



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Βασίλειος Σαραντόπουλος

**Επιβλέπων: Νουτσόπουλος Κ., Επίκουρος
Καθηγητής**

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Βασίλειος Σαραντόπουλος

**Επιβλέπων: Νουτσόπουλος Κ., Επίκουρος
Καθηγητής**

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η αναφορά, ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται καλοπίστως με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Copyright © Σαραντόπουλος Βασίλειος, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Ευχαριστίες...

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, κατά το έτος 2015.

Ολοκληρώνοντας αυτήν την προσπάθεια, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την ανάθεση της εργασίας, καθώς και για την αμέριστη βοήθεια και συνεχή καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις φίλες και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και το ενδιαφέρον που έδειχναν όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, που όλα αυτά τα χρόνια πιστεύει στις δυνατότητές μου και στηρίζει κάθε προσπάθειά μου. Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στους γονείς μου, Σταύρο και Πενιώ.

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xviii
ABSTRACT.....	xx
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Μοντέλα Ενεργού Ιλύος	3
2.2.1 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (ASM1)	3
2.2.1.1 Εισαγωγή.....	3
2.2.1.2 Συστατικά μοντέλου	4
2.2.1.3 Διεργασίες μοντέλου	4
2.2.1.4 Περιορισμοί μοντέλου	5
2.2.2 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο.2 (ASM2)	7
2.2.2.1 Εισαγωγή.....	7
2.2.2.2 Συστατικά μοντέλου	7
2.2.2.3 Διεργασίες μοντέλου	8
2.2.2.4 Περιορισμοί μοντέλου	10
2.2.2.5 Σύγκριση του ASM2 με το ASM1	14
2.2.3 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο.2d (ASM2d).....	15
2.2.4 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο.3 (ASM3)	15
2.2.4.1 Εισαγωγή.....	15
2.2.4.2 Συστατικά μοντέλου	15
2.2.4.3 Διεργασίες μοντέλου	16
2.2.4.4 Περιορισμοί μοντέλου	17
2.2.4.5 Σύγκριση του ASM3 με το ASM1	20
2.3 Μοντέλα καθίζησης.....	20
2.3.1 Εισαγωγή	20
2.3.3 Δισδιάστατα μοντέλα	25
2.4 Συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης ΕΕΛ (Benchmark Simulation Models).....	26
2.4.1 Εισαγωγή	26

2.4.2 Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1).....	26
2.4.2.1 Εισαγωγή.....	26
2.4.2.2 Προσομοιούμενο σύστημα	27
2.4.2.3 Διαδικασία προσομοίωσης.....	27
2.4.2.4 Εκτίμηση απόδοσης εγκατάστασης.....	28
2.4.3 Benchmark Simulation Model No. 2 (BSM2).....	29
2.4.3.1 Εισαγωγή.....	29
2.4.3.2 Προσομοιούμενο σύστημα	30
2.4.3.3 Διαδικασία προσομοίωσης.....	31
2.4.3.4 Εκτίμηση απόδοσης εγκατάστασης.....	31
2.4.3.5 Μοντέλο χώνευσης ADM1 για το BSM2	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Συστατικά μοντέλου	33
3.3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης	37
3.3.1 Εισαγωγή	37
3.3.2 Προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης	37
3.4 Μαθηματική προσομοίωση του βιολογικού αντιδραστήρα.....	40
3.4.1 Εισαγωγή	40
3.4.2 Διεργασίες μοντέλου.....	41
3.4.3 Περιγραφή βασικών εξισώσεων του μοντέλου	45
3.4.4 Παράμετροι του μαθηματικού ομοιώματος.....	50
3.4.5 Επίδραση της θερμοκρασίας στις βιολογικές διεργασίες.....	53
3.4.6 Ζήτηση οξυγόνου	54
3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης.....	57
3.5.1 Εισαγωγή	57
3.5.2 Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος	57
3.5.4 Υπομοντέλο καθίζησης.....	59
3.5.4 Όρια εξόδου – Δείκτης ποιότητας εκροής	66
3.6 Πάχυνση ιλύος.....	67
3.6.1 Εισαγωγή	67
3.6.2 Προσομοίωση πάχυνσης.....	68
3.7 Χώνευση ιλύος.....	71
3.7.1 Εισαγωγή	71
3.7.2 Προσομοίωση χώνευσης.....	72

3.7.3 Παραγωγή βιοαερίου	75
3.7.4 Απαιτήσεις θέρμανσης και θερμικές απώλειες χωνευτή.....	75
3.8 Αφυδάτωση	76
3.8.1 Εισαγωγή	76
3.8.2 Προσομοίωση αφυδάτωσης	77
3.9 Γραμμή στραγγιδίων	79
3.10 Κατανάλωση ενέργειας	81
3.10.1 Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια	81
3.10.2 Δείκτες κατανάλωσης ενέργειας.....	85
3.11 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.....	86
3.11.1 Εισαγωγή	86
3.11.2 Εντός εγκατάστασης εκπομπές	86
3.11.3 Εκτός εγκατάστασης εκπομπές	89
3.11.4 Δείκτες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	93
4.1 Προσομοιούμενο σύστημα.....	93
4.2 Σενάρια προσομοίωσης	96
4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	99
4.3.1 Σενάριο 1: Διερεύνηση της επίδρασης των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων στην απόδοση της εγκατάστασης.....	99
4.3.1.1 Σενάριο 1.Α: Επίδραση της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Y_H στην απόδοση της εγκατάστασης	99
4.3.1.2 Σενάριο 1.Β: Επίδραση της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας Y_A στην απόδοση της εγκατάστασης	105
4.3.1.3 Σενάριο 1.Γ: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μ_H στην απόδοση της εγκατάστασης.....	108
4.3.1.4 Σενάριο 1.Δ: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικών μ_A στην απόδοση της εγκατάστασης	112
4.3.2 Σενάριο 2: Διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων λειτουργίας στην απόδοση της εγκατάστασης	116
4.3.2.1 Σενάριο 2.Α: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών Θ_c στην απόδοση της εγκατάστασης.....	116
4.3.2.2 Σενάριο 2.Β: Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ στην απόδοση της εγκατάστασης	125
4.3.2.3 Σενάριο 2.Γ: Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης στερεών CR στην απόδοση της εγκατάστασης	130
4.3.2.4 Σενάριο 2.Δ: Επίδραση του βαθμού καταστροφής οργανικών στερεών στη χώνευση στην απόδοση της εγκατάστασης.....	135

4.3.2.5 Σενάριο 2.Ε: Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της εγκατάστασης	140
4.3.2.6 Σενάριο 2.ΣΤ: Επίδραση των ρυθμιζόμενων επιπέδων οξυγόνου (oxygen set points) στον αερόβιο βιοαντιδραστήρα στην απόδοση της εγκατάστασης	146
4.3.2.7 Σενάριο 2.Ζ: Επίδραση της ποιότητας λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης	150
4.3.2.8 Σενάριο 2.Η: Επίδραση του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος r στην απόδοση της εγκατάστασης.....	155
4.3.2.9 Σενάριο 2.Θ: Επίδραση του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας R στην απόδοση της εγκατάστασης	160
4.3.3 Σενάριο 3: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης.....	164
4.3.3.1 Σενάριο 3.Α: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης σε σταθερές λειτουργικές συνθήκες	164
4.3.3.2 Σενάριο 3.Β: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης με αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος.....	169
4.3.4 Σενάριο 4: Έλεγχος απόκρισης της εγκατάστασης σε δυναμική φόρτιση	173
4.3.4.1 Σενάριο 4.Α: Απόκριση της εγκατάστασης σε δίωρη αιχμή της παροχής	173
4.3.4.2 Σενάριο 4.Β: Απόκριση της εγκατάστασης σε μηνιαία δυναμική φόρτιση.....	178
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	183
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	188

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συστατικά του μοντέλου ASM1	4
Πίνακας 2.2: Στοιχειομετρία και διεργασίες του ASM1 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)	6
Πίνακας 2.3: Διαλυτά συστατικά του ASM2	8
Πίνακας 2.4: Σωματιδιακά συστατικά του ASM2	8
Πίνακας 2.5: Στοιχειομετρία διαλυτών συστατικών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9) ..	11
Πίνακας 2.6: Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9).....	12
Πίνακας 2.7: Ρυθμοί διεργασιών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9).....	13
Πίνακας 2.8: Διαλυτά συστατικά του ASM3	16
Πίνακας 2.9: Σωματιδιακά συστατικά του ASM3	16
Πίνακας 2.10: Στοιχειομετρικός πίνακας του ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)	18
Πίνακας 2.11: Ρυθμός διεργασιών του ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9).....	19
Πίνακας 2.12: Παράμετροι καθίζησης	23
Πίνακας 2.13: Όρια ποιότητας εκροής	28
Πίνακας 3.1: Συστατικά του μοντέλου προσομοίωσης	37
Πίνακας 3.2: Στοιχειομετρικές παράμετροι του μοντέλου προσομοίωσης	52
Πίνακας 3.3: Κινητικές παράμετροι μοντέλου προσομοίωσης.....	53
Πίνακας 3.4: Τυπικές τιμές συγκέντρωσης κορεσμού οξυγόνου σε νερό συναρτήσεως της θερμοκρασίας.....	55
Πίνακας 3.5: Στοιχειομετρικός πίνακας και ρυθμός διεργασιών μοντέλου προσομοίωσης.....	56
Πίνακας 3.6: Τιμές των V_0 και k συναρτήσεως διαφορετικών SVI, SSVI και DSVI (Πηγή: Μαθηματική Προσομοίωση Ανάπτυξης Νηματοειδών Μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος, Μπούκας Α. Νικόλαος)	59
Πίνακας 3.7: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις εκροής	66
Πίνακας 3.8: Συντελεστές βαρύτητας φορτίων εκροής	67
Πίνακας 3.9: Συνεισφορά καυσίμων για ικανοποίηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ελλάδα και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για κάθε καύσιμο.....	90
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά εισρέοντων λυμάτων	95

Πίνακας 4.2: Αρχικές συγκεντρώσεις συστατικών.....	95
Πίνακας 4.3: Εξεταζόμενα σενάρια	97
Πίνακας 4.4: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Α	99
Πίνακας 4.5: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Y_H	100
Πίνακας 4.6: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Y_H	100
Πίνακας 4.7: Ποσοστιαία συνεισφορά στραγγιδίων στα λύματα ανάντη της πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	102
Πίνακας 4.8: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του Y_H	102
Πίνακας 4.9: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του Y_H	103
Πίνακας 4.10: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του Y_H	104
Πίνακας 4.11: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Β.....	105
Πίνακας 4.12: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Y_A	106
Πίνακας 4.13: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Y_A	106
Πίνακας 4.14: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του Y_A	107
Πίνακας 4.15: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του Y_A	107
Πίνακας 4.16: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του Y_A	107
Πίνακας 4.17: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Γ	109
Πίνακας 4.18: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του μ_H	109
Πίνακας 4.19: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του μ_H	110
Πίνακας 4.20: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του μ_H	110
Πίνακας 4.21: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του μ_H	111
Πίνακας 4.22: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του μ_H	111
Πίνακας 4.23: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του μ_H	111
Πίνακας 4.24: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Δ.....	112

Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του μ_A	113
Πίνακας 4.26: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του μ_A	113
Πίνακας 4.27: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του μ_A	114
Πίνακας 4.28: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του μ_A	115
Πίνακας 4.29: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του μ_A	115
Πίνακας 4.30: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του μ_A	116
Πίνακας 4.31: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.A.....	117
Πίνακας 4.32: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Θ_c	118
Πίνακας 4.33: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Θ_c	118
Πίνακας 4.34: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος συναρτήσει του Θ_c	120
Πίνακας 4.35: Παροχή στραγγιδίων και ποσοστά συνεισφοράς στραγγιδίων στην εισροή συναρτήσει του Θ_c	121
Πίνακας 4.36: Θερμικές απαιτήσεις και παραγωγή θερμικής ενέργειας συναρτήσει του Θ_c	122
Πίνακας 4.37: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του Θ_c	123
Πίνακας 4.38: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του Θ_c	124
Πίνακας 4.39: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.B.....	125
Πίνακας 4.40: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ	126
Πίνακας 4.41: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ	126
Πίνακας 4.42: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ	126
Πίνακας 4.43: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.....	127
Πίνακας 4.44: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ	128

Πίνακας 4.45: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.....	129
Πίνακας 4.46: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Γ.....	130
Πίνακας 4.47: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσεως του CR.....	131
Πίνακας 4.48: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως του CR.....	131
Πίνακας 4.49: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσεως του CR.....	132
Πίνακας 4.50: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσεως του CR.....	133
Πίνακας 4.51: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως του CR.....	133
Πίνακας 4.52: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Δ.....	135
Πίνακας 4.53: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	136
Πίνακας 4.54: Χαρακτηριστικά ιλύος συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	136
Πίνακας 4.55: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	136
Πίνακας 4.56: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	137
Πίνακας 4.57: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	137
Πίνακας 4.58: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	138
Πίνακας 4.59: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	139
Πίνακας 4.60: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Ε.....	140
Πίνακας 4.61: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσεως της θερμοκρασίας.....	141
Πίνακας 4.62: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως της θερμοκρασίας.....	141
Πίνακας 4.63: Χαρακτηριστικά περισσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσεως της θερμοκρασίας.....	142

Πίνακας 4.64: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	143
Πίνακας 4.65: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	144
Πίνακας 4.66: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	145
Πίνακας 4.67: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.ΣΤ.....	146
Πίνακας 4.68: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	147
Πίνακας 4.69: Ποιότητα εκροής συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	147
Πίνακας 4.70: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	147
Πίνακας 4.71: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	148
Πίνακας 4.72: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	149
Πίνακας 4.73: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	149
Πίνακας 4.74: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Ζ.....	150
Πίνακας 4.75: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	151
Πίνακας 4.76: Ποιότητα εκροής συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	151
Πίνακας 4.77: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	152
Πίνακας 4.78: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και περίσσειας ιλύος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	152
Πίνακας 4.79: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	152
Πίνακας 4.80: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	153
Πίνακας 4.81: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	153

Πίνακας 4.82: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	154
Πίνακας 4.83: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Η	155
Πίνακας 4.84: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος.....	156
Πίνακας 4.85: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	156
Πίνακας 4.86: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	157
Πίνακας 4.87: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	157
Πίνακας 4.88: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	158
Πίνακας 4.89: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	159
Πίνακας 4.90: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Θ	160
Πίνακας 4.91: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσεως του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας	161
Πίνακας 4.92: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας	161
Πίνακας 4.93: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσεως του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	162
Πίνακας 4.94: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσεως του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	163
Πίνακας 4.95: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσεως του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	163
Πίνακας 4.96: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 3.Α.....	165
Πίνακας 4.97: Παροχές εισόδου σεναρίου 3.Α.....	165
Πίνακας 4.98: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσεως της παροχής εισόδου	165
Πίνακας 4.99: Ποιότητα εκροής συναρτήσεως της παροχής εισόδου	166
Πίνακας 4.100: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας ιλύος, περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσεως της παροχής εισόδου	167
Πίνακας 4.101: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσεως της παροχής εισόδου	167

Πίνακας 4.102: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει της παροχής εισόδου	168
Πίνακας 4.103: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 3.B.....	170
Πίνακας 4.104: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής συναρτήσει του μ_A , της θερμοκρασίας, της παροχής και του Θ_c	171
Πίνακας 4.105: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 4.A.....	173
Πίνακας 4.106: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 4.B.....	179

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Ροή COD στο ASM1 και στο ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)	20
Σχήμα 2.2: Στρωματοποίηση δεξαμενής καθίζησης.....	22
Σχήμα 2.3: Συνεισφορά κάθε στρώματος της δεξαμενής στο ισοζύγιο μάζας	24
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα της ταχύτητας καθίζησης συναρτήσει της συγκέντρωσης στερεών	25
Σχήμα 2.5: Σχέδιο της εγκατάστασης του BSM1.....	26
Σχήμα 2.6: Σχέδιο της εγκατάστασης του BSM2.....	30
Σχήμα 3.1: Διακριτοποίηση θέσεων δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης	38
Σχήμα 3.2: Μεταβολή του ρυθμού συναρτήσει της S_s	41
Σχήμα 3.3: Μεταβολή του ρυθμού συναρτήσει της S_s	42
Σχήμα 3.4: Μεταβολή του ρυθμού υδρόλυσης συναρτήσει του λόγου X_S/X_{BH}	45
Σχήμα 3.5: Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης	60
Σχήμα 3.6: Διακριτοποίηση θέσεων παχυντή	69
Σχήμα 3.7: Διακριτοποίηση ενδιαφερόμενων θέσεων για τη μονάδα χώνευσης	72
Σχήμα 3.8: Διακριτοποίηση των θέσεων της μονάδας αφυδάτωσης	77
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα προσομοιούμενης εγκατάστασης	94
Σχήμα 4.2: Συγκέντρωση του COD συναρτήσει του Y_H (αριστερά) και τιμή του δείκτη ποιότητας εκροής συναρτήσει του Y_H (δεξιά).....	101
Σχήμα 4.3: Μεταβολή της μάζας στερεών περισσειας συναρτήσει του Y_H	101
Σχήμα 4.4: Διαθέσιμη ενέργεια βιοαερίου συναρτήσει του Y_H	102
Σχήμα 4.5: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του Y_H	103
Σχήμα 4.6: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_H	104
Σχήμα 4.7: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_H	104
Σχήμα 4.8: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_A	108
Σχήμα 4.9: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής (αριστερά) και δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει του μ_A (δεξιά).....	114
Σχήμα 4.10: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής (αριστερά) και COD εκροής (δεξιά) συναρτήσει του Θ_c	119
Σχήμα 4.11: Μάζα ολικών αιωρούμενων στερεών (αριστερά) και αμμωνιακού αζώτου (δεξιά) των στραγγιδίων συναρτήσει του Θ_c	120

Σχήμα 4.12: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου συναρτήσει του Θ_c	121
Σχήμα 4.13: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του Θ_c	123
Σχήμα 4.14: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Θ_c	124
Σχήμα 4.15: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.....	127
Σχήμα 4.16: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.....	128
Σχήμα 4.17: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.....	129
Σχήμα 4.18: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του CR.....	132
Σχήμα 4.19: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του CR.....	134
Σχήμα 4.20: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του CR.....	134
Σχήμα 4.21: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	138
Σχήμα 4.22: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης.....	139
Σχήμα 4.23: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου συναρτήσει της θερμοκρασίας...	141
Σχήμα 4.24: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	142
Σχήμα 4.25: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	144
Σχήμα 4.26: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	145
Σχήμα 4.27: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.....	149
Σχήμα 4.28: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.....	154

Σχήμα 4.29: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	158
Σχήμα 4.30: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος	159
Σχήμα 4.31: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	162
Σχήμα 4.32: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	163
Σχήμα 4.33: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας.....	164
Σχήμα 4.34: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της παροχής εισόδου.....	166
Σχήμα 4.35: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει της παροχής εισόδου	168
Σχήμα 4.36: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της παροχής εισόδου	169
Σχήμα 4.37: Διακύμανση παροχής εισόδου σεναρίου 4.A	174
Σχήμα 4.38: Διακύμανση των TSS και COD εκροής.....	174
Σχήμα 4.39: Διακύμανση των TN και S_{NH} εκροής	175
Σχήμα 4.40: Διακύμανση παροχής περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων	175
Σχήμα 4.41: Διακύμανση ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR.....	176
Σχήμα 4.42: Διακύμανση παραγόμενου βιοαερίου	176
Σχήμα 4.43: Διακύμανση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	177
Σχήμα 4.44: Διακύμανση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	177
Σχήμα 4.45: Διακύμανση παροχής εισόδου σεναρίου 4.B	178
Σχήμα 4.46: Διακύμανση των TSS και COD εκροής.....	179
Σχήμα 4.47: Διακύμανση των TN και S_{NH} εκροής	180
Σχήμα 4.48: Διακύμανση ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR.....	180
Σχήμα 4.49: Διακύμανση μάζας αμμωνιακού αζώτου που περιέχεται στα στραγγίδια	180
Σχήμα 4.50: Διακύμανση της παροχής περίσσειας ιλύος.....	181
Σχήμα 4.51: Διακύμανση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	181
Σχήμα 4.52: Διακύμανση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	182

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Για την προσομοίωση του βιοαντιδραστήρα της εγκατάστασης το μαθηματικό ομοίωμα βασίστηκε στο μοντέλο ενεργού ιλύος ASM1, ενώ για τη δεξαμενή τελικής καθίζησης χρησιμοποιήθηκε ένα μονοδιάστατο μοντέλο, το οποίο στηρίζεται στη θεωρία ζωνικής καθίζησης. Για τις υπόλοιπες μονάδες της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκαν ισοζύγια μάζας βάσει του βαθμού απόδοσης κάθε μονάδας. Εκτός από την προσομοίωση των διεργασιών εντός των μονάδων της εγκατάστασης, το αναπτυσσόμενο μοντέλο έχει την ικανότητα να εκτιμά την παραγωγή βιοαερίου, τις καταναλώσεις οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα, τις καταναλώσεις ενέργειας σε κάθε μονάδα της εγκατάστασης και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Στη συνέχεια, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί μια σειρά από εφαρμογές που σχετίζονται με την επίδραση ορισμένων στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων στην απόδοση μιας προσομοιούμενης εγκατάστασης, καθώς και η επίδραση λειτουργικών παραμέτρων. Επιπλέον, διερευνάται η δυναμικότητα του συστήματος και, τέλος, η απόκριση της εγκατάστασης σε περιπτώσεις δυναμικής φόρτισης.

Τα κυριότερα ευρήματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των εξεταζόμενων εφαρμογών είναι τα εξής:

- Η παράμετρος των λυμάτων με τη μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση της εγκατάστασης είναι ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας (μ_A).
- Η εγκατάσταση δεν λειτουργεί αποδοτικά σε χαμηλούς χρόνους παραμονής στερεών (Θ_c) και χαμηλές θερμοκρασίες λυμάτων.
- Υψηλοί βαθμοί απόδοσης στις μονάδες πρωτοβάθμιας καθίζησης, πάχυνσης και αφυδάτωσης οδηγούν σε μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το παραγόμενο βιοαέριο αυξάνεται όταν οι μονάδες πρωτοβάθμιας καθίζησης και χώνευσης λειτουργούν αποδοτικότερα.
- Οι παράμετροι που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου είναι ο χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα (Θ_c), η θερμοκρασία των λυμάτων και η αποτελεσματικότητα του χωνευτή.
- Η αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας μειώνει τη δυναμικότητα του συστήματος.

Λέξεις κλειδιά

Εγκατάστασεις επεξεργασίας λυμάτων, προσομοίωση, ASM1, ζωνική καθίζηση, παραγωγή βιοαερίου, καταναλώσεις οξυγόνου, καταναλώσεις ενέργειας, εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι, λειτουργικές παράμετροι, δυναμικότητα συστήματος, δυναμική φόρτιση, αναχαίτιση νιτροποιητικής ικανότητας

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is the development and implementation of an integrated model for the simulation of the operation of waste water treatment plants. For the simulation of the bioreactor the mathematical model is based on the activated sludge model ASM1, while for the secondary clarifier a one-dimensional model is used which is based on the general flux theory for zone settling. For the other units of the plant mass balances based on the efficiency of each unit were used. In addition to the simulation of processes in the units of the plant, the developing model is able to estimate the biogas production, the oxygen consumption in the aerated compartments of the biological reactor, the energy consumption in each unit of the plant and the greenhouse gas emissions. Subsequently, this model is used for a number of implementations, which are related to the influence of some stoichiometric and kinetic parameters on a simulated plant's efficiency and the influence of operating parameters. In addition, an assessment of the system's capacity and, finally, the response of the plant in dynamic loading conditions was also performed.

The main conclusions that were emerged from the evaluation of the different implementations are:

- The parameter of wastewater with the greatest impact on the performance of the plant is the maximum specific growth rate of autotrophic biomass (μ_A).
- The plant can't operate efficiently at low solids retention time (SRT) and low temperatures.
- High efficiency in units of primary sedimentation, thickening and dewatering leads to a reduction in electricity consumption.
- The produced biogas is increased when units of primary sedimentation and digestion operate more efficiently.
- The parameters that effect mostly on greenhouse gas emissions is the solids retention time (SRT), the temperature of the wastewater and the efficiency of digester.
- Reduction of the nitrification capacity reduces the system's capacity.

Keywords

Waste water treatment plants, simulation, ASM1, zone settling, biogas production, oxygen consumption, energy consumption, greenhouse gas emissions, stoichiometric and kinetic, operating parameters, system's capacity, dynamic loading, reduction of the nitrification capacity.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούνται από πολλές μονάδες με διαφορετικό τρόπο λειτουργίας, το οποίο τις καθιστά ευαίσθητες σε ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Εξαιτίας αυτού, η προσομοίωση της λειτουργίας ολόκληρης της εγκατάστασης μετατρέπεται σε ένα πολύπλοκο εγχείρημα και για να καταστεί εφικτή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υπομοντέλα, τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τις παραμέτρους που επηρεάζουν κάθε μονάδα της εγκατάστασης. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί τόσο μοντέλα για την προσομοίωση των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης, όπως μοντέλα ενεργού ιλύος, μοντέλα καθίζησης, μοντέλα χώνευσης, όσο και ολοκληρωμένα συστήματα προσομοίωσης της εγκατάστασης, τα οποία συνδέουν επιμέρους υπομοντέλα για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Η πολυπλοκότητα που εμπεριέχει η διασύνδεση των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης αποτέλεσε το κίνητρο για την ανάπτυξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, το οποίο θα έχει την ικανότητα να εκτιμήσει τις επιπτώσεις οποιασδήποτε διαφοροποίησης παραμέτρων του συστήματος, τόσο στην ποιότητα εκροής όσο και στο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται συνοπτικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την προσομοίωση λειτουργίας μονάδων της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα κυριότερα μοντέλα ιλύος, μοντέλα καθίζησης, καθώς και συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας της εγκατάστασης, όπου για όλες τις μονάδες του συστήματος καταγράφονται οι εξισώσεις με τις οποίες μεταβάλλεται κάθε συστατικό των λυμάτων. Επίσης, καταγράφονται οι σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται η παραγωγή βιοαερίου, οι καταναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας, καθώς και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Εκτός των μεγεθών αυτών περιγράφονται και ορισμένοι δείκτες, οι οποίοι επιτρέπουν την ευκολότερη αξιολόγηση της λειτουργίας της εγκατάστασης.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εφαρμογών που διενεργήθηκαν με το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η επίδραση ορισμένων χαρακτηριστικών των λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης, καθώς και η επίδραση λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Επίσης, ελέγχεται η δυναμικότητα της εγκατάστασης και η απόκρισή της σε περιπτώσεις δυναμικής φόρτισης.

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση της λειτουργίας μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) προϋποθέτει την προσομοίωση των επιμέρους μονάδων της, δηλαδή των δεξαμενών καθίζησης, του βιολογικού αντιδραστήρα, των μονάδων πάχυνσης, της μονάδας χώνευσης της ιλύος και της μονάδας αφυδάτωσης. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί μοντέλα προσομοίωσης λειτουργίας τόσο των επιμέρους μονάδων του συστήματος, όπως μοντέλα ενεργού ιλύος και μοντέλα καθίζησης, όσο και του συνόλου της εγκατάστασης. Πάνω σε αυτά τα μοντέλα έχουν βασιστεί λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς για την προσομοίωση των εγκαταστάσεων.

Στην συνέχεια γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση μοντέλων ενεργού ιλύος, μοντέλων καθίζησης και συστημάτων ολοκληρωμένης προσομοίωσης μιας εγκατάστασης.

2.2 Μοντέλα Ενεργού Ιλύος

2.2.1 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (ASM1)

2.2.1.1 Εισαγωγή

Το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (Activated Sludge Model No.1 – ASM1) δημοσιεύτηκε το 1987 (Henze *et al.*) και υπήρξε το πρώτο μοντέλο που δημιούργησε η ειδική ομάδα εργασίας της IAWQ. Ο αρχικός σκοπός ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου που θα αποτελούσε τη βάση για μελλοντική ανάπτυξη μοντέλων απομάκρυνσης αζώτου.

Η μαθηματική προσομοίωση ενός μοντέλου ενεργού ιλύος θα πρέπει να καλύπτει ένα μεγάλο αριθμό αντιδράσεων μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού συστατικών, καθώς περιλαμβάνονται φαινόμενα όπως η οξειδωση του άνθρακα, η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση. Ωστόσο, κατά την ανάπτυξη του μοντέλου έγινε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν εξισώσεις που περιγράφουν απλά και αποτελεσματικά τις διεργασίες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα συστατικά και οι διεργασίες του μοντέλου ASM1, ενώ αναλυτική παρουσίασή του γίνεται στο κεφάλαιο 3.

2.2.1.2 Συστατικά μοντέλου

Σε συμφωνία με την ονοματολογία της IAWQ, για τον συμβολισμό των διαλυτών στοιχείων χρησιμοποιούμε το γράμμα S, ενώ για τα σωματιδιακά το γράμμα X. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται όλα τα συστατικά που περιλαμβάνονται στο ASM1.

