2.4.4	Υποξείδιο του αζώτου N ₂ O	47
2.4.5	Βιολογική Απομάκρυνση Αζώτου	48
2.4.5.1	Εισαγωγή	48
2.4.5.2	Μοντελοποίηση διεργασιών.....	50
3	Ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (EEL).....	54
3.1	Εισαγωγή.....	54

3.2	Μεταβλητές Μοντέλου.....	55
3.3	Πρωτοβάθμια Επεξεργασία.....	60
3.3.1	Εισαγωγή.....	60
3.3.2	Προσομοίωση Δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)	60
3.4	Βιολογικός Αντιδραστήρας.....	63
3.4.1	Εισαγωγή.....	63
3.4.2	Διεργασίες του Μοντέλου	63
3.4.3	Περιγραφή βασικών εξισώσεων του μοντέλου	69
3.4.4	Παράμετροι του μαθηματικού ομοιώματος	76
3.4.5	Επίδραση της θερμοκρασίας στις βιολογικές διεργασίες	86
3.4.6	Ζήτηση οξυγόνου	86
3.5	Δεξαμενή τελικής καθίζησης	92
3.5.1	Εισαγωγή.....	92
3.5.2	Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος	92
3.5.3	Εμπειρικές σχέσεις ταχύτητας καθίζησης	94
3.5.4	Προσομοίωση Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ)	94
3.6	Πάχυνση ιλύος.....	98
3.6.1	Εισαγωγή.....	98
3.6.2	Προσομοίωση Πάχυνσης.....	99
3.7	Χώνευση ιλύος.....	103
3.7.1	Εισαγωγή.....	103
3.7.2	Προσομοίωση αναερόβιας χώνευσης ιλύος.....	104
3.8	Αφυδάτωση	114
3.8.1	Εισαγωγή.....	114

3.8.2	Προσομοίωση αφυδάτωσης.....	114
3.9	Γραμμή στραγγιδίων.....	117
3.10	Κατανάλωση ενέργειας	118
3.11	Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	120
3.11.1	Εισαγωγή.....	120
3.11.2	Άμεσες εκπομπές.....	120
3.11.3	Έμμεσες εκπομπές	124
4	Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης	126
4.1	Προσομοιούμενο σύστημα.....	126
4.2	Σενάρια προσομοίωσης.....	130
4.2.1	Εισαγωγή.....	130
4.2.2	Πρώτη σειρά σεναρίων : Ημερήσιος χρονικός ορίζοντας	132
4.2.2.1	Σενάριο A: Επίδραση του υδρογραφήματος	132
4.2.2.1.1	Στόχος σεναρίου	132
4.2.2.1.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	132
4.2.2.1.3	Αποτελέσματα σεναρίου	133
4.2.3	Δεύτερη σειρά σεναρίων: Μηνιαίος χρονικός ορίζοντας	137
4.2.3.1	Σενάριο B1: Επίδραση του υδρογραφήματος της παροχής	137
4.2.3.1.1	Στόχος σεναρίου	137
4.2.3.1.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	137
4.2.3.1.3	Αποτελέσματα σεναρίου	139
4.2.3.2	Σενάριο B2: Επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου ...	145
4.2.3.2.1	Στόχος σεναρίου	145
4.2.3.2.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	145

4.2.3.2.3	Αποτελέσματα.....	146
4.2.3.3	Σενάριο Β3: Επίδραση της ποιότητας των λυμάτων.....	153
4.2.3.3.1	Στόχος σεναρίου	153
4.2.3.3.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	153
4.2.3.3.3	Αποτελέσματα.....	154
4.2.3.4	Σενάριο Β4: Επίδραση της ημερήσιας αιχμής εισερχόμενου COD... ..	160
4.2.3.4.1	Στόχος σεναρίου	160
4.2.3.4.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	160
4.2.3.4.3	Αποτελέσματα.....	161
4.2.3.5	Σενάριο Β5: Επίδραση της ημερήσιας αιχμής εισερχόμενου TN	168
4.2.3.5.1	Στόχος σεναρίου	168
4.2.3.5.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	169
4.2.3.5.3	Αποτελέσματα.....	170
4.2.3.6	Σενάριο Β6: Επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου	176
4.2.3.6.1	Στόχος σεναρίου	176
4.2.3.6.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	177
4.2.3.6.3	Αποτελέσματα.....	177
4.2.3.7	Σενάριο Β7: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών	185
4.2.3.7.1	Στόχος σεναρίου	185
4.2.3.7.2	Δεδομένα προσομοίωσης.....	185
4.2.3.7.3	Αποτελέσματα.....	186
4.2.4	Τρίτη σειρά σεναρίων: Συνθετικές χρονοσειρές	197
4.2.4.1	Εισαγωγή	197
4.2.4.2	Στόχος Σεναρίου	198

4.2.4.3	Δεδομένα προσομοίωσης	199
4.2.4.4	Αποτελέσματα	201
5	Συμπεράσματα	212
	Βιβλιογραφία	216

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Συστατικά του ASM1	7
Πίνακας 2-2: Διεργασίες και στοιχειομετρία μοντέλου ASM1 (IWA 2000)	10
Πίνακας 2-3: Συστατικά του ASM2	15
Πίνακας 2-4 : Στοιχειομετρία των διεργασιών υδρόλυσης (IWA, 2000)	16
Πίνακας 2-5 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (IWA, 2000)	17
Πίνακας 2-6 : Στοιχειομετρία των διεργασιών των φωσφορικά συσσωρευόμενων οργανισμών (IWA, 2000)	18
Πίνακας 2-8: : Στοιχειομετρία που περιγράφουν την ταυτόχρονη κατακρήμνιση και επαναδιάλυση του φωσφόρου (IWA, 2000)	19
Πίνακας 2-7 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης και αποσύνθεσης των αυτοτροφικών μ/ών (IWA, 2000)	19
Πίνακας 2-9 : Ρυθμοί διεργασιών του ASM2 (IWA, 2000)	21
Πίνακας 2-10 : Συστατικά του ASM2d	24
Πίνακας 2-11: Στοιχειομετρία των διεργασιών των φωσφορικά συσσωρευόμενων οργανισμών στο ASM2d (IWA, 2000)	26
Πίνακας 2-12 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης και αποσύνθεσης των αυτοτροφικών μ/ο στο ASM2d (IWA, 2000)	26
Πίνακας 2-13 : Στοιχειομετρία που περιγράφουν την ταυτόχρονη κατακρήμνιση και επαναδιάλυση του φωσφόρου στο ASM2d (IWA, 2000)	26
Πίνακας 2-14 : Ρυθμοί διεργασιών του ASM2d (IWA, 2000)	28
Πίνακας 2-15: Συστατικά του ASM3	32
Πίνακας 2-16 : Στοιχειομετρία μοντέλου ASM3. (IWA, 2000)	35
Πίνακας 2-17: Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM3. (IWA, 2000)	36
Πίνακας 2-18: Παράμετροι υπολογισμού της ταχύτητας καθίζησης (Alex et al., 2008) .	40
Πίνακας 2-19 : Όρια εκροής μοντέλου BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)	42
Πίνακας 2-20: Στοιχειομετρία μοντέλου χημικής διάσπασης (Δημητρίου.,2017)	50
Πίνακας 2-21: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου χημικής διάσπασης (Δημητρίου.,2017) ...	51

Πίνακας 2-22: Στοιχειομετρία μοντέλου νιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)	51
Πίνακας 2-23: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου νιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)	52
Πίνακας 2-24: Στοιχειομετρία μοντέλου απονιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)	52
Πίνακας 2-25: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου απονιτροποίησης νιτροποιητών(Δημητρίου.,2017)	52
Πίνακας 2-26: Στοιχειομετρία και οι κινητικές εξισώσεις ASMN(Pan et al, 2015)	53
Πίνακας 3-1: Μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης	59
Πίνακας 3-2 : Στοιχειομετρικές παράμετροι του μοντέλου	82
Πίνακας 3-3: Κινητικές παράμετροι του μοντέλου	83
Πίνακας 3-4 : Τυπικές τιμές συγκέντρωσης κορεσμού οξυγόνου σε νερό συναρτήσει της Θερμοκρασίας	88
Πίνακας 3-5: Προσομοιούμενες διεργασίες και εξισώσεις του μοντέλου	89
Πίνακας 4-1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων για την εφαρμογή του μοντέλου σε σταθερές συνθήκες	128
Πίνακας 4-2: Αρχικές συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένες θέσεις της εγκατάστασης	129
Πίνακας 4-3: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (A)	132
Πίνακας 4-4: Ημερήσιο υδρογράφημα παροχής Qm.....	133
Πίνακας 4-5: Μεταβολές των συγκεντρώσεων για το σενάριο A	136
Πίνακας 4-6: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B1)	138
Πίνακας 4-7: Ημερήσια υδρογραφήματα παροχών.....	138
Πίνακας 4-8: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B2)	145
Πίνακας 4-9: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B3	154
Πίνακας 4-10: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B4	160
Πίνακας 4-11: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B5	169
Πίνακας 4-12: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B6)	177
4-13: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B7)	185

4-14: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (Γ)	199
Πίνακας 4-15: Στατιστικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών εισόδου	202
Πίνακας 4-16 : Στατιστικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών εξόδου	202
Πίνακας 4-17: Συσχετίσεις των μεταβλητών με τα χαρακτηριστικά εισόδου	203
Πίνακας 4-18: Συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών εξόδου	204

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Συστατικά του COD στο ASM1	4
Σχήμα 2-2: Συστατικά της βιομάζας στο ASM1	5
Σχήμα 2-3: Συστατικά του αζώτου στο ASM1	6
Σχήμα 2-4 : Σχηματοποίηση διεργασιών ASM1 (Alex et al., 2008)	9
Σχήμα 2-5 : Γενική διάταξη της ΕΕΛ του BSM1 (Alex et al., 2008)	38
Σχήμα 2-6 : Διάγραμμα ταχύτητας καθίζησης – συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών (Takacs et al., 1991)	40
Σχήμα 2-7 : Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης και εξισώσεις υπολογισμού της ροής στερεών (Takacs et al., 1991)	41
Σχήμα 2-8: Παραγωγή υποξειδίου του αζώτου μέσω της απομάκρυνσης του αζώτου ..	48
Σχήμα 2-9: Βιολογικές διεργασίες παραγωγής N ₂ O (Massara et al., 2017).....	50
Σχήμα 2-10: Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών παραγωγής N ₂ O από τους AOB	53
Σχήμα 3-1: Διακριτοποίηση θέσεων ΔΠΚ.....	61
Σχήμα 3-2: Διακριτοποίηση θέσεων ΔΤΚ.....	95
Σχήμα 3-3: Διακριτοποίηση θέσεων ΠΠΙ.....	99
Σχήμα 3-4: Διακριτοποίηση θέσεων ΠΒΙ	101
Σχήμα 3-5: Διακριτοποίηση θέσεων αναερόβιας χώνευσης ιλύος.....	105
Σχήμα 3-6: Διακριτοποίηση θέσεων αφυδάτωσης	115
Σχήμα 3-7: Διακριτοποίηση θέσεων γραμμής στραγγιδίων	117
Σχήμα 4-1: Ροϊκό διάγραμμα προσομοιούμενης εγκατάστασης (Koumaki, et al)	127
Σχήμα 4-2: Συγκεντρώσεις οργανικής ύλης στην εκροή για το σενάριο Α	134
Σχήμα 4-3: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο Α	134
Σχήμα 4-4: Συγκεντρώσεις αζωτούχων συστατικών εκροής και των υπολοίπων αζωτούχων συστατικών στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής για το σενάριο Α	135
Σχήμα 4-5: Τιμές απαιτούμενου οξυγόνου και δείκτη εκροής για το σενάριο Α	135
Σχήμα 4-6: Διακύμανση της συνολικής ποσότητας παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου και των συνιστωσών τους για το σενάριο Α.....	136

Σχήμα 4-7: Ωριαία διακύμανση παροχής λυμάτων για τα τέσσερα σενάρια.....	139
Σχήμα 4-8: Διακύμανση συγκέντρωσης του συνολικού οργανικού υλικού στην εκροή για το σενάριο B1.....	140
Σχήμα 4-9: Διακύμανση συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου στην εκροή για το σενάριο B1	140
Σχήμα 4-10: Διακύμανση συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή για το σενάριο B1	141
Σχήμα 4-11: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς το νιτρικό άζωτο για το σενάριο B1.....	141
Σχήμα 4-12: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B1	142
Σχήμα 4-13: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B1	142
Σχήμα 4-14: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B1	143
Σχήμα 4-15: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B1	143
Σχήμα 4-16 : Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B1.....	144
Σχήμα 4-17: Διακύμανση ημερήσιας παροχής.....	146
Σχήμα 4-18: Διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου.....	146
Σχήμα 4-19: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σενάρια B1 και B2.....	147
Σχήμα 4-20: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2.....	148
Σχήμα 4-21: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2	148
Σχήμα 4-22: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2	149
Σχήμα 4-23: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO ₂ » (NO,NH ₂ OH, N ₂ O,NO ₂ ,N ₂) για τα σενάρια B1 και B2	149

Σχήμα 4-24: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B1 και B2	150
Σχήμα 4-25: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B1 και B2.....	151
Σχήμα 4-26: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B1 και B2	151
Σχήμα 4-27: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B1 και B2.....	152
Σχήμα 4-28: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για τα σενάρια B1 και B2	152
Σχήμα 4-29: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B3	155
Σχήμα 4-30: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B3	156
Σχήμα 4-31: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B3 .	156
Σχήμα 4-32: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B3.....	157
Σχήμα 4-33: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B3	157
Σχήμα 4-34: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για το σενάριο B3.....	158
Σχήμα 4-35: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B3	158
Σχήμα 4-36: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για το σενάριο B3	159
Σχήμα 4-37 Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B3.....	159
Σχήμα 4-38: Διακύμανση ημερήσιας παροχής.....	161
Σχήμα 4-39: Ημερήσιες διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου.....	161
Σχήμα 4-40: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σενάρια B2 και B4.....	162
Σχήμα 4-41: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για τα σενάρια B2 και B4	163

Σχήμα 4-42: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4.....	164
Σχήμα 4-43: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4	164
Σχήμα 4-44: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4	165
Σχήμα 4-45: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO ₂ » (NO,NH ₂ OH, N ₂ O,NO ₂ ,N ₂) για τα σενάρια B2 και B4	165
Σχήμα 4-46 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B2 και B4	166
Σχήμα 4-47 : Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B2 και B4.....	167
Σχήμα 4-48: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B2 και B4	167
Σχήμα 4-49: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B2 και B4	168
Σχήμα 4-50: Διακύμανση ημερήσιας παροχής.....	170
Σχήμα 4-51: Διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου.....	170
Σχήμα 4-52: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σενάρια B2 και B5.....	171
Σχήμα 4-53: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5.....	172
Σχήμα 4-54: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5	172
Σχήμα 4-55: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5	173
Σχήμα 4-56: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO ₂ » (NO,NH ₂ OH, N ₂ O,NO ₂ ,N ₂) για τα σενάρια B2 και B5	173
Σχήμα 4-57: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B2 και B5	174

Σχήμα 4-58: Διακυμάνσεις παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B2 και B5	174
Σχήμα 4-59: : Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B2 και B5	175
Σχήμα 4-60: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B2 και B5	175
Σχήμα 4-61: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα σενάρια B2 και B5....	176
Σχήμα 4-62: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B6	178
Σχήμα 4-63: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για το σενάριο B6.....	179
Σχήμα 4-64: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο B6	179
Σχήμα 4-65 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B6	180
Σχήμα 4-66: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B6 .	181
Σχήμα 4-67: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO ₂ στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B6	181
Σχήμα 4-68: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B6	182
Σχήμα 4-69: Διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το σενάριο B6	182
Σχήμα 4-70: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B6	183
Σχήμα 4-71 : Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα για το σενάριο B6....	183
Σχήμα 4-72: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B6.....	184
Σχήμα 4-73: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B7	186
Σχήμα 4-74: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης του οργανικού υλικού στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής.....	187

Σχήμα 4-75: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για το σενάριο B7.....	187
Σχήμα 4-76: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής	188
Σχήμα 4-77: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο B7	189
Σχήμα 4-78: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής	189
Σχήμα 4-79 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B7	190
Σχήμα 4-80: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B7 .	190
Σχήμα 4-81: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B7	191
Σχήμα 4-82: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της παραγόμενης ποσότητας υποξειδίου του αζώτου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής	192
Σχήμα 4-83: Διακυμάνσεις των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του σενάριο B7	192
Σχήμα 4-84: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της παραγόμενης ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής	193
Σχήμα 4-85: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B7	194
Σχήμα 4-86: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής.....	194
Σχήμα 4-87: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα για το σενάριο B7	194
Σχήμα 4-88: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B7.....	195
Σχήμα 4-89: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B7.....	195
Σχήμα 4-90: Σύγκριση των μεταβολών της μέσης συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου και του μέσου παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου κατά την μεταβολή του θc	196
Σχήμα 4-92: Συνθετική χρονοσειρά παροχής εισόδου	200

Σχήμα 4-93: Συνθετική χρονοσειρά του ολικού αζώτου εισόδου	200
Σχήμα 4-94: Συνθετική χρονοσειρά του οργανικού υλικού εισόδου	201
Σχήμα 4-95: Διάγραμμα διασποράς της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στην εκροή σε σχέση με την παροχή εισερχόμενων λυμάτων στο σύστημα	205
Σχήμα 4-96: Διάγραμμα διασποράς του οργανικού υλικού στην εκροή σε σχέση με την μάζα οργανικού υλικού που εισέρχεται στο σύστημα	206
Σχήμα 4-97: Διάγραμμα διασποράς του απαιτούμενου οξυγόνου σε σχέση με την μάζα αζώτου που εισέρχεται στο σύστημα	207
Σχήμα 4-98: Διάγραμμα διασποράς της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών σε σχέση με την θερμοκρασία των λυμάτων.....	207
Σχήμα 4-99: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ ολικού αζώτου και του νιτρικού αζώτου στην εκροή	208
Σχήμα 4-100: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ ολικού αζώτου εκροής και των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή.....	208
Σχήμα 4-101: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου	210
Σχήμα 4-102: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του απαιτούμενου οξυγόνου και της καταναλισκόμενης ενέργειας.....	210
Σχήμα 4-103: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του υποξειδίου του αζώτου και της συγκέντρωσης νιτρώδους αζώτου στην ανοξική δεξαμενή	211

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των χαρακτηριστικών των εισερχόμενων λυμάτων στην απόδοση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Η μελέτη γίνεται μέσω ενός υφιστάμενου ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ΕΕΛ το οποίο χρησιμοποιεί μια ευρεία τροποποίηση του μοντέλου ενεργούς ιλύος ASM1 για την προσομοίωση του βιοαντιδραστήρα ούτως ώστε να είναι σε θέση να υπολογίζει τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου. Για την προσομοίωση της δεξαμενής τελικής καθίζησης χρησιμοποιεί μονοδιάστατο μοντέλο, το οποίο στηρίζεται στη θεωρία ζωνικής καθίζησης, ενώ για την προσομοίωση του αναερόβιου χωνευτή χρησιμοποιείται εμπειρικό μοντέλο βασισμένο στο ADM1. Στις υπόλοιπες μονάδες της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκαν ισοζύγια μάζας βάσει του βαθμού απόδοσης κάθε μονάδας. Το μοντέλο τροποποιήθηκε έτσι ώστε να είναι σε θέση να επεξεργάζεται δυναμικά δεδομένα εισόδου για όλα τα χαρακτηριστικά των εισερχομένων λυμάτων και η τελική του μορφή έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται τις διεργασίες κάθε μονάδας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, να υπολογίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων, αλλά και της παραγόμενης ιλύος, να εκτιμά τις απαιτήσεις οξυγόνου της βιολογικής βαθμίδας, την ενεργειακή κατανάλωση και την παραγωγή βιοαερίου, όπως επίσης τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και των συνιστωσών τους.

Κατά τις εφαρμογές του μοντέλου, διερευνάται η απόκριση του συστήματος σε διάφορα σενάρια δυναμικής φόρτισης κατά τα οποία μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων. Στη συνέχεια, ελέγχεται η απόκριση του συστήματος σε δυναμική φόρτιση με την χρήση συνθετικών χρονοσειρών εισόδου για την ανάλυση αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ως προς τα χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων. Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των εξεταζόμενων εφαρμογών είναι τα εξής:

- Η επίδραση του ημερήσιου υδρογραφήματος στις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών λυμάτων εκροής είναι μικρή.

- Η γνώση της ωριαίας μεταβολής των συγκεντρώσεων των εισερχομένων ρύπων σε συνδυασμό με την ωριαία διακύμανση της παροχής είναι απολύτως απαραίτητη για την ορθή εκτίμηση της απόκρισης της εγκατάστασης.
- Η γνώση των επιμέρους κλασμάτων του COD των λυμάτων είναι αναγκαία για την ακριβή εκτίμηση της απόδοσης μίας ΕΕΛ, καθώς αποδείχτηκε πως η είσοδος λυμάτων με μεγάλο εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό φορτίο βελτίωσε την απονιτροποίηση.
- Η εισροή μη τυπικής σύστασης αστικών λυμάτων οδηγεί σε άμεση αύξηση της ζήτησης οξυγόνου και συνεπώς την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης.
- Η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του ανάμικτου υγρού οδηγεί σε επιδείνωση της ποιότητας εκροής η οποία εξαρτάται από τον ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας, την δυναμικότητα της ΕΕΛ και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της.
- Για μικρές τιμές του χρόνου παραμονής των στερεών το μεγαλύτερο ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου αποβάλλεται στην εκροή και οι εκπομπές του N₂O είναι πολύ μικρές.
- Η εφαρμογή συνθετικών χρονοσειρών για την ανάλυση της αβεβαιότητας που προκαλούν τα χαρακτηριστικά των λυμάτων επαλήθευσε την εξάρτηση της παραγωγής εκπομπών υποξειδίου του αζώτου από το ρυθμό παραγωγής νιτρωδών σε ανοξικές συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά

Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης, ASM1, καταναλώσεις οξυγόνου, καταναλώσεις ενέργειας, υποξείδιο του αζώτου, εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, δυναμική φόρτιση, χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων λυμάτων, συνθετικές χρονοσειρές, ανάλυση αβεβαιότητας

Abstract

The purpose of this thesis is to study the effect of incoming sewage characteristics on the performance of wastewater treatment plants. The study is carried out through an existing integrated WWTP simulation model that uses a broad modification of the active sludge model ASM1 to simulate the bioreactor so as to be able to calculate nitrogen oxide emissions. To simulate the final sedimentation tank uses a one-dimensional model, which is based on the general flux theory for zone settling, while an experimental model based on ADM1 is used to simulate the anaerobic digester. The remaining units of the plant used mass balances based on the efficiency of each unit.

The model has been modified to be able to process dynamic input data for all the characteristics of the incoming sewage and its final form has the ability to process the processes of each unit of a sewage treatment plant, calculate the quality characteristics of the treated sewage and also of the sludge produced, to assess the oxygen demands of the biologic grade, energy consumption and biogas production as well as greenhouse gas emissions and all of their components.

In model applications, the system's response to various dynamic loading scenarios that alter the characteristics of the incoming sewage is investigated. Next, the system's response to dynamic loading is tested using synthetic timeseries as input to analyze the uncertainty of the model results in terms of the characteristics of the untreated sewage.

The main conclusions drawn from the evaluation of the applications considered are:

- The effect of the daily hydrograph on the average daily concentrations of quality characteristics is small.
- Knowledge of hourly variation of inbound pollutant concentration in combination with hourly fluctuation of flow is absolutely essential to properly assess plant response.
- Knowledge of the individual COD fractions of wastewater is necessary to accurately evaluate the performance of an WWTP, as it has been demonstrated

that wastewater input with high biodegradable organic load improved denitrification.

- The inflow of non-standard urban wastewater leads to an immediate increase in the demand for oxygen in biological reactors and consequently an increase in energy consumption.
- The gradual decrease in temperature of the mixing liquid leads to a deterioration of the outflow quality which depends on the temperature reduction rate, the capacity of the WTP and its operating characteristics.
- For low values of solids residence time most of the ammonium nitrogen is discharged into the effluent and the N₂O emissions are very small.
- The application of synthetic time series to analyze the uncertainty caused by the characteristics of sewage has verified the dependence of nitrogen oxide emissions production on the rate of nitrite production under anoxic conditions.

Keywords

Wastewater treatment plants, mathematical simulation models, ASM1, oxygen consumption, energy consumption, nitrogen oxide, greenhouse gas emissions, dynamic charge, sewage characteristics, synthetic timeseries, uncertainty analysis

1 Εισαγωγή

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι πολύπλοκα συστήματα τα οποία αποτελούνται από ένα μεγάλο εύρος μονάδων και συστατικών και υπόκεινται σε μεγάλες διαταραχές των παροχών και των φορτίων που δέχονται, καθώς και σε αβεβαιότητες σχετικά με τη σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων. Λόγω της ανάγκης για την παρακολούθηση αλλά και την βελτιστοποίηση των συστημάτων αυτών, δημιουργήθηκαν κατά καιρούς μαθηματικά μοντέλα για την προσομοίωση των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης αλλά και ολοκληρωμένα συστήματα προσομοίωσης της εγκατάστασης, τα οποία συνδέουν επιμέρους υπομοντέλα ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη των χαρακτηριστικών των λυμάτων στην απόδοση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας με την χρήση ενός ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης που έχει αναπτυχθεί στο εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας και το οποίο θα έχει την ικανότητα να επεξεργάζεται τις διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των εισερχόμενων λυμάτων και να υπολογίζει αναλυτικά τις συγκεντρώσεις των συστατικών, την κατανάλωση της ενέργειας αλλά και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των κύριων μοντέλων ενεργού ιλύος και των ολοκληρωμένων μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί για την προσομοίωση λειτουργίας μονάδων της εγκατάστασης και επιπρόσθετα δίνεται έμφαση στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου μέσω του κύκλου του αζώτου.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά το μαθηματικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας της εγκατάστασης, όπου καταγράφονται οι εξισώσεις με μεταβολής των συγκεντρώσεων κάθε συστατικού των λυμάτων για τις επιμέρους μονάδες του συστήματος. Επίσης, καταγράφονται οι σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται η παραγωγή βιοαερίου, οι καταναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας, καθώς και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εφαρμογών που διενεργήθηκαν με το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε. Συγκεκριμένα, διερευνάται η επίδραση των διακυμάνσεων των χαρακτηριστικών των εισερχόμενων λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα με την χρήση συνθετικών χρονοσειρών.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 καταγράφονται τα κυριότερα συμπεράσματα, που προέκυψαν από τις εφαρμογές που εξετάστηκαν.

2 Συστήματα προσομοίωσης λειτουργίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.)

2.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση της λειτουργίας μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων απαιτεί την προσομοίωση των επιμέρους μονάδων που την απαρτίζουν και ως εκ τούτου συμπεριλαμβάνει διεργασίες όπως η οξείδωση του άνθρακα, η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση. Αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι πρέπει να καλύπτει ένα μεγάλο αριθμό συστατικών όπως και τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα τους και να γίνεται η επιλογή των καταλλήλων κινητικών και στοιχειομετρικών εκφράσεων για την κάθε διεργασία. Βάση αυτών έχουν αναπτυχθεί τα μοντέλα ενεργού ιλύος και μοντέλα καθίζησης, τα οποία αποτελούν μοντέλα προσομοίωσης των επιμέρους μονάδων ενός συστήματος ενεργού ιλύος, όπως επίσης και τα μοντέλα ολοκληρωμένης προσομοίωσης.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται συνοπτική περιγραφή των πιο ευρέως διαδεδομένων μοντέλων και στην συνέχεια παρουσιάζονται υπομοντέλα που αφορούν τον υπολογισμό των εκπομπών αερίου του υποξειδίου του αζώτου και στοχεύουν στον λεπτομερή υπολογισμό των εκπομπών θερμοκηπίου.

2.2 Μοντέλα Ενεργού Ιλύος

2.2.1 Μοντέλο ενεργού ιλύος No.1-ASM1

2.2.1.1 Εισαγωγή

Στο συχνό πρόβλημα της σωστής περιγραφής των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα συστατικά του συστήματος, την λύση παρουσίασε η ομάδα της IAWQ το 1987 με την δημοσίευση του γνωστού σήμερα μοντέλου ως ASM1 (Active Sludge Model No1). Το μοντέλο αυτό που παρουσιάστηκε δεν ήταν μόνο ένα πρότυπο, αλλά και μια κατευθυντήρια γραμμή για τον χαρακτηρισμό των λυμάτων και την ανάπτυξη νέων μοντέλων προσομοίωσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην συγκεκριμένη σημειογραφία η

οποία παρουσιάστηκε μαζί με το ASM1 δημιουργώντας έτσι μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας στον τομέα της μοντελοποίησης των ΕΕΛ.

2.2.1.2 Μεταβλητές Μοντέλου

Συμφώνα και με την ονοματολογία της IAWQ, τα σωματιδιακά στοιχεία θα συμβολίζονται με (X), ενώ τα διαλυτά στοιχεία με (S). Επίσης γίνεται η χρήση συγκεκριμένων δεικτών για τον καθορισμό των κύριων συστατικών: (B) για την βιομάζα, (s) για την τροφή και (o) για το οξυγόνο.

Συστατικά του COD στο ASM1

Η οργανική ύλη των λυμάτων, η οποία μετράται σε μονάδες COD στο μοντέλο, μπορεί να χωριστεί σε κατηγορίες βάση της βιοδιασπασιμότητας της οι οποίες παρουσιάζονται πιο κάτω.

Το Βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Εύκολα βιοδιασπασίμη οργανική ύλη (S_s): Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών είτε σε αερόβιες είτε σε ανοξικές συνθήκες. Παράγεται κατά την υδρόλυση των οργανικών που βρίσκονται στη βιοκροκίδα.
- Αργά βιοδιασπασίμη οργανική ύλη (X_s): Αποτελείται από σύνθετα μόρια και δεν μπορεί με την μορφή αυτή να εισέλθει στο κύτταρο. Προσκολλάτε εξωτερικά σε αυτό όπου διασπάται και μετατρέπεται σε τροφή για ετερότροφους μικροοργανισμούς. Έτσι καταναλώνεται κατά την υδρόλυση των παγιδευμένων οργανικών και παράγει εύκολα βιοδιασπασίμη οργανική ύλη (S_s), ενώ παράγεται όταν φθείρονται οι μικροοργανισμοί (βιομάζα).

Το Μη-Βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

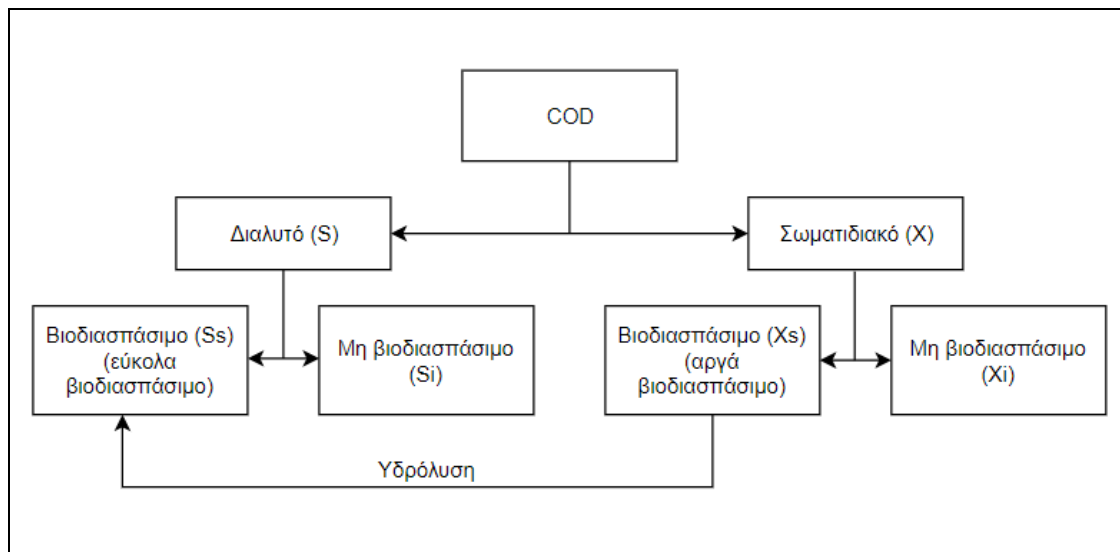
- Διαλυμένη οργανική ύλη (S_i): Με όποια συγκέντρωση μπαίνει στο σύστημα με την ίδια βγαίνει. Ούτε καταναλώνεται ούτε παράγεται στο παρόν σύστημα. Αποτελεί παρόλα αυτά μέρος του συνολικού COD στην έξοδο.

- Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη (X_i): Είναι μέρος των αιωρούμενων πτητικών στερεών και απομακρύνεται από το σύστημα ως μέρος της απομακρυνθείσας ύλης.
- Σωματιδιακό προϊόν λόγω της φθοράς των μικροοργανισμών (X_p)

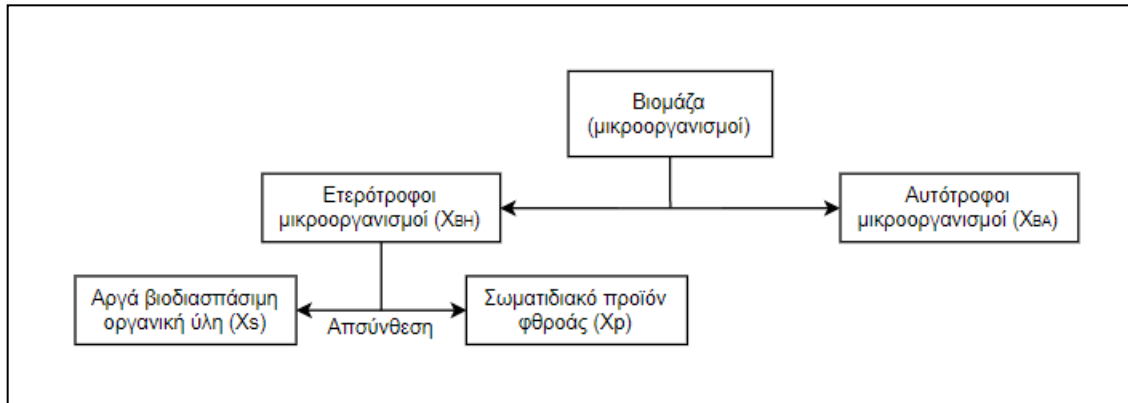
Μέρος της οργανικής ύλης αποτελεί και η βιομάζα η οποία χωρίζεται σε:

- Ετεροτροφική βιομάζα (X_{BH}): Παράγεται κατά τις ανοξικές και αερόβιες συνθήκες με κατανάλωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (S_s) και φθείρεται κατά την αποσύνθεση.
- Αυτοτροφική βιομάζα (X_{BA}): Παράγεται σε αερόβιες συνθήκες και καταστρέφεται στην αποσύνθεση.

Η συνολική οργανική ύλη του συστήματος αποτελεί το άθροισμα των πιο πάνω μεταβλητών. Δηλαδή : $COD_{tot} = S_s + X_s + S_i + X_i + X_{BH} + X_{BA} + X_p$



Σχήμα 2-1: Συστατικά του COD στο ASM1



Σχήμα 2-2: Συστατικά της βιομάζας στο ASM1

Συστατικά του Αζώτου στο ASM1

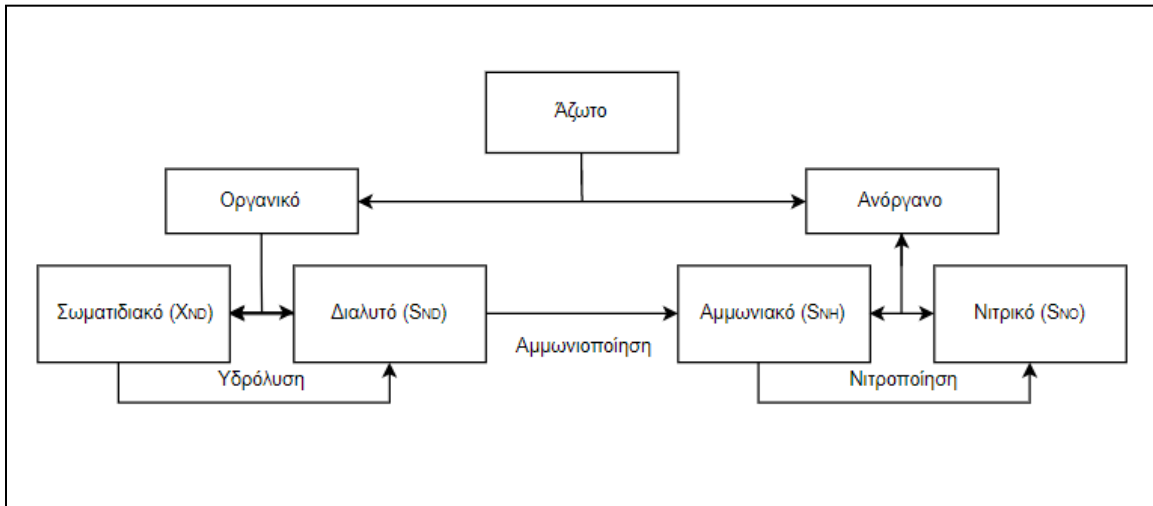
Όσον αφορά το άζωτο χωρίζεται, και αυτό, σε βιοδιασπάσιμο και μη-βιοδιασπάσιμο με περαιτέρω υποδιαιρέσεις οι οποίες αναλύονται πιο κάτω.

Η βιοδιασπάσιμη αζωτούχα ύλη χωρίζεται σε:

- Διαλυμένο οργανικό άζωτο (S_{ND}): Καταναλώνεται για τη δημιουργία αμμωνιακού αζώτου και παράγεται από την υδρόλυση οργανικού αζώτου.
- Σωματιδιακό οργανικό άζωτο (X_{ND}): Αντιδρά με ετεροτροφικά βακτηρίδια και μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}) (Αμμωνιοποίηση).
- Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}): Παράγεται κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου. Χρησιμοποιείται ως διαθέσιμη πηγή για την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και ως πηγή ενέργειας για την ανάπτυξη των αυτοτροφικών.

Στην μη-βιοδιασπάσιμη αζωτούχα ύλη, το σωματιδιακό τμήμα είναι αυτό που σχετίζεται με το αντίστοιχο μη-βιοδιασπάσιμο σωματιδιακό COD ενώ το διαλυμένο τμήμα είναι συχνά αμελητέο. Στο μοντέλο αυτό στην κατηγορία αυτή ανήκει το νιτρικό άζωτο:

- Νιτρικό άζωτο (S_{NO}): Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και παράγεται κατά την οξείδωση της αμμωνίας για να γίνει ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών



Σχήμα 2-3: Συστατικά του αζώτου στο ASM1

Υπόλοιπα συστατικά στο ASM1

Τα υπόλοιπα συστατικά που υπάρχουν στο παρόν μοντέλο είναι :

- Οξυγόνο (S_O): Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των αυτοτροφικών και ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες.
- Αλκαλικότητα (S_{ALK}): Εντοπίζει κυρίως τις μεταβολές pH των λυμάτων που εμφανίζονται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών καθώς και κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου. Μεγαλύτερο όμως πρόβλημα στην αλκαλικότητα προκαλεί η νιτροποίηση που μειώνει αρκετά την αλκαλικότητα. Για τη αποφευχθεί η περαιτέρω μείωση μπορεί να προστεθεί οξείδιο του ασβεστίου.

Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι προαναφερθείσες μεταβλητές του μοντέλου.

Πίνακας 2-1: Συστατικά του ASM1

	Συστατικά	Ερμηνεία
1	SS	Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη
2	XS	Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη
3	SI	Διαλυμένη οργανική ύλη
4	XI	Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη
5	XP	Σωματιδιακό προϊόν λόγω της φθοράς των μικροοργανισμών
6	XBH	Ετεροτροφική βιομάζα
7	XBA	Αυτοτροφική βιομάζα
8	SND	Διαλυμένο οργανικό άζωτο
9	XND	Σωματιδιακό οργανικό άζωτο
10	SNH	Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο
11	SNO	Νιτρικό άζωτο
12	SO	Διαλυμένο Οξυγόνο
13	SALK	Αλκαλικότητα

2.2.1.3 Διεργασίες Μοντέλου

Το μοντέλο ASM1 περιγράφει 4 βασικές διεργασίες : την ανάπτυξη της βιομάζας, την αποσύνθεση της βιομάζας, την υδρόλυση των σωματιδιακών οργανικών της βιοκροκίδας και την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου. Αυτές οι τέσσερις βασικές διεργασίες μαζί με τις υπόλοιπες διεργασίες του μοντέλου περιγράφονται αναλυτικά πιο κάτω και συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

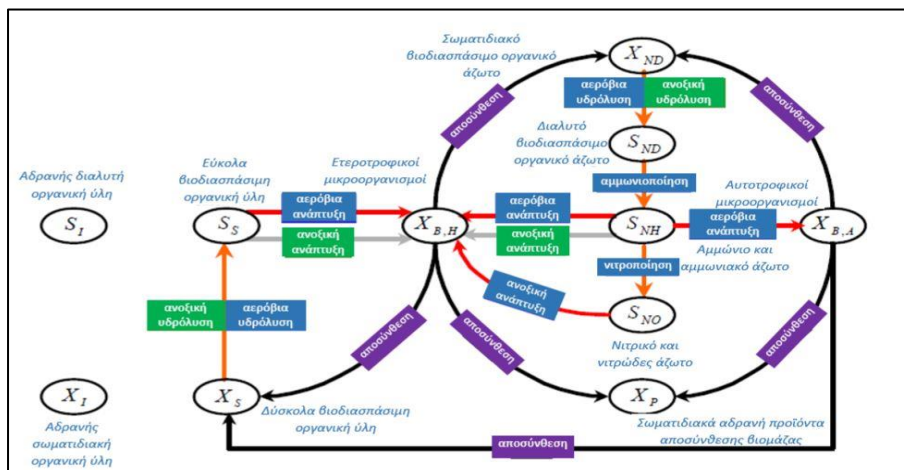
- Αερόβια ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας: Οι ετερότροφοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν την εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή (Ss) και παράγουν την ετεροτροφική βιομάζα (XBH). Εκτός από την συγκέντρωση της τροφής (Ss), η ταχύτητα της κινητικής καθορίζεται και από την συγκέντρωση του οξυγόνου (So).

- Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας : Οι ετερότροφοι μικροοργανισμοί, όπως και πιο πάνω, καταναλώνουν την εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή (S_s) και παράγουν την ετεροτροφική βιομάζα (X_{BH}). Οι συγκεντρώσεις των (S_s) και (S_{NO}) καθορίζουν την ταχύτητα των κινητικών ενώ η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου (S_O) αναστέλλει τη διεργασία. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του “διακόπτη” στην εξίσωση.
- Αερόβια ανάπτυξη αυτοτροφικής βιομάζας : Καταναλώνεται αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}) από τους νιτροποιητές και παράγεται αυτοτροφική βιομάζα (X_{BH}). Οι συγκεντρώσεις του (S_{NH}) και του διαλυμένου οξυγόνου (S_O) καθορίζουν την ταχύτητα των κινητικών και το pH των λυμάτων επηρεάζει τη διεργασία.
- Αποσύνθεση ετεροτροφικής βιομάζας: Η φθορά των ετερότροφων μικροοργανισμών (X_{BH}) οδηγεί στην παραγωγή βιοδιασπάσιμων (X_S) και αδρανών (X_I) σωματιδιακών προϊόντων.
- Αποσύνθεση αυτοτροφικής βιομάζας: Η φθορά των αυτότροφων μικροοργανισμών οδηγεί στην παραγωγή βιοδιασπάσιμων (X_S), και αδρανών σωματιδιακών προϊόντων (X_I).
- Αμμωνιοποίηση διαλυμένου οργανικού αζώτου (S_{ND}): Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται παράλληλα με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποσύνθεση της βιομάζας. Το διαλυμένο οργανικό άζωτο (S_{ND}) μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}).
- Υδρόλυση αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης: Μετατροπή της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (X_S) σε εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_S) η οποία προσλαμβάνεται απ’ τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξή τους.
- Υδρόλυση παγιδευμένου οργανικού αζώτου: Μετατροπή του σωματιδιακού οργανικού αζώτου (X_{ND}) σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}).

2.2.1.4 Περιορισμοί Μοντέλου

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου τέθηκε ένας αριθμός παραδοχών και περιορισμών, ώστε το μοντέλο να γίνει πιο εύχρηστο. Οι σημαντικότερες παραδοχές είναι:

- Το σύστημα λειτουργεί σε σταθερή θερμοκρασία.
- Το pH είναι σταθερό και σχεδόν ουδέτερο. Πιθανές αλλαγές και ρύθμισή του επιτυγχάνεται με την μεταβλητή της αλκαλικότητας.
- Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου παραμένουν σταθερές, ανεξάρτητα από τη φύση του οργανικού υλικού. Άρα τυχόν μεταβολές στα χαρακτηριστικά των λυμάτων δεν αποτυπώνονται στο μοντέλο.
- Δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι επιδράσεις του περιορισμού των θρεπτικών στην απομάκρυνση της οργανικής τροφής και στην ανάπτυξη των κυττάρων και ως εκ τούτου πρέπει να ελέγχεται η παρουσία ικανής ποσότητας ανόργανων συστατικών για την επίτευξη της επιθυμητής ανάπτυξης.
- Οι συντελεστές της απονιτροποίησης (ng) και (nh) είναι σταθεροί για όλα τα λύματα.
- Η ετεροτροφική βιομάζα δεν επιδέχεται αλλαγές με την πάροδο του χρόνου.
- Η παγίδευση του σωματιδιακού οργανικού υλικού από τη βιομάζα πραγματοποιείται στιγμιαία.
- Το είδος του αποδέκτη ηλεκτρονίων δεν επηρεάζει την αποσύνθεση των μικροοργανισμών.



Σχήμα 2-4 : Σχηματοποίηση διεργασιών ASM1 (Alex et al., 2008)

Πίνακας 2-2: Διεργασίες και στοιχειομετρία μοντέλου ASM1 (IWA 2000)

Μεταβλητές i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ρυθμός Διεργασιών ρ_i
Διεργασίες j	S_i	S_o	X_i	X_s	X_{BH}	X_{BA}	X_p	S_o	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	
1. Αερόβια Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH}$
2. Ανοξική Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{2.86 \cdot Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86 \cdot Y_H} - (i_{XB}/14)$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH} n_g$
3. Αερόβια Ανάπτυξη Αυτοτροφικών						1		$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$				$\mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right) X_{BA}$
4. Αποσύνθεση Ετεροτροφικών				$1-f_p$	-1		f_p					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_H X_{BH}$
5. Αποσύνθεση Αυτοτροφικών				$1-f_p$		-1	f_p					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_A X_{BA}$
6. Αμμωνιοποίηση Διαλυμένου Οργανικού Αζώτου										1	-1		$\frac{1}{14}$	$K_S S_{ND} X_{BH}$
7. Υδρόλυση Παγιδευμένων Οργανικών		1		-1										$K_h \left(\frac{X_S/X_{BH}}{K_X + (X_S/X_{BH})} \right) \left[\left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + n_h \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{BH}$
8. Υδρόλυση Παγιδευμένου Οργανικού Αζώτου											1	-1		$\rho_7 (X_{ND}/X_S)$
Παρατηρούμενος Ρυθμός Αντίδρασης	$r_i = \sum V_{ij} \rho_j$													

2.2.2 Μοντέλο ενεργού ιλύος No.2-ASM2

2.2.2.1 Εισαγωγή

Η ύπαρξη στα κριτήρια εκροής τόσο του αζώτου όσο και του φωσφόρου, δημιούργησε την έντονη ανάγκη για την μοντελοποίηση των βιολογικών διεργασιών της απομάκρυνσης του φωσφόρου. Έτσι το 1995, ως επέκταση του Μοντέλου ενεργού ιλύος No.1 (ASM1), δημοσιεύεται το Μοντέλο ενεργού ιλύος No.2 (ASM2), περιλαμβάνοντας ένα μεγαλύτερο εύρος μεταβλητών και βιολογικών διεργασιών ούτως ώστε να μπορούν να περιγραφούν ταυτόχρονα η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου και να γίνεται ο υπολογισμός του COD.

Η κύρια διαφορά του ASM2 από το ASM1, είναι ότι αποτυπώνει την εσωτερική δομή των κυττάρων της βιομάζας και ως εκ τούτου απαιτούνται περισσότερο από μία μεταβλητή για να περιγραφεί η συγκέντρωση της. Επιπρόσθετα, στο ASM2 περιλαμβάνονται τα πολυφωσφορικά, ένα κλάσμα της ενεργούς ιλύος το οποίο δεν μπορεί υπολογιστεί σε όρους COD και έχει πρωταρχική σημασία για την απόδοση του συστήματος ενώ το ASM1 είναι βασισμένο εξ' ολοκλήρου στο COD για τον υπολογισμό τόσο της σωματιδιακής οργανικής ύλης όσο και της συνολικής συγκέντρωσης ενεργού ιλύος. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται στο μοντέλο ASM2 η χρήση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), των οποίων η χρήση επιτρέπει να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς τα ανόργανα στερεά που φτάνουν στην είσοδο της ΕΕΛ και δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί η παραγωγή τους μέσω της χημικής κατακρήμνισης του φωσφόρου.

2.2.2.2 Μεταβλητές Μοντέλου

Αντίστοιχα με το ASM1, οι μεταβλητές του ASM2 κατατάσσονται στα διαλυτά στοιχεία (S) και τα σωματιδιακά (X), σύμφωνα πάντα με την ονοματολογία της IAQW .

Συστατικά του COD στο ASM2

Η οργανική ύλη των λυμάτων, η οποία μετράται σε μονάδες COD στο μοντέλο, μπορεί να χωριστεί στις κατηγορίες: βιοδιασπάσιμο COD, μη βιοδιασπάσιμο COD και βιομάζα.

Στο μοντέλο αυτό το βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης (S_A): Στο μοντέλο αυτό θεωρούνται ως οξικό άλας.
- Διαλυτή ζυμώσιμη οργανική ύλη (S_F): Χρησιμοποιείται από τους ετερότροφους μικροοργανισμούς γιατί διασπάται εύκολα και γίνεται άμεση διαθέσιμη τροφή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σαν υπόστρωμα κατά την ζύμωση.
- Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_S): Απαιτεί διάσπαση μέσω ενζύμων λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους της πριν την απορρόφησή της απ' τους μικροοργανισμούς. Τα προϊόντα από την διάσπαση της μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατά την ζύμωση.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο η εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή (S_s) αντικαθίσταται από το άθροισμα των S_A και S_F .

Το Μη-βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Διαλυμένη οργανική ύλη (S_I): Με όποια συγκέντρωση μπαίνει στο σύστημα με την ίδια βγαίνει. Ούτε καταναλώνεται ούτε παράγεται στο παρόν σύστημα.
- Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη (X_I): Είναι μέρος των αιωρούμενων πτητικών στερεών και απομακρύνεται από το σύστημα ως μέρος της απομακρυνθείσας ιλύος. Στο μοντέλο αυτό περιλαμβάνουν και τα σωματιδιακά προϊόντα λόγω φθοράς των μικροοργανισμών (X_P).

Και η βιομάζα η οποία χωρίζεται σε:

- Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί (X_H): Παράγονται κατά τις ανοξικές και αερόβιες συνθήκες, με κατανάλωση SS , και φθείρονται κατά την αποσύνθεση. Οι ετεροτροφικοί αυτοί μικροοργανισμοί είναι επίσης ενεργοί κάτω από αναερόβιες συνθήκες και είναι υπεύθυνοι για την υδρόλυση του σωματιδιακού υποστρώματος.
- Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί (X_{AUT}): Είναι οι νιτροποιητές στους οποίους οφείλεται η νιτροποίηση και η οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό χωρίς ενδιάμεσες διαδικασίες.

- Πολυφωσφορικά βακτήρια (ΧΡΑΟ): Αποτελούν όλες τις κατηγορίες των μικροοργανισμών οι οποίες μπορούν να αφομοιώνουν περισσότερα πολυφωσφορικά στην μάζα τους, έχουν δηλαδή εσωτερική αποθηκευτική ικανότητα. Στην συγκέντρωση των (ΧΡΑΟ) δεν συμπεριλαμβάνονται τα προϊόντα εσωτερικής αποθήκευσης των κυττάρων (ΧΡΡ) και ΧΡΗΑ, παρά μόνο η ‘πραγματική’ βιομάζα.

Συστατικά του Αζώτου στο ASM2

Όσον αφορά το άζωτο χωρίζεται, και αυτό, σε βιοδιασπάσιμο και μη-βιοδιασπάσιμο με περαιτέρω υποδιαιρέσεις οι οποίες αναλύονται πιο κάτω.

Η Βιοδιασπάσιμη αζωτούχα ύλη χωρίζεται σε:

- Αμμωνιακό άζωτο (S_{NH4}): Βάση του μοντέλου υπάρχει μόνο στην μορφή των αμμωνιακών ιόντων NH₄⁺ ώστε να υπάρχει ισορροπία στα ηλεκτρικά φορτία.
- Διαλυμένο νιτρικό άζωτο (S_{NO3}): Βάση του μοντέλου υπάρχει μόνο στην μορφή των Νιτρικών ιόντων, για όλους τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς .
- Διαλυμένο αέριο άζωτο (S_{N2}): Είναι το μοναδικό προϊόν της απονιτροποίησης και υπόκειται σε διεργασίες ανταλλαγής αερίων.

Υπόλοιπα συστατικά στο ASM2

- Διαλυμένο οξυγόνο (S_{O2}): Συμμετέχει σε ανταλλαγές αερίων όπως και το αέριο άζωτο.
- Αλκαλικότητα (S_{ALK}): Εντοπίζει κυρίως τις μεταβολές pH των λυμάτων που εμφανίζονται και είναι πιθανόν να επηρεάσουν ή να σταματήσουν ορισμένες διεργασίες. Θεωρείται ότι είναι το διανθρακικό ιόν HCO₃ για όλες τις στοιχειομετρικούς υπολογισμούς.
- Ανόργανος διαλυτός φώσφορος (S_{PO4}): Για τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου έχει ενσωματωθεί η μεταβλητή του ανόργανου διαλυτού φωσφόρου (S_{PO4}) και εμφανίζεται με την μορφή των ορθοφωσφορικών.

- Υδροξείδια μετάλλων (X_{MeOH}): Προκαλεί την χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου και έχει την μορφή του υδροξειδίου του σιδήρου $Fe(OH)_3$ τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς.
- Φωσφορικά μέταλλα (X_{MeP}): Είναι προϊόν της χημικής αντίδρασης κατά την χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου και έχει την μορφή του $FePO_4$.
- Εσωκυτταρικά αποθηκευμένα προϊόντα πολυφωσφορικών βακτηριδίων X_{PHA} : Περιλαμβάνουν τα πολυ-υδροξυ-αλκανοειδή (PHA), γλυκογόνο κ.α και εμφανίζεται σε συνδυασμό με τα X_{PAO} παρόλο που δεν περιλαμβάνονται στην συγκέντρωσή τους. Είναι ένα απαραίτητο συστατικό για τη δημιουργία του μοντέλου. Για να προσδιοριστεί έστω και έμμεσα από το COD πρέπει να ικανοποιείται μια συνθήκη μάζας. Θεωρείται ότι το PHA έχει τη χημική δομή $(C_4H_6O_2)_n$ για λόγους στοιχειομετρίας.
- Πολυφωσφορικά (X_{PP}): Τα πολυφωσφορικά είναι κυτταρικά εσωτερικά ανόργανα προϊόν αποθήκευσης του των πολυφωσφορικών βακτηριδίων και εμφανίζονται σε συνδυασμό με τα (X_{PAO}) παρόλο που δεν περιλαμβάνονται στην συγκέντρωσή τους. Αποτελούν μέρος το σωματιδιακού φωσφόρου και θεωρείται ότι έχουν τη χημική σύσταση $(K_{0.33}Mg_{0.33}PO_3)_n$.
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (X_{TSS}): Η παράμετρος αυτή εισάγεται στο μοντέλο με σκοπό να υπολογιστεί η συγκέντρωση τους μέσω της στοιχειομετρίας. Η πρόβλεψη των TSS είναι σημαντική διότι η απομάκρυνση και κατακρήμνιση του φωσφόρου δημιουργεί ανόργανα στερεά.

Στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι προαναφερθείσες μεταβλητές του μοντέλου.

Πίνακας 2-3: Συστατικά του ASM2

	Συστατικά	Ερμηνεία
1	S _A	Διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης
2	S _F	Διαλυτή ζυμώσιμη οργανική ύλη
3	X _I	Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (τροφή)
4	S _I	Διαλυμένη οργανική ύλη
5	X _I	Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη
6	X _H	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί
7	X _{AUT}	Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί
8	X _{PAO}	Πολυφωσφορικά βακτήρια
9	S _{NH4}	Αμμωνιακό άζωτο
10	S _{NO3}	Διαλυμένο νιτρικό άζωτο
11	S _{N2}	Διαλυμένο αέριο άζωτο
12	S _O	Διαλυμένο Οξυγόνο
13	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
14	S _{PO4}	Ανόργανος διαλυτός φώσφορος
15	X _{MeOH}	Υδροξείδια μετάλλων
16	X _{MeP}	Φωσφορικά μέταλλα
17	X _{PHA}	Εσωκυτταρικά αποθηκευμένα προϊόντα πολυφωσφορικών
18	X _{PP}	Πολυφωσφορικά
19	X _{TSS}	Ολικά αιωρούμενα στερεά

2.2.2.3 Διεργασίες Μοντέλου

Οι συνολικές διεργασίες που περιγράφονται στο μοντέλο είναι 19 και χωρίζονται στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Υδρόλυση (Διεργασίες 1-3) : Μέσω της εξωκυτταρικής δράσης των ενζύμων γίνεται η διάσπαση της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης και η μετατροπή σε εύκολα

βιοδιασπάσιμη. Ο βαθμός υδρόλυσης εξαρτάται από τον διαθέσιμο αποδέκτη ηλεκτρονίων και γι' αυτό στο ASM2 διακρίνονται τρεις διεργασίες υδρόλυσης:

- Διεργασία 1 ή Αερόβια Υδρόλυση : Πραγματοποιείται σε αερόβιες συνθήκες με το οξυγόνο ως δείκτη ηλεκτρονίων. ($S_{O_2} > 0$)
- Διεργασία 2 ή Ανοξική Υδρόλυση: Πραγματοποιείται σε ανοξικές συνθήκες, δηλαδή σχεδόν μηδενική συγκέντρωση οξυγόνου με παρουσία νιτρικών. Αποτελεί πιο αργή διεργασία από την αερόβια υδρόλυση. ($S_{O_2} \approx 0$ και $S_{NO_3} > 0$)
- Διεργασία 3 ή Αναερόβια Υδρόλυση: Πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες, δηλαδή σχεδόν μηδενικές τιμές στις συγκεντρώσεις του οξυγόνου και των νιτρικών. ($S_{O_2} \approx 0$ και $S_{NO_3} \approx 0$)

Πίνακας 2-4 : Στοιχειομετρία των διεργασιών υδρόλυσης (IWA, 2000)

	Διεργασίες	S_F	S_{NH_4}	S_{PO_4}	S_I	S_{ALK}	X_S	X_{TSS}
1	Αερόβια υδρόλυση	$1 - f_{S_1}$	v_{1,NH_4}	v_{1,PO_4}	f_{S_1}	$v_{1,ALK}$	-1	$v_{1,TSS}$
2	Ανοξική υδρόλυση	$1 - f_{S_1}$	v_{2,NH_4}	v_{2,PO_4}	f_{S_1}	$v_{2,ALK}$	-1	$v_{2,TSS}$
3	Αναερόβια υδρόλυση	$1 - f_{S_1}$	v_{3,NH_4}	v_{3,PO_4}	f_{S_1}	$v_{3,ALK}$	-1	$v_{3,TSS}$

Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί (Διεργασίες 4-9):

- Διεργασίες 4 και 5 ή Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών: Πρόκειται για δύο παράλληλες διεργασίες που πραγματοποιούνται με κατανάλωση των S_F και S_A αντίστοιχα. Για τις δύο αυτές παράλληλες διεργασίες τίθενται συγκεκριμένοι ρυθμοί ανάπτυξης της βιομάζας οι οποίοι δεν μπορούν να αυξηθούν περαιτέρω παρά την συγκέντρωση των S_F και S_A . Κατά τις διεργασίες αυτές απαιτείται η παρουσία S_{O_2} ως αποδέκτη ηλεκτρονίων, S_{NH_4} και S_{PO_4} ως θρεπτικά συστατικά και παράγονται ολικά αιωρούμενα στερεά X_{TSS} .
- Διεργασίες 6 και 7 ή Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών: Πρόκειται για δύο παράλληλες διεργασίες που πραγματοποιούνται με

κατανάλωση των S_F και S_A αντίστοιχα. Για τις δύο αυτές παράλληλες διεργασίες τίθενται συγκεκριμένοι ρυθμοί ανάπτυξης της βιομάζας οι οποίοι δεν μπορούν να αυξηθούν περαιτέρω παρά την συγκέντρωση των S_F και S_A . Οι δύο ανοξικές διεργασίες λειτουργούν με το ίδιο τρόπο όπως οι αντίστοιχες αερόβιες αλλά απαιτείται η παρουσία S_{NO_3} ως αποδέκτη ηλεκτρονίων τα οποία απονιτροποιούνται σε αέριο άζωτο N_2 και παράγεται αλκαλικότητα. Επίσης, μέσω του 'διακόπτη', εν παρουσία του οξυγόνου οι διεργασίες αναστέλλονται.

- Διεργασία 8 ή Ζύμωση: Στις αναερόβιες συνθήκες, οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν το S_F σε S_A .
- Διεργασία 9 ή Αποσύνθεση: Πραγματοποιείται όπως και στο ASM1.

Πίνακας 2-5 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (IWA, 2000)

	Διεργασίες	S_{O_2}	S_F	S_A	S_{NO_3}	S_{N_2}	X_I	X_S	X_H
4	Αερόβια ανάπτυξη στο S_F	$1 - \frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1}{Y_H}$						1
5	Αερόβια ανάπτυξη στο S_A	$1 - \frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1}{Y_H}$					1
6	Ανοξική ανάπτυξη στο S_F	$1 - f_{s_1}$	$-\frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$	$\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$			1
7	Ανοξική ανάπτυξη στο S_A απονιτροποίηση			$-\frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$	$-\frac{1 - Y_H}{2.86 * Y_H}$			1
8	Ζύμωση		-1	1					
9	Αποσύνθεση						f_{x_2}	$1 - f_{x_2}$	-1

Πολυφωσφορικά βακτηρίδια (Διεργασίες 10-15) :

- Διεργασία 10 ή Αποθήκευση του X_{PHA} : Είναι ουσιαστικά η αποθήκευση των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) σε μορφή X_{PHA} και πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες χρησιμοποιώντας την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την υδρόλυση των πολυφωσφορίτων X_{PP} .
- Διεργασία 11 ή Αποθήκευση του X_{PP} : Είναι η αποθήκευση του διαλυτού φώσφορου στο εσωτερικό των κυττάρων των πολυφωσφορικών βακτηριδίων,

που πραγματοποιείται, σε αερόβιες συνθήκες, χρησιμοποιώντας την ενέργεια από την αναπνοή των X_{PHA} .

- Διεργασία 12 ή Αερόβια ανάπτυξη του X_{PAO} : Καθώς ο φώσφορος απελευθερώνεται συνεχώς από τη αποσύνθεση των X_{PP} , οι X_{PAO} καταναλώνουν τα S_{PO_4} ως θρεπτικό συστατικό για την παραγωγή βιομάζας. Η διεργασία, κατά το ASM2, λαμβάνει χώρα υποχρεωτικά σε αερόβιες συνθήκες.
- Διεργασία 13, 14, 15 ή Αποσύνθεση του X_{PAO} , X_{PP} και X_{PHA} : Είναι ο θάνατος ή η φθορά όλων των κλασμάτων του X_{PAO} και δεδομένου ότι υπολογίζονται ξεχωριστά, θεωρείται ότι γίνονται 3 διαφορετικές διεργασίες.

Πίνακας 2-6 : Στοιχειομετρία των διεργασιών των φωσφορικά συσσωρευόμενων οργανισμών (IWA, 2000)

	Διεργασίες	S_{O_2}	S_A	S_{PO_4}	X_I	X_S	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}
10	Αποθήκευση του X_{PHA}		-1	Y_{PO_4}				$-Y_{PO_4}$	1
11	Αποθήκευση του X_{PP}	$-Y_{PHA}$		-1				1	$-Y_{PHA}$
12	Αερόβια ανάπτυξη του X_{PAO}	$1 - \frac{1}{Y_H}$		$-i_{PBM}$			1		$-\frac{1}{Y_H}$
13	Αποσύνθεση X_{PAO}			$-v_{13,PO_4}$	f_{x_1}	$1 - f_{x_1}$	-1		
14	Αποσύνθεση X_{PP}			1				-1	
15	Αποσύνθεση X_{PHA}		1						-1

Νιτροποιητές (Διεργασίες 16-17) :

- Διεργασία 16 ή Ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών X_{AUT} : Η ανάπτυξη των νιτροποιητών πραγματοποιείται σε αερόβιες συνθήκες με κατανάλωση αμμωνιακού άζωτο S_{NH_4} ως θρεπτικό συστατικό και παραγωγή νιτρικών S_{NO_3} . Η διαφορά απ' το ASM1 είναι η πρόσληψη φωσφόρου απ' τη βιομάζα και άρα η λειτουργία του ως περιοριστικός παράγοντας.
- Διεργασία 17 ή Αποσύνθεση αυτοτροφικών μικροοργανισμών: Πραγματοποιείται όπως και στο ASM1

Πίνακας 2-7 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης και αποσύνθεσης των αυτοτροφικών μ/ών (IWA, 2000)

	Διεργασίες	S_{O_2}	S_{NH_4}	S_{NO_3}	S_{PO_4}	X_I	X_S	X_{AUT}
16	Αερόβια ανάπτυξη των X_{AUT}	$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$-\frac{i_{NBM}}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{PBM}$			1
17	Αποσύνθεση		v_{17,NH_4}		v_{17,PO_4}	f_{X_1}	$1 - f_{X_1}$	-1

Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου (Διεργασίες 18-19) :

- Διεργασία 18 και 19 ή Κατακρήμνιση και Επαναδιάλυση : Πρόκειται για δύο αντίστροφες μεταξύ τους διεργασίες που σε σταθερές συνθήκες βρίσκονται σε ισορροπία. Το φαινόμενο οφείλεται στην παρουσία μετάλλων στο σύστημα σε συνδυασμό με τις υψηλές συγκεντρώσεις των S_{PO_4} . Η σχέση που ορίζει τις διεργασίες είναι η εξής : $X_{MeOH} + S_{PO_4} = X_{MeP}$
Όπου: $X_{MeOH} = Fe(OH)_3$ και $X_{MeP} = FePO_4$

Πίνακας 2-8: : Στοιχειομετρία που περιγράφουν την ταυτόχρονη κατακρήμνιση και επαναδιάλυση του φωσφόρου (IWA, 2000)

	Διεργασίες	S_{PO_4}	S_{ALK}	X_{MeOH}	X_{MeP}	X_{TSS}
18	Κατακρήμνιση	-1	$v_{19,ALK}$	-3.45	4.87	1.42
19	Επαναδιάλυση	1	$v_{20,ALK}$	3.45	-4.87	-1.42

2.2.2.4 Περιορισμοί μοντέλου

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου ASM2 ισχύουν οι πλείστες παραδοχές και περιορισμοί του ASM1, με κάποιες από αυτές να έχουν επεκταθεί ώστε να εφαρμόζονται και στην βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Οι σημαντικότερες παραδοχές είναι:

- Εκτιμάται ότι τα προϊόντα ζύμωσης SA είναι το μοναδικό κομμάτι οργανικής ύλης που μπορούν να προσλάβουν οι πολυφωσφορικοί μικροοργανισμοί (PAOs).

- Τα PAOs μπορούν να αναπτυχθούν μόνο αερόβια με χρήση των αποθηκευμένων πολυ-υδροξυ-αλκανοειδών PHA, και όχι του SA άμεσα.
- Γίνεται η εκτίμηση ότι τα PAOs δεν έχουν απονιτροποιητικές ικανότητες.
- Θεωρείται ότι τα PHA αντιπροσωπεύουν όλη την οργανική ύλη που είναι αποθηκευμένη στα κύτταρα των PAOs, ωστόσο έχουν προταθεί και άλλες μορφές αποθηκευμένης οργανικής ύλης, όπως το γλυκογόνο και οι υδατάνθρακες.
- Το μοντέλο δεν περιλαμβάνει ξεχωριστό κλάσμα ετεροτροφικών που μπορεί να αποθηκεύσει PHA χωρίς έκλυση φωσφόρου.
- Οι ετεροτροφικοί που ορίζονται στο ASM2 εκτιμάται ότι έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται αερόβια, να απονιτροποιούν ανοξικά και να ζυμώνουν αναερόβια.

Επίσης, για να είναι χρήσιμα στην πράξη τα αποτελέσματα του μοντέλου έχουν τεθεί κάποιοι περιορισμοί, οι βασικότεροι από τους οποίους είναι:

- Το ASM2 έχει σχεδιασθεί για την επεξεργασία οικιακών υγρών αποβλήτων και όχι για βιομηχανικά απόβλητα.
- Προσομοιώνει διεργασίες στους βιοαντιδραστήρες και δεν ασχολείται με το διαχωρισμό στερεών στις δεξαμενές καθίζησης.
- Το pH των λυμάτων θα πρέπει να είναι σχεδόν ουδέτερο, με ένα επιθυμητό εύρος διακύμανσης να είναι μεταξύ 6.3 και 7.8.
- Η θερμοκρασία των λυμάτων θα πρέπει να κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 10-25°C.

Πίνακας 2-9 : Ρυθμοί διεργασιών του ASM2 (IWA, 2000)

Διεργασία	Ρυθμός διεργασίας ρ_i
Υδρόλυση	
1 Αερόβια Υδρόλυση	$K_h * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} * X_H$
2 Ανοξική Υδρόλυση	$K_h * n_{NO_3} * \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} * \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} * X_H$
3 Αναερόβια υδρόλυση	$K_h * n_{fe} * \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} * \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} * X_H$
Ετεροτροφικοί Μικροοργανισμοί	
4 Αερόβια ανάπτυξη στο S_F	$\mu_H * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_F}{S_F + K_F} * \frac{S_F}{S_F + S_A} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * X_H$
5 Αερόβια ανάπτυξη στο S_A	$\mu_H * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_A}{S_A + K_A} * \frac{S_A}{S_F + S_A} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * X_H$
6 Ανοξική ανάπτυξη στο S_F	$\mu_H * n_{NO_3} * \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_F}{S_F + K_F} * \frac{S_F}{S_F + S_A} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} * \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * X_H$
7 Ανοξική ανάπτυξη στο S_A απονιτροποίηση	$\mu_H * n_{NO_3} * \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_A}{S_A + K_A} * \frac{S_A}{S_F + S_A} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} * \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * X_H$
8 Ζύμωση	$q_{fe} * \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} * \frac{S_F}{S_F + K_{fe}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * X_H$

9	Αποσύνθεση	$b_H * X_H$
Φωσφορικά συσσωρευόμενοι οργανισμοί		
10	Αποθήκευση του X_{PHA}	$q_{PHA} * \frac{S_A}{K_A + S_A} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} * X_{PAO}$
11	Αποθήκευση του X_{PP}	$q_{PP} * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} * \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} * X_{PAO}$
12	Αερόβια ανάπτυξη του X_{PAO}	$\mu_{PP} * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * X_{PAO}$
13	Αποσύνθεση X_{PAO}	$b_{PAO} * X_{PAO} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
14	Αποσύνθεση X_{PP}	$b_{PP} * X_{PP} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
15	Αποσύνθεση X_{PHA}	$b_{PHA} * X_{PHA} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$
Νιτροποιητές		
16	Αερόβια ανάπτυξη των X_{AUT}	$\mu_{AUT} * \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} * \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} * \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} * X_{AUT}$
17	Αποσύνθεση	$b_{AUT} * X_{AUT}$
Κατακρήμνιση και επαναδιάλυση φωσφόρου		
18	Κατακρήμνιση	$k_{PRE} * S_{PO_4} * X_{MeOH}$
19	Επαναδιάλυση	$k_{RED} * X_{MeP} * \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$

2.2.3 Μοντέλο ενεργού ιλύος No.2d-ASM2d

2.2.3.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε για να καλύψει το γεγονός ότι ένα εκ των δύο κλασμάτων των ΡΑΟ μπορεί να απονιτροποιηθεί. Αποτελεί επέκταση του ASM2 και κατά συνέπεια του ASM1 και ως εκ τούτου χρησιμοποιεί τις έννοιες που ενσωματώθηκαν στα μοντέλα αυτά.

Περιλαμβάνει δύο επιπλέον διεργασίες, σε σχέση με το ASM2, οι οποίες προσομοιώνουν την δυνατότητα αυτή που έχουν τα ΡΑΟs να χρησιμοποιούν τα εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης για απονιτροποίηση. Αυτό σημαίνει ότι, στο ASM2d, ότι οι ΡΑΟ αναπτύσσονται σε αερόβιες αλλά και σε ανοξικές συνθήκες.

2.2.3.2 Μεταβλητές Μοντέλου

Το ASM2d περιλαμβάνει τις ίδιες μεταβλητές, τις ίδιες διεργασίες και ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί με το μοντέλο ASM2 παρόλο που έχουν διαφορές στα χαρακτηριστικά των ΡΑΟs. Στον Πίνακα 2.10 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι μεταβλητές αυτές.

Πίνακας 2-10 : Συστατικά του ASM2d

	Συστατικά	Ερμηνεία
1	S _A	Διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης
2	S _F	Διαλυτή ζυμώσιμη οργανική ύλη
3	X _I	Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (τροφή)
4	S _I	Διαλυμένη οργανική ύλη
5	X _I	Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη
6	X _H	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί
7	X _{AUT}	Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί
8	X _{PAO}	Πολυφωσφορικά βακτήρια
9	S _{NH4}	Αμμωνιακό άζωτο
10	S _{NO3}	Διαλυμένο νιτρικό άζωτο
11	S _{N2}	Διαλυμένο αέριο άζωτο
12	S _O	Διαλυμένο Οξυγόνο
13	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
14	S _{PO4}	Ανόργανος διαλυτός φώσφορος
15	X _{MeOH}	Υδροξείδια μετάλλων
16	X _{MeP}	Φωσφορικά μέταλλα
17	X _{PHA}	Εσωκυτταρικά αποθηκευμένα προϊόντα πολυφωσφορικών
18	X _{PP}	Πολυφωσφορικά
19	X _{TSS}	Ολικά αιωρούμενα στερεά

2.2.3.3 Διεργασίες Μοντέλου

Στο μοντέλο περιγράφονται συνολικά 21 διεργασίες από τις οποίες οι 19 είναι κοινές με το μοντέλο ASM2, όπως προαναφέρθηκε. Οι διεργασίες είναι :

Υδρόλυση (Διεργασίες 1-3) :

- Διεργασία 1 ή Αερόβια Υδρόλυση
- Διεργασία 2 ή Ανοξική Υδρόλυση

- Διεργασία 3 ή Αναερόβια Υδρόλυση

Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί (Διεργασίες 4-9) :

- Διεργασίες 4 και 5 ή Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών
- Διεργασίες 6 και 7 ή Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών
- Διεργασία 8 ή Ζύμωση
- Διεργασία 9 ή Αποσύνθεση

Πολυφωσφορικά βακτηρίδια (Διεργασίες 10-17) : Το μοντέλο καταρρίπτει την υπόθεση ότι οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί δεν απονιτροποιούν και θεωρεί ότι οι ΡΑΟ αναπτύσσονται τόσο σε αερόβιες όσο και σε ανοξικές συνθήκες αλλά μόνο από την οργανική ύλη που αποθηκεύουν στο εσωτερικό του κυττάρου τους (X_{PHA}).

- Διεργασία 10 ή Αποθήκευση του X_{PHA} : Είναι ουσιαστικά η αποθήκευση των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) σε μορφή X_{PHA} και πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες χρησιμοποιώντας την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την υδρόλυση των πολυφωσφορίτων X_{PP} .
- Διεργασία 11 και 12 ή Αερόβια και ανοξική αποθήκευση του X_{PP} : Είναι η αποθήκευση του διαλυτού φώσφορου στο εσωτερικό των κυττάρων των πολυφωσφορικών βακτηριδίων, που πραγματοποιείται, σε αερόβιες συνθήκες, χρησιμοποιώντας την ενέργεια από την αναπνοή των X_{PHA} . Σε ανοξικές συνθήκες ο ρυθμός της διεργασίας μειώνεται καθώς δεν απονιτροποιούν όλοι οι ΡΑΟ αλλά και η ταχύτητα απονιτροποίησης είναι μικρότερη.
- Διεργασία 13 και 14 ή Αερόβια και ανοξική ανάπτυξη του X_{PAO} : Καθώς ο φώσφορος απελευθερώνεται συνεχώς από τη αποσύνθεση των X_{PP} , οι X_{PAO} καταναλώνουν τα S_{PO_4} ως θρεπτικό συστατικό για την παραγωγή βιομάζας. Σε ανοξικές συνθήκες ο ρυθμός της διεργασίας μειώνεται καθώς δεν απονιτροποιούν όλοι οι ΡΑΟ αλλά και η ταχύτητα απονιτροποίησης είναι μικρότερη.
- Διεργασία 15, 16, 17 ή Αποσύνθεση του X_{PAO} , X_{PP} και X_{PHA}

Πίνακας 2-11: Στοιχειομετρία των διεργασιών των φωσφορικά συσσωρευόμενων οργανισμών στο ASM2d (IWA, 2000)

Process	S_{O_2}	S_A	S_{N_2}	S_{NO_3}	S_{PO_4}	X_I	X_S	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}
10 Storage of X_{PHA}		-1			Y_{PO_4}				$-Y_{PO_4}$	1
11 Aerobic storage of X_{PP}	$-Y_{PHA}$				-1				1	$-Y_{PHA}$
12 Anoxic storage of X_{PP}			$-v_{12,NO_3}$	v_{12,NO_3}	-1				1	$-Y_{PHA}$
13 Aerobic growth of X_{PAO}	v_{13,O_2}				$-i_{PBM}$			1		$-1/Y_H$
14 Anoxic growth of X_{PAO}			$-v_{14,NO_3}$	v_{14,NO_3}	$-i_{PBM}$			1		$-1/Y_H$
15 Lysis of X_{PAO}					v_{15,PO_4}	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$	-1		
16 Lysis of X_{PP}					1				-1	
17 Lysis of X_{PHA}		1								-1

Νιτροποιητές (Διεργασίες 18-19) :

- Διεργασία 18 ή Ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών X_{AUT}
- Διεργασία 19 ή Αποσύνθεση αυτοτροφικών μικροοργανισμών

Πίνακας 2-12 : Στοιχειομετρία των διεργασιών ανάπτυξης και αποσύνθεσης των αυτοτροφικών μ/ο στο ASM2d (IWA, 2000)

Process	S_{O_2}	S_{NH_4}	S_{NO_3}	S_{PO_4}	X_I	X_S	X_{AUT}
18 Aerobic growth of X_{AUT}	$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	v_{18,NH_4}	$\frac{1}{Y_a}$	$-i_{P,BM}$			1
19 Lysis		v_{19,NH_4}		v_{19,PO_4}	f_{X_I}	$1 - f_{X_I}$	-1

Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου (Διεργασίες 20-21) :

- Διεργασία 20 και 21 ή Κατακρήμνιση και Επαναδιάλυση

Πίνακας 2-13 : Στοιχειομετρία που περιγράφουν την ταυτόχρονη κατακρήμνιση και επαναδιάλυση του φωσφόρου στο ASM2d (IWA, 2000)

Process	S_{PO_4}	S_{ALK}	X_{MeOH}	X_{MeP}	X_{TSS}
20 Precipitation	-1	$v_{20,ALK}$	-3.45	4.87	1.42
21 Redissolution	1	$v_{21,ALK}$	3.45	-4.87	-1.42

2.2.3.4 Περιορισμοί Μοντέλου

Οι σημαντικότεροι περιορισμοί του μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

- Το μοντέλο παρουσιάζει έγκυρα αποτελέσματα μόνο για αστικά λύματα.
- Δεν προσομοιώνει διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αυξημένη εισροή SA στη δεξαμενή αερισμού.
- Τα λύματα πρέπει να περιέχουν ικανές συγκεντρώσεις μαγνησίου και καλίου.
- Το pH των λυμάτων πρέπει να είναι σχεδόν ουδέτερο.
- Η θερμοκρασία των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10 και 25°C.

Πίνακας 2-14 : Ρυθμοί διεργασιών του ASM2d (IWA, 2000)

Διεργασίες j	Εξίσωση ρυθμού ρ
Υδρόλυση	
1. Αερόβια υδρόλυση	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
2. Ανοξική υδρόλυση	$K_h \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
3. Αναερόβια υδρόλυση	$K_h \cdot n_{f_e} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X_H	
4. Αερόβια ανάπτυξη με S_F	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
5. Αερόβια ανάπτυξη με S_A	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
6. Ανοξική ανάπτυξη με S_F - απονιτροποίηση	$\mu_H \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S_A - απονιτροποίηση	$\mu_H \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
8. Αναερόβια ζύμωση	$q_{f_e} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9. Λύση	$b_H \cdot X_H$
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): X_{PAO}	
10. Αποθήκευση των X_{PHS}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Αερόβια αποθήκευση των X_{PP}	$q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
12. Ανοξική αποθήκευση των X_{PP}	$\rho_{12} = \rho_{11} \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
13. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
14. Ανοξική ανάπτυξη	$\rho_{14} = \rho_{13} \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$
15. Λύση των X_{PAO}	$b_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
16. Λύση των X_{PP}	$b_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
17. Λύση των X_{PHA}	$b_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί οργανισμοί): X_{AUT}	
18. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
19. Λύση	$b_{AUT} \cdot X_{AUT}$
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου με υδροξείδιο του σιδήρου ($Fe(OH)_3$):	
20. Κατακρήμνιση	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MgOH}$
21. Επαναδιάλυση	$k_{RED} \cdot X_{MgP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$

2.2.4 Μοντέλο ενεργού ιλύος No.3-ASM3

2.2.4.1 Εισαγωγή

Μετά από την 10χρονη εφαρμογή του ASM1, έχουν καταστεί φανερά αρκετά ελαττώματα τα οποία ήρθε να καλύψει το μοντέλο ενεργού ιλύος No. 3 (ASM3) που παρουσιάστηκε το 1999 απ' τους Gujer et al.

Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στα ίδια κυρίως φαινόμενα όπως και το ASM1, δηλαδή νιτροποίηση, απονιτροποίηση, την κατανάλωση οξυγόνου και την παραγωγή ιλύος. Αντίθετα με το ASM2, δεν περιλαμβάνει τα φαινόμενα της βιολογικής απομάκρυνσης του φωσφόρου και της χημικής κατακρήμνισης του, της ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών και τον υπολογισμό του pH των λυμάτων, μπορούν εντούτοις να προστεθούν στο μοντέλο.

2.2.4.2 Μεταβλητές Μοντέλου

Αντίστοιχα με το ASM1, οι μεταβλητές του ASM3 κατατάσσονται στα διαλυτά στοιχεία (S) και τα σωματιδιακά (X), σύμφωνα πάντα με την ονοματολογία της IAQW . Οι ακόλουθες μεταβλητές χρησιμοποιούνται στο μοντέλο:

Συστατικά του COD στο ASM3

Η οργανική ύλη των λυμάτων , η οποία μετράται σε μονάδες COD στο μοντέλο, μπορεί να χωριστεί στις κατηγορίες: βιοδιασπάσιμο COD, μη βιοδιασπάσιμο COD και βιομάζα.

Στο μοντέλο αυτό το βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s): Είναι άμεσα διαθέσιμο για κατανάλωση από τους ετερότροφους μικροοργανισμούς και αποθηκεύεται με την μορφή X_{sto}.
- Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_s): Απαιτεί διάσπαση μέσω ενζύμων λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους της πριν την απορρόφησή της απ' τους μικροοργανισμούς. Η διαφορά στο μοντέλο αυτό σε σχέση με το ASM1 είναι ότι το X_s προέρχεται αποκλειστικά από την είσοδο του συστήματος, και δεν παράγεται καθόλου κατά τις διεργασίες της αποσύνθεσης.

Το Μη-βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Διαλυμένη οργανική ύλη (S_i): Με όποια συγκέντρωση μπαίνει στο σύστημα με την ίδια βγαίνει. Ούτε καταναλώνεται ούτε παράγεται στο παρόν σύστημα.
- Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη (X_i): Είναι μέρος των αιωρούμενων πτητικών στερεών και απομακρύνεται από το σύστημα ως μέρος της απομακρυνθείσας ιλύος.

Και η βιομάζα η οποία χωρίζεται σε:

- Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί (X_H): Παράγονται κατά τις ανοξικές και αερόβιες συνθήκες, με κατανάλωση SS, και φθείρονται κατά την αποσύνθεση. Οι ετεροτροφικοί αυτοί μικροοργανισμοί υποτίθεται ότι δεν έχουν αναερόβια δραστηριότητα εκτός από την κυτταρική εξωτερική υδρόλυση, η οποία είναι η μόνο αναερόβια διεργασία που λαμβάνει μέρος στο ASM3.
- Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί (X_A): Είναι οι νιτροποιητές στους οποίους οφείλεται η νιτροποίηση και η οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό χωρίς ενδιάμεσες διαδικασίες.

Συστατικά του Αζώτου στο ASM3

- Αμμωνιακό άζωτο (S_{NH4}): Βάση του μοντέλου υπάρχει μόνο στην μορφή των αμμωνιακών ιόντων NH₄⁺ ώστε να υπάρχει ισορροπία στα ηλεκτρικά φορτία. Επίσης θεωρείται στο μοντέλο ότι οι οργανικές ενώσεις περιέχουν ένα σταθερό κλάσμα οργανικού αζώτου.
- Διαλυμένο αέριο άζωτο (S_{N2}): Είναι το μοναδικό προϊόν της απονιτροποίησης και υπόκειται σε διεργασίες ανταλλαγής αερίων όπως και το οξυγόνο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύστημα για την πρόβλεψη προβλημάτων λόγω υπερκορεσμού στη δευτεροβάθμια καθίζηση όπως επίσης και για τον υπολογισμό της ποσότητας του αζώτου που χάθηκε λόγω της απονιτροποίησης.
- Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο (S_{NOx}): Περιλαμβάνει το νιτρικό άζωτο καθώς και το νιτρικό άλας. Για όλους τους στοιχειομετρικούς ελέγχους θεωρείται ότι είναι μόνο NO₃-N.

Υπόλοιπα συστατικά στο ASM3

- Διαλυμένο οξυγόνο (S_{O_2}): Συμμετέχει σε ανταλλαγές αερίων όπως και το αέριο άζωτο.
- Αλκαλικότητα (S_{ALK}): Εντοπίζει κυρίως τις μεταβολές pH των λυμάτων που εμφανίζονται και είναι πιθανόν να επηρεάσουν ή να σταματήσουν ορισμένες διεργασίες. Θεωρείται ότι είναι το διανθρακικό ιόν HCO_3 για όλες τις στοιχειομετρικούς υπολογισμούς.
- Εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης (X_{STO}): Περιλαμβάνει πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκούς εστέρες (PHA), γλυκογόνο, κ.α. και εμφανίζεται μόνο σε συνδυασμό με τους ετερότροφους μικροοργανισμούς X_H παρόλο που δεν περιλαμβάνεται στη μάζα τους. Το X_{STO} είναι μόνο μια λειτουργική ένωση που απαιτείται για την μοντελοποίηση και δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα. Για τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς θεωρείται ότι έχει σύνθεση $C_4H_6O_2$.
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (X_{SS}): Η παράμετρος αυτή εισάγεται στο μοντέλο με σκοπό να υπολογιστεί η συγκέντρωση τους μέσω της στοιχειομετρίας. Η πρόβλεψη των TSS είναι σημαντική διότι μπορεί να υπολογιστεί η συγκέντρωση των MLSS μέσα στο μοντέλο ενεργούς ιλύος. Στα αιωρούμενα στερεά πρέπει να προσμετρηθούν και τα ιζήματα φωσφόρου.

Στον Πίνακα 2.15 που ακολουθεί οι συγκεντρώνονται οι πιο πάνω μεταβλητές αυτές.

Πίνακας 2-15: Συστατικά του ASM3

	Συστατικά	Ερμηνεία
1	S _s	Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (τροφή)
2	X _s	Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (τροφή)
3	S _i	Διαλυμένη οργανική ύλη
4	X _i	Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη
5	X _H	Ετεροτροφική μικροοργανισμοί
6	X _A	Αυτοτροφική βιομάζα
7	S _{NH4}	Αμμωνιακό άζωτο
8	S _{N2}	Διαλυμένο αέριο άζωτο
9	S _{NOX}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
10	S _O	Διαλυμένο Οξυγόνο
11	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
12	X _{STO}	Εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης
13	X _{SS}	Ολικά αιωρούμενα στερεά

2.2.4.3 Διεργασίες Μοντέλου

- Διεργασία 1 ή Υδρόλυση : Μέσω της διαδικασίας αυτής καθίσταται στο σύστημα διαθέσιμη η βιοδιασπάσιμη σωματιδιακά οργανική ύλη X_s. Στο μοντέλο αυτό εκτιμάται ότι η διαδικασία γίνεται ανεξάρτητα από τον δείκτη ηλεκτρονίων άρα αποτελεί διαφορετική διαδικασία από την αντίστοιχη υδρόλυση στο ASM1.
- Διεργασία 2 ή Αερόβια αποθήκευση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης: Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη S_s αποθηκεύεται με την μορφή εσωτερικών προϊόντων αποθήκευσης X_{STO} , χρησιμοποιώντας ενέργεια από την αερόβια αναπνοή. Το μοντέλο προτείνει την θεώρηση ότι στην συνέχεια αφομοιώνονται από την βιομάζα.

- Διεργασία 3 ή Ανοξική αποθήκευση της άμεσα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης :
Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη S_s αποθηκεύεται με την μορφή εσωτερικών προϊόντων αποθήκευσης $X_{στο}$, χρησιμοποιώντας ενέργεια από την απονιτροποίηση, και κατά συνέπεια. Στο ASM3 ο ρυθμός της διεργασίας αυτής είναι μικρότερος απ' της αντίστοιχης αερόβιας για να καλυφθεί το γεγονός ότι μόνο ένα κλάσμα των ετεροτροφικών μικροοργανισμών X_H είναι ικανό να απονιτροποιεί.
- Διεργασίες 4 ή Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών: Στο μοντέλο αυτό γίνεται οι παραδοχή ότι οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί καταναλώνουν μόνο το αποθηκευμένο $X_{στο}$ για την ανάπτυξη τους.
- Διεργασίες 5 ή Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών: Αυτή η διεργασία μοιάζει με την αερόβια ανάπτυξη αλλά η αναπνοή βασίζεται στην απονιτροποίηση, η οποία πραγματοποιείται μόνο από ένα κλάσμα της ετεροτροφικής βιομάζας.
- Διεργασία 6 ή Αερόβια ενδογενής αναπνοή: Περιγράφει όλες τις μορφές απώλειας βιομάζας και τις ενεργειακές απαιτήσεις που δεν συνδέονται με την ανάπτυξη, λαμβάνοντας υπόψη την σχετική αναπνοή υπό αερόβιες συνθήκες δηλαδή αποσύνθεση, ενδογενής αναπνοή και άλλα. Η διεργασία αυτή είναι αρκετά διαφορετική από την αποσύνθεση του μοντέλου ASM1.
- Διεργασία 7 ή Ανοξική ενδογενής αναπνοή: Αυτή η διεργασία μοιάζει με την αντίστοιχη αερόβια αλλά πραγματοποιείται με μικρότερη ταχύτητα.
- Διεργασία 8 ή Αερόβια αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης: Είναι ανάλογη με την αερόβια ενδογενή αναπνοή, και διασφαλίζει ότι τα προϊόντα αποθήκευσης $X_{στο}$ αποσυνθέτονται μαζί με τη βιομάζα.
- Διεργασία 9 ή Ανοξική αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης: Είναι ανάλογη με την αερόβια διεργασία αλλά πραγματοποιείται σε ανοξικές συνθήκες.

2.2.4.4 Περιορισμοί Μοντέλου

Οι σημαντικότεροι περιορισμοί του μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

- Το μοντέλο αναπτύχθηκε για την προσομοίωση αερόβιων και ανοξικών διεργασιών σε συστήματα ενεργού υλίου που επεξεργάζονται αστικά λύματα. Δεν συνίσταται να χρησιμοποιείτε σε περιοχές όπου επικρατούν βιομηχανικά λύματα.
- Η θερμοκρασία των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 8 και 23°C για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.
- Δεν προσομοιώνει διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αναερόβιο περιβάλλον.
- Το pH των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6.5 και 7.5.
- Δεν έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών.
- Δεν έχει σχεδιαστεί να υπολογίζει συστήματα με υψηλές φορτίσεις ή μικρούς χρόνους παραμονής στερεών (< 1 ημέρα).
- Είναι ευθύνη του χρήστη να προσδιορίσει τις παραμέτρους και τον σχετικό χαρακτηρισμό των λυμάτων αφού το ASM3 προσφέρει την δομή του μοντέλου και όχι τις τιμές των παραμέτρων του.

Πίνακας 2-16 : Στοιχειομετρία μοντέλου ASM3. (IWA, 2000)

Μεταβλητή i →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
↓ Διεργασία j	S_{O_2}	S_1	S_2	S_{NH_4}	S_{NO_2}	S_{NOX}	S_{MIX}	X_1	X_2	X_H	X_{STO}	X_A	X_{SS}
Εκφράζεται σε όρους →	O_2	COD	COD	N	N	N	Mole	COD	COD	COD	COD	COD	SS
1. Υδρόλυση		f_{S_1}	x_1	y_1			z_1		-1				$-i_{x_1}$
<i>Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί, αερόβια και απονιτροποιητική δραστηριότητα</i>													
2. Αερόβια αποθήκευση του S_2	x_2		-1	y_2			z_2				Y_{STO,O_2}		t_2
3. Ανοξική αποθήκευση του S_2			-1	y_3	$-x_3$	x_3	z_3				$Y_{STO,NOX}$		t_3
4. Αερόβια ανάπτυξη των X_H	x_4			y_4			z_4			1	$-1/Y_{H,O_2}$		t_4
5. Ανοξική ανάπτυξη (απονιτροποίηση)				y_5	$-x_5$	x_5	z_5			1	$-1/Y_{H,NOX}$		t_5
6. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	x_6			y_6			z_6	f_i		-1			t_6
7. Ανοξική ενδογενής αναπνοή				y_7	$-x_7$	x_7	z_7	f_i		-1			t_7
8. Αερόβια αναπνοή των X_{STO}	x_8										-1		t_8
9. Ανοξική αναπνοή των X_{STO}					$-x_9$	x_9	z_9				-1		t_9
<i>Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, νιτροποιητική δραστηριότητα</i>													
10. Αερόβια ανάπτυξη των X_A	x_{10}			y_{10}		$1/Y_A$	z_{10}					1	t_{10}
11. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	x_{11}			y_{11}			z_{11}	f_i				-1	t_{11}
12. Ανοξική ενδογενής αναπνοή				y_{12}	$-x_{12}$	x_{12}	z_{12}	f_i				-1	t_{12}
<i>Στοιχειομετρικός πίνακας $i_{k,j}$</i>													
<i>k Συντηρητικά</i>													
1. ThOD	g ThOD	-1	1	1		-1.71	-4.57		1	1	1	1	1
2. Άζωτο	g N		i_{N,S_1}	i_{N,S_2}	1	1	1		i_{N,X_1}	i_{N,X_2}	$i_{N,M}$		$i_{N,SS}$
3. Φορτίο ιόντων	Mole +				1/14		-1/14	-1					
<i>Παρατηρήσιμα</i>													
4. SS	g SS								i_{SS,X_1}	i_{SS,X_2}	$i_{SS,M}$	0.60	$i_{SS,SS}$

Πίνακας 2-17: Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM3. (IWA, 2000)

j	Διεργασία	Εξίσωση ρυθμού διεργασίας ρ_j , με $\rho \geq 0$
1	Υδρόλυση	$k_H \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
<i>Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί, αερόβια και απονιτροποιητική δραστηριότητα</i>		
2	Αερόβια αποθήκευση του S_S	$k_{STO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$
3	Ανοξική αποθήκευση του S_S	$k_{STO} \cdot n_{NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$
4	Αερόβια ανάπτυξη των X_{ii}	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$
5	Ανοξική ανάπτυξη (απονιτροποίηση)	$\mu_H \cdot n_{NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$
6	Αερόβια ενδογενής αναπνοή	$b_{H,O_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot X_H$
7	Ανοξική ενδογενής αναπνοή	$b_{H,NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot X_H$
8	Αερόβια αναπνοή των X_{STO}	$b_{STO,O_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot X_{STO}$
9	Ανοξική αναπνοή των X_{STO}	$b_{STO,NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot X_{STO}$
<i>Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, νιτροποιητική δραστηριότητα</i>		
10	10. Αερόβια ανάπτυξη των X_A	$\mu_A \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{A,NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{A,ALK} + S_{ALK}} \cdot X_A$
11	11. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	$b_{A,O_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot X_A$
12	12. Ανοξική ενδογενής αναπνοή	$b_{A,NOX} \cdot \frac{K_{A,O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{A,NOX} + S_{NOX}} \cdot X_A$

2.3 Συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (Benchmark Simulation Models)

2.3.1 Εισαγωγή

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) είναι μεγάλα μη γραμμικά συστήματα, αποτελούμενα από πολλές συνδεδεμένες μονάδες, που υπόκεινται σε μεγάλες διαφοροποιήσεις στις παροχές και τα φορτία που δέχονται και σε αβεβαιότητες ως προς τη σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων. Παρόλα αυτά κάθε εγκατάσταση πρέπει να λειτουργεί συνεχώς, ανεξαρτήτως συνθηκών, ικανοποιώντας τις αυστηρές απαιτήσεις που τίθενται από τη νομοθεσία.

Μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό ότι για την προσομοίωση μιας εγκατάστασης δεν αρκεί απλά η ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης κάθε μονάδας, αλλά είναι απαραίτητη η σύνδεση μεταξύ τους και η θεώρηση τους ως ένα αλληλεπιδρώμενο σύστημα. Αυτή η απαίτηση δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων στρατηγικών ελέγχου, καθώς και της μεθοδολογίας που επιτρέπει την εκτίμηση της επίδρασης κάθε νέας στρατηγικής στην απόδοση της εγκατάστασης. Έτσι, απ' το 1998 έως το 2004 δημιουργήθηκαν ολοκληρωμένα εργαλεία, τα Μοντέλα Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης (BSM), για την εκτίμηση των στρατηγικών ελέγχου των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος.

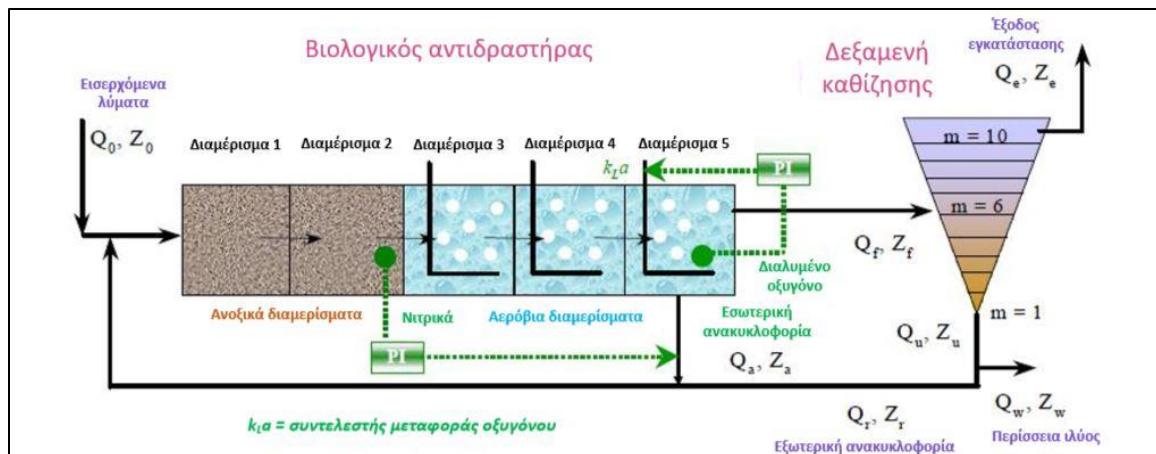
Κάθε μοντέλο ολοκληρωμένης προσομοίωσης αποτελεί ένα περιβάλλον προσομοίωσης το οποίο περιγράφεται από συγκεκριμένη διάταξη των μονάδων της εγκατάστασης, ένα μοντέλο προσομοίωσης, εισερχόμενα φορτία, διαδικασίες ελέγχου και κριτήρια αξιολόγησης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο (2) Μοντέλα Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης, το BSM1, και το BSM2.

2.3.2 Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1)

2.3.2.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο αυτό ήταν το πρώτο που δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου και της απόδοσης της εγκατάστασης. Αποτελεί απλό μοντέλο αφού αναφέρεται κυρίως στον βιολογικό αντιδραστήρα και την δεξαμενή τελικής καθίζησης.



Σχήμα 2-5 : Γενική διάταξη της ΕΕΛ του BSM1 (Alex et al., 2008)

2.3.2.2 Διάταξη Μοντέλου

Βιολογικός Αντιδραστήρας

Για να περιγραφούν τα βιολογικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο βιοαντιδραστήρα επιλέχθηκε το μοντέλο ενεργού ιλύος ASM1, που παρουσιάστηκε συνοπτικά στην παράγραφο 2.2.1.

Ο βιολογικός αντιδραστήρας που προσομοιώνεται στο μοντέλο περιλαμβάνει 5 διαμερίσματα και πιο συγκεκριμένα:

- Διαμέρισμα 1-2 : Ανοξικά, με όγκο 1000 m^3 το καθένα
- Διαμέρισμα 3-4 : Αερόβια, με όγκο 1333 m^3 το καθένα και με σταθερή μεταφορά οξυγόνου μέσω του συντελεστή $K_{1a} = 10 \text{ h}^{-1}$.

- Διαμέρισμα 5 : Αερόβιο , με όγκο 1333 m^3 και με το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου ίσο με 2 gr COD/m^3 .

Δεξαμενή Τελικής Καθίλισης

Η δεξαμενή καθίλισης χωρίζεται σε 10 στρώματα, τα οποία έχουν σταθερή επιφάνεια Α ίση με 1500 m^2 . Το συνολικό ύψος της δεξαμενής ισούται με 4 m, κάθε στρώμα έχει σταθερό ύψος 0.4 m, και επομένως ο όγκος της είναι ίσος με 6000 m^3 . Η τροφοδοσία της δεξαμενής γίνεται στο έκτο στρώμα, μετρώντας από τον πυθμένα της δεξαμενής.

Η καθίλιση των στερεών προσομοιάζεται βάση του μοντέλου Takacs (Takács et al., 1991) και βασίζεται στις παραδοχές ότι :

- Τα εισερχόμενα αιωρούμενα στερεά του ανάμικτου υγρού διανέμονται στιγμιαία και ομοιόμορφα σε ολόκληρη επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του στρώματος τροφοδοσίας.
- Η ροή είναι μόνο κατακόρυφη.

Βάση του μοντέλου αυτού η ροή των στερεών ορίζεται από την σχέση $JS = v_s(X) \times X$, όπου X είναι η ολική συγκέντρωση της λύσης και v_s η ταχύτητα καθίλισης. Η ταχύτητα καθίλισης με την σειρά της ορίζεται από την σχέση παρακάτω, όπου ο πρώτος όρος της εξίσωσης ($v_0 \times e^{-r_h \times X_j^*}$) υπολογίζει την ταχύτητα καθίλισης των μεγάλων σωματιδίων, ενώ ο δεύτερος όρος ($v_0 \times e^{-r_p \times X_j^*}$) αποτελεί παράγοντα διόρθωσης της ταχύτητας λόγω των μικρότερων σωματιδίων που καθιζάνουν πιο αργά.

$$v_{sj} = v_0 \times e^{-r_h \times X_j^*} - v_0 \times e^{-r_p \times X_j^*}$$

$$0 \leq v_{sj} \leq v'_0$$

Όπου:

v_{sj} : η ταχύτητα καθίλισης σε κάθε στρώμα της δεξαμενής (m/d)

v'_0 : η μέγιστη ταχύτητα καθίλισης (m/d)

v_0 : η μέγιστη ταχύτητα καθίλισης κατά Vesilind (m/d)

rh : παράμετρος ζωνικής καθίζησης ($m^3/gr\ SS$)

rp : παράμετρος συσσωματούμενης καθίζησης ($m^3/gr\ SS$)

X_j^* : η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών σε κάθε στρώμα ($gr\ SS/m^3$) για

$$X_j^* = X - X_{min}$$

X_{min} : η ελάχιστη δυνατή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών ($gr\ SS/m^3$) για

$$X_{min} = fns * X_f$$

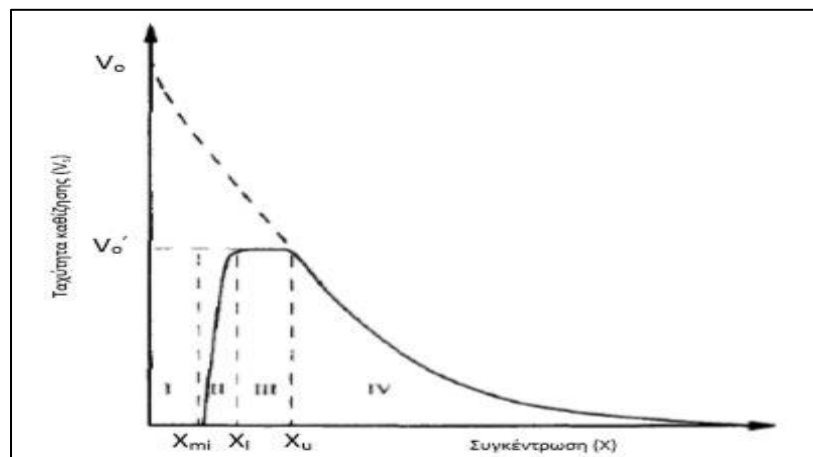
fns : αδιάστατος συντελεστής μη καθιζόντων στερεών

X_f : η συγκέντρωση των στερεών που εισέρχονται στη δεξαμενή καθίζησης ($gr\ SS/m^3$)

Πίνακας 2-18: Παράμετροι υπολογισμού της ταχύτητας καθίζησης (Alex et al., 2008)

	Ερμηνεία	Μονάδες Μέτρησης	Τιμή
v'o	Μέγιστη ταχύτητα καθίζησης	m/d	250
vo	Μέγιστη ταχύτητα καθίζησης κατά Vesilind	m/d	474
rh	Παράμετρος ζωνικής καθίζησης	$m^3/grSS$	0.000576
rp	Παράμετρος συσσωματούμενης καθίζησης	$m^3/grSS$	0.00286
fns	Συντελεστής μη καθιζόντων στερεών	-	0.00228

Σύμφωνα με τους Takacs et al (1991) κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας καθίζησης παρατηρούνται τέσσερις (4) περιοχές ενδιαφέροντος, οι οποίες φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα και περιγράφονται στην συνέχεια:



Σχήμα 2-6 : Διάγραμμα ταχύτητας καθίζησης – συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών (Takacs et al., 1991)

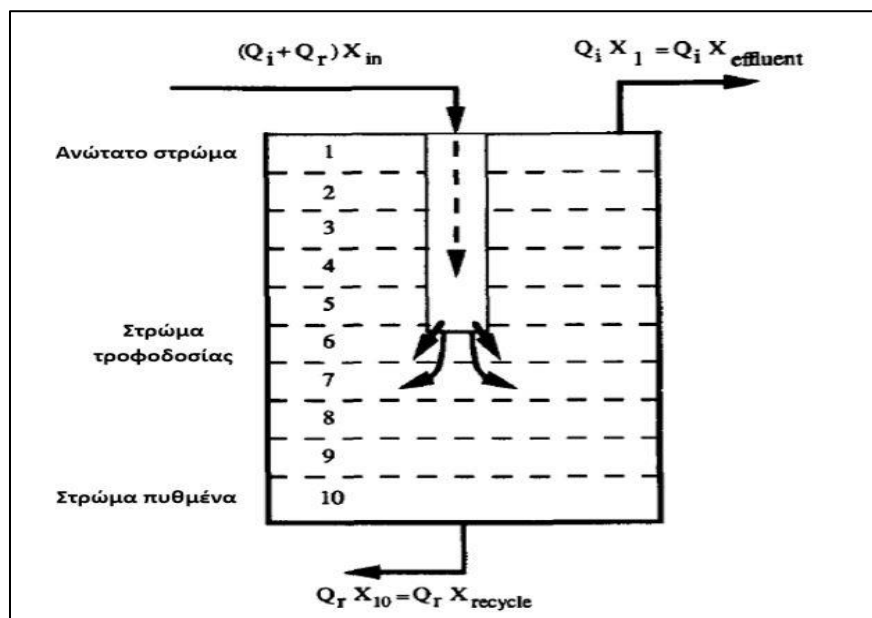
Περιοχή I, $X < X_{min}$: Η ταχύτητα καθίζησης ορίζεται ως μηδενική όταν η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών φτάνει τη μικρότερη εφικτή τιμή της.

Περιοχή II, $X_{min} < X < X_I$: Η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται κυρίως από τα σωματίδια που καθιζάνουν αργά και είναι περισσότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της παραμέτρου ρ_r .

Περιοχή III, $X_I < X < X_u$: για συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών μεταξύ 200 – 2000 g/m³, η ταχύτητα καθίζησης είναι ανεξάρτητη της συγκέντρωσης και σταθερή στη μέγιστη τιμή της, καθώς οι κροκίδες έχουν αποκτήσει τη μέγιστη διάστασή τους.

Περιοχή IV, $X > X_u$: η ταχύτητα καθίζησης δεν επηρεάζεται από τα σωματίδια που καθιζάνουν αργά και η ταχύτητα καθίζησης είναι περισσότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της παραμέτρου ρ_h .

Στις δεξαμενές καθίζησης συνεχούς ροής η ροή στερεών απ' την επιφάνεια προς τον πυθμένα είναι το αποτέλεσμα της ροής στερεών λόγω της καθίζησης βαρύτητας και της ροής στερεών λόγω της κίνησης της μάζας του υγρού. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ο υπολογισμός της ροής στερεών μεταξύ των στρωμάτων της ΔTK.



Σχήμα 2-7 : Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης και εξισώσεις υπολογισμού της ροής στερεών (Takacs et al., 1991)

2.3.2.3 Εκτίμηση απόδοσης

Ο υπολογισμός των δεικτών που προτείνει το μοντέλο ποσοτικοποιεί την επίδραση της στρατηγικής ελέγχου στην απόδοση των μονάδων της εγκατάστασης.

Παραβιάσεις ορίων εκροής

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των λυμάτων θα πρέπει να τηρούν τα όρια που δίνονται στον πίνακα 2.20. Για την εκτίμηση της απόδοσης αναφέρεται ο αριθμός των παραβιάσεων και το ποσοστό του χρόνου που η εγκατάσταση παραβιάζει τα όρια εκροής. Οι παραβιάσεις υπολογίζονται για την αμμωνία, το ολικό άζωτο, το BOD₅, το ολικό COD και τα αιωρούμενα στερεά.

Πίνακας 2-19 : Όρια εκροής μοντέλου BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)

Μεταβλητή	Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
N _{tot}	< 18	grN/m ³
COD _{tot}	< 100	grCOD/m ³
SNH	< 4	grN/m ³
TSS	< 30	grSS/m ³
BOD ₅	< 10	grBOD/m ³

Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)

Ο δείκτης ποιότητας εκροής υπολογίζεται απ' τα αποτελέσματα των 7 τελευταίων ημερών της δυναμικής προσομοίωσης σε kg μονάδων ρύπανσης ανά ημέρα.

$$EQI = \frac{1}{1000 \times T} \times \int_{t=7}^{t=14} ((2 \times SS, e(t)) + (1 \times COD, e(t)) + (30 \times SNKJ, e(t)) + (10 \times SNOe(t)) + (2 \times BOD, e(t))) \times Q, e(t) dt$$

Όπου:

- $SNKJ, e = SNH, e + SND, e + XND, e + iXB \times (XBH, e + XBA, e) + iXP \times (XP, e + XI, e)$
- $SS, e = 0.75 \times (Xs, e + XI, e + XBH, e + XBA, e + XP, e)$
- $BOD_5 = 0.25 \times (SS, e + Xs, e + (1-fp) \times (XBH, e + XBA, e))$
- $COD = SS, e + Si, e + Xs, e + XI, e + XBH, e + XBA, e + XP, e$

Ολικό λειτουργικό κόστος

Υπολογίζεται μέσω του δείκτη συνολικού κόστους (OCI- Overall Cost Index) για ένα χρονικό διάστημα 7 ημερών. Είναι το άθροισμα του κόστους της ενέργειας αερισμού (AE), της ενέργειας άντλησης (PE), της συνολικής παραγόμενης ιλύος (SP), της κατανάλωσης εξωτερικής πηγής άνθρακα (EC) και της ενέργειας ανάμιξης (ME).

$$OCI = AE + PE + (5 \times SP) + (3 \times EC) + ME$$

2.3.3 Benchmark Simulation Model No. 2 (BSM2)

2.3.3.1 Εισαγωγή

Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η ανάπτυξη του BSM1 επέτρεψε την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου της εγκατάστασης σε επίπεδο ενεργού ιλύος, δηλαδή το βιοαντιδραστήρα και τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Η ανάγκη, όμως, για αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου στο επίπεδο όλης της εγκατάστασης οδήγησε στην ανάπτυξη ενός νέου μοντέλου, του Benchmark Simulation Model No.2 (BSM2).

Το BSM2 αποτελεί ένα λεπτομερές πρότυπο για εφαρμογή, ανάλυση και αξιολόγηση της απόδοσης και των επιπτώσεων των υφιστάμενων και των νέων στρατηγικών ελέγχου που εφαρμόζονται στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Η πρότυπη περίοδος αξιολόγησης στο BSM2 επεκτάθηκε σε έναν χρόνο, συγκριτικά με τη μια εβδομάδα που περιγράφηκε στο BSM1. Αυτή η αλλαγή έγινε ώστε να επιτραπεί μια πιο πλήρης αξιολόγηση, καθώς και επιπλέον συστήματα ελέγχου που λειτουργούν σε μεγαλύτερες κλίμακες χρόνου. Ένας ακόμη λόγος που καταστεί απαραίτητη μια μεγαλύτερη περίοδο αξιολόγησης είναι η αργή δυναμική του αναερόβιου χωνευτή. Με την παρατεταμένη περίοδο αξιολόγησης συμπεριλαμβάνονται οι εποχιακές επιδράσεις, όσον αφορά τις θερμοκρασιακές μεταβολές και τις μεταβολές της εισρέουσας παροχής.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο σκοπός του BSM2 είναι να παρέχει ένα εργαλείο που να είναι χρήσιμο για την αξιολόγηση της απόδοσης των προτεινόμενων στρατηγικών

ελέγχου και όχι να προσομοιώσει όλες τις πιθανές λεπτομέρειες μιας πραγματικής εγκατάστασης.

2.3.3.2 Διάταξη Μοντέλου

Οι κύριες μονάδες της εγκατάστασης που αναπαριστάται είναι οι εξής:

- Πρωτοβάθμια καθίζηση : Επιτυγχάνεται 50% απομάκρυνση στερεών, χωρίς να συντελείται κάποια βιολογική διεργασία.
- Ο βιολογικός αντιδραστήρας που προσομοιώνεται στο μοντέλο περιλαμβάνει 5 διαμερίσματα και πιο συγκεκριμένα:
 - Διαμέρισμα 1-2 : Ανοξικά, με όγκο 1500 m^3 το καθένα
 - Διαμέρισμα 3-4 : Αερόβια, με όγκο 3000 m^3 το καθένα και με σταθερή μεταφορά οξυγόνου μέσω του συντελεστή $K_{La} = 120 \text{ h}^{-1}$.
 - Διαμέρισμα 5 : Αερόβιο , με όγκο 3000 m^3 και σταθερή μεταφορά οξυγόνου μέσω του συντελεστή $K_{La} = 60 \text{ h}^{-1}$.
- Δευτεροβάθμια καθίζηση : Η προσομοίωση της βασίζεται στο μοντέλο Takács, όπως και στο BSM1, και θεωρείται ότι δεν συντελείται καμία βιολογική διεργασία.
- Πάχυνση βαρύτητας : Εκτιμάται ότι είναι μια ιδανική και συνεχής διαδικασία, όπου δεν συντελούνται βιολογικές διεργασίες. Το ποσοστό συγκράτησης στερεών θεωρείται ότι είναι της τάξης του 98%.
- Αναερόβια χώνευση : Η προσομοίωση της λειτουργίας του αναερόβιου χωνευτή της εγκατάστασης βασίστηκε στο ADM1 του Batstone et al. (2002), με ορισμένες τροποποιήσεις για τη βελτιστοποίηση της προσομοίωσης. Η βασική τροποποίηση που έχει γίνει είναι η εισαγωγή συνεχών λειτουργιών αναχαίτισης του pH, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα προσομοίωσης που σχετίζονται με ασυνέχειες. Επίσης, έχει γίνει μια προσπάθεια σχετικά με την πορεία του αζώτου και του COD στο μοντέλο, προκειμένου να επιτευχθεί ολοκληρωμένη ισορροπία μαζών.

- Αφυδάτωση. Εκτιμάται ότι είναι μια ιδανική και συνεχής διαδικασία, όπου δεν συντελούνται βιολογικές διεργασίες. Το ποσοστό συγκράτησης στερεών θεωρείται ότι είναι της τάξης του 98%.
- Δεξαμενή αποθήκευσης. Στη δεξαμενή αυτή δεν συντελείται καμία βιολογική διεργασία και παρέχει τη δυνατότητα να γίνονται ελεγχόμενες αντλήσεις.

2.3.3.3 Εκτίμηση Απόδοσης Εγκατάστασης

Για να εκτιμηθεί η απόδοση της εγκατάστασης και των στρατηγικών ελέγχου είναι απαραίτητα κάποια κριτήρια αξιολόγησης. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του συστήματος είναι παρόμοιοι με αυτούς του BSM1, παρουσιάζοντας ωστόσο κάποιες διαφοροποιήσεις.

Παραβιάσεις ορίων εκροής

Στο κριτήριο αυτό ισχύει ότι ακριβώς παρουσιάστηκε στο BSM1 και ισχύουν τα όρια του Πίνακα 2.20.

Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)

Ο δείκτης ποιότητας εκροής υπολογίζεται απ' τα αποτελέσματα των 364 τελευταίων ημερών της δυναμικής προσομοίωσης σε kg μονάδων ρύπανσης ανά ημέρα.

$$EQI = \frac{1}{1000 \times T} \times \int_{t=245}^{t=609} ((2 \times TSS, e(t)) + (1 \times COD, e(t)) + (30 \times STNK, e(t)) + (10 \times SNO_e(t)) + (2 \times BOD, e(t))) \times Q, e(t) dt$$

Ολικό λειτουργικό κόστος

Για τον υπολογισμό του δείκτη λειτουργικού κόστους (OCI) συγκριτικά με το BSM1 λαμβάνονται υπόψη δυο νέα μεγέθη που συνδέονται με τη μονάδα της χώνευσης. Αυτά είναι η παραγωγή μεθανίου (MP) και η καθαρή ενέργεια θέρμανσης και κάλυψης θερμικών απωλειών του χωνευτή (HEnet). Επομένως, ο Δείκτης Λειτουργικού Κόστους (OCI) θα δίνεται από την σχέση:

$$OCI = AE + PE + (3 \times SP) + (3 \times EC) + ME - (6 \times MP) + HE_{net}$$

2.4 Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου

2.4.1 Εισαγωγή

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) έχουν σημειώσει σημαντική αύξηση τα τελευταία 200 χρόνια. Τα αέρια αυτά παράγονται μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως γεωργία, βιομηχανία, διάθεση των αποβλήτων, αποψίλωση των δασών και ορυκτά καύσιμα. Έχει αναφερθεί πως οι συγκεντρώσεις CO₂ αυξήθηκαν από 280 ppmv σε 372,3 ppmv και θα συνεχίσουν να αυξάνονται περίπου 0,5% ετησίως, ενώ η τρέχουσα συγκέντρωση CH₄ στην ατμόσφαιρα αυξάνεται με ρυθμό 0,02 ppmv ετησίως. Επιπλέον, οι ετήσιες πηγές N₂O έχουν αυξηθεί κατά περίπου 40-50%. Ως αποτέλεσμα της αύξησης αυτής, θα μπορούσαν να υπάρξουν μεγάλες και γρήγορες μεταβολές στο κλίμα της γης, λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη που προκαλείται από αυτά τα αέρια (Gurta et al., 2012).

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, τα κυριότερα αέρια που παράγονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Η παράμετρος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της κλιματικής αλλαγής ονομάζεται «Global Warming Potentials (GWP)» και ποσοτικοποιεί την επίδραση κάθε αερίου στην κλιματική αλλαγή για περίοδο 100 χρόνων. Συγκεκριμένα, ένας τόνος μεθανίου επηρεάζει το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως θα έκαναν 25 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα και ένας τόνος υποξειδίου του αζώτου ισοδυναμεί με 296 τόνους διοξειδίου του άνθρακα (IPCC, 2007).

2.4.2 Διοξείδιο του άνθρακα CO₂

Οι έμμεσες εκπομπές του CO₂ υπολογίζονται βάση των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης, ενώ οι άμεσες εκπομπές υπολογίζονται βάση των διεργασιών που συμβαίνουν σε όλα τα στάδια της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων (Massara et al., 2017). Συγκεκριμένα, μέσω της αναερόβιας διαδικασίας, το BOD₅ των λυμάτων είτε ενσωματώνεται στη βιομάζα είτε μετατρέπεται σε CO₂ και CH₄. Επίσης, ένα μέρος της βιομάζας μετατρέπεται περαιτέρω σε CO₂ και CH₄ μέσω ενδογενούς αναπνοής, ενώ άλλες πηγές διοξειδίου του άνθρακα είναι οι χωνευτές ιλύος. Τέλος, στην αερόβια

διαδικασία, το CO₂ παράγεται μέσω της διάσπασης της οργανικής ύλης και μέσω των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης (Gurta et al.,2012; Kampschreur et al.,2009)

2.4.3 Μεθάνιο CH₄

Το μεθάνιο εκπέμπεται κυρίως στα αποχετευτικά δίκτυα, ενώ μπορεί να παραχθεί κατά την αναερόβια διάσπαση των λυμάτων και των συστατικών της ιλύος. Η παραγωγή του εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του διασπάσιμου οργανικού υλικού στα λύματα, τη θερμοκρασία και τον τύπο του συστήματος επεξεργασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο ρυθμός παραγωγής του CH₄. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μη ελεγχόμενα συστήματα και σε θερμά κλίματα (Gurta et al., 2012; Massara et al., 2017; Kampschreur et al., 2009).

2.4.4 Υποξείδιο του αζώτου N₂O

Το N₂O είναι ιδιαίτερα σημαντικό δεδομένου ότι έχει πολύ μεγάλο GWP και μπορεί να μείνει σε σταθερή κατάσταση στην ατμόσφαιρα για 114 έτη (IPCC, 2007). Επιπλέον, οι άμεσες εκπομπές N₂O κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας λυμάτων συμβάλλουν κατά 26% στη συνολική αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω των επεξεργασιών του νερού, δηλαδή της παραγωγής πόσιμου νερού, της επεξεργασίας λυμάτων και της απόρριψης των εκροών, της επεξεργασίας και της διάθεσης ιλύος. Μπορεί να παραχθεί μέσω της διάσπασης των συστατικών που περιέχουν άζωτο στα λύματα και είναι αποτέλεσμα της νιτροποίησης – απονιτροποίησης. Η νιτροποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία κατά την οποία μετατρέπεται η αμμωνία και άλλες ενώσεις αζώτου σε νιτρικά (NO₃), ενώ η απονιτροποίηση πραγματοποιείται κάτω από ανοξικές συνθήκες και περιλαμβάνει τη βιολογική μετατροπή των νιτρικών στο αέριο άζωτο (N₂). Το N₂O μπορεί να είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν και των δύο διεργασιών, αλλά συνδέεται συχνότερα με την απονιτροποίηση. Και οι δύο διαδικασίες μπορούν να συμβούν τόσο στην εγκατάσταση, όσο και στον υδατικό αποδέκτη που καταλήγουν τα λύματα (Gurta et al., 2012).

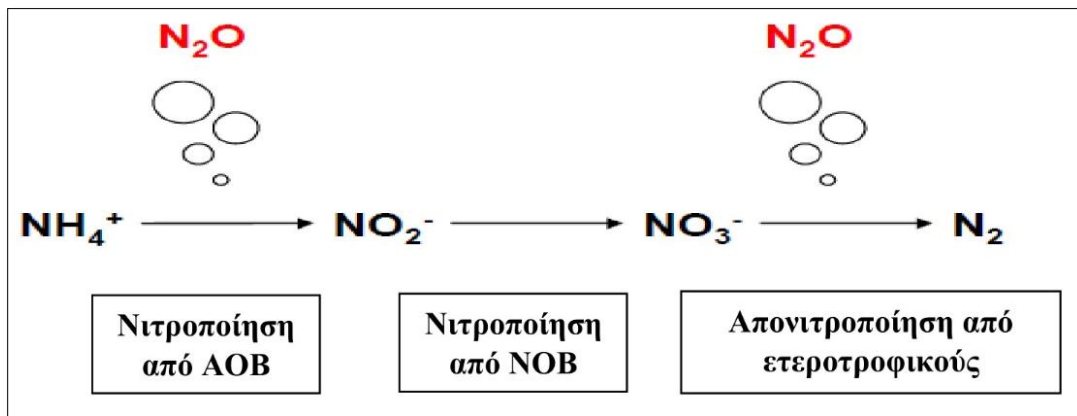
Διάφοροι παράγοντες που οδηγούν σε αύξηση των εκπομπών του N₂O είναι το χαμηλό διαλυμένο οξυγόνο, η υψηλή συσσώρευση νιτρικών, ο χαμηλός λόγος COD/N, η αργή

ανάπτυξη απονιτροποιητικών βακτηριδίων, το μη ελεγχόμενο pH και η θερμοκρασία (Massara et al., 2017; Kampschreur et al., 2009).

2.4.5 Βιολογική Απομάκρυνση Αζώτου

2.4.5.1 Εισαγωγή

Πιο κάτω παρουσιάζονται οι διεργασίες που ακολουθούνται κατά τη βιολογική απομάκρυνση του αζώτου σε μια ΕΕΛ.

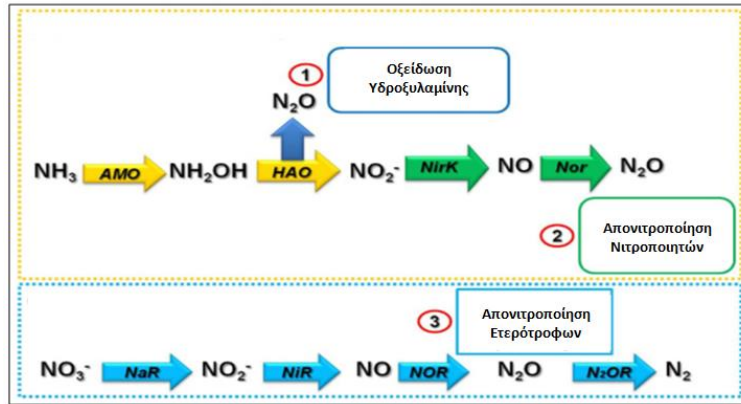


Σχήμα 2-8: Παραγωγή υποξειδίου του αζώτου μέσω της απομάκρυνσης του αζώτου

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, η παραγωγή του N_2O οφείλεται στις διεργασίες της νιτροποίησης, η οποία γίνεται σε αερόβιες συνθήκες, και της απονιτροποίησης, η οποία γίνεται σε ανοξικές συνθήκες. Οι διεργασίες αυτές φαίνονται στο Σχήμα 2.8. Αρχικά, λαμβάνει χώρα η νιτροποίηση, κατά την οποία τα αυτοτροφικά αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια (AOB) οξειδώνουν την αμμωνία (NH_4^+) σε νιτρώδη (NO_2^-) και, ακολούθως, τα αυτοτροφικά νιτρικά οξειδωτικά βακτήρια (NOB) οξειδώνουν τα νιτρώδη σε νιτρικά (NO_3^-). Έπειτα, τα ετεροτροφικά βακτήρια μετατρέπουν τα νιτρικά σε αέριο άζωτο (N_2), επιτελώντας τη διεργασία της απονιτροποίησης ως εξής: Το NO_3^- μετατρέπεται σε NO_2^- , το NO_2^- σε νιτρικό οξείδιο (NO), το NO σε N_2O και, τέλος, το N_2O σε αέριο άζωτο N_2 (Malamis et al., 2015; Massara et al., 2017; Kampschreur et al., 2009).

Οι βιολογικές διεργασίες που οδηγούν στην παραγωγή N_2O από τους είναι κυρίως τρεις: οξείδωση υδροξυλαμίνης (NH_2OH), απονιτροποίηση νιτροποιητών και ετεροτροφική απονιτροποίηση (Σχήμα 2.9). Όσον αφορά την Οι τρεις διεργασίες περιγράφονται πιο κάτω (Massara et al., 2017; Wunderlin et al., 2011):

- Οξείδωση υδροξυλαμίνης: Παραγωγή N_2O από ενδιάμεσα προϊόντα βιολογικής οξείδωσης υδροξυλαμίνης (π.χ. HNO , $N_2O_2H_2$). Η αμμωνία αρχικά οξειδώνεται σε υδροξυλαμίνη από το ένζυμο της αμμωνίας μονοοξυγενάση (AMO) και στη συνέχεια η υδροξυλαμίνη καταλύεται σε νιτρώδη από το περιπλασματικό ένζυμο της οξυδωαναγωγής της υδροξυλαμίνης (HAO) με κύριο αποδέκτη ηλεκτρονίων το οξυγόνο. Στο σημείο αυτό παράγεται N_2O για την περίπτωση όπου η υδροξυλαμίνη δεν οξειδωθεί πλήρως σε NO_2 (Χημική διάσπαση και Νιτροποίηση των νιτροποιητών)
- Απονιτροποίηση νιτροποιητών: Τα νιτρώδη ανάγονται σε NO μέσω του ενζύμου της νιτρικής αναγωγής ($NirK$) και τα NO ανάγονται σε N_2O μέσω νιτρικής οξειδοαναγωγής.
- Απονιτροποίηση από τους ετερότροφους μικροοργανισμούς: Παραγωγή N_2O από ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς σε ανοξικές συνθήκες, λόγω συσσώρευσης νιτρωδών ή περιορισμένης διαθεσιμότητας βιοδιασπάσιμων οργανικών ενώσεων. Τα νιτρικά καταλύονται σε νιτρώδη μέσω της νιτρικής αναγωγής (Nar), έπειτα σε μονοξείδιο του αζώτου με τη νιτρώδη αναγωγή (NiR), σε υποξείδιο του αζώτου με τη νιτρική οξειδοαναγωγή (NOR) και τέλος με τη αναγωγή του υποξειδίου του αζώτου (N_2OR) σε αέριο άζωτο.



Σχήμα 2-9: Βιολογικές διεργασίες παραγωγής N_2O (Massara et al., 2017)

2.4.5.2 Μοντελοποίηση διεργασιών

Για την ποσοτικοποίηση του N_2O που παράγεται στην εγκατάσταση μοντελοποιήθηκαν οι διεργασίες που προαναφέρθηκαν, δηλαδή η χημική διάσπαση και η νιτροποίηση των νιτροποιητών (οξείδωση υδροξυλαμίνης), η απονιτροποίηση των νιτροποιητών και η ετεροτροφική απονιτροποίηση.

- Χημική διάσπαση

Η χημική αποσύνθεση του NOH που παράγεται κατά την οξείδωση του NH_2OH σε νιτρώδη οδηγεί σε παραγωγή N_2O . Η αύξηση των AOB αγνοείται, ενώ το οξυγόνο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, καθώς αποτελεί τον δότη ηλεκτρονίων στο σύστημα.

Πίνακας 2-20: Στοιχειομετρία μοντέλου χημικής διάσπασης (Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	S_{O_2}	S_{NH}	S_{NH_2OH}	S_{NOH}	S_{NO_2}	S_{N_2O}
1	-1	-1	1	1		
2			-1	-1	1	
3				-1		0.5
4						
5	-1					

Πίνακας 2-21: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου χημικής διάσπασης (Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	Κινητικές εξισώσεις
1	$q_{AOB,1,max} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,1}} \frac{S_{NH_4}}{S_{NH_4} + K_{NH_4,AOB}} * X_{AOB}$
2	$q_{AOB,2,max} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,2}} \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} * X_{AOB}$
3	$q_{AOB,3,max} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,3}} \frac{S_{NOH}}{S_{NOH} + K_{NOH,AOB}} * X_{AOB}$
4	$q_{AOB,3,max} * S_{NOH} X_{AOB}$
5	$0.5R_2 + R_3 - R_1$

▪ Νιτροποίηση νιτροποιητών

Αρχικά, η αμμωνία οξειδώνεται σε υδροξυλαμίνη, έπειτα η υδροξυλαμίνη οξειδώνεται σε NO και, μετέπειτα, σε νιτρώδη. Από το ένζυμο Nor, ένα τμήμα του NO ανάγεται σε N₂O, όπου θεωρείται πως η οξείδωση της υδροξυλαμίνης σε νιτρώδη γίνεται κατευθείαν και συνδυάζεται με την αναγωγή του NO σε N₂O. Η υδροξυλαμίνη είναι δότης ηλεκτρονίων αφού αποβάλει 4 ηλεκτρόνια τα οποία καταναλώνονται από το NO ως τελικός δέκτης ηλεκτρονίων. Όλες οι διεργασίες καταναλώνουν οξυγόνο εκτός της τελευταίας.

Πίνακας 2-22: Στοιχειομετρία μοντέλου νιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	S _{O₂}	S _{NH}	S _{NH₂OH}	S _{NO₂}	S _{NO}	S _{N₂O}	X _{AOB}
1	$-\frac{8}{7}$	-1	1				
2	$\frac{12}{7} - \frac{Y_{AOB}}{Y_{AOB}}$	$-i_{N,AOB}$	$-\frac{1}{Y_{AOB}}$		$\frac{1}{Y_{AOB}}$		1
3	$-\frac{4}{7}$			1	-1		
4			-1	1	-4	4	

Πίνακας 2-23: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου νιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	Κινητικές εξισώσεις
1	$\mu_{AOB,AMO} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,1}} \frac{S_{NH_4}}{S_{NH_4} + K_{NH_4,AOB}} * X_{AOB}$
2	$\mu_{AOB,HAO,1} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,2}} \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} * X_{AOB}$
3	$\mu_{AOB,HAO,2} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,2}} \frac{S_{NO}}{S_{NO} + K_{NO,AOB}} * X_{AOB}$
4	$n_{AOB} * \mu_{AOB,HAO,1} * \frac{S_{NO}}{S_{NO} + K_{NO,AOB}} \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} * X_{AOB}$

▪ Απονιτροποίηση νιτροποιητών

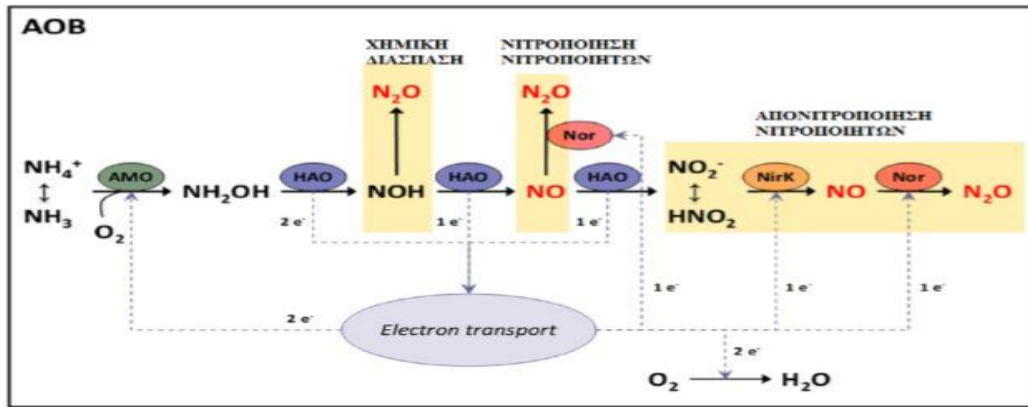
Όπως αναφέρθηκε και πριν, αρχικά οξειδώνεται η αμμωνία σε υδροξυλαμίνη. Η υδροξυλαμίνη οξειδώνεται σε νιτρώδη με τελικό αποδέκτη ηλεκτρονίων το οξυγόνο. Η ανάπτυξη των AOB λαμβάνεται υπόψη σε αυτό το μοντέλου. Τα νιτρώδη μετατρέπονται σε NO με το ένζυμο NirK και τελικά με το ένζυμο NorI το NO ανάγεται σε N₂O.

Πίνακας 2-24: Στοιχειομετρία μοντέλου απονιτροποίησης των νιτροποιητών (Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	S _{O₂}	S _{NH}	S _{NH₂OH}	S _{NO₂}	S _{NO}	S _{N₂O}	X _{AOB}
1	$-\frac{8}{7}$	-1	1				
2	$-\frac{\frac{16}{7} - Y_{AOB}}{Y_{AOB}}$	$-i_{N,AOB}$	$-\frac{1}{Y_{AOB}}$	$\frac{1}{Y_{AOB}}$			1
3			-1	-3	4		
4			-1	1	-4	4	

Πίνακας 2-25: Κινητικές εξισώσεις μοντέλου απονιτροποίησης νιτροποιητών(Δημητρίου.,2017)

Διεργασίες	Κινητικές εξισώσεις
1	$\mu_{AOB,AMO} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,1}} \frac{S_{NH_4}}{S_{NH_4} + K_{NH_4,AOB}} * X_{AOB}$
2	$\mu_{AOB,HAO} * \frac{S_{O_2}}{S_{O_2} + K_{O_2,AOB,2}} \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} * X_{AOB}$
3	$n_{AOB} * \mu_{AOB,HAO} * \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} \frac{S_{NO_2}}{S_{NO_2} + K_{NO_2,AOB}} * \frac{K_{I,O_2,AOB}}{K_{I,O_2,AOB} + S_{O_2}} X_{AOB}$
4	$n_{AOB} * \mu_{AOB,HAO} * \frac{S_{NO}}{S_{NO} + K_{NO,AOB}} \frac{S_{NH_2OH}}{S_{NH_2OH} + K_{NH_2OH,AOB}} * \frac{K_{I,O_2,AOB}}{K_{I,O_2,AOB} + S_{O_2}} X_{AOB}$



Σχήμα 2-10: Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών παραγωγής N₂O από τους AOB

▪ Ετεροτροφική απονιτροποίηση

Στο μοντέλο ενεργού λύου για Άζωτο (ASMN) (Pan et al, 2015), οι διαδικασίες οξείδωσης του άνθρακα, καθώς και της αναγωγής του αζώτου είναι άμεσα συνδεδεμένες. Τα τέσσερα βήματα του μοντέλου που αναφέρονται προηγουμένως είναι ανεξάρτητα και διαφορετικά μεταξύ τους. Ο ρόλος της οξείδωσης του αζώτου έχει δύο πτυχές. Πρώτη είναι ότι οι σχέσεις μεταξύ των σταθερών, για τη πηγή του άνθρακα μπορεί να είναι διαφορετικές, και δεύτερον ότι η οξείδωση του άνθρακα είναι το άθροισμα των τεσσάρων βημάτων απονιτροποίησης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μοντέλο θεωρεί πως ο άνθρακας πάντα θα ικανοποιεί τις ανάγκες του μοντέλου σε ηλεκτρόνια πράγμα που ίσως να μην ισχύει και κάποια βήματα να είχαν διαφορετικά αποτελέσματα.