Πίνακας 2.1: Συστατικά του μοντέλου ASM1

Συστατικά	Ερμηνεία
S_I	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
X_I	Αδρανής Αιωρούμενη Οργανική Ύλη
S_S	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
X_S	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
X_{BH}	Ετεροτροφική Βιομάζα
X_{BA}	Αυτοτροφική Βιομάζα
X_P	Σωματιδιακά Προϊόντα Φθοράς Μικροοργανισμών
S_O	Διαλυμένο Οξυγόνο
S_{NO}	Νιτρικό Άζωτο
S_{NH}	Αμμωνιακό Άζωτο
S_{ND}	Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο
X_{ND}	Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο
S_{ALK}	Αλκαλικότητα

2.2.1.3 Διεργασίες μοντέλου

Οι βασικές διεργασίες που προσομοιώνονται στο ASM1 είναι οι εξής:

- 1) Αερόβια και ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας. Οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καταναλώνοντας την εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή S_S και κάνοντας χρήση οξυγόνου και νιτρικού αζώτου αντίστοιχα.
- 2) Αερόβια ανάπτυξη αυτοτροφικής βιομάζας. Οι νιτροποιητές αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας το διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο.
- 3) Αποσύνθεση ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί φθείρονται και παράγονται αργά βιοδιασπάσιμη τροφή X_S και αδρανή προϊόντα φθοράς X_P .
- 4) Αμμωνιοποίηση. Κατά τη διεργασία αυτή το διαλυμένο οργανικό άζωτο S_{ND} μετατρέπεται σε αμμωνιακό S_{NH} .

- 5) Υδρόλυση οργανικών στερεών. Μέσω της υδρόλυσης η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη X_S μετατρέπεται σε εύκολα βιοδιασπάσιμη S_S και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξή τους.
- 6) Υδρόλυση οργανικού αζώτου. Το σωματιδιακό οργανικό άζωτο X_{ND} μετατρέπεται σε διαλυμένο οργανικό άζωτο S_{ND} .

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται η στοιχειομετρία του μοντέλου και ο ρυθμός κάθε διεργασίας που προσομοιώνεται.

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.
- Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου παραμένουν σταθερές, ανεξάρτητα από τη φύση του οργανικού υλικού.
- Δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι επιδράσεις του περιορισμού των θρεπτικών στην απομάκρυνση της οργανικής τροφής και στην ανάπτυξη των κυττάρων.
- Οι συντελεστές της απονιτροποίησης n_g και n_h 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 είναι στιγμιαία.
- Το είδος του αποδέκτη ηλεκτρονίων δεν επηρεάζει την αποσύνθεση των μικροοργανισμών.

Πίνακας 2.2: Στοιχειομετρία και διεργασίες του ASM1 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ρυθμός Διεργασιών ρ_i
	S_I	S_S	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			$-\frac{1-Y_H}{2,86Y_H}$	$-\frac{1-Y_H}{2,86Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} - \left(\frac{i_{XB}}{14} \right)$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH} n_g$
3. Αερόβια Αναπτυξη 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		$\frac{1}{14}$	$K_a S_{ND} X_{BH}$
7. Υδρόλυση Παγιδευμένων Οργανικών		1		-1										$K_h \frac{X_S/X_{BH}}{K_X + (X_S/X_{BH})} \left\{ \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + n_h \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right\} X_{BH}$
8. Υδρόλυση Παγιδευμένου Οργανικού Αζώτου											1	-1		$\rho_7 \left(\frac{X_{ND}}{X_S} \right)$
Παρατηρούμενος Ρυθμός Αντίδρασης	$r_i = \sum V_{ij} \rho_j$													

2.2.2 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο.2 (ASM2)

2.2.2.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο ενεργού ιλύος Νο. 2 (ASM2) δημοσιεύτηκε το 1995 (Henze et al.) και είναι μια επέκταση του μοντέλου ενεργού ιλύος Νο. 1 (ASM1). Το ASM2 είναι πιο σύνθετο και περιλαμβάνει περισσότερα συστατικά που απαιτούνται για να χαρακτηριστούν τα λύματα, καθώς και η ενεργός ιλύς. Επίσης, συμπεριλαμβάνονται πρόσθετες βιολογικές διεργασίες προκειμένου να εξεταστεί η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Η σημαντικότερη αλλαγή από το ASM1 στο ASM2 είναι το γεγονός ότι η βιομάζα έχει εσωκυτταρική αποθηκευτική ικανότητα, το οποίο αποτελεί μια προϋπόθεση προκειμένου να συμπεριληφθεί η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου στο μοντέλο. Επιπρόσθετα, εκτός από τις βιολογικές διεργασίες, το ASM2 περιλαμβάνει δύο χημικές διεργασίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τη χημική απομάκρυνση του φωσφόρου.

Μια ακόμη σημαντική λεπτομέρεια του ASM2 είναι ότι δεν διαχωρίζει τη σύσταση κάθε ξεχωριστού κυτάρου, αλλά θεωρεί μια μέση σύσταση όλης της βιομάζας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε κύτταρο έχει τη δική του εσωτερική δομή και σύσταση, συμπεραίνουμε ότι η σύστασή του πιθανώς να αποκλίνει από τη μέση σύσταση του πληθυσμού των κυττάρων.

2.2.2.2 Συστατικά μοντέλου

Και στο ASM2 ισχύουν οι κανόνες ονοματολογίας της IAWQ. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα διαλυτά συστατικά του μοντέλου και στον Πίνακα 2.4 τα σωματιδιακά.

Πίνακας 2.3: Διαλυτά συστατικά του ASM2

Συστατικό	Ερμηνεία
S_A	Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης
S_{ALK}	Αλκαλικότητα
S_F	Ζυμώσιμο, Εύκολα Βιοδιασπάζσιμη Οργανική Ύλη
S_I	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
S_{N2}	Αέριο Άζωτο
S_{NH4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
S_{NO3}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
S_{O2}	Διαλυμένο Οξυγόνο
S_{PO4}	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος
S_S	Εύκολα Βιοδιασπάζσιμη Οργανική Ύλη

Πίνακας 2.4: Σωματιδιακά συστατικά του ASM2

Συστατικό	Ερμηνεία
X_{AUT}	Νιτροποιητές
X_H	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί
X_{MeOH}	Υδροξείδια μετάλλων
X_{MeP}	Φωσφορικά μέταλλα
X_{PAO}	Πολυφωσφορικοί μικροοργανισμοί
X_{PHA}	Εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης στους Πολυφωσφορικούς μικροοργανισμούς
X_{PP}	Πολυφωσφορικά
X_S	Αργά Βιοδιασπάζσιμη Οργανική Ύλη
X_{TSS}	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά

2.2.2.3 Διεργασίες μοντέλου

Οι διεργασίες που παρουσιάζονται στο ASM2 είναι οι εξής:

Διεργασίες 1-3 : Υδρόλυση

Μέσω της διεργασίας της υδρόλυσης η αργά βιοδιασπάζσιμη οργανική ύλη X_S , μετατρέπεται με εξωκυτταρική ενζυματική δράση σε εύκολα βιοδιασπάζσιμη οργανική

ύλη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μικροοργανισμούς. Ο βαθμός υδρόλυσης εξαρτάται από τον διαθέσιμο αποδέκτη ηλεκτρονίων και γι' αυτό στο ASM2 διακρίνονται τρεις διεργασίες υδρόλυσης:

α) Αερόβια Υδρόλυση ($S_{O_2} > 0$)

β) Ανοξική Υδρόλυση ($S_{O_2} = 0$ και $S_{NO_3} > 0$)

γ) Αναερόβια Υδρόλυση ($S_{O_2} = 0$ και $S_{NO_3} = 0$)

Διεργασίες 4-9 : Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί

Οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί μπορούν να αναπαραχθούν είτε αερόβια (διεργασίες 4 και 5) είτε ανοξικά (διεργασίες 6 και 7). Και στις δυο περιπτώσεις έχουμε κατανάλωση S_F και S_A . Η διαφορά που παρατηρείται είναι στον αποδέκτη ηλεκτρονίων, όπου κατά την αερόβια ανάπτυξη είναι το οξυγόνο, ενώ κατά την ανοξική είναι το νιτρικό άζωτο.

Επίσης, οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν το S_F σε S_A κάτω από αναερόβιες διεργασίες μέσω ζύμωσης (διεργασία 8).

Τέλος, οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί αποσυντίθενται με ανάλογο τρόπο με αυτόν του ASM1 (διεργασία 9).

Διεργασίες 10-15 : Πολυφωσφορικά βακτηρίδια

Στο μοντέλο ASM2, σύμφωνα με τη διεργασία 11, εκτιμάται ότι τα πολυφωσφορικά βακτηρίδια (PAO) έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν, κάτω από αερόβιες συνθήκες, στο εσωτερικό τους διαλυτό φώσφορο με τη μορφή X_{PP} . Τα X_{PP} με την σειρά τους έχουν την ικανότητα να υδρολύονται και να αποδεσμεύεται διαλυτός φώσφορος S_{PO_4} . Επίσης, κατά την υδρόλυση εκλύεται ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούν τα PAO για να αποθηκεύσουν στο εσωτερικό τους τα προϊόντα S_A με τη μορφή PHA (διεργασία 10). Τα προϊόντα X_{PHA} που έχουν αποθηκεύσει στο εσωτερικό τους, τα καταναλώνουν κάτω από αερόβιες συνθήκες για να αναπτυχθούν τα PAO (διεργασία 12). Τέλος, δεδομένου ότι τα συστατικά X_{PHA} και X_{PP} υπολογίζονται ξεχωριστά από το συστατικό X_{PAO} , θεωρούμε ότι έχουμε τρεις διαφορετικές διεργασίες αποσύνθεσης (διεργασίες 13-15).

Διεργασίες 16-17 : Νιτροποίηση

Η διεργασία ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών προσομοιώνεται όπως και στο ASM1, με τη μόνη διαφορά ότι γίνεται θεώρηση για πρόσληψη φωσφόρου

στη βιομάζα. Επίσης, η λύση της αυτοτροφικής βιομάζας διαμορφώνεται σε αναλογία με το ASM1, με τελικά προϊόντα φθοράς X_S και X_I .

Στους Πίνακες 2.5 και 2.6 παρουσιάζονται η στοιχειομετρία των διαλυτών και σωματιδιακών συστατικών αντίστοιχα, ενώ στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται οι ρυθμοί κάθε διεργασίας του μοντέλου.

2.2.2.4 Περιορισμοί μοντέλου

Στο ASM2 έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές σχετικά με τη βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων των πολυφωσφορικών μικροοργανισμών:

- Εκτιμάται ότι τα προϊόντα ζύμωσης S_A 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 S_A 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 2.5: Στοιχειομετρία διαλυτών συστατικών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

Στοιχειομετρικός Πίνακας για Διαλυτά Συστατικά									
Διεργασία	S _{O2}	S _F	S _A	S _{NH4}	S _{NO3}	S _{PO4}	S _I	S _{ALK}	S _{N2}
Υδρόλυση									
1. Αερόβια υδρόλυση		1 - f _{S1}		V _{1,NH4}		V _{1,PO4}	f _{S1}	V _{1,ALK}	
2. Ανοξική υδρόλυση		1 - f _{S1}		V _{2,NH4}		V _{2,PO4}	f _{S1}	V _{2,ALK}	
3. Αναερόβια υδρόλυση		1 - f _{S1}		V _{3,NH4}		V _{3,PO4}	f _{S1}	V _{3,ALK}	
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί									
4. Αερόβια ανάπτυξη με S _F	1 - $\frac{1}{Y_H}$	$\frac{1}{Y_H}$							
5. Αερόβια ανάπτυξη με S _A	1 - $\frac{1}{Y_H}$		$\frac{1}{Y_H}$						
6. Ανοξική ανάπτυξη με S _F - Απονιτροποίηση		$\frac{1}{Y_H}$			$\frac{1 - Y_H}{2,86Y_H}$				$\frac{1 - Y_H}{2,86Y_H}$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - Απονιτροποίηση			$\frac{1}{Y_H}$		$\frac{1 - Y_H}{2,86Y_H}$				$\frac{1 - Y_H}{2,86Y_H}$
8. Ζύμωση		-1	1						
9. Λύση									
Πολυφωσφορικά βακτηρίδια									
10. Αποθήκευση των X _{FHA}			-1			Y _{PO4}			
11. Αποθήκευση των X _{FP}	-Y _{FHA}					-1			
12. Αερόβια ανάπτυξη των X _{FPO}	1 - $\frac{1}{Y_H}$					-i _{PBM}			
13. Λύση των X _{FPO}						V _{13,PO4}			
14. Λύση των X _{FP}						1			
15. Λύση των X _{FHA}			1						
Νιτροποιητές									
16. Αερόβια ανάπτυξη των X _{AUT}	$\frac{4,57 - Y_A}{Y_A}$			$-i_{NBM} - \frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	-i _{PBM}			
17. Λύση				V _{17,NH4}		V _{17,PO4}			
Χημική Απομάκρυνση Φωσφόρου									
18. Απομάκρυνση						-1		V _{18,ALK}	
19. Επαναδιάλυση						1		V _{19,ALK}	

Πίνακας 2.6: Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

Διεργασία	Στοιχειομετρικός Πίνακας για Σωματιδιακά Συστατικά									
	X_I	X_S	X_H	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}	X_{AUT}	X_{MeOH}	X_{MeP}	X_{TSS}
Υδρόλυση										
1. Αερόβια υδρόλυση		-1								$V_{1,TSS}$
2. Ανοξική υδρόλυση		-1								$V_{2,TSS}$
3. Αναερόβια υδρόλυση		-1								$V_{3,TSS}$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί										
4. Αερόβια ανάπτυξη με S_F			1							
5. Αερόβια ανάπτυξη με S_A			1							
6. Ανοξική ανάπτυξη με S_F - Απονιτροποίηση			1							
7. Ανοξική ανάπτυξη με S_A - Απονιτροποίηση			1							
8. Ζύμωση										
9. Λύση	f_{X_1}	$1 - f_{X_1}$	-1							
Πολυφωσφορικά βακτηρίδια										
10. Αποθήκευση των X_{PHA}					$-Y_{PO4}$	1				
11. Αποθήκευση των X_{PP}					1	$-Y_{PHA}$				
12. Αερόβια ανάπτυξη των X_{PAO}				1		$-\frac{1}{Y_H}$				
13. Λύση των X_{PAO}	f_{X_1}	$1 - f_{X_1}$		-1						
14. Λύση των X_{PP}					-1					
15. Λύση των X_{PHA}						-1				
Νηροποιητές										
16. Αερόβια ανάπτυξη των X_{AUT}							1			
17. Λύση	f_{X_1}	$1 - f_{X_1}$					-1			
Χημική Απομάκρυνση Φωσφόρου										
18. Απομάκρυνση								-3,45	4,87	1,42
19. Επαναδιάλυση								3,45	-4,87	-1,42

Πίνακας 2.7: Ρυθμοί διεργασιών του ASM2 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

Διεργασία	Ρυθμός διεργασίας ρ_i
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	$K_h \cdot n_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί	
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 - Αποनिπροποίηση	$\mu_H \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S_A - Αποनिπροποίηση	$\mu_H \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_A}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
8. Ζύμωση	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9. Λύση	$b_H \cdot X_H$
Πολυφωσφορικά βακτηρίδια	
10. Αποθήκευση των X_{PHA}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Αποθήκευση των X_{PP}	$q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
12. Αερόβια ανάπτυξη των X_{PAO}	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
13. Λύση των X_{PAO}	$b_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
14. Λύση των X_{PP}	$b_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
15. Λύση των X_{PHA}	$b_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
Νιτροποιητές	
16. Αερόβια ανάπτυξη των X_{AUT}	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
17. Λύση	$b_{AUT} \cdot X_{AUT}$
Χημική Απομάκρυνση Φωσφόρου	
18. Απομάκρυνση	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
19. Επαναδιάλυση	$k_{RED} \cdot X_{MeP}$

2.2.2.5 Σύγκριση του ASM2 με το ASM1

Η ανάπτυξη του ASM2 βασίστηκε στο ASM1, το οποίο είχε αποδειχθεί ότι ήταν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο. Παρ' αυτά δεν είναι λίγες οι διαφορές μεταξύ των δυο μοντέλων, οι κυριότερες των οποίων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Βασική διαφορά των δυο μοντέλων είναι ο σκοπός για τον οποίο έχουν δημιουργηθεί. Το ASM1 προσομοιώνει πολύ καλά τις διεργασίες της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης, δηλαδή παρουσιάζει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την απομάκρυνση αζώτου από το σύστημα. Το ASM2, από τη μεριά του, εκτός από την απομάκρυνση του αζώτου στοχεύει στην απομάκρυνση του φωσφόρου, τόσο με βιολογικές διεργασίες όσο και με χρήση χημικών. Το γεγονός αυτό κάνει το ASM2 πιο πολύπλοκο και επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης περισσότερων μεταβλητών. Μια βασική προϋπόθεση για να περιγραφεί η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι ότι η βιομάζα έχει εσωτερική δομή, το οποίο δεν ισχύει στο μοντέλο ASM1.

Μια ακόμη σημαντική διαφορά είναι ότι το ASM1 βασίστηκε εξ' ολοκλήρου στο COD για όλα τα σωματιδιακά οργανικά υλικά. Αντίθετα, το ASM2 περιλαμβάνει τα πολυφωσφορικά, ένα συστατικό της ενεργού ιλύος που είναι πρωταρχικής σημασίας για την απόδοση του συστήματος, το οποίο όμως δεν είναι δυνατό να αποτυπωθεί σε όρους COD. Για το λόγο αυτό, εισάγεται στο ASM2 ο όρος των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS).

Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη S_s όπως αναφέρεται στο ASM1, διαιρείται στο ASM2 σε S_F , που είναι το διαλυτό COD που χρησιμοποιείται ως τροφή από τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξη τους, και σε S_A , που είναι τα προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης, διεργασίας που περιγράφεται στο μοντέλο.

Στο μοντέλο ASM2 η διεργασία της υδρόλυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε αναερόβιες συνθήκες, σε αντίθεση με το ASM1 που η υδρόλυση διενεργείται μόνο κάτω από αερόβιες και ανοξικές συνθήκες.

Τέλος, μια ακόμη διαφορά των δυο μοντέλων έχει να κάνει με τις μορφές αζώτου που διαχειρίζονται. Στο ASM1 υπάρχει ως συστατικό το σωματιδιακό οργανικό άζωτο το οποίο υδρολύεται και μετατρέπεται σε διαλυμένο οργανικό, το οποίο μέσω της αμμωνιοποίησης γίνεται αμμωνιακό άζωτο. Στο ASM2 δεν περιλαμβάνονται αυτά τα συστατικά, και επομένως ούτε οι διεργασίες μετατροπής του αζώτου. Επίσης, στο ASM2, σε αντίθεση με το ASM1, προσομοιώνεται το αέριο άζωτο S_{N2} , το οποίο είναι αποτέλεσμα της απονιτροποίησης.

2.2.3 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος No.2d (ASM2d)

Στο μοντέλο ASM2 ένα άλυτο κομμάτι υπήρξε η απονιτροποίηση των πολυφωσφορικών μικροοργανισμών (PAOs). Από τη δημοσίευση του ASM2 (Henze et al., 1995) έχει αποδειχθεί (Mino et al., 1995, Meinhold et al., 1999, Kern-Jespersen and Henze, 1993) ότι σε μια προσομοίωση μπορεί να θεωρηθεί πως τα PAOs αποτελούνται από δυο κλάσματα, το ένα από τα οποία μπορεί να απονιτροποιηθεί. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη επέκτασης του ASM2, σε ένα νέο μοντέλο, το οποίο ονομάστηκε Μοντέλο Ενεργού Ιλύος No. 2d (ASM2d). Το ASM2d χρησιμοποιεί τις έννοιες που ενσωματώθηκαν στα μοντέλα ASM2 και ASM1 (Henze et al., 1987).

Το ASM2d είναι μια μικρή επέκταση του ASM2, καθώς περιλαμβάνει μόλις δυο πρόσθετες διεργασίες για να προσομοιωθεί το γεγονός ότι τα PAOs μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης για απονιτροποίηση. Επομένως στο ASM2d εκτιμάται ότι τα PAOs μπορούν να αναπτυχθούν σε αερόβιες και ανοξικές συνθήκες, σε αντίθεση με το ASM2 που έχουμε ανάπτυξη μόνο κάτω από αερόβιες συνθήκες.

Τα συστατικά και οι διεργασίες του μοντέλου, πέραν των πρόσθετων, είναι ίδιες με αυτές του ASM2. Επίσης για το μοντέλο ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί που έχουν τεθεί κατά την ανάπτυξη του ASM2.

2.2.4 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος No.3 (ASM3)

2.2.4.1 Εισαγωγή

Το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος No.3 (ASM3) προτάθηκε το 1999 (Gujer et al.) ώστε να διορθώσει ορισμένες ατέλειες του ASM1 και να αποτελέσει ένα νέο πρότυπο στην προσομοίωση της επεξεργασίας αποβλήτων. Στο ASM3 λαμβάνονται υπόψη τα ίδια φαινόμενα με αυτά του ASM1, δηλαδή κατανάλωση οξυγόνου, παραγωγή ιλύος, νιτροποίηση και απονιτροποίηση. Διεργασίες όπως βιολογική και χημική απομάκρυνση φωσφόρου, ανάπτυξη νηματοειδών μικροοργανισμών και υπολογισμός του pH των λυμάτων δεν περιέχονται στο ASM3, αλλά μπορούν εύκολα να προστεθούν.

2.2.4.2 Συστατικά μοντέλου

Στους Πίνακες 2.8 και 2.9 καταγράφονται τα διαλυτά και σωματιδιακά συστατικά του μοντέλου αντίστοιχα, τα οποία ακολουθούν τους κανόνες ονοματολογίας της IAWQ.

Πίνακας 2.8: Διαλυτά συστατικά του ASM3

Συστατικά	Ερμηνεία
S_{O_2}	Διαλυμένο Οξυγόνο
S_I	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
S_S	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
S_{NH_4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
S_{N_2}	Αέριο Άζωτο
S_{NOX}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
S_{ALK}	Αλκαλικότητα

Πίνακας 2.9: Σωματιδιακά συστατικά του ASM3

Συστατικά	Ερμηνεία
X_I	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη
X_S	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
X_H	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί
X_{STO}	Εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης στους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς
X_A	Νιτροποιητές
X_{SS}	Αιωρούμενα Στερεά

2.2.4.3 Διεργασίες μοντέλου

Οι βασικές διεργασίες που περιγράφονται στο ASM3 είναι:

- 1) Υδρόλυση. Η διεργασία της υδρόλυσης παρουσιάζεται διαφορετικά από το ASM1, καθώς εκτιμάται ότι γίνεται ανεξάρτητα από τον αποδέκτη ηλεκτρονίων.
- 2) Αερόβια αποθήκευση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης. Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη αρχικά αποθηκεύεται με τη μορφή εσωκυτταρικών προϊόντων X_{STO} και στην συνέχεια αφομοιώνεται από τη βιομάζα. Η ενέργεια που απαιτείται λαμβάνεται από την αερόβια αναπνοή.
- 3) Ανοξική αποθήκευση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης. Αποτελεί παρόμοια διεργασία με την αερόβια αποθήκευση, αλλά η απαιτούμενη ενέργεια λαμβάνεται από την απονιτροποίηση.

- 4) Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών. Γίνεται η παραδοχή ότι για να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τα εσωκυτταρικά αποθηκευμένα προϊόντα X_{STO} .
- 5) Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών. Παρόμοια της αερόβιας ανάπτυξης, αλλά η αναπνοή είναι βασισμένη στην απονιτροποίηση.
- 6) Αερόβια ενδογενής αναπνοή. Η διεργασία αυτή περιγράφει τη μείωση της βιομάζας, καθώς και τις απαιτήσεις ενέργειας που δεν συνδέονται με την ανάπτυξη.
- 7) Ανοξική ενδογενής αναπνοή. Είναι παρόμοια της αερόβιας ενδογενούς αναπνοής, αλλά γίνεται πιο αργά.
- 8) Αερόβια αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης. Η διεργασία αυτή είναι ανάλογη της ενδογενούς αναπνοής, καθώς τα προϊόντα αποθήκευσης μειώνονται μαζί με τη βιομάζα.
- 9) Ανοξική αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης. Είναι παρόμοια με την αερόβια διεργασία.

Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζεται η στοιχειομετρία του μοντέλου, ενώ στον Πίνακα 2.11 ο ρυθμός κάθε διεργασίας.

2.2.4.4 Περιορισμοί μοντέλου

Οι βασικοί περιορισμοί που τέθηκαν κατά την ανάπτυξη του μοντέλου ASM3 είναι οι εξής:

- 1) Είναι επιθυμητό για την ορθότητα των αποτελεσμάτων η θερμοκρασία των λυμάτων να κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 8-23°C.
- 2) Στο ASM3, όπως και στο ASM1, δεν περιγράφεται η συμπεριφορά της βιομάζας σε αναερόβιες συνθήκες.
- 3) Το pH των λυμάτων θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6.5 και 7.5.
- 4) Δεν είναι ικανό να χειριστεί υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών.
- 5) Δεν έχει σχεδιαστεί για υψηλές φορτίσεις ή μικρούς χρόνους παραμονής των στερεών (μικρότερους από 1 ημέρα).

Πίνακας 2.10: Στοιχειομετρικός πίνακας του ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

Συστατικό i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Εκφρασμένο σε	S_{O_2}	S_I	S_S	S_{NH_4}	S_{N_2}	S_{NOX}	S_{ALK}	X_I	X_S	X_H	X_{STO}	X_A	X_{SS}
	O_2	COD	COD	N	N	N	Mole	COD	COD	COD	COD	COD	SS
Διεργασία j													
1. Υδρόλυση		f_{S_1}	x_1	y_1			z_1		-1				$-i_{X_S}$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί													
2. Αερόβια αποθήκευση του S_S	x_2		-1	y_2			z_2				Y_{STO,O_2}		t_2
3. Ανοξική αποθήκευση του S_S			-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
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί													
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}
Στοιχειομετρία $i_{k,i}$													
k Συντηρητικά													
1. ThOD	g ThOD	-1	1	1		-1,71	-4,57		1	1	1	1	
2. Νιτρικά	g N		i_{N,S_I}	i_{N,S_S}	1	1	1		i_{N,X_I}	i_{N,X_S}	$i_{N,BM}$		$i_{N,BM}$
3. Φόρτιση ιόντων	Mole +				1/14		-1/14	-1					
Παρατηρήσιμα													
4. SS	g SS								i_{SS,X_I}	i_{SS,X_S}	$i_{SS,BM}$	0,60	$i_{SS,BM}$

Πίνακας 2.11: Ρυθμός διεργασιών του ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

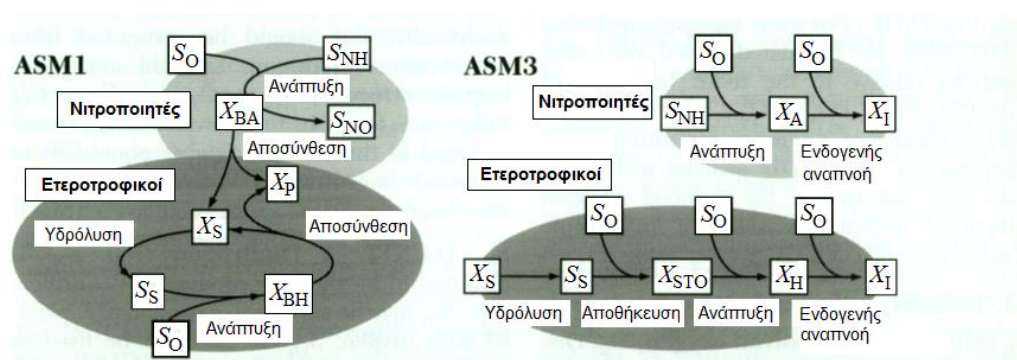
Διεργασία j	Ρυθμός διεργασίας ρ_j , όπου $\rho_j \geq 0$
1. Υδρόλυση	$k_H \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί	
2. Αερόβια αποθήκευση του S_S	$k_{STO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$
3. Ανοξική αποθήκευση του S_S	$k_{STO} \cdot n_{NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$
4. Αερόβια ανάπτυξη των X_H	$\mu_H \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$
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}	$b_{STO,NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot X_{STO}$
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί	
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. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	$b_{A,O_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot X_A$
12. Ανοξική ενδογενής αναπνοή	$b_{A,NOX} \cdot \frac{K_{A,O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{A,NOX} + S_{NOX}} \cdot X_A$

2.2.4.5 Σύγκριση του ASM3 με το ASM1

Τα δυο μοντέλα παρουσιάζουν δυο σημαντικές διαφορές, η πρώτη έχει να κάνει με τη διεργασία της αποσύνθεσης και η δεύτερη με την εσωτερική δομή των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.

Στο ASM1 παρουσιάστηκε μια απλή διεργασία αποσύνθεσης για να περιγράψει το σύνολο των διεργασιών αποσύνθεσης κάτω από αερόβιες και ανοξικές συνθήκες. Στο ASM3 εισάγεται μια πιο ρεαλιστική περιγραφή των διαδικασιών της αποσύνθεσης, η ενδογενής αναπνοή. Επίσης, στο ASM1 οι διεργασίες φθοράς των ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών είναι στενά συνδεδεμένες, ενώ στο ASM3 οι δυο διεργασίες διαχωρίζονται και περιγράφονται με ταυτόσημα μοντέλα (Σχήμα 2.1).

Στο ASM3 έχει γίνει η παραδοχή ότι οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί έχουν εσωτερική δομή, το οποίο δεν λαμβάνεται υπόψη στο ASM1. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι η ευκολα βιοδιασπάσιμη τροφή δεν καταναλώνεται αμέσως από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, αλλά αποθηκεύεται στο εσωτερικό των κυττάρων τους με τη μορφή X_{STO} και στην συνέχεια αφομοιώνεται από τη βιομάζα.



Σχήμα 2.1: Ροή COD στο ASM1 και στο ASM3 (Πηγή: Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9)

2.3 Μοντέλα καθίζησης

2.3.1 Εισαγωγή

Η διεργασία της καθίζησης στοχεύει στον διαχωρισμό των αιωρούμενων στερεών από τα λύματα, υπό την επίδραση της βαρύτητας, και αποτελεί πολύ σημαντική μονάδα για την εύρυθμη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Οι λειτουργίες που επιτελούνται σε μια δεξαμενή καθίζησης είναι η διαύγαση και η συμπύκνωση. Η πρώτη παρατηρείται στα υψηλά στρώματα της δεξαμενής και

στόχος της είναι η παραγωγή εκροής χαμηλής θολότητας. Αντίθετα, η συμπύκνωση συντελείται κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής και σκοπός της είναι η αύξηση της συγκέντρωσης της ιλύος, ώστε να ανακυκλοφορηθεί ή να διατεθεί με μικρότερο όγκο.

Ο μηχανισμός με τον οποίο θα καθιζάνει η βιομάζα στη δεξαμενή καθίζησης εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών στα λύματα και τα χαρακτηριστικά συσσωμάτωσης των στερεών. Διακρίνονται οι παρακάτω τέσσερις μηχανισμοί:

- Καθίζηση σωματιδίων ξεχωριστά. Πρόκειται κυρίως για ανόργανα στερεά, τα οποία δεν έχουν καμία αλληλεπίδραση μεταξύ τους.
- Καθίζηση σωματιδίων ως συσσωματώματα. Πρόκειται κυρίως για οργανικά στερεά, τα οποία έχουν την τάση να συσσωματώνονται. Εμφανίζονται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, αλλά και στα ανώτερα στρώματα της δευτεροβάθμιας καθίζησης.
- Ζωνική Καθίζηση. Πρόκειται για οργανικά στερεά, τα οποία βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, και έχουν την τάση να συσσωματώνονται και να καθιζάνουν σαν ένα ενιαίο στρώμα.
- Συμπύεση. Πρόκειται για την συμπύεση που υφίσταται η μάζα των σωματιδίων λόγω του βάρους τους. Παρουσιάζεται για οργανικά και ανόργανα στερεά, τα οποία βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις.

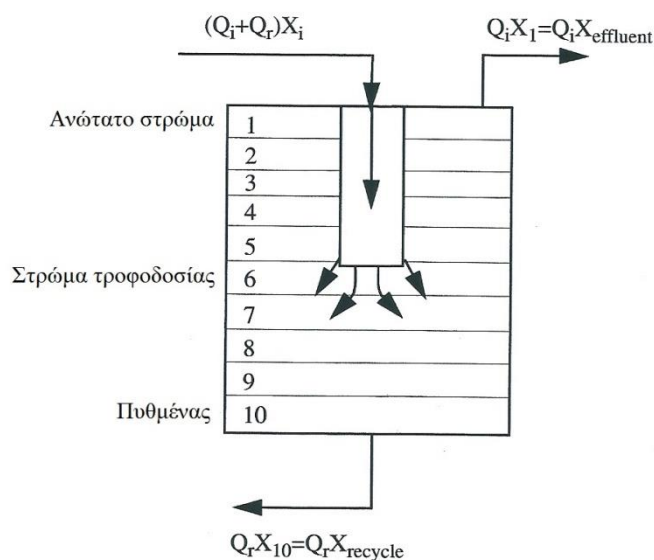
Όπως αναφέρθηκε, οι δεξαμενές καθίζησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, και ειδικότερα οι δεξαμενές τελικής καθίζησης, η απόδοση των οποίων καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής. Επομένως, για τον σχεδιασμό και τη βέλτιστη λειτουργία μια εγκατάστασης επιλέγεται κάποιο μοντέλο προσομοίωσης της δεξαμενής τελικής καθίζησης, το οποίο θα ενσωματώνεται στο μοντέλο ενεργού ιλύος. Τα μοντέλα αυτά δεν θα πρέπει να λαμβάνονται ως ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, καθώς οι συνθήκες που επικρατούν στο βιοαντιδραστήρα μπορούν να επηρεάσουν την συμπεριφορά της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

Τα μοντέλα τελικής καθίζησης μπορούν να διακριθούν σε δυο βασικές κατηγορίες, μονοδιάστατα και δισδιάστατα, ανάλογα με τις παραδοχές που γίνονται για την ροή εντός της δεξαμενής. Παρά την ανάπτυξη των δισδιάστατων μοντέλων, χρησιμοποιούνται κυρίως τα μονοδιάστατα μοντέλα λόγω της απλότητας και των χαμηλών υπολογιστικών τους απαιτήσεων.

2.3.2 Μονοδιάστατα μοντέλα

Τα συνηθισμένα μονοδιάστατα μοντέλα είναι βασισμένα στη θεωρία ροής των στερεών. Για να απλοποιηθεί η προσομοίωση των λειτουργιών της δεξαμενής τελικής καθίζησης έχουν γίνει ορισμένες παραδοχές, εκ των οποίων οι βασικότερες καταγράφονται παρακάτω:

- Η δεξαμενή χωρίζεται σε έναν αριθμό οριζόντιων στρωμάτων.
- Λαμβάνεται υπόψη μόνο η κάθετη ροή.
- Σε κάθε στρώμα η συγκέντρωση κάθε συστατικού είναι σταθερή, ενώ θεωρούμε ότι η οριζόντια ταχύτητα είναι ομοιόμορφη.
- Τα στερεά που εισέρχονται στη δεξαμενή διανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος και το πλάτος του στρώματος τροφοδοσίας.



Σχήμα 2.2: Στρωματοποίηση δεξαμενής καθίζησης

Το πιο γνωστό μονοδιάστατο μοντέλο καθίζησης είναι το μοντέλο Takács (Takács *et al.*, 1991), το οποίο χωρίζει τη δεξαμενή σε 10 ισοϋψή στρώματα. Η ροή των στερεών σε ένα συγκεκριμένο στρώμα περιορίζεται από τα διπλανά στρώματα. Εφόσον γνωρίζουμε την συγκέντρωση των στερεών σε κάθε στρώμα, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την ταχύτητα καθίζησης από τη διπλή εκθετική εξίσωση:

$$v_s(X) = \max\{0, \min\{v'_0, v_0(e^{-r_h(X-X_{\min})} - e^{-r_p(X-X_{\min})})\}\}$$

όπου v_s : η ταχύτητα καθίζησης σε κάθε στρώμα της δεξαμενής (m/d)

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

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

r_h : παράμετρος ζωνικής καθίζησης (m^3/gr SS)

r_p : παράμετρος συσσωματούμενης καθίζησης (m^3/gr SS)

X : η συγκέντρωση των στερεών σε κάθε στρώμα (gr SS/ m^3)

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

Η ελάχιστη δυνατή συγκέντρωση στερεών σε ένα στρώμα, X_{min} , είναι το ποσοστό των εισερχόμενων στη δεξαμενή καθίζησης στερεών που δεν καθιζάνουν. Επομένως, δίνεται από την σχέση:

$$X_{min} = f_{ns} X_f$$

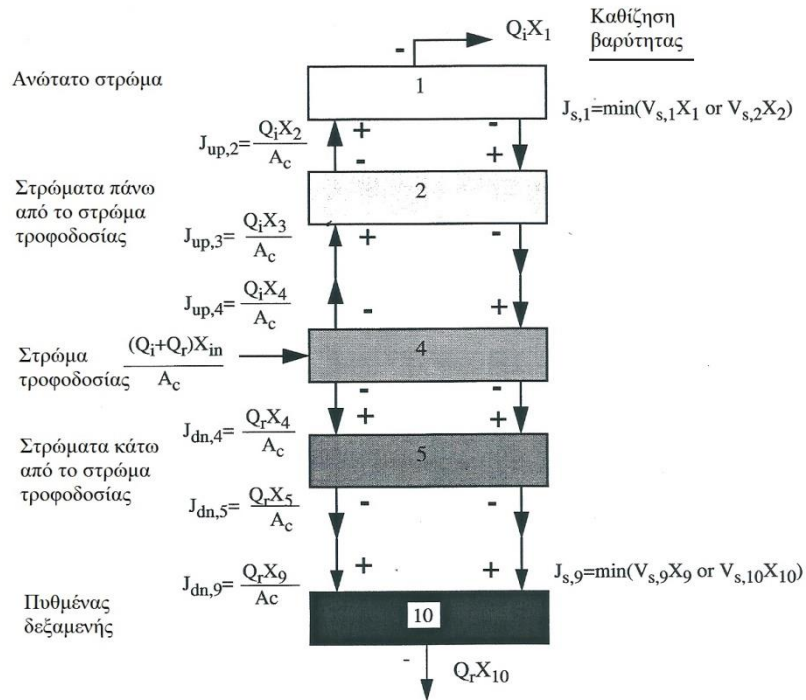
Όπου f_{ns} : αδιάστατος συντελεστής μη καθιζόντων στερεών

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

Πίνακας 2.12: Παράμετροι καθίζησης

Παράμετρος	Ερμηνεία	Μονάδες	Τιμή
v_0'	Μέγιστη ταχύτητα καθίζησης	m/d	250
v_0	Μέγιστη ταχύτητα καθίζησης κατά Vesilind	m/d	474
r_h	Παράμετρος ζωνικής καθίζησης	m^3/gr SS	0.000576
r_p	Παράμετρος συσσωματούμενης καθίζησης	m^3/gr SS	0.00286
f_{ns}	Συντελεστής μη καθιζόντων στερεών	Αδιάστατο	0.00228

Το προφίλ των στερεών καθ' ύψος της δεξαμενής μπορεί να υπολογιστεί κάνοντας ισοζύγιο μάζας σε κάθε στρώμα της δεξαμενής. Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται η συνεισφορά κάθε στρώματος στο ισοζύγιο μάζας.



Σχήμα 2.3: Συνεισφορά κάθε στρώματος της δεξαμενής στο ισοζύγιο μάζας

Η συνάρτηση της ταχύτητας χωρίζει την ταχύτητα καθίζησης σε τέσσερις περιοχές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4, ώστε να περιγραφεί η συμπεριφορά των διαφορετικών κλασμάτων ιλύος.

- Περιοχή I ($X < X_{\min}$)

Η συγκέντρωση των στερεών είναι μικρότερη από τη δυνατή συγκέντρωση και η ταχύτητα καθίζησης είναι μηδενική.

- Περιοχή II ($X_{\min} < X < X_i$)

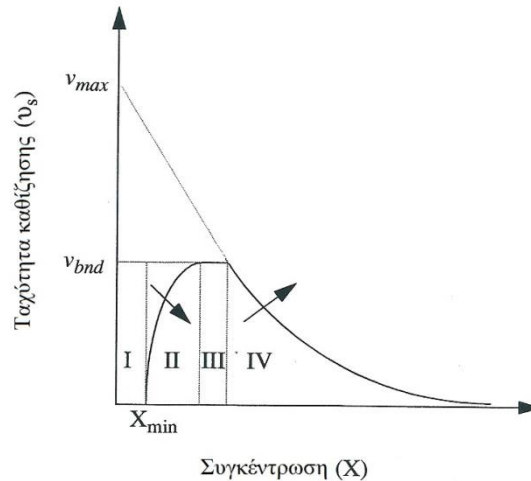
Στην περιοχή αυτή η ταχύτητα καθίζησης κυριαρχείται από τα σωματίδια που καθιζάνουν αργά. Έχει αποδειχθεί από τους Patry και Takács ότι για χαμηλές συγκεντρώσεις των TSS, η μέση διάμετρος των σωματιδιακών στερεών αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση των στερεών στη δεξαμενή. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας καθίζησης, το οποίο φαίνεται και στο Σχήμα 2.4.

- Περιοχή III ($X_i < X < X_u$)

Στην περιοχή αυτή, συνήθως για συγκεντρώσεις από 200 gr/m^3 μέχρι 2000 gr/m^3 , η ταχύτητα καθίζησης θεωρείται σταθερή και ανεξάρτητη από την συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, καθώς τα συσσωματούμενα σωματίδια έχουν φθάσει στο μέγιστο μέγεθός τους.

- Περιοχή IV ($X > X_u$)

Σε αυτές τις τιμές συγκέντρωσης στερεών, η ταχύτητα καθίζησης επηρεάζεται από τη ζωνική καθίζηση και υπολογίζεται από την εκθετική εξίσωση.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα της ταχύτητας καθίζησης συναρτήσει της συγκέντρωσης στερεών

2.3.3 Δισδιάστατα μοντέλα

Τα δισδιάστατα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη και την οριζόντια ροή, εκτός από την κάθετη. Επομένως, η δεξαμενή καθίζησης διαμερισματοποιείται σε κελιά, ίδιας επιφάνειας, και όχι σε στρώματα, όπως στα μονοδιάστατα μοντέλα. Για την ακρίβεια η δεξαμενή χωρίζεται σε 100 κελιά, 10 κάθετα επί 10 οριζόντια. Για τον υπολογισμό των μεταβολών στις συγκεντρώσεις των στερεών χρησιμοποιούνται παρόμοια ισοζύγια μαζών, υπολογίζοντας όμως και την οριζόντια ροή μεταξύ των κελιών. Το ποσοστό ροής που εισέρχεται και εξέρχεται από κάθε κελί προκύπτει από το γινόμενο της ταχύτητας ροής με την επιφάνεια του κελιού.

Το βασικό πλεονέκτημα των δισδιάστατων μοντέλων, έναντι των μονοδιάστατων, είναι η ικανότητα τους για καλύτερη εκτίμηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στην έξοδο σε περιόδους αιχμής. Επιπλέον, μόνο τα δισδιάστατα μοντέλα μπορούν να υπολογίσουν με ακρίβεια το ύψος του στρώματος ιλύος στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, καθώς τα μονοδιάστατα εκτιμούν απλά ένα μέσο ύψος. Από την άλλη τα βασικά μειονεκτήματα των δισδιάστατων μοντέλων είναι ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμού, καθώς και οι υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις.

2.4 Συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης ΕΕΛ (Benchmark Simulation Models)

2.4.1 Εισαγωγή

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 αλληλεπιδρώνιο σύστημα. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης ΕΕΛ (Benchmark Simulation Model - BSM), τα οποία συνδεούν μοντέλα προσομοίωσης για τις επιμέρους βαθμίδες της εγκατάστασης και βασικός σκόπος τους είναι η αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου που θεωρούνται σε μια εγκατάσταση.

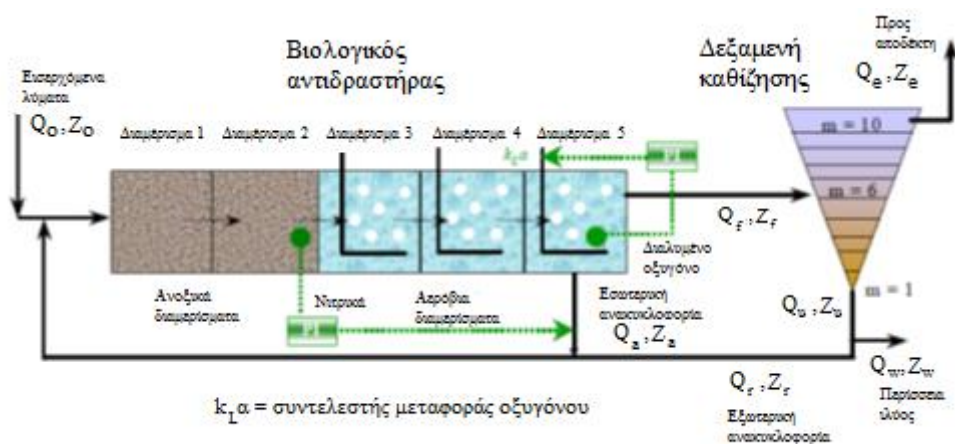
Στα συστήματα ολοκληρωμένης προσομοίωσης ορίζονται ο σχεδιασμός της εγκατάστασης, ένα μοντέλο προσομοίωσης, φορτία εισροής στην εγκατάσταση, διαδικασίες ελέγχου και κριτήρια αξιολόγησης. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η αξιολόγηση της απόδοσης της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο πρότυπα μοντέλα το BSM1 και το BSM2.

2.4.2 Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1)

2.4.2.1 Εισαγωγή

Το πρώτο μοντέλο που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου και της απόδοσης της εγκατάστασης ήταν το BSM1, το οποίο ήταν σχετικά απλό, καθώς αναφερόταν μόνο στη βιολογική βαθμίδα, δηλαδή στο βιολογικό αντιδραστήρα και την τελική καθίζηση (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Σχέδιο της εγκατάστασης του BSM1

2.4.2.2 Προσομοιούμενο σύστημα

- Βιολογικός Αντιδραστήρας

Για να περιγραφούν τα βιολογικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο βιοαντιδραστήρα επιλέχθηκε το μοντέλο ενεργού ιλύος ASM1 (Henze *et al.*, 1987), το οποίο παρουσιάστηκε συνοπτικά στην παράγραφο 2.2.1 και αναλύεται στην παράγραφο 3.4.

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

- 2 ανοξικά, με όγκο 1000 m^3 το καθένα
- 3 αερόβια, με όγκο 1333 m^3 το καθένα. Στα 2 πρώτα διαμερίσματα έχουμε σταθερή μεταφορά οξυγόνου μέσω του συντελεστή $K_{La}=10\text{h}^{-1}$, ενώ στο τελευταίο το επίπεδο του διαλυμένου οξυγόνου ρυθμίζεται ίσο με 2 gr COD/m^3 .

- Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης

Η λειτουργία της δεξαμενής τελικής καθίζησης επιλέχθηκε να προσομοιωθεί με το μοντέλο Takács (Takács *et al.*, 1991), το οποίο παρουσιάστηκε στην παράγραφο 2.3.2.

Η δεξαμενή καθίζησης χωρίζεται σε 10 στρώματα, τα οποία έχουν σταθερή επιφάνεια A ίση με 1500 m^2 . Επίσης, κάθε στρώμα έχει ύψος 0.4 m , δηλαδή το συνολικό ύψος της δεξαμενής ισούται με 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.

2.4.2.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Για την αξιολόγηση των στρατηγικών ελέγχου της εγκατάστασης προτείνεται η χρησιμοποίηση δεδομένων από τρία αρχεία, διάρκειας δυο εβδομάδων, με διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Το ένα αρχείο περιγράφει ξηρές συνθήκες, το άλλο κάποια καταιγίδα, ενώ το τελευταίο περιέχει κάποιο διάστημα βροχόπτωσης.

Προτού ελεγχθεί οποιοδήποτε σενάριο καιρικών συνθηκών είναι υποχρεωτική η σταθεροποίηση του συστήματος. Για να επιτευχθεί η ζητούμενη σταθεροποίηση χρησιμοποιούνται σαν εισροές του συστήματος κάποιες σταθερές τιμές για μια χρονική περίοδο 100 ημερών. Στη συνέχεια προσομοιώνονται οι δυο εβδομάδες ξηρών συνθηκών και ακολουθούν οι δυο εβδομάδες που πρέπει να ελεγχθούν.

2.4.2.4 Εκτίμηση απόδοσης εγκατάστασης

Για να γίνει ευκολότερη η αξιολόγηση της λειτουργίας της εγκατάστασης, καθώς και η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών στο σύστημα, προτείνονται από το μοντέλο κάποιοι δείκτες απόδοσης του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες αυτοί είναι:

- Αριθμός παραβιάσεων ορίων εκροής
Θα πρέπει να μετρώνται οι φορές όπου οι συγκεντρώσεις στην εκροή υπερβαίνουν τα όρια που έχουν τεθεί, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 2.13.

Πίνακας 2.13: Όρια ποιότητας εκροής

Μεταβλητή	Τιμή
N_{tot}	$<18 \text{ gr N/m}^3$
COD_t	$<100 \text{ gr COD/m}^3$
S_{NH}	$<4 \text{ gr N/m}^3$
TSS	$<30 \text{ gr SS/m}^3$
BOD_5	$<10 \text{ gr BOD/m}^3$

- Δείκτης Ποιότητας Εκροής (EQ)
Πρόκειται για έναν σταθμισμένο δείκτη που μετριέται σε μια περίοδο λειτουργίας 7 ημερών. Λαμβάνει υπόψη του τα φορτία εκροής που έχουν μεγάλη επίδραση στην ποιότητα του αποδέκτη, και πιο συγκεκριμένα:
 - τα αιωρούμενα στερεά (SS)
 - το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
 - το άζωτο του Kjeldahl (S_{NKj}). Η ποσότητα αυτή προκύπτει αν από το συνολικό άζωτο αφαιρέσουμε το νιτρικό.
 - το νιτρικό άζωτο (S_{NO})
 - το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Ο δείκτης αυτός αναλύεται περισσότερο στην παράγραφο 3.5.4.

- Δείκτης Λειτουργικού Κόστους (OCI)
Και αυτός ο δείκτης υπολογίζεται για ένα χρονικό διάστημα 7 ημερών και λαμβάνει υπόψη του τα παρακάτω μεγέθη:
 - Παραγωγή Ιλύος προς διάθεση (SP)

- Συνολική Παραγωγή Ιλύος (SP_{total}). Λαμβάνει υπόψη την ιλύ που θα διατεθεί και την ιλύ που χάνεται με την υπερχειλίση.
- Ενέργεια Αερισμού (AE)
- Ενέργεια Άντλησης (PE)
- Κατανάλωση Εξωτερικού Άνθρακα (EC)
- Ενέργεια Ανάμιξης (ME)

Ο Γενικός Δείκτης Κόστους (OCI) υπολογίζεται από την σχέση:

$$OCI = AE + PE + 5 \cdot SP + 3 \cdot EC + ME$$

2.4.3 Benchmark Simulation Model No. 2 (BSM2)

2.4.3.1 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.

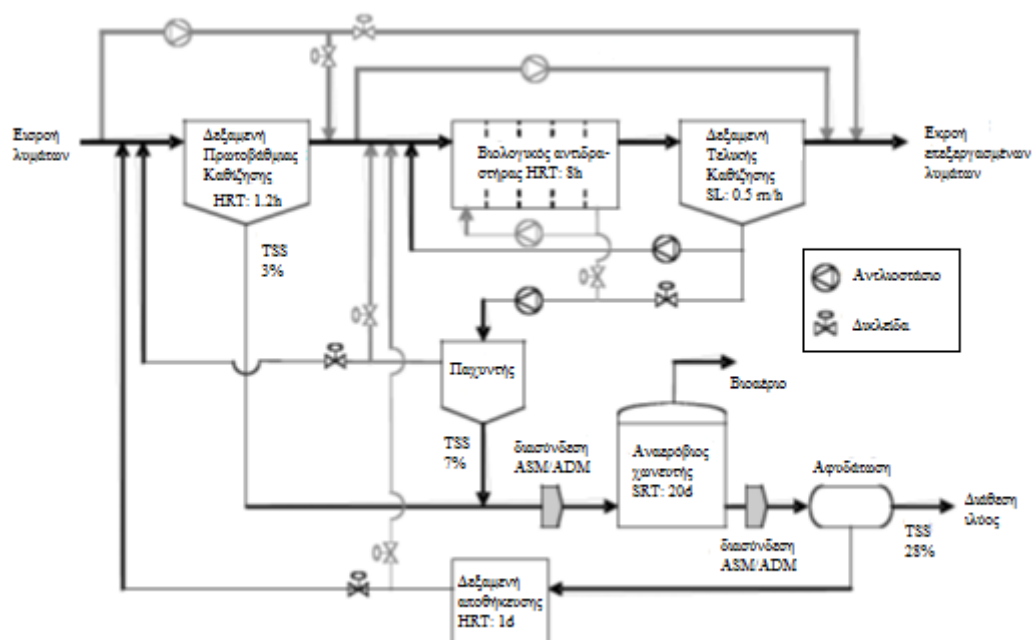
Η πρότυπη περίοδος αξιολόγησης στο BSM2 επεκτάθηκε σε έναν χρόνο, συγκριτικά με τη μια εβδομάδα που περιγράφηκε στο BSM1. Αυτή η αλλαγή έγινε ώστε να επιτραπεί μια πιο πλήρης αξιολόγηση, καθώς και επιπλέον συστήματα ελέγχου που λειτουργούν σε μεγαλύτερες κλίμακες χρόνου. Ένας ακόμη λόγος που καταστεί απαραίτητη μια μεγαλύτερη περίοδος 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.

2.4.3.2 Προσομοιούμενο σύστημα

Οι κύριες μονάδες της εγκατάστασης που αναπαριστάται είναι οι εξής:

- Πρωτοβάθμια καθίζηση. Επιτυγχάνεται 50% απομάκρυνση στερεων, χωρίς να συντελείται κάποια βιολογική διεργασία.
- Βιοαντιδραστήρας 5 διαμερισμάτων. Η προσομοίωση του βασίζεται στο ASM1.
- Δευτεροβάθμια καθίζηση. Η προσομοίωση της βασίζεται στο μοντέλο Takács, ενώ 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 είναι βασισμένη στο μοντέλο ADM1 (Batstone *et al.*, 2002).
- 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.



Σχήμα 2.6: Σχέδιο της εγκατάστασης του BSM2

2.4.3.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Η διαδικασία προσομοίωσης για το BSM2 είναι απλή και θα μπορούσε να χωριστεί σε 4 περιόδους:

α) Για τις πρώτες 200 ημέρες χρησιμοποιούνται σταθερά δεδομένα εισροής, ώστε να σταθεροποιηθεί το σύστημα. Η σταθερή εισροή εκτιμάται ως ο μέσος όρος των δυναμικών δεδομένων 609 ημερών. Οι τιμές που θα προκύψουν λαμβάνονται ως αρχικές τιμές για το επόμενο στάδιο προσομοίωσης.

β) Για τις επόμενες 63 ημέρες το BSM2 προσομοιώνεται με ενεργούς ελέγχους με στόχο να επιτευχθεί μια οιονεί σταθερή κατάσταση που βασίζεται στα δυναμικά δεδομένα εισόδου.

γ) Ακολουθούν 182 ημέρες δυναμικής προσομοίωσης με σκοπό να παρέχουν αρκετό χρόνο για να εκτιμηθούν εσωτερικοί παράμετροι του συστήματος.

δ) Το BSM2 προσομοιώνεται για 364 ημέρες, όπου τα δεδομένα εξόδου της περιόδου αυτής χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης της εγκατάστασης.

2.4.3.4 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. Πιο συγκεκριμένα εκτιμώνται:

- Αριθμός παραβιάσεων ορίων εκροής.
Στο κριτήριο αυτό ισχύει ό,τι ακριβώς παρουσιάστηκε στο BSM1.
- Δείκτης Ποιότητας Εκροής (EQI).
Λαμβάνει υπόψη του τα φορτία εκροής που χρησιμοποιούνται στο BSM1 στον υπολογισμό του EQ, αλλά με κάποια διαφοροποίηση στους συντελεστές βαρύτητας των μορφών αζώτου.
- Δείκτης 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 (HE^{net}). Επομένως, ο Δείκτης Λειτουργικού Κόστους (OCI) θα δίνεται από την σχέση:

$$OCI = AE + PE + 3 \cdot SP + 3 \cdot EC + ME - 6 \cdot MP + \max(0, HE^{net})$$

2.4.3.5 Μοντέλο χώνευσης ADM1 για το BSM2

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 διαφορά του ADM1 του Batstone *et al.* με το ADM1 για το BSM2 είναι η εισαγωγή συνεχών λειτουργιών αναχαίτισης του pH, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα προσομοίωσης που σχετίζονται με ασυνέχειες. Επίσης, έχει γίνει μια προσπάθεια σχετικά με το βαθμό του αζώτου και του COD προκειμένου να επιτευχθεί ολοκληρωμένη ισορροπία μαζών για το μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων θα πρέπει να θεωρείται σαν ένα εντελώς ολοκληρωμένο σύστημα, όπου μονάδες πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας καθίζησης, βιολογικοί αντιδραστήρες, παχυντές, αναερόβιοι χωνευτές, συστήματα αφυδάτωσης και άλλες υποδιαδικασίες συνδέονται μεταξύ τους και λειτουργούν και ελέγχονται όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο σαν ξεχωριστές μονάδες, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαδικασιών.

Σε περίπτωση που δεν θεωρηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μονάδων της εγκατάστασης, δεν θα είναι δυνατόν να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερη της πιθανής ποιότητας εκροής και/ή υψηλότερα λειτουργικά κόστη. Επομένως, ο κύριος σκοπός ενός μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ΕΕΛ είναι να λάβει υπόψη του τις παραπάνω απαιτήσεις.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα μοντέλο προσομοίωσης ολοκληρωμένης εγκατάστασης, όπου βασίζεται στο μοντέλο ASM1 για την προσομοίωση του βιοαντιδραστήρα, σε ένα μοντέλο μονοδιάστατης καθίζησης που βασίζεται στη ζωνική καθίζηση για την προσομοίωση της δευτεροβάθμιας καθίζησης, σε μια εκτίμηση των βιολογικών διεργασιών που συντελούνται στη μονάδα της χώνευσης και σε ισοζύγια μαζών για τις υπόλοιπες μονάδες. Εκτός από την εκτίμηση της ποιότητας εκροής της εγκατάστασης, το μοντέλο αυτό συνδέεται με την ζήτηση οξυγόνου στο σύστημα, με την παραγωγή βιοαερίου, με τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στις επιμέρους μονάδες και με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την εγκατάσταση.

3.2 Συστατικά μοντέλου

Σύμφωνα με την ονοματολογία της IAWQ, για τον προσδιορισμό της μορφής κάθε συστατικού χρησιμοποιείται το γράμμα X, αν πρόκειται για σωματιδιακό στοιχείο, και το γράμμα S, για διαλυτό στοιχείο. Το γράμμα αυτό ακολουθείται από τουλάχιστον έναν δείκτη για τον λεπτομερή καθορισμό των χαρακτηριστικών του στοιχείου.

- Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη (S_i)

Αυτό το κλάσμα της οργανικής ύλης είναι βιολογικά αδρανές, συνεπώς δεν εισέρχεται σε καμία βιολογική διεργασία. Παρολ' αυτά συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο, γιατί συμμετέχει στο COD της εκροής με συγκέντρωση ίδια με αυτήν που έχει εισέλθει στο σύστημα.