Πίνακας 2-26: Στοιχειομετρία και οι κινητικές εξισώσεις ASMN(Pan et al, 2015)

Διεργασίες	Συστατικά Μοντέλου ASMN						Εξισώσεις
	S _{NO3}	S _{NO2}	S _{NO}	S _{N2O}	S _{N2}	S _S	
R1	-A	+A				$\frac{1}{Y_H * \eta_Y}$	$\mu_H * n_{g1} * X * \left(\frac{S_S}{S_S + K_{S1}}\right) * \left(\frac{S_{NO3}}{S_{NO3} + K_{NO3}^{HB}}\right)$
R2		-B	+B			$\frac{1}{Y_H * \eta_Y}$	$\mu_H * n_{g2} * X * \left(\frac{S_S}{S_S + K_{S2}}\right) * \left(\frac{S_{NO2}}{S_{NO2} + K_{NO2}^{HB}}\right) * \left(\frac{K_{NO,2}}{S_{NO} + K_{NO,2}}\right)$
R3			-B	+B		$\frac{1}{Y_H * \eta_Y}$	$\mu_H * n_{g3} * X * \left(\frac{S_S}{S_S + K_{S3}}\right) * \left(\frac{S_{NO}}{S_{NO} + K_{NO}^{HB} + S_{NO}^2 / K_{NO3}}\right)$
R4				-B	+B	$\frac{1}{Y_H * \eta_Y}$	$\mu_H * n_{g4} * X * \left(\frac{S_S}{S_S + K_{S4}}\right) * \left(\frac{S_{N2O}}{S_{N2O} + K_{N2O}^{HB}}\right) * \left(\frac{K_{NO,4}}{S_{NO} + K_{NO,4}}\right)$

$$A = \frac{1 - Y_H * \eta_Y}{1.143 Y_H * \eta_Y} \quad B = \frac{1 - Y_H * \eta_Y}{0.571 + Y_H * \eta_Y}$$

3 Ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)

3.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι από μόνη της ένα ανεξάρτητο ολοκληρωμένο σύστημα. Περιλαμβάνει μονάδες πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας καθίζησης, βιολογικούς αντιδραστήρες, παχυντές, αναερόβιους χωνευτές, συστήματα αφυδάτωσης και άλλες υπο-διαδικασίες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και δεν λειτουργούν ως ξεχωριστές μονάδες αλλά σαν ενιαίο σύνολο. Στην περίπτωση που το σύστημα δεν ελεγχόταν και θεωρείτο ως ενιαίο στην εγκατάσταση δεν θα υπήρχε η δυνατότητα να υπάρχει η βέλτιστη ποιότητα εκροής καθώς και η ελάχιστη χρήση ενέργειας (Σαραντόπουλος, 2015).

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μία ευρύτατη τροποποίηση του βασικού μοντέλου ASM1 της IWA έτσι ώστε να περιγράφουν αναλυτικά οι διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή υποξειδίου του αζώτου κατά την βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Το μοντέλο αυτό ενσωματώθηκε σε ένα υπάρχον ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων των Koumaki et. al. (2017) και Σαραντόπουλου (2015) που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Μάλιστα ο υπολογισμός των εκπομπών N_2O άρχισε να ερευνάται την τελευταία πενταετία, ενώ προηγουμένως υπολογιζόταν εμπειρικά θεωρώντας ένα ποσοστό του ολικού αζώτου μεταξύ 0.5-3% για τα αστικά λύματα. Εκτός από το ποσοστό των ρύπων N_2O , το μοντέλο αυτό συνδέεται με την ζήτηση οξυγόνου στο σύστημα, με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και την ποιότητα εκροής της εγκατάστασης.

Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά θα αναλυθούν τα νέα συστατικά του μοντέλου. Στη συνέχεια εξηγούνται λεπτομερώς οι διεργασίες που γίνονται στη βιολογική βαθμίδα, καθώς και στις άλλες μονάδες της εγκατάστασης. Τέλος γίνεται αναφορά στις διεργασίες κατανάλωσης ενέργειας καθώς και στις εκπομπές αέριων θερμοκηπίου.

Σημειώνεται ότι, η διάταξη και τα χαρακτηριστικά των μονάδων της προσομοιωμένης ΕΕΛ, εκτός του βιολογικού αντιδραστήρα και της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, τα ισοζύγια μαζών για την προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης και της γραμμής επεξεργασίας της ιλύος και οι εξισώσεις προσομοίωσης της λειτουργίας του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και οι εξισώσεις υπολογισμού δεικτών και εκτίμησης απόδοσης έχουν ληφθεί από το μοντέλο των Σαραντόπουλου (2015) και Koumaki et al. (2017).

3.2 Μεταβλητές Μοντέλου

Συμφώνα και με την ονοματολογία της IAWQ, τα σωματιδιακά στοιχεία θα συμβολίζονται με (X), ενώ τα διαλυτά στοιχεία με (S). Επίσης γίνεται η χρήση συγκεκριμένων δεικτών για τον καθορισμό των κύριων συστατικών: (B) για την βιομάζα, (s) για την τροφή και (o) για το οξυγόνο.

Το Βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s): Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών είτε σε αερόβιες είτε σε ανοξικές συνθήκες. Παράγεται κατά την υδρόλυση των οργανικών που βρίσκονται στη βιοκροκίδα.
- Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_s): Αποτελείται από σύνθετα μόρια και δεν μπορεί με την μορφή αυτή να εισέλθει στο κύτταρο. Προσκολλάτε εξωτερικά σε αυτό όπου διασπάται και μετατρέπεται σε τροφή για ετερότροφους μικροοργανισμούς. Έτσι καταναλώνεται κατά την υδρόλυση των παγιδευμένων οργανικών και παράγει εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s), ενώ παράγεται όταν φθείρονται οι μικροοργανισμοί (βιομάζα).

Το Μη-βιοδιασπάσιμο COD χωρίζεται σε:

- Διαλυμένη οργανική ύλη (S_i): Με όποια συγκέντρωση μπαίνει στο σύστημα με την ίδια βγαίνει. Ούτε καταναλώνεται ούτε παράγεται στο παρόν σύστημα. Αποτελεί παρόλα αυτά μέρος του συνολικού COD στην έξοδο.

- Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη (Χ_Ι): Είναι μέρος των αιωρούμενων πτητικών στερεών και απομακρύνεται από το σύστημα ως μέρος της απομακρυνθείσας ιλύος. Στην μεταβλητή συμπεριλαμβάνονται και τα σωματιδιακά προϊόντα λόγω της φθοράς των μικροοργανισμών (Χ_Ρ) για λόγους απλότητας.

Η βιομάζα η οποία χωρίζεται σε:

- Ετεροτροφική βιομάζα (Χ_{ΒΗ}): Παράγεται κατά τις ανοξικές και αερόβιες συνθήκες με κατανάλωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (S₅) και φθείρεται κατά την αποσύνθεση.
- Αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια (Χ_{ΑΟΒ}): Τα αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια παράγονται κάτω από αερόβιες συνθήκες. Συγκεκριμένα κατά την οξείδωση της υδροξυλαμίνης σε μονοξείδιο του αζώτου και καταναλώνεται λόγω αποσύνθεσης. Είναι απαραίτητα για να μετατραπεί η αμμωνία σε διοξείδιο του αζώτου.
- Νιτρικά οξειδωτικά βακτήρια (Χ_{ΝΟΒ}): Αποτελούν συνέχεια της αντίδρασης που γίνεται χάρις στα Χ_{ΑΟΒ} καθώς μετατρέπουν το διοξείδιο του αζώτου σε νιτρικά όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Καταναλώνονται λόγω αποσύνθεσης
- Ανόργανη σωματιδιακή ύλη (Χ_{ΝΥ}): Οι ανόργανες ενώσεις δεν συμμετέχουν σε καμία βιολογική διεργασία και απομακρύνονται από το σύστημα μέσω της περίσσειας ιλύος. Επομένως, συμπεριφέρονται όπως η αδρανής αιωρούμενη οργανική ύλη (Χ_Ι).

Η αζωτούχα ύλη χωρίζεται σε:

- Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο (S_{ΝΗ}): Παράγεται κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου. Χρησιμοποιείται ως διαθέσιμη πηγή για την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και ως πηγή ενέργειας για την ανάπτυξη των αυτοτροφικών. Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου είναι το άθροισμα της αμμωνίας (NH₃) και του αμμωνίου (NH₄)

- Νιτρικά (S_{NO3}): Καταναλώνονται λόγω απονιτροποίησης και παράγονται από την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηριδίων (X_{NOB}).
- Υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}): Μορφή αζώτου που δημιουργείται σύμφωνα με αυτό το μοντέλο μέσω τριών διαδικασιών ενώ καταναλώνεται μέσω της παραγωγής αέριου αζώτου (S_{N2}). Οι διαδικασίες παραγωγής του είναι :
- Μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}): Παράγεται κατά την οξείδωση της υδροξυλαμίνης (S_{NH2OH}) καθώς και μέσω της αντίδρασης των νιτρώδη (S_{NO2}) με το ένζυμο της νιτρώδους αναγωγάσεως (Nirk). Καταναλώνεται κατά τις διαδικασίες παραγωγής του υποξειδίου του αζώτου (S_{N2O}) που αναφέρθηκαν πιο πάνω.
- Νιτρώδη (S_{NO2}): Δημιουργείται λόγω της απονιτροποίησης ,της οξείδωσης της υδροξυλαμίνης (S_{NH2OH}) και της οξείδωσης του μονοξειδίου του αζώτου (S_{NO}). Καταναλώνεται λόγω της απονιτροποίησης των νιτροποιητών ,της ανοξικής ανάπτυξης της ετεροτροφικής βιομάζας και των νιτροποιητικών βακτηριδίων (X_{NOB}).
- Υδροξυλαμίνη (S_{NH2OH}): Παράγεται λόγω της οξείδωσης της αμμωνίας. Καταναλώνεται λόγω της οξείδωσης του σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}).
- Αέριο Άζωτο (S_{N2}): Παράγεται μέσω της αντίδρασης του υποξειδίου του αζώτου με του ένζυμο της αναγωγάσης του υποξειδίου του αζώτου (S_{N2O}).

Τα υπόλοιπα συστατικά που υπάρχουν στο παρόν μοντέλο είναι:

- Οξυγόνο (S_O): Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των αυτοτροφικών και ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες.
- Αλκαλικότητα (S_{ALK}): Εντοπίζει κυρίως τις μεταβολές pH των λυμάτων που εμφανίζονται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών καθώς και κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου. Μεγαλύτερο όμως πρόβλημα στην αλκαλικότητα προκαλεί η νιτροποίηση που μειώνει αρκετά την αλκαλικότητα. Για τη αποφευχθεί η περεταίρω μείωση μπορεί να προστεθεί οξείδιο του ασβεστίου.
- Διοξείδιο του άνθρακα (S_{CO2}): Αποτελούν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, περιλαμβάνοντας και το υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}), που παράγονται κατά τις

βιολογικές διεργασίες στην εγκατάσταση. Το διοξείδιο του άνθρακα καταναλώνεται από τα νιτρικά και τα αυτοτροφικά βακτήρια.

- Φωσφορικά (S_{PO4}): Παράγεται μέσω της αποσύνθεσης των βακτηρίων και των οργανισμών και καταναλώνεται για την ανάπτυξη τους.

Η συνολική οργανική ύλη (COD_{tot}) και το συνολικό άζωτο (TN) του συστήματος αποτελούνται από το άθροισμα των μεταβλητών που φαίνονται στις εξισώσεις:

$$\text{COD tot} = \text{SS} + \text{XS} + \text{SI} + \text{XI} + \text{XBH} + \text{XAOB} + \text{XNOB}$$

$$\text{TN} = \text{SNH} + \text{SN03} + \text{SN20} + \text{SNO} + \text{SN02} + \text{SNH2OH} + \text{SN2} + i_{xb}(\text{XBH} + \text{XAOB} + \text{XNOB}) + i_{xp}(\text{XI})$$

Το άθροισμα των οργανικών στερεών αποτελούν τα πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS). Στο άθροισμα αυτό γίνεται μετατροπή βάση της σχέσης που έχουν τα πτητικά αιωρούμενα στερεά με το COD, (COD/VSS = 1,42 gr COD/gr VSS) επειδή οι συγκεντρώσεις των συστατικών εκφράζονται σε *gr COD/m³*. Τελικά τα πτητικά αιωρούμενα στερεά ισούνται με:

$$\text{VSS} = \frac{(\text{XI} + \text{XS} + \text{XBH} + \text{XAOB} + \text{XNOB})}{1.42} \quad \text{gr VSS/m}^3$$

Επίσης τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) αποτελούνται από το άθροισμα των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) και της ανόργανης σωματιδιακής ύλης (X_{NV}).

$$\text{TSS} = \text{VSS} + \text{XNV} \quad \text{gr SS/m}^3$$

Πίνακας 3-1: Μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης

	Συστατικά	Ερμηνεία
1	S _s	Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη
2	X _s	Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη
3	S _i	Διαλυμένη οργανική ύλη
4	X _i	Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη
5	X _{BH}	Ετεροτροφική βιομάζα
6	X _{AOB}	Αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια
7	X _{NOB}	Νιτρικά οξειδωτικά βακτήρια
8	X _{NV}	Ανόργανη σωματιδιακή ύλη
9	S _{NH}	Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο
10	S _{NO3}	Νιτρικά
11	S _{N2O}	Υποξείδιο του αζώτου
12	S _{NO}	Μονοξείδιο του αζώτου
13	S _{NO2}	Νιτρώδη
14	S _{NH2OH}	Υδροξυλαμίνη
15	S _{N2}	Αέριο άζωτο
16	S _o	Διαλυμένο οξυγόνο
17	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
18	S _{COD}	Διοξείδιο του άνθρακα
19	S _{PO4}	Φωσφορικά
20	S _{CODtotal}	Συνολική οργανική ύλη
21	S _{TN}	Συνολικό άζωτο
22	S _{VSS}	Πτητικά αιωρούμενα στερεά
23	S _{TSS}	Ολικά αιωρούμενα στερεά

3.3 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

3.3.1 Εισαγωγή

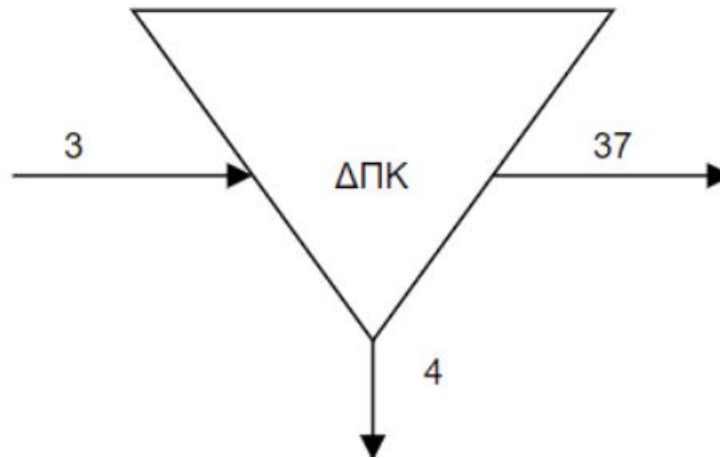
Αμέσως μετά την προεπεξεργασία, ακολουθεί το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, στο οποίο χρησιμοποιούνται δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), και η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση σημαντικού ποσοστού των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων που βρίσκονται στα λύματα (50-65%). Σε περίπτωση που το στάδιο αυτό δεν πραγματοποιηθεί σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων τότε τα αιωρούμενα σωματίδια φορτίζουν τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας με ενδεχόμενη μείωση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής.

Στις Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ), επικρατούν συνθήκες σχετικής ηρεμίας και έτσι μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από του νερού, καθιζάνει υπό την επίδραση της βαρύτητας και απομακρύνεται. Ως πρόσθετο αποτέλεσμα από την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, είναι και η ταυτόχρονη απομάκρυνση οργανικού φορτίου BOD (25-40%) όπως επίσης και η απομάκρυνση, από την επιφάνεια της δεξαμενής, επιπλεόντων στερεών όπως λάδια και λίπη.

Έτσι στο τέλος της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, το καθίζημα απομακρύνεται υπό τη μορφή πρωτοβάθμιας ιλύος συγκέντρωσης 1,5-2%, και τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα υπερχειλίζουν από την ΔΠΚ και να εισέλθουν στο βιοαντιδραστήρα.

3.3.2 Προσομοίωση Δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)

Η προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ισορροπίας μαζών όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Οι αριθμοί κάθε θέσης και οι ονομασίες των συντελεστών, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 3-1: Διακριτοποίηση θέσεων ΔΠΚ

Πρωτοβάθμια Ιλύς (Θέση 37)

Εδώ τονίζεται ότι στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, θεωρείται ότι επιτυγχάνεται σταθερός βαθμός απομάκρυνσης σωματιδιακών στερεών μέσω της καθίζησης και εκφράζεται ως $s_r = 50\%$. Επίσης θεωρείται ότι η συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος, εκφράζεται ως $C_{prim} = 15\text{kg/m}^3$.

Βάση των παραμέτρων αυτών, υπολογίζεται η μάζα των στερεών αλλά και η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος:

$$M_{TSS_{37}} = \frac{s_r \times M_{TSS_3}}{100}$$

$$Q_{37} = \frac{M_{TSS_{37}}}{C_{prim}}$$

Αντίστοιχα με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες όλων των σωματιδιακών συστατικών του μοντέλου:

$$M_{X_{37}} = \frac{s_r \times M_{X_3}}{100}$$

$$X_{37} = \frac{M_{TSS_{37}}}{Q_{37}}$$

Αντίθετα με τα σωματιδιακά, η συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών του μοντέλου δεν μεταβάλλεται και έτσι η μάζα τους υπολογίζεται βάση της παροχής της πρωτοβάθμιας λύσης:

$$S_{37} = S_3$$

$$M_{S_{37}} = S_{37} \times Q_{37}$$

Πρωτοβάθμια Επεξεργασμένα Λύματα (Θέση 4)

Με γνωστές τις παροχές στις θέσεις 3 και 37, υπολογίζεται η παροχή στην θέση 4 και βάση αυτής, οι μάζες και οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων συστατικών. Οι διαφοροποιήσεις για τον υπολογισμό των σωματιδιακών-διαλυτών συγκεντρώσεων ισχύουν όπως πιο πάνω.

$$Q_4 = Q_3 - Q_{37}$$

$$M_{X_4} = M_{X_3} - M_{X_{37}}$$

$$X_4 = \frac{M_{X_4}}{Q_4}$$

$$S_4 = S_3$$

$$M_{S_4} = S_4 \times Q_4$$

3.4 Βιολογικός Αντιδραστήρας

3.4.1 Εισαγωγή

Αμέσως μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση τα λύματα οδηγούνται στον βιολογικό αντιδραστήρα. Για την προσομοίωση της λειτουργίας του χρησιμοποιήθηκε μία τροποποίηση του μοντέλου ενεργού υλίου No.1 (ASM1).

Το μοντέλο αναπτύχθηκε βάσει των απαραίτητων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στον αντιδραστήρα, οι οποίες είναι απλές και εύχρηστες .

Η μαθηματική προσομοίωση του μοντέλου περιλαμβάνει :

- Τις διεργασίες του μοντέλου που αφορούν την υδρόλυση, την ετεροτροφική βιομάζα, τον κύκλο του αζώτου καθώς και τους AOB και NOB μικροοργανισμούς.
- Τις στοιχειομετρικές παραμέτρους.
- Την επίδραση της θερμοκρασίας.
- Τις απαιτήσεις οξυγόνου στο σύστημα.

3.4.2 Διεργασίες του Μοντέλου

Αερόβια Υδρόλυση:

Κατά την αερόβια υδρόλυση, μέσω εξωκυτταρικής δράσης η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_s) μπορεί να μετατραπεί σε εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s), τροφή για τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς (X_{BH}). Λόγω της υδρόλυσης απελευθερώνεται ένα μικρό ποσοστό αμμωνίας. Ο ρυθμός της αερόβιας υδρόλυσης δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$r_1 = kh \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{oh}} \right) \times \left(\frac{X_s/X_{BH}}{K_X + X_s/X_{BH}} \right) \times X_{BH}$$

Όπως παρατηρούμε σε αυτή την εξίσωση είναι ότι οι περιοριστικοί παράγοντες είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου (S_o) καθώς και ο λόγος της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης ($\frac{X_s}{X_{BH}}$).

Ανοξική Υδρόλυση:

Όπως και στην αερόβια, στην ανοξική υδρόλυση έχουμε ακριβώς τους ίδιους μηχανισμούς. Η διεργασία γίνεται σε ανοξικές συνθήκες και με πιο αργό ρυθμό για αυτό το λόγο υπάρχουν οι συντελεστές nNO_3H και nNO_2H , με την παρουσία νιτρικών (S_{NO_3}) στη μια περίπτωση και στην άλλη με νιτρώδη (S_{NO_2}). Ο ρυθμοί της ανοξικής υδρόλυσης, για τις δύο αυτές περιπτώσεις δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$r_2 = kh \times nNO_3H \times \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \times \left(\frac{S_{NO_3}}{S_{NO_3} + K_{NO_3}} \right) \times \left(\frac{X_s/X_{BH}}{K_X + X_s/X_{BH}} \right) \times X_{BH}$$

$$r_3 = kh \times nNO_2H \times \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \times \left(\frac{S_{NO_2}}{S_{NO_2} + K_{NO_2}} \right) \times \left(\frac{X_s/X_{BH}}{K_X + X_s/X_{BH}} \right) \times X_{BH}$$

Στις εξισώσεις αυτές οι περιοριστικοί παράγοντες είναι η έλλειψη συγκέντρωσης του οξυγόνου (S_o), ο λόγος της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης ($\frac{X_s}{X_{BH}}$) και τα νιτρικά (S_{NO_3}) ή τα νιτρώδη (S_{NO_2}) αντίστοιχα.

Αναερόβια υδρόλυση:

Έχουμε ακριβώς τους ίδιους μηχανισμούς με την αερόβια και την ανοξική υδρόλυση. Στις αναερόβιες συνθήκες η ταχύτητα της διεργασίας είναι πολύ πιο μικρή, πράγμα που εκδηλώνεται μέσω του συντελεστή nfe . Ο ρυθμός της ανοξικής υδρόλυσης δίνεται από τη πιο κάτω σχέση:

$$r_4 = kh \times nfe \times \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \times \left(\frac{K_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_3} + S_{NO_2}} \right) \times \left(\frac{X_s/X_{BH}}{K_X + X_s/X_{BH}} \right) \times X_{BH}$$

Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών:

Κατά την αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, γίνεται κατανάλωση από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής (S_s) κάνοντας χρήση και διαλυμένου οξυγόνου (S_o). Επίσης, καταναλώνεται και ποσότητα αμμωνιακού αζώτου (S_{NH}) και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (S_{CO_2}). Ο ρυθμός της αερόβιας ανάπτυξης της ετεροτροφικής βιομάζας δίνεται από την σχέση:

$$r_5 = mh \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{oh}} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + K_S} \right) \times \left(\frac{S_{NH}}{S_{NH} + K_{nh}} \right) \times \left(\frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \right) \times X_{BH}$$

Εξαρτάται από την συγκέντρωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής (S_s), του διαλυμένου οξυγόνου (S_o), από τη συγκέντρωση αμμωνίας (S_{NH}), φωσφόρου (S_{PO_4}) και την αλκαλικότητα (S_{ALK}) και οποιοδήποτε από αυτά μπορεί να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα.

Απονιτροποίηση ετεροτροφικών μικροοργανισμών:

Κατά την απονιτροποίηση των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, γίνεται κατανάλωση από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής (S_s) όμως σε πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με την αερόβια ανάπτυξη τους. Επίσης, καταναλώνεται και ποσότητα αμμωνιακού αζώτου και νιτρικά ενώ παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Ο ρυθμός της απονιτροποίησης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών δίνεται από την σχέση:

$$r_6 = mh \times n_{NO_3D} \times \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + K_S} \right) \times \left(\frac{S_{NO_3}}{S_{NO_3} + K_{NO_3}} \right) \times \left(\frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \right) \times X_{BH}$$

Όπως παρατηρούμε από την κινητική εξίσωση εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες με την προηγούμενη εξίσωση αλλά γίνεται σε ανοξικές συνθήκες και παρουσία νιτρικών.

Ανοξική Ανάπτυξη των Ετεροτροφικών Μικροοργανισμών:

Η ανοξική ανάπτυξη των ετεροτροφικών όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μπορεί να γίνει 3 διεργασίες.

Στη πρώτη διεργασία τα νιτρώδη (S_{NO2}) μετατρέπονται σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) με το ένζυμο της νιτρώδους αναγωγής ($Nirk$). Στη δεύτερη διεργασία το μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) μετατρέπεται σε υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}) με το ένζυμο της νιτρικής οξειδοαναγωγής (Nor). Στην τρίτη διεργασία το υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}) μετατρέπεται σε αέριο άζωτο (S_{N2}) με το ένζυμο της αναγωγής του υποξειδίου του αζώτου.

Για να γίνουν οι αντιδράσεις λόγω της ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών απαιτούνται φωσφορικά και αμμωνία και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Οι ρυθμοί των αντιδράσεων δίνονται στις πιο κάτω σχέσεις:

$$r7 = mh \times nG3 \times \left(\frac{Koh3}{Koh3 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS3} \right) \times \left(\frac{SNO2}{SNO2 + KN02D} \right) \times \left(\frac{Ki3NO}{Ki3NO + SNO} \right) \times XBH$$

Όπως ήταν λογικό, περιοριστικός παράγοντας μπορεί να είναι η παρουσία οξυγόνου, η έλλειψη νιτρωδών και η βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη αντίθετα όσο αυξάνεται το μονοξείδιο του αζώτου τόσο πιο αργή γίνεται η διεργασία.

$$r8 = mh \times nG4 \times \left(\frac{Koh4}{Koh4 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS4} \right) \times \left(\frac{SNO}{(SNO + KNOD) + \left(\frac{SNO^2}{Ki4NO} \right)} \right) \times XBH$$

Όπως φαίνεται περιοριστικός παράγοντας πλην του οξυγόνου και της έλλειψης βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης είναι και η απουσία νιτρικού οξειδίου.

$$r9 = mh \times nG5 \times \left(\frac{Koh5}{Koh5 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS5} \right) \times \left(\frac{SN2O}{SN2O + KN2OD} \right) \times \left(\frac{Ki5NO}{Ki5NO + SNO} \right) \times XBH$$

Παρατηρούνται οι ίδιοι περίπου περιοριστικοί παράγοντες με τη διεργασία ρ_6 με τη διαφορά ότι αυτή η διεργασία απαιτεί υποξείδιο του αζώτου για να πραγματοποιηθεί σε αντίθεση με τη προηγούμενη που απαιτεί νιτρώδη.

Αποσύνθεση ετεροτροφικής βιομάζας:

Όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των ετεροτροφικών μικροοργανισμών μειώνεται η καθαρή παραγωγή υλός. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς μηχανισμούς, όπως η λύση ή η ανάγκη των μικροοργανισμών για συντηρούμενη ενέργεια. Η αποσύνθεση προσομοιώνεται για λόγους απλότητας με ένα σταθερό ρυθμό φθοράς b_H που δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες περιβάλλοντος.

$$r_{10} = b_H \times X_{BH}$$

Η αποσύνθεση της βιομάζας έχει σαν αποτέλεσμα την μετατροπή της σε αργά βιοδιασπάσιμη τροφή X_S και σε αδρανή σωματιδιακά προϊόντα X_i , ενώ εκλύεται αμμωνία και φωσφορικά.

Οξειδωση αμμωνίας σε υδροξυλαμίνη:

Είναι το πρώτο βήμα της βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου. Η αμμωνία (S_{NH}) οξειδώνεται σε υδροξυλαμίνη (S_{NH_2OH}) με τη βοήθεια του ένζυμο της αμμωνίας μονοοξυγενάση (AMO). Ο ρυθμός της αντίδρασης φαίνεται πιο κάτω:

$$r_{11} = q_{aobamo} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohaob1}} \right) \times \left(\frac{S_{NH}}{S_{NH} + K_{nhaob}} \right) \times X_{AOB}$$

Οξειδωση υδροξυλαμίνης σε μονοξείδιο του αζώτου:

Η υδροξυλαμίνη (S_{NH_2OH}) οξειδώνεται σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) από το περιπλασματικό ένζυμο της υδροξυλαμίνης οξειδοαναγωγάσης (HAO). Γίνεται κατανάλωση αμμωνίας (S_{NH}) και φωσφόρου (S_{PO_4}) και παράγονται αυτοτροφικά οξειδωτικά βακτήρια (X_{AOB}). Επίσης, καταναλώνεται διοξείδιο του άνθρακα (S_{CO_2}).

$$r_{12} = m_{aobhao} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohaob2}} \right) \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + K_{nh2ohaob}} \right) \times \left(\frac{SNH}{SNH + 10^{-12}} \right) \times X_{AOB}$$

Οξειδωση μονοξειδίου του αζώτου σε νιτρώδη:

Το μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) οξειδώνεται σε νιτρώδη (S_{NO2}) με το ίδιο ένζυμο της υδροξυλαμίνης οξειδοαναγωγής (HAO). Η διεργασία φαίνεται πιο κάτω:

$$r_{13} = q_{aobhao} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohaob2}} \right) \times \left(\frac{SNO}{SNO + K_{noaobho}} \right) \times X_{AOB}$$

Αναγωγή του μονοξειδίου του αζώτου σε υποξείδιο του αζώτου:

Το μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) μπορεί να μετατραπεί σε υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}) μέσω της νιτρικής οξειδοαναγωγής (Nor). Η διεργασία ονομάζεται νιτροποίηση των νιτροποιητών (NN).

$$r_{14} = q_{aobN2ONN} \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + K_{nh2ohaob}} \right) \times \left(\frac{SNO}{SNO + K_{NOaobNN}} \right) \times X_{AOB}$$

Αναγωγή των νιτρωδών σε υποξείδιο του αζώτου:

Αρχικά τα νιτρώδη (S_{NO2}) αναγόνται σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) μέσω του ενζύμου της νιτρικής αναγωγής (NirK) και ακολούθως αναγόνται σε υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}) μέσω νιτρικής οξειδοαναγωγής (Nor).

$$r_{15} = q_{AOBN2OND} \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + K_{nh2ohaob}} \right) \times \left(\frac{SHNO2}{SHNO2 + K_{hNO2aob}} \right) \times f_{SO} \times X_{AOB}$$

- $f_{SO} = \left(\frac{SO}{K_{ohaobND} + (1 - \sqrt{\frac{K_{ohaobND}}{K_{iohaob}}})} \right) \times \left(\frac{SO^2}{K_{iohaob}} \right) \times SO$
- $K_a = e^{(-2300 / ((273 + therm)))}$
- $SHNO2 = \frac{SNO2}{(K_a \times 10^{pH} + 1)} \times \frac{47}{14}$

Αερόβια ανάπτυξη των Νιτρικών Οξειδωτικών Βακτηριδίων:

Για να αναπτυχθεί οποιοσδήποτε μικροοργανισμός απαιτείται οξυγόνο, αμμωνία και φωσφορικά. Επιπλέον, για την ανάπτυξη των NOB γίνεται κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα και τα νιτρώδη μετατρέπονται σε νιτρικά.

$$r_{16} = m_{nob} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohnob}} \right) \times \left(\frac{S_{NO2}}{S_{NO2} + K_{NO2nob}} \right) \times \left(\frac{S_{ALK}}{S_{ALK} + K_{ALKnob}} \right) \times X_{NOB}$$

Αποσύνθεση Νιτρικών και Αυτοτροφικών Βακτηριδίων:

Ακολουθείται η ίδια διεργασία με την αποσύνθεση των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.

$$r_{17} = b_{aob} \times X_{AOb}$$

$$r_{18} = b_{nob} \times X_{NOB}$$

3.4.3 Περιγραφή βασικών εξισώσεων του μοντέλου

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τις μεταβολές κάθε συστατικού λόγω των βιολογικών διεργασιών σε κάθε διαμέρισμα (k) του βιοαντιδραστήρα καθώς και η σχέση της νέας συγκέντρωσης μετά από διάστημα dt.

1.Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s):

Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών είτε σε αερόβιες είτε σε ανοξικές συνθήκες. Παράγεται κατά την υδρόλυση των οργανικών που βρίσκονται στη βιοκροκίδα. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DSS(k) = [(Q(k-1) \times SS(k-1) - Q(k) \times SS(k)) + ((1 - fSI) \times V(k) \times (r1 + r2 + r3 + r4)) - (1/YH \times V(k) \times r5) - (1/(YH \times ng) \times V(k) \times (r6 + r7 + r8 + r9))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SS(t + dt, k) = SS(t, k) + DSS(k)$$

2. Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (Xs):

Καταναλώνεται κατά την υδρόλυση, ενώ παράγεται κατά την αποσύνθεση των μικροοργανισμών (βιομάζα). Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DXS(k) = [(Q(k-1) \times XS(k-1) - Q(k) \times XS(k)) - (1 \times V(k) \times (r1 + r2 + r3 + r4)) + (fp \times V(k) \times (r10 + r17 + r18))] \times \frac{dt}{V(k)}$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XS(t + dt, k) = XS(t, k) + DXS(k)$$

3. Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη (SI):

Το κομμάτι αυτό της ύλης δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DSI(k) = [(Q(k-1) \times SI(k-1) - Q(k) \times SI(k)) + (fSI \times V(k) \times (r1 + r2 + r3 + r4))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SI(t + dt, k) = SI(t, k) + DSI(k)$$

4. Σωματιδιακή αδρανής οργανική ύλη (Xi):

Είναι μέρος των αιωρούμενων πτητικών στερεών και απομακρύνεται από το σύστημα ως μέρος της απομακρυνθείσας ιλύος. Δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία, αλλά επειδή στην μεταβλητή συμπεριλαμβάνονται και τα σωματιδιακά προϊόντα λόγω της φθοράς των μικροοργανισμών (Xp) για λόγους απλότητας, αυτομάτως η μεταβολή της συγκέντρωσης της εξαρτάται από τα προϊόντα της αποσύνθεσης:

$$DXI(k) = [(Q(k-1) \times XI(k-1) - Q(k) \times XI(k)) + (fp \times V(k) \times (r10 + r17 + r18))] \times dt / (V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XI(t + dt, k) = XI(t, k) + DXI(k)$$

5. Ετεροτροφική βιομάζα (XBH):

Παράγεται κατά τις ανοξικές και αερόβιες συνθήκες και φθείρεται κατά την αποσύνθεση. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DXBH(k) = [(Q(k-1) \times XBH(k-1) - Q(k) \times XBH(k)) + V(k) \times (r5 + r6 + r7 + r8 + r9 - r10)] \times dt / (V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XBH(t + dt, k) = XBH(t, k) + DXBH(k)$$

6. Αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια (XAOB):

Τα αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια παράγονται κάτω από αερόβιες συνθήκες. Συγκεκριμένα κατά την οξείδωση της υδροξυλαμίνης (S_{NH_2OH}) σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}) και καταναλώνεται λόγω αποσύνθεσης. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DAOB(k) = [(Q(k-1) \times XAOB(k-1) - Q(k) \times XAOB(k)) + V(k) \times (\rho12 - \rho17)] \times dt / (V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XAOB(t + dt, k) = XAOB(t, k) + DXAOB(k)$$

7. Νιτρικά οξειδωτικά βακτήρια (XNOB):

Καταναλώνονται λόγω αποσύνθεσης, ενώ παράγονται μέσω της ανοξικής ανάπτυξης της βιομάζας. Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DXNOB(k) = [(Q(k-1) \times XNOB(k-1) - Q(k) \times XNOB(k)) + V(k) \times (r16 - r18)] \times dt / (V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XNOB(t + dt, k) = XNOB(t, k) + DXNOB(k)$$

8.Ανόργανη σωματιδιακή ύλη (X_{NV}):

Οι ανόργανες ενώσεις δεν συμμετέχουν σε καμία βιολογική διεργασία και η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DXNV(k) = [(Q(k - 1) \times XNV(k - 1) - Q(k) \times XNV(k))] \times \frac{dt}{V(k)}$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$XNV(t + dt, k) = XNV(t, k) + DXNV(k)$$

9.Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}):

Παράγεται κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου, που με την σειρά του παράγεται λόγω της αποσύνθεσης των μικροοργανισμών, και κατά την υδρόλυση της σωματιδιακής οργανικής ύλης. Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά την μετατροπή της σε υδροξυλαμίνη (S_{NH2OH}). Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DSNH(k) = [(Q(k - 1) \times SNH(k - 1) - Q(k) \times SNH(k)) + ((iNXS - (1 - fSI) \times iNSF) \times V(k) \times (r1 + r2 + r3 + r4)) - (ixb \times V(k) \times (r5 + r6 + r7 + r8 + r9 + r12 + r16)) + ((ixb - ixp \times fp) \times V(k) \times (r10 + r17 + r18)) - (r11 \times V(k))] \times dt / (V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SNH(t + dt, k) = SNH(t, k) + DSNH(k)$$

10.Νιτρικά (S_{NO3}):

Καταναλώνονται λόγω απονιτροποίησης και παράγονται από την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηριδίων (X_{NOB}). Η μεταβολή της συγκέντρωσης της δίνεται από την σχέση:

$$DSNO3(k) = [(Q(k - 1) \times SNO3(k - 1) - Q(k) \times SNO3(k)) - (((1 - YH \times ng)/(YH \times ng \times 8/7)) \times V(k) \times r6) + (r16 \times V(k) \times 1/YNOB)] \times dt/V(k)$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SNO3(t + dt, k) = SNO3(t, k) + DSNO3(k)$$

11.Υποξείδιο του αζώτου (SN₂₀):

Το Υποξείδιο του Αζώτου καταναλώνεται μέσω της παραγωγής αέριου αζώτου (S_{N2}). Παράγεται μέσω της χημικής διάσπασης, της νιτροποίηση των νιτροποιητών και από την απονιτροποίηση των νιτροποιητών. Σύμφωνα με τους (Baeza et al, 2017) υπάρχει μια ογκομετρική μάζα του υποξειδίου του αζώτου που εκλύεται από τα λύματα στον αέρα με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση της συγκέντρωσης του υποξειδίου του Αζώτου σε αεριζόμενες δεξαμενές. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης είναι:

$$DSN20(k) = [(Q(k - 1) \times SN20(k - 1) - Q(k) \times SN20(k)) - (((1 - YH \times ng)/(YH \times ng \times 4/7)) \times V(k) \times (r8 - r9)) + (4 \times r14 \times V(k)) + (2 \times r15 \times V(k))] \times dt/(V(k)) - (0.91 \times KLA(k) \times SN20 \times N2OSE) \times dt$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SN20(t + dt, k) = SN20(t, k) + DSN20(k)$$

12.Μονοξείδιο του αζώτου (SNO):

Παράγεται κατά την οξείδωση της υδροξυλαμίνης (S_{NH2OH}) καθώς και μέσω της αντίδρασης των νιτρώδη (S_{NO2}) με το ένζυμο της νιτρώδους αναγωγάσεως (Nirk). Καταναλώνεται κατά τις διαδικασίες παραγωγής του υποξειδίου του αζώτου (S_{N20}), δηλαδή την χημική διάσπαση, την νιτροποίηση και την απονιτροποίηση των νιτροποιητών. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης είναι:

$$DSNO(k) = [(Q(k - 1) \times SNO(k - 1) - Q(k) \times SNO(k)) - (((1 - (YH \times ng)))/(YH \times ng \times 4/7)) \times V(k) \times (r7 - r8)) + (1/YAOB \times r12 \times V(k))$$

$$- (4 \times r_{14} \times V(k)) - (r_{13} \times V(k))] \times dt/V(k)$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SNO(t + dt, k) = SNO(t, k) + DSNO(k)$$

13. Νιτρώδη (SNO₂):

Δημιουργείται λόγω της απονιτροποίησης της οξειδωσης της υδροξυλαμίνης (S_{NH2OH}) και της οξειδωσης του μονοξειδίου του αζώτου (S_{NO}) ενώ καταναλώνεται λόγω της απονιτροποίησης των νιτροποιητών, της ανοξικής ανάπτυξης της ετεροτροφικής βιομάζας και των νιτροποιητικών βακτηριδίων (X_{NOB}). Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης:

$$DSNO_2(k) = [(Q(k-1) \times SNO_2(k-1) - Q(k) \times SNO_2(k)) - (((1 - (YH \times ng)) / (YH \times ng \times 8/7)) \times V(k) \times (r_6 - 2 \times r_7)) - (1/YNOB \times r_{16} \times V(k)) + (V(k) \times (r_{13} + r_{14} - r_{15}))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SNO(t + dt, k) = SNO(t, k) + DSNO(k)$$

14. Υδροξυλαμίνη (S_{NH2OH}):

Παράγεται λόγω της οξειδωσης της αμμωνίας (S_{NH}) και καταναλώνεται λόγω της οξειδωσης του σε μονοξείδιο του αζώτου (S_{NO}). Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης:

$$DSNH_2OH(k) = [(Q(k-1) \times SNH_2OH(k-1) - Q(k) \times SNH_2OH(k)) - (1/YAOB \times r_{12} \times V(k)) + (V(k) \times (r_{11} - r_{14} - r_{15}))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SNH_2OH(t + dt, k) = SNH_2OH(t, k) + DSNH_2OH(k)$$

15. Αέριο Άζωτο (S_{N2}):

Παράγεται μέσω της αντίδρασης του υποξειδίου του αζώτου με του ένζυμο της αναγωγής του υποξειδίου του αζώτου (N₂OR). Η εξίσωση της μεταβολής της συγκέντρωσης του είναι:

$$DSN2(k) = [(Q(k-1) \times SN2(k-1) - Q(k) \times SN2(k)) - ((1 - Y_h)/(12/7 \times Y_h) \times r_9 \times V(k))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SN2(t + dt, k) = SN2(t, k) + DSN2(k)$$

16. Οξυγόνο (S_o):

Καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των αυτοτροφικών και ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες και κατά τις διεργασίες οξειδωσης των υπόλοιπων μεταβλητών. Η εξίσωση της μεταβολής της συγκέντρωσης του είναι:

$$DSO(k) = [(Q(k-1) \times SO(k-1) - Q(k) \times SO(k)) - ((1 - Y_h)/Y_h \times r_5 \times V(k)) - (8/7 \times r_{11} \times V(k)) - (((12/7 - Y_{aob})/Y_{aob}) \times r_{12} \times V(k)) - (4/7 \times r_{13} \times V(k)) - (((8/7 - Y_{nob})/Y_{nob}) \times r_{16} \times V(k))] \times dt/(V(k))$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SO(t + dt, k) = SO(t, k) + DSO(k)$$

17. Αλκαλικότητα (S_{ALK}):

Εντοπίζει κυρίως τις μεταβολές pH των λυμάτων που εμφανίζονται κατά την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών καθώς και κατά την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου. Η εξίσωση της μεταβολής της συγκέντρωσης του είναι:

$$DSALK(k) = [(Q(k-1) \times SALK(k-1) - Q(k) \times SALK(k)) - (i_{xb}/14 \times (r_5 + r_{11} + r_{12} + r_{13} + r_{14} + r_{15} + r_{16}) \times V(k)) + (((1 - Y_h)/(14 \times 2.86 \times Y_h)) - (i_{xb}/14)) \times (r_6 + r_7 + r_8 + r_9) \times V(k)] \times dt/V(k)$$

Και η νέα συγκέντρωση μετά από διάστημα dt:

$$SALK(t + dt, k) = SALK(t, k) + DSALK(k)$$

18. Διοξείδιο του άνθρακα (S_{CO2}):

Αποτελούν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, περιλαμβάνοντας και το υποξείδιο του αζώτου (S_{N2O}), που παράγονται κατά τις βιολογικές διεργασίες στην εγκατάσταση. Το διοξείδιο του άνθρακα καταναλώνεται από τα νιτρικά και τα αυτοτροφικά βακτήρια.

19.Φωσφορικά (S_{PO4}):

Παράγεται μέσω της αποσύνθεσης των βακτηρίων και των οργανισμών και καταναλώνεται για την ανάπτυξη τους.

3.4.4 Παράμετροι του μαθηματικού ομοιώματος

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω εξισώσεις, στο μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιείται ένας σημαντικός αριθμός στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων.

A) Στοιχειομετρικές παράμετροι

Συντελεστής απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας (Y_h): Εκφράζει τη μάζα ετεροτροφικών μικροοργανισμών που αναπτύσσεται για κατανάλωση συγκεκριμένης μάζας βιοδιασπάσιμης ύλης. Η τιμή του Y_h που θα χρησιμοποιήσουμε είναι 0,60 gr δημιουργούμενου κυττάρου COD/gr οξειδωμένου COD.

Συντελεστές απόδοσης της αυτοτροφικής και νιτρικής βιομάζας (Y_{aob} , Y_{nob}): Οι τιμές τους είναι πολύ μικρότερες από το Y_h . Συγκεκριμένα, η τιμή του Y_{aob} είναι 0,18 και του Y_{nob} 0,15 gr δημιουργούμενου κυττάρου COD/gr οξειδωμένου COD.

Συντελεστής f_p : Αντιπροσωπεύει το ποσοστό της βιομάζας που μετατρέπεται σε αδρανή σωματιδιακά προϊόντα κατά την διεργασία της αποσύνθεσης. Για το συγκεκριμένο μοντέλο θεωρούμε ότι το f_p παίρνει την τιμή 0,08.

Παράμετρος i_{Xb} : Υποδηλώνει την μάζα αζώτου που υπάρχει ανά κύτταρο βιομάζας και παίρνει την τιμή 0,086 gr N/gr COD.

Παράμετρος i_{XP} : Τα αδρανή στερεά περιέχουν μικρότερη ποσότητα αζώτου στα κύτταρά τους και για αυτό ο συντελεστής i_{XP} λαμβάνει την τιμή 0,01 gr N/gr COD.

Παράμετρος iNXS: Αντιπροσωπεύει την ποσότητα του αζώτου που εμπεριέχεται στο συστατικό της αργά βιοδιασπάσιμης ύλης και παίρνει την τιμή 0,04 gr N/gr COD.

Παράμετρος iNSF: Φανερώνει την ποσότητα του αζώτου που εμπεριέχεται στο συστατικό της εύκολα βιοδιασπάσιμης ύλης και παίρνει την τιμή 0,03 gr N/gr COD.

Παράμετρος iNSI: Συμβολίζει την ποσότητα του αζώτου που εμπεριέχεται στο συστατικό της αδρανής διαλυμένης οργανικής ύλης και παίρνει την τιμή 0,01 gr N/gr COD.

Παράμετροι iPXS, iPSF, iPXI: Αντιπροσωπεύουν την αντίστοιχη ποσότητα του φωσφόρου που εμπεριέχονται στα ίδια συστατικά. Παρατηρούμε ότι οι τιμές τους είναι μικρότερες σε σχέση με το άζωτο, ενώ παίρνουν όλες την ίδια τιμή 0,01 gr P/gr COD.

Παράμετρος iPSI: Δείχνει την ποσότητα φωσφόρου στο συστατικό της αδρανής διαλυμένης οργανικής ύλης και η τιμή της είναι 0.

Παράμετρος iPBM: Ορίζει την ποσότητα του φωσφόρου που εμπεριέχεται στη βιομάζα που είναι της τάξης του 0,02 gr P/ gr COD.

Παράμετρος fSI: Η παραγωγή αδρανής διαλυμένης οργανικής ύλης κατά την υδρόλυση, η οποία είναι μηδενική.

Διορθωτικός συντελεστής για ανοξική ανάπτυξη των ετεροτροφικών ηg: Παίρνει την τιμή 1,0.

B) Κινητικές Παράμετροι

Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας m_H : Στην τιμή του σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία των λυμάτων, ενώ στους 20°C χρησιμοποιείται η τιμή $6d^{-1}$.

Ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης της ετεροτροφικής βιομάζας b_H : Επηρεάζεται μόνο από την θερμοκρασία των λυμάτων. Για θερμοκρασία 20°C ο συντελεστής b_H παίρνει την τιμή $0,62d^{-1}$.

Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των αυτοτροφικών και νιτροποιητικών οξειδωτικών βακτηριδίων (maobhao, mnob): Και αυτοί οι συντελεστές εξαρτώνται από την θερμοκρασία των λυμάτων και για τους 20°C παίρνουν την τιμή 0,68d⁻¹.

Ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης των αυτοτροφικών και νιτροποιητικών οξειδωτικών βακτηριδίων (baobhao, bnob): Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις είναι 0,096d⁻¹, όταν η θερμοκρασία των λυμάτων ισούται με 20°C.

Μέγιστος ειδικός ρυθμός υδρόλυσης K_h: Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Η τιμή που λαμβάνει είναι 3 gr αργά βιοδιασπάσιμου COD/gr COD.

Συντελεστής κορεσμού της ετεροτροφικής βιομάζας K_S: Η τιμή του εξαρτάται από τη φύση των λυμάτων, ενώ επηρεάζεται και από την μορφή των βιοαντιδραστήρων. Η τιμή που λαμβάνει είναι 20 gr COD/m³.

Συντελεστής κορεσμού οξυγόνου K_{oh}: Λειτουργεί ως «διακόπτης» στην προσομοίωση, αφού δεν επιτρέπει την αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών όταν δεν υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο. Η τιμή που λαμβάνει είναι 0,2 gr O₂/m³.

Συντελεστής κορεσμού του αμμωνιακού αζώτου K_{nh}: Η τιμή που λαμβάνει είναι 0,05 gr αμμωνιακού αζώτου/m³.

Συντελεστής κορεσμού της υδρόλυσης της αργά βιοδιασπάσιμης ύλης K_x: Η τιμή που λαμβάνει είναι 0,03 gr αργά βιοδιασπάσιμου COD/gr COD.

Συντελεστές nNO₃H, nNO₂H: Η διεργασία της υδρόλυσης χωρίζεται σε 3 στάδια την αερόβια την ανοξική και την αναερόβια, ενώ η ανοξική γίνεται σε 2 βήματα, αρχικά, από τα νιτρικά και, έπειτα, από τα νιτρώδη. Η ταχύτητα τους όμως είναι μικρότερη από την αερόβια και για αυτό μπαίνουν οι συντελεστές nNO₃H και nNO₂H με τιμή 0.6.

Συντελεστής nfe: Η ταχύτητα σε αναερόβιες συνθήκες είναι ακόμα μικρότερη και ο συντελεστής nfe παίρνει την τιμή 0,4.

Συντελεστές KNO₂, KNO₃: Όπως και στη περίπτωση του οξυγόνου, στα νιτρώδη και στα νιτρικά τοποθετείται ένας συντελεστής «αναστολής» που δεν επιτρέπει να γίνονται οι διεργασίες αν δεν υπάρχει ικανοποιητική ποσότητα νιτρώδη ή νιτρικών αντίστοιχα. Οι τιμές που παίρνουν οι είναι 0,5 gr NO₂-N/m³ και αντίστοιχα 0,5 gr NO₃-N/m³.

Συντελεστής κορεσμού φωσφορικών kr: Παίρνει την τιμή 0,01 gr P/m³.

Συντελεστής κορεσμού αλκαλικότητας kALK: Παίρνει την τιμή 0,082 gr CaCO₃/m³.

Μειωτικοί συντελεστές για την ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας σε ανοξικές συνθήκες (nNO_{3D}, nG₃, nG₄, nG₅): Κατά τη διεργασία της απονιτροποίησης υπάρχει ο μειωτικός συντελεστής nNO_{3D} με τιμή 0,8. Στη συνέχεια, έχουμε τον ανοξικό μειωτικό συντελεστή nG₃ που αφορά τη διεργασία μετατροπής νιτρωδών σε μονοξείδιο του αζώτου με τιμή 0,6. Τέλος, έχουμε τους μειωτικούς συντελεστές nG₄ και nG₅ με τιμή 0,6 που αφορούν τη μετατροπή του μονοξειδίου του αζώτου σε υποξείδιο του αζώτου και αντίστοιχα τη μετατροπή του υποξειδίου αζώτου σε αέριο άζωτο.

Συντελεστές κορεσμού του οξυγόνου, της οργανικής ύλης και του οξειδίου του αζώτου (koh₃, koh₄, koh₅, kS₃, kS₄, kS₅, kI₃NO, kI₄NO, kI₅NO): Για τις ίδιες διεργασίες που αναφέρθηκαν πιο πάνω, δηλαδή τη μετατροπή των νιτρώδη σε μονοξείδιο του αζώτου, έπειτα σε υποξείδιο του αζώτου και, τέλος, σε μονοξείδιο του αζώτου, χρησιμοποιούνται συντελεστές κορεσμού του οξυγόνου, της οργανικής ύλης και του οξειδίου του αζώτου. Το οξυγόνο και η έλλειψη οργανικής ύλης αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στις εξισώσεις ανάπτυξης της ετεροτροφικής βιομάζας. Το οξείδιο του αζώτου είναι αναγκαίο κατά τη μετατροπή του μονοξειδίου του αζώτου σε υποξείδιο του αζώτου για τις άλλες περιπτώσεις είναι περιοριστικός παράγοντας. Οι τιμές που παίρνουν οι συντελεστές του οξυγόνου koh₃, koh₄, koh₅ έχουν τιμή ίση με 0,1 grO₂/m³. Οι τιμές που παίρνουν οι συντελεστές της οργανικής ύλης kS₃, kS₄, kS₅ είναι 20 grCOD/ m³. Οι τιμές των συντελεστών του οξειδίου του αζώτου kI₃NO, kI₄NO, kI₅NO μειώνονται όσο προχωρούν οι αντιδράσεις σε 0,5 ,0,3 και 0.075 grN/m³ αντίστοιχα.

Συντελεστής κορεσμού για τα νιτρώδη kNO₂D: Για τις διαδικασίες ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών για τη μετατροπή των νιτρώδη σε μονοξείδιο του αζώτου χρησιμοποιείται ο kNO₂D με την τιμή 0,2 gr NO₂-N/m³.

Συντελεστής κορεσμού για το μονοξείδιο του αζώτου kNO_D: Χρησιμοποιείται για τη μετατροπή από μονοξείδιο του αζώτου σε υποξείδιο του αζώτου με τιμή 0,05 gr NO-N/m³.

Συντελεστής κορεσμού για το μονοξείδιο του αζώτου kN₂OD: Χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί αέριο άζωτο από υποξείδιο του αζώτου με τιμή 0,05 gr N₂O-N/m³.

Μέγιστος ρυθμός οξείδωσης της αμμωνίας (qaobamo): Αποτελεί τον μέγιστο ρυθμό για να πραγματοποιηθεί η οξείδωση της αμμωνίας σε υδροξυλαμίνη NH₂OH από το ένζυμο της αμμωνίας μονοοξυγενάση (AMO) με τιμή 5,2008 mgN/(mgCOD·d).

Συντελεστής kohaob1: Λειτουργεί σαν «διακόπτης» για το οξυγόνο κατά την οξείδωση της αμμωνίας σε υδροξυλαμίνη με τιμή 1 gr O₂/m³.

Συντελεστής kphaob: Λειτουργεί σαν «διακόπτης» για το αμμωνιακό άζωτο κατά την οξείδωση της αμμωνίας σε υδροξυλαμίνη με τιμή 0,2 gr NH₄-N/m³.

Μέγιστος ρυθμός για τη διεργασία όπου η υδροξυλαμίνη καταλύεται σε νιτρικά από το περιπλασματικό ένζυμο της υδροξυλαμίνης οξειδοαναγωγής (HAO) (qaobhao): Η διεργασία αυτή έχει 3 βήματα πριν ολοκληρωθεί. Αρχικά, η υδροξυλαμίνη οξειδώνεται σε νιτροξύλιο (NOH), το νιτροξύλιο μετατρέπεται σε NO και με περαιτέρω οξείδωση σε νιτρώδη. Η τιμή του μέγιστου ρυθμού είναι 5,2008 mgN/(mgCOD·d).

Συντελεστής kohaob2: Λειτουργεί σαν «διακόπτης» για το οξυγόνο στην πιο πάνω διεργασία με τιμή 0,6 gr O₂/m³.

Συντελεστής knh₂ohaob: Λειτουργεί σαν «διακόπτης» για την υδροξυλαμίνη στην πιο πάνω διεργασία με τιμή 0,9 gr NH₂OH-N/m³.

Συντελεστής kNO_{aobhao} : Χρησιμοποιείται για την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου με τιμή $0,0003 \text{ gr NO-N/m}^3$.

Μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης για τη νιτροποίηση των νιτροποιητών ($q_{aobN2ONN}$): Παίρνει την τιμή $0,0078 \text{ mgN}/(\text{mgCOD}\cdot\text{d})$.

Συντελεστής kNO_{aobNN} : Αφορά το νιτρικό οξειδίου και λειτουργεί σαν διακόπτης με τιμή $0,008 \text{ gr NO-N/m}^3$.

Συντελεστές κορεσμού για την ανάπτυξη των νιτροποιητικών βακτηριδίων (k_{ohnob} , kNO_2nob , k_{rnob} , $kALKnob$): Αποτελούν τους συντελεστές κορεσμού για το οξυγόνο με τιμή $1,2 \text{ gr O}_2/\text{m}^3$, για τα νιτρώδη με τιμή $0,5 \text{ gr NO}_2\text{-N/m}^3$, για το φώσφορο με τιμή $0,01 \text{ gr P/m}^3$ και για την αλκαλικότητα με τιμή $0,082 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Μέγιστος ρυθμός για να πραγματοποιηθεί η απονιτροποίηση των νιτροποιητών ($q_{aobN2OND}$): Παίρνει την τιμή $1,3008 \text{ mgN}/(\text{mgCOD}\cdot\text{d})$.

Συντελεστής $kHNO_2aob$: Λειτουργεί σαν διακόπτης στη εξίσωση της απονιτροποίησης των νιτροποιητών στο νιτρώδες οξύ με τιμή $0,004 \text{ gr HNO}_2\text{-N/m}^3$.

Συντελεστής $k_{ohaobND}$: Δείχνει το πόσο επηρεάζει το οξυγόνο την απονιτροποίηση των νιτροποιητών και παίρνει την τιμή $0,5 \text{ gr O}_2/\text{m}^3$.

Συντελεστής k_{iohaob} : Αποτελεί «διακόπτη» του οξυγόνου στην απονιτροποίηση των νιτροποιητών με τιμή $0,8 \text{ gr O}_2/\text{m}^3$.

Επισημαίνεται ότι οι τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων που παρουσιάστηκαν στην παρούσα ενότητα έχουν ληφθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία καθώς και από αποτελέσματα ρύθμισης του μοντέλου που έχει πραγματοποιηθεί σε παλαιότερες εργασίες.

Στη συνέχεια, ακολουθούν οι Πίνακες(3.2-3.3) όπου συγκεντρώνονται οι συμβολισμοί των παραμέτρων με την ερμηνεία τους, καθώς και με τις τιμές που λαμβάνουν όταν η θερμοκρασία των λυμάτων ισούται με 20°C .

Πίνακας 3-2 : Στοιχειομετρικές παράμετροι του μοντέλου

Στοιχειομετρικές Παραμέτροι				
	Συστατικά	Ερμηνεία	Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
1	Yh	Συντελεστής απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας	0.60	gr Δημιουργούμενου COD/gr Οξειδωμένου COD
2	Yaob	Συντελεστής απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας	0.18	gr Δημιουργούμενου COD/gr Οξειδωμένου N
3	Ynob	Συντελεστής απόδοσης νιτρικής βιομάζας	0.15	gr Δημιουργούμενου COD/gr Οξειδωμένου N
4	fp	Ποσοστό μετατροπής βιομάζας σε αδρανή	0.08	-
5	ixb	Ποσοστό αζώτου στην βιομάζα	0.086	gr N/gr COD
6	ixp	Ποσοστό αζώτου στα αδρανή στερεά	0.01	gr N/gr COD
7	iNXS	Ποσοστό αζώτου στην αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	0.04	gr N/gr COD
8	iNSF	Ποσοστό αζώτου στην εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	0.03	gr N/gr COD
9	iNSI	Ποσοστό αζώτου στην αδρανή διαλυμένη οργανική ύλη	0.01	gr N/gr COD
10	iPXS	Ποσοστό φωσφόρου στην αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	0.01	gr P/gr COD
11	iPSF	Ποσοστό φωσφόρου στην εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	0.01	gr P/gr COD
12	iPXI	Ποσοστό φωσφόρου στα αδρανή σωματιδιακή οργανική ύλη	0.01	gr P/gr COD
13	iPBM	Ποσοστό φωσφόρου στην βιομάζα	0.02	gr P/gr COD
14	iPSI	Ποσοστό φωσφόρου στην αδρανή διαλυμένη οργανική ύλη	0.0	gr P/gr COD
15	fSI	Παραγωγή αδρανούς διαλυμένης οργανικής ύλης κατά την υδρόλυση	0.0	gr COD/gr COD
16	ng	Διορθωτικός συντελεστής για την ανοξική ανάπτυξη ετερότροφων μικρ/σμών	1.0	-

Πίνακας 3-3: Κινητικές παράμετροι του μοντέλου

Κινητικές Παραμέτροι				
	Συστατικά	Ερμηνεία	Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
1	mh	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας (XBH)	6.0	1/d
2	bh	Ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης ετεροτροφικής βιομάζας (XBH)	0.62	1/d
3	maobhao	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης αυτοτροφικών βακτηριδίων (XAOB)	0.68	1/d
4	baob	Ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης αυτοτροφικών βακτηριδίων (XAOB)	0.096	1/d
5	mnob	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης νιτροποιητικών βακτηριδίων (XNOB)	0.68	1/d
6	bnob	Ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης νιτροποιητικών βακτηριδίων (XNOB)	0.096	1/d
7	kh	Μέγιστος ειδικός ρυθμός υδρόλυσης	3.0	gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD/gr COD*d
8	ks	Συντελεστής ημικορεσμού της ετεροτροφικής βιομάζας	20	grCOD/m3
9	koh	Συντελεστής ημικορεσμού του οξυγόνου	0.20	gr O2/m3
10	knh	Συντελεστής ημικορεσμού του αμμωνιακού αζώτου	0.05	grNH3-N/m3
11	kx	Συντελεστής ημικορεσμού για την υδρόλυση της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης	0.03	gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD/gr COD*d
12	nNO3H	Διορθωτικός μειωτικός συντελεστής για την ανοξική υδρόλυση	0.60	-
13	kNO3	Συντελεστής αναστολής για τα νιτρικά	0.50	grNO3-N/m3
14	nNO2H	Διορθωτικός μειωτικός συντελεστής για την ανοξική υδρόλυση	0.60	-
15	kNO2H	Συντελεστής αναστολής για τα νιτρώδη	0.50	grNO2-N/m3
16	nfe	Συντελεστής υδρόλυσης σε αναερόβιες συνθήκες	0.40	-
17	kp	Συντελεστής κορεσμού φωσφορικών	0.01	gr P/m3
18	kALK	Συντελεστής κορεσμού αλκαλικότητας	0.082	mgCaCO3/L
19	nNO3D	Διορθωτικός μειωτικός συντελεστής απονιτροποίησης	0.80	-
20	nG3	Ανοξικός μειωτικός συντελεστής για την μετατροπή NO2 σε NO	0.60	-
21	koh3	Συντελεστής ημικορεσμού του οξυγόνου κατά την μετατροπή NO2 σε NO	0.10	gr O2/m3

22	kno2D	Συντελεστής ημικορεσμού των νιτρώδη κατά την μετατροπή NO ₂ σε NO	0.20	gr NO ₂ /m ³
23	ks3	Συντελεστής ημικορεσμού της οργανικής ύλης κατά την μετατροπή NO ₂ σε NO	20.0	gr COD/m ³
24	ki3NO	Συντελεστής κορεσμού των του μονοξειδίου του αζώτου κατά την μετατροπή NO ₂ σε NO	0.50	gr N/m ³
25	nG4	Ανοξικός μειωτικός συντελεστής για την μετατροπή NO σε N ₂ O	0.60	-
26	ks4	Συντελεστής ημικορεσμού της οργανικής ύλης κατά την μετατροπή NO σε N ₂ O	20.0	gr COD/m ³
27	kNOD	Συντελεστής ημικορεσμού του νιτρικού αζώτου κατά την μετατροπή NO σε N ₂ O	0.05	gr N/m ³
28	ki4NO	Συντελεστής κορεσμού των του μονοξειδίου του αζώτου κατά την μετατροπή NO σε N ₂ O	0.30	gr N/m ³
29	koh4	Συντελεστής ημικορεσμού του οξυγόνου κατά την μετατροπή NO σε N ₂ O	0.10	gr O ₂ /m ³
30	nG5	Ανοξικός μειωτικός συντελεστής για την μετατροπή N ₂ O σε N ₂	0.60	-
31	ks5	Συντελεστής ημικορεσμού της οργανικής ύλης κατά την μετατροπή N ₂ O σε N ₂	20.0	gr COD/m ³
32	kN2OD	Συντελεστής ημικορεσμού του νιτρικού αζώτου κατά την μετατροπή N ₂ O σε N ₂	0.05	gr NO ₂ /m ³
33	koh5	Συντελεστής ημικορεσμού του οξυγόνου κατά την μετατροπή N ₂ O σε N ₂	0.10	gr O ₂ /m ³
34	ki5NO	Συντελεστής κορεσμού του μονοξειδίου του αζώτου κατά την μετατροπή N ₂ O σε N ₂	0.075	gr N/m ³
35	qaobamo	Μέγιστος ρυθμός οξειδωσης της υδροξυλαμίνης (NH ₂ OH) από το ένζυμο μονοοξυγενάση (AMO)	5.2008	mgN/mgCOD*d
36	kohaob1	Συντελεστής κορεσμού του οξυγόνου κατά την οξειδωση (NH ₂ OH) από το ένζυμο μονοοξυγενάση (AMO)	1.0	gr/m ³ as O ₂
37	knhaob	Συντελεστής κορεσμού της αμμωνίας κατά την οξειδωση (NH ₂ OH) από το ένζυμο μονοοξυγενάση (AMO)	0.20	gr/m ³ as N
38	kNOaobhao	Συντελεστής κορεσμού του νιτρικού οξειδίου κατά την αντίδραση του (HAO)	0.0003	gr/m ³ as N
39	kohaob2	Συντελεστής κορεσμού του οξυγόνου κατά την αντίδραση του (HAO)	0.60	gr/m ³ as O ₂
40	knh2ohaob	Συντελεστής κορεσμού του αμμωνιακού	0.90	gr/m ³ as N

		αζώτου κατά την αντίδραση του (HAO)		
41	qaobN2ONN	Μέγιστος ρυθμός παραγωγής υποξειδίου του αζώτου (N2O) κατά την νιτροποίηση των νιτροποιητών (NN)	0.0078	mgN/mgCOD*d
42	KNOaobNN	Συντελεστής κορεσμού του νιτρικού οξειδίου κατά την νιτροποίηση των νιτροποιητών (NN)	0.008	gr/m3 as N
43	kHNO2aob	Συντελεστής κορεσμού του νιτρώδους οξέως κατά την απονιτροποίηση των νιτροποιητών	0.004	gr/m3 as N
44	kohnob	Συντελεστής κορεσμού του οξυγόνου για τα νιτροποιητικά βακτήρια	1.20	gr/m3 as O2
45	kNO2nob	Συντελεστής κορεσμού των νιτρώδων για τα νιτροποιητικά βακτήρια	0.50	grNO2-N/m3
46	kpnob	Συντελεστής κορεσμού των φωσφορικών για τα νιτροποιητικά βακτήρια	0.01	gr P/m3
47	kALKnob	Συντελεστής κορεσμού της αλκαλικότητας για τα νιτροποιητικά βακτήρια	0.082	mgCaCO3/L
48	kohaobND	Συντελεστής κορεσμού του οξυγόνου για τη απονιτροποίηση των νιτροποιητών	0.50	gr/m3 as O2
49	kiohaob	Σταθερά αναστολής του υποξειδίου του αζώτου λόγω οξυγόνου	0.80	gr/m3 as O2
50	qaobN2OND	Μέγιστος ρυθμός παραγωγής υποξειδίου του αζώτου (N2O) κατά την απονιτροποίηση των νιτροποιητών	1.3008	mgN/mgCOD*d
51	qaobhao	Μέγιστος ρυθμός κατάλυσης της υδροξυλαμίνης (NH2OH) από το ένζυμο (HAO)	5.2008	mgN/mgCOD*d

3.4.5 Επίδραση της θερμοκρασίας στις βιολογικές διεργασίες

Η θερμοκρασία των λυμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στις τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων και η επίδραση της αυτή στις βιολογικές διεργασίες εκφράζεται συνήθως με τις σχέσεις Arrhenius. Οι σχέσεις αυτές παρουσιάζονται πιο κάτω, για κάθε μία από τις αυτές τις παραμέτρους .

Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας

$$mh^\theta = mh^{20} \times 1.072^{(\theta-20)}$$

Ειδικός ρυθμός ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης ετεροτροφικής βιομάζας

$$bh^\theta = bh^{20} \times 1.116^{(\theta-20)}$$

Μέγιστος ειδικός ρυθμός υδρόλυσης

$$kh^\theta = kh^{20} \times 1.116^{(\theta-20)}$$

Συντελεστής κορεσμού υδρόλυσης της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$$kx^\theta = kx^{20} \times 1.116^{(\theta-20)}$$

3.4.6 Ζήτηση οξυγόνου

Η εγκατάσταση μας περιλαμβάνει σύστημα αερισμού μέσω του οποίου είναι εφικτός ο έλεγχος και η διατήρηση των συγκεντρώσεων του οξυγόνου, κάθε αεριζόμενης δεξαμενής, στα επιθυμητά επίπεδα. Ως εκ τούτου, είναι μείζονος σημασίας ο υπολογισμός του απαιτούμενου οξυγόνου ούτως ώστε να γίνει ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος αυτού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί πιο πάνω και φαίνεται τόσο στις διεργασίες του μοντέλου όσο και στην εξίσωση μεταβολής, το διαλυμένο οξυγόνο στο σύστημα, καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη των αυτοτροφικών και ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες και κατά τις διεργασίες οξείδωσης των υπόλοιπων μεταβλητών.

Έτσι, βάση της εξίσωσης της μεταβολής του οξυγόνου, υπολογίζεται η ποσότητα του που απαιτείται σε μια δεξαμενή σε μονάδες grO₂/χρονικό βήμα από την σχέση:

$$OTR = \frac{DSO(k)}{dt} \times V(k)$$

Η ζήτηση οξυγόνου θα πρέπει να προσδιορίζεται είτε σε ωριαία είτε σε ημερήσια κλίμακα. Για το λόγο αυτό αθροίζουμε τις μεταβολές στην συγκέντρωση του οξυγόνου σε κάθε αερόβια δεξαμενή, ώστε να μετατραπεί η κατανάλωση σε διάστημα ώρας και διάστημα ημέρας. Επίσης, διαιρώντας με 1000 προκύπτει η ολική ζήτηση οξυγόνου σε kgO₂/h ή kgO₂/d.

Το OTR μετατρέπεται σε SOTR βάσει του οποίου σχεδιάζεται το σύστημα αερισμού. Μέσω της μετατροπής αυτής, του OTR σε SOTR, τα λύματα μετατρέπονται σε καθαρό νερό θερμοκρασίας 20°C. Η σχέση με την οποία γίνεται η παραπάνω διαδικασία είναι:

$$SOTR = \frac{OTR \times (C_{S20})}{\alpha F \times \theta^{(T-20)} \times (C_{STB} - C)}$$

Όπου:

(αF): συντελεστής επίδρασης λυμάτων και γήρανσης διάχυτων

θ: θερμοκρασιακός συντελεστής ίσος με 1,024

C_{STB}: συγκέντρωση κορεσμού λυμάτων σε θερμοκρασία T. Ισούται με 0.95*C_{ST}, όπου

C_{ST} :είναι η συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου σε νερό σε θερμοκρασία T. Οι τιμές του

C_{ST} : συναρτήσει της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

C: συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου που θέτουμε στη δεξαμενή αερισμού

C_{S20}: συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου στους 20°C

Πίνακας 3-4 : Τυπικές τιμές συγκέντρωσης κορεσμού οξυγόνου σε νερό συναρτήσει της Θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	Συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου σε νερό (mg/L)	Θερμοκρασία (°C)	Συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου σε νερό (mg/L)
15	10.08	21	8.92
16	9.87	22	8.74
17	9.67	23	8.58
18	9.47	24	8.42
19	9.28	25	8.26
20	9.09	26	8.11

Πίνακας 3-5: Προσομοιούμενες διεργασίες και εξισώσεις του μοντέλου

	Διεργασία	Εξίσωση
1	Αερόβια Υδρόλυση	$r1 = kh \times \left(\frac{So}{So + Koh} \right) \times \left(\frac{Xs/XBH}{KX + Xs/XBH} \right) \times XBH$
2	Ανοξική Υδρόλυση (NO3)	$r2 = kh \times nNO3H \times \left(\frac{Koh}{Koh + SO} \right) \times \left(\frac{SNO3}{SNO3 + KNO3} \right) \times \left(\frac{Xs/XBH}{KX + Xs/XBH} \right) \times XBH$
3	Ανοξική Υδρόλυση (NO2)	$r3 = kh \times nNO2H \times \left(\frac{Koh}{Koh + SO} \right) \times \left(\frac{SNO2}{SNO2 + KNO2} \right) \times \left(\frac{Xs/XBH}{KX + Xs/XBH} \right) \times XBH$
4	Αναερόβια Υδρόλυση	$r4 = kh \times nfe \times \left(\frac{Koh}{Koh + SO} \right) \times \left(\frac{KNO2}{KNO2 + SNO3 + SNO2} \right) \times \left(\frac{Xs/XBH}{KX + Xs/XBH} \right) \times XBH$
5	Αερόβια Ανάπτυξη Ετεροτροφικών μικροοργανισμών	$r5 = mh \times \left(\frac{So}{So + Koh} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS} \right) \times \left(\frac{SNH}{SNH + Knh} \right) \times \left(\frac{SALK}{KALK + SALK} \right) \times XBH$

6	Απονιτροποίηση ετεροτροφικών μικροοργανισμών (NO ₃ σε NO ₂)	$r6 = mh \times nNO3D \times \left(\frac{Koh}{Koh + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS} \right) \times \left(\frac{SNO3}{SNO3 + KNO3} \right) \times \left(\frac{SALK}{KALK + SALK} \right) \times XBH$
7	Ανοξική Ανάπτυξη των Ετεροτροφικών Μικροοργανισμών (NO ₂ σε NO)	$r7 = mh \times nG3 \times \left(\frac{Koh3}{Koh3 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS3} \right) \times \left(\frac{SNO2}{SNO2 + KNO2D} \right) \times \left(\frac{Ki3NO}{Ki3NO + SNO} \right) \times XBH$
8	Ανοξική Ανάπτυξη των Ετεροτροφικών Μικροοργανισμών (NO σε NO ₂)	$r8 = mh \times nG4 \times \left(\frac{Koh4}{Koh4 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS4} \right) \times \left(\frac{SNO}{(SNO + KNOD) + \left(\frac{SNO^2}{Ki4NO} \right)} \right) \times XBH$
9	Ανοξική Ανάπτυξη των Ετεροτροφικών Μικροοργανισμών (NO ₂ σε N ₂)	$r9 = mh \times nG5 \times \left(\frac{Koh5}{Koh5 + So} \right) \times \left(\frac{SS}{SS + KS5} \right) \times \left(\frac{SN2O}{SN2O + KN2OD} \right) \times \left(\frac{Ki5NO}{Ki5NO + SNO} \right) \times XBH$
10	Αποσύνθεση ετεροτροφικής βιομάζας	$r10 = bh \times XBH$
11	Οξείδωση αμμωνίας σε υδροξυλαμίνη	$r11 = qaobamo \times \left(\frac{So}{So + Kohaob1} \right) \times \left(\frac{SNH}{SNH + Knhaob} \right) \times XAOB$
12	Οξείδωση υδροξυλαμίνης σε μονοξείδιο του αζώτου	$r12 = maobhao \times \left(\frac{So}{So + Kohaob2} \right) \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + Knh2ohaob} \right) \times \left(\frac{SNH}{SNH + 10^{-12}} \right) \times XAOB$

13	Οξείδωση μονοξειδίου του αζώτου σε νιτρώδη	$r_{13} = q_{aobhao} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohaob2}} \right) \times \left(\frac{SNO}{SNO + K_{noaobho}} \right) \times X_{AOB}$
14	Αναγωγή του μονοξειδίου του αζώτου σε υποξείδιο του αζώτου κατά την νιτροποίηση των νιτροποιητών	$r_{14} = q_{aobN2ONN} \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + K_{nh2ohaob}} \right) \times \left(\frac{SNO}{SNO + K_{NOaobNN}} \right) \times X_{AOB}$
15	Αναγωγή των νιτρωδών σε υποξείδιο του αζώτου κατά την απονιτροποίηση των νιτροποιητών	$r_{15} = q_{AOBN2OND} \times \left(\frac{SNH2OH}{SNH2OH + K_{nh2ohaob}} \right) \times \left(\frac{SHNO2}{SHNO2 + K_{hNO2aob}} \right) \times f_{so} \times X_{AOB}$
16	Αερόβια ανάπτυξη των Νιτρικών Οξειδωτικών Βακτηριδίων	$r_{16} = m_{nob} \times \left(\frac{S_o}{S_o + K_{ohnob}} \right) \times \left(\frac{SNO2}{SNO2 + K_{NO2nob}} \right) \times \left(\frac{SALK}{SALK + K_{ALKnob}} \right) \times X_{NOB}$
17	Αποσύνθεση Αυτοτροφικών Βακτηριδίων (AOB)	$r_{17} = b_{aob} \times X_{AOB}$
18	Αποσύνθεση Νιτρικών Βακτηριδίων (NOB)	$r_{18} = b_{nob} \times X_{NOB}$

3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης

3.5.1 Εισαγωγή

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιείται στην δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ), η οποία αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας καθώς καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής.

Μέσω της καθίζησης της βιομάζας, τα επεξεργασμένα λύματα απαλλαγμένα πλέον από το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων στερεών υπερχειλίζουν από την δεξαμενή, ενώ η βιομάζα συμπυκνώνεται επαρκώς ώστε να καταστεί εύκολη και αποτελεσματική η επαναφορά της στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω της ανακυκλοφορίας (rQ) της ιλύος.

Ο σχεδιασμός της ΔΤΚ πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να εξυπηρετούνται και οι δύο βασικές λειτουργίες της και να αποφευχθούν περιστατικά κακής ποιότητας εκροών στην ΕΕΛ, παρόλα αυτά παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και για τον λόγο αυτό βασίζεται σε εμπειρικά κριτήρια.

3.5.2 Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος

Στις δεξαμενές τελικής καθίζησης επικρατεί το φαινόμενο της ζωνικής καθίζησης. Δηλαδή για υψηλές συγκεντρώσεις στερεών, δημιουργούνται μεταξύ τους δυνάμεις αλληλεπίδρασης και καθιζάνουν σαν ένα ενιαίο στρώμα με ομοιόμορφη ταχύτητα.

Για την εκτίμηση της καθιζησιμότητας της ιλύος υπολογίζονται δύο (2) παράμετροι: ο δείκτης SVI (Sludge Volume Index) και η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (Zone Settling Velocity).

Αποδεικνύεται ότι ανάμικτα υγρά που παρουσιάζουν μεγάλες τιμές SVI και μικρές ταχύτητες ζωνικής καθίζησης εμφανίζουν δυσμενή χαρακτηριστικά καθίζησης και απαιτούν μεγάλες επιφάνειες για την ΔΤΚ.

Δείκτης SVI (Sludge Volume Index)

Για τον καθορισμό του δείκτη ακολουθείται το παρακάτω πείραμα. Σε ογκομετρικό κύλινδρο 1L τοποθετείται ανάμικτο υγρό με συγκέντρωση MLSS. Το υγρό αφήνεται να καθιζάνει και σύντομα δημιουργείται μια διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ ιλύος και διαυγασμένου υγρού. Η ταχύτητα με την οποία υποβιβάζεται η διαχωριστική επιφάνεια είναι η ταχύτητα της ζωνικής καθίζησης στον κύλινδρο. Μετά από διάστημα 30 λεπτών μετρείται ο όγκος που καταλαμβάνει η ιλύς σε 1L (V_{SL}) και βάση της σχέσης:

$$SVI = \frac{V_{SL}(ml)}{MLSS (mg/l)}$$

Στην περίπτωση μεγάλης συγκέντρωσης MLSS η τιμή του δείκτη που προκύπτει είναι λανθασμένη και για τον λόγο αυτό είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης DSVI, που είναι ουσιαστικά ο δείκτης SVI αλλά με επαρκή αραίωση του ανάμικτου υγρού ώστε να μειωθεί ο όγκος της ιλύος σε σχέση με τον όγκο του κυλίνδρου.

Ένας ακόμη τρόπος αντιμετώπισης των αδυναμιών του SVI είναι ο προσδιορισμός του δείκτη SSVI. Το πείραμα αυτό εκτελείται σε κύλινδρο με όγκο μεγαλύτερο από 1L εξοπλισμένο με συσκευή ανάδευσης, ενώ η αρχική συγκέντρωση των MLSS ρυθμίζεται σταθερή στα 3500 mg/l.

Οι δείκτες DSVI και SSVI είναι γενικώς μικρότεροι του SVI και πιο αντιπροσωπευτικοί της καθίζησης της ιλύος στις ΔTK. Αν και εφαρμόζονται και οι δύο παραπάνω δείκτες, η ευκολία προσδιορισμού του DSVI κάνει την εφαρμογή του συνηθέστερη.

Ταχύτητα Ζωνικής Καθίζησης

Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης προκύπτει από την ταχύτητα υποβιβασμού της διαχωριστικής επιφάνειας μεταξύ ιλύος και διαυγασμένου υγρού. Μια προσεγγιστική εκτίμηση της ταχύτητας καθίζησης είναι δυνατόν να επιτευχθεί κατά την εκτέλεση του πειράματος προσδιορισμού του SVI. Σε περίπτωση, όμως, που χρειαζόμαστε πιο βάσιμες μετρήσεις εκτελούνται πειράματα σε ογκομετρικούς κυλίνδρους μεγαλύτερου βάθους (περίπου 2 m), οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με μηχανισμό αργής ανάδευσης.

3.5.3 Εμπειρικές σχέσεις ταχύτητας καθίζησης

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μαθηματικές εκφράσεις για την εκτίμηση της ζωνικής ταχύτητας καθίζησης, οι οποίες χρησιμοποιούν ως δεδομένο την συγκέντρωση των στερεών. Στο μοντέλο αυτό για την εκτίμηση της ταχύτητας καθίζησης χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που προτείνονται από τον Α. Ανδρεαδάκη (1993):

$$V_s = V_o \times e^{-kX}$$

$$k = 0.22 + 0.0033 \cdot DSVI$$

$$V_o = 11 - 0.025 \cdot DSVI$$

όπου :

V_s η ταχύτητα καθίζησης (m/d)

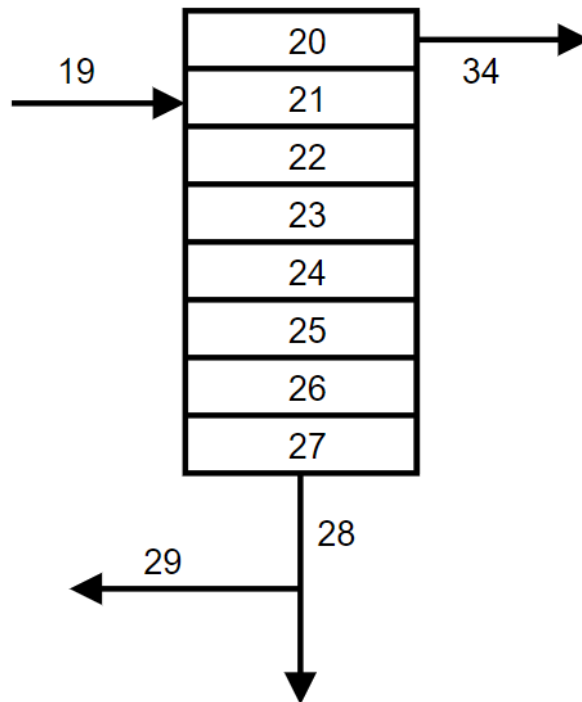
X : η συγκέντρωση των MLSS (kgCOD/m^3)

V_o και k : σταθερές που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος

3.5.4 Προσομοίωση Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ)

Η δεξαμενή χωρίζεται σε 8 στρώματα με ίσο ύψος και σταθερή επιφάνεια A (m^2). Η προσομοίωση της επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των εξισώσεων της μεταβολής μαζών για τα συστατικά των λυμάτων, δεδομένου ότι στην δεξαμενή τελικής καθίζησης συμπυκνώνονται μόνο τα σωματιδιακά συστατικά. Αυτό σημαίνει ότι θα έχουμε μεταβολή των συγκεντρώσεων των σωματιδιακών συστατικών, ενώ τα διαλυτά απομακρύνονται από την δεξαμενή με την ίδια συγκέντρωση που έχουν όταν εισέρχονται σε αυτήν.

Οι αριθμοί κάθε θέσης που φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 3-2: Διακριτοποίηση θέσεων ΔTK

Είσοδος ανάμικτου υγρού (Θέση 19)

Το ανάμικτο υγρό από το βιοαντιδραστήρα εισέρχεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης για να συντελεστεί η διαύγαση του και η συμπύκνωση της ιλύος. Οι συγκεντρώσεις όλων των συστατικών, διαλυτών και σωματιδιακών, παραμένουν αμετάβλητες και ίσες με τις συγκεντρώσεις του ανάμικτου υγρού στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού.

Επιφανειακό στρώμα ΔTK (Θέση 20)

Οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται σε αυτό το στρώμα είναι εκείνες οι οποίες τελικά εκρέουν από το σύστημα, ύστερα από υπερχειλίση. Η διαφορική εξίσωση που

υπολογίζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης των σωματιδιακών συστατικών, που συντελείται στο επιφανειακό στρώμα, είναι η ακόλουθη:

$$DX(20) = \left[-(V_s(1) \times X(20)) + \left(\frac{Q(34)}{A} \times (X(21) - X(20)) \right) \right] \times \frac{dt}{H(20)}$$

Στρώμα εισόδου (Θέση 21)

Αποτελεί το στρώμα στο οποίο γίνεται η τροφοδοσία των λυμάτων στην δεξαμενή τελικής καθίζησης και η εξίσωση που προσδιορίζει την μεταβολή των σωματιδιακών συστατικών είναι η ακόλουθη:

$$B = \frac{[(Q(19) \times X(19)) - (Q(34) \times X_s(21)) - (Q(21) \times X_s(21))]}{A}$$

$$DX(21) = [(V_s(20) \times X(20)) - (V_s(21) \times X(21)) + B] \times \frac{dt}{H(21)}$$

Ενδιάμεσα στρώματα (Θέσεις 22 ως 26)

Η μεταβολή της συγκέντρωσης για τα στρώματα 5 έως 9 είναι η ακόλουθη:

$$DX(i) = \left[(V_s(i-1) \times X(i-1)) - V_s(i) \times X(i) + \left(\frac{Q(19) - Q(34)}{A} \times (X(i-1) - X(i)) \right) \right] \times \frac{dt}{H(i)}$$

Πυθμένας δεξαμενής (Θέση 27)

Η μεταβολή της συγκέντρωσης για τα στρώμα του πυθμένα είναι η ακόλουθη:

$$B = \left[(V_s(26) \times X(26)) + \left(\frac{Q(19) - Q(34)}{A} \times (X(26) - X(27)) \right) \right]$$

$$DX(27) = B \times \frac{dt}{H(27)}$$

Απομάκρυνση περίσσειας ιλύος (Θέση 28)

Η θέση αυτή αποτελεί την έξοδο από το σύστημα ενεργού ιλύος και την είσοδό στη γραμμή επεξεργασίας ιλύος. Οι συγκεντρώσεις των διαλυτών και σωματιδιακών συστατικών στη θέση αυτή είναι ίσες με τις συγκεντρώσεις τους στον πυθμένα της ΔTK και στην εξωτερική ανακυκλοφορία της ιλύος.

Εξωτερική ανακυκλοφορία ιλύος (Θέση 29)

Από τη συγκεκριμένη θέση αντλείται μέρος της ιλύος που έχει συμπυκνωθεί στον πυθμένα της ΔTK, ύστερα από καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, και εισέρχεται στην είσοδο του βιοαντιδραστήρα. Οι συγκεντρώσεις διαλυτών και σωματιδιακών συστατικών στη θέση αυτή είναι εκείνες που έχουν επιτευχθεί, για τα διαλυτά συστατικά στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού και για τα σωματιδιακά συστατικά στον πυθμένα της ΔTK.

Έξοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασμένης εκροής (Θέση 34)

Από τη θέση αυτή της ΔTK εκρέουν τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα με συγκεντρώσεις ίδιες με αυτές στο επιφανειακό στρώμα (20), ύστερα από την καθίζηση του μεγαλύτερου ποσοστού των αιωρούμενων στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής και τη συμπύκνωσή τους σε ιλύ. Στην θέση αυτή υπολογίζεται και ο δείκτης EQI βάση του οποίου ελέγχεται η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων που οδηγούνται στην τριτοβάθμια επεξεργασία, αν υπάρχει και τελικά στην απόθεση.

Τέλος οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών (X) και των διαλυτών (S) συστατικών κάθε στρώματος i, στο τέλος του χρονικού διαστήματος dt δίνονται από τις σχέσεις

$$X(t + dt, i) = X(t, i) + DX(i)$$

$$S(t + dt, i) = S(t, i) + DS(i)$$

Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)

Ο δείκτης ποιότητας εκροής, όπως αναφέρθηκε και κατά την περιγραφή του μοντέλου BSM1, υπολογίζεται συνήθως για ένα διάστημα 7 ημερών της δυναμικής προσομοίωσης σε kg μονάδων ρύπανσης ανά ημέρα και ορίζεται από την σχέση:

$$EQI = \frac{1}{1000 \times T} \times \int_{t=7}^{t=14} ((2 \times SS, e(t)) + (1 \times BOD, e(t)) + (30 \times S_{NKJ}, e(t)) + (10 \times S_{NOe}(t)) + (2 \times BOD, e(t))) \times Q, e(t) dt$$

Όπου:

$$S_{NKJ}, e = S_{NH}, e + S_{ND}, e + X_{ND}, e + i_{XB} \times (X_{BH}, e + X_{BA}, e) + i_{XP} \times (X_P, e + X_I, e)$$

$$SS, e = 0.75 \times (X_S, e + X_I, e + X_{BH}, e + X_{BA}, e + X_P, e)$$

$$BOD_5 = 0.25 \times (SS, e + X_S, e + (1-f_p) \times (X_{BH}, e + X_{BA}, e))$$

$$COD = SS, e + S_I, e + X_S, e + X_I, e + X_{BH}, e + X_{BA}, e + X_P, e$$

3.6 Πάχυνση ιλύος

3.6.1 Εισαγωγή

Η ιλύς που καθιζάνει στους πυθμένες των δεξαμενών πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης αποτελείται από χαρακτηριστικά τα οποία δεν επιτρέπουν την ασφαλή απομάκρυνση της. Για τον λόγο αυτό επιβάλλεται η εφαρμογή επεξεργασίας της ιλύος η οποία αποσκοπεί από την μια στην μείωση του όγκου της με απομάκρυνση μεγάλου ποσοστού του νερού, και από την άλλη στην σταθεροποίηση της δηλαδή την διάσπαση του ευκολοδιασπάσιμου οργανικού υλικού και την μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

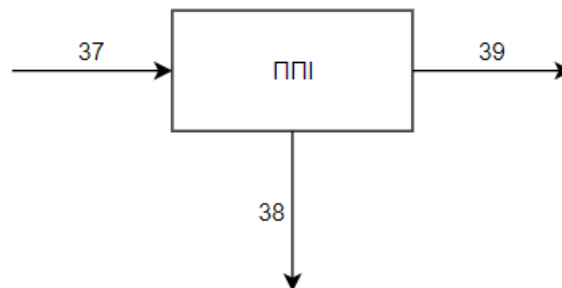
Το πρώτο μέρος της επεξεργασίας αυτής αποτελεί η πάχυνση, η οποία αποσκοπεί στην μείωση του όγκου της ιλύος και στην αύξηση της συγκέντρωσης στερεών, της τάξης του 3%, ούτως ώστε να καταστεί πιο οικονομική η σταθεροποίηση της.

Στην πρωτοβάθμια ιλύ, στην οποία συνήθως παρατηρούνται συγκεντρώσεις 1.5-2% , εφαρμόζεται μηχανική πάχυνση, ενώ στη βιολογική ιλύ, η οποία σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος χαρακτηρίζεται συνήθως από συγκεντρώσεις 0.5-1.5%, αποτελεσματικότερη μέθοδο αποτελεί η μηχανική πάχυνση.

3.6.2 Προσομοίωση Πάχυνσης

Η προσομοίωση και των δύο παχύνσεων που πραγματοποιούνται στο σύστημα, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ισορροπίας μαζών όπως φαίνεται πιο κάτω. Οι αριθμοί κάθε θέσης και οι ονομασίες των συντελεστών, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.

Πάχυνση Βαρύτητας-Πρωτοβάθμια Ιλύς



Σχήμα 3-3: Διακριτοποίηση θέσεων ΠΠΙ

Πρωτοβάθμια περίσσεια (Θέση 38)

Και στις δύο παχύνσεις που πραγματοποιούνται στο παρόν σύστημα, θεωρείται ποσοστό συγκράτησης στερεών $CR_{this}=95\%$ το οποίο αποτελεί το ποσοστό των σωματιδιακών συστατικών που θα συνεχίσει στη μονάδα της χώνευσης με συγκέντρωση συνολικών στερεών ίση με $C_{this}=50\text{kg/m}^3$ ενώ το υπόλοιπο ποσοστό θα επιστρέψει στο σύστημα με την μορφή των στραγγιδίων. Η συγκέντρωση στην

επεξεργασία ιλύος εκφράζεται σε όρους grVSS/m³ και για αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής μετατροπής 1,42 grCOD/grVSS.

Βάση των παραμέτρων αυτών, υπολογίζεται η μάζα των στερεών αλλά και η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος:

$$M_{TSS_{38}} = \frac{CR_{thic} \times M_{TSS_{37}}}{100}$$

$$Q_{38} = \frac{M_{TSS_{38}}}{C_{thic}}$$

Αντίστοιχα με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες όλων των σωματιδιακών συστατικών του μοντέλου:

$$M_{X_{38}} = \frac{CR_{thic} \times M_{X_{37}}}{100}$$

$$X_{38} = \frac{M_{TSS_{38}}}{Q_{38}}$$

Αντίθετα με τα σωματιδιακά, η συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών του μοντέλου δεν μεταβάλλεται και έτσι η μάζα τους υπολογίζεται βάση της παροχής της πρωτοβάθμιας ιλύος:

$$S_{38} = S_{37}$$

$$M_{S_{38}} = S_{38} \times Q_{38}$$

Ενώ για τα υπόλοιπα διαλυτά συστατικά χρησιμοποιούνται όμοιες σχέσεις με πιο πάνω το οξυγόνο θεωρείται ότι καταναλώνεται πλήρως κατά την πάχυνση και έτσι:

$$SO(38) = 0$$

Στραγγίδια Πάχυνσης Βαρύτητας (Θέση 39)

Με γνωστές τις παροχές στις θέσεις 37 και 38, υπολογίζεται η παροχή για τα στραγγίδια στην θέση 39 και βάση αυτής, οι μάζες και οι συγκεντρώσεις των

υπόλοιπων συστατικών. Οι διαφοροποιήσεις για τον υπολογισμό των σωματιδιακών-διαλυτών συγκεντρώσεων ισχύουν όπως πιο πάνω.

$$Q(39) = Q(37) - Q(38)$$

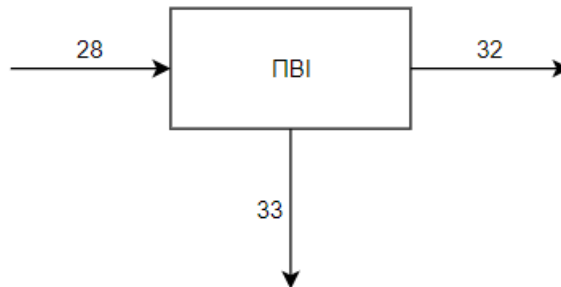
$$M_X(39) = M_X(37) - M_X(38)$$

$$X(39) = \frac{M_X(39)}{Q(39)}$$

$$S(39) = S(37)$$

$$M_S(39) = S(39) \times Q(39)$$

Μηχανική Πάχυνση-Βιολογική Ιλύς



Σχήμα 3-4: Διακριτοποίηση θέσεων ΠΒΙ

Βιολογική Περίσσεια(Θέση 33)

Όπως αναφέρεται και πιο πάνω, θεωρείται ποσοστό συγκράτησης στερεών $CR_{thic}=95\%$ και συγκέντρωση συνολικών στερεών ίση με $C_{thic}=50\text{kg/m}^3$.

Βάση των παραμέτρων αυτών, υπολογίζεται η μάζα των στερεών αλλά και η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος:

$$M_{TSS}(33) = \frac{CR_{thic} \times M_{TSS}(28)}{100}$$

$$Q(33) = \frac{M_TSS(33)}{C_thic}$$

Αντίστοιχα με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες όλων των σωματιδιακών συστατικών του μοντέλου:

$$M_X(33) = \frac{CR_thic \times M_X(28)}{100}$$

$$X(33) = \frac{M_TSS(33)}{Q(33)}$$

Αντίθετα με τα σωματιδιακά, η συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών του μοντέλου δεν μεταβάλλεται και έτσι η μάζα τους υπολογίζεται βάση της παροχής της πρωτοβάθμιας λύσης:

$$S(33) = S(28)$$

$$M_S(33) = S(33) \times Q(33)$$

Ενώ για τα υπόλοιπα διαλυτά συστατικά χρησιμοποιούνται όμοιες σχέσεις με πιο πάνω το οξυγόνο θεωρείται ότι καταναλώνεται πλήρως κατά την πάχυνση και έτσι:

$$S_0(33) = 0$$

Στραγγίδια Μηχανικής Πάχυνσης (Θέση 32)

Με γνωστές τις παροχές στις θέσεις 28 και 33, υπολογίζεται η παροχή για τα στραγγίδια στην θέση 32 και βάση αυτής, οι μάζες και οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων συστατικών. Οι διαφοροποιήσεις για τον υπολογισμό των σωματιδιακών-διαλυτών συγκεντρώσεων ισχύουν όπως πιο πάνω.

$$Q(32) = Q(28) - Q(33)$$

$$M_X(32) = M_X(28) - M_X(33)$$

$$X(32) = \frac{M_X(32)}{Q(32)}$$

$$S(32) = S(28)$$

$$M_S(32) = S(32) \times Q(32)$$

Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη

Εκτιμάται ότι προστίθενται 5gr πολυηλεκτρολύτη ανά kgTSS. Γνωρίζοντας την ημερήσια μάζα στερεών που διέρχονται από την μονάδα της μηχανικής πάχυνσης μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια κατανάλωση του πολυηλεκτρολύτη από την σχέση:

$$M_{pol} = \frac{5 \times M_{TSS_{28}}}{1000} \quad (\text{kg πολυηλ./d})$$

3.7 Χώνευση ιλύος

3.7.1 Εισαγωγή

Αφού υποστούν την διαδικασία της πάχυνσης, τόσο η πρωτοβάθμια, όσο και η βιολογική περίσσεια ιλύς, περιέχουν μεγάλο ποσοστό οργανικών στερεών το οποίο οφείλεται για την τόσο στο ποσοστό των οργανικών στερεών των εισερχόμενων λυμάτων, όσο και σε λειτουργικές συνθήκες. Το ποσοστό αυτό των οργανικών δεν επιτρέπει την άμεση απόθεση της ιλύος, καθώς λόγω της αποσύνθεσης τους προκαλούνται δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αποξυγόνωση, οσμές κ.α), για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η σταθεροποίηση της ιλύος είτε σε αερόβιες είτε σε αναερόβιες συνθήκες.

Η αερόβια χώνευση έχει σκοπό την διάσπαση των οργανικών στερεών με την χρήση των μεταβολικών διεργασιών που πραγματοποιούν οι αερόβιοι μικροοργανισμοί. Για

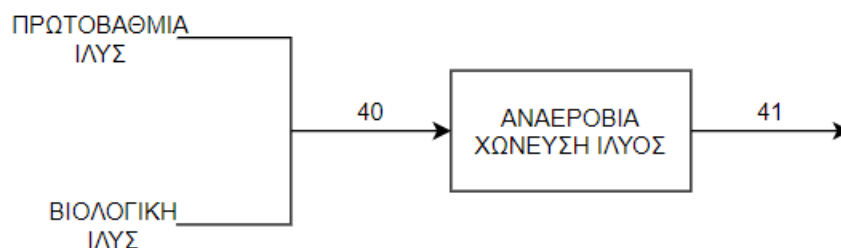
τον λόγο αυτό, η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα δαπανηρή στις μεγάλες ΕΕΛ λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας για τις ανάγκες αερισμού.

Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει αρκετές διεργασίες κατά τις οποίες γίνεται διάσπαση των οργανικών στερεών σε απουσία οξυγόνου και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου. Η ταχύτητα σταθεροποίησης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του χωνευτή. Υπάρχουν δύο περιοχές όπου παρατηρείται η μέγιστη σταθεροποίηση οι οποίες είναι η μεσοφιλική (35°C) και η θερμοφιλική στους 55°C.

Από τις δύο αυτές επιλογές χώνευσης, προτιμάται η αναερόβια χώνευση καθώς έχει ως τελικό προϊόν από την διάσπαση της οργανικής ύλης το βιοαέριο, το οποίο μπορεί να αποτελέσει πηγή ενέργειας για την θέρμανση του χωνευτή και να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης. Βέβαια, η αναερόβια χώνευση είναι πολύ πιο αργή από την αερόβια.

3.7.2 Προσομοίωση αναερόβιας χώνευσης ιλύος

Η προσομοίωση της λειτουργίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή εμπειρικού μαθηματικού μοντέλου που το οποίο βασίστηκε στο ADM1. Το μοντέλο συνίσταται σε ένα κώδικα επίλυσης που δέχεται δεδομένα και υπολογίζει τη χώνευση κάθε είδους οργανικού υλικού εφαρμόζοντας ένα συνδυασμό εξισώσεων Runge-Kutta και Van der Pol από τις οποίες υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτή και οι συγκεντρώσεις των αερίων στο μίγμα του βιοαερίου που παράγεται. Οι αριθμοί κάθε θέσης και οι ονομασίες των συντελεστών που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 3-5: Διακριτοποίηση θέσεων αναερόβιας χώνευσης ιλύος

Είσοδος Μίγματος Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Παχυμένης Ιλύος (Θέση 40)

Στη θέση 40 γίνεται ανάμιξη της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας παχυμένης ιλύος και το μίγμα εισέρχεται στον αναερόβιο χωνευτή για να σταθεροποιηθεί το οργανικό κλάσμα του. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο μοντέλο μας υπάρχει μεταβλητή ($D_{Sec} = 0$ ή 1), βάση της οποίας ελέγχεται το αν η βιολογική ιλύς θα οδηγηθεί στην αναερόβια χώνευση. Δηλαδή στην περίπτωση που το θ_c είναι αρκετά μεγάλο (15-20 ημέρες) η βιολογική ιλύς θεωρείται σταθεροποιημένη και δεν χρειάζεται υποστεί την διαδικασία της χώνευσης και έτσι οδηγείται στον κόμβο μετά την χώνευση. Τα χαρακτηριστικά της ιλύος για τη θέση 3 υπολογίζονται με μια σειρά εξισώσεων:

$$Q_{40} = Q_{33} + Q_{38}$$

Για τα σωματιδιακά συστατικά ισχύουν οι επόμενες σχέσεις:

$$M_{X_{40}} = M_{X_{33}} + M_{X_{38}}$$

$$X_{40} = \frac{M_{X_{40}}}{Q_{40}}$$

Για τα διαλυτά συστατικά εφαρμόζονται οι εξής εξισώσεις:

$$M_{S_{40}} = M_{S_{33}} + M_{S_{38}}$$

$$S_{40} = \frac{M_{S_{40}}}{Q_{40}}$$

Επίσης υπολογίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

$$\text{COD}_{\text{in_dig}} = \text{SS}_{40} + \text{SI}_{40} + \text{XS}_{40} + \text{XI}_{40} + \text{XBH}_{40} + \text{XAOB}_{40} + \text{XNOB}_{40}$$

$$\begin{aligned} \text{TKN}_{\text{in_dig}} = & \text{SNH}_{40} + \text{ixb} \times (\text{XBH}_{40} + \text{XAOB}_{40} + \text{XNOB}_{40}) + \text{ixp} \times (\text{XI}_{40}) + \text{iNSI} \\ & \times (\text{SI}_{40}) + \text{iNXS} \times (\text{XS}_{40}) \end{aligned}$$

$$P_{2as} = \frac{M_{\text{VSS}_{33}}}{M_{\text{VSS}_{40}}}$$

Έξοδος Σταθεροποιημένης Ιλύος (Θέση 41)

Για την εφαρμογή των εξισώσεων με τις οποίες υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των συστατικών της ιλύος μετά την αναερόβια χώνευση, απαιτείται ο υπολογισμός του υδραυλικού χρόνου παραμονής σε ημέρες του αναερόβιου χωνευτή (HRT_{dig}), σύμφωνα με τον όγκο της δεξαμενής σε m³ (V_{dig}) και την παροχή της ιλύος σε m³/d. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται διαφορετικές εξισώσεις για διαφορετικούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής.

$$Q_{41} = Q_{40}$$

$$\text{HRT}_{\text{dig}} = \frac{V_{\text{dig}}}{Q_{41}}$$

Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 14d ≤ HRT ≤ 19d

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου μετά την έξοδο της αναερόβιας χώνευσης υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{COD}_{\text{dig}} = (38.61 \times (P_{2as})^3 - 76.92 \times (P_{2as})^2 + 50.55 \times (P_{2as}) + 40) \times \frac{\text{COD}_{\text{in_dig}}}{100}$$

$$\text{SI}_{41} = (-1.320 \times (P_{2as})^2 + 1.017 \times (P_{2as}) + 5.4) \times \frac{\text{COD}_{\text{dig}}}{100}$$

$$SS_{41} = (-1.173 \times (P_{2as})^3 + 2.275 \times (P_{2as})^2 - 1.241 \times (P_{2as}) + 1.55) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XI_{41} = (8.078 \times (P_{2as}) + 26) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XS_{41} = (-7.721 \times (P_{2as}) + 69) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XBH_{41}, XAOB_{41}, XNOB_{41}, SO_{41}, SNO_{41}, SNO2_{41}, SNO3_{41}, SN2_{41}, SN2O_{41}, SNH2OH_{41} = 0$$

$$XNV_{41} = XNV_{40}$$

$$X_{41} = XI_{41} + XS_{41} + XBH_{41} + XAOB_{41} + XNOB_{41}$$

$$VSS_{41} = X_{41}/1.42$$

$$TSS_{41} = VSS_{41} + XNV_{40}$$

$$SALK_{41} = (-9262 \times (P_{2as})^4 + 28637 \times (P_{2as})^3 - 31731 \times (P_{2as})^2 + 14158 \\ \times (P_{2as}) + 3000) \times \frac{SALK_{40}}{500}$$

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$S_{biogas} = 0.154 \times (P_{2as})^2 - 0.229 \times (P_{2as}) + 0.51$$

$$Q_{gas} = \frac{(S_{biogas} \times Q_{40} \times VSS_{40})}{1000}$$

$$Q_{ch4} = (32.58 \times (P_{2as})^6 - 104 \times (P_{2as})^5 + 124.4 \times (P_{2as})^4 - 66.42 \times (P_{2as})^3 \\ + 13.01 \times (P_{2as})^2 + 0.869 \times (P_{2as}) + 58.5) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{co2} = (7.288 \times (P_{2as})^5 - 16.69 \times (P_{2as})^4 + 10.82 \times (P_{2as})^3 + 0.407 \times (P_{2as})^2 \\ - 2.352 \times (P_{2as}) + 36.65) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2} = (9 \times 10^{-5} \times (P_{2as}) + 0.001) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2o} = (0.309 \times (P_{2as})^3 - 0.619 \times (P_{2as})^2 + 0.430 \times (P_{2as}) + 4.865) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για $19d \leq HRT \leq 25d$

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου μετά την έξοδο της αναερόβιας χώνευσης υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$COD_{dig} = (38.61 \times (P_{2as})^3 - 76.92 \times (P_{2as})^2 + 50.55 \times (P_{2as}) + 37.03) \times \frac{COD_{in_dig}}{100}$$

$$SI_{41} = (-1.320 \times (P_{2as})^2 + 1.017 \times (P_{2as}) + 6.42) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$SS_{41} = (-1.173 \times (P_{2as})^3 + 2.275 \times (P_{2as})^2 - 1.241 \times (P_{2as}) + 1.008) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XI_{41} = (8.078 \times (P_{2as}) + 31.93) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XS_{41} = (-7.721 \times (P_{2as}) + 60.56) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XBH_{41}, XAOB_{41}, XNOB_{41}, SO_{41}, SNO_{41}, SNO2_{41}, SNO3_{41}, SN2_{41}, SN2O_{41}, SNH2OH_{41} = 0$$

$$XNV_{41} = XNV_{40}$$

$$X_{41} = XI_{41} + XS_{41} + XBH_{41} + XAOB_{41} + XNOB_{41}$$

$$VSS_{41} = X_{41}/1.42$$

$$TSS_{41} = VSS_{41} + XNV_{40}$$

$$SALK_{41} = (-9262 \times (P_{2as})^4 + 28637 \times (P_{2as})^3 - 31731 \times (P_{2as})^2 + 14158 \\ \times (P_{2as}) + 3679) \times \frac{SALK_{40}}{500}$$

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$S_{biogas} = 0.154 \times (P_{2as})^2 - 0.229 \times (P_{2as}) + 0.523$$

$$Q_{gas} = \frac{(S_{biogas} \times Q_{40} \times VSS_{40})}{1000}$$

$$Q_{ch4} = (32.58 \times (P_{2as})^6 - 104 \times (P_{2as})^5 + 124.4 \times (P_{2as})^4 - 66.42 \times (P_{2as})^3 \\ + 13.01 \times (P_{2as})^2 + 0.869 \times (P_{2as}) + 58.6) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{co2} = (7.288 \times (P_{2as})^5 - 16.69 \times (P_{2as})^4 + 10.82 \times (P_{2as})^3 + 0.407 \times (P_{2as})^2 \\ - 2.352 \times (P_{2as}) + 36.56) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2} = (9 \times 10^{-5} \times (P_{2as}) + 0.001) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2o} = (0.309 \times (P_{2as})^3 - 0.619 \times (P_{2as})^2 + 0.430 \times (P_{2as}) + 4.835) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για $25d \leq HRT \leq 30d$

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου μετά την έξοδο της αναερόβιας χώνευσης υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$COD_{dig} = (38.61 \times (P_{2as})^3 - 76.92 \times (P_{2as})^2 + 50.55 \times (P_{2as}) + 35) \times \frac{COD_{in_dig}}{100}$$

$$SI_{41} = (-1.320 \times (P_{2as})^2 + 1.017 \times (P_{2as}) + 6.9) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$SS_{41} = (-1.173 \times (P_{2as})^3 + 2.275 \times (P_{2as})^2 - 1.241 \times (P_{2as}) + 0.82) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XI_{41} = (8.078 \times (P_{2as}) + 36) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XS_{41} = (-7.721 \times (P_{2as}) + 55.5) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XBH_{41}, XAOB_{41}, XNOB_{41}, SO_{41}, SNO_{41}, SNO2_{41}, SNO3_{41}, SN2_{41}, SN2O_{41}, SNH2OH_{41} = 0$$

$$XNV_{41} = XNV_{40}$$

$$X_{41} = XI_{41} + XS_{41} + XBH_{41} + XAOB_{41} + XNOB_{41}$$

$$VSS_{41} = X_{41}/1.42$$

$$TSS_{41} = VSS_{41} + XNV_{40}$$

$$SALK_{41} = (-9262 \times (P_{2as})^4 + 28637 \times (P_{2as})^3 - 31731 \times (P_{2as})^2 + 14158 \\ \times (P_{2as}) + 4300) \times \frac{SALK_{40}}{500}$$

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$S_{biogas} = 0.154 \times (P_{2as})^2 - 0.229 \times (P_{2as}) + 0.55$$

$$Q_{gas} = \frac{(S_{biogas} \times Q_{40} \times VSS_{40})}{1000}$$

$$Q_{ch4} = (32.58 \times (P_{2as})^6 - 104 \times (P_{2as})^5 + 124.4 \times (P_{2as})^4 - 66.42 \times (P_{2as})^3 \\ + 13.01 \times (P_{2as})^2 + 0.869 \times (P_{2as}) + 58.68) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{co2} = (7.288 \times (P_{2as})^5 - 16.69 \times (P_{2as})^4 + 10.82 \times (P_{2as})^3 + 0.407 \times (P_{2as})^2 \\ - 2.352 \times (P_{2as}) + 36.52) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2} = (9 \times 10^{-5} \times (P_{2as}) + 0.001) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2o} = (0.309 \times (P_{2as})^3 - 0.619 \times (P_{2as})^2 + 0.430 \times (P_{2as}) + 4.82) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 30d ≤ HRT ≤ 35d

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου μετά την έξοδο της αναερόβιας χώνευσης υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$COD_{dig} = (38.61 \times (P_{2as})^3 - 76.92 \times (P_{2as})^2 + 50.55 \times (P_{2as}) + 35) \times \frac{COD_{in_dig}}{100}$$

$$SI_{41} = (-1.320 \times (P_{2as})^2 + 1.017 \times (P_{2as}) + 7) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$SS_{41} = (-1.173 \times (P_{2as})^3 + 2.275 \times (P_{2as})^2 - 1.241 \times (P_{2as}) + 0.75) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XI_{41} = (8.078 \times (P_{2as}) + 41) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XS_{41} = (-7.721 \times (P_{2as}) + 50) \times \frac{COD_{dig}}{100}$$

$$XBH_{41}, XAOB_{41}, XNOB_{41}, SO_{41}, SNO_{41}, SNO2_{41}, SNO3_{41}, SN2_{41}, SN2O_{41}, SNH2OH_{41} = 0$$

$$XNV_{41} = XNV_{40}$$

$$X_{41} = XI_{41} + XS_{41} + XBH_{41} + XAOB_{41} + XNOB_{41}$$

$$VSS_{41} = X_{41}/1.42$$

$$TSS_{41} = VSS_{41} + XNV_{40}$$

$$SALK_{41} = (-9262 \times (P_{2as})^4 + 28637 \times (P_{2as})^3 - 31731 \times (P_{2as})^2 + 14158 \\ \times (P_{2as}) + 3679) \times \frac{SALK_{40}}{500}$$

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$S_{biogas} = 0.154 \times (P_{2as})^2 - 0.229 \times (P_{2as}) + 0.57$$

$$Q_{gas} = \frac{(S_{biogas} \times Q_{40} \times VSS_{40})}{1000}$$

$$Q_{ch4} = (32.58 \times (P_{2as})^6 - 104 \times (P_{2as})^5 + 124.4 \times (P_{2as})^4 - 66.42 \times (P_{2as})^3 + 13.01 \times (P_{2as})^2 + 0.869 \times (P_{2as}) + 58.7) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{co2} = (7.288 \times (P_{2as})^5 - 16.69 \times (P_{2as})^4 + 10.82 \times (P_{2as})^3 + 0.407 \times (P_{2as})^2 - 2.352 \times (P_{2as}) + 36.5) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2} = (9 \times 10^{-5} \times (P_{2as}) + 0.001) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

$$Q_{h2o} = (0.309 \times (P_{2as})^3 - 0.619 \times (P_{2as})^2 + 0.430 \times (P_{2as}) + 4.81) \times \frac{Q_{gas}}{100}$$

Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για HRT ≥ 35d

Στην περίπτωση αυτή οι εξισώσεις παραμένουν ίδιες με την προηγούμενη περίπτωση δηλαδή όταν $30d \leq HRT \leq 35d$.

Τέλος αφού έχω όλες τις συγκεντρώσεις των συστατικών από τις πιο πάνω εξισώσεις υπολογίζονται οι μάζες βάση της εξίσωσης:

$$M_{S_{41}} = S_{41} \times Q_{41}$$

Ειδική περίπτωση αποτελούν τα αμμωνιακά (SNH) τα οποία υπολογίζονται βάση:

$$M_{SNH_{41}} = M_{TKN_{dig}} - [i_{NSI} \times M_{SI_{41}} + i_{xp} \times M_{XI_{41}} + i_{NXS} \times M_{XS_{41}} + i_{xb} \times (M_{XBH_{41}} + M_{XAOB_{41}} + M_{XNOB_{41}})]$$

$$SNH_{41} = \frac{M_{SNH_{41}}}{Q_{41}}$$

Αξιοποίηση βιοαερίου

Το μίγμα αερίων που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος, δηλαδή το βιοαέριο, αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, σε ποσοστό 65-70% και διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 30-35%. Η θερμαντική του αξία εκτιμάται περίπου στις 5500Kcal/m³ και χρησιμοποιείται, κατά κύριο λόγο, για τη θέρμανση των χωνευτών. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν πληθυσμό μεγαλύτερο των 100000 κατοίκων το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.

Πιο συγκεκριμένα, από το παραγόμενο βιοαέριο, το 1% της ποσότητάς του χάνεται από διαφυγές στην ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο 99% οδηγείται σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας CHP (Combined Heat and Power). Στο σύστημα συμπαραγωγής το βιοαέριο μετατρέπεται κατά 50% σε θερμική ενέργεια, κατά 35% σε ηλεκτρική ενέργεια και ένα ποσοστό της τάξης του 15% καίγεται σε καυσαέρια.

Η θερμοκρασία του χωνευτή θα πρέπει να παραμένει σταθερή σε μια τιμή μεσοφιλική συνήθως για να υπάρχουν μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας. Επομένως, θα πρέπει να καλυφθούν οποιεσδήποτε θερμικές απώλειες από τον χωνευτή. Εκτός αυτού, η προσφερόμενη θερμότητα θα πρέπει να ανυψώσει τη θερμοκρασία της ιλύος στη θερμοκρασία της χώνευσης. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του χωνευτή εξαρτάται από τη μόνωση, τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των χωνευτών. Στην περίπτωση μας εκτιμήθηκαν ως ένα ποσοστό 30% της απαιτούμενης θερμότητας για την ιλύ. Για την θέρμανση της ιλύος η απαιτούμενη θερμότητα δίνεται από την σχέση:

$$Q_{\theta} \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right) = (1 + 0.30) \times Q_{40} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \times C \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \right) \times (35 - \text{therm}^{\circ}\text{C})$$

Όπου C: η μέση ειδική θερμότητα της ιλύος

3.8 Αφυδάτωση

3.8.1 Εισαγωγή

Η ιλύς μετά την πάχυνση και την χώνευση, έχει αυξημένο ποσοστό στερεών (της τάξης του 4-5%) αλλά εξακολουθεί να βρίσκεται σε υδαρή κατάσταση, πράγμα που μπορεί είναι απαγορευτικό τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Με την διαδικασία της αφυδάτωσης της ιλύος, που αποτελεί και το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας της πριν από την τελική της απόθεση ή την επαναχρησιμοποίηση της, γίνεται η μετάβαση της από την υδαρή στην ημιστερεή κατάσταση με ταυτόχρονη μείωση του όγκου της και αύξηση του ποσοστού των στερεών σε 18-35%. Η διαδικασία γίνεται με μηχανικά μέσα είτε σε κλίνες ξήρανσης.

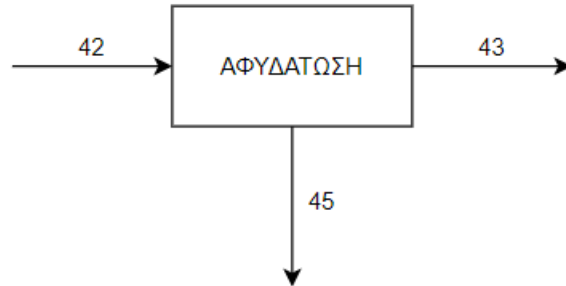
Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των κλινών ξήρανσης όπως χαμηλές δαπάνες σε χημικά και ενέργεια, χαμηλό κόστος κατασκευής και την παραγωγή καλά αφυδατωμένης ιλύος, παρουσιάζονται διακυμάνσεις στην απόδοση του συστήματος λόγω των καιρικών συνθηκών και για τον λόγο αυτό αποφεύγεται η χρήση τους στις νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Αντίθετα προτιμάται η χρήση μηχανικών μέσων, τα οποία αν και έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και αυξημένες δαπάνες λειτουργίας δεν επηρεάζονται από τις κλιματικές αλλαγές και απαιτούν πολύ μικρότερη έκταση. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η προσθήκη κροκιδωτικών με στόχο την διευκόλυνση του διαχωρισμού του νερού.

3.8.2 Προσομοίωση αφυδάτωσης

Οι διαδικασίες είναι περίπου ίδιες με τη πάχυνση αφού και εδώ θεωρείται ένα ποσοστό συγκράτησης στερεών, από το οποίο εξαρτάται και η απόδοση της αφυδάτωσης. Η διαφορά με την πάχυνση είναι η συγκέντρωση με την οποία εξέρχεται η ιλύς, η οποία στην προσομοίωση μας θεωρείται $25\%=250\text{kg/m}^3$.

Στη συνέχεια καταγράφονται οι εξισώσεις της αφυδάτωσης οι οποίες βασίζονται στα ισοζύγια μαζών. Οι αριθμοί κάθε θέσης και οι ονομασίες των συντελεστών, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 3-6: Διακριτοποίηση θέσεων αφυδάτωσης

Ιλύς προς Απόθεση (Θέση 45)

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, θεωρείται ότι επιτυγχάνεται σταθερός βαθμός απομάκρυνσης σωματιδιακών στερεών μέσω της αφυδάτωσης και εκφράζεται ως $CR_{dew} = 95\%$ και ότι η συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι $C_{dew} = 250\text{kg/m}^3$.

Βάση των παραμέτρων αυτών, υπολογίζεται η μάζα των στερεών αλλά και η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος:

$$M_{TSS_{45}} = \frac{CR_{dew} \times M_{TSS_{42}}}{100}$$

$$Q_{45} = \frac{M_{TSS_{45}}}{C_{dew}}$$

Αντίστοιχα με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες όλων των σωματιδιακών συστατικών του μοντέλου:

$$M_{X_{45}} = \frac{CR_{dew} \times M_{X_{42}}}{100}$$

$$X_{45} = \frac{M_{X_{45}}}{Q_{45}}$$

Αντίθετα με τα σωματιδιακά, η συγκέντρωση των διαλυτών συστατικών του μοντέλου δεν μεταβάλλεται και έτσι η μάζα τους υπολογίζεται βάση της παροχής της πρωτοβάθμιας λύσης:

$$S_{45} = S_{42}$$

$$M_{S_{45}} = S_{45} \times Q_{45}$$

Στραγγίδια Αφυδάτωσης (Θέση 43)

Με γνωστές τις παροχές στις θέσεις 42 και 45, υπολογίζεται η παροχή στην θέση 43 και βάση αυτής, οι μάζες και οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων συστατικών. Οι διαφοροποιήσεις για τον υπολογισμό των σωματιδιακών-διαλυτών συγκεντρώσεων ισχύουν όπως πιο πάνω.

$$Q_{43} = Q_{42} - Q_{45}$$

$$M_{X_{43}} = M_{X_{42}} - M_{X_{45}}$$

$$X_{43} = \frac{M_{X_{43}}}{Q_{43}}$$

$$S_{43} = S_{42}$$

$$M_{S_{43}} = S_{43} \times Q_{43}$$

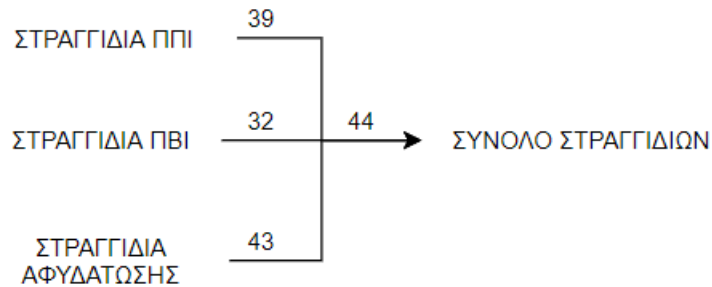
Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη

Εκτιμάται ότι προστίθενται 8gr πολυηλεκτρολύτη ανά kg TSS. Γνωρίζοντας την ημερήσια μάζα στερεών που διέρχονται από την μονάδα της μηχανικής πάχυνσης μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια κατανάλωση του πολυηλεκτρολύτη από την σχέση:

$$M_{pol} = \frac{8 \times M_{TSS_{42}}}{1000} \quad (\text{kg πολυηλ./d})$$

3.9 Γραμμή στραγγιδίων

Τα στραγγίδια ουσιαστικά είναι ότι επιστρέφει στο σύστημα ανάντη της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης από την πάχυνση βαρύτητας, την μηχανική πάχυνση και τη αφυδάτωση. Στη συνέχεια καταγράφονται οι εξισώσεις των στραγγιδίων οι οποίες βασίζονται στα ισοζύγια μαζών. Οι αριθμοί κάθε θέσης και οι ονομασίες των συντελεστών, βασίζονται στο εφαρμοσμένο μοντέλο και επεξηγούνται στην συνέχεια.



Σχήμα 3-7: Διακριτοποίηση θέσεων γραμμής στραγγιδίων

Σύνολο Στραγγιδίων

$$Q_{44} = Q_{32} + Q_{39} + Q_{43}$$

$$M_{X_{44}} = M_{X_{32}} + M_{X_{39}} + M_{X_{43}}$$

$$X_{44} = \frac{M_{X_{44}}}{Q_{44}}$$

$$M_{S_{44}} = M_{S_{32}} + M_{S_{39}} + M_{S_{43}}$$

$$S_{44} = \frac{M_{S_{44}}}{Q_{44}}$$

3.10 Κατανάλωση ενέργειας

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε μια εγκατάσταση, καταγράφοντας σχέσεις που δίνουν την ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε βαθμίδα.

Συστήματα προεπεξεργασίας

Η ενεργειακή κατανάλωση κατά την προεπεξεργασία των λυμάτων υπολογίζεται αναλογικά με την παροχή των εισερχόμενων λυμάτων σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$EN_{pretr} = E \times Q_{infuent}$$

Η σταθερά κατανάλωσης ενέργειας E λαμβάνεται $0,04 \text{ kWh/m}^3$ για την παρούσα προσομοίωση.

Δεξαμενές πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης

Στις δεξαμενές καθίζησης, η ενέργεια καταναλώνεται για την κίνηση των ξέστρων και υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{sett} = P \times t$$

Στην παρούσα εργασία έγινε η θεώρηση ότι η ισχύς του ξέστρου ανέρχεται σε 3 kW το σύστημα λειτουργεί 24 ώρες ανά ημέρα.

Βιολογικός αντιδραστήρας

Η ενέργεια που καταναλώνεται στο βιοαντιδραστήρα αποδίδεται στα:

- Σύστημα ανάμιξης

$$E_{bioreactor_mix} = \sum_{i=1}^n (P \times V_i) \times t$$

Η παραδοχή της συγκεκριμένης προσομοίωσης για τη δυναμικότητα του συστήματος ανάμιξης είναι 5 W/m^3 .

- Σύστημα αερισμού

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος αερισμού του βιοαντιδραστήρα προσδιορίζεται ένας βαθμός απόδοσης του συστήματος και εφαρμόζεται η επόμενη σχέση:

$$E_{\text{bior actor_aer}} = \frac{\text{SOTR}}{\varepsilon}$$

Η απόδοση του συστήματος αερισμού (ε) εκτιμήθηκε στην τιμή των 3,5 kg O₂/kWh

Μονάδες πάχυνσης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος

Όπως έχει προαναφερθεί, η πάχυνση της ιλύος μπορεί να γίνει είτε σε παχυντή βαρύτητας, είτε με μηχανικά μέσα. Στην περίπτωση του παχυντή βαρύτητας, στον οποίο οδηγείται η πρωτοβάθμια ιλύς στο παρόν μοντέλο, η ενεργειακή κατανάλωση οφείλεται στη λειτουργία του ξέστρου, όπως συμβαίνει με τις δεξαμενές καθίζησης, και ο υπολογισμός της είναι ανάλογος:

$$E_{\text{gravity_thick}} = P \times t$$

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης του μηχανικού παχυντή, στον οποίο οδηγείται η δευτεροβάθμια ιλύς, εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$E_{\text{mechanical_thick}} = \frac{M_{\text{TSS}}}{t} \times \frac{P}{C}$$

Μονάδα αναερόβιας χώνευσης

Η κατανάλωση ενέργειας του αναερόβιου χωνευτή αποδίδεται στο σύστημα ανάμιξης και υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{\text{digester_mix}} = (P \times V) \times t$$

Για το σύστημα ανάμιξης θεωρήθηκε δυναμικότητα ίση με 5 W/m³.

Μονάδα αφυδάτωσης ιλύος

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της μονάδας αφυδάτωσης ιλύος εφαρμόζεται, όπως και στην περίπτωση της μηχανικής πάχυνσης, η ακόλουθη σχέση

$$E_{\text{mechanical_dewat}} = \frac{M_{\text{TSS}}}{t} \times \frac{P}{C}$$

Ενέργεια άντλησης

Η ενέργεια άντλησης υπολογίζεται από το άθροισμα των καταναλώσεων ενέργειας που εμφανίζονται στις παρακάτω θέσεις της εγκατάστασης:

- Ανακυκλοφορία ιλύος
- Εσωτερική Ανακυκλοφορία Ιλύος
- Άντληση Πρωτοβάθμιας Ιλύος
- Άντληση Περίσσειας Ιλύος
- Άντληση Παχυμένης Ιλύος
- Δοσομετρικές Αντλίες Πολυηλεκτρολύτη

Η ενεργειακή κατανάλωση όλων των αντλιών, εν γένει, υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E_{\text{pumping}} = \rho \times \frac{Q}{\varepsilon}$$

Σημειώνεται, αναφορικά με τις αντλίες, ότι η ενεργειακή τους κατανάλωση εξαρτάται από το χρόνο λειτουργίας τους.

3.11 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

3.11.1 Εισαγωγή

Η μελέτη της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι απαραίτητα, καθώς κατά την λειτουργία της παράγονται μέσω άμεσων αλλά και έμμεσων διεργασιών που πραγματοποιούνται εντός και εκτός της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, οι άμεσες εκπομπές οφείλονται στη βιολογική βαθμίδα στην κατανάλωση βιοαερίου και πολυηλεκτρολύτη ενώ οι έμμεσες στην κατανάλωση ενέργειας και της διάθεσης της ιλύος και αναλύονται πιο κάτω.

3.11.2 Άμεσες εκπομπές

A) Βιολογική Βαθμίδα

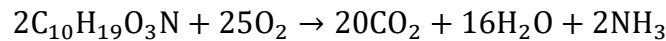
Οι εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας εκτιμήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω διαδικασίες:

- Παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής ετεροτροφικής βιομάζας
- Παραγωγή CO₂ λόγω απονιτροποίησης
- Κατανάλωση CO₂ λόγω της παραγωγής αυτοτροφικής βιομάζας
- Παραγωγή N₂O (σε ισοδύναμο CO₂) λόγω ανοξικής ανάπτυξης των ετεροτροφικών καθώς και νιτροποίησης και απονιτροποίησης των νιτροποιητών

Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις των συστατικών εισέρχονται σε όρους gr VSS/m³ και όχι σε όρους gr COD/m³ όπου ισχύει η σχέση 1 gr VSS = 1,42 gr COD.

Παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας

Η παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας και κατανάλωσης τροφής φαίνεται στην πιο κάτω χημική αντίδραση:



Όπου : C₁₀H₁₉O₃N η χημική σύνθεση της βιομάζας

Όπως φαίνεται από την σχέση, με την κατανάλωση 25 moles O₂ παράγονται 20 moles

$$CO_2 \text{ είναι } \frac{(25 \times 32)}{(20 \times 44)} = \frac{1}{1.1}$$

Επομένως, για 1 kg O₂ που καταναλώνεται παράγονται 1.1 kg CO₂ και βάση της διεργασίας της κατανάλωσης οξυγόνου κατά την αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας, η παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας σε μια δεξαμενή (k) σε χρονικό διάστημα dt θα ισούται με:

$$SCO_{2\text{biomass}(k)} = \frac{\left(1.1 \times \left(\frac{1.0 - Y_h}{Y_h}\right) \times r_5(k)\right)}{1.42} \times \frac{V(k)}{1000} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{step}}\right)$$

Ολοκληρώνοντας για κλίμακα ημέρας και προσθέτοντας για όλες τις αερόβιες δεξαμενές, έχουμε την παραγωγή CO₂ σε kg/d.

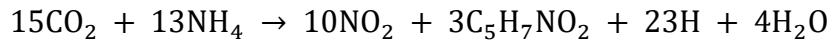
Παραγωγή CO2 λόγω απονιτροποίησης ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας

Ισχύει η αντίδραση όπως πιο πάνω με τη διαφορά ότι θα ενταχθούν οι εξισώσεις που αφορούν την ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας σε ανοξικές συνθήκες

$$SCO2_{denitr(k)} = \frac{\left(1.1 \times \left(\frac{1.0 - Y_h}{Y_h}\right) \times (r6(k) + r7(k) + r8(k) + r9(k))\right)}{1.42} \times \frac{V(k)}{1000} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{step}}\right)$$

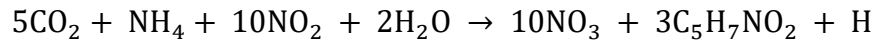
Κατανάλωση CO2 λόγω παραγωγής αυτοτροφικής βιομάζας

Η κατανάλωση CO2 χωρίζεται σε 2 αντιδράσεις. Η πρώτη αντίδραση αφορά τους αυτοτροφικούς μικροοργανισμούς και είναι η εξής:



Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι καταναλώνονται 15 moles CO₂ ανά 13 moles NH₄ - N και ο λόγος τους είναι $\frac{(15 \times 44)}{(13 \times 14)} = \frac{3.63}{1}$. Επομένως, για 3.63 kg CO₂ που καταναλώνεται 1 kg NH₄ - N.

Η δεύτερη χημική αντίδραση αφορά τους νιτροποιητές και είναι η εξής:



Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι καταναλώνονται 5 moles CO₂ ανά 10 moles NO₂ - N και 1 mole NH₄ - N ο λόγος τους είναι $\frac{(5 \times 44)}{(11 \times 14)} = \frac{1.43}{1}$. Επομένως για 1.43 kg CO₂ που καταναλώνεται 1 kg N.

Βάση των πιο πάνω αντιδράσεων, η κατανάλωση CO₂ λόγω παραγωγής αυτοτροφικής βιομάζας σε μια δεξαμενή (k) σε χρονικό διάστημα dt θα ισούται με:

$$SCO2_{nitr(k)} = \frac{\left(\left(-\frac{3.63}{Y_{aob}}\right) \times (r12(k)) - \left(\frac{1.43}{Y_{nob}}\right) \times (r16(k))\right)}{1.42} \times \frac{V(k)}{1000} \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{step}}\right)$$

Παραγωγή N₂O σε ισοδύναμο CO₂

Η παραγωγή N₂O όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια υπολογίζεται αναλυτικά συγκεκριμένα παράγεται στις δεξαμενές αερισμού αφού μια ογκομετρική μάζα του υποξειδίου του αζώτου μεταδίδεται από το νερό στον αέρα :

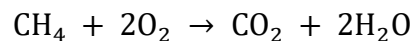
$$SN_{2O_{gas(k)}} = 0.91 \times KLA(k) \times S_{N_{2O}(k)} \times V(k) \times \frac{296}{1000} \left(\frac{kgN_{2O}}{step} \right)$$

B) Κατανάλωση Βιοαερίου

Η συνολική παραγωγή εκπομπών από το βιοαέριο οφείλονται στην χρήση του βιοαερίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, στην παραγωγή CO₂ από χρήση βιοαερίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς απώλειες τους χωνευτή.

Για το βιοαέριο αυτό θεωρήθηκε ότι περιέχει 62.5% CH₄ και 37.5% CO₂. Επομένως, σε 1m³ βιοαερίου περιέχονται 0.625 m³ CH₄ και 0.375 m³ CO₂. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι 1 m³ περιέχει $\frac{0.375}{22.4} \times 16 = 0.446 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ και $\frac{0.375}{22.4} \times 44 = 0.737 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$.

Το βιοαέριο καίγεται είτε για τη θέρμανση του χωνευτή είτε για την κάλυψη άλλων θερμικών και ηλεκτρικών απαιτήσεων. Η χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση του είναι:



Επίσης θεωρείται ότι το 1% του βιοαερίου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, και βάση αυτού η σχέση με την οποία δίνονται οι συνολικές εκπομπές αερίων σε ισοδύναμο CO₂ από την καύση του βιοαερίου προσαρμόζεται ως εξής:

$$CO_{2_{biogas}} = 0.99 \times \left(0.737 \times BIOGAS + 0.446 \times \frac{44}{16} \times BIOGAS \right) \left(\frac{kgCO_2}{d} \right)$$

Ενώ σχέση που δίνει τις διαφυγές είναι :

$$CO_{2_{biogas}} = 0.01 \times (0.737 \times BIOGAS + 0.446 \times BIOGAS) \left(\frac{kgCO_2}{d} \right)$$

Γ) Κατανάλωση Πολυηλεκτρολύτη

Η μάζα του πολυηλεκτρολύτη χρησιμοποιείται σε μηχανική πάχυνση και αφυδάτωση, άρα μπορούμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές CO₂ θεωρώντας μια αναλογία 1,7 kg CO₂/kg πολυηλ. Άρα η παραγωγή CO₂ από την χρήση χημικών θα ισούται με:

$$CO2_{pol} = 1.7 \times (M_{POL_{THIC}} + M_{POL_{DEW}}) \left(\frac{kgCO2}{d} \right)$$

3.11.3 Έμμεσες εκπομπές

A) Κατανάλωση Ενέργειας

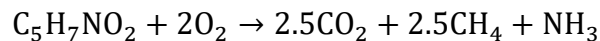
Οι εκπομπές που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας εξαρτώνται τόσο από το ποσοστό που χρησιμοποιείται το κάθε καύσιμο στην χώρα που αναφερόμαστε όσο και από τον συντελεστή εκπομπών κάθε καυσίμου. Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια υπολογίζεται αφαιρώντας την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο, που έχουν υπολογιστεί πιο κάτω φαίνεται η εξίσωση:

$$CO2_{EN} = (EN - EN_{BIO}) \times \frac{\sum(Fi \times EFi)}{1000} \left(\frac{kgCO2}{d} \right)$$

B) Διάθεση Ιλύος

Στην παρούσα προσομοίωση για να εκτιμηθούν οι εκπομπές των αερίων θεωρήθηκε ότι η παραγόμενη ιλύς διατίθεται σε ΧΥΤΑ.