- Αδρανής Αιωρούμενη Οργανική Ύλη (X_i)

Δεν συμμετέχει ούτε αυτή σε βιολογικές διεργασίες και η απομάκρυνσή της από το σύστημα γίνεται μεσω της περίσσειας ιλύος. Για να επαληθεύεται το ισοζύγιο μάζας και επειδή η παροχή της περίσσειας ιλύος είναι μικρότερη από την παροχή εισροής, η συγκέντρωση εξόδου θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην είσοδο. Η συμπύκνωση αυτή επιτυγχάνεται στη δεξαμενή καθίζησης.

- Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (S_s)

Για λόγους απλότητας του μοντέλου η Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη θεωρείται διαλυμένη. Αποτελείται από σχετικά απλά μόρια, τα οποία έχουν την ικανότητα να εισέρχονται στο κύτταρο και να προσλαμβάνονται άμεσα από ετεροτροφικά βακτηρίδια. Επομένως αποτελεί την τροφή για την ανάπτυξη της βιομάζας.

- Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_s)

Το κομμάτι αυτό της ύλης θεωρείται σωματιδιακό. Αποτελείται από σύνθετα μόρια και με αυτήν την σύσταση δεν μπορεί να εισέλθει στο κύτταρο. Ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή για τα ετεροτροφικά βακτηρίδια, αν πρώτα μετατραπεί σε εύκολα βιοδιασπάσιμη ύλη μέσω ενζυματικής εξωκυτταρικής δράσης. Η διαδικασία της μετατροπής αυτής ονομάζεται υδρόλυση.

- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

Η ετεροτροφική βιομάζα αναπτύσσεται με κατανάλωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών είναι η ύπαρξη οξυγόνου, επομένως σταματά κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Η καταστροφή της ετεροτροφικής βιομάζας γίνεται μέσω της αποσύνθεσης, με διάφορους μηχανισμούς όπως ενδογενής μεταβολισμός, ο θάνατος, η κατανάλωση από ανώτερους οργανισμούς και η λύσις. Κατά την αποσύνθεση θεωρούμε ότι η βιομάζα μετατρέπεται σε αργά βιοδιασπάσιμη τροφή X_s και σε αδρανή σωματιδιακά προϊόντα.

- Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

Η αυτοτροφική βιομάζα αναπτύσσεται κάτω από αερόβιες συνθήκες και καταστρέφεται μέσω της αποσύνθεσης. Η αυτοτροφική βιομάζα είναι υπεύθυνη για την νιτροποίηση, δηλαδή για την μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό, η οποία γίνεται σε αερόβιες συνθήκες.

- Σωματιδιακά Προϊόντα Φθοράς Μικροοργανισμών (X_F)

Πρόκειται για ενώσεις που δημιουργούνται από την φθορά της ετεροτροφικής και της αυτοτροφικής βιομάζας. Τα προϊόντα αυτά είναι αδρανή και δεν υπόκεινται σε καμία βιολογική διεργασία.

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

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 X_I .

- Διαλυμένο Οξυγόνο (S_O)

Εκφράζει την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα λύματα. Η συγκέντρωση αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στο αν θα αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί ή όχι.

- Νιτρικό Άζωτο (S_{NO})

Μορφή αζώτου που δημιουργείται λόγω νιτροποίησης κατά την ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών, ενώ μειώνεται λόγω απονιτροποίησης κατά την ανοξική ανάπτυξη των ετεροτροφικών.

- Αμμωνιακό Άζωτο (S_{NH})

Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου είναι το άθροισμα της αμμωνίας NH_3 και του αμμωνίου NH_4^+ , το οποίο είναι αμελητέο για ουδέτερες τιμές του pH. Αποτελεί την κύρια μορφή του αζώτου στα εισρέοντα λύματα και χρησιμεύει ως πηγή αζώτου για σύνθεση ετεροτροφικής βιομάζας και ως πηγή ενέργειας για σύνθεση αυτοτροφικής.

- Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο (S_{ND})

Εκφράζει τη μορφή του αζώτου που παράγεται μέσω της υδρόλυσης του σωματιδιακού οργανικού αζώτου, ενώ απομακρύνεται μέσω της αμμωνιοποίησης.

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

Δημιουργείται μέσω της φθοράς της βιομάζας και απομακρύνεται μέσω της υδρόλυσης, όπου μετατρέπεται σε διαλυμένο οργανικό άζωτο S_{ND} .

- Αλκαλικότητα (S_{ALK})

Η αλκαλικότητα παρέχει πληροφορίες ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν διακυμάνσεις του pH στο σύστημα και γ'αυτό το λόγο ενσωματώνεται στο μοντέλο. Συνήθως μετράται σε ισοδύναμη συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου $CaCO_3$.

- Διοξείδιο του άνθρακα (S_{CO_2})

Κατά την λειτουργία μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων έχουμε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions-GHG). Οι συνολικές εκπομπές είναι άθροισμα εκπομπών εντός εγκατάστασης, δηλαδή αυτές που δημιουργούνται λόγω βιολογικών διεργασιών και λόγω βιοαερίου, και εκπομπών εκτός εγκατάστασης, που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας και την διάθεση της ιλύος. Οι εκπομπές υπολογίζονται σε ισοδύναμο CO_2 .

- Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά (VSS)

Πρόκειται για το άθροισμα των οργανικών στερεών. Επειδή όμως οι συγκεντρώσεις των συστατικών εκφράζονται σε $gr\ COD/m^3$ χρησιμοποιούμε την σχέση $COD/VSS=1,42\ gr\ COD/gr\ VSS$. Δηλαδή θα έχουμε:

$$VSS=(X_I+X_S+X_{BH}+X_{BA}+X_P)/1,42 \quad (gr\ VSS/m^3)$$

Αξίζει να σημειωθεί πως για την γραμμή επεξεργασίας λυμάτων εργαζόμαστε σε όρους συγκεντρώσεων $gr\ COD/m^3$, ενώ για την γραμμή επεξεργασίας ιλύος είναι προτιμότερος ο όρος $gr\ VSS/m^3$.

- Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά είναι το άθροισμα των πτητικών και των ανόργανων στερεών. Δηλαδή:

$$TSS=VSS+X_{NV} \quad (gr\ SS/m^3)$$

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας όπου συγκεντρώνονται όλα τα συστατικά του μοντέλου.

Πίνακας 3.1: Συστατικά του μοντέλου προσομοίωσης

Συστατικά	Ερμηνεία
S_I	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
X_I	Αδρανής Αιωρούμενη Οργανική Ύλη
S_S	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
X_S	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
X_{BH}	Ετεροτροφική Βιομάζα
X_{BA}	Αυτοτροφική Βιομάζα
X_P	Σωματιδιακά Προϊόντα Φθοράς Μικροοργανισμών
X_{NV}	Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη
S_O	Διαλυμένο Οξυγόνο
S_{NO}	Νιτρικό Άζωτο
S_{NH}	Αμμωνιακό Άζωτο
S_{ND}	Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο
X_{ND}	Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο
S_{ALK}	Αλκαλικότητα
S_{CO2}	Διοξείδιο του άνθρακα

3.3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

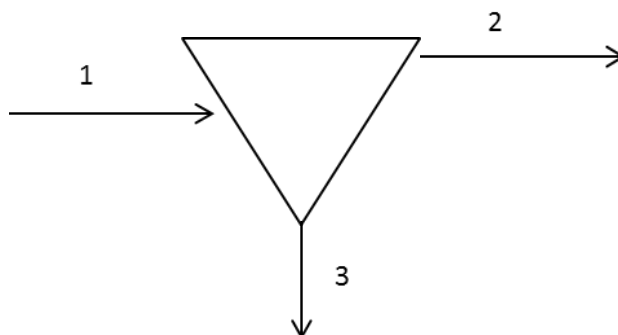
3.3.1 Εισαγωγή

Η Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ) αποτελεί αρχική βαθμίδα, κατάντη της Προεπεξεργασίας, μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων. Σκόπος της δεξαμενής είναι να απομακρύνει τα αιωρούμενα οργανικά και ανόργανα στερεά υπό την επίδραση βαρύτητας, ώστε να μειωθεί η φόρτιση στα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Από την ΔΠΚ υπερχειλίζουν τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα, τα οποία συνεχίζουν στη βιολογική βαθμίδα, ενώ από τον πυθμένα της απομακρύνονται τα καθιζάνοντα στερεά υπό την μορφή Πρωτοβάθμιας Ιλύος με μια συγκέντρωση της τάξης 1,5-2%.

3.3.2 Προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης

Για να επιτευχθεί η προσομοίωση της ΔΠΚ θεωρούμε ότι κατά την λειτουργία της επιτυγχάνεται ένας σταθερός βαθμός απομάκρυνσης στερεών. Έστω ότι ο βαθμός αυτός είναι α (%), για να δοθεί μια παραμετροποίηση του συστήματος. Επίσης,

πρέπει να τονιστεί ότι συγκεντρώσεις των διαλυτών συστατικών παραμένουν ίδιες τόσο για τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα όσο και για την ιλύ.



Σχήμα 3.1: Διακριτοποίηση θέσεων δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

α) Πρωτοβάθμια Ιλύς (Θέση 3)

Μέσω της πρωτοβάθμιας ιλύος απομακρύνεται η ποσότητα $\frac{\alpha \cdot X}{100}$, όπου X τα σωματιδιακά στοιχεία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα για τη μάζα των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών TSS έχουμε:

$$M_{TSS(3)} = \frac{\alpha \cdot M_{TSS(1)}}{100}$$

Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση της Πρωτοβάθμιας Ιλύος είναι $TSS(3)=1,5\%=15\text{kg/m}^3$, μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή της ιλύος από την σχέση:

$$Q(3) = \frac{M_{TSS(3)}}{TSS(3)} = \frac{M_{TSS(3)}}{15}$$

Αντίστοιχα, για τη μάζα και την συγκέντρωση κάθε σωματιδιακού συστατικού θα ισχύουν οι σχέσεις:

$$M_X(3) = \frac{\alpha \cdot M_X(1)}{100}$$

$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Για παράδειγμα, για την αδρανή αιωρούμενη οργανική ύλη X_i θα έχουμε:

$$M_{X_i}(3) = \frac{\alpha \cdot M_{X_i}(1)}{100}$$

$$X_i(3) = \frac{M_{X_i}(3)}{Q(3)}$$

Από την άλλη για τα διαλυτά συστατικά γνωρίζουμε ότι η συγκέντρωσή τους στην πρωτοβάθμια ιλύ θα είναι ίδια με αυτή της εισόδου στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Επομένως, είναι απλό να υπολογίσουμε τόσο την συγκέντρωση όσο και την μάζα κάθε συστατικού που φεύγει με την πρωτοβάθμια ιλύ, μέσω των εξισώσεων:

$$S(3) = S(1)$$

$$M_S(3) = S(3) \cdot Q(3)$$

Για παράδειγμα, για την αδρανή διαλυμένη οργανική ύλη S_i θα έχουμε:

$$S_i(3) = S_i(1)$$

$$M_{S_i}(3) = S_i(3) \cdot Q(3)$$

β) Πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα (Θέση 2)

Η παροχή που συνεχίζει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας θα είναι αυτή που εισέρχεται στην ΔΠΚ αφαιρώντας την παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος, δηλαδή:

$$Q(2) = Q(1) - Q(3)$$

Η μάζα και η συγκέντρωση κάθε σωματιδιακού συστατικού υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$M_X(2) = M_X(1) - M_X(3)$$

$$X(2) = \frac{M_X(2)}{Q(2)}$$

Για παράδειγμα, για την αυτοτροφική βιομάζα X_{BA} θα έχουμε:

$$M_{X_{BA}}(2) = M_{X_{BA}}(1) - M_{X_{BA}}(3)$$

$$X_{BA}(2) = \frac{M_{X_{BA}}(2)}{Q(2)}$$

Ενώ για τα διαλυτά στοιχεία υπολογίζουμε την συγκέντρωση και τη μάζα τους με τον ίδιο τρόπο που τις υπολογίζουμε για την πρωτοβάθμια ιλύ. Δηλαδή οι εξισώσεις υπολογισμού θα έχουν τη μορφή:

$$S(2) = S(1)$$

$$M_{-}S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

Για παράδειγμα, για το αμμωνιακό άζωτο S_{NH} θα έχουμε:

$$S_{NH}(2) = S_{NH}(1)$$

$$M_{-}S_{NH}(2) = S_{NH}(2) \cdot Q(2)$$

3.4 Μαθηματική προσομοίωση του βιολογικού αντιδραστήρα

3.4.1 Εισαγωγή

Για τις ανάγκες προσομοίωσης της λειτουργίας του βιολογικού αντιδραστήρα υλοποιήθηκε ένα μοντέλο ενεργού ιλύος, το οποίο στηρίζεται στο ASM1.

Το μοντέλο που θα αναπτυχθεί χρειάζεται να περιλαμβάνει όλες τις σημαντικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους βιοαντιδραστήρες, ώστε να μην χάνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, όμως, όσο αυξάνεται ο αριθμός των διεργασιών αυξάνεται και η δυσκολία διαχείρισης και σύνθεσης του μοντέλου. Για τους λόγους αυτούς στο μοντέλο θα πρέπει να περιλαμβάνονται μόνο οι απαραίτητες διεργασίες, οι οποίες θα χαρακτηρίζονται από απλές και εύχρηστες εξισώσεις επίλυσης.

Για να ενσωματωθεί στο μοντέλο η εξάρτηση των ρυθμών των διεργασιών από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται «διακόπτες» που μπορούν να ενεργοποιούν και να απενεργοποιούν τις κινητικές ανάλογα με τις αλλαγές στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, για να γίνει νιτροποίηση είναι απαραίτητη η παρουσία οξυγόνου, ενώ αν η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι μηδενική τότε η διεργασία διακόπτεται. Ο διακόπτης με τον οποίο επιτυγχάνεται το παραπάνω αποτέλεσμα είναι ο εξής:

$$\frac{S_o}{K_o + S_o}$$

όπου S_o : η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου

K_o : σταθερά

Αντίστοιχα, σε διεργασίες που απαιτούνται αναερόβιες συνθήκες ο διακόπτης που χρησιμοποιείται είναι της μορφής :

$$\frac{K_o}{K_o + S_o}$$

3.4.2 Διεργασίες μοντέλου

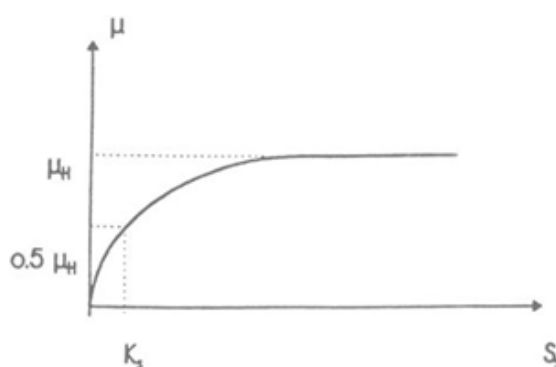
Οι διεργασίες που περιγράφονται στο μοντέλο είναι οι ακόλουθες:

- Αερόβια Ανάπτυξη Ετεροτροφικής Βιομάζας

Κατά την αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν ήδη στους αντιδραστήρες καταναλώνουν την εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή κάνοντας χρήση και διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, καταναλώνεται και ποσότητα αμμωνιακού αζώτου, το οποίο δεσμεύεται από τα νέα κύτταρα και μετατρέπεται σε οργανικό. Ο ρυθμός της αερόβιας ανάπτυξης της ετεροτροφικής βιομάζας δίνεται από την σχέση:

$$\rho_1 = \mu_H \frac{S_s}{K_s + S_s} \frac{S_o}{K_{OH} + S_o} X_{BH}$$

Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι η κινητική της αερόβιας ανάπτυξης των ετεροτροφικών εξαρτάται από την συγκέντρωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής και του διαλυμένου οξυγόνου και όποιο από τα δυο απουσιάζει αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης συναρτήσει της συγκέντρωσης της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής.



Σχήμα 3.2: Μεταβολή του ρυθμού συναρτήσει της S_s

- Ανοξική Ανάπτυξη Ετεροτροφικής Βιομάζας

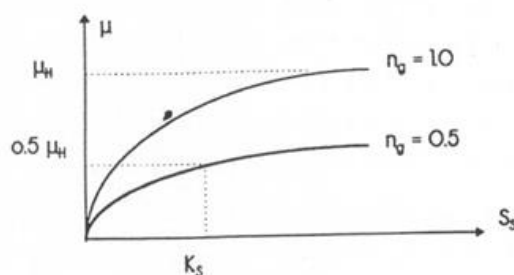
Όπως και στην αερόβια, στην ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας έχουμε κατανάλωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής και δέσμευση αμμωνιακού αζώτου,

το οποίο μετατρέπεται σε οργανικό. Η βασική διαφορά τους είναι πως εδώ η παρουσία οξυγόνου αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Ο τελικός αποδέκτης ηλεκτρονίων είναι το νιτρικό άζωτο και έτσι επέρχεται μείωση των νιτρικών στο σύστημα, διαδικασία που είναι γνωστή ως απονιτροποίηση.

Η κινητική για την ανοξική ανάπτυξη είναι ανάλογη με αυτήν της αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας. Επειδή, όμως, η μέγιστη ταχύτητα απομάκρυνσης σε ανοξικές συνθήκες είναι συχνά μικρότερη απ' ό,τι σε αερόβιες, στην έκφραση της κινητικής χρησιμοποιείται ένας εμπειρικός συντελεστής n_g με τιμή μικρότερη της μονάδας. Ο λόγος που υπάρχει διαφορά στην μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης είναι είτε επειδή το μ_H είναι μικρότερο κάτω από ανοξικές συνθήκες, είτε επειδή μόνο το κομμάτι των ετεροτροφικών μικροοργανισμών μπορεί να λειτουργήσει με τα νιτρικά ως τελικό αποδέκτη ηλεκτρονίων. Τελικά, ο ρυθμός ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας δίνεται από την σχέση:

$$\rho_2 = \mu_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} X_{BH} n_g$$

Οι όροι $\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O}$ και $\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}$ αποτελούν «διακόπτες» της κινητικής και πιο συγκεκριμένα υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου και χαμηλή συγκέντρωση νιτρικού αζώτου περιορίζουν την ανάπτυξη της βιομάζας. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης σε συνάρτηση με την εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή.



Σχήμα 3.3: Μεταβολή του ρυθμού συναρτήσει της S_S

• Αερόβια Ανάπτυξη Αυτοτροφικής Βιομάζας

Κατά την αερόβια ανάπτυξη της αυτοτροφικής βιομάζας χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας το διαλυμένο αμμωνιακό άζωτο και αναπτύσσονται νιτροποιητές. Πέρα από τη δημιουργία αυτοτροφικής βιομάζας έχουμε και δημιουργία νιτρικού αζώτου.

Μιας και είναι αερόβια διαδικασία είναι απαραίτητη η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου και λειτουργεί ως «διακόπτης» στον ρυθμό ανάπτυξης. Η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται είναι ανάλογη της ποσότητας του αμμωνιακού αζώτου που οξειδώνεται. Αν και η αερόβια ανάπτυξη επηρεάζεται από το pH των λυμάτων, δεν μπορούμε να συμπεριλάβουμε στην κινητική την εξάρτηση αυτή, καθώς είναι δύσκολη η εκτίμηση του pH στον βιοαντιδραστήρα. Ο ρυθμός ανάπτυξης δίνεται από τον τύπο:

$$\rho_3 = \mu_A \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \frac{S_O}{K_{OA} + S_O} X_{BA}$$

- Αποσύνθεση Ετεροτροφικής Βιομάζας

Έχει διαπιστωθεί ότι η καθαρή παραγωγή ιλύος από την ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών μειώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των στερεών στον βιοαντιδραστήρα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς μηχανισμούς, όπως η λύση ή η ανάγκη των μικροοργανισμών για συντηρούμενη ενέργεια. Άλλες αιτίες αποσύνθεσης της βιομάζας μπορεί να είναι ο θάνατος και η κατανάλωση των μικροοργανισμών από ανώτερους μικροοργανισμούς.

Είναι προφανές πως αν γινόταν προσπάθεια να προσομοιωθούν στο μοντέλο όλες αυτές οι αιτίες φθοράς θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν τουλάχιστον τέσσερις κινητικές εξισώσεις, οι οποίες θα ήταν αρκετά περίπλοκες. Αντί αυτών χρησιμοποιείται μια απλή έκφραση, ανάλογη της συγκέντρωσης της ετεροτροφικής βιομάζας, που περιγράφει . Η ταχύτητα φθοράς εξαρτάται από έναν σταθερό ρυθμό φθοράς b_H , ο οποίος δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Συνεπώς η σχέση από την οποία δίνεται η ταχύτητα φθοράς είναι:

$$\rho_4 = b_H X_{BH}$$

Η αποσύνθεση της βιομάζας έχει σαν αποτέλεσμα την μετατροπή της σε αργά βιοδιασπάσιμη τροφή X_S και σε αδρανή σωματιδιακά προϊόντα X_P , ενώ δημιουργείται και σωματιδιακό οργανικό άζωτο X_{ND} .

- Αποσύνθεση Αυτοτροφικής Βιομάζας

Την αποσύνθεση των αυτοτροφικών μικροοργανισμών την χειριζόμαστε όπως αυτή των ετεροτροφικών. Η ταχύτητα φθοράς είναι ανάλογη της αυτοτροφικής βιομάζας και εξαρτάται από έναν σταθερό συντελεστή b_A . Άρα η ταχύτητα φθοράς της αυτοτροφικής βιομάζας δίνεται από την σχέση:

$$\rho_5 = b_A X_{BA}$$

Τα προϊόντα της αποσύνθεσης των αυτοτροφικών είναι ίδια με αυτά της αποσύνθεσης των ετεροτροφικών.

- Αμμωνιοποίηση

Κατά την διεργασία της αμμωνιοποίησης έχουμε μετατροπή του διαλυμένου οργανικού αζώτου S_{ND} σε αμμωνιακό άζωτο S_{NH} . Ο ρυθμός της μετατροπής αυτής δίνεται από την σχέση:

$$\rho_6 = K_\alpha S_{ND} X_{BH}$$

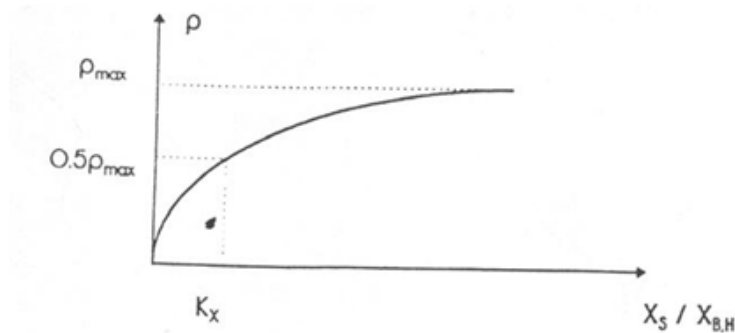
Η εξίσωση αυτή είναι εμπειρική, αλλά επαρκής για την προσομοίωση της αμμωνιοποίησης.

- Υδρόλυση Παγιδευμένων Οργανικών Στερεών

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιούν ως τροφή για την ανάπτυξη τους μόνο τις ενώσεις που εισέρχονται στο κύτταρό τους. Μέσω της διαδικασίας της υδρόλυσης η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική μετατρέπεται σε εύκολα βιοδιασπάσιμη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μικροοργανισμούς. Ο ρυθμός υδρόλυσης είναι ανάλογος της ετεροτροφικής βιομάζας, ενώ όσο ο λόγος του προσροφούμενου υλικού προς την προσροφούσα βιομάζα αυξάνεται ο ρυθμός μεγαλώνει και τείνει στην μέγιστη τιμή του, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4. Επίσης, η ταχύτητα της διεργασίας εξαρτάται από την συγκέντρωση του οξυγόνου και των νιτρικών, που αποτελούν τους αποδέκτες ηλεκτρονίων. Απουσία οξυγόνου και νιτρικών οδηγεί σε μηδενική ταχύτητα υδρόλυσης. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υδρόλυση γίνεται πιο αργά κάτω από ανοξικές συνθήκες απ' ότι κάτω από αερόβιες, γι' αυτό χρησιμοποιείται ένας διορθωτικός συντελεστής η_h . Η σχέση με την οποία περιγράφεται ο ρυθμός της υδρόλυσης είναι:

$$\rho_7 = K_h \frac{X_S/X_{BH}}{K_X + (X_S/X_{BH})} \left[\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} + \eta_h \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right] X_{BH}$$

Η ταχύτητα υδρόλυσης είναι σημαντικά μικρότερη από την ταχύτητα κατανάλωσης της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής, έτσι ώστε στις περιπτώσεις που υπάρχει μόνο X_S να γίνεται η υδρόλυση ο περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης της βιομάζας.



Σχήμα 3.4: Μεταβολή του ρυθμού υδρόλυσης συναρτήσει του λόγου $X_S/X_{B,H}$

- Υδρόλυση Παγιδευμένου Οργανικού Αζώτου

Κατά την αποσύνθεση της βιομάζας παράγεται σωματιδιακό οργανικό άζωτο, το οποίο μέσω της υδρόλυσης μετατρέπεται σε διαλυτό και στη συνέχεια μέσω άλλων διεργασιών παίρνει άλλες μορφές αζώτου. Δεχόμαστε ότι το οργανικό άζωτο είναι ομοιόμορφα διανεμημένο στην αργά βιοδιασπάσιμη τροφή και έτσι η ταχύτητα υδρόλυσης του οργανικού αζώτου είναι ανάλογη της ταχύτητας υδρόλυσης της αργά βιοδιασπάσιμης τροφής. Ο ρυθμός υδρόλυσης του οργανικού αζώτου δίνεται από την σχέση:

$$\rho_8 = \rho_7 \frac{X_{ND}}{X_S}$$

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 I του βιοαντιδραστήρα καθώς και η σχέση της νέας συγκέντρωσης μετά από διάστημα dt .

- Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη (S_i)

Το κομμάτι αυτό της ύλης δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία. Η προσομοίωση της μεταβολής της συγκέντρωσης γίνεται μέσω της εξίσωσης:

$$DS_i(I) = [Q(I-1) \cdot S_i(I-1) - Q(I) \cdot S_i(I)] \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_i(t + dt, I) = S_i(t, I) + DS_i(I)$$

- Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (S_S)

Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη απομακρύνεται από το σύστημα μέσω της αερόβιας και της ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας, ενώ παράγεται από της υδρόλυση της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης. Η μεταβολή της συγκέντρωσης του S_S δίνεται από την σχέση:

$$DS_S(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_S(I-1) - Q(I) \cdot S_S(I) + \left(-\frac{1}{Y_H} \cdot \rho_1(I) \cdot V(I) \right) + \left(-\frac{1}{Y_H} \cdot \rho_2(I) \cdot V(I) \right) + (\rho_7(I) \cdot V(I)) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_S(t + dt, I) = S_S(t, I) + DS_S(I)$$

- Αδρανής Αιωρούμενη Οργανική Ύλη (X_I)

Πρόκειται για ένα ακόμη κομμάτι της ύλης που δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία. Η μεταβολή στην συγκέντρωση του συστατικού δίνεται από την σχέση:

$$DX_I(I) = [Q(I-1) \cdot X_I(I-1) - Q(I) \cdot X_I(I)] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_I(t + dt, I) = X_I(t, I) + DX_I(I)$$

- Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_S)

Η συγκέντρωση της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης αυξάνεται μέσω της αποσύνθεσης της βιομάζας, ενώ μειώνεται λόγω της υδρόλυσης. Η σχέση από την οποία δίνεται είναι η εξής:

$$DX_S(I) = \left[Q(I-1) \cdot X_S(I-1) - Q(I) \cdot X_S(I) + \left((1 - f_p) \cdot \rho_4(I) \cdot V(I) \right) + \left((1 - f_p) \cdot \rho_5(I) \cdot V(I) \right) + (-\rho_7(I) \cdot V(I)) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_S(t + dt, I) = X_S(t, I) + DX_S(I)$$

- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

Η ετεροτροφική βιομάζα παράγεται μέσω της αερόβιας και της ανοξικής ανάπτυξης, ενώ η συγκέντρωσή της μειώνεται μέσω της αποσύνθεσης. Η μεταβολή της συγκέντρωσης δίνεται από την σχέση:

$$DX_{BH}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{BH}(I-1) - Q(I) \cdot X_{BH}(I) + (\rho_1(I) \cdot V(I)) + (\rho_2(I) \cdot V(I)) + (-\rho_4(I) \cdot V(I))] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_{BH}(t + dt, I) = X_{BH}(t, I) + DX_{BH}(I)$$

- Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

Οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί αναπτύσσονται κάτω από αερόβιες συνθήκες και καταστρέφονται μέσω της αποσύνθεσης. Η εξίσωση μεταβολής τους είναι:

$$DX_{BA}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{BA}(I-1) - Q(I) \cdot X_{BA}(I) + (\rho_3(I) \cdot V(I)) + (-\rho_5(I) \cdot V(I))] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_{BA}(t + dt, I) = X_{BA}(t, I) + DX_{BA}(I)$$

- Σωματιδιακά Προϊόντα Φθοράς Μικροοργανισμών (X_P)

Τα προϊόντα φθοράς παράγονται μέσω της αποσύνθεσης της βιομάζας. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης τους είναι:

$$DX_P(I) = \left[\begin{array}{l} Q(I-1) \cdot X_P(I-1) - Q(I) \cdot X_P(I) + (f_p \cdot \rho_4(I) \cdot V(I)) + \\ + (f_p \cdot \rho_5(I) \cdot V(I)) \end{array} \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_P(t + dt, I) = X_P(t, I) + DX_P(I)$$

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

Ένα ακόμη κομμάτι της ύλης που δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία. Συνεπώς, η μεταβολή στην συγκέντρωσή του δίνεται από την εξίσωση:

$$DX_{NV}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{NV}(I-1) - Q(I) \cdot X_{NV}(I)] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_{NV}(t + dt, I) = X_{NV}(t, I) + DX_{NV}(I)$$

• Διαλυμένο Οξυγόνο (S_O)

Η κατανάλωση οξυγόνου συνδέεται με τις διεργασίες της αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικής και αυτοτροφικής βιομάζας. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης του δίνεται από την σχέση:

$$DS_O(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_O(I-1) - Q(I) \cdot S_O(I) + \left(\left(-\frac{1-Y_H}{Y_H} \right) \cdot \rho_1(I) \cdot V(I) \right) + \left(\left(-\frac{4,57-Y_A}{Y_A} \right) \cdot \rho_3 \cdot V(I) \right) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_O(t + dt, I) = S_O(t, I) + DS_O(I)$$

Ο όρος 4,57 είναι η θεωρητική απαίτηση οξυγόνου για την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε αερόβιο διαμέρισμα μπορούν να ρυθμίζονται μέσω του συστήματος αερισμού της εγκατάστασης στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος dt .