Η ιλύς αντιπροσωπεύεται από τη χημική σύνθεση C₅H₇O₂N, ενώ η οξείδωση του οργανικού φορτίου στον ΧΥΤΑ παρουσιάζεται από την χημική αντίδραση:



Επομένως βάση των αναλογιών προκύπτουν οι σχέσεις:

$$CH_4_{land} = \frac{40}{113} \times MVSS_{45}$$

$$CO_2_{land} = \frac{66}{113} \times MVSS_{45}$$

Επίσης θεωρούμε ότι ελευθερώνονται 8.2gr N₂O ανά kg TN:

$$N2O_{land} = \frac{8.2}{1000} \times \left(Q_{45} \times \frac{TN_{45}}{1000} \right)$$

Επομένως, το συνολικό CO₂ που παράγεται κατά τη διάθεση της ιλύος στον ΧΥΤΑ δίνεται από την σχέση:

$$CO_2 = CO_{2land} + (CH_{4land} \times 25) + (N2O_{land} \times 296)$$

Τέλος υπολογίζεται οι συνολικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμο CO₂, ως το άθροισμα όλων των επιμέρους εκπομπών, άμεσων και έμμεσων. Στο μοντέλο μας παίρνει την ονομασία Total_GHG_CO2eq και χρησιμοποιείται για την βαθμονόμηση και τον έλεγχο της ΕΕΛ.

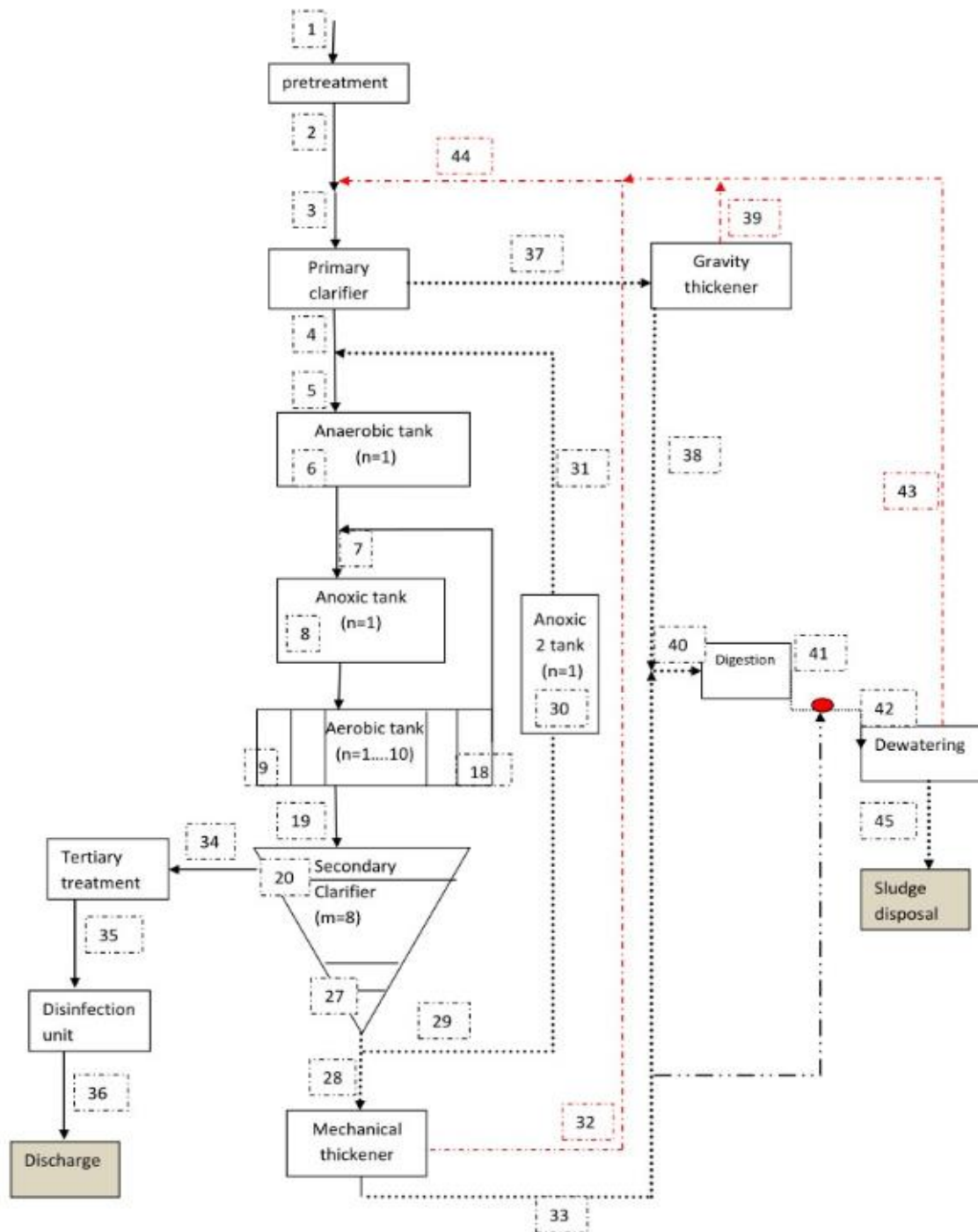
4 Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης

4.1 Προσομοιούμενο σύστημα

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων προσομοιώνεται βάση της περιγραφής που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα επιμέρους της στοιχεία εμφανίζονται στο Σχήμα 4.1. Εδώ σημειώνεται ότι το σχήμα παρουσιάζει μια πλήρη ΕΕΛ η οποία μοντελοποιήθηκε από τους Koumaki et al. και χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική. Λόγω του ότι δεν μελετάμε την απομάκρυνση του φωσφόρου, κατά τις εφαρμογές του μοντέλου δεν υπάρχουν η αναερόβια δεξαμενή, η ανοξική 2 αλλά ούτε πρωτοβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων. Κατ' επέκταση το σύστημα περιλαμβάνει:

- Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης συνολικής επιφάνειας $A=1500\text{m}^2$
- Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης επιφάνειας $A=7500\text{m}^2$ και βάθους $H=4.5\text{m}$
- Παχυντή Βαρύτητας για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος
- Μηχανικό Παχυντή για την πάχυνση της βιολογικής ιλύος
- Αναερόβιο Χωνευτή με όγκο $V_{\text{dig}}=6000\text{ m}^3$
- Μονάδα Μηχανικής Αφυδάτωσης
- Βιολογικός Αντιδραστήρας αποτελούμενος από: α) Αναερόβια δεξαμενή όγκου $V(6)=0\text{ m}^3$, β) Ανοξική 1 δεξαμενή όγκου $V(8)=7880\text{ m}^3$, γ) Ανοξική 2 δεξαμενή όγκου $V(30)=0\text{ m}^3$, δ) Δεξαμενή αερισμού 5 διαμερισμάτων, από τα οποία στα πρώτα τέσσερα προστίθεται οξυγόνο μέσω συστήματος αερισμού. $V(9)=V(10)=V(11)=V(12)=3716\text{ m}^3$ και $V(13)=695\text{ m}^3$

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων για την εφαρμογή του μοντέλου σε σταθερές συνθήκες (Steady State), θεωρούνται σταθερά και οι τιμές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Επίσης, για την γρηγορότερη σύγκλιση του συστήματος θεωρήθηκαν κάποιες αρχικές συγκεντρώσεις σε ορισμένες θέσεις της εγκατάστασης, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.



Σχήμα 4-1: Ροϊκό διάγραμμα προσομοιούμενης εγκατάστασης (Κουμακι, et al)

Πίνακας 4-1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων για την εφαρμογή του μοντέλου σε σταθερές συνθήκες

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Παροχή	Q	62000	m ³ /d
Αδρανής διαλυμένη οργανική ύλη	SI	30	mg/L
Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	SS	140	mg/L
Αδρανής σωματιδιακή οργανική ύλη	XI	30	mg/L
Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη	XS	400	mg/L
Ετεροτροφική βιομάζα	XBH	28.8	mg/L
Αμμωνιακά οξειδωτικά βακτήρια	XAOB	0.1	mg/L
Νιτρικά οξειδωτικά βακτήρια	XNOB	0.1	mg/L
Διαλυμένο οξυγόνο	SO	0.1	mg/L
Μονοξείδιο του αζώτου	SNO	0	mg/L
Διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο	SNH	40	mg/L
Νιτρώδη	SNO ₂	0	mg/L
Νιτρικά	SNO ₃	0	mg/L
Αέριο άζωτο	SN ₂	0	mg/L
Υποξείδιο του αζώτου	SN ₂ O	0	mg/L
Υδροξυλαμίνη	SNH ₂ OH	0	mg/L
Ανόργανη σωματιδιακή ύλη	XNV	75	mg/L
Αλκαλικότητα	SALK	500	mg/L

Πίνακας 4-2: Αρχικές συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένες θέσεις της εγκατάστασης

Παράμετρος	Θέση 6	Θέση 8	Θέση 9-26	Θέση 20, 34	Θέση 27-29
SI	30	30	30	30	30
SS	80	80	80	5	5
XI	500	500	500	2	2000
XS	45	45	45	3	100
XBH	1500	1500	1500	10	5000
ΧΑΟΒ	20	20	20	3	300
ΧΝΟΒ	25	20	20	3	300
SO	0.01	0.01	2	2	2
SNO	0	0	0	0	0
SNH	28	28	28	10	10
SNO2	0.01	0.01	0.01	0	0
SNO3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SN2	0	0	0	0	0.01
SN2O	0	0	0	0	0
SNH2OH	0	0	0	0	0
XNV	10	10	10	1	100
SALK	0	0	0	0	0

4.2 Σενάρια προσομοίωσης

4.2.1 Εισαγωγή

Τα σενάρια που εξετάζονται αφορούν στην δυναμική φόρτιση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και στοχεύουν στην διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων στην απόδοση της.

Τα σενάρια που εξετάσθηκαν χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Πρώτη σειρά σεναρίων : Δυναμική φόρτιση του μοντέλου για ημερήσιο χρονικό ορίζοντα με στόχο να αξιολογηθεί η επίδραση που μπορεί να έχει το υδρογράφημα της παροχής στην απόδοση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.
- Δεύτερη σειρά σεναρίων: Δυναμική φόρτιση του μοντέλου για μηνιαίο χρονικό ορίζοντα με στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης των δεδομένων εισόδου στην απόδοση της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, η σειρά αποτελείται από 7 σενάρια, στα οποία ελέγχονται η επίδραση του διαφορετικού υδρογραφήματος, η επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων, η επίδραση εισροής λυμάτων μη τυπικής αστικής σύστασης, η επίδραση της θερμοκρασίας και η επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών.
- Τρίτη σειρά σεναρίων: Δυναμική φόρτιση του μοντέλου με χρήση συνθετικών χρονοσειρών για χρονικό ορίζοντα 100 χρόνων. Η σειρά αποτελείται από ένα σενάριο με στόχο να μελετήσουμε την επίδραση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων για μια μεγάλη χρονική περίοδο και να πάρουμε μια πιο πλήρη εικόνα όσον αφορά τις συσχετίσεις των συστατικών σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Πρακτικά, ο στόχος της εφαρμογής αυτής είναι η ανάλυση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ως προς τα χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων.

Για κάθε εξεταζόμενο σενάριο αρχικά αναφέρεται ο στόχος του σεναρίου καθώς και το εύρος τιμών που έλαβε η κάθε παράμετρος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με μορφή των γραφικών και ακολουθεί ο σχολιασμός τους.

Επισημαίνεται ότι δεν μπορούν να παρουσιαστούν όλα τα αποτελέσματα λόγω του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών της εγκατάστασης οι οποίες μελετήθηκαν. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζονται κυρίως :

- Η συγκέντρωση της ολικής οργανικής ύλης στην εκροή (CODe)
- Η συγκεντρώσεις των αζωτούχων συστατικών στην εκροή (NH, NO₃, TN)
- Η συγκέντρωση αζωτούχων συστατικών στην είσοδο και έξοδο της ανοξικής δεξαμενής («NO₂» και NO₂)
- Η συνολική παραγόμενη ποσότητα υποξειδίου του αζώτου (N₂O)
- Τα παραγόμενα αέρια του θερμοκηπίου (GHG)
- Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου (SOTR)
- Ο δείκτης ποιότητας εκροής (EQI)

Επίσης πριν να γίνει η εφαρμογή των σεναρίων, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για να εκτιμηθούν οι τιμές των παραμέτρων λειτουργίας, οι οποίοι μαζί με τις κινητικές και στοιχειομετρικές παραμέτρους που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 3.2 και 3.3 χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές αναφοράς για όλα τα σενάρια. Οι υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας που δεν αναφέρονται, αποτελούν παραμέτρους που θα μελετηθούν και το εύρος τιμών τους δίνεται σε κάθε σενάριο ξεχωριστά:

- Ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού $r_{in}=3.5$
- Ο συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας της ιλύος $r_{ex}=0.8$
- Ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος εκτιμάται ως $SVI=80$
- Ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών πρωτοβάθμιας καθίζησης $s_r=50.0\%$.
- Ο βαθμός συγκράτησης στερεών πάχυνσης $CR_{thick}=95.0\%$
- Ο βαθμός συγκράτησης στερεών αφυδάτωσης $CR_{dew}=95.0\%$
- Η προσομοίωση έχει χρονική διάρκεια 100 ημερών προκειμένου το σύστημα να σταθεροποιηθεί.

4.2.2 Πρώτη σειρά σεναρίων : Ημερήσιος χρονικός ορίζοντας

4.2.2.1 Σενάριο Α: Επίδραση του υδρογραφήματος

4.2.2.1.1 Στόχος σεναρίου

Στο σενάριο αυτό στόχος είναι η μελέτη της αναγκαιότητας αναλυτικής περιγραφής του ημερήσιου υδρογραφήματος της παροχής. Αναλυτικότερα συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της εκροής, οι απαιτήσεις οξυγόνου καθώς και η παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου για χρονικό ορίζοντα μιας ημέρας έτσι ώστε να αναλυθεί η κρισιμότητα της θεώρησης σταθερής παροχής εισόδου καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας.

4.2.2.1.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό ελέγχεται η λειτουργία της εγκατάστασης σε ημερήσια βάση, για τις περιπτώσεις όπου: α) η παροχή εισόδου είναι σταθερή όλη την διάρκεια της ημέρας και ίση με 62000 m³/d (Steady State) και β) η παροχή εισόδου παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ημέρας που βασίζονται στο τυπικό ημερήσιο υδρογράφημα Qm και είναι ίση με 62000 m³/d. Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων το ημερήσιο υδρογράφημα Qm αντίστοιχα.

Πίνακας 4-3: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (Α)

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TNin	42.8	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	CODin	629	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Steady State/Qm	m³/d

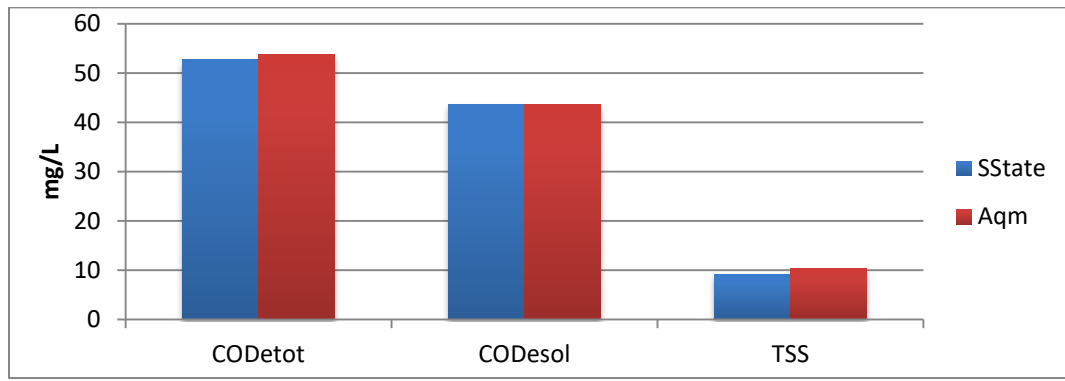
Πίνακας 4-4: Ημερήσιο υδρογράφημα παροχής Qm

24ωρο Υδρογράφημα	Qm
12:00:00 AM	0.968
1:00:00 AM	0.873
2:00:00 AM	0.777
3:00:00 AM	0.655
4:00:00 AM	0.533
5:00:00 AM	0.552
6:00:00 AM	0.570
7:00:00 AM	0.748
8:00:00 AM	0.925
9:00:00 AM	1.038
10:00:00 AM	1.151
11:00:00 AM	1.197
12:00:00 PM	1.243
1:00:00 PM	1.212
2:00:00 PM	1.181
3:00:00 PM	1.182
4:00:00 PM	1.183
5:00:00 PM	1.144
6:00:00 PM	1.105
7:00:00 PM	1.134
8:00:00 PM	1.162
9:00:00 PM	1.182
10:00:00 PM	1.202
11:00:00 PM	1.085

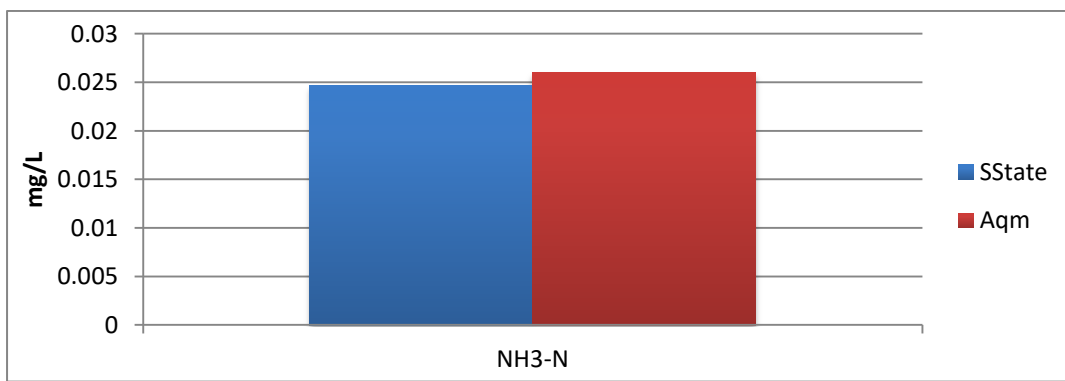
4.2.2.1.3 Αποτελέσματα σεναρίου

Ουσιαστικά μέσω του σεναρίου αυτού βλέπουμε την επιρροή που μπορεί να δημιουργήσει στο σύστημα η εμφάνιση μέγιστων και ελάχιστων τιμών της παροχής εισροής. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο εφαρμογών του μοντέλου (μία με σταθερή ωριαία παροχή και μία με μεταβαλλόμενη ωριαία παροχή) παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.2-4.6 και στον Πίνακα 4.5. Ειδικότερα στα Σχήματα 4.2-4.4 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα 4.5 και 4.6 η σύγκριση αφορά στην κατανάλωση οξυγόνου, στον δείκτη εκροής και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

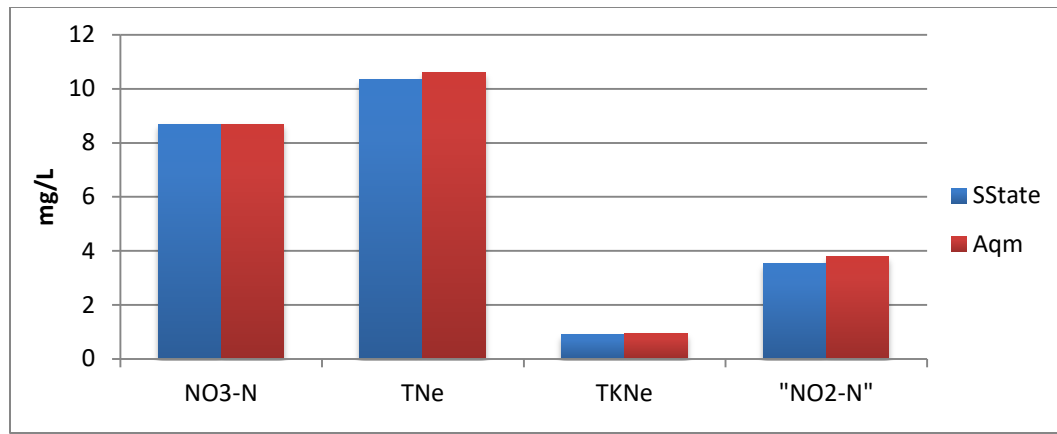
Με βάση τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των δυο σεναρίων σε ό,τι αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων είναι μικρές. Η χρήση σταθερής ωριαίας παροχής μπορεί να δώσει πρακτικά τις ίδιες μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις εξόδου με αυτές που προκύπτουν από την χρήση ενός αναλυτικού υδρογραφήματος ωριαίας διακύμανσης της παροχής των λυμάτων. Μικρές διαφοροποιήσεις καταγράφονται στη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών εξόδου, οι οποίες επιφέρουν διαφορές αντίστοιχου μεγέθους στις συγκεντρώσεις ολικού COD και ολικού αζώτου. Επιπλέον ότι με την αναλυτική περιγραφή και χρήση της ωριαίας διακύμανσης της παροχής εισόδου υπολογίζεται συγκέντρωση 'NO₂-N' ελαφρά μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίζεται με την χρήση σταθερής ωριαίας παροχής. Επισημαίνεται ότι με τον όρο 'NO₂-N' αναφέρεται το άθροισμα των παραμέτρων του αζώτου εκτός του αμμωνιακού και του νιτρικού αζώτου ((NO, NH₂OH, N₂O,NO₂).



Σχήμα 4-2: Συγκεντρώσεις οργανικής ύλης στην εκροή για το σενάριο A



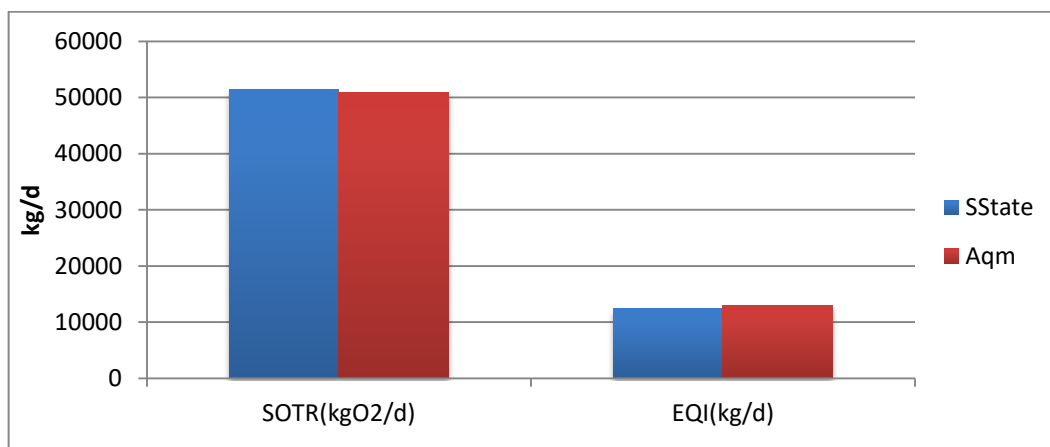
Σχήμα 4-3: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο A



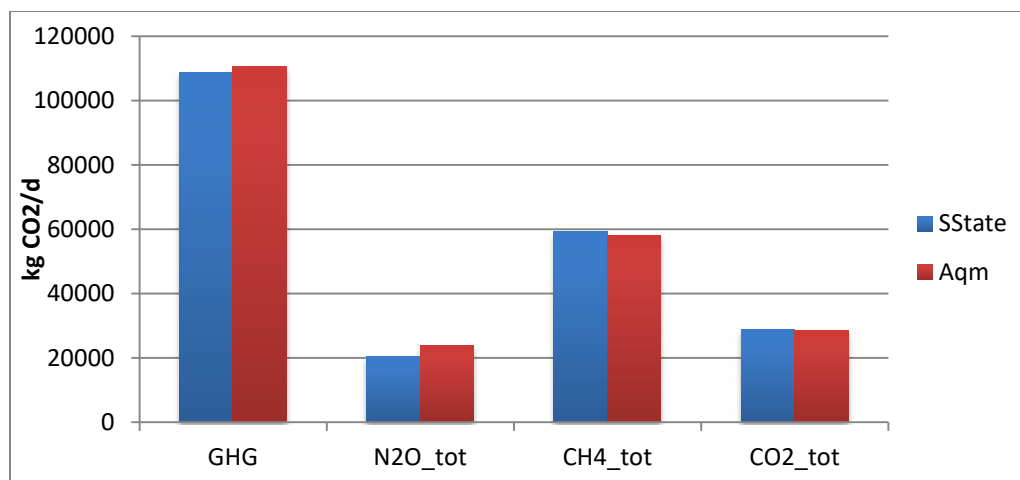
Σχήμα 4-4: Συγκεντρώσεις αζωτούχων συστατικών εκροής και των υπολοίπων αζωτούχων συστατικών στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής για το σενάριο A

Από το σχήμα 4.5 μπορούμε να δούμε ότι η μεταβολή των παροχών κατά την διάρκεια της μέρας δεν θα επηρεάσει σχεδόν καθόλου την απαίτηση του οξυγόνου ενώ ο δείκτης της ποιότητας εκροής EQI θα αυξηθεί ελάχιστα.

Η μεγαλύτερη επίδραση εμφανίζεται τελικά στην παραγωγή του υποξειδίου του αζώτου, το οποίο αυξάνεται κατά 16% περίπου στην περίπτωση όπου η παροχή είναι μεταβαλλόμενη κατά την διάρκεια της μέρας. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά σημαντικό ωστόσο βλέπουμε από το Σχήμα 4.6 ότι έχει μικρή επίδραση στην συνολική παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου μιας και οι άλλες δύο συνιστώσες και κυρίως οι εκπομπές μεθανίου μειώνονται.



Σχήμα 4-5: Τιμές απαιτούμενου οξυγόνου και δείκτη εκροής για το σενάριο A



Σχήμα 4-6: Διακύμανση της συνολικής ποσότητας παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου και των συστατών τους για το σενάριο A

Πίνακας 4-5: Μεταβολές των συγκεντρώσεων για το σενάριο A

	Τιμή Steady State	Τιμή AQm	Μεταβολή (%)
CODetot (mg/L)	53	54	2
CODesol (mg/L)	44	44	0
TSSe (mg/L)	9	10	12
NH3-N (mg/L)	0.025	0.026	5.447
NO3-N (mg/L)	9	9	0
TNe (mg/L)	10	11	3
"NO2-N"(mg/L)	4	4	7
SOTR(kgO2/d)	51372	50933	-1
EQI (kg Pollution/d)	12474	12944	4
GHG (KgCO2/d)	108822	110678	2
N2O_tot (KgCO2/d)	20551	23841	16
CH4_tot (KgCO2/d)	59448	58212	-2
CO2_tot (KgCO2/d)	28823	28624	-1

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές καθώς και οι μεταβολές των μεταβλητών του μοντέλου που έχουν αναφερθεί προηγουμένως.

Συνοψίζοντας, βάση του σεναρίου αυτού συμπεραίνουμε ότι οι μεταβολές που επιφέρει η εφαρμογή του ημερήσιου υδρογραφήματος στα τελικά αποτελέσματα είναι τόσο μικρές ώστε μπορούμε να πούμε ότι η θεώρηση ενός μέσου ημερήσιου υδρογραφήματος σταθερού καθ' όλη την διάρκεια της μέρας προσομοιάζει αρκετά

καλά την πραγματικότητα. Αξίζει βεβαίως να αναφερθεί ότι η σύγκριση αυτή πραγματοποιήθηκε και αφορά αποκλειστικά τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις στην τελική εκροή. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η αξιολόγηση της ωριαίας μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών εξόδου ή η ωριαία διακύμανση της ζήτησης οξυγόνου (π.χ. για τη διαστασιολόγηση του συστήματος αερισμού) ο καθορισμός της ωριαίας διακύμανσης της παροχής των λυμάτων είναι απολύτως αναγκαίος.

4.2.3 Δεύτερη σειρά σεναρίων: Μηνιαίος χρονικός ορίζοντας

4.2.3.1 Σενάριο Β1: Επίδραση του υδρογραφήματος της παροχής

4.2.3.1.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης που έχουν τα διαφορετικά υδρογραφήματα της παροχής στην απόδοση της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για την δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων υπό την επίδραση διαφορετικά μεταβαλλόμενων παροχών.

4.2.3.1.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενες ημερήσιες παροχές τυπικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και όχι η σταθερή τιμή $62000 \text{ m}^3/\text{d}$ όπως επίσης και 4 διαφορετικά τυπικά ημερήσια υδρογραφήματα Q1,Q2,Q3,Qm. Έτσι με κατάλληλη επεξεργασία δημιουργούνται ωριαίες παροχές εισόδου οι οποίες εισάγονται στο μοντέλο. Το σενάριο αυτό μελετάται σε ωριαία βάση και η παρατήρηση επικεντρώνεται στις ώρες 240 μέχρι 288 , δηλαδή στην με 10^η με 12^η ημέρα, για ευκολία εποπτείας των αποτελεσμάτων.

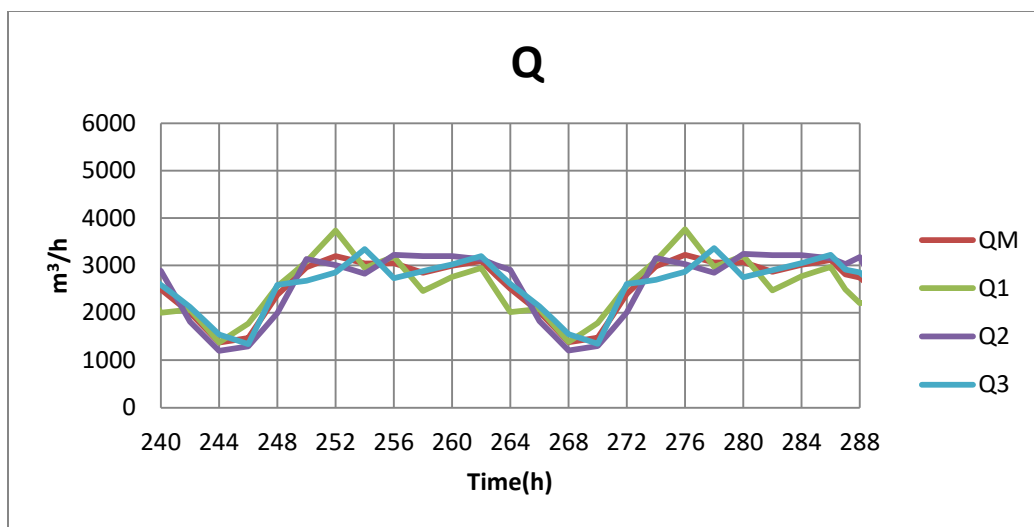
Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων. Στην συνέχεια στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα 4 υδρογραφήματα και στο Σχήμα 4.7 οι ημερήσιες διακυμάνσεις των παροχών.

Πίνακας 4-6: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B1)

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TNin	42.8	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	CODin	629	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Qm,Q1,Q2,Q3	m³/d

Πίνακας 4-7: Ημερήσια υδρογραφήματα παροχών

24ωρο Υδρογράφημα	Qm	Q1	Q2	Q3
12:00:00 AM	0.968	0.777	1.121	1.006
1:00:00 AM	0.873	0.790	0.913	0.915
2:00:00 AM	0.777	0.803	0.704	0.825
3:00:00 AM	0.655	0.669	0.585	0.712
4:00:00 AM	0.533	0.535	0.465	0.599
5:00:00 AM	0.552	0.612	0.483	0.559
6:00:00 AM	0.570	0.688	0.501	0.520
7:00:00 AM	0.748	0.841	0.638	0.763
8:00:00 AM	0.925	0.994	0.775	1.006
9:00:00 AM	1.038	1.096	0.996	1.023
10:00:00 AM	1.151	1.197	1.217	1.040
11:00:00 AM	1.197	1.325	1.193	1.073
12:00:00 PM	1.243	1.452	1.169	1.107
1:00:00 PM	1.212	1.299	1.133	1.203
2:00:00 PM	1.181	1.146	1.097	1.299
3:00:00 PM	1.182	1.191	1.175	1.180
4:00:00 PM	1.183	1.236	1.252	1.062
5:00:00 PM	1.144	1.096	1.247	1.090
6:00:00 PM	1.105	0.955	1.241	1.119
7:00:00 PM	1.134	1.013	1.241	1.147
8:00:00 PM	1.162	1.070	1.241	1.175
9:00:00 PM	1.182	1.108	1.229	1.209
10:00:00 PM	1.202	1.146	1.217	1.243
11:00:00 PM	1.085	0.962	1.169	1.124

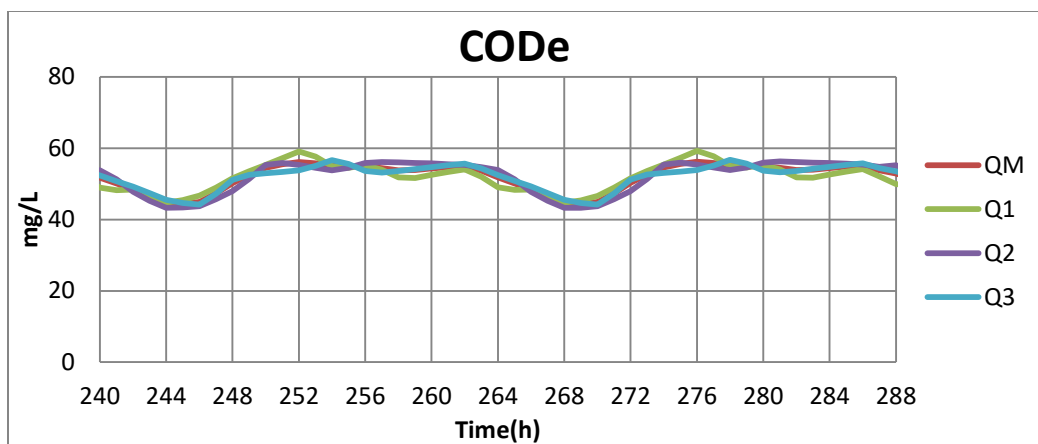


Σχήμα 4-7: Ωριαία διακύμανση παροχής λυμάτων για τα τέσσερα σενάρια

4.2.3.1.3 Αποτελέσματα σεναρίου

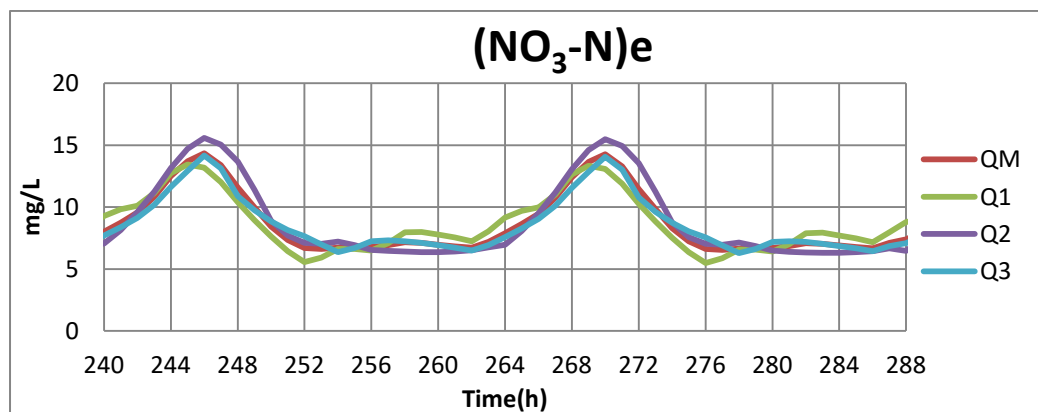
Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των 4 υδρογραφημάτων παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.8-4.16. Ειδικότερα στα Σχήματα 4.8-4.10 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα 4.11 και 4.12 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής. Τέλος ακολουθούν τα Σχήματα 4.13-4.16 τα οποία παρουσιάζουν τις διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της κατανάλωσης οξυγόνου, και του δείκτη ποιότητας εκροής.

Όπως είναι επόμενο, τυχόν αύξηση της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων οδηγεί στην ταυτόχρονη αύξηση της βιομάζας (λόγω προσθήκης μεγαλύτερου οργανικού φορτίου στο σύστημα ενεργού ιλύος). Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση των φορτίσεων των δεξαμενών τελικής καθίζησης η οποία συντελεί στην αύξηση των στερεών εξόδου και συνεπώς στην αύξηση του σωματιδιακού COD εξόδου.

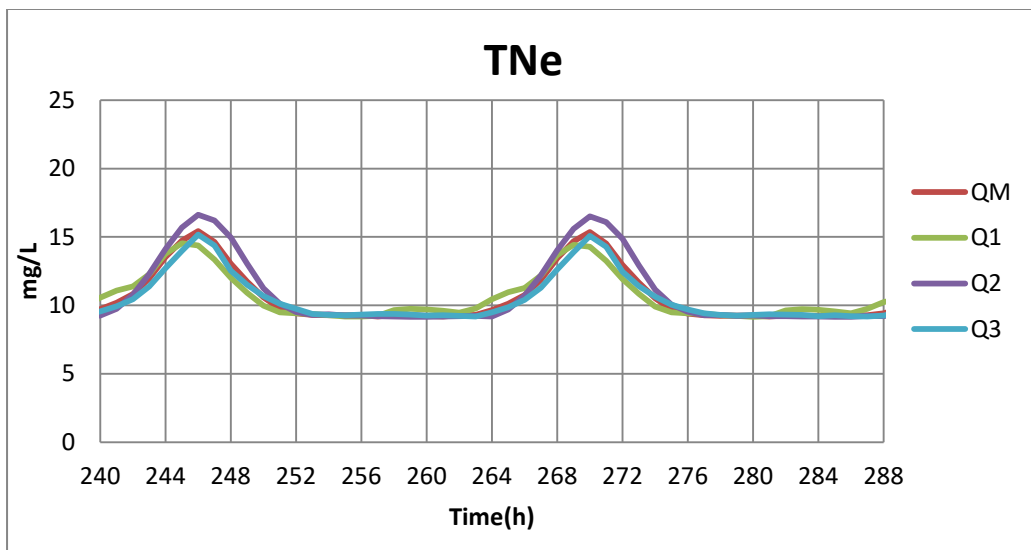


Σχήμα 4-8: Διακύμανση συγκέντρωσης του συνολικού οργανικού υλικού στην εκροή για το σενάριο B1

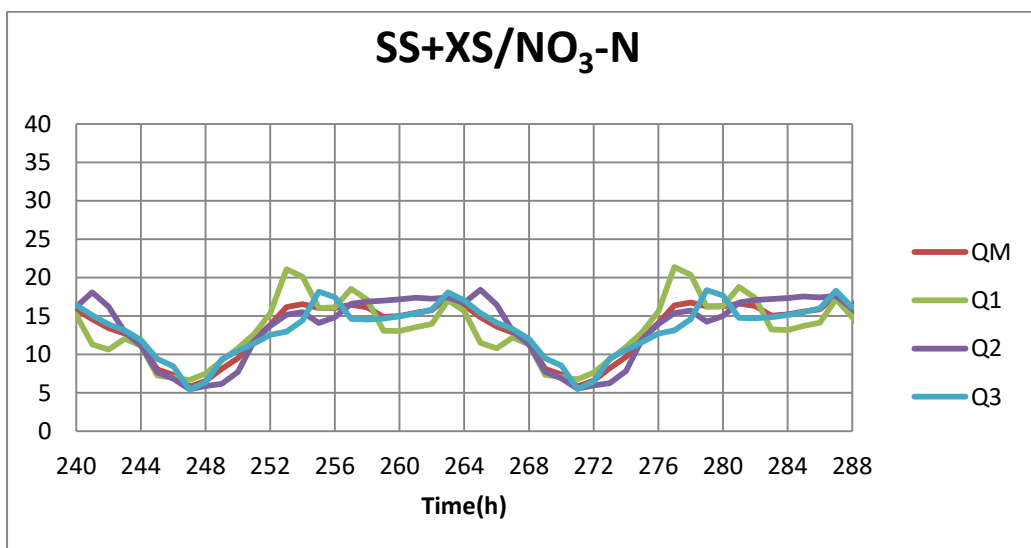
Αντίθετη συμπεριφορά θα παρατηρηθεί στο συστατικά του αζώτου (Σχήματα 4.9-4.10). Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρικών και συνεπώς και του ολικού αζώτου των επεξεργασμένων λυμάτων είναι αντίστροφη από αυτήν της παροχής των λυμάτων και συνεπώς της μάζας αζώτου που εισέρχεται στην εγκατάσταση. Με άλλα λόγια οι μέγιστες συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου συμπίπτουν με τις εισροές των ελάχιστων παροχών. Αυτό επαληθεύεται και από το γεγονός ότι η μέγιστες συγκεντρώσεις νιτρικών καταγράφονται για το σενάριο Q2 το οποίο περιλαμβάνει και την μικρότερη ωριαία παροχή απ'όλα τα προσομοιούμενα σενάρια. Η μείωση της απονιτροποίησης συνδέεται με την μείωση των εισερχόμενων φορτίων αζώτου λόγω της μείωσης του λόγου του βιοδιασπάσιμου οργανικού άνθρακα προς τα νιτρικά στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4-9: Διακύμανση συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου στην εκροή για το σενάριο B1



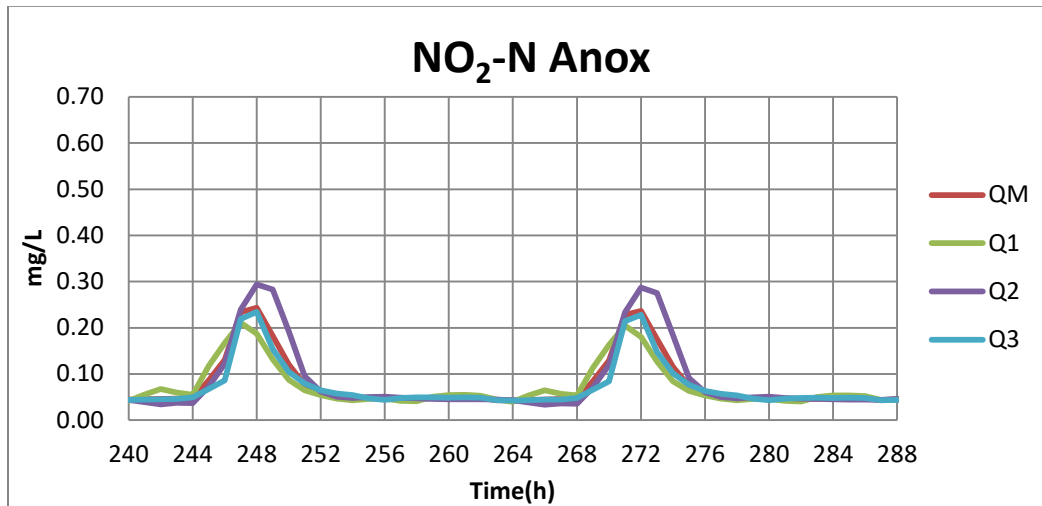
Σχήμα 4-10: Διακύμανση συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή για το σενάριο B1



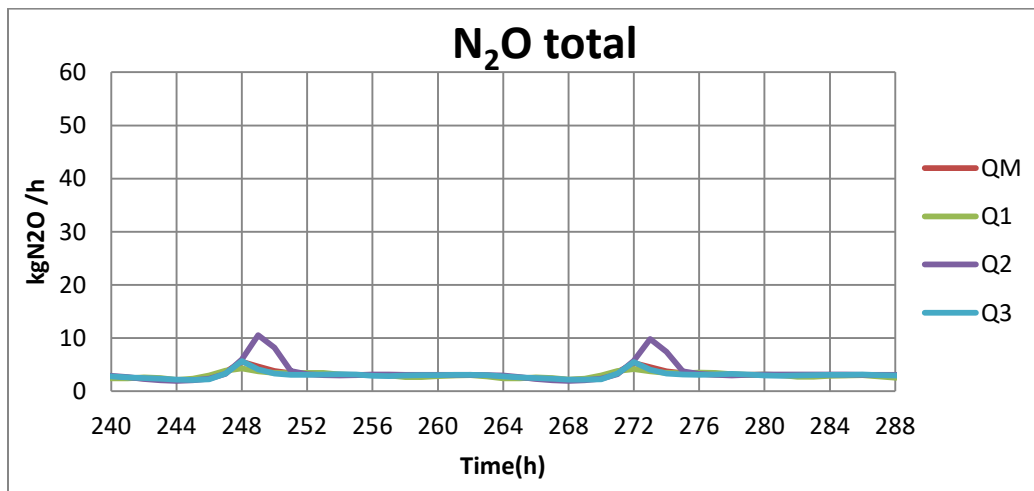
Σχήμα 4-11: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς το νιτρικό άζωτο για το σενάριο B1

Η αύξηση των νιτρικών πρακτικά επιφέρει μία μικρή αύξηση και στη συγκέντρωση των νιτρωδών στον ανοξικό αντιδραστήρα η οποία λαμβάνει χώρα με 4 ώρες καθυστέρηση από το ελάχιστο της παροχής και η οποία είναι μεγαλύτερη στο σενάριο της Q2 (η οποία όπως έχει ήδη σημειωθεί χαρακτηρίζεται από την ελάχιστη ωριαία παροχή). Ως

αποτέλεσμα της αύξησης αυτής καταγράφεται και μία αύξηση στην ωριαία εκπομπή N_2O η οποία είναι πολύ πιο έντονη και πάλι στο σενάριο Q2.

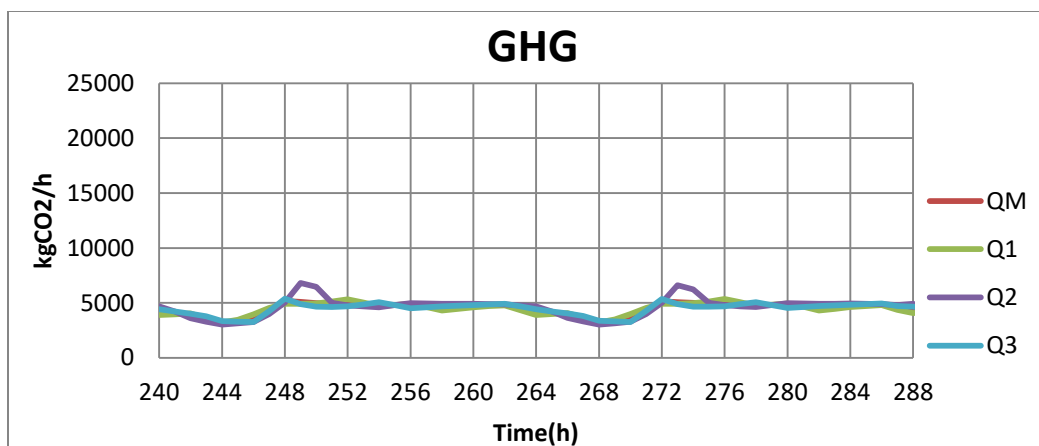


Σχήμα 4-12: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO_2 στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B1



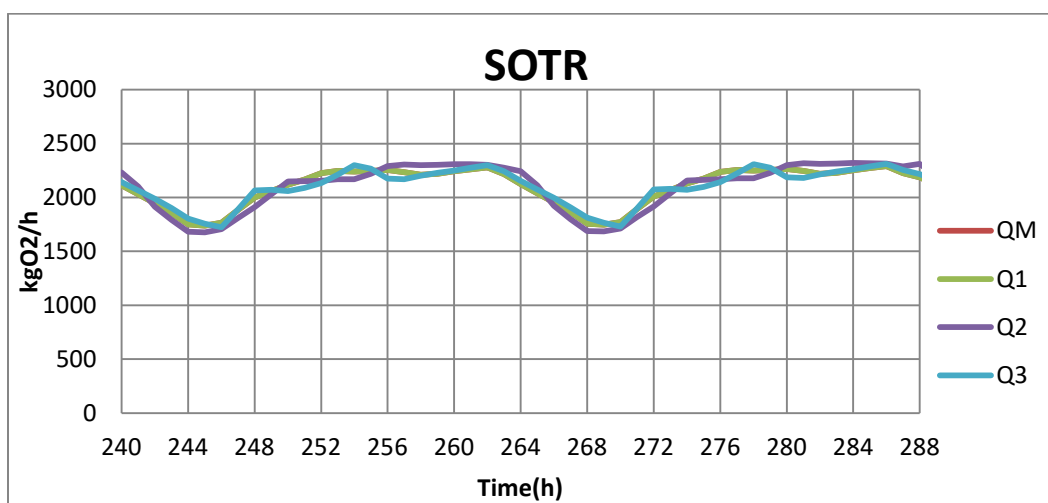
Σχήμα 4-13: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B1

Αντίστοιχη διακύμανση καταγράφεται και στην ωριαία διακύμανση των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), καθώς το υποξείδιο του αζώτου αποτελεί σημαντικό παράγοντα παραγωγής αερίων GHG.



Σχήμα 4-14: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B1

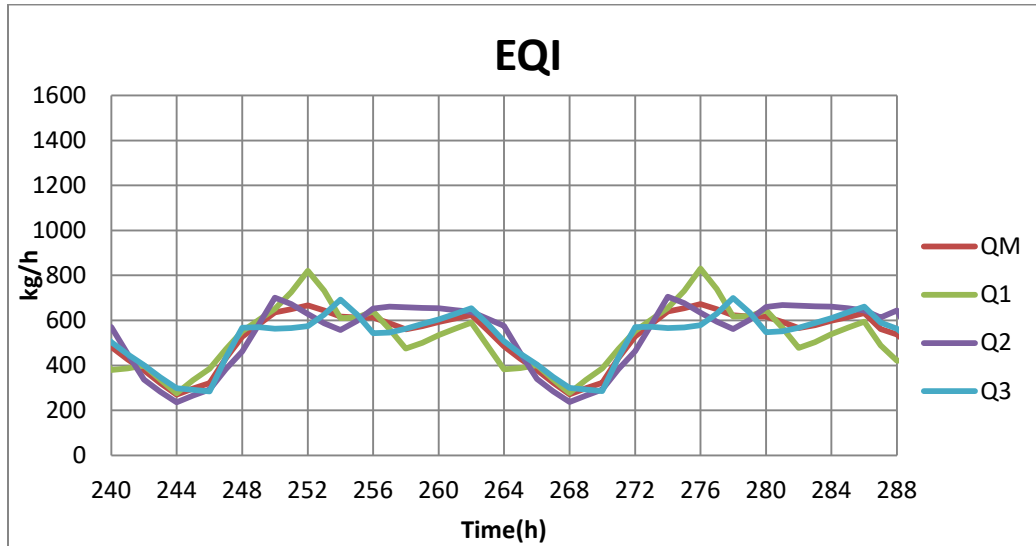
Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου συνδέεται πλήρως με την παροχή των λυμάτων που εισέρχονται στο σύστημα, αφού όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή τόσο περισσότερο είναι το εισερχόμενο και καταναλισκόμενο οργανικό φορτίο αλλά και το φορτίο αμμωνιακού αζώτου. Επομένως και οι απαιτήσεις οξυγόνου για την οξείδωση του οργανικού φορτίου και τη νιτροποίηση θα είναι μεγαλύτερες. Στο σχήμα 4.15, φαίνεται η διακύμανση του SOTR η οποία είναι αντίστοιχη της παροχής.



Σχήμα 4-15: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B1

Τέλος, ο δείκτης ποιότητας εκροής εξαρτάται από την παροχή όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16 αφού ακολουθεί πλήρως την διακύμανση της. Ακόμα και τα μικρά μέγιστα

που ξεχωρίζουν στην EQI της Q1 οφείλονται στα μέγιστα της παροχής. Ο δείκτης εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από το αμμωνιακό άζωτο στην εκροή το οποίο έχει πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο σενάριο αυτό.



Σχήμα 4-16 : Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B1

Συνοπτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι: α) μείωση της παροχής θα έχει ως συνέπεια την μείωση της βιομάζας στο σύστημα και συνεπώς της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου και ενέργειας, β) όσο μειώνεται η παροχή ο λόγος του βιοδιασπάσιμου οργανικού υλικού προς τα νιτρικά στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής θα είναι μικρότερος και η απονιτροποίηση θα μειώνεται με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στην εκροή, γ) Η αύξηση των νιτρικών προκαλεί παράλληλη αύξηση των νιτρικών και συνεπώς του N_2O και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, δ) Ο δείκτης ποιότητας ακολουθεί την διακύμανση της παροχής αφού αύξηση των εισερχομένων μαζών στο σύστημα θα προκαλέσουν αυξημένες συγκεντρώσεις στην εκροή.

4.2.3.2 Σενάριο B2: Επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

4.2.3.2.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης που έχουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εισόδου στην απόδοση της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων υπό την επίδραση εισερχομένων λυμάτων που παρουσιάζουν ωριαία διακύμανση στην παροχή, αλλά και στις συγκεντρώσεις COD και TN των λυμάτων.

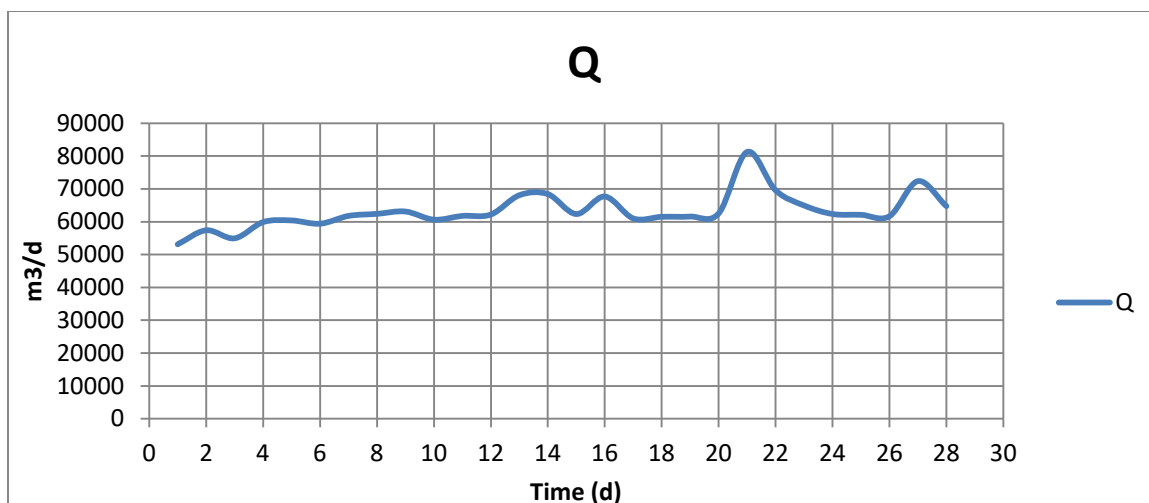
4.2.3.2.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές εισόδου μίας μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την παροχή, το COD και το TN. Το σενάριο αυτό μελετάται σε ημερήσια βάση και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του σεναρίου B1, δηλαδή για μεταβαλλόμενη παροχή (Q_m) αλλά σταθερές τιμές COD_{in} και TN_{in} . Επισημαίνεται ότι, η μέση ημερήσια συγκέντρωση στα δύο σενάρια δεν είναι η ίδια και κατά συνέπεια η σύγκριση των B1 και B2 δεν είναι ισότιμη.

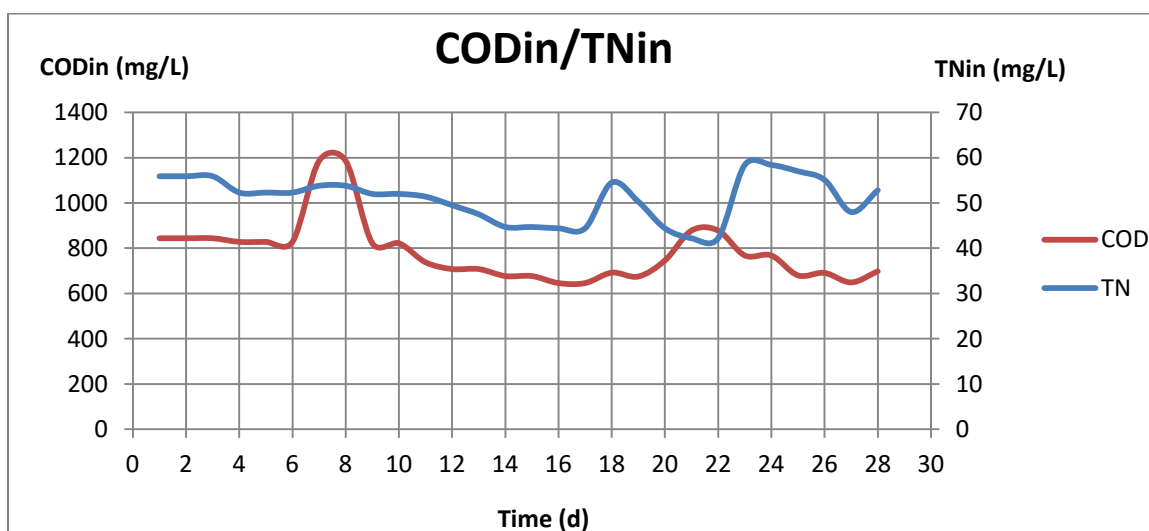
Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων και στα Σχήματα 4.17 - 4.18 παρουσιάζονται οι ημερήσιες διακυμάνσεις της εισερχόμενης παροχής και των χαρακτηριστικών εισόδου.

Πίνακας 4-8: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B2)

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TN_{in}	Σχήμα 4.18	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	COD_{in}	Σχήμα 4.18	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Q_m	m³/d



Σχήμα 4-17: Διακύμανση ημερήσιας παροχής



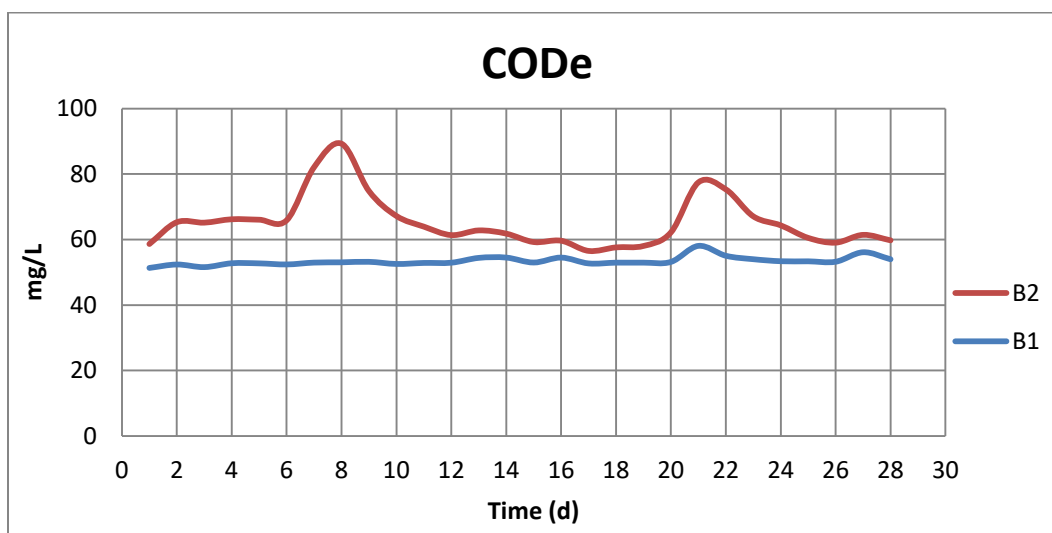
Σχήμα 4-18: Διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

4.2.3.2.3 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο σεναρίων (B1 με σταθερές συγκεντρώσεις εισόδου και B2 με μεταβαλλόμενες συγκεντρώσεις εισόδου) παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.19-4.28. Συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.19-4.22 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα 4.23 και 4.24 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών στην είσοδο αλλά και μέσα στην ανοξική δεξαμενή. Τέλος ακολουθούν τα σχήματα 4.25-4.28

όπου παρουσιάζεται η σύγκριση κατανάλωσης οξυγόνου, του δείκτη εκροής και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για τα δύο σενάρια.

Με βάση τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης του COD εισόδου, θα επηρεάσει και τις συγκεντρώσεις των στερεών στην εκροή. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.19 η χρονοσειρά της συγκέντρωσης του COD της εκροής ακολουθεί την αντίστοιχη της εισόδου και ταυτόχρονα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τις αντίστοιχες του σεναρίου B1.

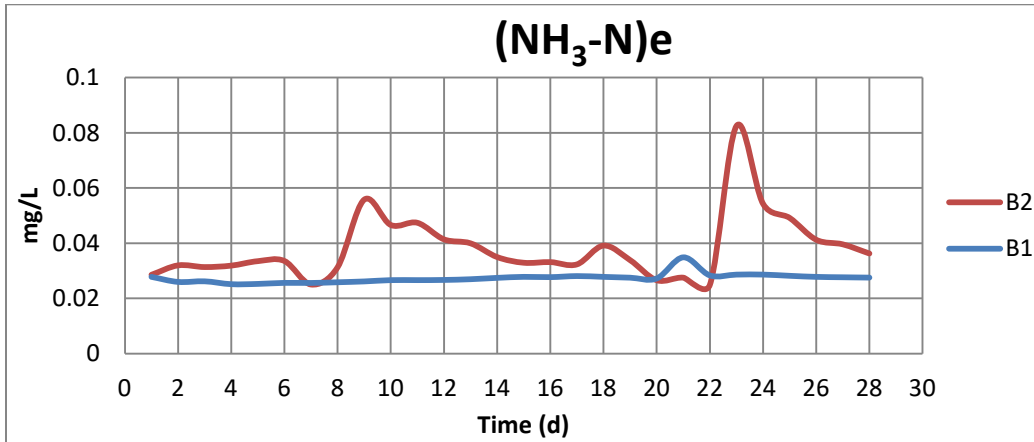


Σχήμα 4-19: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σενάρια B1 και B2

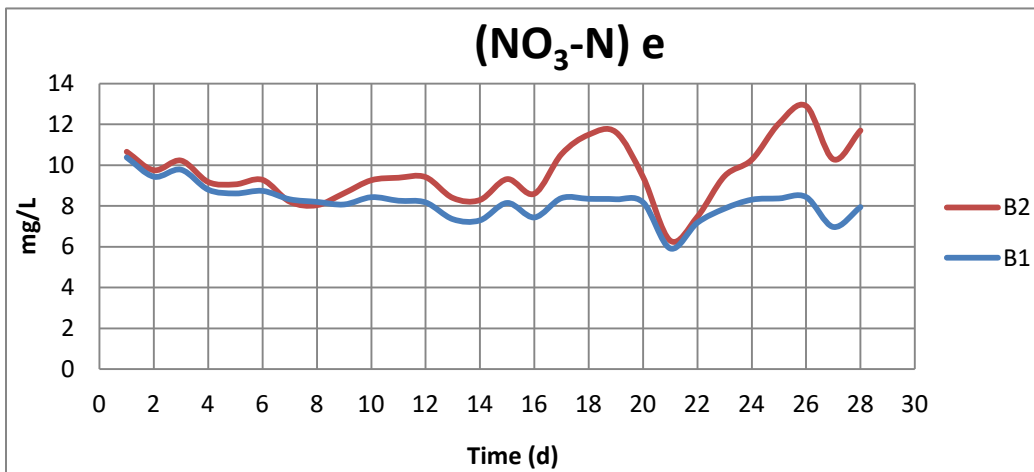
Εκτός από τα στερεά, θα έχουμε αύξηση και στις συγκεντρώσεις του αζώτου. Καταρχάς, η αύξηση των στερεών εισόδου θα προκαλέσει την αύξηση της ανάπτυξης των νιτροποιητών και κατά συνέπεια μειωμένες συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.20 και συγκεκριμένα την 6^η με 8^η ημέρα όπου έχουμε τις μεγάλες συγκεντρώσεις των στερεών. Κάτι αντίστοιχο φαίνεται να συμβαίνει και κατά το διάστημα της 20^{ης} με την 22^η ημέρα, με την διαφορά ότι στο διάστημα αυτό καταγράφονται μειωμένες συγκεντρώσεις TN εισόδου γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου μετά την 22^η ημέρα που οφείλεται στην αύξηση του TNin.

Όσον αφορά την συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου, αυξάνεται κατά τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του TNin ενώ ταυτόχρονα φαίνεται να παραμένει έντονη η επιρροή που έχει η παροχή σε αυτό.

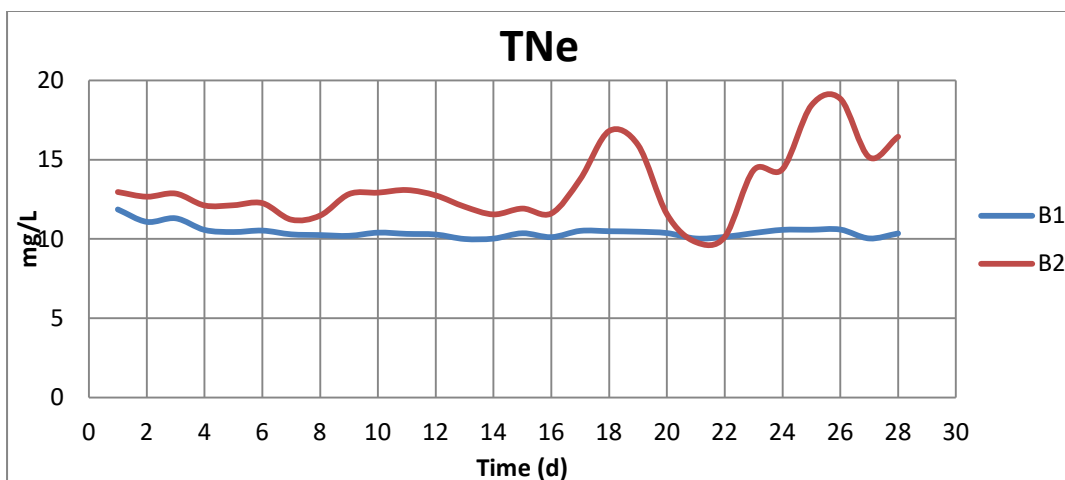
Τέλος, η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή ακολουθεί τις αντίστοιχες διακυμάνσεις του νιτρικού αζώτου, αφού αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της.



Σχήμα 4-20: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2

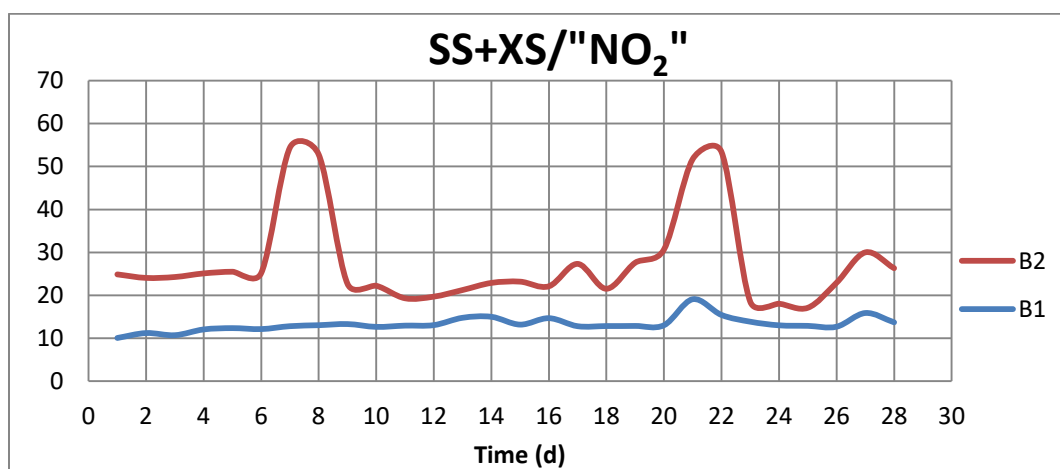


Σχήμα 4-21: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2

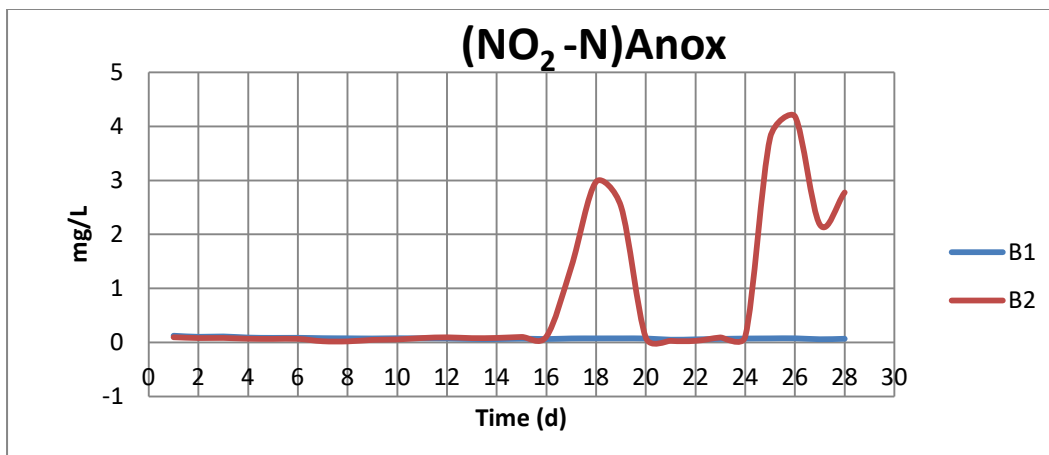


Σχήμα 4-22: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B1 και B2

Κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του TNin, παρατηρείται στο σχήμα 4.24 ότι στην ανοξική δεξαμενή αυξάνεται απότομα η συγκέντρωση NO₂. Λόγω της μεγάλης εισροής του ολικού αζώτου κατά την 18^η και την 26^η ημέρα, δεν υπάρχει αντίστοιχη διαθέσιμη SS όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 4.23. Έτσι δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους αντίστοιχους ρυθμούς η ανοξική ανάπτυξη ετερότροφων, κατά την οποία τα νιτρώδη δεσμεύονται, και αυξάνεται η συγκέντρωσή τους.



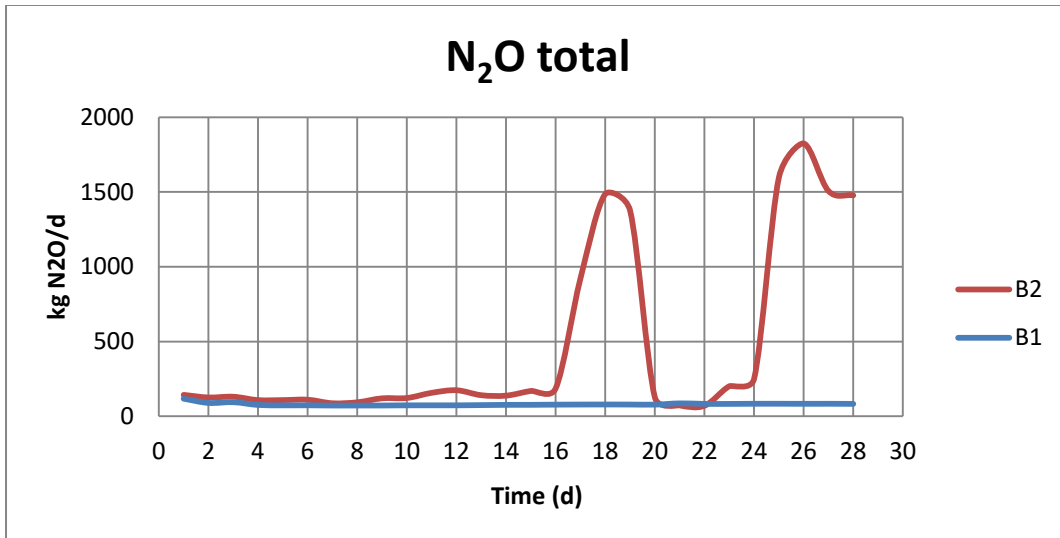
Σχήμα 4-23: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO₂» (NO, NH₂OH, N₂O, NO₂, N₂) για τα σενάρια B1 και B2



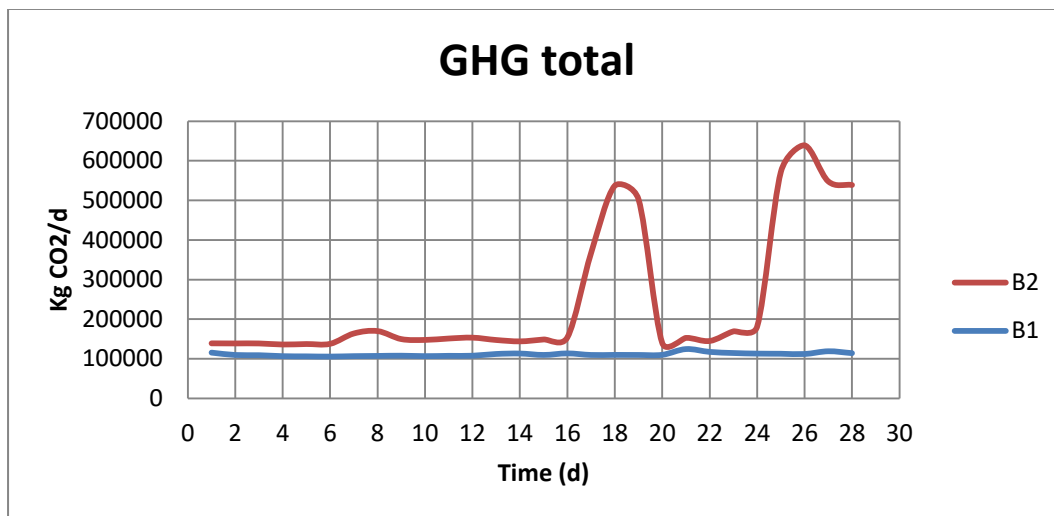
Σχήμα 4-24: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO_2 στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B1 και B2

Συνεπώς, αφού αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των NO_2 θα ακολουθήσει με την ίδια διακύμανση, όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.25, και η ποσότητα παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου N_2O καθώς μέσω της διεργασίας της απονιτροποίησης των νιτροποιητών τα νιτρώδη NO_2 μετατρέπονται σε N_2O .

Τέλος, η ίδια διακύμανση θα παρουσιαστεί στο Σχήμα 4.26 στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου GHG, καθώς το υποξείδιο του αζώτου αποτελεί την κύρια συνιστώσα παραγωγής GHG στην περίπτωση αυτή. Συγκεκριμένα με τιμές του N_2O της τάξης του $1500 \text{ kg } \text{N}_2\text{O}/\text{d}$ που παρατηρείται την 18^η ημέρα συνεισφέρουν $450000 \text{ kg } \text{CO}_2/\text{day}$, τιμή που κυμαίνεται κοντά στο 80% των συνολικά GHG. Παρόλα αυτά βλέπουμε ότι στο σενάριο αυτό οι τιμές του GHG σε σχέση με το B1 είναι μεγαλύτερες, καθώς οι αυξημένες συγκεντρώσεις του CODin και TNin παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες CO_2 μέσω της αερόβια ανάπτυξης μικροοργανισμών.

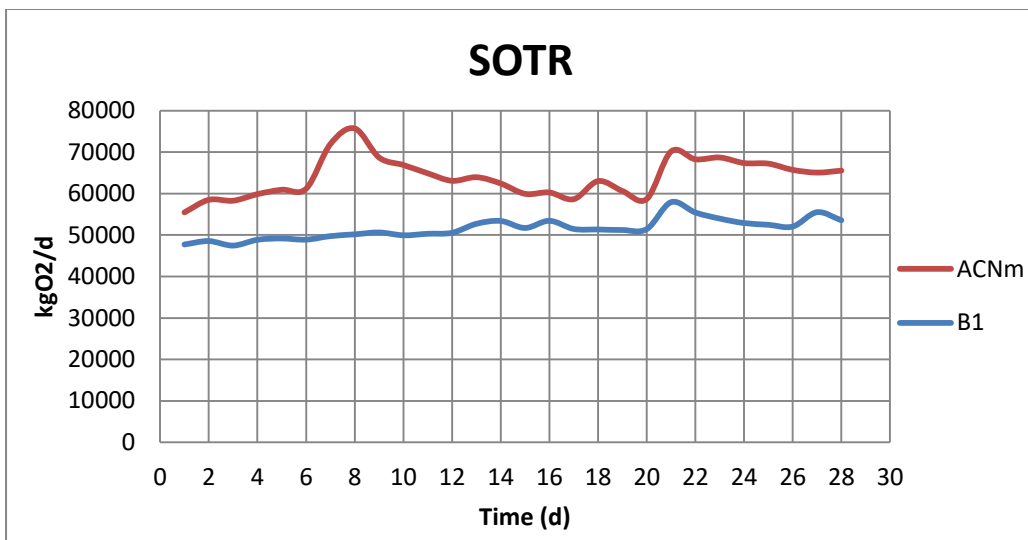


Σχήμα 4-25: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B1 και B2



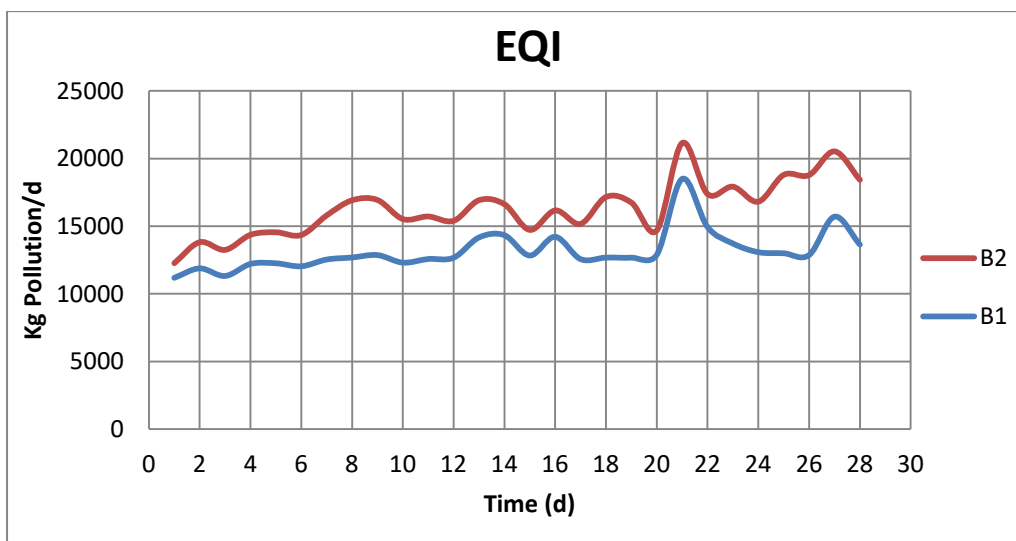
Σχήμα 4-26: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B1 και B2

Οι απαιτούμενες ποσότητες οξυγόνου συνδέονται πλήρως με το φορτίο οργανικού άνθρακα και αμμωνιακού αζώτου που εισέρχεται στο σύστημα, αφού όσο μεγαλύτερες είναι οι συγκεντρώσεις του CODin και του NH₄-Nin θα αυξάνονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για να πραγματοποιηθούν οι αερόβιες διεργασίες. Παρατηρούνται στο Σχήμα 4.27 αυξημένες συγκεντρώσεις σε σχέση με το σενάριο B1, και διακύμανση ανάλογη με αυτήν του COD.



Σχήμα 4-27: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B1 και B2

Στο σχήμα 4.28 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI), βλέπουμε ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου θα συνοδευτεί και με την αύξηση των τιμών του δείκτη. Παρόλα αυτά δεν φαίνονται έντονες μεταβολές ή άλματα τα οποία να οφείλονται στις αντίστοιχες των μεταβολές των συγκεντρώσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών γιατί η αμμωνία, που αποτελεί και την κύρια συνιστώσα του δείκτη, παραμένει σε χαμηλές συγκεντρώσεις στην εκροή.



Σχήμα 4-28: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για τα σενάρια B1 και B2

Συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι η γνώση των ημερήσιων διακυμάνσεων των συγκεντρώσεων των εισερχόμενων ρύπων είναι απαραίτητη για την ορθή εκτίμηση της απόκρισης της εγκατάστασης. Η θεώρηση των σταθερών ημερήσιων συγκεντρώσεων απέχει πολύ από την πραγματικότητα αφού όπως είδαμε παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις των εισερχόμενων ρύπων στο σενάριο αυτό, οι οποίες προκαλούν: α) αυξημένες συγκεντρώσεις COD στην εκροή της εγκατάστασης και συνεπώς αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου και ενέργειας, β) αυξημένες συγκεντρώσεις ολικού αζώτου στην εκροή αλλά και την εμφάνιση μεγίστων τιμών λόγω αντίστοιχης εισροής αζώτου, γ) εμφάνιση μεγίστων συγκεντρώσεων νιτρώδης αζώτου στην ανοξική δεξαμενή και συνεπώς αντίστοιχης αύξησης του N_2O και των εκπομπών GHG, δ) αυξημένες τιμές του δείκτη ποιότητας λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών στην εκροή καθόλη την διάρκεια της προσομοίωσης

4.2.3.3 Σενάριο B3: Επίδραση της ποιότητας των λυμάτων

4.2.3.3.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος ο προσδιορισμός της επίδρασης της κλασματοποίησης του οργανικού άνθρακα των ανεπεξέργαστων λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης για διαφορετική κλασματοποίηση του εισερχόμενου οργανικού φορτίου για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων.

4.2.3.3.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές της παροχής εισόδου μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και μεταβάλλονται τα ποσοστά δύο κλασμάτων του βιοδιασπάσιμου COD_{in}. Οι τιμές που λαμβάνει η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (SS) είναι 22%, 30%, και 36.5% ενώ οι αντίστοιχες τιμές της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (XS) είναι 63.5%, 55.5% και 49% αντίστοιχα. Το σενάριο αυτό μελετάται σε ημερήσια βάση.

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων.

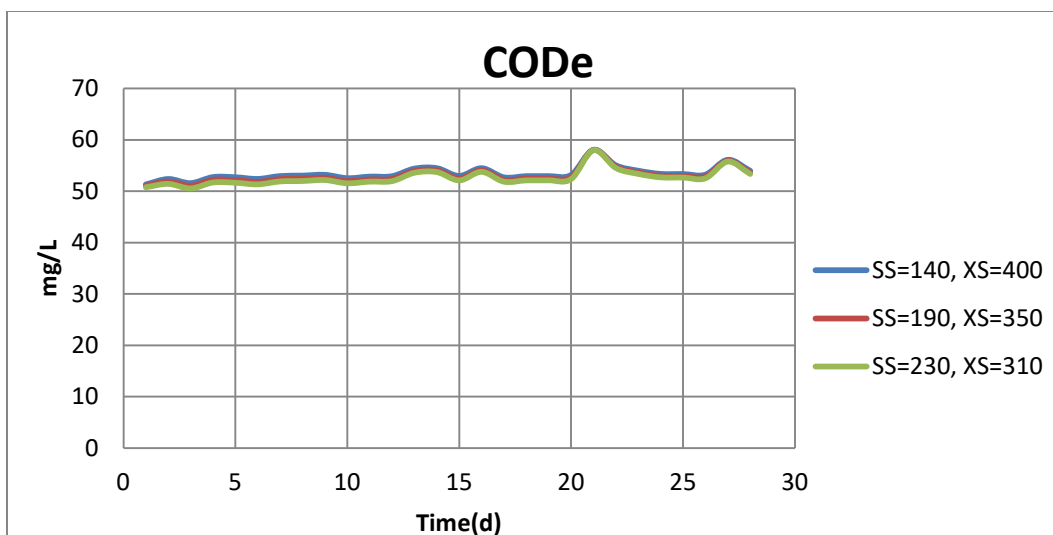
Πίνακας 4-9: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B3

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TN _{in}	42.8	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	COD _{in}	629	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22/30/36,5	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63,5/55,5/49	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Q _m	m ³ /d

4.2.3.3.3 Αποτελέσματα

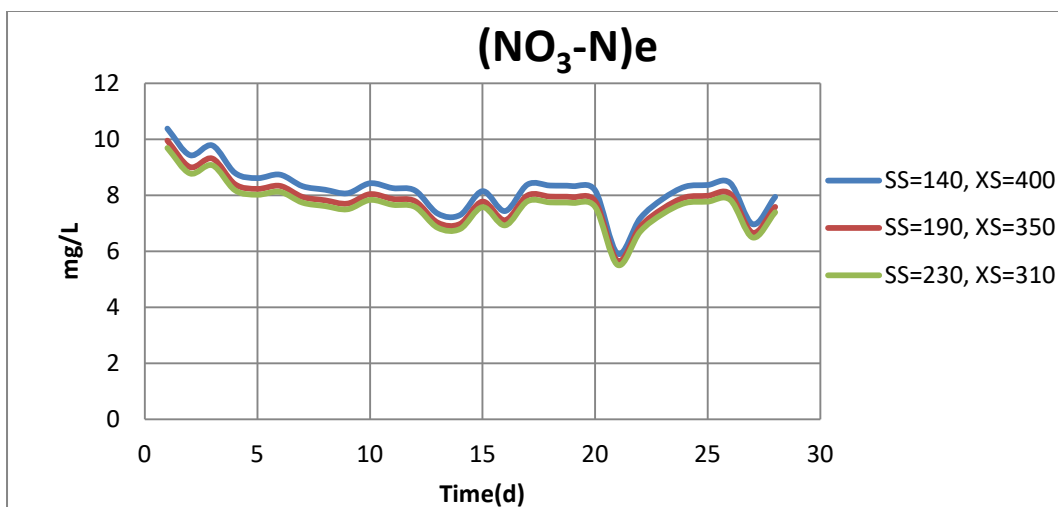
Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των τριών εφαρμογών του μοντέλου (με διαφορετικής κλασματοποιήσεις του βιοδιασπάσιμου οργανικού υλικού) παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.29-4.37. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.29-4.31 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στο Σχήμα 4.32 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή. Τέλος ακολουθούν τα σχήματα 4.33-4.37 όπου παρουσιάζεται η σύγκριση κατανάλωσης οξυγόνου και ενέργειας, του δείκτη εκροής και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Το εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό φορτίο (SS) προσλαμβάνεται άμεσα από τους μικροοργανισμούς και αναπτύσσεται νέα βιομάζα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της, αναμένεται να είναι μεγαλύτερη και η συγκέντρωση των MLSS στον βιολογικό αντιδραστήρα αλλά όχι και στην έξοδο της δεξαμενής τελικής καθίζησης, όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα και το Σχήμα 4.29.

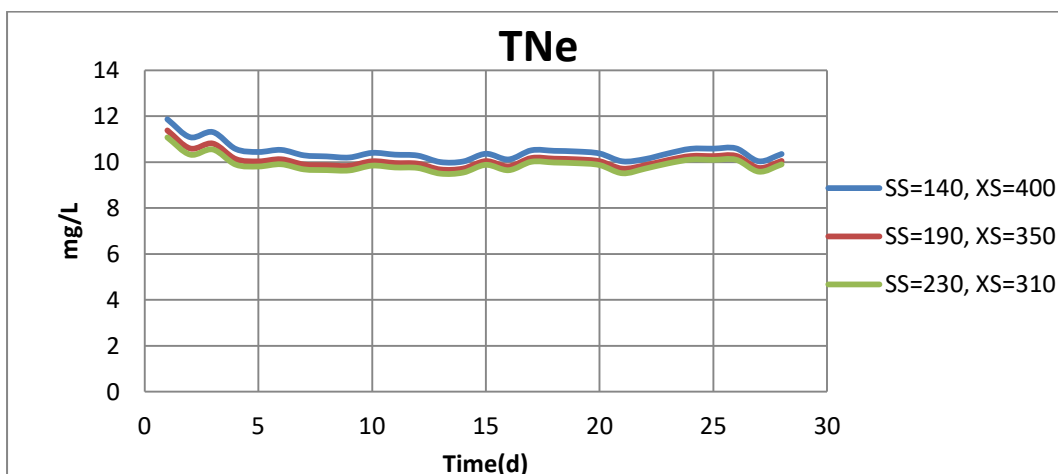


Σχήμα 4-29: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B3

Στα σχήματα 4.30 και 4.31 παρατίθενται οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του νιτρικού αζώτου και του ολικού αζώτου στην εκροή της εγκατάστασης, στα οποία παρατηρούνται μειωμένες συγκεντρώσεις των δύο συστατικών για υψηλές συγκεντρώσεις των SS. Αυτό οφείλεται στην βελτίωση του ρυθμού της απονιτροποίησης καθώς και της ανοξικής ανάπτυξης ετερότροφων μικροοργανισμών αφού αυξάνεται η συγκέντρωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής, που αποτελεί και περιοριστικό παράγοντα για τις διεργασίες αυτές, και κατά συνέπεια η καταναλώνονται τα νιτρικά για παραγωγή αέριου αζώτου. Το ολικό άζωτο στην εκροή της εγκατάστασης αποτελείται από νιτρικό άζωτο στο μεγαλύτερο ποσοστό του και ακολουθεί την ίδια διακύμανση.

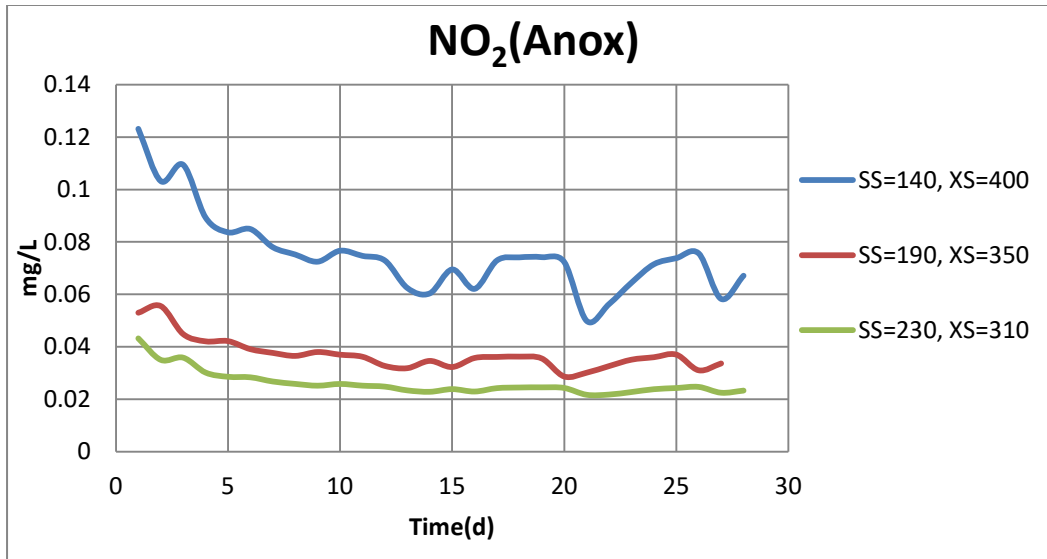


Σχήμα 4-30: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B3

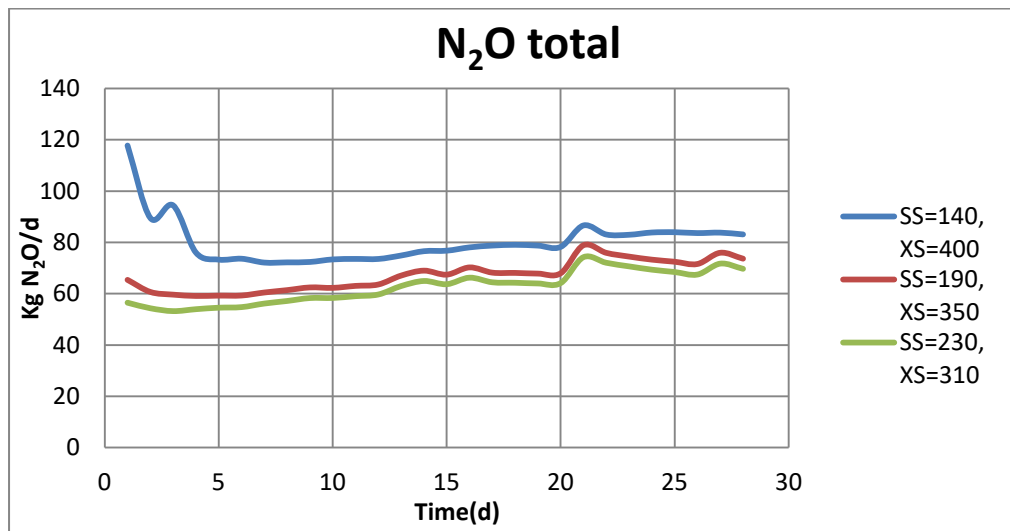


Σχήμα 4-31: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B3

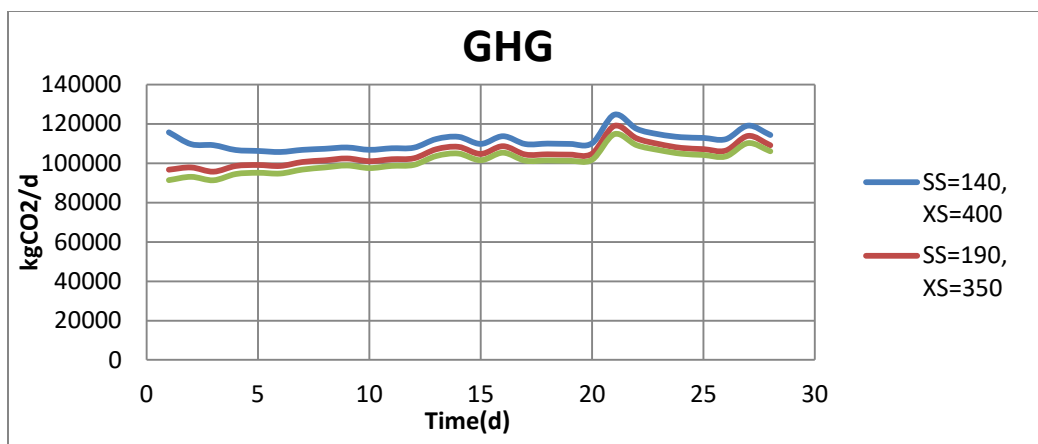
Στο σχήμα 4.32, διαπιστώνεται ότι καθώς αυξάνεται το εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό υλικό παράγονται λιγότερα νιτρώδη, κάτι που οφείλεται στην πληρέστερη νιτροποίηση απονιτροποίηση που πραγματοποιείται. Έτσι αφού η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση δεν είναι πλήρες αυξάνεται η παραγόμενη ποσότητα του υποξειδίου του αζώτου και κατά συνέπεια τα παραγόμενα αέρια του θερμοκηπίου. Οι διακυμάνσεις τους παρουσιάζονται στα σχήματα 4.33 και 4.34.



Σχήμα 4-32: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO₂ στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B3

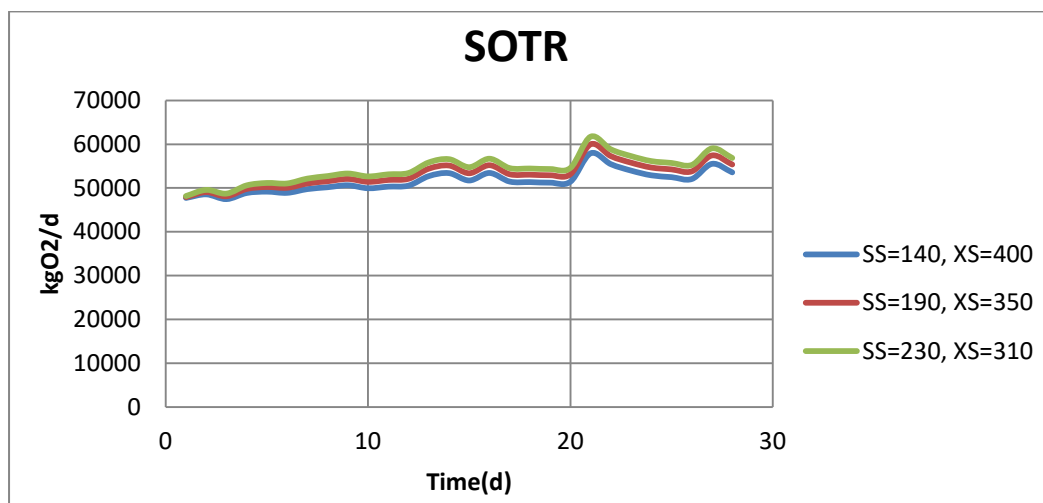


Σχήμα 4-33: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B3

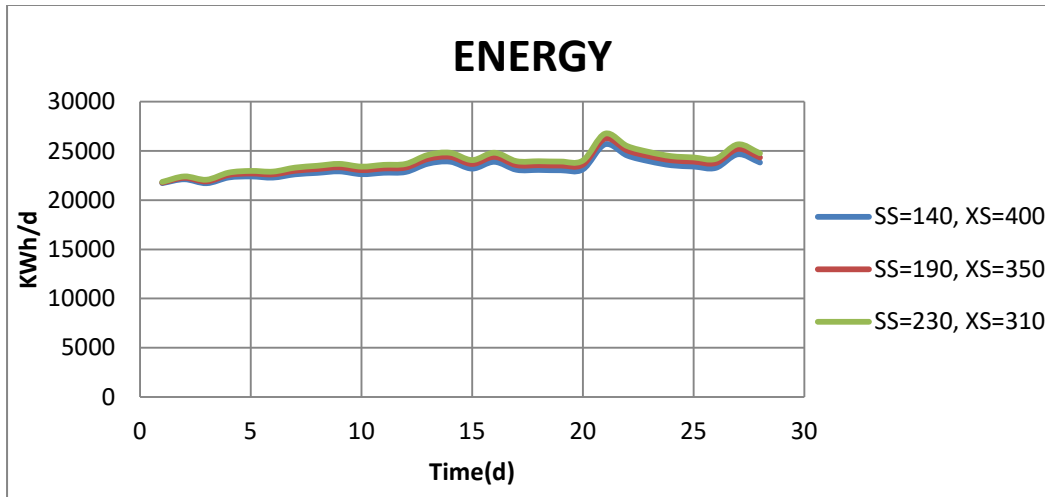


Σχήμα 4-34: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για το σενάριο B3

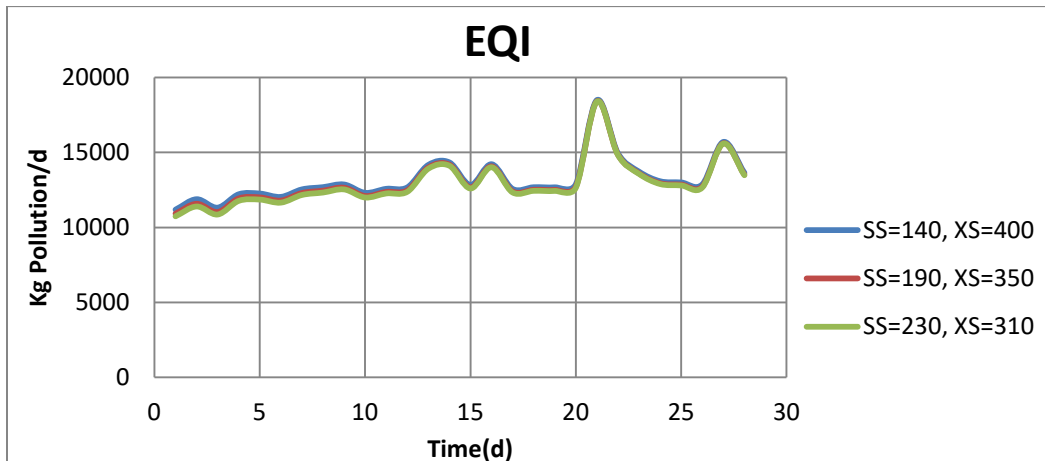
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αύξηση της συγκέντρωσης της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας στον βιολογικό αντιδραστήρα. Αυτή με την σειρά της θα προκαλέσει αύξηση των απαιτούμενων ποσοτήτων οξυγόνου ούτως ώστε να καλυφθούν οι αυξανόμενοι ρυθμοί των διεργασιών ανάπτυξης, κάτι το οποίο παρατηρείται στο Σχήμα 4.35. Ως εκ τούτου, παρουσιάζεται αύξηση και της καταναλισκόμενης ενέργειας εξαιτίας της κατανάλωσης περισσότερου οξυγόνου. Όσον αφορά τον δείκτη της ποιότητας της εκροής, όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.37 οι μεταβολές λόγω της διαφορετικής κλασματοποίησης του βιοδιασπάσιμου οργανικού υλικού είναι αμελητέες.



Σχήμα 4-35: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B3



Σχήμα 4-36: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για το σενάριο B3



Σχήμα 4-37 Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B3

Συνοψίζοντας η είσοδος λυμάτων με μεγάλο εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό φορτίο (Ss) έχει ως συνέπεια: α) την βελτίωση της απονιτροποίησης και συνεπώς και την μείωση των νιτρικών και του ολικού αζώτου στην έξοδο, β) αύξηση των MLSS στους βιολογικούς αντιδραστήρες γεγονός που έχει ως συνέπεια την αύξηση της ζήτησης οξυγόνου και συνεπώς και την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης μίας ΕΕΛ, γ) την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου λόγω της μείωσης των παραγόμενων νιτρωδών μέσα στο σύστημα και επομένως την μείωση των παραγόμενων N₂O.

4.2.3.4 Σενάριο B4: Επίδραση της ημερήσιας αιχμής εισερχόμενου COD

4.2.3.4.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι ο έλεγχος της απόκρισης της εγκατάστασης σε δυναμικές συνθήκες εισροών λυμάτων μη τυπικής αστικής σύστασης. Συγκεκριμένα στο παρόν σενάριο, εισέρχονται λύματα διπλάσιας συγκέντρωσης COD για την διάρκεια μιας ημέρας ενώ ταυτόχρονα τόσο η παροχή όσο και η συγκέντρωση του TN εισόδου μεταβάλλονται κανονικά για όλη την διάρκεια των 4 εβδομάδων.

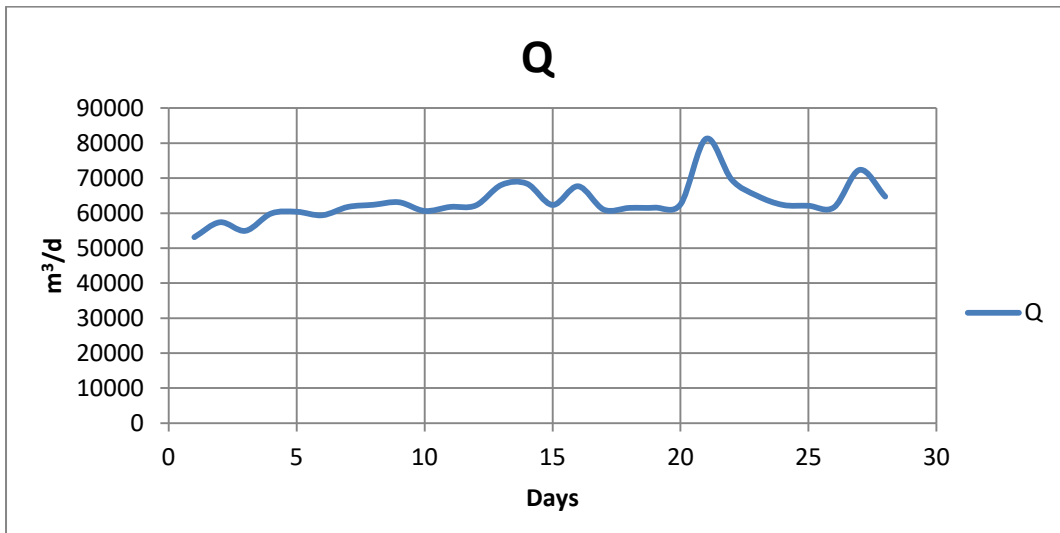
4.2.3.4.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές εισόδου μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την παροχή, το COD και το TN. Ειδικά για το COD_{in}, οι συγκεντρώσεις του διπλασιάστηκαν καθ' όλη την διάρκεια της 4^{ης} ημέρας. Το σενάριο αυτό μελετάται σε ημερήσια βάση και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του σεναρίου B2 δηλαδή για μεταβαλλόμενα Q, COD_{in} και TN_{in}.

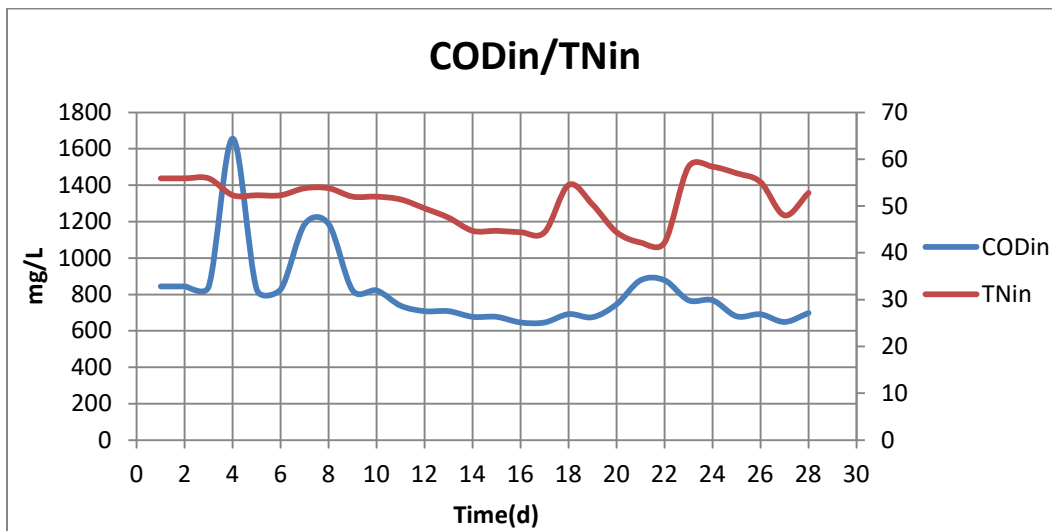
Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων. Στην συνέχεια στα Σχήματα 4.38-4.39 διατυπώνονται οι χρονοσειρές των χαρακτηριστικών εισόδου.

Πίνακας 4-10: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B4

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	Days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TN_{in}	Σχήμα 4.39	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	COD_{in}	Σχήμα 4.39	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Q _m	m ³ /d



Σχήμα 4-38: Διακύμανση ημερήσιας παροχής



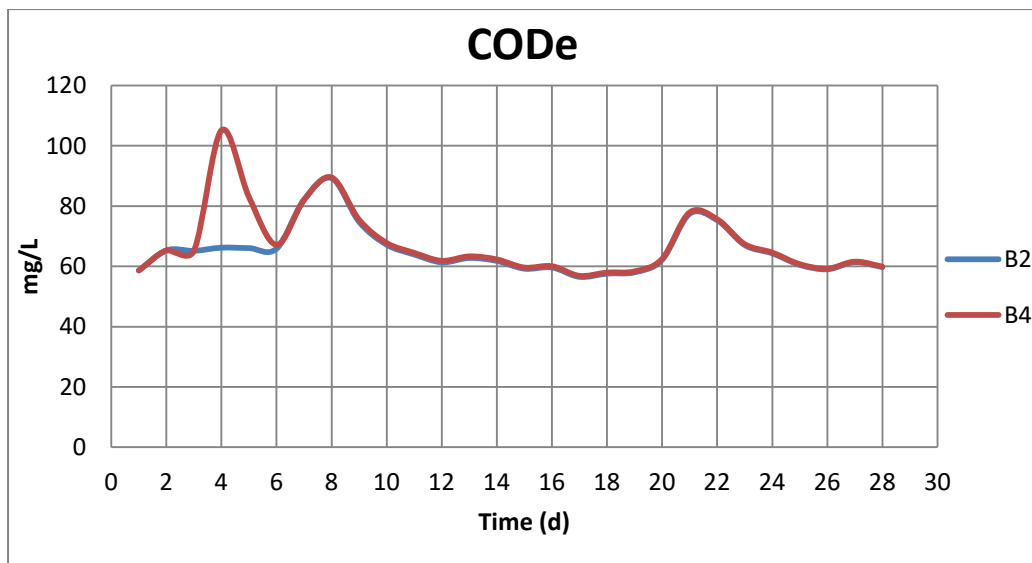
Σχήμα 4-39: Ημερήσιες διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

4.2.3.4.3 Αποτελέσματα

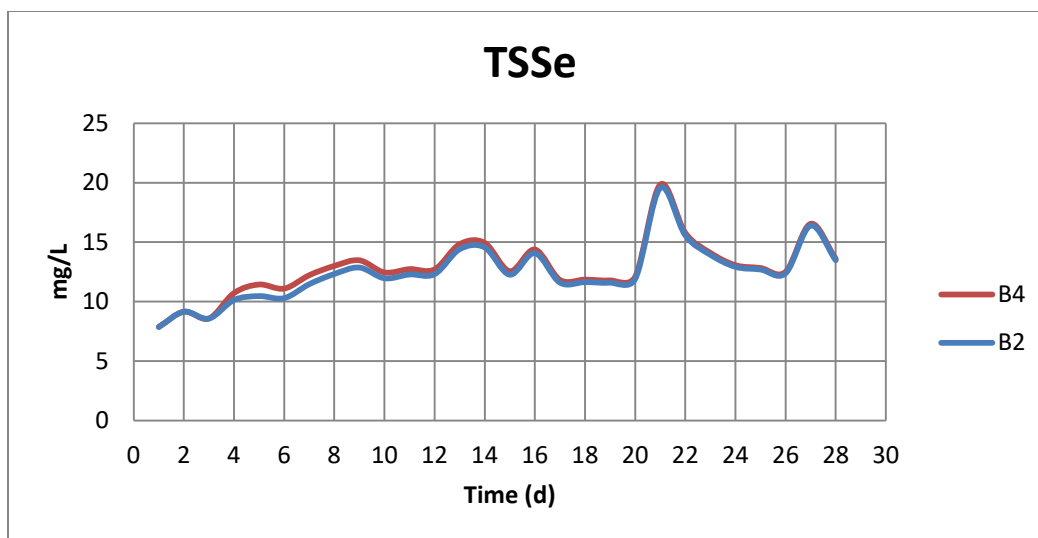
Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο σεναρίων (B2 και B4) παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.40-4.49. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.40-4.44 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα

4.45 και 4.46 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών στην είσοδο αλλά και εντός της ανοξικής δεξαμενής. Τέλος ακολουθούν τα Σχήματα 4.47-4.49 όπου παρουσιάζεται η σύγκριση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, και κατανάλωσης οξυγόνου.

Βάση των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι η εισροή μίας σημαντικής ποσότητας οργανικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση των χαρακτηριστικών εξόδου σε ότι αφορά στον οργανικό άνθρακα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.40 οι συγκεντρώσεις εκροής επανέρχονται στις τιμές του σεναρίου B2 σε λιγότερο από 1 ημέρα. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή δεν προλαβαίνουν σε μία ημέρα να αυξηθούν δεδομένου ότι τα MLSS δεν έχουν αυξηθεί πολύ μέσα σε μία ημέρα.



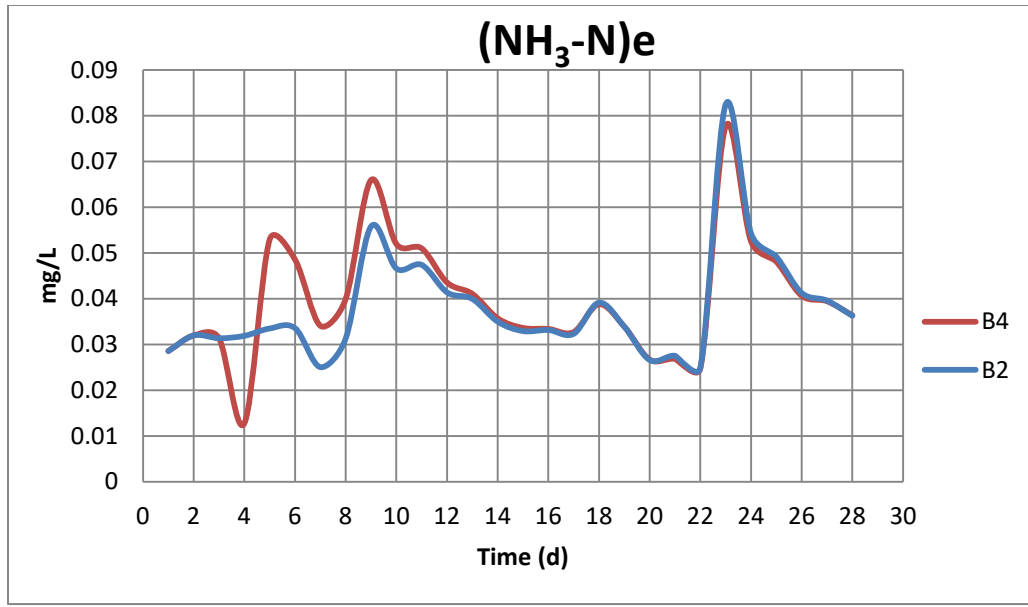
Σχήμα 4-40: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σεσάρια B2 και B4



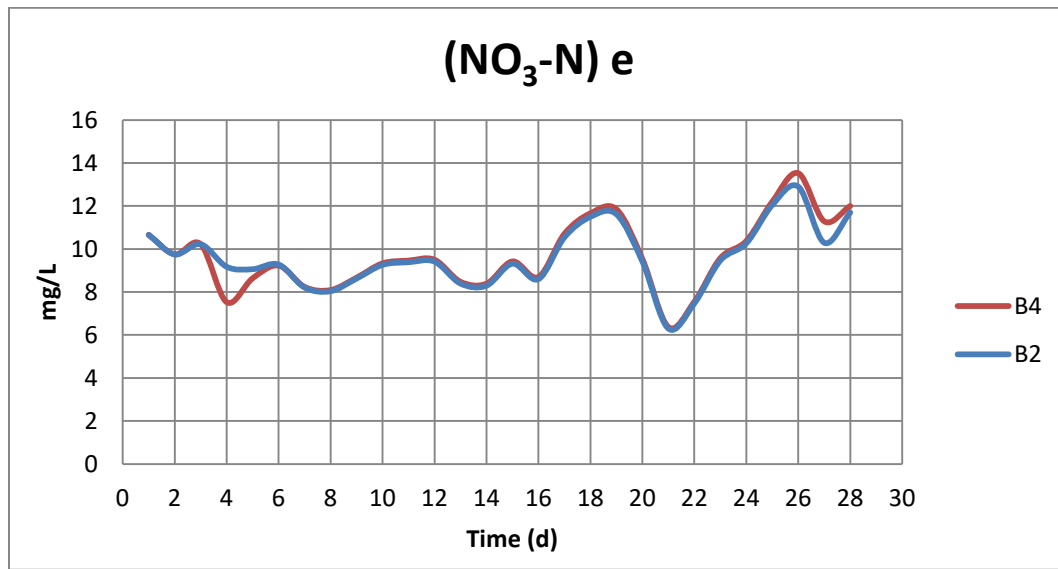
Σχήμα 4-41: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για τα σενάρια B2 και B4

Εκτός από τα στερεά, μεταβολές θα προκύψουν και στις συγκεντρώσεις του αζώτου. Καταρχάς, η αύξηση των στερεών εισόδου θα προκαλέσει την αύξηση της αερόβιας ανάπτυξης και κατά συνέπεια μειωμένες συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.42 και συγκεκριμένα την 4^η όπου έχουμε την αυξημένη συγκέντρωση των στερεών. Παρατηρούμε επίσης ότι λόγω της έντονης διακύμανσης, η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου συμπίπτει με αυτή του σεναρίου B2 κατά την 13^η ημέρα, άρα χρειάζεται ένα διάστημα 9 ημερών για να επανέλθει.

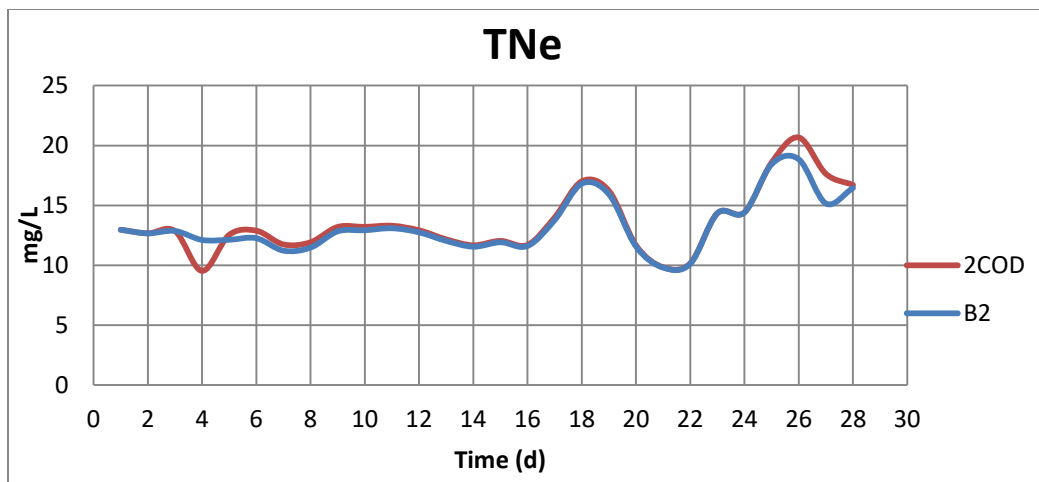
Όσον αφορά την συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου και κατά συνέπεια του ολικού αζώτου στην εκροή, παρατηρείται στα Σχήματα 4.43-4.44 ότι σε σχέση με το σενάριο B2 η συγκέντρωση του θα μειωθεί κατά την 4^η ημέρα. Η αιτία στο γεγονός αυτό είναι ότι με την αύξηση του COD_{in} αυξάνεται η εύκολα διασπάσιμη τροφή και ο λόγος βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς άζωτο στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής, συνεπώς γίνεται μεγαλύτερη κατανάλωση κατά την διεργασία της απονιτροποίησης.



Σχήμα 4-42: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4

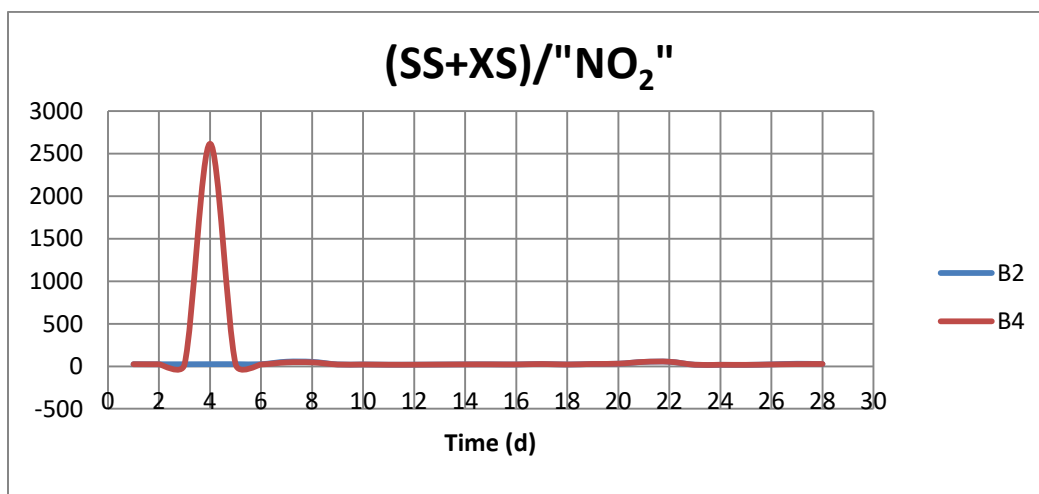


Σχήμα 4-43: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4

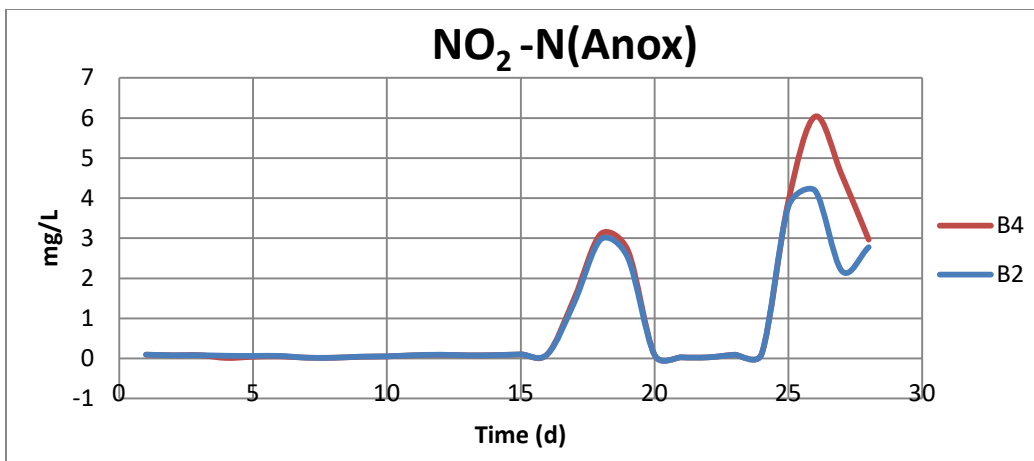


Σχήμα 4-44: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B4

Κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του CODin, παρατηρείται στο σχήμα 4.44 ότι στην ανοξική δεξαμενή θα υπάρξει μια μικρή μείωση της συγκέντρωσης του NO₂ που οφείλεται στην καλύτερη απονιτροποίηση που πραγματοποιείται, αλλά θα είναι σχεδόν αμελητέα.



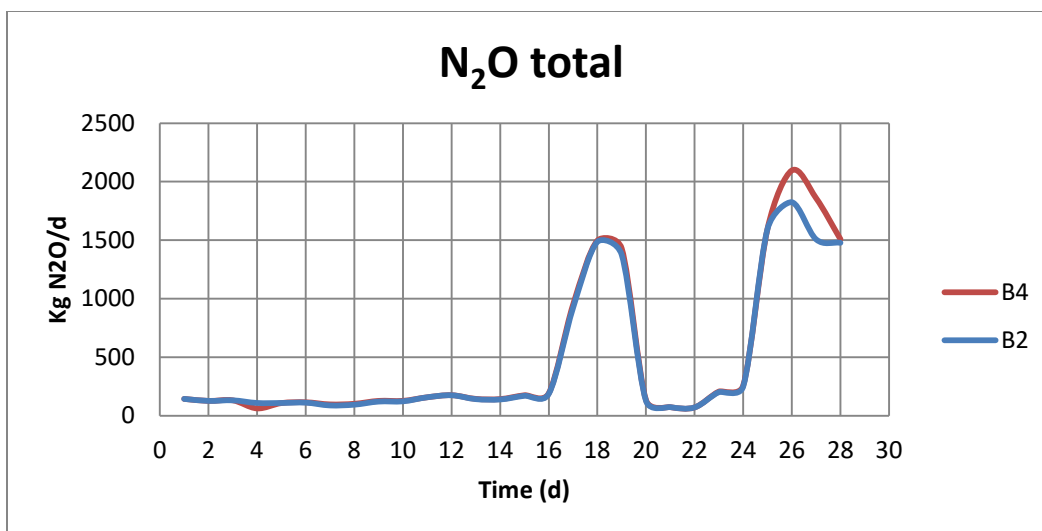
Σχήμα 4-45: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO₂» (NO, NH₂OH, N₂O, NO₂, N₂) για τα σενάρια B2 και B4



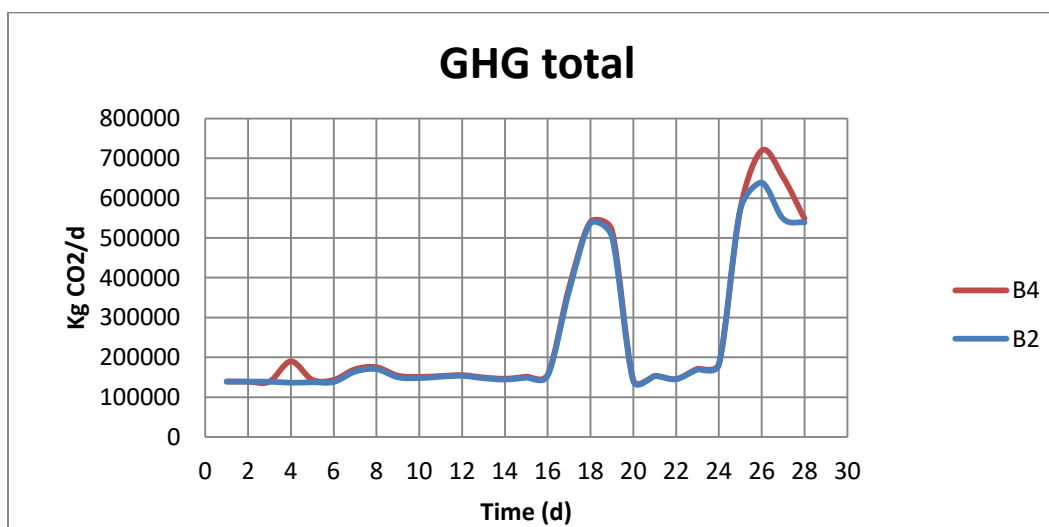
Σχήμα 4-46 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO₂ στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B2 και B4

Συνεπώς, αφού αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των NO₂ θα ακολουθήσει με την ίδια διακύμανση, όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.47, και η ποσότητα παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου N₂O καθώς μέσω της διεργασίας της απονιτροποίησης των νιτροποιητών τα νιτρώδη NO₂ μετατρέπονται σε N₂O.

Στο Σχήμα 4.48 διαπιστώνουμε ότι κατά την εισροή μιας σημαντικής ποσότητας COD στην είσοδο της εγκατάστασης θα αυξηθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ανεξαρτήτως της μείωσης των παραγόμενων N₂O, και που οφείλονται στις παραγόμενες ποσότητες CO₂ που θα προκύψουν μέσω της αερόβιας ανάπτυξης μικροοργανισμών. Η αύξηση αυτή θα κρατήσει μόνο την μέρα εισροής του φορτίου.

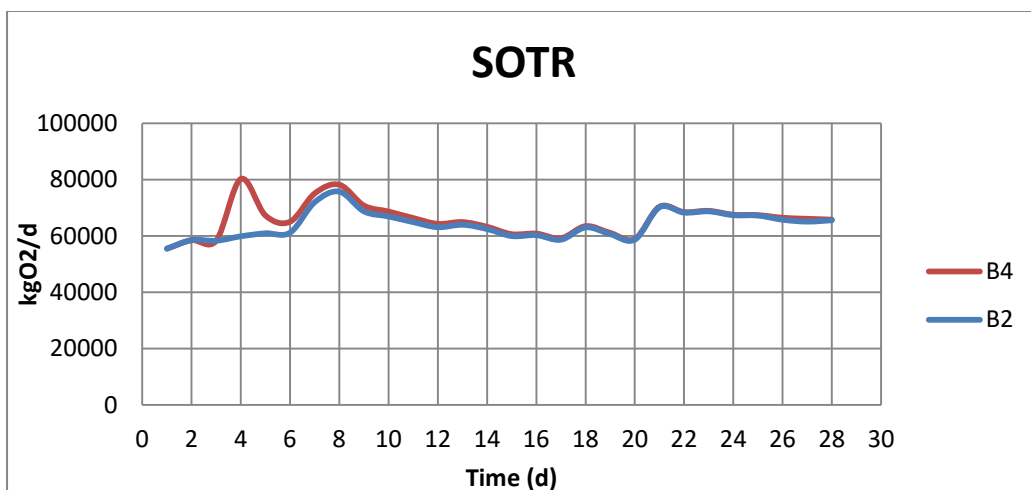


Σχήμα 4-47: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B2 και B4



Σχήμα 4-48: Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B2 και B4

Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου συνδέεται πλήρως με το οργανικό υλικό που εισέρχεται στο σύστημα, αφού όσο μεγαλύτερες είναι οι συγκεντρώσεις του CODin θα αυξάνονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για να πραγματοποιηθούν οι αερόβιες διεργασίες. Παρατηρούνται στο σχήμα 4.49 ότι λόγω του μεγαλύτερου φορτίου αυξάνονται ημερήσια και οι απαιτήσεις οξυγόνου και κατά συνέπεια και την ενεργειακής κατανάλωσης.



Σχήμα 4-49: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B2 και B4

Συνοπτικά τα συμπεράσματα του σεναρίου είναι: α) Η εισροή μίας σημαντικής ποσότητας οργανικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση των χαρακτηριστικών εξόδου σε ότι αφορά στον οργανικό άνθρακα β) την ίδια ημέρα βελτιώνεται η απονιτροποίηση και συνεπώς μειώνεται η συγκέντρωση του νιτρικού και επομένως και του ολικού αζώτου στην έξοδο λόγω υψηλότερου λόγου άνθρακα προς άζωτο στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής γ) λόγω του μεγαλύτερου φορτίου αυξάνονται μόνο για μία ημέρα οι απαιτήσεις οξυγόνου και συνεπώς η ενεργειακή κατανάλωση δ) οι εκπομπές N₂O βελτιώνονται λόγω καλύτερης απονιτροποίησης και συνεπώς μικρότερης παραγωγής NO₂ στους βιολογικούς αντιδραστήρες

4.2.3.5 Σενάριο B5: Επίδραση της ημερήσιας αιχμής εισερχόμενου TN

4.2.3.5.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι να ελέγξουμε την απόκριση της εγκατάστασης σε δυναμικές συνθήκες εισροών λυμάτων μη τυπικής αστικής σύστασης. Συγκεκριμένα στο παρόν σενάριο, εισέρχονται λύματα διπλάσιας συγκέντρωσης TN για την διάρκεια μιας ημέρας ενώ ταυτόχρονα τόσο η παροχή όσο και η συγκέντρωση του COD εισόδου μεταβάλλονται κανονικά για όλη την διάρκεια των 4 εβδομάδων.

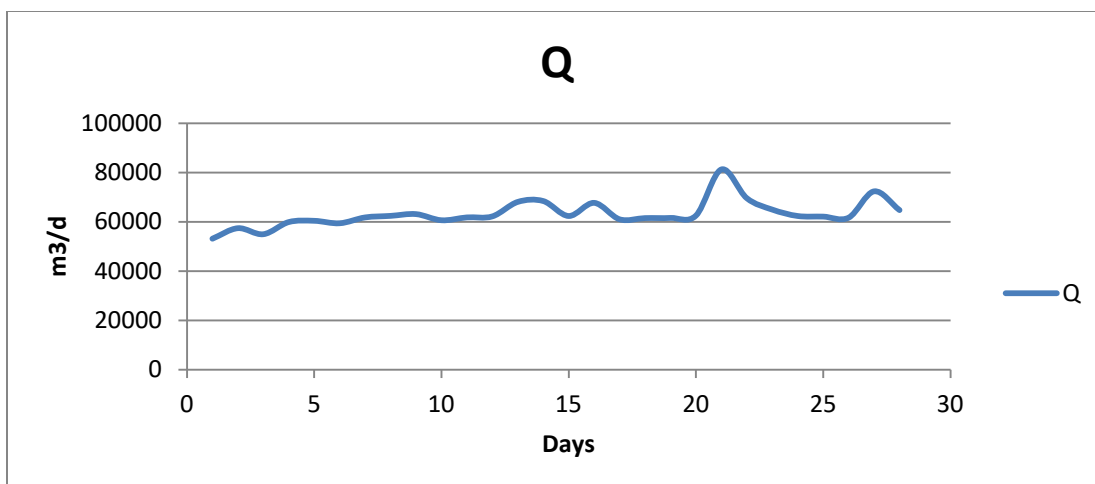
4.2.3.5.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές εισόδου μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την παροχή, το COD και το TN. Ειδικά για το TNin, οι συγκεντρώσεις του διπλασιάστηκαν καθ' όλη την διάρκεια της 4^{ης} ημέρας. Το σενάριο αυτό μελετάται σε ημερήσια βάση και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του σεναρίου B2 δηλαδή για μεταβαλλόμενα Q, CODin και TNin.

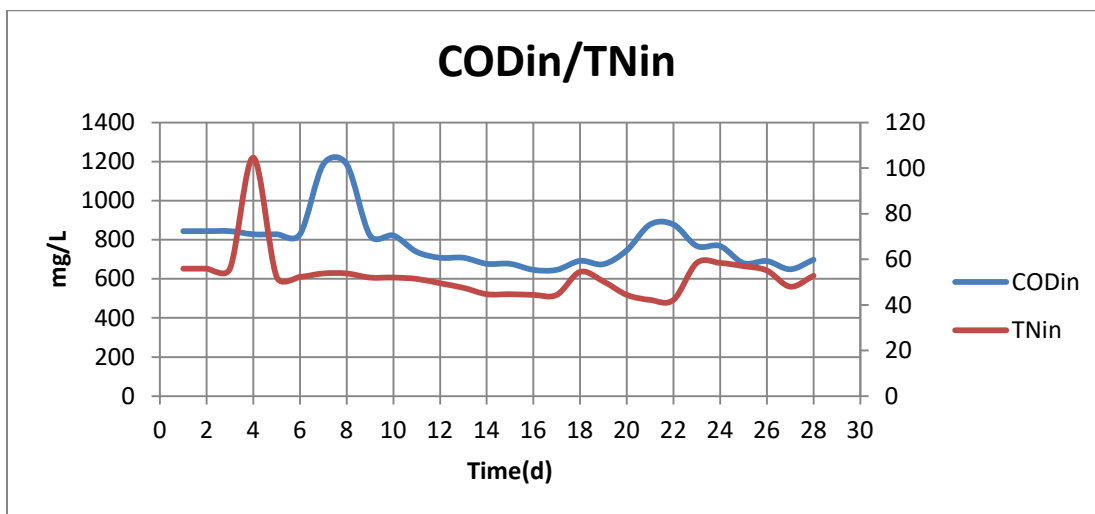
Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων. Στην συνέχεια στα Σχήματα 4.50-4.51 αποτυπώνονται οι χρονοσειρές των χαρακτηριστικών εισόδου.

Πίνακας 4-11: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο B5

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TNin	Σχήμα 4.51	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	CODin	Σχήμα 4.51	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Qm	m ³ /d



Σχήμα 4-50: Διακύμανση ημερήσιας παροχής



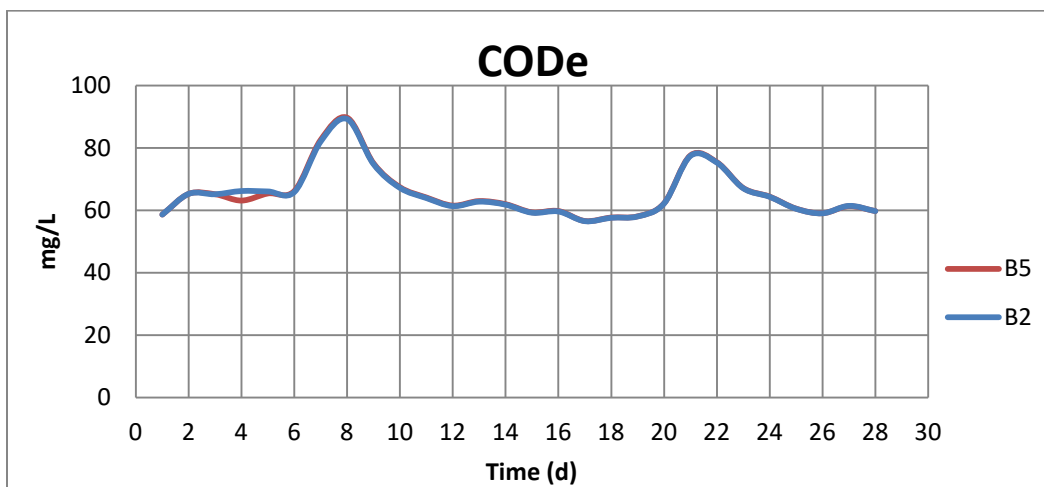
Σχήμα 4-51: Διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

4.2.3.5.3 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο σεναρίων (B2 και B5) παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.52-4.61. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.52-4.55 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα 4.56 και 4.57 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών στην είσοδο αλλά και εντός της ανοξικής δεξαμενής. Τέλος ακολουθούν τα Σχήματα 4.58-

4.61 όπου παρουσιάζεται η σύγκριση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και της κατανάλωσης οξυγόνου και ενέργειας.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.53 οι συγκεντρώσεις του οργανικού υλικού εκροής μειώνονται ημερησίως. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή δεν επηρεάζονται καθόλου.



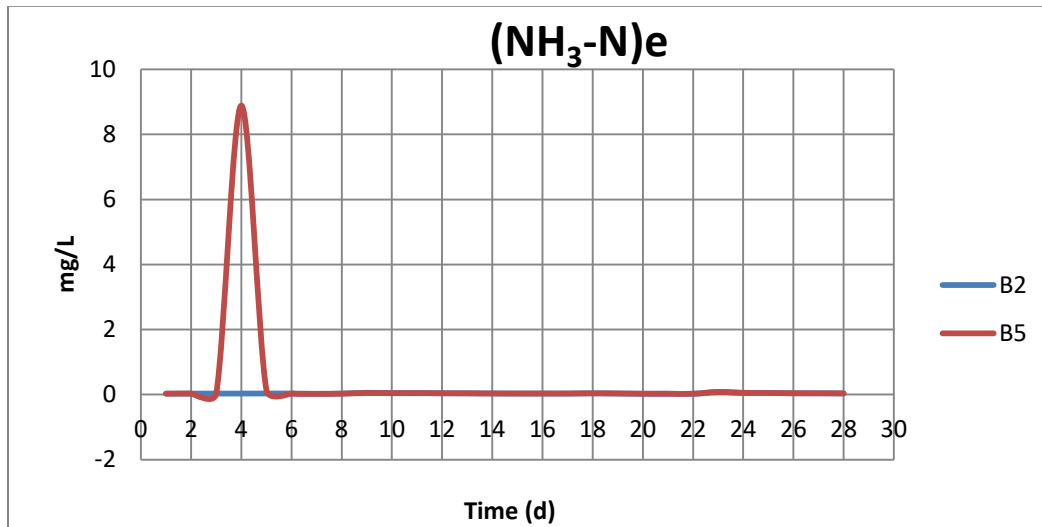
Σχήμα 4-52: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για τα σενάρια B2 και B5

Εκτός από τα στερεά, μεταβολές θα προκύψουν και στις συγκεντρώσεις του αζώτου. Όπως αναμενόταν, η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του TN εισόδου θα οδηγήσει σε αύξηση της συγκέντρωσης την αμμωνίας. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται καθαρά για λόγους αυξημένου φορτίου καθώς η ΕΕΛ φτάνει στην μέγιστη νιτροποιητική της ικανότητα και δεν μπορεί να οξειδωθεί επιπλέον αμμωνία. Η μείωση από την 5^η ημέρα του εισερχόμενου φορτίου αποκαθιστά άμεσα την πρότερα κατάσταση.