• Νιτρικό Άζωτο (S_{NO})

Το νιτρικό άζωτο παράγεται κατά την αερόβια ανάπτυξη της αυτοτροφικής βιομάζας και καταναλώνεται κατά την ανοξική ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας λόγω απονιτροποίησης. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης είναι:

$$DS_{NO}(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_{NO}(I-1) - Q(I) \cdot S_{NO}(I) + \left(\left(-\frac{1-Y_H}{2,86Y_H} \right) \cdot \rho_2(I) \cdot V(I) \right) + \left(\frac{1}{Y_A} \cdot \rho_3(I) \cdot V(I) \right) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_{NO}(t + dt, I) = S_{NO}(t, I) + DS_{NO}(I)$$

Ο όρος 2,86 περιγράφει το ισοδύναμο οξυγόνο για την μετατροπή του νιτρικού αζώτου σε αέριο άζωτο και περιλαμβάνεται στην εξίσωση για λόγους συμβατότητας των μονάδων.

- Αμμωνιακό Άζωτο (S_{NH})

Το αμμωνιακό άζωτο παράγεται με την αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου, ενώ απομακρύνεται από το σύστημα μέσω της ανάπτυξης της βιομάζας. Η εξίσωση μεταβολής του αμμωνιακού αζώτου είναι:

$$DS_{NH}(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_{NH}(I-1) - Q(I) \cdot S_{NH}(I) + ((-i_{XB}) \cdot \rho_1(I) \cdot V(I)) \right. \\ \left. + ((-i_{XB}) \cdot \rho_2(I) \cdot V(I)) + \left(\left(-i_{XB} - \frac{1}{Y_A} \right) \cdot \rho_3(I) \cdot V(I) \right) + (\rho_6(I) \cdot V(I)) \right] \\ \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_{NH}(t + dt, I) = S_{NH}(t, I) + DS_{NH}(I)$$

- Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο (S_{ND})

Το διαλυμένο οργανικό άζωτο δημιουργείται από την υδρόλυση του σωματιδιακού οργανικού αζώτου και απομακρύνεται από το σύστημα μέσω της αμμωνιοποίησης, όπου μετατρέπεται σε αμμωνιακό. Η μεταβολή της συγκέντρωσης δίνεται από την εξίσωση:

$$DS_{ND}(I) = [Q(I-1) \cdot S_{ND}(I-1) - Q(I) \cdot S_{ND}(I) + (-\rho_6(I) \cdot V(I)) + (\rho_8(I) \cdot V(I))] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$S_{ND}(t + dt, I) = S_{ND}(t, I) + DS_{ND}(I)$$

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

Το σωματιδιακό οργανικό άζωτο δημιουργείται μέσω της αποσύνθεσης της βιομάζας και απομακρύνεται με την υδρόλυση του παγιδευμένου οργανικού αζώτου. Από το άζωτο που παράγεται κατά την αποσύνθεση της βιομάζας αφαιρείται το άζωτο που αντιστοιχεί στα προϊόντα φθοράς, καθώς δεν συμμετέχουν σε καμία βιολογική διεργασία. Η εξίσωση μεταβολής του σωματιδιακού οργανικού αζώτου είναι:

$$DX_{ND}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{ND}(I-1) - Q(I) \cdot X_{ND}(I) + ((i_{XB} - i_{XPf_p}) \cdot \rho_4(I) \cdot V(I)) \\ + ((i_{XB} - i_{XPf_p}) \cdot \rho_5(I) \cdot V(I)) + (-\rho_8(I) \cdot V(I))] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$X_{ND}(t + dt, I) = X_{ND}(t, I) + DX_{ND}(I)$$

• Αλκαλικότητα (S_{ALK})

Η αλκαλικότητα μας παρέχει πληροφορίες για την εκτίμηση υπερβολικών τιμών του pH. Η εξίσωση μεταβολής της αλκαλικότητας είναι:

$$DS_{ALK}(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_{ALK}(I-1) - Q(I) \cdot S_{ALK}(I) + \left(\frac{i_{XB}}{14} \cdot \rho_1(I) \cdot V(I) \right) + \left(\left(\frac{1 - Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} - \frac{i_{XB}}{14} \right) \cdot \rho_2(I) \cdot V(I) \right) + \left(\frac{1}{14} \cdot \rho_6(I) \cdot V(I) \right) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

ενώ η νέα τιμή της αλκαλικότητας θα είναι:

$$S_{ALK}(t + dt, I) = S_{ALK}(t, I) + DS_{ALK}(I)$$

3.4.4 Παράμετροι του μαθηματικού ομοιώματος

Όπως φάνηκε από τις παραπάνω εξισώσεις στο μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιούμε εισέρχεται ένας σημαντικός αριθμός στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων από τις οποίες εξαρτώνται οι διεργασίες του συστήματος. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια διασάφησης των παραμέτρων αυτών, ενώ δίνονται και τυπικές τιμές τους.

α) Στοιχειομετρικές παράμετροι

Ο συντελεστής απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Y_H εκφράζει την 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.

Η απόδοση της αυτοτροφικής βιομάζας εκφράζει την μάζα αυτοτροφικών μικροοργανισμών που αναπτύσσεται όταν καταναλώνεται συγκεκριμένη μάζα αζώτου. Θεωρείται πως δεν αλλάζει σημαντικά από σύστημα σε σύστημα και η τιμή που χρησιμοποιείται είναι 0,24 gr δημιουργούμενου κυττάρου COD/gr οξειδωμένου N δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται 4,33 gr O_2 για κάθε gr νιτρικού αζώτου που δημιουργείται.

Ο 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.

Η παράμετρος i_{XB} υποδηλώνει την μάζα αζώτου που υπάρχει ανά κύτταρο βιομάζας και παίρνει την τιμή 0,086 gr N/gr COD. 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.

β) Κινητικές Παράμετροι

Η παράμετρος μ_H αποτελεί τον μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας. Επειδή εξαρτάται από την φύση των λυμάτων είναι δύσκολο να προσδιορισθεί ακριβώς, αλλά έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι τόσο κρίσιμος παράγοντας για το σύστημα. Στην τιμή του σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία των λυμάτων, ενώ στους 20°C χρησιμοποιείται η τιμή $6d^{-1}$.

Ο συντελεστής μ_A αντιπροσωπεύει τον μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας. Μέσω αυτού καθορίζεται ο ελάχιστος χρόνος παραμονής στερεών κάτω από τον οποίο οι νιτροποιητές δεν μπορούν να παραμείνουν στο σύστημα. Και αυτός ο συντελεστής εξαρτάται από την θερμοκρασία των λυμάτων και για τους 20°C χρησιμοποιείται η τιμή $0,68d^{-1}$.

Ο ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης της ετεροτροφικής βιομάζας b_H είναι ανεξάρτητος των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν και επηρεάζεται μόνο από την θερμοκρασία των λυμάτων. Για θερμοκρασία 20°C ο συντελεστής b_H παίρνει την τιμή $0,62d^{-1}$.

Ο συντελεστής b_A συμβολίζει τον ειδικό ρυθμό αποσύνθεσης της αυτοτροφικής βιομάζας. Η μέτρησή του είναι δύσκολη και γι' αυτό το λόγο προτείνονται τιμές στο διάστημα 0,05 ως $0,15d^{-1}$. Στην παρούσα προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η τιμή $0,12d^{-1}$, όταν η θερμοκρασία των λυμάτων ισούται με 20°C.

Η παράμετρος K_S αντιπροσωπεύει τον συντελεστή κορεσμού της ετεροτροφικής βιομάζας. Η τιμή του εξαρτάται από την φύση των λυμάτων, ενώ επηρεάζεται και από την μορφή των βιοαντιδραστήρων. Έχουν προταθεί τιμές του σε ένα εύρος 10 μέχρι 180 gr COD/m³ και γι' αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η τιμή 20.

Ο συντελεστής κορεσμού οξυγόνου K_{OH} λειτουργεί ως «διακόπτης» στην προσομοίωση, ώστε να σταματά η αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών όταν δεν υπάρχει διαλυμένο οξυγόνο. Η τιμή που λαμβάνει είναι $0,2 \text{ grO}_2/\text{m}^3$.

Με την παράμετρο K_{NO} συμβολίζεται ο συντελεστής κορεσμού νιτρικών γαι την απονιτροποιητική ετεροτροφική βιομάζα. Πρόκειται για έναν ακόμη συντελεστή που χρησιμοποιείται ως «διακόπτης» για την ανοξική ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας και η τιμή του ισούται με $0,5 \text{ grNO}_3\text{-N}/\text{m}^3$.

Μια ακόμη παράμετρος που λειτουργεί σαν «διακόπτης» είναι ο συντελεστής κορεσμού οξυγόνου για την αυτοτροφική βιομάζα K_{OA} . Σκοπός του είναι να σταματάει η νιτροποίηση όταν η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πέφτει σε χαμηλά επίπεδα. Η τιμή του K_{OA} είναι $0,4 \text{ grO}_2/\text{m}^3$.

Ο συντελεστής K_{NH} αποτελεί τον συντελεστή κορεσμού αμμωνίας για την αυτοτροφική βιομάζα και ισούται με $1,0 \text{ grNH}_3\text{-N}/\text{m}^3$.

Ο μέγιστος ρυθμός υδρόλυσης K_h , ο ρυθμός αμμωνιοποίησης K_a και ο συντελεστής υδρόλυσης της αργά βιοδιασπάσιμης ύλης K_x είναι σχετικά νέες παράμετροι για τις οποίες δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες. Στο παρόν μοντέλο χρησιμοποιούνται για τους τρεις συντελεστές οι τιμές $3,0 \text{ gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD}/(\text{gr κυτάρου COD}\cdot\text{d})^{-1}$, $0,08 \text{ m}^3\cdot\text{COD}/(\text{gr}\cdot\text{d})^{-1}$ και $0,03 \text{ gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD}/(\text{gr κυτάρου COD})^{-1}$ αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές αυτές υφίστανται όταν η θερμοκρασία των λυμάτων είναι 20°C .

Τέλος στο μοντέλο εμφανίζονται οι αδιάστατοι συντελεστές n_g και n_h . Ο n_g χρησιμοποιείται ώστε να ληφθεί υπόψη στο μοντέλο ότι η μέγιστη ταχύτητα απομάκρυνσης της τροφής κάτω από ανοξικές συνθήκες είναι μικρότερη απ' ότι κάτω από αερόβιες. Η τιμή του ισούται με $0,8$. Ο n_h αποτελεί διορθωτικό παράγοντα για υδρόλυση κάτω από ανοξικές συνθήκες και ισούται με $0,4$.

Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες 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 προσομοίωσης

Σύμβολο	Ερμηνεία	Μονάδες	Τιμή (20°C)
Y_H	Απόδοση Ετεροτροφικής Βιομάζας	gr δημιουργούμενου κυτάρου COD/gr οξειδωμένου COD	0,600
Y_A	Απόδοση Αυτοτροφικής Βιομάζας	gr δημιουργούμενου κυτάρου COD/gr οξειδωμένου N	0,240
f_p	Κομμάτι βιομάζας που παράγει σωματιδιακά προϊόντα	αδιάστατο	0,080
i_{XB}	Μάζα αζώτου ανά μάζα COD στη βιομάζα	gr N/gr COD	0,086
i_{XP}	Μάζα αζώτου ανά μάζα COD στην αδρανή ύλη	gr N/gr COD	0,010

Πίνακας 3.3: Κινητικές παράμετροι μοντέλου προσομοίωσης

Σύμβολο	Ερμηνεία	Μονάδες	Τιμή (20°C)
μ_H	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας	ημέρα ⁻¹	6,00
b_H	Συντελεστής αποσύνθεσης ετεροτροφικής βιομάζας	ημέρα ⁻¹	0,62
$K_{O,H}$	Συντελεστής κορεσμού οξυγόνου για την ετεροτροφική βιομάζα	gr O ₂ /m ³	0,20
K_{NO}	Συντελεστής κορεσμού νιτρικών για απονοτροποιητική ετεροτροφική βιομάζα	gr NO ₃ -N/m ³	0,50
K_S	Συντελεστής κορεσμού ετεροτροφικής βιομάζας	gr COD/m ³	20,00
η_g	Διορθωτικός παράγοντας του μ_H για μη ανοξικές συνθήκες	αδιάστατο	0,80
η_h	Διορθωτικός παράγοντας για υδρόλυση σε ανοξικές συνθήκες	αδιάστατο	0,40
K_h	Μέγιστος ειδικός ρυθμός υδρόλυσης	gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD/(gr κυτάρου COD·ημέρα)	3,00
K_X	Συντελεστής υδρόλυσης αργά βιοδιασπάσιμης ύλης	gr εύκολα βιοδιασπάσιμου COD/gr κυτάρου COD	0,03
μ_A	Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας	ημέρα ⁻¹	0,68
b_A	Συντελεστής αποσύνθεσης αυτοτροφικής βιομάζας	ημέρα ⁻¹	0,12
K_{NH}	Συντελεστής κορεσμού αμμωνίας για αυτοτροφική βιομάζα	gr NH ₃ -N/m ³	1,00
$K_{O,A}$	Συντελεστής κορεσμού οξυγόνου για την αυτοτροφική βιομάζα	gr O ₂ /m ³	0,40
K_a	Ρυθμός αμμωνιοποίησης	m ³ /(gr COD·ημέρα) ⁻¹	0,08

3.4.5 Επίδραση της θερμοκρασίας στις βιολογικές διεργασίες

Όπως αναφέρθηκε κατά την επεξήγηση των παραμέτρων του ομοιώματος, αρκετές από αυτές εξαρτώνται από την θερμοκρασία των λυμάτων. Επομένως, για να λάβουμε υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας στις βιολογικές διεργασίες χρησιμοποιούμε σχέσεις Arrhenius. Πιο συγκεκριμένα για κάθε εξαρτώμενη παράμετρο για θερμοκρασία θ°C έχουμε:

α) Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας

$$\mu_H^\theta = \mu_H^{20} \cdot 1,072^{(\theta-20)}$$

β) Μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας

$$\mu_A^\theta = \mu_A^{20} \cdot 1,103^{(\theta-20)}$$

γ) Μέγιστος ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης ετεροτροφικής βιομάζας

$$b_H^\theta = b_H^{20} \cdot 1,116^{(\theta-20)}$$

δ) Μέγιστος ειδικός ρυθμός αποσύνθεσης αυτοτροφικής βιομάζας

$$b_A^\theta = b_A^{20} \cdot 1,092^{(\theta-20)}$$

ε) Ρυθμός αμμωνιοποίησης

$$K_\alpha^\theta = K_\alpha^{20} \cdot 1,072^{(\theta-20)}$$

στ) Μέγιστος ειδικός ρυθμός υδρόλυσης

$$K_h^\theta = K_h^{20} \cdot 1,116^{(\theta-20)}$$

ζ) Συντελεστής υδρόλυσης αργά βιοδιασπάσιμης τροφής

$$K_X^\theta = K_X^{20} \cdot 1,116^{(\theta-20)}$$

3.4.6 Ζήτηση οξυγόνου

Από τον στοιχειομετρικό πίνακα του μοντέλου παρατηρούμε ότι το οξυγόνο καταναλώνεται κατά την αερόβια ανάπτυξη βιομάζας, τόσο ετεροτροφικής όσο και αυτοτροφικής. Επίσης, στην παράγραφο 3.4.3 καταγράφηκε η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης του οξυγόνου για χρονικό βήμα ολοκλήρωσης dt . Μέσω του συστήματος αερισμού έχουμε τη δυνατότητα να διατηρούμε την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κάθε δεξαμενής αερισμού στο επιθυμητό επίπεδο.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το οξυγόνο που καταναλώνεται, καθώς βάσει αυτού γίνονται τόσο ο αρχικός σχεδιασμός του συστήματος αερισμού όσο και αλλαγές στον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου στο σύστημα. Το απαιτούμενο οξυγόνο υπολογίζεται από την σχέση:

$$OTR = \frac{dS_O}{dt} \cdot V$$

όπου $\frac{dS_O}{dt}$: ο ρυθμός μεταβολής του οξυγόνου σε $gr/(m^3 \cdot step)$

V: ο όγκος της δεξαμενής

Άρα η παραπάνω σχέση μας δίνει το οξυγόνο που απαιτείται σε μια δεξαμενή σε μονάδες $grO_2/step$. 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 kgO_2/h ή kgO_2/d .

Όμως, το OTR δεν αρκεί για τον σχεδιασμό του συστήματος αερισμού, καθώς εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό μετατρέπεται σε τυπικές συνθήκες SOTR βάσει του οποίου σχεδιάζεται το σύστημα αερισμού. Με την αλλαγή του OTR σε SOTR, τα λύματα μετατρέπονται σε καθαρό νερό θερμοκρασίας 20°C . Η σχέση με την οποία συνδέονται οι δυο δείκτες είναι:

$$\text{OTR} = (\alpha F) \cdot \text{SOTR} \cdot \theta^{(T-20)} \cdot \left(\frac{C_{\text{STb}} - C}{C_{\text{S20}}} \right)$$

όπου (αF): συντελεστής επίδρασης λύματων και γήρανσης διαχυτών

θ : θερμοκρασιακός συντελεστής ίσος με 1,024

C_{STb} : συγκέντρωση κορεσμού λυμάτων σε θερμοκρασία T . Ισούται με $0.95 \cdot C_{\text{ST}}$, όπου C_{ST} είναι η συγκέντρωση κορεσμού οξυγόνου σε νερό σε θερμοκρασία T . Οι τιμές του C_{ST} συναρτήσει της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

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 ($^\circ\text{C}$)	Συγκέντρωση Κορεσμού Οξυγόνου σε νερό (mg/l)	Θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$)	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: Στοιχειομετρικός πίνακας και ρυθμός διεργασιών μοντέλου προσομοίωσης

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ρυθμός Διεργασιών ρ_i
	S_I	S_S	X_I	X_S	X_{BH}	X_{BA}	X_P	X_{NV}	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}	S_{CO2}	
1. Αερόβια Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{i_{XB}}{14}$	$1,1 \cdot \frac{1-Y_H}{Y_H}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH}$
2. Ανοξική Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{2,86Y_H}$		$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} - \left(\frac{i_{XB}}{14} \right)$	$1,1 \cdot \frac{1-Y_H}{Y_H}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH} \rho_g$
3. Αερόβια Αναπτυξη Αυοτροφικών						1			$-\frac{4,57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$				$-\frac{4,49}{Y_A}$	$\mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right) X_{BA}$
4. Αποσύνθεση Ετεροτροφικών				$1 - f_p$	-1		f_p						$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$			$b_H X_{BH}$
5. Αποσύνθεση Αυοτροφικών				$1 - f_p$		-1	f_p						$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$			$b_A X_{BA}$
6. Αμμωνιοποίηση Διαλυμένου Οργανικού Αζώτου											1	-1		$\frac{1}{14}$		$K_\alpha S_{ND} X_{BH}$
7. Υδρόλυση Παγιδευμένων Οργανικών		1		-1												$K_h \frac{X_S/X_{BH}}{K_X + (X_S/X_{BH})} \left(\left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + \rho_h \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right) X_{BH}$
8. Υδρόλυση Παγιδευμένου Οργανικού Αζώτου												1	-1			$\rho_7 \left(\frac{X_{ND}}{X_S} \right)$
Παρατηρούμενος Ρυθμός Αντίδρασης	$r_i = \sum V_{ij} \rho_j$															

3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης

3.5.1 Εισαγωγή

Η Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ) αποτελεί μια πολύ σημαντική μονάδα της εγκατάστασης αφού είναι αυτή που καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής. Ο ρόλος της δεξαμενής καθίζησης είναι:

α) να επιτρέπει την καθίζηση της βιομάζας και να την διαχωρίζει από τα επεξεργασμένα λύματα, τα οποία διαυγασμένα και κατά το δυνατόν απαλλαγμένα από αιωρούμενα στερεά εκρέουν με υπερχειλίση.

β) να επιτυγχάνει επαρκή συμπύκνωση της βιομάζας, ώστε να είναι εύκολη και αποτελεσματική η επαναφορά της στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω της ανακυκλοφορίας.

Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτή η μεγάλη σημασία της εύρυθμης λειτουργίας της ΔΤΚ της εγκατάστασης. Παρόλ' αυτά η προσομοίωση της παρουσιάζει πολλές δυσκολίες και ο σχεδιασμός της βασίζεται σε εμπειρικά κριτήρια.

3.5.2 Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος

Όταν οι συγκεντρώσεις των στερεών του ανάμικτου υγρού είναι υψηλές, μεγαλύτερες από 1000 mg/l, αναπτύσσονται μεταξύ των συσσωματωμάτων δυνάμεις και λόγω αυτών καθιζάνουν σαν ένα στρώμα με ομοιόμορφη ταχύτητα και όχι μεμονωμένα. Ο τύπος αυτός της καθίζησης είναι γνωστός ως «ζωνική καθίζηση» και είναι χαρακτηριστικός του τρόπου καθίζησης στις Δεξαμενές Τελικής Καθίζησης. Η καθιζησιμότητα της ιλύος χαρακτηρίζεται από δυο παραμέτρους:

α) το δείκτη Sludge Volume Index (SVI)

β) την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (Zone Settling Velocity)

α) Δείκτης SVI

Σε έναν 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, εκφρασμένος σε ml, και διαιρείται με την αρχική συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού, εκφρασμένη σε gr/l. Ο λόγος αυτός είναι ο δείκτης SVI.

Σε περιπτώσεις κακής καθιζησιμότητας ιλύος ή υψηλών συγκεντρώσεων MLSS είναι δυνατό η τιμή του SVI να είναι πλασματική. Για να αποφευχθούν λανθασμένες εκτιμήσεις του δείκτη μια συνήθης τακτική είναι η εκτέλεση του πειράματος με αραίωση των MLSS. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο προσδιοριζόμενος δείκτης είναι ο DSVI, ο οποίος προκύπτει με επαρκή αραίωση του ανάμικτου υγρού, ώστε ο όγκος της ιλύος να είναι αρκετά μικρότερος από 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, ενώ η αρχική συγκέντρωση των MLSS ρυθμίζεται 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.

β) 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 βάρους (περίπου 2 m), οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με μηχανισμό αργής ανάδευσης. Με εκτέλεση των πειραμάτων για διάφορες συγκεντρώσεις των MLSS για την ίδια ιλύ προκύπτουν ζεύγη τιμών ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης και MLSS, τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μικρές ταχύτητες ζωνικής καθίζησης και μεγάλες τιμές SVI χαρακτηρίζουν ανάμικτα υγρά με δυσμενή χαρακτηριστικά καθίζησης και συνεπώς μεγάλες απαιτούμενες επιφάνειες ΔTK.

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. Δυο αρκετά διαδεδομένες εξισώσεις είναι:

$$\alpha) V_s = V_0 \cdot X^k \text{ και}$$

$$\beta) V_s = V_0 \cdot e^{-kX}$$

όπου V_s : η ταχύτητα καθίζησης (m/d)

X : η συγκέντρωση των MLSS (kgCOD/m³)

V₀ και k : σταθερές που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος

Αξίζει να σημειωθεί ότι καμία από τις παραπάνω εξισώσεις δεν λαμβάνει υπόψη τις διαδικασίες συμπύκνωσης που γίνονται στον πυθμένα της ΔTK.

Με γνωστές ταχύτητες καθίζησης και συγκεντρώσεων βιομάζας στις αντίστοιχες περιπτώσεις, έγιναν προσπάθειες να βρεθεί μια σχέση μεταξύ των σταθερών καθίζησης και των SVI, SSVI και DSVI. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τιμές των V₀ και k από διάφορες μελέτες.

Πίνακας 3.6: Τιμές των V₀ και k συναρτήσει διαφορετικών SVI, SSVI και DSVI (Πηγη: Μαθηματική Προσομοίωση Ανάπτυξης Νηματοειδών Μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος, Μπούκας Α. Νικόλαος)

Forester (1982)			Rachwal et al. (1982)		
SSVI	V ₀	k	SSVI	V ₀	k
150	5.0	0.435	70	6.61	0.35
170	5.1	0.560	90	6.01	0.36
225	4.9	0.725	110	5.25	0.405
			134	4.11	0.41
Daiger and Roper (1985)			Andreadakis (1993)		
SVI	V ₀	k	DSVI	V ₀	k
44.05	7.80	0.741	44.05	9.98	0.365
64.81	7.80	0.284	64.81	9.62	0.441
95.81	7.80	0.349	95.81	8.28	0.538

Στην παρούσα προσομοίωση για την εκτίμηση της ταχύτητας καθίζησης χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που προτείνονται από τον Α. Ανδρεαδάκη (1993):

$$V_s = V_0 \cdot e^{-kX}$$

$$V_0 = 11 - 0.025 \cdot DSVI$$

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

3.5.4 Υπομοντέλο καθίζησης

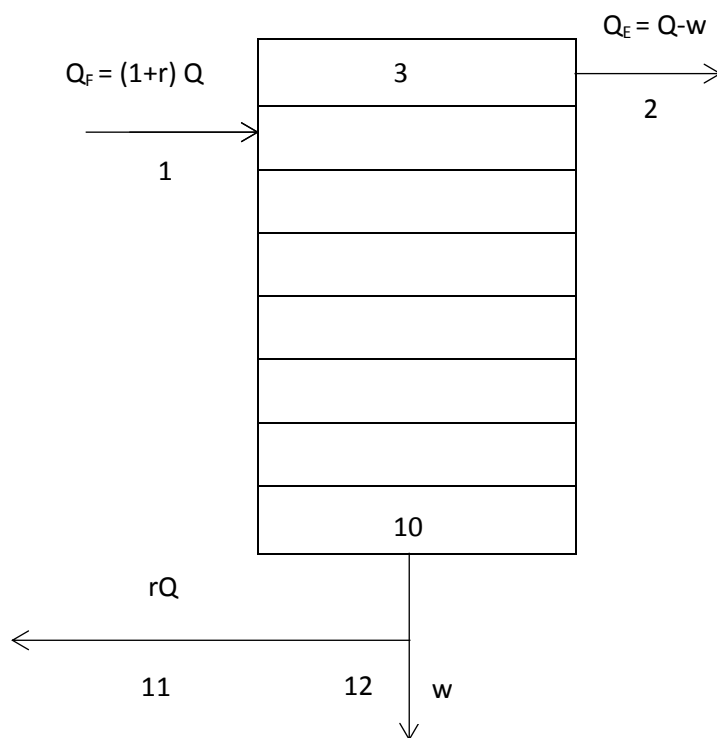
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στην εργασία «Μαθηματική Προσομοίωση Ανάπτυξης Νηματοειδών

Μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος» (Μπούκας, 2008), το οποίο βασίζεται στη θεωρία μάζας.

Η δεξαμενή τελικής καθίζησης χωρίζεται σε οκτώ ισοϋψή στρώματα σταθερής επιφάνειας $A \text{ m}^2$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5 . Για κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού σε κάθε τμήμα εφαρμόζονται οι μερικές διαφορικές εξισώσεις για την μεταβολή της συγκέντρωσης των συστατικών.

Στη δεξαμενή τελικής καθίζησης συμπυκνώνονται μόνο τα σωματιδιακά συστατικά, ενώ τα διαλύτα απομακρύνονται με την συγκέντρωση που έχουν μετά τον βιολογικό αντιδραστήρα. Πιο συγκεκριμένα, τα συστατικά για τα οποία θα έχουμε μεταβολή στην συγκέντρωσή τους είναι:

- Αδρανής Σωματιδιακή Ύλη (X_I)
- Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_S)
- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})
- Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})
- Σωματιδιακά Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας (X_P)
- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})
- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})



Σχήμα 3.5: Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης του στρώματος I υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_S(l) = V_0 \cdot e^{-k \cdot X(l)}$$

όπου $X(l) = X_I(l) + X_S(l) + X_{BH}(l) + X_{BA}(l) + X_P(l)$

$$V_0 = 11 - 0,025 \cdot DSVI$$

$$k = 0,22 + 0,0033 \cdot DSVI$$

Στην συνέχεια ακολουθούν οι εξισώσεις μεταβολής συγκέντρωσης για κάθε στρώμα της δεξαμενής.