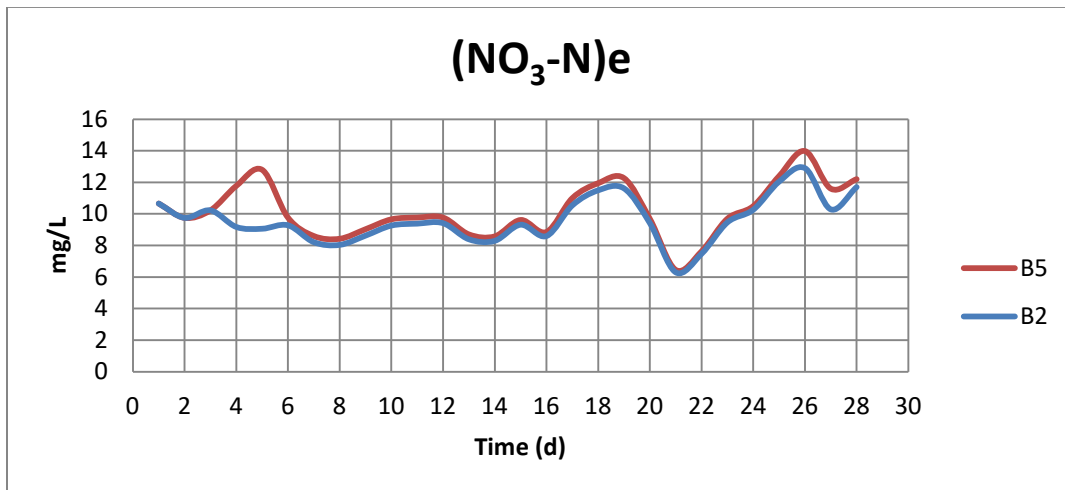
Όσον αφορά την συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου, παρατηρείται στο Σχήμα 4.56 ότι η συγκέντρωση του θα ξεκινήσει να αυξάνεται την 4^η ημέρα και θα γίνει μέγιστη την 5^η, δηλαδή με μία ημέρα καθυστέρηση λόγω της νιτροποίησης. Οι συγκεντρώσεις του παραμένουν αυξημένες τιμές για όλο το σενάριο B5 σε σχέση με το σενάριο B2.

Τέλος, η συγκέντρωση του ολικού αζώτου ακολουθεί τις αντίστοιχες διακυμάνσεις του νιτρικού αζώτου αφού αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του στην εκροή, εκτός της 4^η

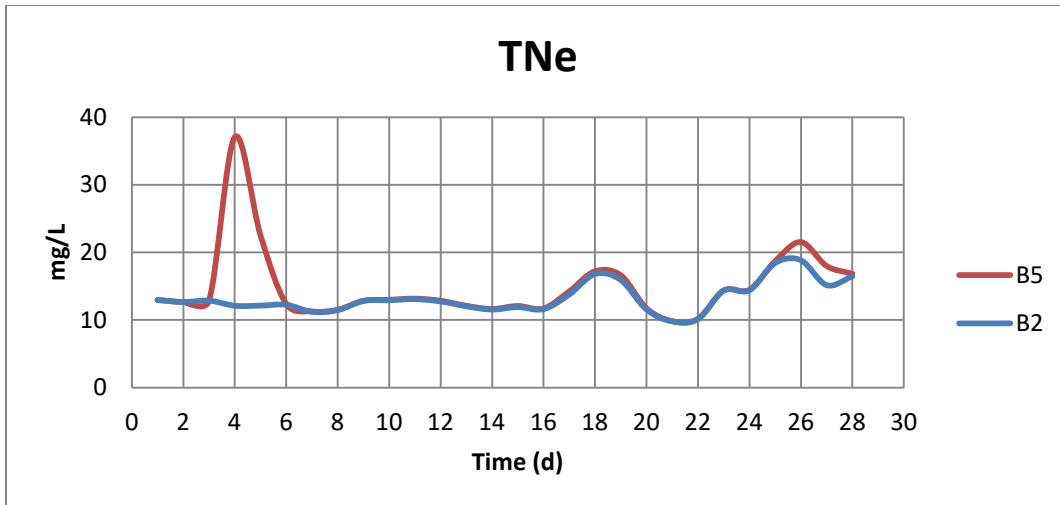
ημέρα όπου το αμμωνιακό άζωτο παρουσιάζει μεγάλες συγκεντρώσεις λόγω της απότομης φόρτισης TNin.



Σχήμα 4-53: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5

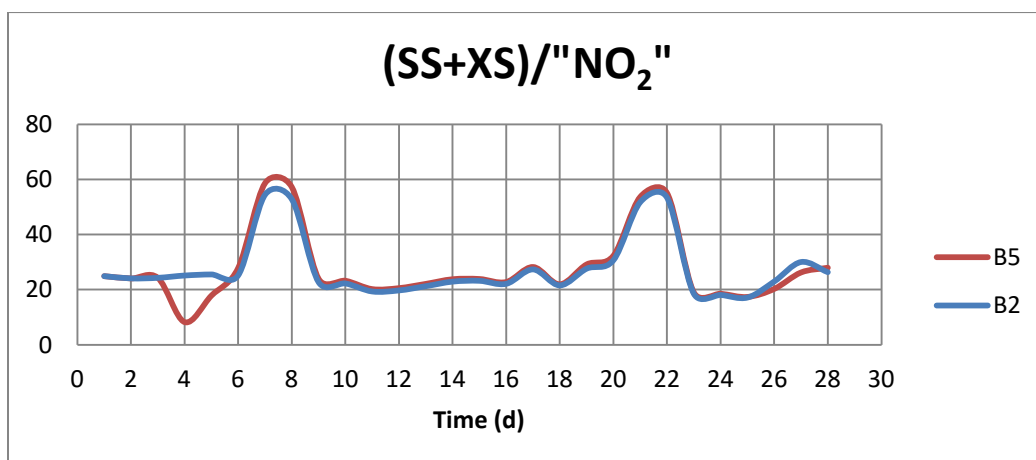


Σχήμα 4-54: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5

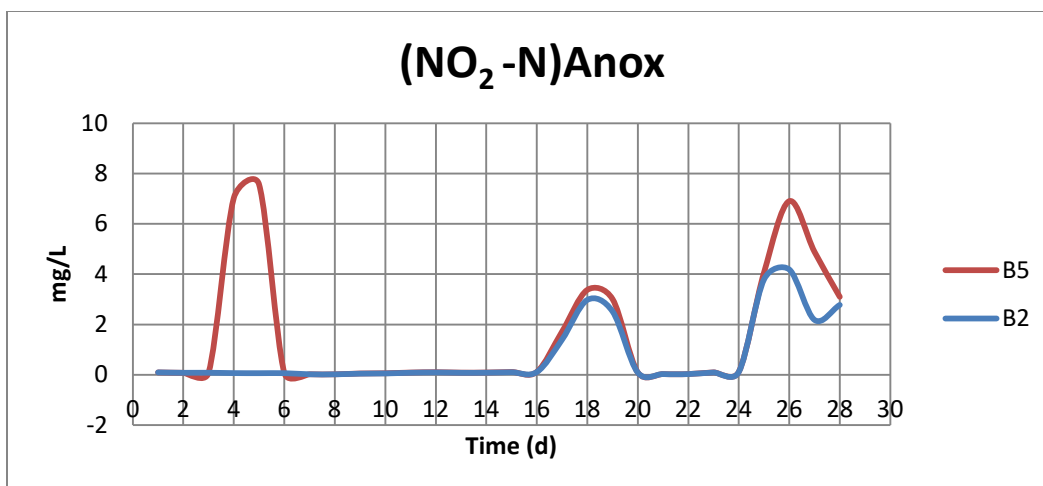


Σχήμα 4-55: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για τα σενάρια B2 και B5

Παρατηρείται, στο Σχήμα 4.58, ότι ο λόγος της βιοδιασπάσιμης τροφή προς τα αζωτούχα συστατικά μειώνεται σημαντικά την 4^η ημέρα, κάτι που οφείλεται στην μη πλήρες νιτροποίηση λόγω της μειωμένης τροφής σε σχέση με το άζωτο. Ως εκ τούτου, είναι επόμενο η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου να είναι αυξημένη καθώς δεν πραγματοποιείται πλήρως ούτε η διεργασία της απονιτροποίησης. Η μέγιστη τιμή συμπίπτει χρονικά με την μέγιστη τιμή του NO_3 , την 5^η ημέρα δηλαδή, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.59.



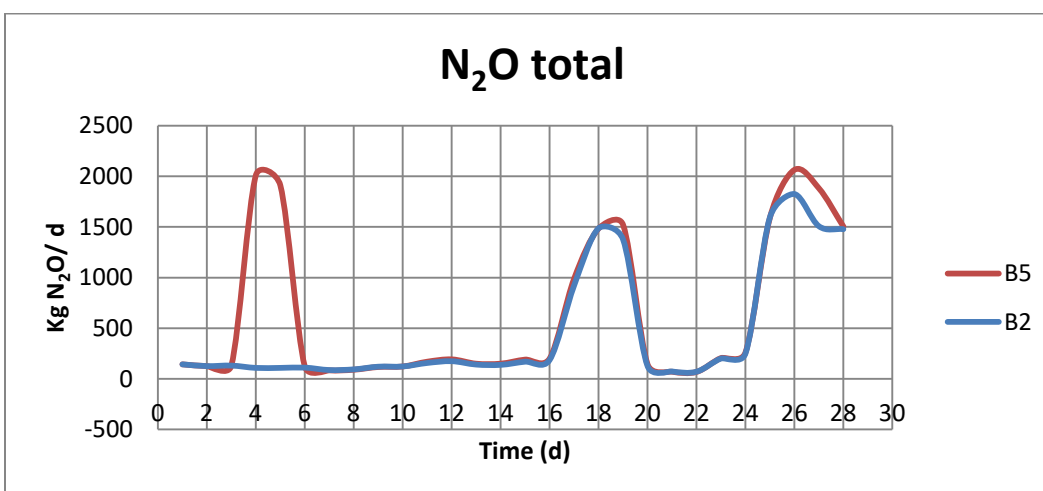
Σχήμα 4-56: Διακυμάνσεις του λόγου βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς τα αζωτούχα συστατικά «NO2» (NO , NH_2OH , N_2O , NO_2 , N_2) για τα σενάρια B2 και B5



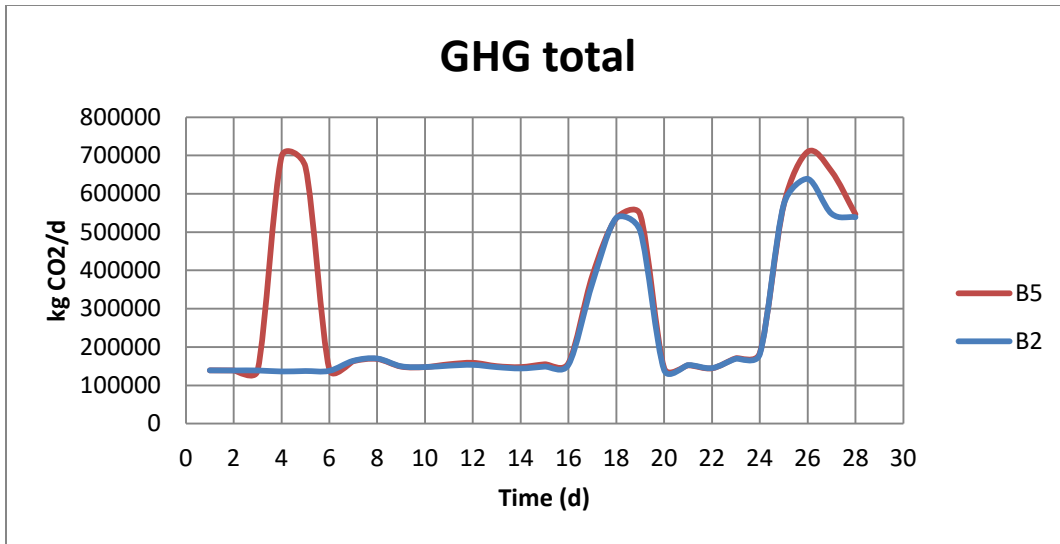
Σχήμα 4-57: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδες αζώτου NO₂ στην ανοξική δεξαμενή για τα σενάρια B2 και B5

Συνεπώς, αφού αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των NO₂ θα ακολουθήσει με την ίδια διακύμανση, όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 4.60, και η ποσότητα παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου N₂O καθώς μέσω της διεργασίας της απονιτροποίησης των νιτροποιητών τα νιτρώδη NO₂ μετατρέπονται σε N₂O.

Επίσης, παρόμοια διακύμανση θα παρουσιαστεί στο Σχήμα 4.61 στα συνολικά παραγόμενα αέρια του θερμοκηπίου GHG, καθώς το υποξείδιο του αζώτου αποτελεί την κύρια συνιστώσα παραγωγής GHG στην περίπτωση αυτή. Συγκεκριμένα την 4^η αλλά και την 26^η ημέρα το συνολικό N₂O παράγει το 85% των συνολικών GHG.

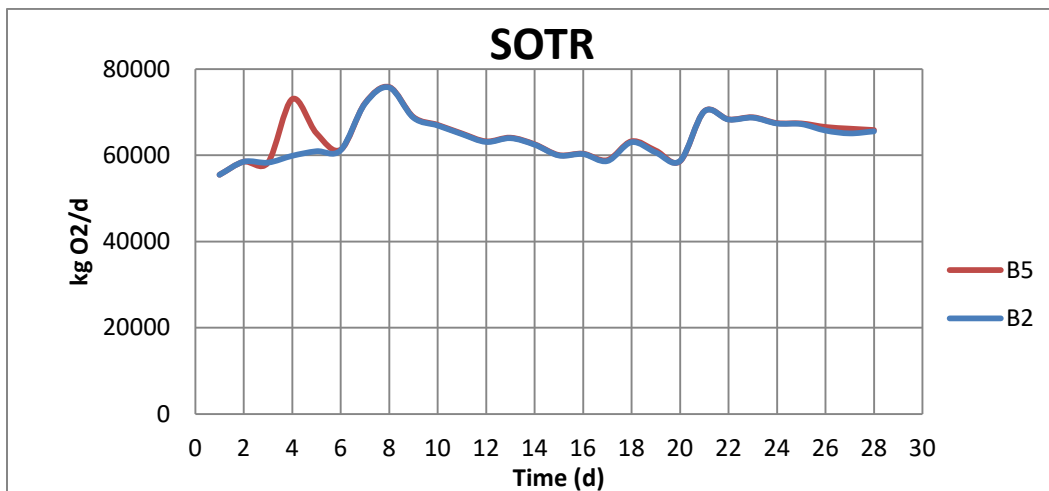


Σχήμα 4-58: Διακυμάνσεις παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για τα σενάρια B2 και B5

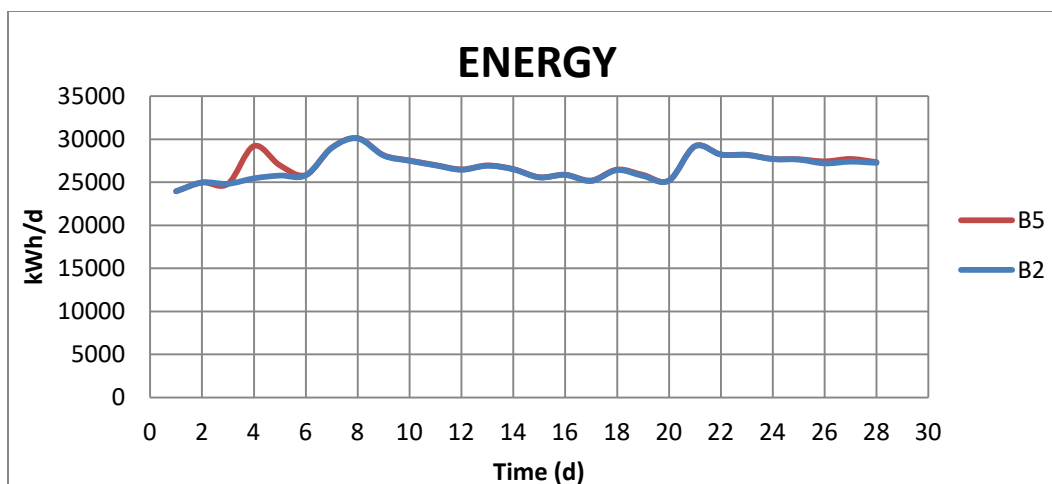


Σχήμα 4-59: : Διακυμάνσεις των συνολικών παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου για τα σενάρια B2 και B5

Τέλος, λόγω της αυξημένης νιτροποίησης που πραγματοποιείται θα αυξηθούν οι απαιτούμενες ποσότητες οξυγόνου και συνεπώς και η καταναλισκόμενη ενέργεια.



Σχήμα 4-60: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για τα σενάρια B2 και B5



Σχήμα 4-61: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα σενάρια B2 και B5

Βάση των πιο πάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: α) η αύξηση του αζώτου στην είσοδο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο καθαρά για λόγους αυξημένου φορτίου αφού η ΕΕΛ έφτασε στην μέγιστη νιτροποιητική της ικανότητα β) αύξηση των νιτρικών εξόδου και συνεπώς των NO₂ και των N₂O γ) αύξηση των απαιτήσεων – ζήτησης οξυγόνου και συνεπώς και ενεργειακής κατανάλωσης λόγω των αυξημένων απαιτήσεων νιτροποίησης.

4.2.3.6 Σενάριο B6: Επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών εισόδου

4.2.3.6.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης της θερμοκρασίας των λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων όπου η θερμοκρασία λυμάτων μειώνεται κατά 0.15°C κάθε ημέρα. Επίσης ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για μείωση της θερμοκρασίας λυμάτων με ταυτόχρονη μείωση του χρόνου παραμονής (Θc).

4.2.3.6.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές εισόδου μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την παροχή. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται τυπικό ωριαίο υδρογράφημα παροχής μέσω του οποίου τα δεδομένα μετατρέπονται σε ωριαία και εφαρμόζονται στο μοντέλο για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων. Επισημαίνεται ότι στο μοντέλο, ο χρόνος παραμονής των στερεών (θ_c) συναντάται ως SRT.

Στον Πίνακα 4.12 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων.

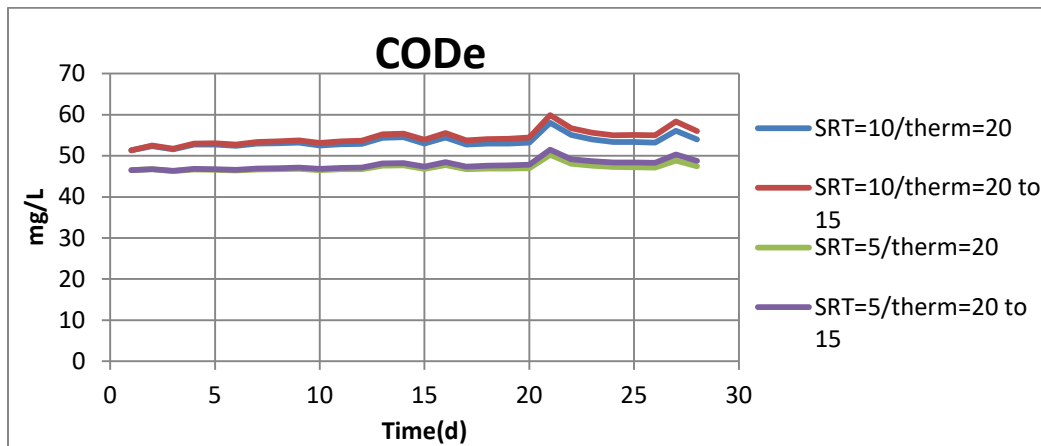
Πίνακας 4-12: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B6)

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20 to 15	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10/5	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TN _{in}	42.8	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	COD _{in}	629	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Q _m	m ³ /d

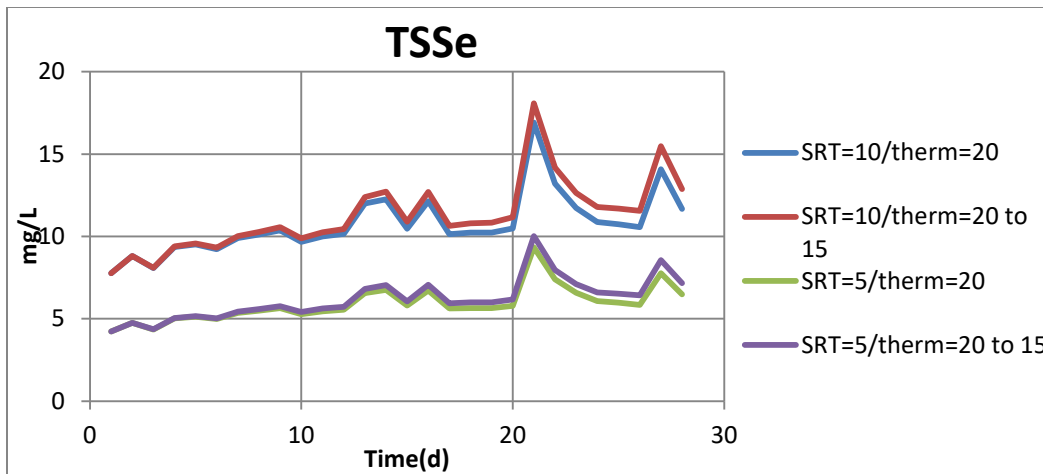
4.2.3.6.3 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των τεσσάρων εφαρμογών παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.62-4.72. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.62-4.66 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στο Σχήμα 4.67 η σύγκριση αφορά τις συγκεντρώσεις νιτρικών εντός της ανοξικής δεξαμενής. Τέλος ακολουθούν τα Σχήματα 4.68-4.61 όπου παρουσιάζεται η σύγκριση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της κατανάλωσης οξυγόνου και ενέργειας και του δείκτη ποιότητας εκροής.

Οι συγκεντρώσεις του COD και των TSS στην εκροή της εγκατάστασης αναμένεται να μεταβάλλονται σύμφωνα με τη διακύμανση της εισερχόμενης παροχής. Επίσης από τα Σχήματα 4.62 και 4.63 παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται η θερμοκρασία των λυμάτων η συγκέντρωση τους ξεκινά να μεγαλώνει, το οποίο οφείλεται στην επίδραση που έχει η στις παραμέτρους των διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα καθώς μειώνεται η θερμοκρασία θα μειώνονται οι ρυθμοί των διεργασιών υδρόλυσης και αερόβιας ανάπτυξης, και ταυτόχρονα οι καταναλώσεις του βιοδιασπάσιμου οργανικού υλικού. Από την άλλη, βλέπουμε για την ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας και της μείωση του χρόνου παραμονής SRT, να μειώνεται η συγκέντρωση τους αλλά αυτό να οφείλεται κυρίως στον μειωμένο χρόνο παραμονής. Από την στιγμή που ο χρόνος παραμονής μειώνεται στις 5 ημέρες, είναι επόμενο ότι μειώνεται η παραγωγή των μικροοργανισμών το οποίο επιφέρει τελικά μείωση στην συγκέντρωση του COD και των TSS στην εκροή.

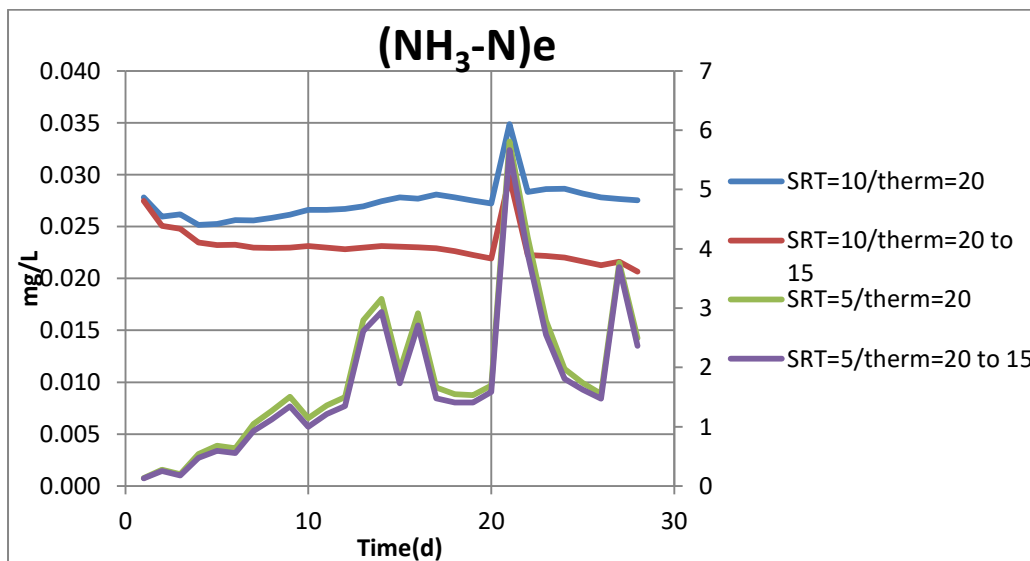


Σχήμα 4-62: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B6



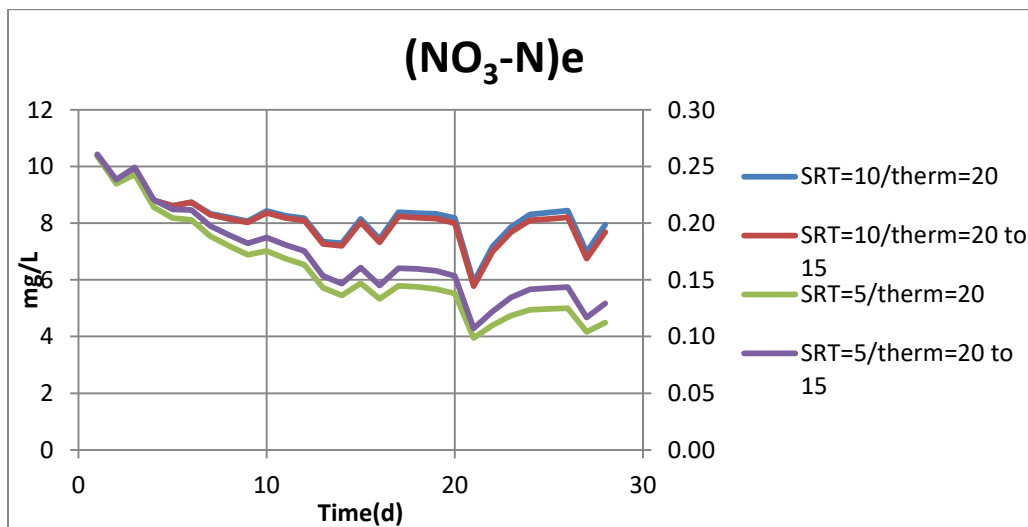
Σχήμα 4-63: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για το σενάριο B6

Για την μείωση της θερμοκρασίας παρατηρούμε στο σχήμα 4.64, για τους δύο χρόνους παραμονής να προκύπτουν μικρότερες συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο ενώ θα περιμέναμε να συμβαίνει το αντίθετο, αφού καθώς μειώνεται η θερμοκρασία, μειώνονται οι ρυθμοί των διεργασιών και κατέπékταση δεσμεύεται λιγότερη αμμωνία.



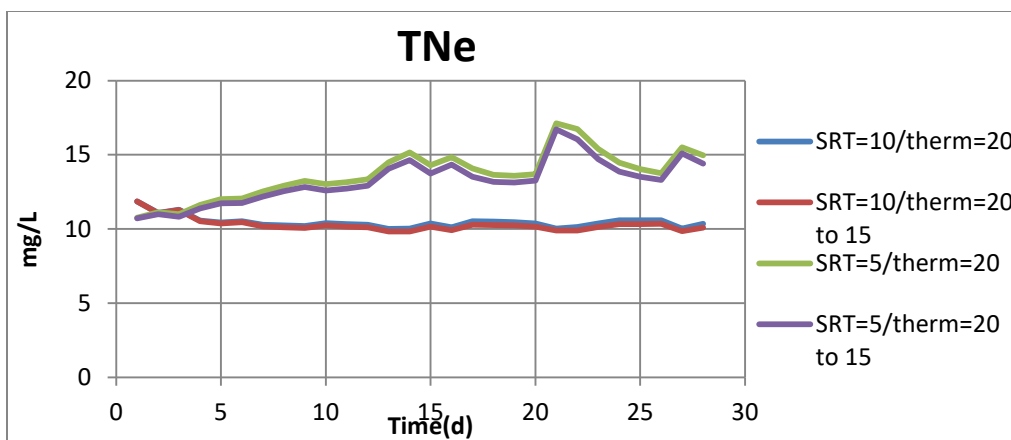
Σχήμα 4-64: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο B6

Λόγω της σταδιακής μείωσης της θερμοκρασίας μειώνεται η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος και έχουμε μικρότερες συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου στην εκροή της εγκατάστασης. Παράλληλα όμως μειώνονται και οι τιμές των παραμέτρων m_h και k_h , οι οποίες κατά συνέπεια μειώνουν τις ταχύτητες της απονιτροποίησης και της ανοξικής υδρόλυσης που δεσμεύουν το νιτρικό άζωτο και έτσι για χρόνο παραμονής 10 ημερών η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί ελάχιστες μεταβολές στην συγκέντρωση των νιτρικών. Αντίθετα για την ταυτόχρονη μείωση του SRT σε 5 ημέρες και την μείωση της θερμοκρασίας βλέπουμε την συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για σταθερή θερμοκρασία. Αυτό οφείλεται στην αστάθεια που παρουσιάζει το σύστημα για μικρούς χρόνους παραμονής και μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απονιτροποίηση μειώνεται περισσότερο.



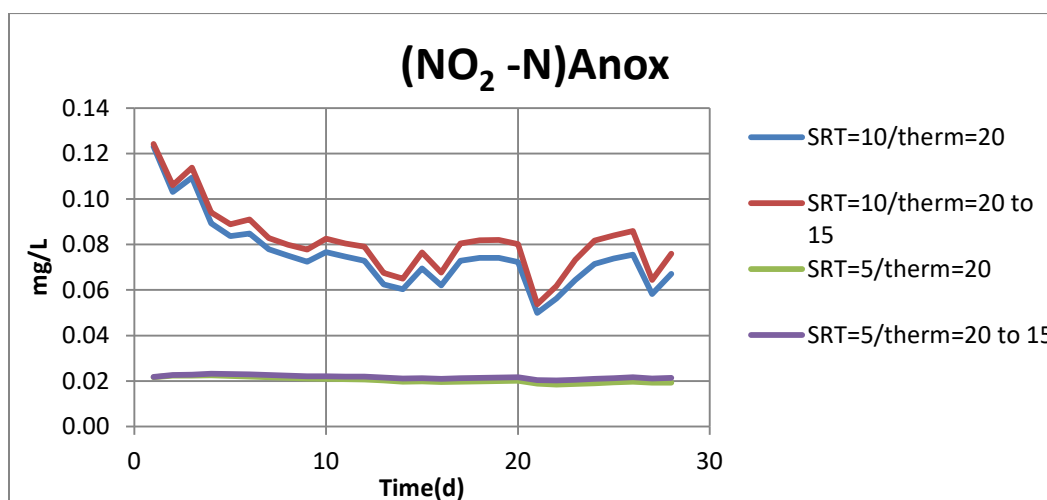
Σχήμα 4-65 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B6

Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου, θα μεταβάλλεται βάση των διακυμάνσεων της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου για τον μικρό χρόνο παραμονής αφού οι συγκεντρώσεις του είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα νιτρικά, και βάση της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου για τον μεγάλο. Αυτό επαληθεύεται και στο Σχήμα 4.66.



Σχήμα 4-66: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B6

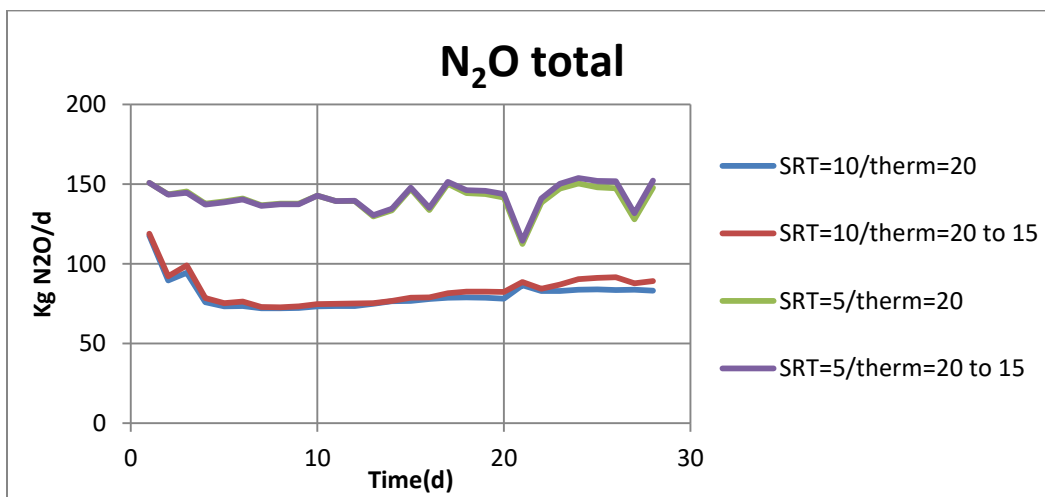
Στο Σχήμα 4.67 παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο NO_2 της ανοξικής δεξαμενής. Φαίνεται ότι όσο μειώνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου στην ανοξική δεξαμενή αφού μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιείται η ανοξική ανάπτυξη των ετερότροφων οργανισμών. Για τους μικρούς χρόνους παραμονής οι διεργασίες δεν προλαβαίνουν να πραγματοποιηθούν και έτσι μειώνεται και η διάσπαση σε νιτρώδες άζωτο και παρατηρείται ταυτόχρονα ότι η θερμοκρασία έχει μικρότερη επίδραση.



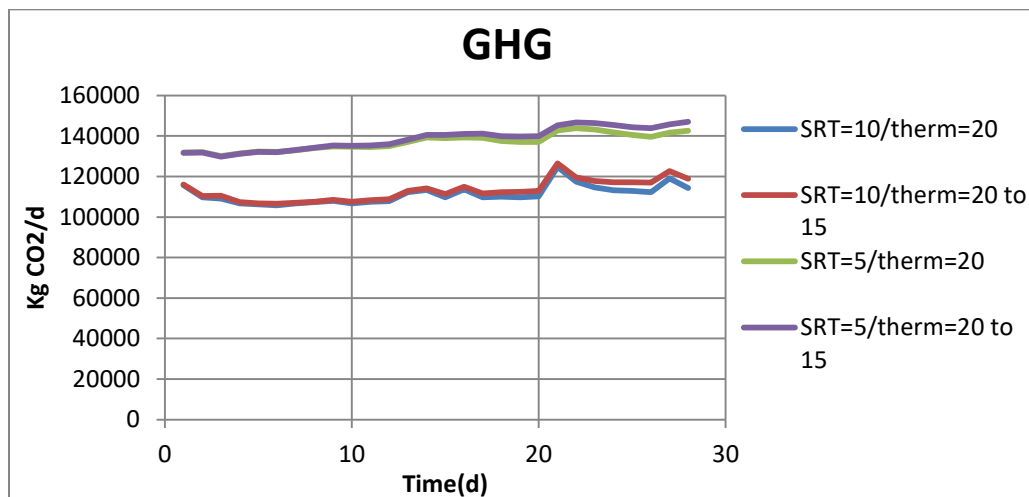
Σχήμα 4-67: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου NO_2 στην ανοξική δεξαμενή για το σενάριο B6

Αντίθετα μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 4.68, ότι οι συγκεντρώσεις του υποξειδίου του αζώτου N_2O μεγιστοποιούνται για $SRT=5$, ενώ για $SRT=10$ ακολουθούν την διακύμανση των συγκεντρώσεων του νιτρώδους αζώτου. Ωστόσο η θερμοκρασία και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται να επηρεάζει ελάχιστα την παραγωγή του υποξειδίου του αζώτου και συγκεκριμένα να βοηθά στην αύξηση τους.

Λόγω του πιο πάνω θα παρατηρηθούν στο Σχήμα 4.69, αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με αντίστοιχες διακυμάνσεις όπως και στο N_2O αφού αποτελεί μια εκ των κύριων συνιστωσών παραγωγής των αερίων στις ΕΕΛ.

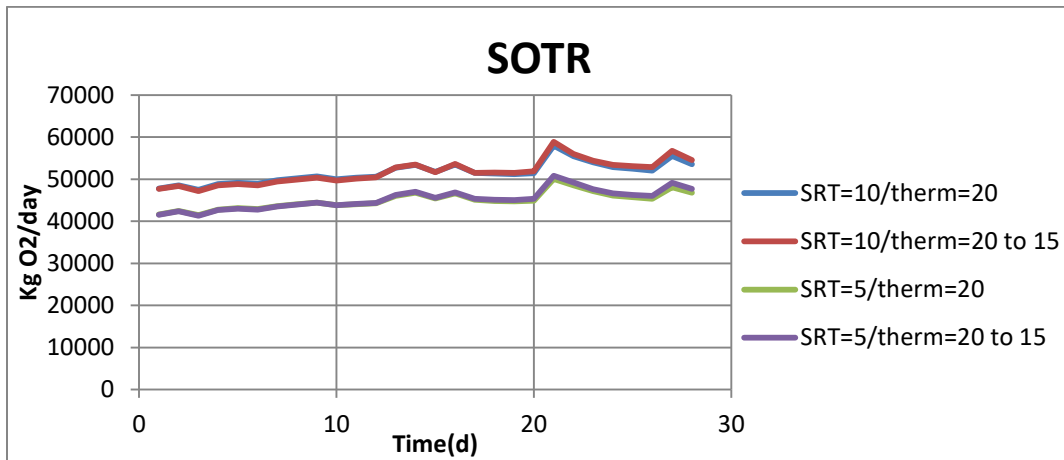


Σχήμα 4-68: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B6

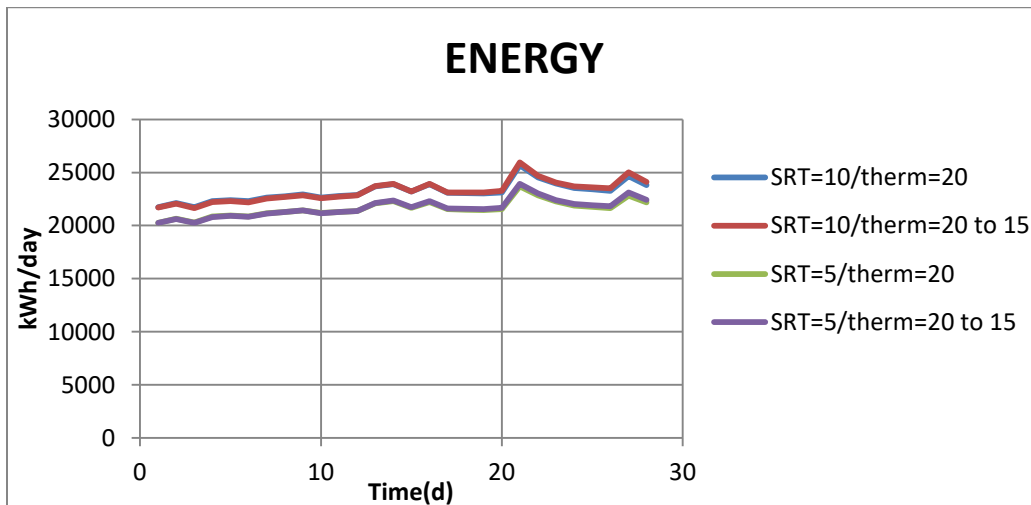


Σχήμα 4-69: Διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το σενάριο B6

Οι διακυμάνσεις των τιμών του απαιτούμενου οξυγόνου αλλά και της καταναλισκόμενης ενέργειας θα μεταβάλλονται σύμφωνα με τις διακυμάνσεις του οργανικού υλικού, καθώς όσο αυξάνεται το οργανικό υλικό στο σύστημα απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου για να καλυφθούν οι ανάγκες των διεργασιών και κατά συνέπεια καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια. Ως εκ τούτου στην περίπτωση που η θερμοκρασία μειώνεται η απαίτηση του οξυγόνου και η ενέργεια θα είναι λίγο μεγαλύτερες για χρόνους παραμονής 5 και 10 ημερών.

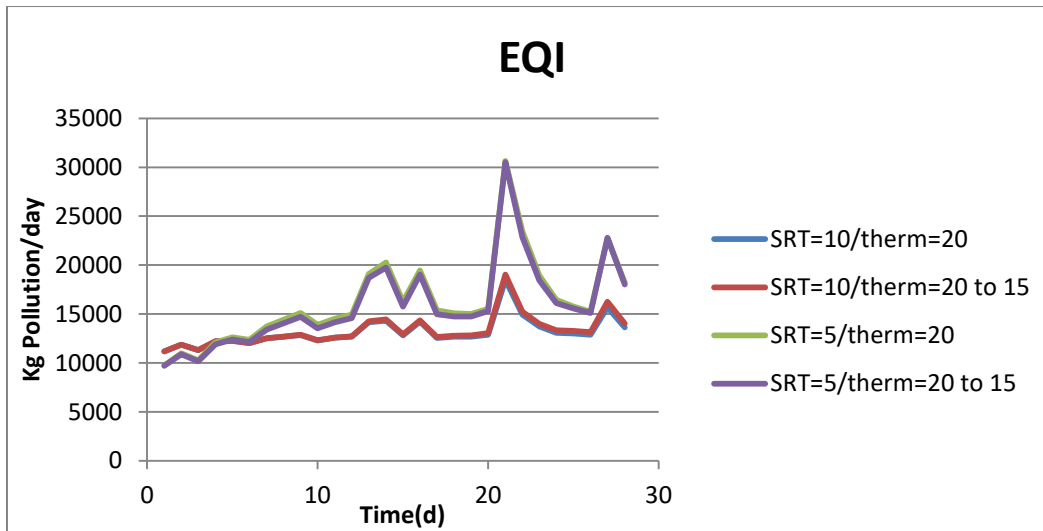


Σχήμα 4-70: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B6



Σχήμα 4-71 : Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα για το σενάριο B6

Τέλος η μεταβολή του χρόνου παραμονής στερεών επιδρά στον δείκτη EQI, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο από την ΔTK λόγω της μειωμένης νιτροποιητικής δράσης που προκαλεί η μείωση του σε 5 ημέρες. Κατά τα άλλα η επίδραση της θερμοκρασίας στο δείκτη φαίνεται να είναι αμελητέα.



Σχήμα 4-72: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B6

Συνοψίζοντας τα κυριότερα συμπεράσματα είναι: α) ότι η απονιτροποίηση φαίνεται να μειώνεται περισσότερο λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας σε περιπτώσεις χαμηλών χρόνων παραμονής στερεών, στους οποίους το σύστημα είναι ασταθές, και β) γενικά οι μεταβολές λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας γίνονται σταδιακά και επομένως στην περίπτωση που η μείωση είναι εντονότερη και διαρκέσει περισσότερο, τότε αναμένονται σημαντικότερες αλλαγές. Στην περίπτωση αυτή η διεργασία της νιτροποίησης θα είναι η κρίσιμότερη αφού εάν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή, καθιστά την ταχύτητα ανάπτυξης των νιτροποιητών ιδιαίτερα μικρή για να μπορέσει να αντεπεξέλθει στα εισερχόμενα φορτία. Επίσης στην περίπτωση αυτή θα είναι πιο έντονη και η επίδραση του χρόνου παραμονής των στερεών.

4.2.3.7 Σενάριο B7: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών

4.2.3.7.1 Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης του χρόνου παραμονής στερεών Θc στην απόδοση της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων με τιμές του Θc που κυμαίνονται μεταξύ 3 με 10 ημέρες.

4.2.3.7.2 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενες ημερήσιες τυπικές τιμές εισόδου μεγάλης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων για την παροχή. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται τυπικό ωριαίο υδρογράφημα παροχής μέσω του οποίου τα δεδομένα μετατρέπονται σε ωριαία και εφαρμόζονται στο μοντέλο για δυναμική φόρτιση 4 εβδομάδων. Επισημαίνεται ότι στο μοντέλο, ο χρόνος παραμονής των στερεών (Θc) συναντάται ως SRT.

Στον Πίνακα 4.13 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων.

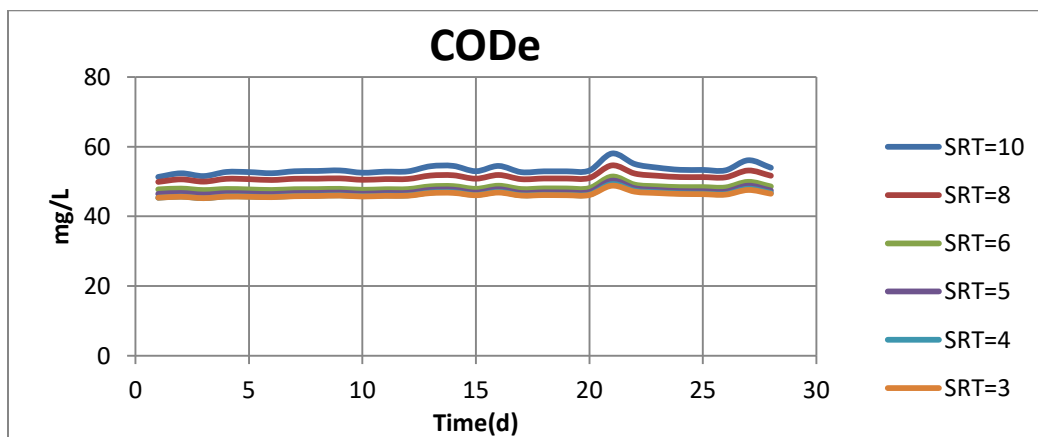
4-13: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (B7)

Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10/8/5/6/4/3	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TNin	42.8	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	CODin	629	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η εύκολα βιοδιασπασίμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η αργά βιοδιασπασίμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Qm	m ³ /d

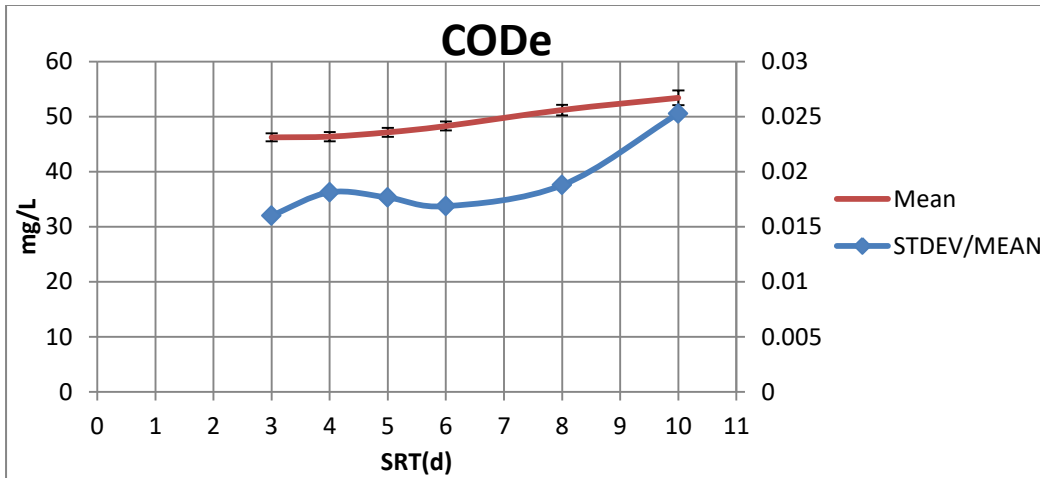
4.2.3.7.3 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των εφαρμογών του μοντέλου για τους διαφορετικούς χρόνους παραμονής παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.73-4.90. Πιο συγκεκριμένα στα Σχήματα 4.73, 4.75, 4.77, 4.79 και 4.80 συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της τελικής εκροής, ενώ στα Σχήματα 4.74, 4.76 και 4.78 αποτυπώνονται οι μεταβολές των μέσων συγκεντρώσεων των συστατικών και ο λόγος της τυπικής απόκλισης ως προς την μέση τιμή τους καθώς αυξάνεται το θ_c . Ακολουθούν στα Σχήματα 4.81-4.84 και οι συγκρίσεις των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου με τις αντίστοιχες τις μεταβολές των μέσων τιμών συγκεντρώσεις και στην συνέχεια στα Σχήματα 4.85-4.89 οι συγκρίσεις και οι μεταβολές που αφορούν την κατανάλωση οξυγόνου και ενέργειας και του δείκτη ποιότητας εκροής.

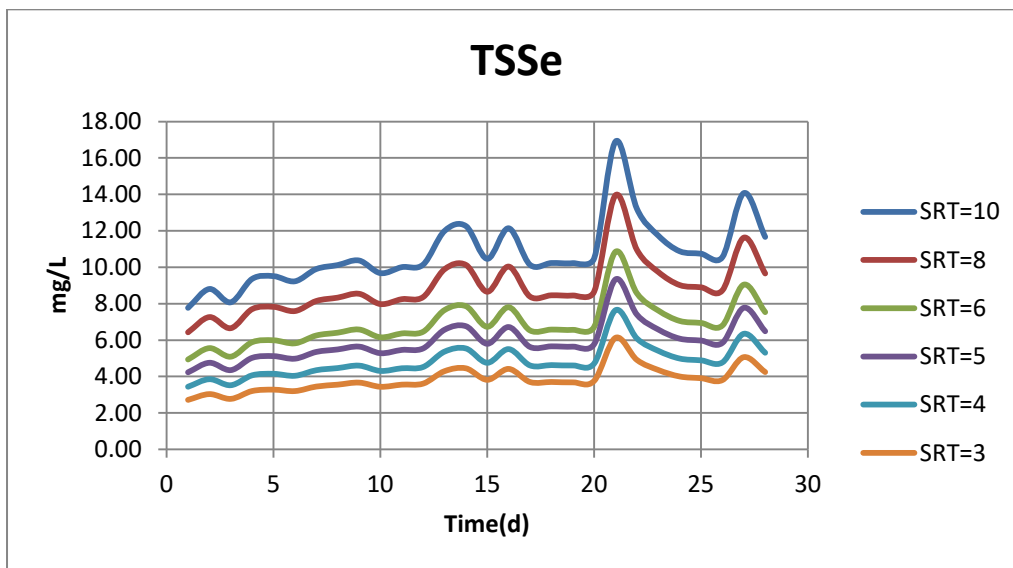
Οι συγκεντρώσεις του COD και των TSS στην εκροή της εγκατάστασης αναμένεται να μεταβάλλονται σύμφωνα με τη διακύμανση της εισερχόμενης παροχής. Επίσης είναι αναμενόμενο η αύξηση του χρόνου παραμονής να αυξάνει τις συγκεντρώσεις των στερεών στην εκροή, καθώς όσο περισσότερο παραμένουν στο σύστημα τόσο περισσότερο θα αναπτύσσονται. Παρατηρείται στα Σχήματα 4.74 και 4.76 ότι η τυπική απόκλιση του CODe αυξάνεται αναλογικά με την μέση του τιμή ενώ αντίθετα στην συγκέντρωση των TSSe η τυπική απόκλιση δεν φαίνεται να επηρεάζεται από το θ_c , αφού ο λόγος μειώνεται όσο αυξάνεται η μέση τιμή.



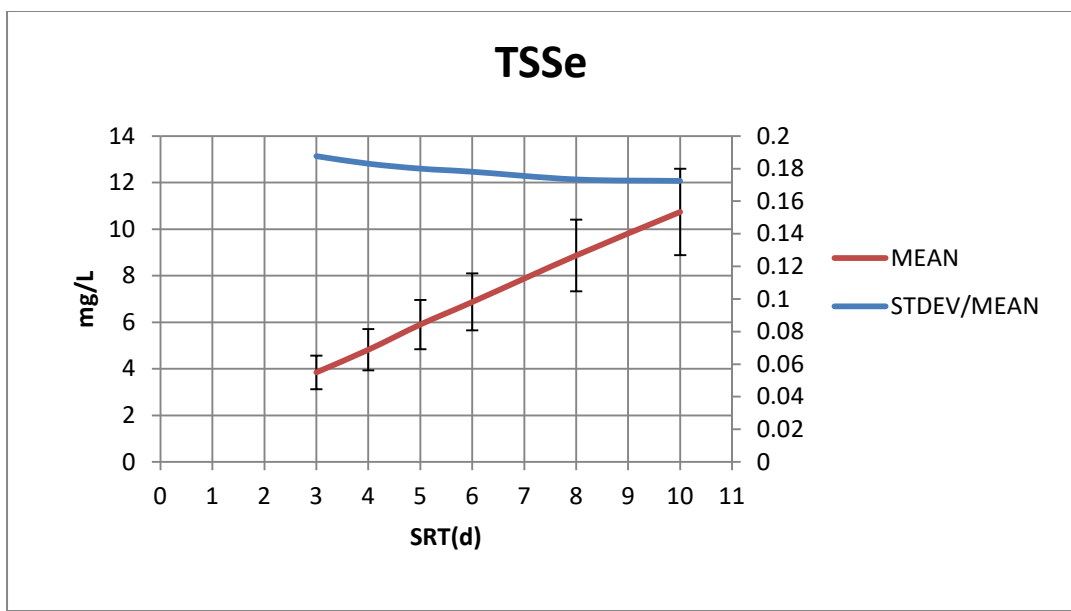
Σχήμα 4-73: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικής οργανικής ύλης εκροής για το σενάριο B7



Σχήμα 4-74: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης του οργανικού υλικού στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

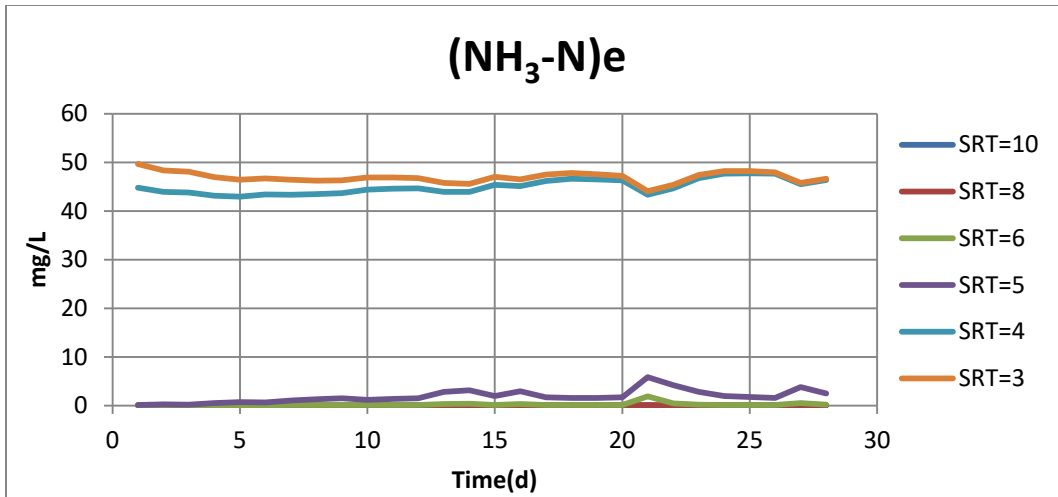


Σχήμα 4-75: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης συνολικών αιωρούμενων στερεών εκροής για το σενάριο B7

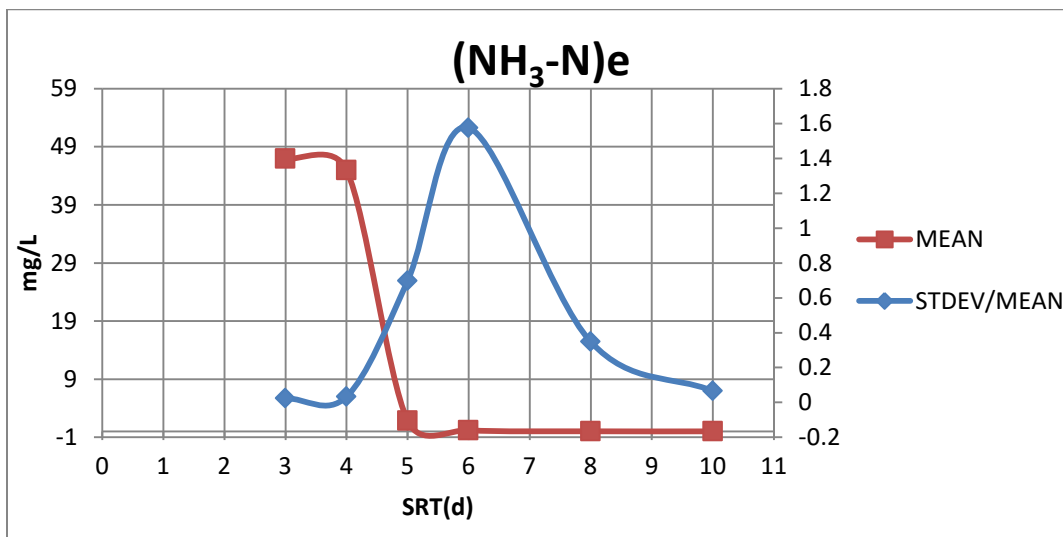


Σχήμα 4-76: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

Εκτός από τα στερεά, μεταβολές θα προκύψουν και στις συγκεντρώσεις του αζώτου. Η μείωση του χρόνου παραμονής θα οδηγήσει σε μείωση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος. Συγκεκριμένα, όπως προκύπτει και από το Σχήμα 4.77, όσο μειώνεται ο χρόνος παραμονής, γίνεται όλο και λιγότερη διάσπαση της αμμωνίας με τους χρόνους παραμονής μικρότερους των 5 ημερών, όπου ολόκληρο το ποσοστό της αμμωνίας να βρίσκεται στην εκροή της εγκατάστασης. Επίσης στο Σχήμα 4.83 μπορούμε να δούμε την μείωση της μέσης τιμής της συγκέντρωσης $\text{NH}_3\text{-N}$ στην εκροή καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής. Αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι η τυπική απόκλιση θα επηρεαστεί από τον χρόνο παραμονής καθώς για τους χρόνους παραμονής 4 έως 6 ημέρες όπου η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος αυξάνεται, ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή θα παρουσιάσει αύξηση ενώ στην συνέχεια για χρόνους παραμονής μεγαλύτερους των 8 ημερών σταθεροποιείται.

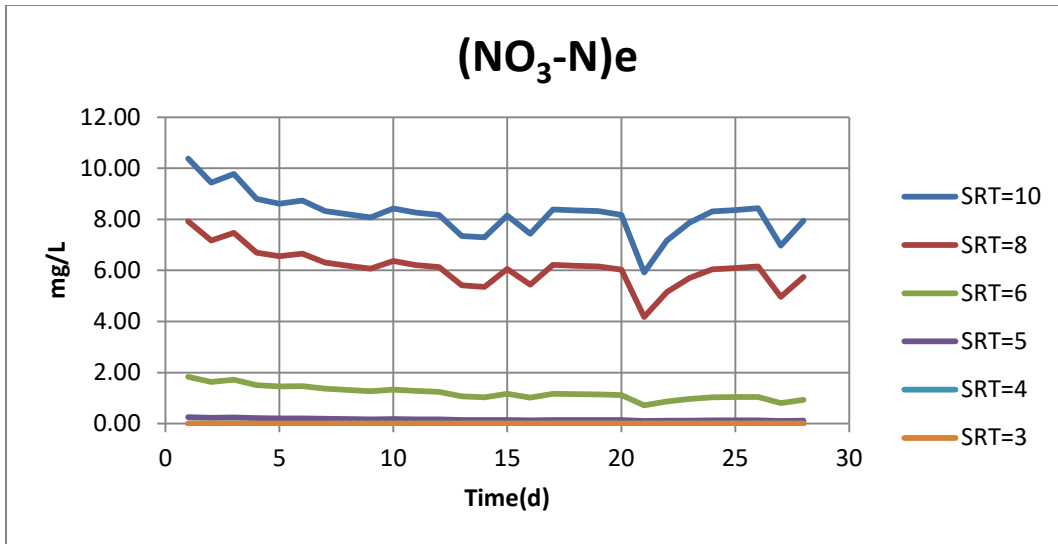


Σχήμα 4-77: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου εκροής για το σενάριο B7



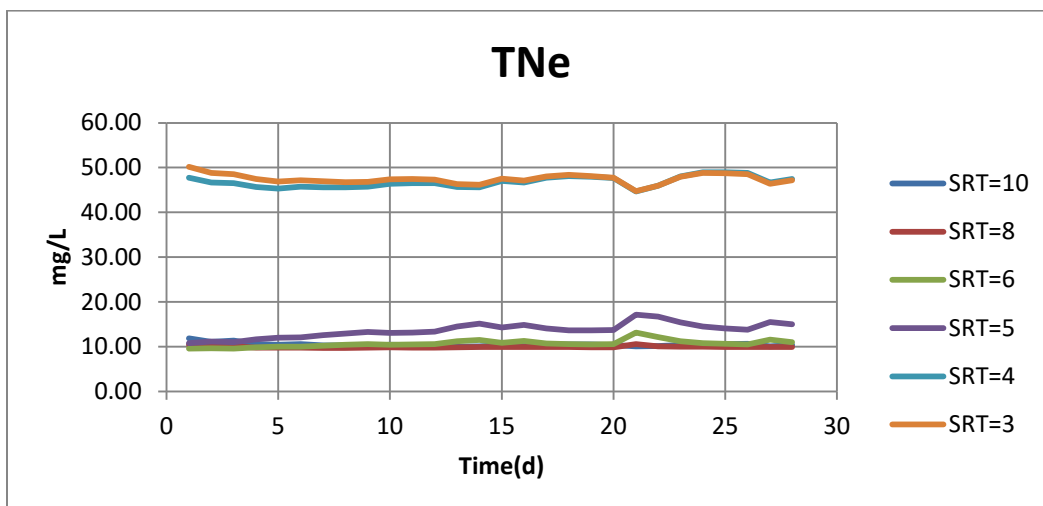
Σχήμα 4-78: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου στην εκροή για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

Βάση του πιο πάνω, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου θα μειώνεται για μικρότερους χρόνους παραμονής λόγω της μειωμένης νιτροποίησης και φαίνεται στα Σχήματα 4.79 και 4.80. Επίσης μπορούμε να δούμε ότι καθώς αυξάνεται



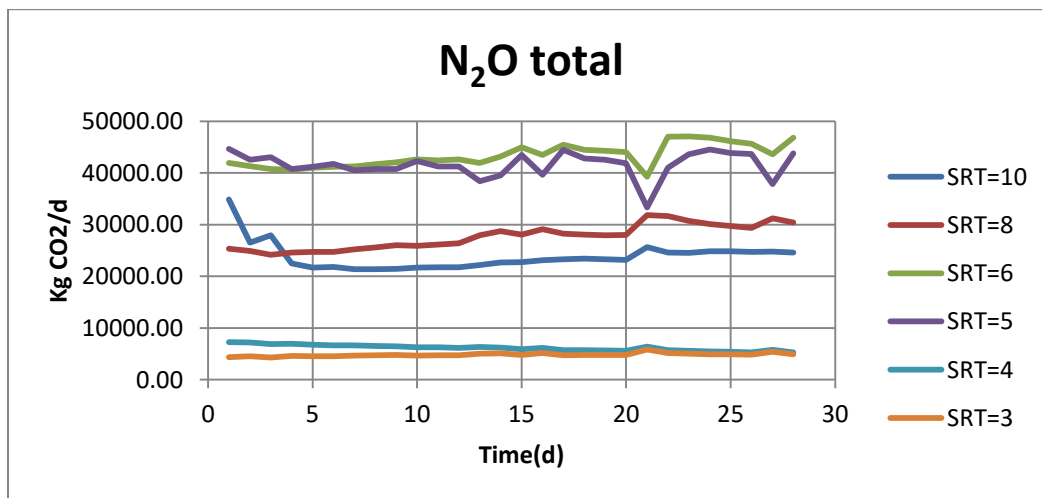
Σχήμα 4-79 : Διακυμάνσεις συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου εκροής για το σενάριο B7

Κάτι αντίστοιχο θα συμβεί και στις συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου που θα έχει μεγάλες τιμές για τους μικρούς χρόνους παραμονής λόγω των μεγάλων συγκεντρώσεων της αμμωνίας. Για χρόνους παραμονής από 5 έως 10 ημέρες, παρατηρούμε τις συγκεντρώσεις, στο σχήμα 4.80, να μειώνονται σημαντικά και να συγκλίνουν στα 10mg/L.



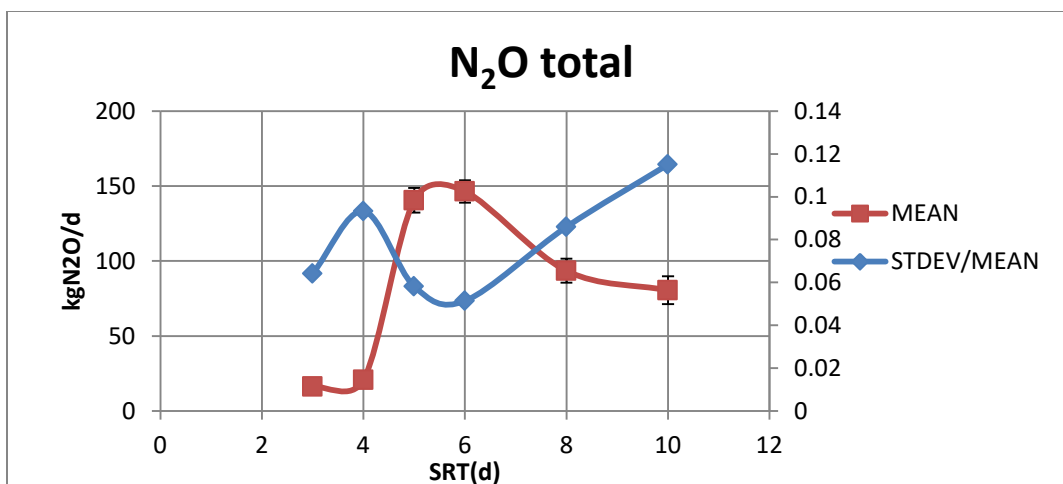
Σχήμα 4-80: Διακυμάνσεις συγκέντρωσης ολικού αζώτου εκροής για το σενάριο B7

Από το Σχήμα 4.81 διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις του υποξειδίου του αζώτου N_2O μεγιστοποιούνται για $SRT=6$ και $SRT=5$, και στην συνέχεια να μειώνονται σταδιακά κατά την αύξηση του θ_c . Το φαινόμενο αυτό μας δείχνει ότι για ενδιάμεσους χρόνους παραμονής η συγκέντρωση των αυτοτροφικών αμμωνιακών βακτηριδίων (AOB) υπερσχύουν στο σύστημα ως προς τα αυτοτροφικά νιτρικά βακτηρίδια (NOB), και κατά συνέπεια αυξάνεται η παραγωγή N_2O μέσω της νιτροποίησης και απονιτροποίησης των νιτροποιητών. Όσο μεγαλώνει ο χρόνος παραμονής αυξάνονται και οι NOB και τα νιτρώδη μετατρέπονται σε νιτρικά για να ολοκληρωθεί η νιτροποίηση, με αποτέλεσμα την μείωση του N_2O . Για τους μικρούς χρόνους παραμονής η αμμωνία δεν προλαβαίνει να οξειδωθεί σε υδροξυλαμίνη και οι συγκεντρώσεις του N_2O είναι πολύ μικρές αφού πρακτικά δεν γίνεται νιτροποίηση.



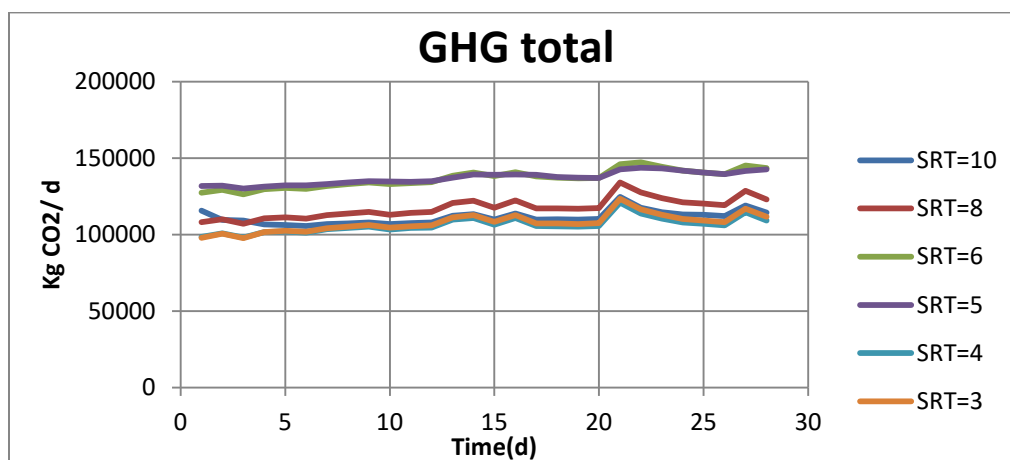
Σχήμα 4-81: Διακυμάνσεις συνολικού παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου για το σενάριο B7

Αντίστοιχα στο Σχήμα 4.82 βλέπουμε ότι η τυπική απόκλιση δεν επηρεάζεται από τον χρόνο παραμονής των στερεών καθώς ο λόγος αυξομειώνεται ανάλογα με την μέση τιμή του N_2O .