α) Στρώμα ανάντη του στρώματος εισόδου στη ΔTK (Θέση 3)

Στην πραγματικότητα στο στρώμα αυτό η καθίζηση δεν είναι ζωνική, αλλά η ταχύτητα καθίζησης καθορίζεται από το νόμο του Stokes. Παρόλ' αυτά χρησιμοποιούμε τους παραπάνω τύπους για να την υπολογίσουμε. Οι συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στο στρώμα αυτό θα είναι η τελική εκροή του συστήματος. Σε χρονικό διάστημα dt η μεταβολή της συγκέντρωσης θα δίνεται από τις εξισώσεις:

• Αδρανής Σωματιδιακή Ύλη (X_I)

$$DX_I(3) = \left[-V_S \cdot X_I(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_I(4) - X_I(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

• Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_S)

$$DX_S(3) = \left[-V_S \cdot X_S(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_S(4) - X_S(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

• Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

$$DX_{BH}(3) = \left[-V_S \cdot X_{BH}(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_{BH}(4) - X_{BH}(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

• Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

$$DX_{BA}(3) = \left[-V_S \cdot X_{BA}(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_{BA}(4) - X_{BA}(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

• Σωματιδιακά Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας (X_P)

$$DX_P(3) = \left[-V_S \cdot X_P(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_P(4) - X_P(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

$$DX_{NV}(3) = \left[-V_S \cdot X_{NV}(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_{NV}(4) - X_{NV}(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

$$DX_{ND}(3) = \left[-V_S \cdot X_{ND}(3) + \frac{Q_E}{A} \cdot (X_{ND}(4) - X_{ND}(3)) \right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

β) Στρώμα Εισόδου στη ΔTK (Θέση 4)

Στις σχέσεις του στρώματος αυτού υπάρχουν ο όρος για την εισερχόμενη μάζα από τον βιολογικό αντιδραστήρα και ο όρος για την εξερχόμενη μάζα. Σε χρονικό διάστημα dt η μεταβολή της συγκέντρωσης θα δίνεται από τις εξισώσεις:

- Αδρανής Σωματιδιακή Ύλη (X_I)

$$DX_I(4) = [V_S(3) \cdot X_I(3) - V_S(4) \cdot X_I(4) + \frac{[Q_F \cdot X_I(1) - Q_E \cdot X_I(4) - Q_r \cdot X_I(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_S)

$$DX_S(4) = [V_S(3) \cdot X_S(3) - V_S(4) \cdot X_S(4) + \frac{[Q_F \cdot X_S(1) - Q_E \cdot X_S(4) - Q_r \cdot X_S(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

$$DX_{BH}(4) = [V_S(3) \cdot X_{BH}(3) - V_S(4) \cdot X_{BH}(4) + \frac{[Q_F \cdot X_{BH}(1) - Q_E \cdot X_{BH}(4) - Q_r \cdot X_{BH}(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

$$DX_{BA}(4) = [V_S(3) \cdot X_{BA}(3) - V_S(4) \cdot X_{BA}(4) + \frac{[Q_F \cdot X_{BA}(1) - Q_E \cdot X_{BA}(4) - Q_r \cdot X_{BA}(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Σωματιδιακά Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας (X_P)

$$DX_P(4) = [V_S(3) \cdot X_P(3) - V_S(4) \cdot X_P(4) + \frac{[Q_F \cdot X_P(1) - Q_E \cdot X_P(4) - Q_r \cdot X_P(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

$$DX_{NV}(4) = [V_S(3) \cdot X_{NV}(3) - V_S(4) \cdot X_{NV}(4) + \frac{[Q_F \cdot X_{NV}(1) - Q_E \cdot X_{NV}(4) - Q_r \cdot X_{NV}(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

$$DX_{ND}(4) = [V_S(3) \cdot X_{ND}(3) - V_S(4) \cdot X_{ND}(4) + \frac{[Q_F \cdot X_{ND}(1) - Q_E \cdot X_{ND}(4) - Q_r \cdot X_{ND}(4)]}{A}] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

γ) Στρώματα κατάντη της Θέσης Εισόδου στη ΔTK (Θέσεις 5-9)

Η μεταβολή στην συγκέντρωση για χρονικό διάστημα θα δίνεται από τις εξίσωσεις:

- Αδρανής Σωματιδιακή Ύλη (X_I)

$$DX_I(I) = \left[V_S(I-1) \cdot X_I(I-1) - V_S(I) \cdot X_I(I) + \frac{Q_r}{A} [X_I(I-1) - X_I(I)] \right] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_S)

$$DX_S(I) = \left[V_S(I-1) \cdot X_S(I-1) - V_S(I) \cdot X_S(I) + \frac{Q_r}{A} [X_S(I-1) - X_S(I)] \right] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

$$DX_{BH}(I) = [V_S(I-1) \cdot X_{BH}(I-1) - V_S(I) \cdot X_{BH}(I) + \frac{Q_r}{A} [X_{BH}(I-1) - X_{BH}(I)]] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Αυοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

$$DX_{BA}(I) = [V_S(I-1) \cdot X_{BA}(I-1) - V_S(I) \cdot X_{BA}(I) + \frac{Q_r}{A} [X_{BA}(I-1) - X_{BA}(I)]] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Σωματιδιακά Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας (X_P)

$$DX_P(I) = [V_S(I-1) \cdot X_P(I-1) - V_S(I) \cdot X_P(I) + \frac{Q_r}{A} [X_P(I-1) - X_P(I)]] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

$$DX_{NV}(I) = [V_S(I-1) \cdot X_{NV}(I-1) - V_S(I) \cdot X_{NV}(I) + \frac{Q_r}{A} [X_{NV}(I-1) - X_{NV}(I)]] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

$$DX_{ND}(I) = [V_S(I-1) \cdot X_{ND}(I-1) - V_S(I) \cdot X_{ND}(I) + \frac{Q_r}{A} [X_{ND}(I-1) - X_{ND}(I)]] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

δ) Πυθμένας Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης (Θέση 10)

Από την μάζα που υπάρχει σ' αυτό το στρώμα της δεξαμενής ένα μέρος επανέρχεται στο σύστημα μέσω της ανακυκλοφορίας και το υπόλοιπο απομακρύνεται μέσω της περίσσειας. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών τόσο στην ανακυκλοφορία όσο και στην περίσσεια είναι ίδιες με αυτές του πυθμένα της δεξαμενής. Η μεταβολή της συγκέντρωσης σε χρονικό διάστημα dt υπολογίζεται από τις εξίσωσεις:

- Αδρανής Σωματιδιακή Ύλη (X_I)

$$DX_I(10) = \left[V_S(9) \cdot X_I(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_I(9) - X_I(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Αργά Βιοδιασπáσιμη Οργανική Ύλη (X_S)

$$DX_S(10) = \left[V_S(9) \cdot X_S(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_S(9) - X_S(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Ετεροτροφική Βιομάζα (X_{BH})

$$DX_{BH}(10) = \left[V_S(9) \cdot X_{BH}(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_{BH}(9) - X_{BH}(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Αυτοτροφική Βιομάζα (X_{BA})

$$DX_{BA}(10) = \left[V_S(9) \cdot X_{BA}(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_{BA}(9) - X_{BA}(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Σωματιδιακά Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας (X_P)

$$DX_P(10) = \left[V_S(9) \cdot X_P(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_P(9) - X_P(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (X_{NV})

$$DX_{NV}(10) = \left[V_S(9) \cdot X_{NV}(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_{NV}(9) - X_{NV}(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

- Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο (X_{ND})

$$DX_{ND}(10) = \left[V_S(9) \cdot X_{ND}(9) + \frac{Q_r}{A} \cdot [X_{ND}(9) - X_{ND}(10)] \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

Η συγκέντρωση κάθε συστατικού στο τέλος του χρονικού διαστήματος dt κάθε στρώμα της δεξαμενής θα δίνεται από την σχέση:

$$X_I(t + dt, I) = X_I(t, I) + DX_I(I)$$

$$X_S(t + dt, I) = X_S(t, I) + DX_S(I)$$

$$X_{BH}(t + dt, I) = X_{BH}(t, I) + DX_{BH}(I)$$

$$X_{BA}(t + dt, I) = X_{BA}(t, I) + DX_{BA}(I)$$

$$X_P(t + dt, I) = X_P(t, I) + DX_P(I)$$

$$X_{NV}(t + dt, I) = X_{NV}(t, I) + DX_{NV}(I)$$

$$X_{ND}(t + dt, I) = X_{ND}(t, I) + DX_{ND}(I)$$

3.5.4 Όρια εξόδου – Δείκτης ποιότητας εκροής

Η έξοδος του συστήματος θα πρέπει να υπακούει στα όρια που έχουν θεσπιστεί από τη νομοθεσία, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος περιβαλλοντικών επιπτώσεων του αποδέκτη. Οι τιμές που δεν θα πρέπει να υπερβαίνονται φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.7: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις εκροής

Παράμετρος Ρύπανσης		Μέγιστο Επιτρεπόμενο Όριο
BOD ₅ στους 20°C (χωρίς νιτροποίηση)		25 mg/l *
COD		125 mg/l*
SS	για οικισμούς με ι.π. άνω των 10.000	35 mg/l*
	για οικισμούς με ι.π. μεταξύ 2.000 και 10.000	60 mg/l*
N _{total}	για οικισμούς με ι.π. μεταξύ 10.000 και 100.000	15 mg/l**
	για οικισμούς με ι.π. άνω των 100.000	10 mg/l**

* για συγκεκριμένο ποσοστό δειγμάτων, που κυμαίνεται συνήθως από 90-95%

** ως μέση ετήσια τιμή

Εκτός από τα όρια εξόδου, υπάρχει και ένας ακόμη τρόπος για να χαρακτηριστεί η έξοδος της εγκατάστασης, που είναι η ποιότητα της εκροής. Όπως προτείνεται στο BSM1, είναι ένας σταθμισμένος δείκτης που λαμβάνει υπόψη του τα φορτία εκροής που έχουν μεγάλη επίδραση στην ποιότητα του αποδέκτη και οριοθετούνται από την νομοθεσία. Η Ποιότητα Εκροής (Effluent Quality – EQ) ορίζεται από την σχέση:

$$EQ = \frac{1}{T \cdot 1000} \int_{t_1}^{t_2} \left(B_{SS} \cdot SS_e(t) + B_{COD} \cdot COD_e(t) + B_{NKj,e} \cdot S_{NKj,e}(t) + B_{NO} \cdot S_{NO,e}(t) + B_{BOD5} \cdot BOD_{5,e}(t) \right) \cdot Q_e(t) \cdot dt$$

όπου EQ : Ποιότητα Εκροής (kg pollution/d)

T : η περίοδος παρατήρησης της ποιότητας εκροής (d)

t1,t2 : η αρχή και η λήξη της περιόδου T

SS_e : συγκέντρωση Ολικών Αιωρούμενων Στερεών, δηλαδή το άθροισμα των VSS και X_{NV} στην έξοδο (gr/m^3)

$$COD_e = S_{S,e} + S_{I,e} + X_{S,e} + X_{I,e} + X_{BH,e} + X_{BA,e} + X_{P,e} \quad (gr/m^3)$$

$$S_{NKj,e} = S_{NH,e} + S_{ND,e} + X_{ND,e} + i_{XB} \cdot (X_{BH,e} + X_{BA,e}) + i_{XP} \cdot (X_{P,e} + X_{I,e}) \quad (gr/m^3)$$

$S_{NO,e}$: συγκέντρωση Νιτρικού Αζώτου (gr/m^3)

$$BOD_{5,e} = 0,25 \cdot (SS_e + X_{S,e} + (1-f_p) \cdot (X_{BH,e} + X_{BA,e})) \quad (gr/m^3)$$

Οι συντελεστές B_i αποτελούν συντελεστές βαρύτητας που μετατρέπουν τις συγκεντρώσεις σε μονάδες ρύπανσης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αυτών.

Πίνακας 3.8: Συντελεστές βαρύτητας φορτίων εκροής

Συντελεστής	B_{SS}	B_{COD}	B_{NKj}	B_{NO}	B_{BOD5}
Τιμή (gr ρύπανσης/gr)	2	1	30	10	2

3.6 Πάχυνση ιλύος

3.6.1 Εισαγωγή

Οι μονάδες πάχυνσης έχουν ως σκοπό την απομάκρυνση μέρους του περιεχόμενου υγρού, και κατά συνέπεια την μείωση του όγκου της ιλύος, και την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ευκολότερη και οικονομικότερη η σταθεροποίηση της ιλύος στην μονάδα χώνευσης, όπου είναι απαραίτητες συγκεντρώσεις στερεών μεγαλύτερες από 3%.

Σε μια ΕΕΛ χρειάζεται να διαχειριστούν δυο μορφές ιλύος, η πρωτοβάθμια και η βιολογική ιλύς. Για την πρωτοβάθμια ιλύ μπορεί να έχει επιτευχθεί ικανοποιητική συμπύκνωση στην πρωτοβάθμια καθίζηση και να μην χρειάζεται πάχυνσή της. Επειδή, όμως, πολλές φορές γίνεται συχνή απομάκρυνση ιλύος από τον πυθμένα της ΔΠΚ, η συγκέντρωση των στερεών κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2% και είναι σκόπιμη η πάχυνσή της. Στη παρούσα προσομοίωση θεωρήθηκε συγκέντρωση στερεών 1,5%, οπότε η πρωτοβάθμια ιλύς οδηγείται σε πάχυνση. Αντίθετα, η βιολογική ιλύς εξέρχεται από τη Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης με μια συγκέντρωση της τάξεως 0,5-1,5%. Επομένως είναι απαραίτητη η πάχυνσή της πριν οδηγηθεί στην χώνευση.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη πάχυνσης της ιλύος είναι πάχυνση με βαρύτητα και μηχανική πάχυνση, που περιλαμβάνει τράπεζες πάχυνσης, φυγοκέντρωση και επίπλευση. Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται για την πρωτοβάθμια ιλύ, ενώ η δεύτερη είναι καταλληλότερη για την βιολογική ιλύ. Κατά τη μηχανική πάχυνση προστίθενται χημικά πολυμερή, όπως πολυηλεκτρολύτης, ώστε να επιτευχθεί ευκολότερα ο διαχωρισμός του νερού από τα στερεά.

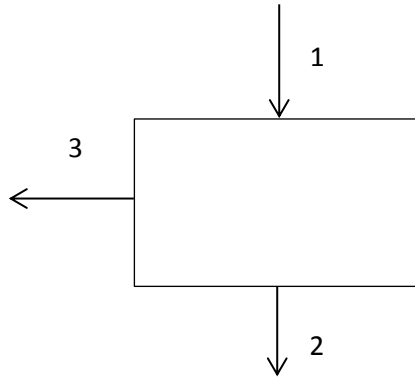
Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η απόδοση των μονάδων πάχυνσης χαρακτηρίζεται από το ποσοστό συγκράτησης στερεών (Capture Rate-CR) που επιτυγχάνουν. Ο δείκτης αυτός δείχνει το ποσοστό της μάζας των στερεών που οδηγείται σε περαιτέρω επεξεργασία, ενώ η υπόλοιπη μάζα αποτελεί τα στραγγίδια, τα οποία οδηγούνται ανάντη της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Το ποσοστό αυτό είναι επιθυμητό να κυμαίνεται μεταξύ 85-95%, καθώς μικρότερες τιμές του αυξάνουν τα φορτία εισροής στην εγκατάσταση.

3.6.2 Προσομοίωση πάχυνσης

Στην παρούσα προσομοίωση θεωρείται πως γίνεται χωριστή πάχυνση της πρωτοβάθμιας και της βιολογικής ιλύος. Για την πρωτοβάθμια ιλύ χρησιμοποιείται παχυντής βαρύτητας, ενώ για τη βιολογική ιλύ μηχανική πάχυνση.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιείται ένα ποσοστό συγκράτησης στερεών CR (%), το οποίο διαχωρίζει το τμήμα της μάζας των σωματιδιακών συστατικών που θα υποστεί περαιτέρω επεξεργασία και τη μάζα που θα επανέρθει στο σύστημα με τη μορφή στραγγιδίων. Η συγκέντρωση των συνολικών στερεών της εξερχόμενης ιλύος θεωρούμε ότι ισούται με $5\% = 50\text{kg/m}^3$. Όσον αφορά τα διαλυτά συστατικά του μοντέλου, η συγκέντρωσή τους παραμένει ίδια με αυτή που εισέρχονται στην πάχυνση. Επίσης, γίνεται η θεώρηση ότι το διαλυμένο οξυγόνο που υπάρχει στα λύματα καταλώνεται εξ' ολοκλήρου κατά τη διαδικασία της πάχυνσης. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις στην επεξεργασία ιλύος είναι επιθυμητό να εκφράζονται σε όρους grVSS/m^3 και γι' αυτό χρησιμοποιείται ο συντελεστής μετατροπής $1,42\text{grCOD/grVSS}$.

Στο Σχήμα 3.6 φαίνονται οι ενδιαφερόμενες θέσεις ενός παχυντή και στη συνέχεια καταγράφονται οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μάζας και της συγκέντρωσης κάθε συστατικού, οι οποίες είναι ίδιες και για τις δυο μορφές πάχυνσης, καθώς και για την εκτίμηση της απαιτούμενης ποσότητας πολυηλεκτρολύτη για τη μηχανική πάχυνση.



Σχήμα 3.6: Διακριτοποίηση θέσεων παχυντή

α) Εξερχόμενη Ιλύς (Θέση 2)

Η εξερχόμενη μάζα των ολικών στερεών θα είναι:

$$M_{TSS(2)} = \frac{CR}{100} \cdot M_{TSS(1)}$$

και με γνωστή την συγκέντρωσή τους $TSS=5\%=50\text{kg/m}^3$ μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή της εξερχόμενης ιλύος:

$$Q(2) = \frac{M_{TSS(2)}}{TSS(2)} = \frac{M_{TSS(2)}}{50}$$

Όμοια με τα ολικά αιωρούμενα στερεά μπορούμε να υπολογίσουμε τη μάζα και ακολούθως την συγκέντρωση κάθε σωματιδιακού συστατικού. Οι σχέσεις που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι οι εξής:

$$M_X(2) = \frac{CR}{100} \cdot M_X(1)$$

$$X(2) = \frac{M_X(2)}{Q(2)}$$

Για παράδειγμα, για την αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη X_s θα έχουμε:

$$M_{X_s}(2) = \frac{CR}{100} \cdot M_{X_s}(1)$$

$$X_s(2) = \frac{M_{X_s}(2)}{Q(2)}$$

Όσον αφορά τα διαλυτά συστατικά, η συγκέντρωσή τους δεν μεταβάλλεται, επομένως θα είναι ίδια με αυτήν της εισόδου. Ενώ η μάζα κάθε συστατικού υπολογίζεται εύκολα μέσω της παροχής και της συγκέντρωσής του. Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση είναι οι εξής:

$$S(2) = S(1)$$

$$M_S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

Για παράδειγμα, για το νιτρικό άζωτο S_{NO} θα έχουμε:

$$S_{NO}(2) = S_{NO}(1)$$

$$M_{S_{NO}}(2) = S_{NO}(2) \cdot Q(2)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι για το Διαλυμένο Οξυγόνο S_O θα έχουμε:

$$S_O(2) = 0$$

β) Στραγγίδια (Θέση 3)

Η παροχή των στραγγιδίων θα ισούται με:

$$Q(3) = Q(1) - Q(2)$$

ενώ η συγκέντρωση και η μάζα κάθε σωματιδιακού συστατικού θα δίνεται από τις εξισώσεις:

$$M_X(3) = M_X(1) - M_X(2)$$

$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Για παράδειγμα, για την αδρανή αιωρούμενη οργανική ύλη X_I θα έχουμε:

$$M_{X_I}(3) = M_{X_I}(1) - M_{X_I}(2)$$

$$X_I(3) = \frac{M_{X_I}(3)}{Q(3)}$$

Από την άλλη, ο υπολογισμός της συγκέντρωσης και της μάζας κάθε διαλυτού συστατικού θα γίνεται μέσω των σχέσεων:

$$S(3) = S(1)$$

$$M_S(3) = S(3) \cdot Q(3)$$

Για παράδειγμα, για την αδρανή διαλυμένη οργανική ύλη S_I θα έχουμε:

$$S_I(3) = S_I(1)$$

$$M_{S_I}(3) = S_I(3) \cdot Q(3)$$

Το μόνο συστατικό που διαφοροποιείται είναι το διαλυμένο οξυγόνο S_o , για το οποίο θεωρούμε ότι έχουμε μηδενική συγκέντρωση, δηλαδή:

$$S_o(3) = 0$$

γ) Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για τη μηχανική πάχυνση

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

$$M_{\text{πολ,παχ}} = \frac{5 \cdot M_{\text{TSS}}(1)}{1000} \quad (\text{kg πολυηλ./d})$$

όπου M_{TSS} η μάζα των ολικών στερεών που διέρχεται από την μηχανική πάχυνση σε kgTS/d.

3.7 Χώνευση ιλύος

3.7.1 Εισαγωγή

Η παραγόμενη ιλύς, τόσο η πρωτοβάθμια όσο και η βιολογική, περιέχουν σημαντικά ποσοστά οργανικών στερεών. Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει την άμεση διάθεσή της, καθώς περιέχονται αρκετοί παθογόνοι μικροοργανισμοί και υπάρχει κίνδυνος περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως αποξυγόνωση και οσμές. Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο η ιλύς να καταστεί αδρανής μέσω σταθεροποίησής της, η οποία μπορεί να επιτευχθεί είτε αερόβια είτε αναερόβια.

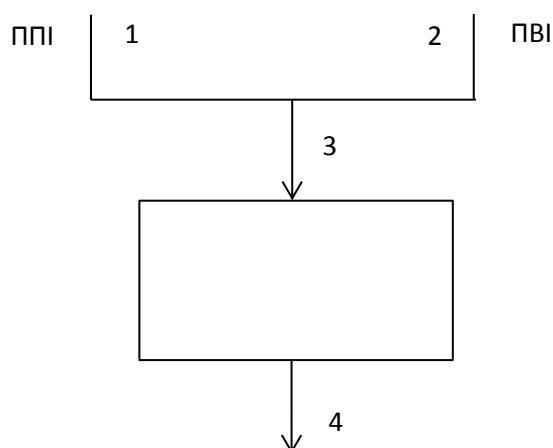
Η αερόβια χώνευση στοχεύει στη διάσπαση των οργανικών στερεών της ιλύος και έχει ταυτόσημες αρχές λειτουργίας με αυτές της δεξαμενής αερισμού του συστήματος. Η αερόβια σταθεροποίηση είναι μια μεθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο σε μικρές εγκαταστάσεις, καθώς όσο αυξάνεται το μέγεθος της εγκατάστασης αυξάνονται και οι απαιτήσεις αερισμού.

Στην αναερόβια χώνευση η διάσπαση των οργανικών στερεών επιτυγχάνεται μέσω διεργασιών που επιτελούνται από αναερόβιους μικροοργανισμούς και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεθανιού. Η ταχύτητα σταθεροποίησης εξαρτάται από την θερμοκρασία του χωνευτή, ενώ έχουν βρεθεί δυο περιοχές θερμοκρασιών στις οποίες η ανάπτυξη των μικροοργανισμών παραγωγής μεθανιού γίνεται υπό βέλτιστες συνθήκες. Η πρώτη είναι μεταξύ 30-35°C, όπου η χώνευση χαρακτηρίζεται

μεσοφιλική, και η δεύτερη μεταξύ 50-55 °C, όπου η χώνευση χαρακτηρίζεται θερμοφιλική. Το βασικότερο πλεονέκτημα της αναερόβιας σταθεροποίησης είναι η παραγωγή βιοαερίου κατά τη διάσπαση των οργανικών στερεών. Το βιοαέριο αποτελεί μια πολύ χρήσιμη πηγή ενέργειας, καθώς μπορεί να μετατραπεί είτε σε θερμική ενέργεια, για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του χωνευτή και άλλων κτιρίων της εγκατάστασης, είτε σε ηλεκτρική, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.

3.7.2 Προσομοίωση χώνευσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε να γίνει αναερόβια μεσοφιλική σταθεροποίηση της ιλύος. Για την προσομοίωση της λειτουργίας της μονάδας χώνευσης έγιναν οι παρακάτω θεωρήσεις.



Σχήμα 3.7: Διακριτοποίηση ενδιαφερόμενων θέσεων για τη μονάδα χώνευσης

Αρχικά, θεωρείται ότι τα βιοδιασπάσιμα οργανικά σωματιδιακά συστατικά, δηλαδή η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη X_S , η ετεροτροφική βιομάζα X_{BH} και η αυτοτροφική βιομάζα X_{BA} , διασπώνται εξαιτίας των διεργασιών που συντελούνται στη μονάδα σταθεροποίησης. Θεωρούμε ότι ο βαθμός διάσπασης διαφέρει μεταξύ πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος, με τον πρώτο να είναι μεγαλύτερος. Έστω ότι ο βαθμός διάσπασης για την πρωτοβάθμια ιλύ είναι $ΒΔ_{ΠΠΙ}$, ενώ για τη δευτεροβάθμια $ΒΔ_{ΠΒΙ}$. Οι εξισώσεις που δίνουν την μάζα και την συγκέντρωση των συστατικών αυτών στην έξοδο του χωνευτή θα είναι:

$$M_X(4) = \frac{100 - ΒΔ_{ΠΠΙ}}{100} \cdot M_X(1) + \frac{100 - ΒΔ_{ΠΒΙ}}{100} \cdot M_X(2)$$

$$X(4) = \frac{M_{-X}(4)}{Q(4)}$$

Για παράδειγμα, για την ετεροτροφική βιομάζα X_{BH} θα έχουμε:

$$M_{-X_{BH}}(4) = \frac{100 - B\Delta_{-ΠΠΙ}}{100} \cdot M_{-X_{BH}}(1) + \frac{100 - B\Delta_{-ΠΒΙ}}{100} \cdot M_{-X_{BH}}(2)$$

$$X_{BH}(4) = \frac{M_{-X_{BH}}(4)}{Q(4)}$$

Για την αδρανή αιωρούμενη οργανική ύλη X_i , τα σωματιδιακά προϊόντα αποσύνθεσης βιομάζας X_P και την ανόργανη σωματιδιακή ύλη X_{NV} θεωρούμε ότι δεν δέχονται καμία επίδραση από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον χωνευτή. Επομένως, η εξερχόμενη μάζα, αλλά και η συγκέντρωση, αυτών των συστατικών παραμένει ίδια με αυτή της εισόδου στον χωνευτή. Για παράδειγμα, για την ανόργανη σωματιδιακή ύλη X_{NV} θα έχουμε:

$$M_{-X_{NV}}(4) = M_{-X_{NV}}(3)$$

$$X_{NV}(4) = X_{NV}(3)$$

Όμοιες εξισώσεις χρησιμοποιούνται και για τα άλλα συστατικά με την ίδια συμπεριφορά.

Το τελευταίο σωματιδιακό συστατικό είναι το σωματιδιακό οργανικό άζωτο X_{ND} . Για το συστατικό αυτό θεωρούμε ότι υφίσταται διάσπαση κατά την σταθεροποίηση της ιλύος, αλλά το χειριζόμαστε με διαφορετικό τρόπο λαμβάνοντας υπόψη έναν ενιαίο βαθμό διάσπασης $B\Delta$. Επομένως οι εξισώσεις που θεωρούμε για τη μάζα και την συγκέντρωσή του στην έξοδο του χωνευτή είναι:

$$M_{-X_{ND}}(4) = \frac{100 - B\Delta}{100} \cdot M_{-X_{ND}}(3)$$

$$X_{ND}(4) = \frac{M_{-X_{ND}}(4)}{Q(4)}$$

Στην παρούσα προσομοίωση ο βαθμός διάσπασης του X_{ND} θεωρήθηκε ίσος με 80%.

Η ποσότητα του σωματιδιακού οργανικού αζώτου που διασπάται μετατρέπεται μέσω υδρόλυσης και αμμωνιοποίησης σε αμμωνιακό άζωτο. Εκτός όμως από αυτό, υπάρχει και άλλη πηγή παραγωγής αμμωνιακού αζώτου κατά την αναερόβια χώνευση, η οποία είναι η ποσότητα αζώτου που περιέχεται στην ετεροτροφική και

αυτοτροφική βιομάζα που διασπάται. Άρα η μάζα και η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο του χωνευτή θα δίνεται από τις σχέσεις:

$$M_{S_{NH}}(4) = M_{S_{NH}}(3) + \frac{B\Delta_{\text{ΠΠΙ}}}{100} \cdot i_{XB} \cdot (M_{X_{BH}}(1) + M_{X_{BA}}(1)) + \frac{B\Delta_{\text{ΠΒΙ}}}{100} \cdot i_{XB} \cdot (M_{X_{BH}}(2) + M_{X_{BA}}(2)) + \frac{B\Delta}{100} \cdot M_{X_{ND}}(3)$$

$$S_{NH}(4) = \frac{M_{S_{NH}}(4)}{Q(4)}$$

Ένα ακόμη διαλυτό συστατικό που η μάζα του υφίσταται μεταβολή κατά την αερόβια χώνευση είναι η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη S_s . Για να επιτευχθεί η μετατροπή των οργανικών στερεών σε οργανικά οξέα και για την παραγωγή μεθανίου από τη διάσπαση των οργανικών οξέων, είναι απαραίτητη η κατανάλωση τροφής. Θεωρώντας ένα βαθμό κατανάλωσης BK της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής, οι σχέσεις που θα δίνουν τη νέα μάζα και τη νέα συγκέντρωση θα είναι:

$$M_{S_s}(4) = \frac{100 - BK}{100} \cdot M_{S_s}(3)$$

$$S_s(4) = \frac{M_{S_s}(4)}{Q(4)}$$

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εκτιμήθηκε ότι ο βαθμός κατανάλωσης της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης ισούται με 80%.

Τέλος, τα υπόλοιπα διαλυτά συστατικά του συστήματος θα εξέρχονται από τον χωνευτή με την ίδια μάζα και την ίδια συγκέντρωση με την οποία εισέρχονται σε αυτόν. Δηλαδή, οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται είναι:

$$M_S(4) = M_S(3)$$

$$S(4) = S(3)$$

Όπου στην θέση του S μπορεί να αντικατασταθεί οποιοδήποτε διαλυτό στοιχείο εκτός του αμμωνιακού αζώτου και της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης. Για παράδειγμα, για την αδρανή διαλυμένη οργανική ύλη S_I θα έχουμε:

$$M_{S_I}(4) = M_{S_I}(3)$$

$$S_I(4) = S_I(3)$$

3.7.3 Παραγωγή βιοαερίου

Όπως αναφέρθηκε, το σημαντικό πλεονέκτημα την αναερόβιας χώνευσης είναι η παραγωγή βιοαερίου από τη διάσπαση της οργανικής ύλης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Το βιοαέριο είναι μίγμα μεθανίου CH_4 και διοξειδίου του άνθρακα CO_2 σε αναλογίες 65-70% και 30-35% αντίστοιχα.

Για τον προσδιορισμό του παραγόμενου βιοαερίου θεωρούμε ότι για κάθε 1 kg VS που διασπάται παράγεται 1 m^3 βιοαερίου. Επίσης, γνωρίζοντας ότι η θερμαντική αξία του βιοαερίου εκτιμάται γύρω στα 5500 Kcal/ m^3 μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την διαθέσιμη ενέργεια που παράγεται. Για το παραγόμενο βιοαέριο θεωρούμε ότι ένα ποσοστό της τάξης του 1% διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μέσα από τον χωνευτή.

Το υπόλοιπο 99% του βιοαερίου στέλνεται σε μια μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας CHP (Combined Heat and Power) και μετατρέπεται σε:

- 50% θερμική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης του χωνευτή, οι οποίες αναλύονται στην συνέχεια. Αν προκύψει περίσσεια ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση άλλων κτιρίων.
- 35% ηλεκτρική ενέργεια. Η ποσότητα αυτής της ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλυφθεί μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης της εγκατάστασης.
- 15% καυσαέρια.

3.7.4 Απαιτήσεις θέρμανσης και θερμικές απώλειες χωνευτή

Για τις συνήθεις θερμοκρασίες των λυμάτων ο βαθμός σταθεροποίησης της ιλύος κρίνεται ανεπαρκής, για το λόγο αυτό οι αναερόβιοι χωνευτές θερμαίνονται. Η θερμοκρασία του χωνευτή θα πρέπει να παραμένει σταθερή σε μια τιμή που εξαρτάται από τον αν η χώνευση είναι μεσοφιλική ή θερμοφιλική. 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.

Για την θέρμανση της ιλύος η απαιτούμενη θερμότητα δίνεται από την σχέση:

$$Q_{\theta} = W \cdot C \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{σε} \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

όπου W : η ροή μάζας της ιλύος (kg/h)

C : η μέση ειδική θερμότητα της ιλύος ίση με 1 Kcal/(kg·°C)

T₁: η θερμοκρασία του χωνευτή (°C)

T₂: η θερμοκρασία της ιλύος (°C)

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του χωνευτή εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των χωνευτών και την χωροθέτησή τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμήθηκαν ως ένα ποσοστό 30% της απαιτούμενης θερμότητας για την ιλύ. Δηλαδή:

$$Q_{\alpha} = 0,30 \cdot Q_{\theta}$$

Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης της ιλύος και της κάλυψης των θερμικών απωλειών του χωνευτή χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια που παράγεται από την κάυση του βιοαερίου.

3.8 Αφυδάτωση

3.8.1 Εισαγωγή

Η αφυδάτωση αποτελεί την τελική μονάδα επεξεργασίας της ιλύος πριν τη διάθεση ή την επαναχρησιμοποίησή της. Σκοπός της είναι ο διαχωρισμός του νερού από τα στερεά σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό, ο οποίος επιβάλλεται για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Η ιλύς εξέρχεται από την αφυδάτωση με μια συγκέντρωση στερεών μεταξύ 18-35% και σημαντικά μειωμένο όγκο σε σχέση με τον αρχικό. Η αφυδάτωση μπορεί να γίνει είτε σε κλίνες ξήρανσης είτε με μηχανικά μέσα.

Οι κλίνες ξήρανσης αποτελούν μια οικονομική μέθοδο αφυδάτωσης, αφού έχουν μικρό κόστος κατασκευής και μικρό κόστος λείπτουργίας, καθώς οι ενεργειακές δαπάνες είναι χαμηλές. Παρολ' αυτά η εφαρμογή τους ολοένα και μειώνεται λόγω των μεγάλων εκτάσεων που απαιτούνται και της κακοσμίας που δημιουργείται.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η μέθοδος αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο είναι με μηχανικά μέσα. Είναι μια μέθοδος που απαιτεί πολύ μικρότερη έκταση και δεν δημιουργούνται έντονα προβλήματα δυσοσμίας. Από την άλλη, τόσο το κόστος κατασκευής όσο και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μηχανικής αφυδάτωσης είναι αρκετά σημαντικά μεγέθη. Για να γίνει ευκολότερος ο διαχωρισμός των στερεών από το νερο προστίθενται κροκιδωτικά, όπως πολυηλεκτρολύτης. Τα συστήματα που συνήθως χρησιμοποιούνται στην μηχανική αφυδάτωση είναι:

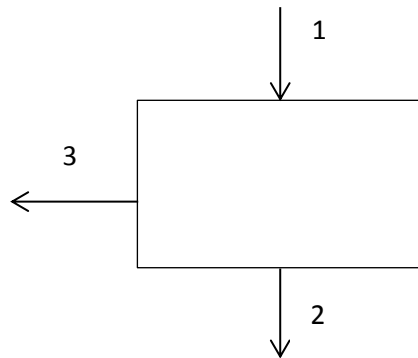
- Φυγοκεντρητές
- Φιλτρόπρεσσες
- Ταινιοφιλτρόπρεσσες

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως η απόδοση της μονάδας αφυδάτωσης εξαρτάται από το ποσοστό συγκράτησης στερεών CR (%) που επιτυγχάνει, όπως ακριβώς και στην πάχυνση της ιλύος.

3.8.2 Προσομοίωση αφυδάτωσης

Η λογική με την οποία διαχειριζόμαστε την αφυδάτωση της ιλύος είναι ίδια με αυτήν που χρησιμοποιούμε στην πάχυνση. Και στην αφυδάτωση λαμβάνουμε υπόψη ένα ποσοστό συγκράτησης στερεών CR (%), το οποίο διαχωρίζει τη μάζα των στερεών που θα διατεθούν και τα στερεά που θα επιστρέψουν στην πρωτοβάθμια καθίζηση μέσω των στραγγιδίων. 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 για τις δυο εξόδους της αφυδάτωσης.



Σχήμα 3.8: Διακριτοποίηση των θέσεων της μονάδας αφυδάτωσης

α) Εξερχόμενη Ιλύς προς διάθεση (Θέση 2)

Με βάση το ποσοστό CR θα έχουμε ότι η μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών TSS θα είναι:

$$M_{\text{TSS}(2)} = \frac{\text{CR}}{100} \cdot M_{\text{TSS}(1)}$$

Γνωρίζοντας επίσης ότι η συγκέντρωση των TSS είναι 25% μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή από την σχέση:

$$Q(2) = \frac{M_{\text{TSS}(2)}}{\text{TSS}(2)} = \frac{M_{\text{TSS}(2)}}{250}$$

Έχοντας υπολογίσει την εξερχόμενη παροχή μπορούμε να υπολογίσουμε την συγκέντρωση κάθε σωματιδιακού συστατικού. Πιο συγκεκριμένα, η εξερχόμενη μάζα για κάθε σωματιδιακό συστατικό θα δίνεται από την σχέση:

$$M_X(2) = \frac{CR}{100} \cdot M_X(1)$$

ενώ η συγκέντρωση του θα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$X(2) = \frac{M_X(2)}{Q(2)}$$

Για παράδειγμα, για την αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη X_S θα έχουμε:

$$M_{X_S}(2) = \frac{CR}{100} \cdot M_{X_S}(1)$$

$$X_S(2) = \frac{M_{X_S}(2)}{Q(2)}$$

Όσον αφορά τα διαλυτά στοιχεία, θεωρούμε ότι η συγκέντρωσή τους θα είναι ίδια με αυτή στην είσοδο της αφυδάτωσης και θα υπολογίζουμε μέσω της παροχής την μάζα του συστατικού. Επομένως για κάθε διαλυτό συστατικό θα ισχύουν οι εξισώσεις:

$$S(2) = S(1)$$

$$M_S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

Για παράδειγμα, για το νιτρικό άζωτο S_{NO} θα έχουμε:

$$S_{NO}(2) = S_{NO}(1)$$

$$M_{S_{NO}}(2) = S_{NO}(2) \cdot Q(2)$$

β) Στραγγίδια (Θέση 3)

Η παροχή των σταρραγγιδίων θα ισούται με:

$$Q(3) = Q(1) - Q(2)$$

Η μάζα και η συγκέντρωση κάθε σωματιδιακού συστατικού θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$M_X(3) = M_X(1) - M_X(2)$$

$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Για παράδειγμα, για τα σωματιδιακά προϊόντα αποσύνθεσης βιομάζας X_P θα έχουμε:

$$M_{X_P}(3) = M_{X_P}(1) - M_{X_P}(2)$$

$$X_P(3) = \frac{M_{X_P}(3)}{Q(3)}$$

Η συγκέντρωση των διαλυτών στοιχείων θα ισούται με την συγκέντρωσή τους στην είσοδο της μονάδας και από την παροχή των στραγγιδίων υπολογίζουμε τη μάζα τους. Οι εξισώσεις που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε διαλυτό συστατικό είναι:

$$S(3) = S(1)$$

$$M_S(3) = S(3) \cdot Q(3)$$

Για παράδειγμα, η συγκέντρωση και η μάζα της αδρανούς διαλυμένης οργανικής ύλης S_I θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$S_I(3) = S_I(1)$$

$$M_{S_I}(3) = S_I(3) \cdot Q(3)$$

γ) Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη

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

$$M_{\text{πολ,αφυδ}} = \frac{8 \cdot M_{\text{TSS}}(1)}{1000} \quad (\text{kg πολυηλ./d})$$

όπου M_{TSS} σε kg TS/d.

3.9 Γραμμή στραγγιδίων

Τα άθροισμα των στραγγιδίων της βαρυτικής πάχυνσης, της μηχανικής πάχυνσης και της αφυδάτωσης επιστρέφουν στο σύστημα ανάντη της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης. Για να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αθροίζουμε τις μάζες τους και διαιρούμε με την συνολική παροχή των στραγγιδίων. Αυτό ισχύει για τα διαλυτά στοιχεία, την ανόργανη ύλη και το σωματιδιακό οργανικό άζωτο. Για την σωματιδιακή οργανική ύλη θα πρέπει να προσεχθεί ότι στην γραμμή ιλύος οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε όρους gr VSS/m³. Επομένως, οι συγκεντρώσεις των συστατικών αυτών θα πρέπει να μετατραπούν σε όρους gr COD/m³, ώστε να

μπορούν να συμψηφισθούν με τα φορτία εισροής, βάσει της αναλογίας COD/VSS=1,42 gr COD/gr VSS.

Δηλαδή, για παράδειγμα για την ετεροτροφική βιομάζα X_{BH} θα έχουμε:

$$M_{X_{BH,στραγ.}} = (M_{X_{BH,παχ.βαρ.}} + M_{X_{BH,μηχ.παχ.}} + M_{X_{BH,αφυδ.}}) \cdot 1,42$$

$$X_{BH,στραγ.} = \frac{M_{X_{BH,στραγ.}}}{Q_{στραγ.}}$$

ενώ για όσα συστατικά δεν χρειάζονται μετατροπή σε όρους COD απουσιάζει ο όρος 1,42.

Για να έχουμε μια εποπτεία του ποσοστού που καταλαμβάνουν τα στραγγίδια στην εισροή των λυμάτων υπολογίζουμε λόγους μαζών ορισμένων ποσοτήτων. Οι λόγοι αυτοί ορίζονται ως το πηλίκο μαζών των στραγγιδίων προς τις αντίστοιχες μάζες που εισέρχονται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Οι δείκτες στραγγιδίων που υπολογίζουμε είναι οι εξής:

- Λόγος COD

$$\frac{M_{COD_{στραγ.}}}{M_{COD_{ανάντη \Delta ΠΚ}}}$$

$$\text{όπου } M_{COD} = (S_I + S_S + X_I + X_S + X_{BH} + X_{BA} + X_P) \cdot Q$$

- Λόγος TN

$$\frac{M_{TN_{στραγ.}}}{M_{TN_{ανάντη \Delta ΠΚ}}}$$

$$\text{όπου } M_{TN} = (S_{NH} + S_{NO} + S_{ND} + X_{ND} + i_{XB} \cdot (X_{BH} + X_{BA}) + i_{XP} \cdot (X_I + X_P)) \cdot Q$$

- Λόγος S_{NH}

$$\frac{M_{S_{NH,στραγ.}}}{M_{S_{NH,ανάντη \Delta ΠΚ}}}$$

$$\text{όπου } M_{S_{NH}} = S_{NH} \cdot Q$$

- Λόγος TSS

$$\frac{M_TSS_{\text{στραγ}}}{M_TSS_{\text{ανάντη ΔΠΚ}}}$$

$$\text{όπου } M_TSS = TSS \cdot Q = (VSS + X_{NV}) \cdot Q$$

3.10 Κατανάλωση ενέργειας

3.10.1 Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια

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.

1) Προεπεξεργασία

Στις μονάδες προεπεξεργασίας θεωρούμε ότι θα έχουμε μια κατανάλωση ενέργειας E kWh/m³. Επομένως, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας θα είναι ανάλογη της παροχής εισόδου και θα δίνεται από την σχέση:

$$E_{\text{προεπ}} = E \cdot Q_{\text{εισ}} \quad (\text{kWh/d})$$

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμήθηκε ότι η κατανάλωση ενέργειας στις μονάδες προεπεξεργασίας είναι της τάξης των 0,04 kWh/m³.

2) Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης

Η κατανάλωση ενέργειας στην ΔΠΚ οφείλεται στην κίνηση των ξέστρων της. Θεωρώντας μια απορροφόμενη ισχύ P kW και 24 ώρες λειτουργίας, έχουμε ότι η ημερήσια κατανάλωση θα είναι ισούται με:

$$E_{\text{ΔΠΚ,ξεσ}} = P \cdot 24 \quad (\text{kWh/d})$$

Για τις ανάγκες της παρούσας προσομοίωσης θεωρήθηκε ότι η ισχύς των ξέστρων ισούται με 3 kW.

3) Βιολογικός Αντιδραστήρας

Οι αιτίες κατανάλωσης ενέργειας στο Βιοαντιδραστήρα είναι το σύστημα ανάμιξης των δεξαμενών και το σύστημα αερισμού των αερόβιων δεξαμενών.

- Σύστημα Ανάμιξης

Για κάθε δεξαμενή θεωρούμε μια δυναμικότητα του συστήματος ανάμιξης Δ W/m^3 . Άρα η συνολική κατανάλωση ενέργειας λόγω ανάμιξης θα είναι:

$$E_{BA,αν\alpha\mu} = \left(\sum_{i=1}^v \Delta \cdot V_i \right) \cdot \frac{24}{1000} \quad (\text{kWh/d})$$

Στην παρούσα εργασία η δυναμικότητα του συστήματος ανάμιξης θεωρήθηκε ίση με $5 W/m^3$.

- Σύστημα Αερισμού

Έχοντας υπολογίσει την απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR σε $kg O_2/h$ και θεωρώντας μια απόδοση ϵ $kg O_2/kWh$ υπολογίζουμε την κατανάλωση ενέργειας από την σχέση:

$$E_{BA,\alpha\epsilon\rho} = \frac{SOTR}{\epsilon} \quad (\text{kWh/d})$$

Η απόδοση του συστήματος αερισμού εκτιμήθηκε ίση με $3.5 kg O_2/kWh$.

4) Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης

Όπως και στην Πρωτοβάθμια Καθίζηση, έτσι και εδώ καταναλώνεται ενέργεια εξαιτίας της κίνησης των ξέστρων, για τα οποία θεωρείται απορροφόμενη ισχύς P kW . Άρα η κατανάλωση ενέργειας που θα έχουμε είναι:

$$E_{\Delta TK,\xi\epsilon\sigma} = P \cdot 24 \quad (\text{kWh/d})$$

Όπως και στην Πρωτοβάθμια Καθίζηση, η ισχύς των ξέστρων θεωρήθηκε ίση με $3 kW$.

5) Παχυντής βαρύτητας

Και σε αυτήν τη δεξαμενή η κατανάλωση ενέργειας είναι αποτέλεσμα της κίνησης των ξέστρων της. Θεωρώντας ότι τα ξέστρα έχουν ισχύ P kW , έχουμε για την κατανάλωση ενέργειας:

$$E_{\Pi\Pi,\xi\epsilon\sigma} = P \cdot 24 \quad (\text{kWh/d})$$

Η ισχύς των ξέστρων θεωρήθηκε ίση με $2 kW$.

6) Μηχανική Πάχυνση

Υποθέτουμε ότι η πάχυνση της βιολογικής ιλύος γίνεται σε τράπεζες πάχυνσης με δυναμικότητα Δ $kg SS/m/h$ και απορροφόμενη ισχύ P kW . Η σχέση από την οποία προκύπτει η κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$E_{\text{ΠΒΙ}} = \frac{M_{\text{TSS}}}{n \cdot l \cdot \Delta} \cdot P \quad (\text{kWh/d})$$

όπου M_{TSS} : η μάζα των στερεών που πάει στη μηχανική πάχυνση (kg SS/d)

n : ο αριθμός των τραπεζών πάχυνσης

l : το πλάτος των τραπεζών πάχυνσης (m)

Δ : η δυναμικότητα κάθε τράπεζας πάχυνσης (kg SS/m/h)

P : η απορροφόμενη ισχύς (kW)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται 3 τράπεζες πάχυνσης πλάτους 2 m, με δυναμικότητα 150 kg SS/m/h και απορροφόμενη ισχύ 2 kW.

7) Χωνευτής Ιλύος

Στον Χωνευτή Ιλύος έχουμε κατανάλωση ενέργειας λόγω ανάμιξης. Έστω το σύστημα ανάμιξης έχει δυναμικότητα Δ W/m³, η κατανάλωση ενέργειας θα είναι:

$$E_{\text{XI}} = (\Delta \cdot V_{\text{χων}}) \cdot \frac{24}{1000} \quad (\text{kWh/d})$$

Και για αυτό το σύστημα ανάμιξης θεωρήθηκε δυναμικότητα ίση με 5 W/m³.

8) Αφυδάτωση Ιλύος

Θεωρούμε ότι η αφυδάτωση γίνεται με ταινιοφιλτρόπρεσσες δυναμικότητας Δ kg SS/m/h και απορροφόμενης ισχύς P kW. Επίσης, χρησιμοποιείται ένας κινητήρας, για την λειτουργία των πρεσών, με ισχύ $P_{\text{κιν}}$ kW, ο οποίος λειτουργεί t ώρες την ημέρα. Η ολική κατανάλωση ενέργειας στη μονάδα της αφυδάτωσης δίνεται από την σχέση:

$$E_{\text{αφυσ}} = \frac{M_{\text{TSS}}}{n \cdot l \cdot \Delta} \cdot P + 1 \cdot P_{\text{κιν}} \cdot t \quad (\text{kWh/d})$$

όπου M_{TSS} : η μάζα των στερεών που πάει στην αφυδάτωση (kg SS/d)

n : ο αριθμός των ταινιοφιλτρόπρεσών

l : το πλάτος των ταινιοφιλτρόπρεσών (m)

Δ : η δυναμικότητα κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας (kg SS/m/h)

P : η απορροφόμενη ισχύς (kW)

$P_{\text{κιν}}$: η απορροφόμενη ισχύς του κινητήρα (kW)

t : οι ώρες λειτουργίας του κινητήρα

Για την προσομοιούμενη εγκατάσταση θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται 3 ταινιοφιλτράτρες πλάτους 2 m, δυναμικότητας 150 kg SS/m/h και απορροφόμενης ισχύος 2,5 kW. Επίσης επιλέχθηκε κινητήρας με ισχύ 5 kW, ο οποίος λειτουργεί για 8 ώρες την ημέρα.

9) 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

Στις τέσσερις πρώτες περιπτώσεις η κατανάλωση ενέργειας δίνεται από την σχέση:

$$E_{\text{αντ}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q(i) \cdot H_{\mu}(i)}{\varepsilon_{\text{αποδ}}} \cdot \frac{24}{1000} \quad (\text{kWh/d})$$

όπου ρ : η πυκνότητα των λυμάτων, ίση με 1000 kg/m^3

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας, ίση με $9,81 \text{ m/s}^2$

Q : η παροχή που αντλείται σε κάθε περίπτωση, σε m^3/s

ε : η απόδοση του αντλιοστασίου, που θεωρήθηκε ίση με 0,65

H_{μ} : το μανομετρικό ύψος κάθε αντλίας, σε m, και ειδικότερα:

- για την ανακυκλοφορία ιλύος θεωρούμε $H_{\mu}=4 \text{ m}$
- για την εσωτερική ανακυκλοφορία ιλύος θεωρούμε $H_{\mu}=1 \text{ m}$
- για την άντληση πρωτοβάθμιας ιλύος θεωρούμε $H_{\mu}=7 \text{ m}$
- για την άντληση περίσσειας ιλύος θεωρούμε $H_{\mu}=7 \text{ m}$

Τα αντλιοστάσια παχυμένης ιλύος χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ιλύος από τις παχύνσεις στην χώνευση και στη συνέχεια στην αφυδάτωση. Συνεπώς, θεωρούμε ότι χρησιμοποιούνται τρία αντλιοστάσια παχυμένης ιλύος, σε καθένα από τα οποία περιέχονται η αντλίες θετικής εκτόπισης με απορροφόμενη ισχύ P kW. Αν οι αντλίες

αυτές λειτουργούν t ώρες την ημέρα, η συνολική κατανάλωση ενέργειας στα αντλιοστάσια Παχυμένης Ιλύος θα είναι:

$$E_{αντ,ΠΙ} = 3 \cdot n \cdot P \cdot t \quad (\text{kWh/d})$$

Για την παρούσα διπλωματική εργασία θεωρήθηκε ότι σε κάθε αντλιοστάσιο παχυμένης ιλύος περιέχονται 3 αντλίες με απορροφόμενη ισχύ 5 kW, οι οποίες λειτουργούν 8 ώρες ανά ημέρα.

Για την δοσομέτρηση του πολυηλεκτρολύτη, που προστίθεται στη μηχανική πάχυνση και την αφυδάτωση, χρησιμοποιείται μια αντλία σε κάθε βαθμίδα με ισχύ P kW. Για t ώρες λειτουργίας η ενέργεια άντλησης του πολυηλεκτρολύτη θα είναι:

$$E_{αντ,πολ} = 2 \cdot P \cdot t \quad (\text{kWh/d})$$

Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκαν αντλίες με απορροφόμενη ισχύ 3 kW, ενώ ο χρόνος λειτουργίας τους εκτιμήθηκε ίσος με 8 ώρες ανά ημέρα.

Η συνολική ενέργεια άντλησης είναι το άθροισμα όλων των παραπάνω περιπτώσεων.

Η συνολική Καταναλισκόμενη Ενέργεια ($E_{κατ}$) ισούται με το άθροισμα όλων των παραπάνω καταναλώσεων ενέργειας.

3.10.2 Δείκτες κατανάλωσης ενέργειας

Για να γίνει ευκολότερος ο έλεγχος των καταναλώσεων της εγκατάστασης, ανάγουμε την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάποιους δείκτες, οι οποίοι μας επιτρέπουν την σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας της εγκατάστασης. Οι δείκτες αυτοί είναι οι εξής:

- Καταναλισκόμενη Ενέργεια προς παροχή εισόδου

$$\frac{\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια}}{\text{Παροχή Εισόδου}} = \frac{E_{κατ}}{Q_{εισ}} \quad (\text{kWh/m}^3)$$

- Καταναλισκόμενη Ενέργεια προς ποσότητα διασπώμενου COD

$$\begin{aligned} \frac{\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια}}{\text{Ποσότητα Διασπώμενου COD}} &= \frac{E_{κατ}}{M_{\text{COD}_{\text{διασ}}}} \\ &= \frac{E_{κατ}}{Q_{εισ} \cdot \text{COD}_{εισ} - Q_{εξ} \cdot \text{COD}_{εξ}} \quad (\text{kWh/kgCOD}_{\text{διασ}}) \end{aligned}$$

- Καταναλισκόμενη Ενέργεια προς ποσότητα απομακρυνόμενου αζώτου

$$\frac{\text{Καταναλισκόμενη Ενέργεια}}{\text{Ποσότητα Απομακρυνόμενου N}} = \frac{E_{\text{κατ}}}{M \cdot N_{\text{απομ}}}$$

$$= \frac{E_{\text{κατ}}}{Q_{\text{εισ}} \cdot TN_{\text{εισ}} - Q_{\text{εξ}} \cdot TN_{\text{εξ}}} \quad (\text{kWh/kgN}_{\text{απομ}})$$

3.11 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

3.11.1 Εισαγωγή

Κατά τη λειτουργία μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων εκπέμπονται αέρια θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emissions – GHG) εξαιτίας διάφορων διεργασιών. Οι εκπομπές αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε εντός και εκτός εγκατάστασης.

Οι εντός εγκατάστασης εκπομπές οφείλονται:

- α) στη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων
- β) στην κατανάλωση του βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- γ) στην κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη

ενώ οι εκτός εγκατάστασης εκπομπές προέρχονται από:

- α) την κατανάλωση ενέργειας
- β) τη διάθεση της ιλύος

Στη συνέχεια γίνεται καταγραφή των σχέσεων με τις οποίες εκτιμώνται οι εκπομπές αερίων της εγκατάστασης.

3.11.2 Εντός εγκατάστασης εκπομπές

α) Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων

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

- Παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας
- Κατανάλωση CO₂ λόγω νιτροποίησης
- Παραγωγή CO₂ λόγω απονιτροποίησης
- Παραγωγή N₂O (σε ισοδύναμο CO₂) λόγω νιτροποίησης και απονιτροποίησης

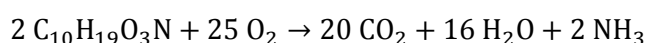
Αξίζει να σημειωθεί ότι παραγωγή CO₂ έχουμε και κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Παρ'όλα αυτά δεν ελήφθη υπόψη, καθώς με την αποσύνθεση της βιομάζας παράγεται αργά βιοδιασπάσιμη τροφή, η οποία μέσω υδρόλυσης

μετατρέπεται σε εύκολα βιοδιασπάσιμη και καταναλώνεται για παραγωγή ετεροτροφικής βιομάζας, που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή CO₂.

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

- Παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας

Η παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας και κατανάλωσης τροφής μπορεί να βρεθεί από την παρακάτω χημική αντίδραση, όπου η χημική σύνθεση της βιομάζας εκτιμάται ως C₁₀H₁₉O₃N:



Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η αναλογία της μάζας O₂ που καταναλώνεται προς τη μάζα CO₂ που παράγεται είναι (25·32) : (20·44) = 1:1,1. Επομένως για 1 kg O₂ που καταναλώνεται παράγονται 1,1 kg CO₂.

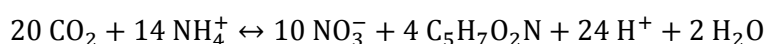
Από τον στοιχειομετρικό πίνακα έχουμε ότι το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά την αερόβια ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας είναι ((1-Y_H)/Y_H)·ρ₁·V. Επομένως, η παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας σε μια δεξαμενή I σε χρονικό διάστημα dt θα ισούται με:

$$\text{CO}_{2,\text{παρ.βιομάζας}} = 1,1 \cdot \frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \rho_1(I) \cdot V(I) \cdot \frac{1}{1000}$$

Η παραπάνω σχέση δίνει την παραγωγή CO₂ σε kg ανά χρονικό βήμα ολοκλήρωσης. Ολοκληρώνοντας για κλίμακα ημέρας και προσθέτοντας για όλες τις αερόβιες δεξαμενές, έχουμε την παραγωγή CO₂ σε kg/d.

- Κατανάλωση CO₂ λόγω νιτροποίησης

Η διαδικασία της νιτροποίησης δίνεται από την παρακάτω χημική αντίδραση:



Η αναλογία της μάζας CO₂ που καταναλώνεται προς τη μάζα N που νιτροποιείται είναι (20·44) : (14·14) ή 4,49:1. Δηλαδή για κάθε 4,49 kg N που νιτροποιούνται καταναλώνεται 1kg CO₂.

Από τον στοιχειομετρικό πίνακα παρατηρούμε ότι η μάζα αζώτου που νιτροποιείται σε κάθε χρονικό βήμα ολοκλήρωσης δίνεται από την σχέση (1/Y_A)·ρ₃·V. Επομένως, η

μάζα CO₂ που καταναλώνονται λόγω νιτροποίησης σε κάθε χρονικό βήμα σε κάθε δεξαμενή θα δίνονται από την σχέση:

$$CO_{2,νιτρ.} = -4,49 \cdot \frac{1}{Y_A} \cdot \rho_3(I) \cdot V(I) \cdot \frac{1}{1000}$$

Και σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται να ανάγουμε την κατανάλωση σε ημερήσια κλίμακα.

• Παραγωγή CO₂ λόγω απονιτροποίησης

Γνωρίζουμε ότι η μάζα νιτρικού αζώτου που απονιτροποιείται και μετατρέπεται σε αέριο άζωτο προκύπτει από την σχέση $((1-Y_H)/(2,86 \cdot Y_H)) \cdot \rho_2 \cdot V$. Την ποσότητα αυτή μπορούμε να την μετατρέψουμε σε ισοδύναμο οξυγόνο πολλαπλασιάζοντας επί 2,86. Επίσης στην παραγωγή CO₂ λόγω παραγωγής βιομάζας δείχθηκε ότι για 1 kg O₂ που καταναλώνεται, παράγεται 1,1 kg CO₂. Επομένως, η σχέση με την οποία γίνεται η εκτίμηση παραγωγής CO₂ λόγω απονιτροποίησης σε κάθε χρονικό βήμα σε κάθε δεξαμενή θα είναι:

$$CO_{2,απονιτρ.} = 1,1 \cdot 2,86 \cdot \frac{1 - Y_H}{2,86 \cdot Y_H} \cdot \rho_2(I) \cdot V(I) \cdot \frac{1}{1000} = 1,1 \cdot \frac{1 - Y_H}{Y_H} \cdot \rho_2(I) \cdot V(I) \cdot \frac{1}{1000}$$

Η παραπάνω εξίσωση μας δίνει kg CO₂ ανά βήμα ολοκλήρωσης και θα πρέπει να αναχθεί σε ημερήσια παραγωγή.