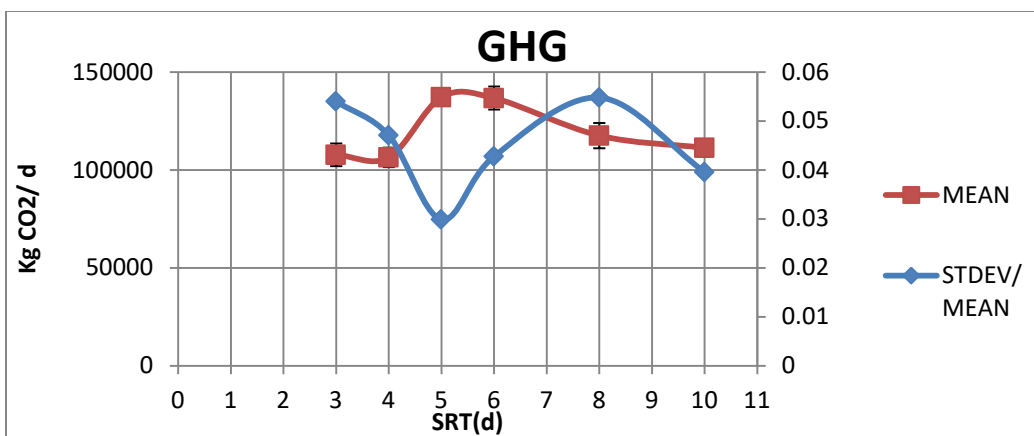


Σχήμα 4-82: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της παραγόμενης ποσότητας υποξειδίου του αζώτου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

Αντίστοιχη συμπεριφορά θα παρουσιαστεί στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τα Σχήματα 4.83 και 4.84. Παρατηρούμε ότι για τα ενδιάμεσα θ_c οι συνολικές εκπομπές μεγιστοποιούνται αφού οι παραγόμενες ποσότητες του N_2O είναι πολύ μεγάλες ενώ για τους μικρούς χρόνους παραμονής μειώνονται οι εκπομπές λόγω της ανάπτυξης βιομάζας και της κατανάλωσης ενέργειας αλλά οι εκπομπές που συνδέονται με την επεξεργασία ιλύος αυξάνονται καθώς αυξάνεται και η παροχή της ιλύος. Η τυπική απόκλιση της τιμής των εκπομπών είναι μικρή για τους μικρούς χρόνους παραμονής, για μεγαλύτερο των 5 ημερών σταθεροποιείται ενώ για $\theta_c = 10$ ημέρες η τυπική απόκλιση μειώνεται.



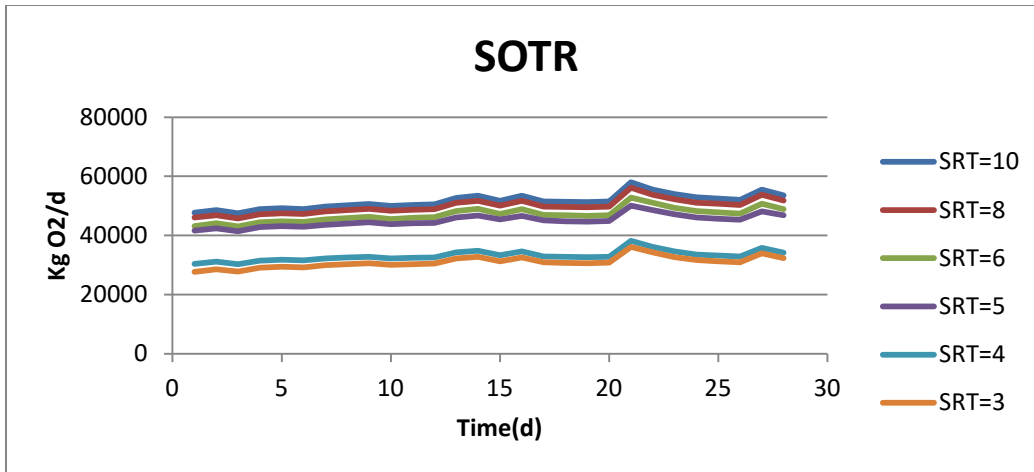
Σχήμα 4-83: Διακυμάνσεις των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του σενάριο B7



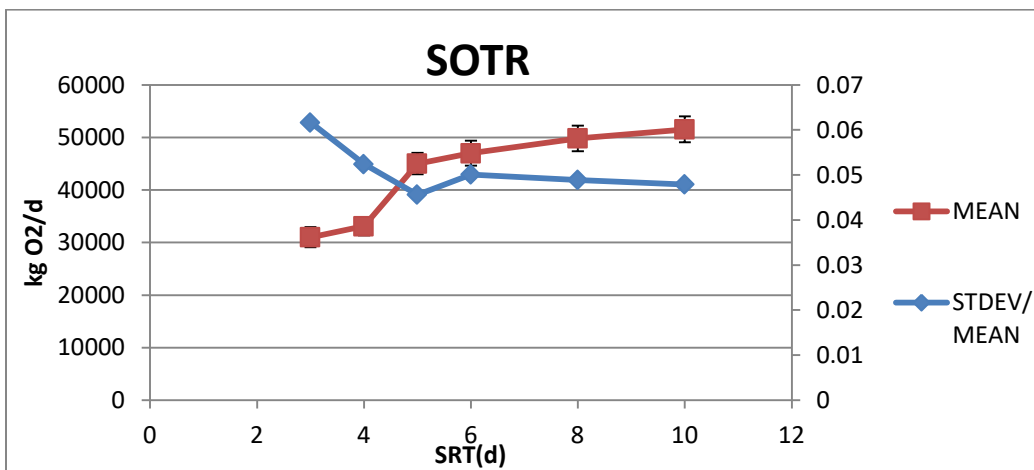
Σχήμα 4-84: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της παραγόμενης ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

Δεδομένου ότι η αύξηση του θ_c προκαλεί αύξηση του των στερεών στο σύστημα είναι επόμενο να αυξηθεί και η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου SOTR αφού όσο παραμένουν οι μικροοργανισμοί στο σύστημα, αυξάνονται οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στην δεξαμενή και έτσι αυξάνονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 4.85 για μικρές τιμές του χρόνου παραμονής η νιτροποίηση δεν πραγματοποιείται και οι απαιτήσεις οξυγόνου είναι μικρές ενώ καθώς ο χρόνος παραμονής μεγαλώνει, το σύστημα αρχίζει να αποκτά νιτροποιητική ικανότητα και η κατανάλωση οξυγόνου αυξάνεται με μεγάλο ρυθμό. Στην συνέχεια θα συνεχιστεί να αυξάνεται, αλλά με συγκριτικά μικρότερο ρυθμό. Η μεταβολή του απαιτούμενου οξυγόνου αυτή διακρίνεται καλύτερα στο Σχήμα 4.86.

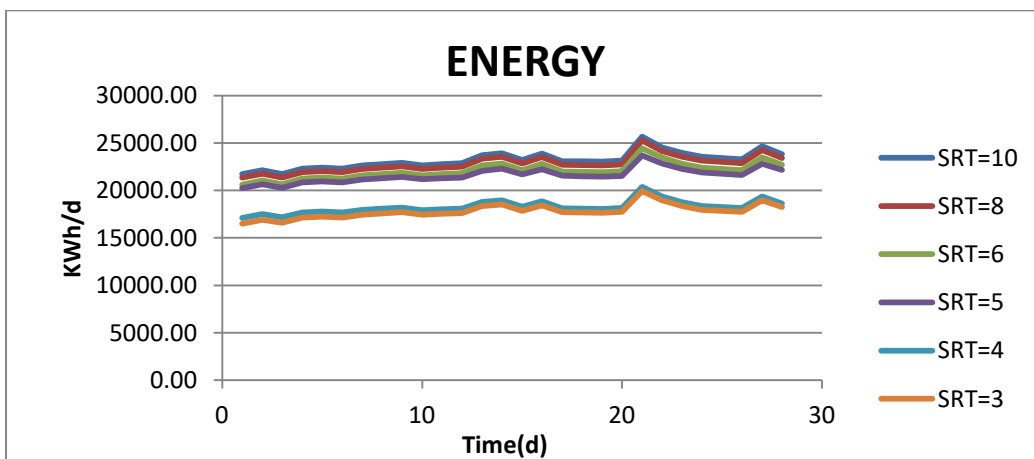
Ομοίως, αντίστοιχη συμπεριφορά θα παρουσιαστεί στο Σχήμα 4.87 και την καταναλισκόμενη ενέργεια αφού σε μεγαλύτερους χρόνους παραμονής καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια για να καλύψει τις απαιτήσεις οξυγόνου.



Σχήμα 4-85: Διακυμάνσεις απαιτούμενου οξυγόνου για το σενάριο B7

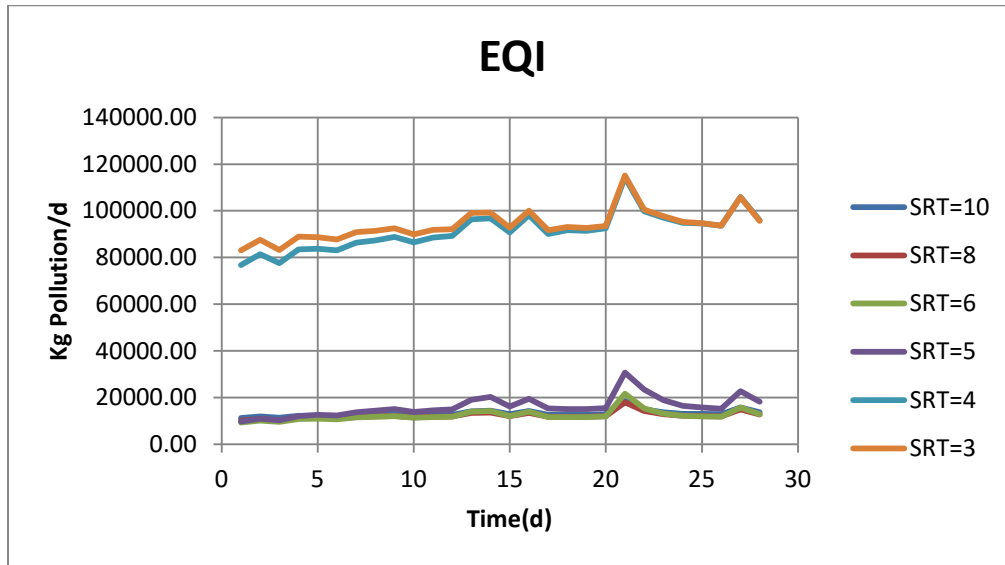


Σχήμα 4-86: Μεταβολή της μέσης τιμής και του λόγου της απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου για διάφορες τιμές του χρόνου παραμονής

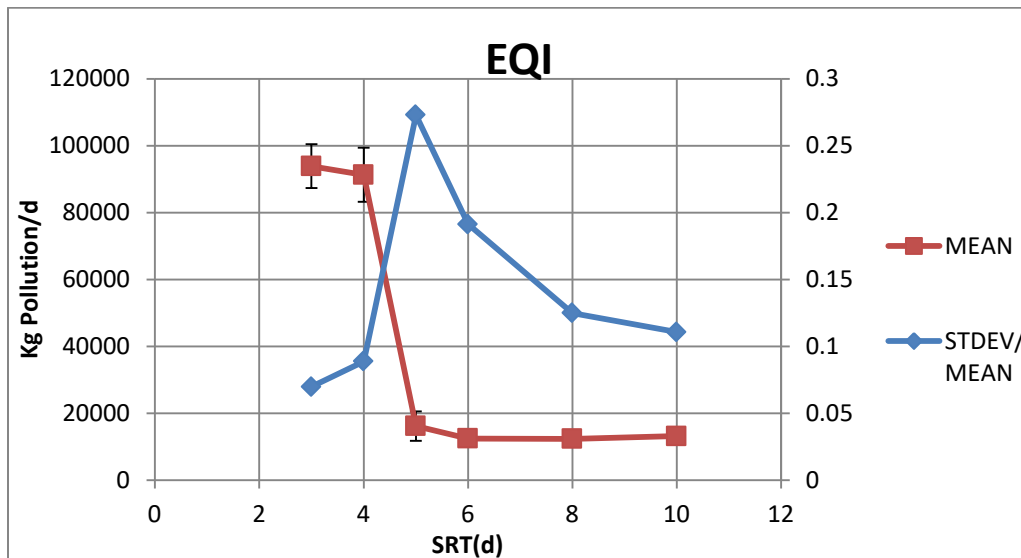


Σχήμα 4-87: Διακυμάνσεις καταναλισκόμενης ενέργειας για τα για το σενάριο B7

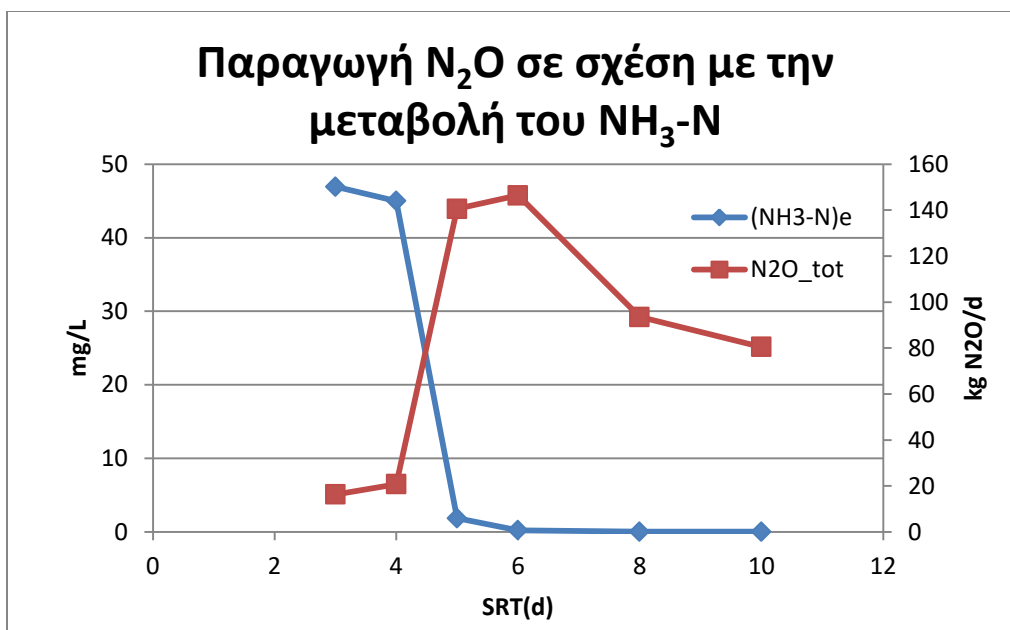
Για χρόνο παραμονής ίσο με 5, 6, 8 ή 10 μέρες, οι τιμές του EQI είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, δείχνοντας πως δεν επιδρά ιδιαίτερα. Αντίθετα για χρόνους παραμονής 3 και 4 ημερών βλέπουμε αύξηση των τιμών το οποίο στα ποσοστά της αμμωνίας στην έξοδο από την οποία εξαρτάται στον μεγαλύτερο βαθμό ο δείκτης EQI. Όσο αυξάνεται το θ_c , το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρικό, από το οποίο εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό και έτσι σταθεροποιείται.



Σχήμα 4-88: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B7



Σχήμα 4-89: Διακυμάνσεις του δείκτη ποιότητας εκροής (EQI) για το σενάριο B7



Σχήμα 4-90: Σύγκριση των μεταβολών της μέσης συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου και του μέσου παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου κατά την μεταβολή του θ_c

Στο σχήμα 4.90 βλέπουμε τις διακυμάνσεις των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων του αμμωνιακού αζώτου σε σύγκριση με την παραγόμενη ποσότητα του υποξειδίου του αζώτου για την μεταβολή του χρόνου παραμονής των στερεών θ_c . Μπορούμε να δούμε ότι για τους μικρούς χρόνους παραμονής η αμμωνία δεν οξειδώνεται και απομακρύνεται από το σύστημα. Για χρόνους παραμονής 4-5 ημέρες η νιτροποιητική ικανότητα τους συστήματος ενεργοποιείται και η αμμωνία μέσω του κύκλου του αζώτου μετατρέπεται σε υποξείδιο του αζώτου με τις μέγιστες ποσότητες να παράγονται για θ_c ίσο με 6 ημέρες. Στην συνέχεια όσο μεγαλώνει ο χρόνος παραμονής, αναπτύσσονται οι NOB που οξειδώνουν τα νιτρώδη σε νιτρικά, και το παραγόμενο N_2O μειώνεται.

Συνοψίζοντας, βάση τα αποτελέσματα του σεναρίου προκύπτει ότι: α)για τιμές του θ_c όπου πρακτικά δεν γίνεται νιτροποίηση, το μεγαλύτερο ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου αποβάλλεται στην εκροή και οι εκπομπές του N_2O είναι πολύ μικρές. Επίσης για τιμές του θ_c μεγαλύτερες των 6 ημερών οι εκπομπές του N_2O μειώνονται β)κατά την μείωση του θ_c τα στερεά στο σύστημα και στην εκροή θα μειώνονται και συνεπώς μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου και καταναλισκόμενη ενέργεια

4.2.4 Τρίτη σειρά σεναρίων: Συνθετικές χρονοσειρές

4.2.4.1 Εισαγωγή

Οι διαθέσιμες εισροές για την περίοδο (01/09/2009-03/06/2012) θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές της συμπεριφοράς της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων. Ωστόσο, για να αντιμετωπίσουμε την εγγενή αβεβαιότητα των εισροών και σε μεγάλο βαθμό την αβεβαιότητα της ανάλυσης που διεξάγεται μέσα στο μοντέλο στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε την έννοια της στοχαστικής προσομοίωσης. Η βασική ιδέα η χρήση μεγάλου μήκους συνθετικών χρονοσειρών, ώστε να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα των δεδομένων εισόδου, και να αξιολογηθούν στη βάση τους οι αντιδράσεις του συστήματος που μας ενδιαφέρουν. Η χρήση συνθετικών χρονοσειρών έχει υιοθετηθεί ευρέως σε μελέτες υδάτινων πόρων, όπως μελέτες υδροσυστημάτων (Koutsoyiannis and Economou, 2003; Celeste and Billib, 2009; Tsoukalas and Makrogiannis, 2015) και μελέτες ανάλυσης κινδύνου λόγω πλημμύρων ή ξηρασίας (Wheater et al. 2005; Haberlandt et al. 2011).

Αναμφίβολα, μια σημαντική πτυχή τέτοιων προσεγγίσεων είναι η χρήση ενός στοχαστικού μοντέλου ικανού να αναπαράγει τα κύρια χαρακτηριστικά των διεργασιών, τα οποία, ανάλογα με τη συμπεριφορά των δεδομένων εισόδου μπορεί να παρουσιάζουν απόκλιση από την Γκαουσιανή κατανομή, διαλείπουσα συμπεριφορά, εξάρτηση (χρονική ή χωρική) και περιοδικότητα (Koutsoyiannis, 2005; Tsoukalas et al., 2019).

Μεταξύ των πολυάριθμων προσεγγίσεων που προσφέρονται από τη βιβλιογραφία (Tsoukalas et al., 2018a, 2018b; Haberlandt et al., 2011), στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μια νέα στοχαστική μέθοδος προσομοίωσης (Tsoukalas et al. 2018b, 2019), η οποία βασίζεται στο από κοινού μοντέλο πιθανότητας Nataf. Πιο συγκεκριμένα, το στοχαστικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι ικανό να προσομοιώσει στάσιμες ανελίξεις με οποιαδήποτε περιθώρια κατανομή και συσχέτιση.

Αν και αυτή η προσέγγιση έχει αρχικά αναπτυχθεί για την στοχαστική προσομοίωση υδρομετεωρολογικών διεργασιών, σημειώνεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την

προσομοίωση μη φυσικών διεργασιών, όπως αυτές που αντιμετωπίζονται στην παρούσα εργασία. Επίσης, το μοντέλο προσφέρει το πλεονέκτημα της αποφυγής της δημιουργίας μη-ρεαλιστικών μοτίβων εξάρτησης μεταξύ διαδοχικών χρονικών βημάτων (με δυνητικά σημαντικό αντίκτυπο στην απόκριση του συστήματος), ένα πρόβλημα που αποκαλύφθηκε πρόσφατα (Tsoukalas et al., 2018c), και σχετίζεται μεταξύ άλλων, με το στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης των Thomas and Fiering (1962).

Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία, αρχικά δημιουργήθηκε συνθετική χρονοσειρά (μήκους 100 ετών) ημερήσιας εισροής χρησιμοποιώντας το προαναφερθέν μοντέλο, όπως υλοποιείται στο πακέτο `anysim R` (Tsoukalas and Kossieris, 2019). Στη συνέχεια, λόγω των πολύ μεγάλων κενών στην καταγεγραμμένη σειρά, για τη δημιουργία συνθετικών σειρών για τα COD και TKN, χρησιμοποιήσαμε το μοντέλο δεσμευμένων πιθανοτήτων που περιγράφεται στο Tsoukalas (2019). Το μοντέλο αυτό επιτρέπει την περιγραφή εξαρτημένων κατανομών με οποιαδήποτε περιθώρια κατανομή. Ως εκ τούτου, οι συνθετικές σειρές για το COD και το TKN έχουν αναπτυχθεί με βάση τις συνθετικές χρονοσειρές ημερήσιας εισροής που δημιουργήθηκαν, διατηρώντας τη συσχέτισή τους.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του στοχαστικού μοντέλου, η περιθώρια κατανομή της εισροής έχει μοντελοποιηθεί (χρησιμοποιώντας τα ιστορικά δεδομένα και τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας) από τη κατανομή Weibull (με παραμέτρους: $shape=15.17$ και $scale=728945.4$), και η δομή αυτόσυσχέτισης χρησιμοποιώντας τη δομή αυτοσυσχέτισης τύπου Cauchy (με παραμέτρους: $\beta = 0,0001$ και $\kappa = 0,0375$). Σχετικά με τις περιθώριες κατανομές των COD και TKN, παρέχονται και στις δύο περιπτώσεις από τη κατανομή Gamma με παραμέτρους, $shape=36,30$ και $scale=19,85$ για το COD και $shape= 36,95$ και $scale=1,51$ για το TKN.

4.2.4.2 Στόχος Σεναρίου

Στο παρόν σενάριο στόχος είναι να ερευνηθεί μακροπρόθεσμα, τόσο η απόκριση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων όσο και οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών

εισόδου και εξόδου του μοντέλου. Συγκεκριμένα, ελέγχεται η απόκριση του συστήματος για δυναμική φόρτιση του μοντέλου διάρκειας 100 ετών, χρησιμοποιώντας τις δημιουργούμενες συνθετικές χρονοσειρές της εισροής Q, του οργανικού υλικού COD_{in} και του συνολικού αζώτου TN_{in} ως δεδομένα εισόδου.

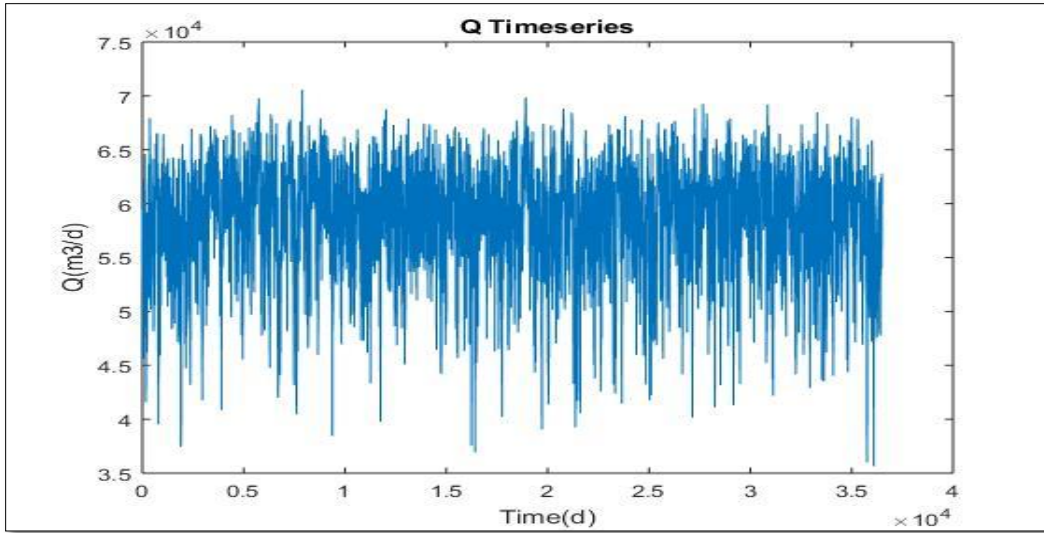
4.2.4.3 Δεδομένα προσομοίωσης

Για το σενάριο αυτό, χρησιμοποιούνται επίσης μεταβαλλόμενες θερμοκρασίες λυμάτων, που βασίζονται σε τυπικές τιμές μεγάλης ΕΕΛ. Λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φόρτου που προκύπτει από την χρήση συνθετικών χρονοσειρών μεγάλου μήκους, όπως επίσης και από την διαπίστωση ότι η εισαγωγή του ωριαίου υδρογραφήματος δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου, το σενάριο αυτό μελετάται σε ημερήσια βάση

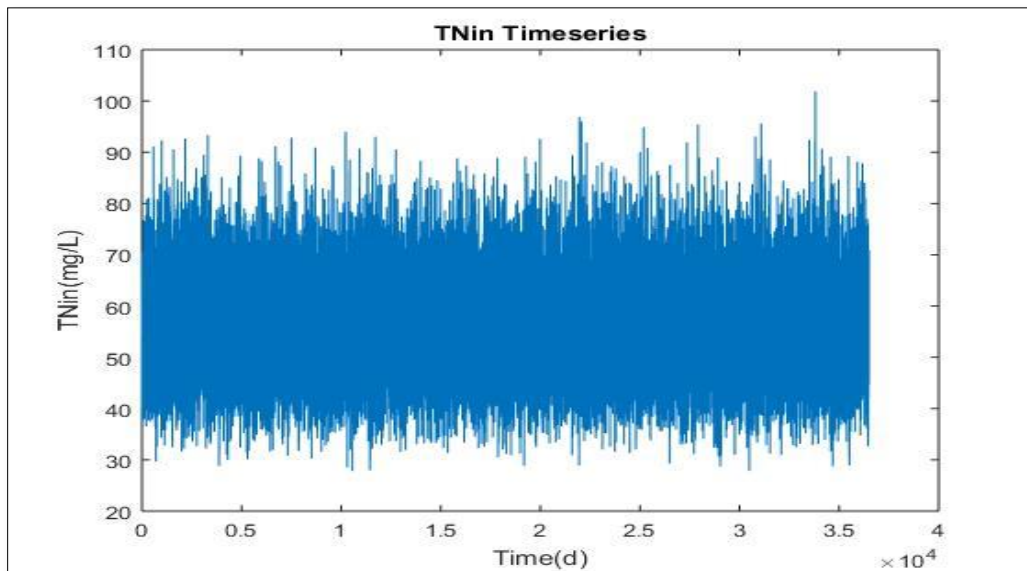
Στον πίνακα 4.14 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων οι οποίες μελετούνται ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια των σεναρίων. Στην συνέχεια στα σχήματα 4.91, 4.92 και 4.93 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των χαρακτηριστικών εισόδου.

4-14: Τιμές παραμέτρων για το σενάριο (Γ)

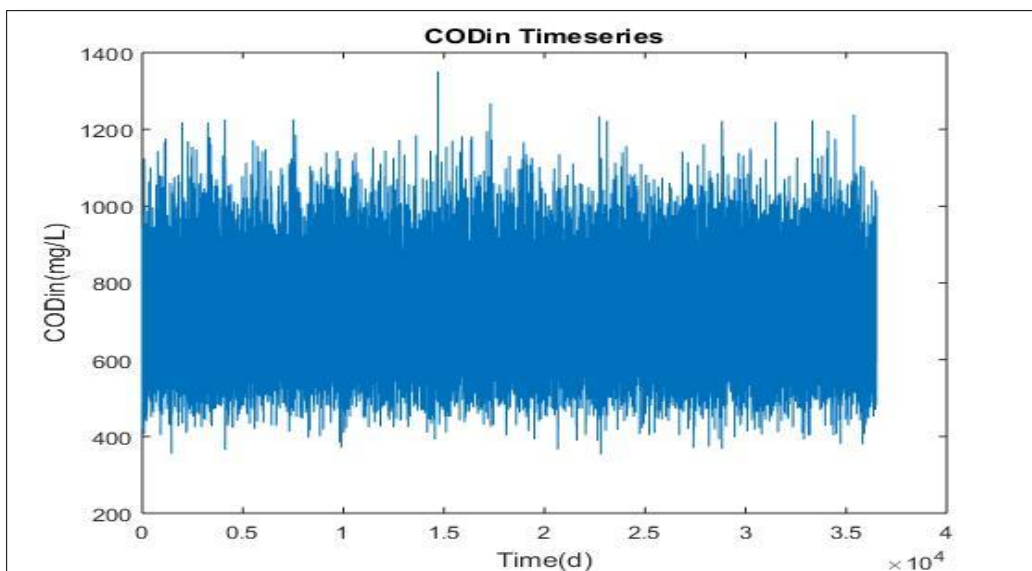
Παράμετρος		Τιμή	Μονάδες Μέτρησης
Θερμοκρασία Λυμάτων	therm	20	°C
Χρόνος Παραμονής Στερεών	SRT	10	days
Συγκέντρωση Ολικού Αζώτου εισόδου	TN_{in}	Σχήμα 4.104	mg/L
Συγκέντρωση Ολικού Οργανικού υλικού	COD_{in}	Σχήμα 4.105	mg/L
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	SS	22	%
Ποσοστό που καταλαμβάνει η Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη στο COD εισόδου	XS	63.5	%
Ημερήσιο Υδρογράφημα Παροχής	Q	Σχήμα 4.103	m³/d



Σχήμα 4-91: Συνθετική χρονοσειρά παροχής εισόδου



Σχήμα 4-92: Συνθετική χρονοσειρά του ολικού αζώτου εισόδου



Σχήμα 4-93: Συνθετική χρονοσειρά του οργανικού υλικού εισόδου

4.2.4.4 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα από την χρήση των συνθετικών χρονοσειρών, παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.16-4.19 και στα Σχήματα 4.94-4.102. Πιο συγκεκριμένα στους Πίνακες 4.16 και 4.17 παρουσιάζονται στατιστικά χαρακτηριστικά για τα δεδομένα εισόδου και τα δεδομένα εξόδου αντίστοιχα, ενώ στους Πίνακες 4.18 και 4.19 μπορούμε να δούμε τις συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που μελετούνται.

Με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά διαπιστώνεται ότι λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο του ολικού αζώτου, όσο και του συνολικού οργανικού υλικού, τα επεξεργασμένα λύματα στην εκροή της εγκατάστασης θα έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών και κατά συνέπεια και ολικού αζώτου της τάξης 34 mg/L. Οι συγκεντρώσεις αυτές δεν είναι επιτρεπτές βάση των ορίων που έχουν θεσπιστεί για τα επεξεργασμένα λύματα.

Στην συνέχεια ακολουθεί σχολιασμός για τους Πίνακες 4.18 και 4.19 και τις συσχετίσεις κάθε μεταβλητής και παρουσιάζονται διαγράμματα διασποράς για τις περιπτώσεις πολύ καλής συσχέτισης.

Πίνακας 4-15: Στατιστικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών εισόδου

	Q	CODin	MCODin	TKNin	MTKNin	Therm
Mean	58766.0	719.9	42340.7	55.8	3276.1	23.1
Stdev	4565.7	119.3	7960.1	9.2	569.3	2.5
Skew	-0.7654	0.3452	0.3563	0.3354	0.3486	-0.2325
Quantile0.25	56178.8	635.9	36732.4	49.4	2878.3	21.3
Quantile0.50	59369.0	713.5	41892.0	55.3	3243.1	23.2
Quantile0.75	61981.5	795.9	47439.8	61.8	3637.5	25.5
Quantile0.80	62578.8	817.4	48839.6	63.4	3744.2	26.1
Quantile0.90	64077.4	877.3	52759.7	67.9	4019.1	26.5
Quantile0.95	65227.0	926.3	56198.6	71.9	4266.7	26.7

Πίνακας 4-16 : Στατιστικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών εξόδου

	NHe	TNe	NO ₃ e	CODe	TSSe	NO ₂ Anox	SOTR	EQI	ENERGY	GHG	N2O
Mean	0.040	34.520	33.236	56.224	8.633	14.039	62634.6	26080.1	26198.4	458572.1	1250.0
Stdev	0.008	8.004	8.143	6.914	2.239	4.406	7769.0	4008.4	2324.5	104233.1	337.8
Skew	0.598	-0.914	-0.958	0.435	0.210	-1.918	0.084	-1.317	-0.077	-1.535	-2.014
Quantile0.25	0.034	31.104	29.865	51.335	7.065	13.115	57272.8	24617.5	24607.7	426880.4	1176.6
Quantile0.50	0.039	35.473	34.291	55.714	8.564	14.858	62702.5	26659.2	26246.8	471277.3	1298.1
Quantile0.75	0.045	39.524	38.327	60.593	10.119	16.485	67909.7	28537.7	27797.6	515454.8	1421.6
Quantile0.80	0.046	40.535	39.334	61.840	10.506	16.879	69194.9	28995.4	28180.9	526879.4	1452.9
Quantile0.90	0.050	43.265	42.063	65.286	11.652	17.955	72527.0	30196.3	29159.2	558889.5	1543.8
Quantile0.95	0.054	45.617	44.385	68.457	12.441	18.868	75309.8	31234.0	29967.4	588709.5	1630.4

Πίνακας 4-17: Συσχετίσεις των μεταβλητών με τα χαρακτηριστικά εισόδου

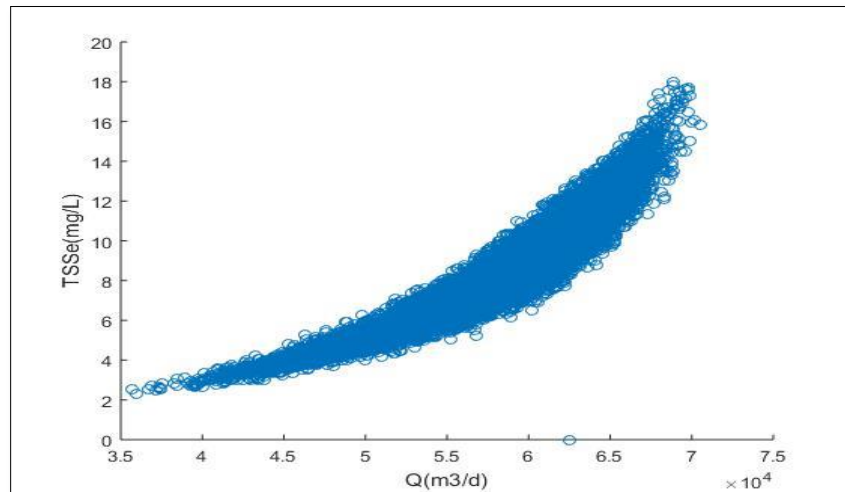
	Q	CODin	MCODin	TKNin	MTKNin	Therm
NHe	-0.366	0.138	-0.038	0.448	0.264	0.449
Tne	-0.422	-0.267	-0.410	0.401	0.191	0.402
NO3	-0.435	-0.275	-0.423	0.361	0.147	0.415
CODe	0.364	0.933	0.975	0.272	0.422	-0.378
TSSe	0.937	0.120	0.493	-0.104	0.323	-0.938
NO₂(Anox)	-0.307	0.161	0.007	0.308	0.156	0.319
SOTR	0.678	0.436	0.665	0.400	0.691	-0.642
EQI	0.188	-0.086	0.000	0.269	0.344	-0.162
ENERGY	0.719	0.422	0.669	0.373	0.684	-0.679
GHG	0.206	0.420	0.456	0.266	0.349	-0.168
N₂O	0.135	0.342	0.357	0.258	0.309	-0.098

Πίνακας 4-18: Συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών εξόδου

	NH ₃ -N	Tne	NO ₃ -N	CODe	TSS	NO ₂ (Anox)	SOTR	EQI	ENERGY	GHG	N ₂ O
NH ₃ -N	1.000	0.520	0.503	-0.025	-0.295	0.595	0.212	0.314	0.180	0.397	0.424
TNe	0.520	1.000	0.996	-0.399	-0.356	0.773	0.014	0.764	-0.009	0.403	0.481
NO ₃ -N	0.503	0.996	1.000	-0.409	-0.371	0.767	-0.014	0.759	-0.037	0.385	0.465
CODe	-0.025	-0.399	-0.409	1.000	0.447	0.011	0.622	-0.044	0.623	0.414	0.315
TSSe	-0.295	-0.356	-0.371	0.447	1.000	-0.250	0.773	0.237	0.806	0.242	0.164
NO ₂ (Anox)	0.595	0.773	0.767	0.011	-0.250	1.000	0.173	0.702	0.152	0.712	0.757
SOTR	0.212	0.014	-0.014	0.622	0.773	0.173	1.000	0.489	0.989	0.581	0.509
EQI	0.314	0.764	0.759	-0.044	0.237	0.702	0.489	1.000	0.490	0.684	0.713
ENERGY	0.180	-0.009	-0.037	0.623	0.806	0.152	0.989	0.490	1.000	0.579	0.506
GHG	0.397	0.403	0.385	0.414	0.242	0.712	0.581	0.684	0.579	1.000	0.993
N ₂ O	0.424	0.481	0.465	0.315	0.164	0.757	0.509	0.713	0.506	0.993	1.000

Όπως προαναφέρθηκε, ο Πίνακας 4.18 παρουσιάζει τις συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που μελετούνται και των χαρακτηριστικών εισόδου.

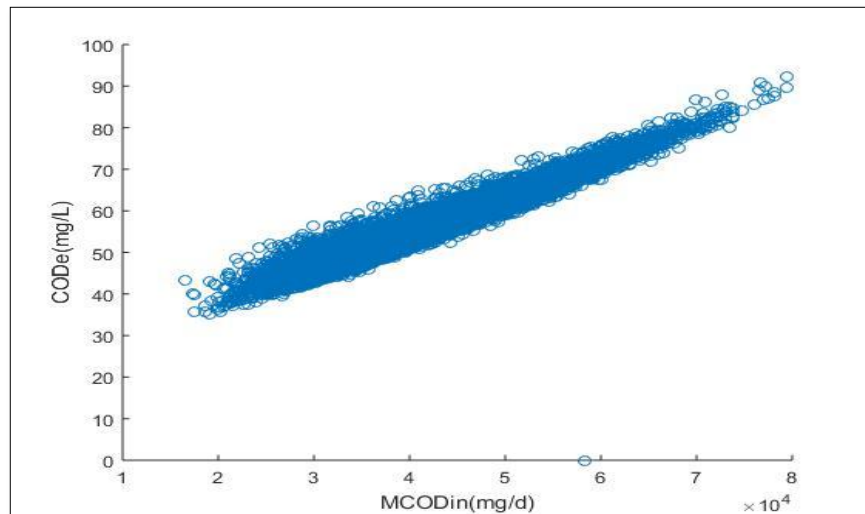
Παρατηρείται ότι η αύξηση της παροχής, θα επηρεάσει τις συγκεντρώσεις των στερεών στην έξοδο, με εντονότερο το φαινόμενο αυτό να παρουσιάζεται στα TSSe όπου εμφανίζεται συντελεστής συσχέτισης 0,937 που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.94. Αποτέλεσμα αυτού, αποτελεί και η πολύ καλή συσχέτιση της απαίτησης οξυγόνου και της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των αζωτούχων συστατικών στην εκροή όπως και των νιτρώδη στην ανοξική δεξαμενή θα μειωθούν για την τυχόν αύξηση της παροχής, που φαίνεται με τους αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης. Οι συντελεστές αυτοί επαληθεύουν τα αντίστοιχα τα συμπεράσματα του σεναρίου B1.



Σχήμα 4-94: Διάγραμμα διασποράς της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών στην εκροή σε σχέση με την παροχή εισερχόμενων λυμάτων στο σύστημα

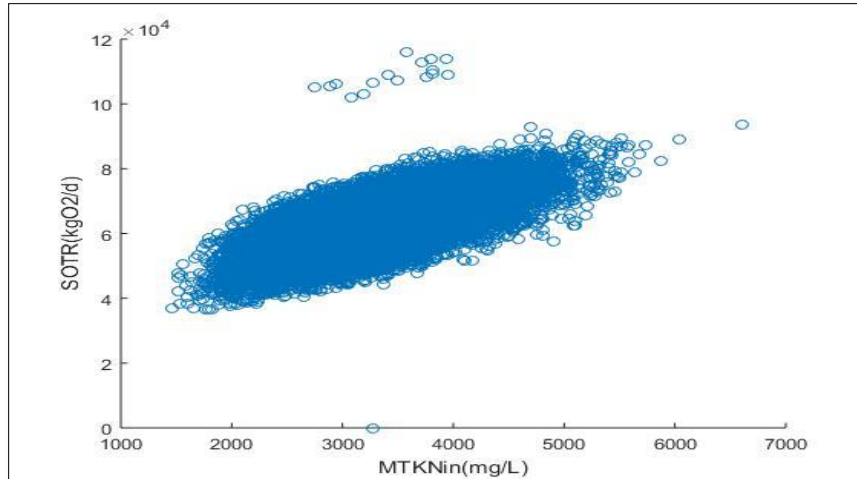
Η εισερχόμενη μάζα του εισερχόμενου οργανικού υλικού (MCOD_{in}), θα επηρεάσει όπως είναι επόμενο την συγκέντρωση του COD στην εκροή αλλά και του TSS σε μικρότερο βαθμό. Κατά συνέπεια αφού αυξάνονται οι μικροοργανισμοί στον βιολογικό αντιδραστήρα, θα αυξάνονται οι απαιτήσεις σε οξυγόνο και ενέργεια που επαληθεύεται με υψηλούς συντελεστές συσχέτισης. Όσον αφορά τα αζωτούχα συστατικά, μειώνονται κατά την αύξηση της εισερχόμενης μάζας του οργανικού υλικού

το οποίο συμβαίνει αντίστοιχα και στο σενάριο B2. Επίσης θα επηρεάσει την παραγωγή υποξειδίου του αζώτου όπου παρουσιάζεται θετικός συντελεστής συσχέτισης αντίθετα με τα σενάρια B2 και B4 όπου παρουσιάστηκε μικρή μείωση στην τιμή του N_2O μετά από την αύξηση του οργανικού υλικού στην είσοδο. Από την άλλη ο συντελεστής των αερίων του θερμοκηπίου πλησιάζει το 0,5 και συνάδει με τα προηγούμενα σενάρια.



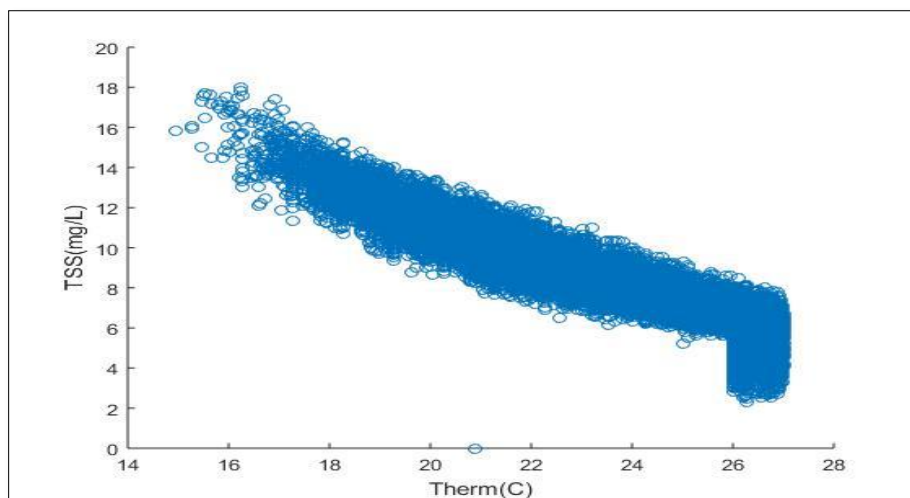
Σχήμα 4-95: Διάγραμμα διασποράς του οργανικού υλικού στην εκροή σε σχέση με την μάζα οργανικού υλικού που εισέρχεται στο σύστημα

Με την είσοδο μεγαλύτερης μάζας (MTNin), παρουσιάζεται αύξηση σε όλες τις επιμέρους μεταβλητές που μελετούνται μέσω του θετικού πρόσημου στους συντελεστές συσχέτισης. Παρόλα αυτά διαπιστώνεται ότι, ιδιαίτερα στα μη αζωτούχα συστατικά, αυτό οφείλεται στην εισερχόμενη παροχή. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η συσχέτιση που καταγράφεται για τα αζωτούχα συστατικά, στην συγκέντρωση των νιτρικών και συνεπώς στις εκπομπές N_2O και GHG. Επίσης παρουσιάζεται μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης για την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου σε σχέση με την εισερχόμενη μάζα του οργανικού υλικού, και απεικονίζεται στο Σχήμα 4.96.



Σχήμα 4-96: Διάγραμμα διασποράς του απαιτούμενου οξυγόνου σε σχέση με την μάζα αζώτου που εισέρχεται στο σύστημα

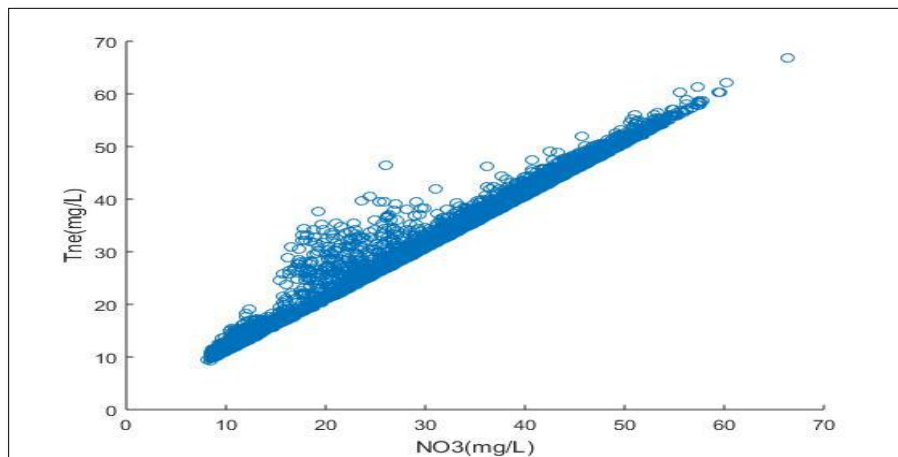
Όσον αφορά την επίδραση της θερμοκρασίας, παρατηρείται ότι επαληθεύονται μέσω των συντελεστών συσχέτισης τα αποτελέσματα του σεναρίου B6. Στο Σχήμα 4.97 αποτυπώνεται η συσχέτιση της θερμοκρασίας με τα αιωρούμενα στερεά στην εκροή, όπου διαπιστώνεται ότι σε μεγάλες θερμοκρασίες μειώνεται πολύ η συγκέντρωσή τους, λόγω της εξάρτησης της παραμέτρου φθοράς των μικροοργανισμών. Αντίθετα διαπιστώνεται ότι μακροπρόθεσμα η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή ενώ τα N_2O και GHG μειώνονται.



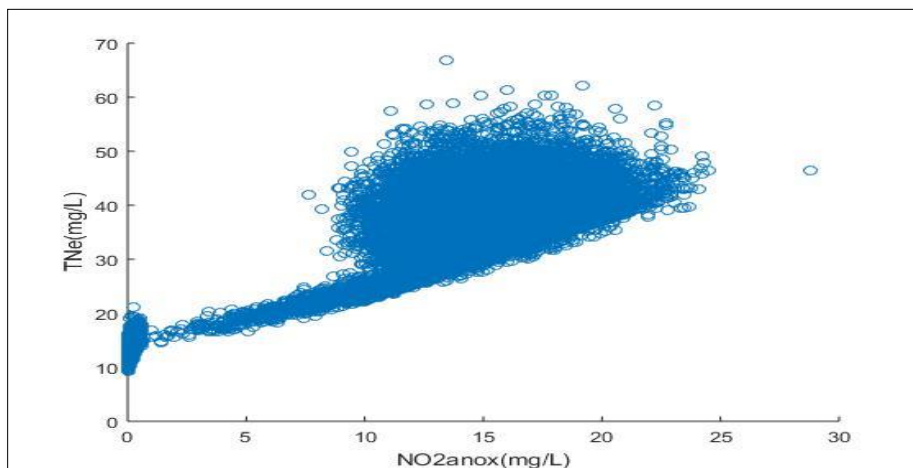
Σχήμα 4-97: Διάγραμμα διασποράς της συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών σε σχέση με την θερμοκρασία των λυμάτων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στον Πίνακα 4.19 αποτυπώνονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών που μελετούνται. Ακολουθεί ο σχολιασμός του και η αποτύπωση των σημαντικότερων συσχετίσεων στα Σχήματα 4.98-4.102.

Επιβεβαιώνεται η άμεση συσχέτιση μεταξύ των αζωτούχων συστατικών με μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ του ολικού αζώτου και των νιτρικών στην εκροή, η οποία αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.98. Επίσης στο Σχήμα 4.99, παρουσιάζεται διάγραμμα διασποράς που επαληθεύει την θεώρηση της αύξησης του ολικού αζώτου στην εκροή της εγκατάστασης κατά την ταυτόχρονη αύξηση των νιτρωδών στην ανοξική δεξαμενή όπως επίσης και η πολυπλοκότητα που συνδέει τις δύο μεταβλητές.



Σχήμα 4-98: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ ολικού αζώτου και του νιτρικού αζώτου στην εκροή

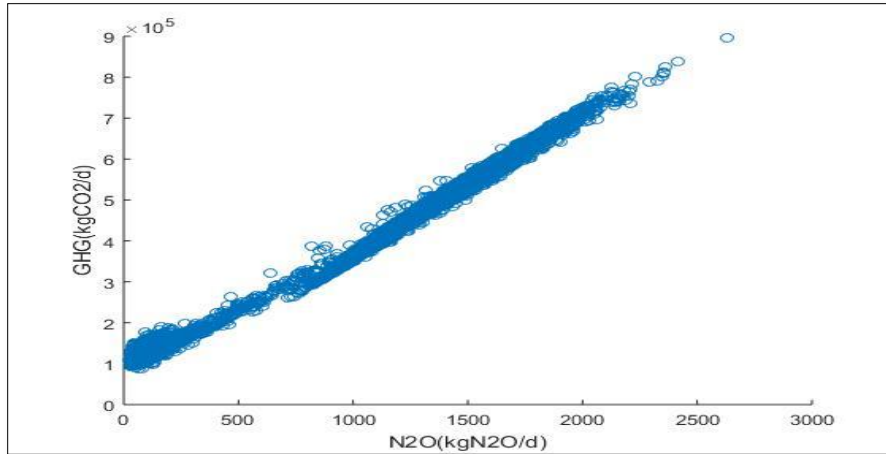


Σχήμα 4-99: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ ολικού αζώτου εκροής και των νιτρωδών στην ανοξική δεξαμενή

Η αύξηση των στερεών στην εκροή της εγκατάστασης και κυρίως των TSS, συσχετίζεται άμεσα με την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου και συνεπώς με την καταναλισκόμενη ενέργεια, με συντελεστές της τάξης του 0,8, αφού όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τους απαιτείται περισσότερο οξυγόνο και ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες τους.

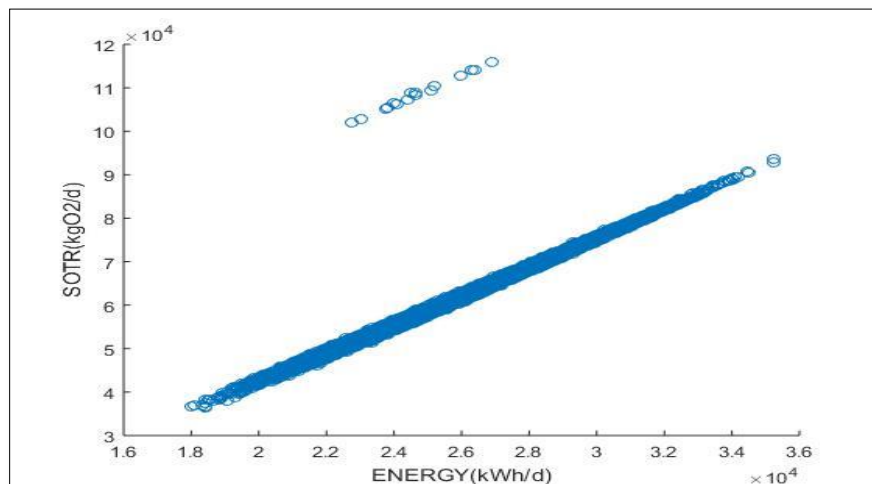
Ακόμα διακρίνεται η εξάρτηση του δείκτη απόδοσης ποιότητας από τα αζωτούχα συστατικά στην εκροή της εγκατάστασης. Ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης παρουσιάζεται στο ολικό άζωτο, ενώ από τις συνιστώσες του σημαντικότερη είναι η συγκέντρωση των νιτρικών όπως είναι αναμενόμενο λόγω του ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από την αμμωνία στην εκροή. Σε μικρότερο βαθμό φαίνεται να επηρεάζει η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών.

Παράλληλα, διακρίνεται ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του ολικού οργανικού υλικού στην εκροή της εγκατάστασης να είναι μεγαλύτερος από τους υπόλοιπους συντελεστές των ποιοτικών χαρακτηριστικών στην εκροή. Όμως είναι εμφανές ότι την μεγαλύτερη συνεισφορά στα αέρια του θερμοκηπίου έχει το υποξείδιο του αζώτου (Σχήμα 4.100) ενώ καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή N₂O έχει η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου στην ανοξική δεξαμενή, γεγονός που καταδεικνύει ότι η παραγωγή N₂O γίνεται μέσω διεργασιών οι οποίες σχετίζονται με την παραγωγή νιτρωδών στην ανοξική δεξαμενή.

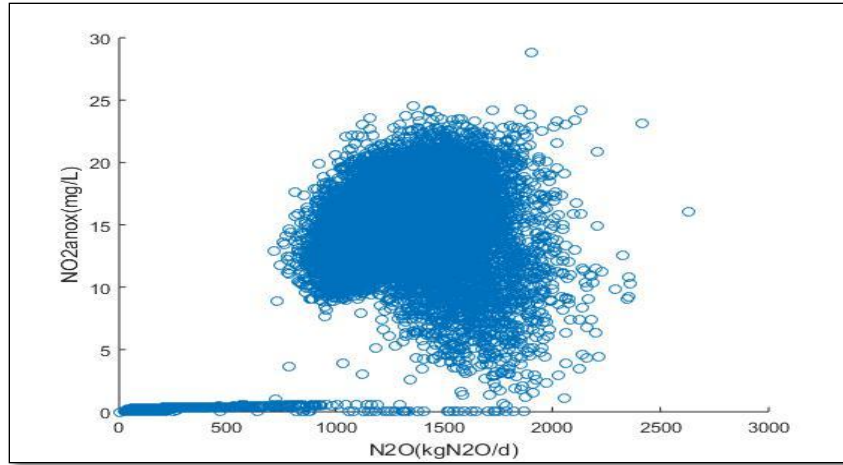


Σχήμα 4-100: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του παραγόμενου υποξειδίου του αζώτου

Τέλος, στο Σχήμα 4.101 αποτυπώνεται η έντονη συσχέτιση μεταξύ της απαίτησης οξυγόνου και της καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ στο Σχήμα 4.102 φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ του υποξειδίου του αζώτου και της συγκέντρωσης νιτρώδους αζώτου στην ανοξική δεξαμενή.



Σχήμα 4-101: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του απαιτούμενου οξυγόνου και της καταναλισκόμενης ενέργειας



Σχήμα 4-102: Διάγραμμα διασποράς μεταξύ του υποξειδίου του αζώτου και της συγκέντρωσης νιτρώδες αζώτου στην ανοξική δεξαμενή

5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, και τροποποιήθηκε έτσι ώστε να είναι σε θέση να επεξεργάζεται διακυμάνσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εισερχόμενων λυμάτων.

Το μοντέλο είναι σε θέση να υπολογίζει α) σε κάθε θέση μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων τις συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα και των κλασμάτων του, του αζώτου και των κλασμάτων του, β) την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, γ) τις απαιτήσεις οξυγόνου, δ) την κατανάλωση ενέργειας στην εγκατάσταση, ε) την παραγωγή ενέργειας (στην περίπτωση που η εγκατάσταση διαθέτει μονάδα αναερόβιας χώνευσης και μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας) και στ) τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (άμεσες και έμμεσες).

Ακολούθησε μια σειρά εφαρμογών προκειμένου να εξακριβωθεί η επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εισερχόμενων λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης από τις οποίες προέκυψαν τα κυριότερα συμπεράσματα που ακολουθούν:

- Οι μεταβολές που επιφέρει η εφαρμογή του ημερήσιου υδρογραφήματος στα τελικά αποτελέσματα στις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων στην εκροή είναι μικρή. Διαπιστώνεται κατά συνέπεια ότι στην περίπτωση στην οποία στόχος είναι η μελέτη της χρονικής μεταβολής της ποιότητας εκροής σε ημερήσια βάση είναι επαρκής η θεώρηση ενός μέσου ημερήσιου υδρογραφήματος σταθερού καθόλη την διάρκεια της μέρας. Βεβαίως, στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η αξιολόγηση της ωριαίας μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών εξόδου ο καθορισμός της ωριαίας διακύμανσης της παροχής των λυμάτων είναι απολύτως αναγκαίος.
- Η ωριαία μείωση της παροχής των λυμάτων έχει ως συνέπεια την μείωση της βιομάζας στο σύστημα και συνεπώς της ωριαίας απαιτούμενης ποσότητας οξυγόνου και ενέργειας. Αντίστοιχα με την μείωση της ωριαίας παροχής

- μειώνεται ο λόγος του βιοδιασπάσιμου οργανικού υλικού προς τα νιτρικά στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στην εκροή. Η αύξηση των νιτρικών στην εκροή συνοδεύεται παράλληλα από αύξηση των νιτρωδών και συνεπώς του N_2O και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ο δείκτης ποιότητας ακολουθεί την ωριαία διακύμανση της παροχής αφού αύξηση των εισερχομένων μαζών στο σύστημα θα προκαλέσουν αυξημένες συγκεντρώσεις στην εκροή.
- Σε αντίθεση με την επίδραση της ωριαίας διακύμανσης της παροχής των λυμάτων, η γνώση της ωριαίας μεταβολής των συγκεντρώσεων των εισερχομένων ρύπων σε συνδυασμό με την ωριαία διακύμανση της παροχής είναι απολύτως απαραίτητη για την ορθή εκτίμηση της απόκρισης της εγκατάστασης. Επομένως η χρήση σταθερών ημερήσιων τιμών της παροχής των λυμάτων και των συγκεντρώσεων εισόδου δεν αποδίδει την ακριβή εικόνα της απόδοσης μίας ΕΕΛ καθώς: α) οδηγεί στον υπολογισμό ευνοϊκών συγκεντρώσεων COD και αζώτου στην εκροή και συνεπώς τιμές του συνολικού δείκτη ποιότητας, β) αδυνατεί να προβλέψει τις μέγιστες ωριαίες τιμές τους και γ) συντελεί στον υπολογισμό χαμηλότερων συγκεντρώσεων νιτρώδους αζώτου στην ανοξική δεξαμενή με συνέπεια την υποεκτίμηση των παραγόμενων N_2O και των συνολικών εκπομπών GHG
 - Η κλασματοποίηση της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης των ανεπεξέργαστων λυμάτων επιδρά τόσο στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων όσο και στο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, είσοδος λυμάτων με μεγάλο εύκολα βιοδιασπάσιμο οργανικό φορτίο (Ss) έχει ως συνέπεια την βελτίωση της απονιτροποίησης και συνεπώς και την μείωση των νιτρικών και του ολικού αζώτου στην έξοδο. Ακόμα μειώνονται τα παραγόμενα νιτρώδη στην ανοξική δεξαμενή και κατ' επέκταση οι εκπομπές του N_2O και των GHG. Αντίθετα προκαλεί την αύξηση των MLSS στους βιολογικούς αντιδραστήρες γεγονός που έχει ως συνέπεια την αύξηση της ζήτησης οξυγόνου και συνεπώς και την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης εξαιτίας της αύξησης του ρυθμού

ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας. Διαπιστώνεται συνεπώς ότι η γνώση των επιμέρους κλασμάτων του COD των λυμάτων είναι αναγκαία για την ακριβή εκτίμηση της απόδοσης μίας ΕΕΛ.

- Η εισροή λυμάτων με πολύ υψηλό οργανικό φορτίο (μη τυπικής σύστασης αστικών λυμάτων) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μίας ΕΕΛ οδηγεί σε άμεση επιδείνωση της ποιότητας εκροής σε ότι αφορά στον οργανικό άνθρακα ενώ βελτιώνεται η απονιτροποίηση και συνεπώς μειώνεται η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου και επομένως και του ολικού αζώτου στην έξοδο λόγω υψηλότερου λόγου άνθρακα προς άζωτο στην είσοδο της ανοξικής δεξαμενής. Για τον ίδιο λόγο θα πρέπει να αναμένεται μικρότερη παραγωγή NO_2 στους βιολογικούς αντιδραστήρες και συνεπώς εκπομπών N_2O . Αντίθετα η αύξηση του οργανικού φορτίου εισόδου συντελεί σε ανάλογη αύξηση της ζήτησης οξυγόνου στους βιολογικούς αντιδραστήρες και συνεπώς την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Αντίστοιχα η εισροή λυμάτων μη τυπικής αστικής προέλευσης τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση του αμμωνιακού αζώτου στην τελική εκροή λόγω της εξάντλησης της μέγιστης νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος ενεργού ιλύος. Αυτό θα έχει ως συνέπεια και την μείωση του λόγου βιοδιασπάσιμης τροφής ως προς το άζωτο την μέρα αυτή και τελικά την αύξηση της συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου και των εκπομπών N_2O και GHG. Τέλος λόγω της αυξημένης νιτροποίησης αυξάνεται η ζήτηση οξυγόνου και η κατανάλωση της ενέργειας.
- Η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας του ανάμικτου υγρού οδηγεί σε επιδείνωση της ποιότητας εκροής η οποία εξαρτάται από τον ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας, την δυναμικότητα της ΕΕΛ και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της. Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι ένα σύστημα ενεργού ιλύος που λειτουργεί σε χαμηλές τιμές του χρόνου παραμονής στερεών είναι περισσότερο ευάλωτο ως προς την απόδοσή του σε σχέση με ένα σύστημα που λειτουργεί σε υψηλότερες τιμές του χρόνου παραμονής στερεών. Σε

περιπτώσεις που η μείωση της θερμοκρασίας είναι εντονότερη και διαρκέσει περισσότερο, τότε θα πρέπει να αναμένονται σημαντικότερες αλλαγές. Στην περίπτωση αυτή η διεργασία της νιτροποίησης θα είναι η κρισιμότερη αφού εάν η θερμοκρασία γίνει μικρότερη από μια κρίσιμη τιμή, καθιστά την ταχύτητα ανάπτυξης των νιτροποιητών ιδιαίτερα μικρή για να μπορέσει να αντεπεξέλθει στα εισερχόμενα φορτία.

- Από την ανάλυση που διενεργήθηκε για τον προσδιορισμό της επίδρασης του χρόνου παραμονής των στερεών C_c στο σύστημα, προέκυψε ότι για μικρές τιμές του C_c όπου πρακτικά δεν γίνεται νιτροποίηση, το μεγαλύτερο ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου αποβάλλεται στην εκροή και οι εκπομπές του N_2O είναι πολύ μικρές. Επίσης οι εκπομπές του N_2O μειώνονται για τιμές του C_c μεγαλύτερες των 6 ημερών. Αντίθετα κατά την αύξηση του C_c , τα στερεά στο σύστημα και στην εκροή θα αυξάνονται και συνεπώς θα απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου και καταναλισκόμενη ενέργεια για να καλυφθούν οι ανάγκες των μικροοργανισμών.
- Η παραγωγή και εφαρμογή συνθετικών χρονοσειρών για την ανάλυση της αβεβαιότητας που προκαλούν τα χαρακτηριστικά των λυμάτων είναι πολύ χρήσιμη. Ακολουθώντας αυτή τη μέθοδο στοχαστικής ανάλυσης μπορεί κανείς να αξιολογήσει αφενός την απόκριση μίας ΕΕΛ καθόλη τη διάρκεια της ζωής της και αφετέρου να διερευνήσει τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών εισόδου και των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης στην παρούσα εργασία επαληθεύτηκε και με τη χρήση στοχαστικών μεθόδων η εξάρτηση της παραγωγής εκπομπών υποξειδίου του αζώτου από το ρυθμό παραγωγής νιτρικών σε ανοξικές συνθήκες.

Βιβλιογραφία

- Alex, J., et al. "Benchmark simulation model no. 1 (BSM1)." Report by the IWA Taskgroup on Benchmarking of Control Strategies for WWTPs (2008): 19-20.
- Celeste AB, Billib M (2009) Evaluation of stochastic reservoir operation optimization models. *Adv Water Resour* 32:1429–1443.
- Gujer, Willi, et al. "Activated sludge model no. 3." *Water science and technology* 39.1 (1999): 183-193.
- Gupta, Diksha, and Santosh Kumar Singh. "Greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants: a case study of Noida." *Journal of Water Sustainability* 2.2 (2012): 131-139.
- Haberlandt U, Hundecha Y, Pahlow M, Schumann AH (2011) Rainfall generators for application in flood studies. In: *Flood Risk Assessment and Management*. Springer, pp 117–147
- Henze, Mogens, et al. "Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3." (2000).
- IPCC, 2007. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis." Cambridge University Press, Cambridge (2007)
- Kampschreur, Marlies J., et al. "Nitrous oxide emission during wastewater treatment." *Water research* 43.17 (2009): 4093-4103.
- Kossieris P, Tsoukalas I, Makropoulos C, Savic D (2019) Simulating Marginal and Dependence Behaviour of Water Demand Processes at Any Fine Time Scale. *Water* 11:885
- Koumaki, E., et al. "C-FOOT CTRL-tool: Development of an integrated tool for the assessment of the greenhouse gas emissions in wastewater treatment plants."

- Koutsoyiannis D (2005) Stochastic Simulation of Hydrosystems. In: Water Encyclopedia. John Wiley & Sons, Inc.
- Koutsoyiannis D, Economou A (2003) Evaluation of the parameterization-simulation-optimization approach for the control of reservoir systems. *Water Resour Res*
- Malamis, Simos, Evina Katsou, and Francesco Fatone. "Integration of energy efficient processes in carbon and nutrient removal from sewage." *Sewage Treatment Plants: Economic Evaluation of Innovative Technologies for Energy Efficiency* IWA Publishing (2015): 71.
- Massara, Theoni Maria, et al. "A review on nitrous oxide (N₂O) emissions during biological nutrient removal from municipal wastewater and sludge reject water." *Science of the Total Environment* 596 (2017): 106-123.
- Pan, Yuting, Bing-Jie Ni, and Zhiguo Yuan. "Modeling electron competition among nitrogen oxides reduction and N₂O accumulation in denitrification." *Environmental science & technology* 47.19 (2013): 11083-11091.
- Pan, Yuting, et al. "Evaluating two concepts for the modelling of intermediates accumulation during biological denitrification in wastewater treatment." *Water research* 71 (2015): 21-31.
- Takács, Imre, Gilles G. Patry, and Daniel Nolasco. "A dynamic model of the clarification-thickening process." *Water research* 25.10 (1991): 1263-1271.
- Thomas HA, Fiering MB (1962) Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. *Des water Resour Syst* 459–493
- Tsoukalas I (2019) Modelling and simulation of non-Gaussian stochastic processes for optimization of water-systems under uncertainty. PhD Thesis, Department of Water Resources and Environmental Engineering, National Technical University of Athens (Defence date: 20 December 2018)

- Tsoukalas I, Efstratiadis A, Makropoulos C (2019) Building a puzzle to solve a riddle: A multi-scale disaggregation approach for multivariate stochastic processes with any marginal distribution and correlation structure. *J Hydrol*.
- Tsoukalas I, Efstratiadis A, Makropoulos C (2018a) Stochastic Periodic Autoregressive to Anything (SPARTA): Modeling and simulation of cyclostationary processes with arbitrary marginal distributions. *Water Resour Res* 54:161–185.
- Tsoukalas I, Kossieris P (2019) anySim: Stochastic simulation of processes with any marginal distribution and correlation structure. R package
- Tsoukalas I, Makropoulos C (2015) A Surrogate Based Optimization Approach for the Development of Uncertainty-Aware Reservoir Operational Rules: the Case of Nestos Hydrosystem. *Water Resour Manag* 29:4719–4734.
- Tsoukalas I, Makropoulos C, Koutsoyiannis D (2018b) Simulation of stochastic processes exhibiting any-range dependence and arbitrary marginal distributions. *Water Resour Res*.
- Tsoukalas I, Papalexiou S, Efstratiadis A, Makropoulos C (2018c) A Cautionary Note on the Reproduction of Dependencies through Linear Stochastic Models with Non-Gaussian White Noise. *Water* 10:771
- Wheater HS, Chandler RE, Onof CJ, et al (2005) Spatial-temporal rainfall modelling for flood risk estimation. *Stoch Environ Res Risk Assess* 19:403–416.
- Wunderlin, Pascal, et al. "Mechanisms of N₂O production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions." *Water research* 46.4 (2012): 1027-1037.
- Ανδρεαδάκης Α., Νουτσόπουλος Κ. " Περιγραφή μοντέλου IAWQ. " Σημειώσεις για το μάθημα: Προχωρημένες μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.

Γκόβα Ε. "Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών." Διπλωματική Εργασία Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ (2017).

Δημητρίου Ε. "Ανάπτυξη μοντέλου εκτίμησης εκπομπών υποξειδίου του αζώτου." Διπλωματική Εργασία Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ (2017).

Σαραντόπουλος Β. "Ανάπτυξη και εφαρμογή ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων." Διπλωματική Εργασία Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ (2015).