• Παραγωγή N₂O σε ισοδύναμο CO₂

Η παραγωγή N₂O δεν υπολογίζεται από κάποια χημική αντίδραση, αλλά εκτιμάται εμπειρικά. Στην εργασία αυτή θεωρήθηκε ότι θα ισούται με το 0,5% του συνολικού φορτίου αζώτου που εισέρχεται στην εγκατάσταση. Η παραγωγή σε ισοδύναμο CO₂ θα δίνεται από την σχέση:

$$CO_{2,N_2O} = N_2O \cdot GWP_{N_2O} = Q_{εισ} \cdot TN_{εισ} \cdot 0,005 \cdot 296 \cdot \frac{1}{1000}$$

β) Κατανάλωση Βιοαερίου

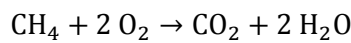
Η συνολική παραγωγή εκπομπών από το βιοαέριο οφείλονται:

- στην χρήση του βιοαερίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας
- στις διαφυγές του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

- Παραγωγή CO₂ από χρήση βιοαερίου για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας

Στην παράγραφο 3.7.3 περιγράφηκε η διαδικασία εκτίμησης του παραγόμενου βιοαερίου. Για το βιοαέριο αυτό θεωρούμε ότι από πλευράς όγκου περιέχει 62,5% CH₄ και 37,5% CO₂. Επομένως, σε 1m³ βιοαερίου περιέχονται 0,625 m³ CH₄ και 0,375 m³ CO₂. Όσον αφορά τη μάζα, έχουμε ότι περιέχονται 0,625/(22,4·16)=0,446 kg CH₄/m³ και 0,375/(22,4·44)=0,737 kg CO₂/m³.

Το βιοαέριο οδηγείται σε κάυση ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του χωνευτή και για την κάλυψη άλλων θερμικών και ηλεκτρικών απαιτήσεων. Η χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση του είναι:



Κάνοντας την εκτίμηση ότι το 1% του βιοαερίου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, η σχέση με την οποία δίνονται οι συνολικές εκπομπές αερίων σε ισοδύναμο CO₂ από την κάυση του βιοαερίου θα είναι:

$$\text{CO}_{2,\text{βιοαέριο}} = 0,99 \cdot \left(0,737 \cdot Q_{\text{βιοαερίου}} + 0,446 \cdot \frac{44}{16} \cdot Q_{\text{βιοαερίου}} \right)$$

- Διαφυγές βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

Οι διαφυγές εκτιμώνται ως ένα ποσοστό της τάξης του 1%. Οι εκπομπές λόγω διαφυγών δίνονται από την σχέση:

$$\text{CO}_{2,\text{βιοαέριο,διαφ.}} = 0,01 \cdot \left(0,737 \cdot Q_{\text{βιοαερίου}} + 0,446 \cdot 23 \cdot Q_{\text{βιοαερίου}} \right)$$

γ) Κατανάλωση Πολυηλεκτρολύτη

Έχοντας υπολογίσει τη μάζα πολυηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται σε μηχανική πάχυνση και αφυδάτωση, 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:

$$\text{CO}_{2,\text{πολυηλ.}} = 1,7 \cdot (M_{\text{πολ,παχ}} + M_{\text{πολ,αφυδ}})$$

3.11.3 Εκτός εγκατάστασης εκπομπές

α) Κατανάλωση Ενέργειας

Οι εκπομπές που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας εξαρτώνται από το ποσοστό που χρησιμοποιείται κάθε καύσιμο στην χώρα που αναφερόμαστε και από τον συντελεστή εκπομπών κάθε καυσίμου. Τα μεγέθη αυτά για την παραγωγή

ενέργειας στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10. Από την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια αφαιρούμε την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο, αφού οι εκπομπές από την καύση του βιοαερίου έχουν υπολογιστεί. Η εξίσωση βάσει της οποίας εκτιμώνται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπιού που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας είναι η εξής:

$$CO_{2,ηλεκ.εν.} = (E_{κατ} - E_{βιοαερ}) \cdot \left(\sum (F_i \cdot EF_i) \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

όπου $E_{κατ}$: η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)

$E_{βιοαερ}$: η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο (kWh/d)

F_i : ποσοστιαία συνεισφορά κάθε καυσίμου για να ικανοποιηθεί η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα

EF_i : συντελεστής εκπομπών GHG του κάθε καυσίμου κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (gr CO₂/kWh)

Πίνακας 3.9: Συνεισφορά καυσίμων για ικανοποίηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης στην Ελλάδα και εκπομπές αερίων θερμοκηπιού για κάθε καύσιμο

Τύπος καυσίμου	Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε καυσίμου στην Ελλάδα (%)	Συντελεστής εκπομπών GHG (gr CO ₂ /kWh)
Λιγνίτης	53.09	877
Πετρέλαιο	9.85	604
Φυσικό Αέριο	18.46	353
Υδροηλεκτρικά και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	18.60	0

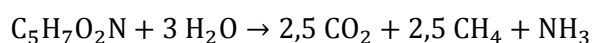
β) Διάθεση Ιλύος

Οι εναλλακτικές λύσεις που εφαρμόζονται στην Ελλάδα για τη διάθεση της ιλύος περιλαμβάνουν:

- κάυση ιλύος
- διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ

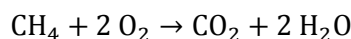
Στην παρούσα προσομοίωση για να εκτιμηθούν οι εκπομπές των αερίων θεωρήθηκε ότι η παραγόμενη ιλύς διατίθεται σε ΧΥΤΑ.

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



Παρατηρώντας την παραπάνω αντίδραση συμπεραίνουμε ότι για 1 kg VS/d που διατίθεται σε ΧΥΤΑ παράγονται 110/113 kg CO₂/d και 40/113 kg CH₄/d.

Η χημική αντίδραση μετατροπής του μεθανίου σε διοξείδιο του άνθρακα είναι η εξής:



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

$$\text{CO}_{2,\text{ΧΥΤΑ}} = \frac{110}{113} \cdot M_{\text{VSS}} + \frac{40}{113} \cdot \frac{44}{16} \cdot M_{\text{VSS}}$$

όπου M_{VSS} : η ποσότητα του οργανικού φορτίου της ιλύος που διατίθεται (kg VS/d)

Οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ισοδύναμο CO₂ (CO_{2,ολ}) είναι το άθροισμα όλων των επιμέρους εκπομπών.

3.11.4 Δείκτες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Όπως και στην περίπτωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, έτσι και εδώ ανάγουμε τις συνολικές εκπομπές ισοδύναμου CO₂ σε κάποιους δείκτες που επιτρέπουν μια γρήγορη εποπτεία της λειτουργίας της εγκατάστασης. Οι δείκτες αυτοί είναι παρόμοιοι με αυτούς της κατανάλωσης ενέργειας. Επομένως, θα έχουμε:

- Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου προς παροχή εισόδου

$$\frac{\text{Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου}}{\text{Παροχή Εισόδου}} = \frac{\text{CO}_{2,\text{ολ}}}{Q_{\text{εισ}}} \quad (\text{kgCO}_2/\text{m}^3)$$

- Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου προς ποσότητα διασπώμενου COD

$$\begin{aligned} \frac{\text{Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου}}{\text{Ποσότητα Διασπώμενου COD}} &= \frac{\text{CO}_{2,\text{ολ}}}{M_{\text{COD}_{\text{διασ}}}} \\ &= \frac{\text{CO}_{2,\text{ολ}}}{Q_{\text{εισ}} \cdot \text{COD}_{\text{εισ}} - Q_{\text{εξ}} \cdot \text{COD}_{\text{εξ}}} \quad (\text{kgCO}_2/\text{kgCOD}_{\text{διασ}}) \end{aligned}$$

- Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου προς ποσότητα απομακρυνόμενου αζώτου

$$\frac{\text{Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου}}{\text{Ποσότητα Απομακρυνόμενου N}} = \frac{\text{CO}_{2,\text{ολ}}}{M \cdot N_{\text{απομ}}}$$

$$= \frac{\text{CO}_{2,\text{ολ}}}{Q_{\text{εισ}} \cdot \text{TN}_{\text{εισ}} - Q_{\text{εξ}} \cdot \text{TN}_{\text{εξ}}} \quad (\text{kgCO}_2/\text{kgN}_{\text{απομ}})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 Προσομοιούμενο σύστημα

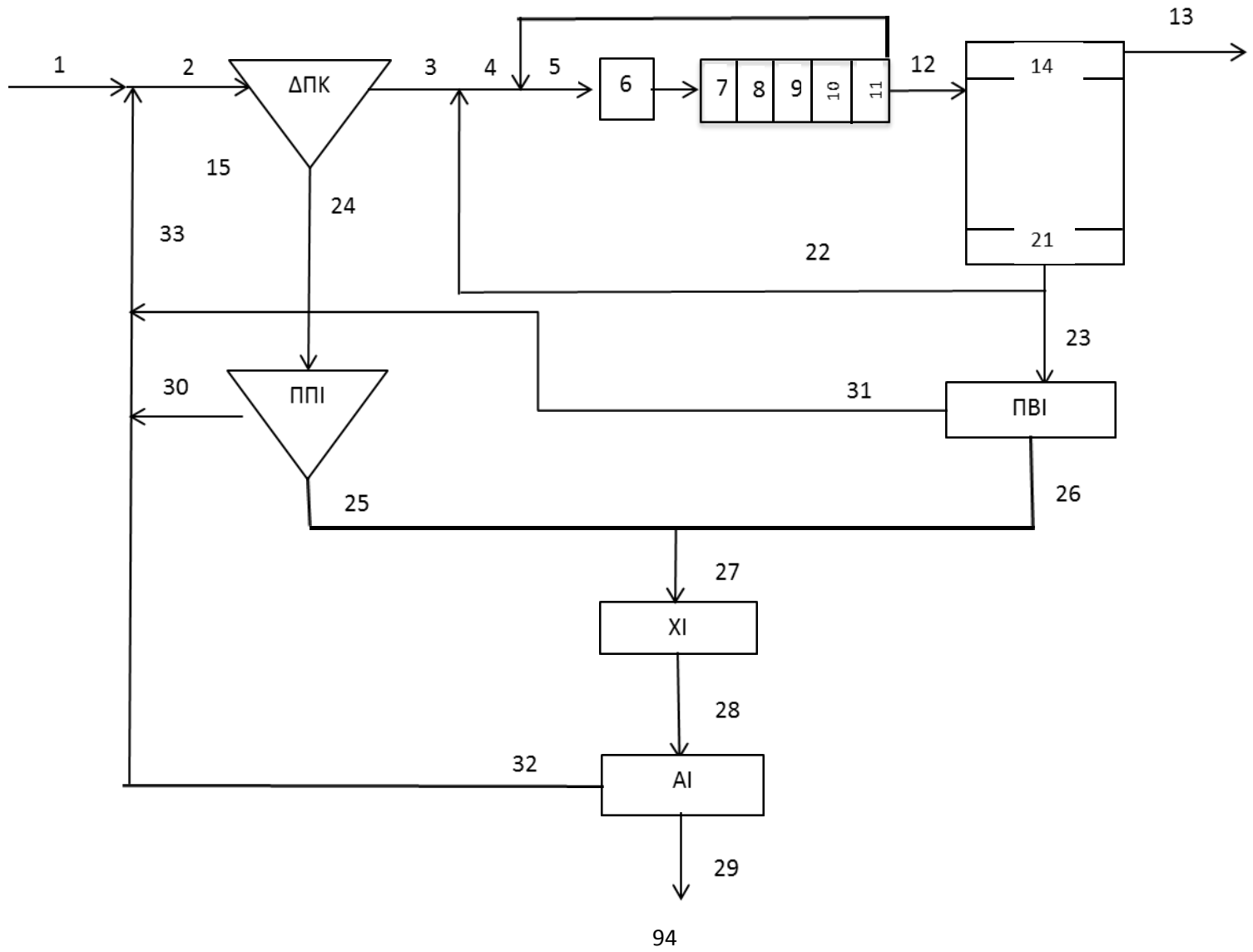
Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων που προσομοιώνεται παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1 και αποτελείται από:

- Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης.
- Ανοξικό βιολογικό αντιδραστήρα όγκου $V(6) = 7880 \text{ m}^3$.
- Αερόβιο βιολογικό αντιδραστήρα, που αποτελείται από 5 διαμερίσματα. Τα δύο πρώτα έχουν όγκο $V(7) = V(8) = 4585 \text{ m}^3$, τα επόμενα δύο έχουν όγκο $V(9) = V(10) = 2847 \text{ m}^3$, ενώ το τελευταίο έχει όγκο $V(11) = 695 \text{ m}^3$. Στα τέσσερα πρώτα διαμερίσματα έχουμε μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου μέσω του συστήματος αερισμού.
- Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης συνολικής επιφάνειας $A = 6000 \text{ m}^2$, με συνολικό βάθος $H = 4.5 \text{ m}$.
- Παχυντή βαρύτητας για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος.
- Μηχανική πάχυνση για την πάχυνση της βιολογικής ιλύος.
- Χωνευτή με όγκο $V = 6000 \text{ m}^3$ για την σταθεροποίηση της πρωτοβάθμιας και της βιολογικής ιλύος, ώστε ο χρόνος παραμονής της ιλύος να παραμένει σταθερός σχεδόν στις 18 ημέρες.
- Μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης.

Η εγκατάσταση που προσομοιώνεται επεξεργάζεται λύματα πόλης ισοδύναμου πληθυσμού μικρότερου των 100.000 κατοίκων και επομένως θα πρέπει να ικανοποιεί τα όρια εκροής που τέθηκαν στον Πίνακα 3.8.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανεπεξεργαστων λυμάτων θεωρούνται σταθερά και οι τιμές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Επίσης, για την γρηγορότερη σύγκλιση του συστήματος θεωρήθηκαν κάποιες αρχικές συγκέντρώσεις σε ορισμένες θέσεις της εγκατάστασης, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Σχήμα 4.1: Διάγραμμα προσομοιούμενης εγκατάστασης



Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά εισρέοντων λυμάτων

Παράμετρος	Ερμηνεία	Τιμή	Μονάδες
Q (1)	Παροχή	62.000	m ³ /d
S _i (1)	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη	30,0	mg/l
X _i (1)	Αδρανής Αιωρούμενη Οργανική Ύλη	30,0	mg/l
S _S (1)	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη	140,0	mg/l
X _S (1)	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη	250,0	mg/l
X _{BH} (1)	Ετεροτροφική Βιομάζα	28,8	mg/l
X _{BA} (1)	Αυτοτροφική Βιομάζα	0,1	mg/l
X _P (1)	Σωματιδιακά Προϊόντα Φθοράς Μικροοργανισμών	0,0	mg/l
X _{NV} (1)	Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη	75,0	mg/l
S _O (1)	Διαλυμένο Οξυγόνο	0,1	mg/l
S _{NO} (1)	Νιτρικό Άζωτο	0,0	mg/l
S _{NH} (1)	Αμμωνιακό Άζωτο	36,0	mg/l
S _{ND} (1)	Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο	3,2	mg/l
X _{ND} (1)	Σωματιδιακό Οργανικό Άζωτο	3,2	mg/l
S _{ALK} (1)	Αλκαλικότητα	500,0	mg/l

Πίνακας 4.2: Αρχικές συγκεντρώσεις συστατικών

Συστατικά	Θέση 6	Θέσεις 7-12 και 15-20	Θέσεις 13-14	Θέσεις 21-23
S _i	30,0	30,0	30,0	30,0
X _i	500,0	500,0	2,0	2000,0
S _S	80,0	80,0	5,0	5,0
X _S	45,0	45,0	3,0	100,0
X _{BH}	1500,0	1500,0	10,0	5000,0
X _{BA}	45,0	45,0	3,0	300,0
X _P	10,0	10,0	1,0	600,0
X _{NV}	10,0	10,0	1,0	100,0
S _O	0,01	2,0	2,0	2,0
S _{NO}	1,0	1,0	0,1	0,1
S _{NH}	28,0	28,0	10,0	10,0
S _{ND}	1,0	1,0	1,0	1,0
X _{ND}	2,0	2,0	2,0	10,0
S _{ALK}	0,0	0,0	0,0	0,0

4.2 Σενάρια προσομοίωσης

Τα σενάρια που εξετάστηκαν στην παρούσα προσομοίωση χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- Επίδραση στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων
- Επίδραση παραμέτρων λειτουργίας
- Έλεγχος δυναμικότητας ΕΕΛ
- Έλεγχος απόκρισης ΕΕΛ σε δυναμική φόρτιση

Σε καθένα από τα εξεταζόμενα σενάρια αναφέρονται:

- α) Ο στόχος του σεναρίου.
- β) Τα δεδομένα προσομοίωσης, δηλαδή οι τιμές των κινητικών και στοιχειομετρικών παραμέτρων καθώς και παραμέτρων λειτουργίας.
- γ) Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Παρουσιάζονται η ποιότητα της εκροής, οι καταναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας, η παραγωγή βιοαερίου και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Αξίζει να τονισθεί ότι λόγω του μεγάλου όγκου των αποτελεσμάτων δεν είναι δυνατή η παρουσίαση του συνόλου τους. Επομένως, σε κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα μεγέθη που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα και είναι κρίσιμότερα για την αποτίμηση κάθε σεναρίου.
- δ) Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Προτού γίνει οποιαδήποτε εφαρμογή εκτιμήθηκαν κάποιες τιμές των παραμέτρων λειτουργίας, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως τιμές αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν οι εξής παραδοχές:

- 1) Η θερμοκρασία των λυμάτων θεωρείται ίση με 20°C.
- 2) Ο χρόνος παραμονής στερεών (Θ_c) εκτιμάται ίσος με 7 ημέρες.
- 3) Ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης θεωρείται ίσος με 50%.
- 4) Το επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου στα τέσσερα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοανθραστήρα ρυθμίζεται στα 2 gr COD/m³.
- 5) Ο δείκτης καθιζησιμότητας SVI εκτιμάται ίσος με 125.
- 6) Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας ιλύος r εκτιμάται ίσος με 0,80, ενώ ο δείκτης εσωτερικής ανακυκλοφορίας R ίσος με 2,50.
- 7) Το ποσοστό συγκράτησης στερεών στις μονάδες πάχυνσης και αφυδάτωσης θεωρείται ίσο με 95%.

- 8) Ο βαθμός καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα της χώνευσης λαμβάνεται ίσος με 50% για την πρωτοβάθμια και 35% για τη δευτεροβάθμια ιλύ.

Η πρώτη σειρά εφαρμογών έχει ως στόχο τη διερεύνηση των επιδράσεων στο σύστημα εξαιτίας της μεταβολής ορισμένων κινητικών και στοιχειομετρικών παραμέτρων. Στο τέλος αυτού του σεναρίου ένα σετ τιμών για αυτές τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στις επόμενες εφαρμογές.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα εξεταζόμενα σενάρια.

Πίνακας 4.3: Εξεταζόμενα σενάρια

Αριθμός σεναρίου	Τίτλος σεναρίου
1	<i>Διερεύνηση της επίδρασης των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων στην απόδοση της εγκατάστασης</i>
1.A	Επίδραση της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Y_H στην απόδοση της εγκατάστασης
1.B	Επίδραση της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας Y_A στην απόδοση της εγκατάστασης
1.Γ	Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μ_H στην απόδοση της εγκατάστασης
1.Δ	Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικών μ_A στην απόδοση της εγκατάστασης
2	<i>Διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων λειτουργίας στην απόδοση της εγκατάστασης</i>
2.A	Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών Θ_c στην απόδοση της εγκατάστασης
2.B	Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ στην απόδοση της εγκατάστασης
2.Γ	Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης στερεών CR στην απόδοση της εγκατάστασης
2.Δ	Επίδραση του βαθμού καταστροφής οργανικών στερεών στη χώνευση στην απόδοση της εγκατάστασης
2.E	Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της εγκατάστασης

Πίνακας 4.3: Εξεταζόμενα σενάρια (συνέχεια)

Αριθμός σεναρίου	Τίτλος σεναρίου
2.ΣΤ	Επίδραση των ρυθμιζόμενων επιπέδων οξυγόνου (oxygen set points) στον αερόβιο βιοαντιδραστήρα στην απόδοση της εγκατάστασης
2.Ζ	Επίδραση της ποιότητας λιμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης
2.Η	Επίδραση του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος r στην απόδοση της εγκατάστασης
2.Θ	Επίδραση του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας R στην απόδοση της εγκατάστασης
3	<i>Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης</i>
3.A	Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης σε σταθερές λειτουργικές συνθήκες
3.B	Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης με αναχαίπιση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος
4	<i>Έλεγχος απόκρισης της εγκατάστασης σε δυναμική φόρτιση</i>
4.A	Απόκριση της εγκατάστασης σε δίωρη αιχμή της παροχής
4.B	Απόκριση της εγκατάστασης σε μηνιαία δυναμική φόρτιση

4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

4.3.1 Σενάριο 1: Διερεύνηση της επίδρασης των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.1.1 Σενάριο 1.A: Επίδραση της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Y_H στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Y_H στη λειτουργία της εγκατάστασης, με σταθερές παραμέτρους λειτουργίας όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2. Για να επιτευχθεί ο στόχος του σεναρίου, η τιμή της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας μεταβάλλεται από 0,60 ως 0,70.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν σενάριο.

Πίνακας 4.4: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.A

Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή		
Y_H	(0,60-0,70)		
Y_A	0,24		
f_p	0,08		
i_{XB}	0,086		
i_{XP}	0,01		
Κινητικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
K_{NO}	0,5	η_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών στερεών και των ολικών στερεών σε όρους COD και SS σε ένα διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η απόδοση της ετεροτροφικής βιομάζας, τόσο αυξάνεται και η συγκέντρωση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα. Η παρατήρηση αυτή είναι αναμενόμενη, καθώς αύξηση του Y_H υποδηλώνει ότι μεγαλύτερο τμήμα της τροφής καταναλώνεται για σύνθεση βιομάζας, επομένως οι μικροοργανισμοί αυξάνονται. Επίσης, ο βαθμός συμπύκνωσης που επιτυγχάνεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης είναι σταθερός, με αποτέλεσμα μια αύξηση των MLSS να οδηγεί σε αύξηση του S_u .

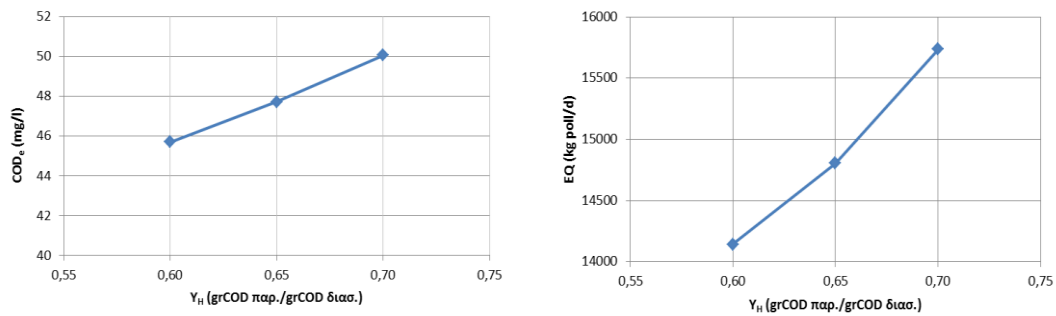
Πίνακας 4.5: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Y_H

Y_H (grCOD _{παρ.} /grCOD _{κασ.})	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	S_u (gCOD/m ³)	S_u (gSS/m ³)
0,60	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
0,65	1874,27	2661,47	2603,31	4133,81	5870,01	5743,06
0,70	2088,84	2966,15	2818,53	4607,79	6543,06	6218,44

Στον Πίνακα 4.6 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις αζώτου, στερεών και COD στην εκροή της εγκατάστασης, καθώς και ο δείκτης ποιότητας εκροής. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου ουσιαστικά δεν επηρεάζεται από την τιμή του Y_H , ενώ η συγκέντρωση του ολικού αζώτου αυξάνεται με την αύξηση του Y_H , το οποίο οφείλεται στην μικρότερη κατανάλωση νιτρικού αζώτου κατά την απονιτροποίηση και στην παραγωγή περισσότερων μικροοργανισμών, οι οποίοι περιέχουν άζωτο στο εσωτερικό τους. Επίσης, η παραγωγή περισσότερων μικροοργανισμών οδηγεί σε αύξηση των στερεών και του COD στην εκροή της εγκατάστασης. Τέλος, οι αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των νιτρικών, των στερεών και του COD έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη ποιότητας εκροής, το οποίο ισοδυναμεί με μεγαλύτερη ημερήσια ρύπανση του αποδέκτη.

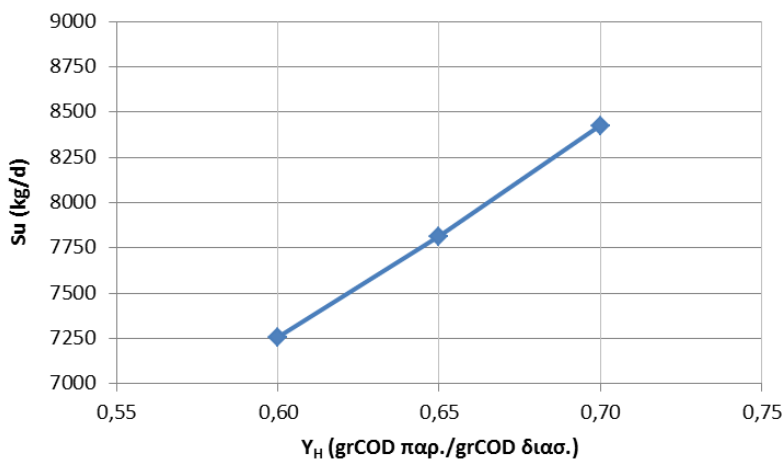
Πίνακας 4.6: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Y_H

Y_H (grCOD _{παρ.} /grCOD _{δισσ.})	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
0,60	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
0,65	0,64	10,78	15,50	47,70	14803,6
0,70	0,65	11,35	17,25	50,05	15735,2



Σχήμα 4.2: Συγκέντρωση του COD συναρτήσει του Y_H (αριστερά) και τιμή του δείκτη ποιότητας εκροής συναρτήσει του Y_H (δεξιά)

Η παροχή της περίσσειας ιλύος δεν μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή του Y_H . Αντίθετα, η μάζα των στερεών που μεταφέρονται με την περίσσεια ιλύος εμφανίζουν σχέση ανάλογη με το Y_H όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Επομένως για αύξηση της τιμής του Y_H από 0,6 σε 0,7 παρατηρείται μια αύξηση περίπου 15% της μάζας των στερεών της περίσσειας ιλύος.



Σχήμα 4.3: Μεταβολή της μάζας στερεών περίσσειας συναρτήσει του Y_H

Όσον αφορά τα στραγγίδια της εγκατάστασης, η συνεισφορά τους στα λύματα εισόδου ανάντη της δεξαμενής καθίζησης, δηλαδή στη θέση 2, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.7. Παρατηρείται μια αύξηση των ποσοστών συνεισφοράς και λαμβάνοντας υπόψη ότι η ποιότητα των ανεπεξεργαστων λυμάτων (Θέση 1) παραμένει σταθερή, προκύπτει το συμπέρασμα ότι μια ενδεχόμενη αύξηση της τιμής του Y_H έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση στις μάζες του ολικού αζώτου, των στερεών και του COD.

Πίνακας 4.7: Ποσοστιαία συνεισφορά στραγγιδίων στα λύματα ανάντη της πρωτοβάθμιας καθίζησης

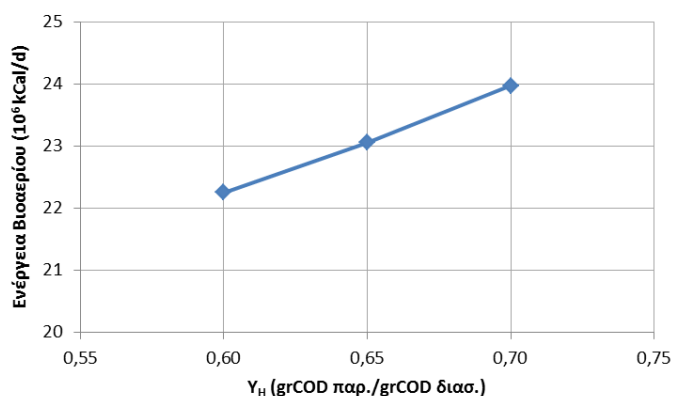
Y_H (grCOD _{παρ} /grCOD _{διασ})	CODστραγ/COD2	TNστραγ/TN2	SNHστραγ/SNH2	TSSστραγ/TSS2
0,60	4,94%	8,41%	8,06%	7,44%
0,65	5,16%	8,88%	8,49%	7,68%
0,70	5,39%	9,43%	8,97%	7,93%

Πέρα από την επίδραση στα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων, η μεταβολή της τιμής του Y_H επιδρά και στα υπόλοιπα μεγέθη του μοντέλου προσομοίωσης. Στον Πίνακα 4.8 καταγράφονται για τα τέσσερα πρώτα διαμερίσματα του αερόβιου βιοαντιδραστήρα οι ζητήσεις οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR. Η κατανάλωση οξυγόνου συνδέεται με το κομμάτι της οργανικής τροφής που οξειδώνεται, το οποίο μειώνεται με την αύξηση της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας. Επομένως, είναι αναμενόμενη η μείωση της ζήτησης οξυγόνου όταν το Y_H αυξάνεται.

Πίνακας 4.8: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του Y_H

Y_H (grCOD _{παρ} /grCOD _{διασ})	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
0,60	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
0,65	767,30	538,09	257,34	188,80	1751,53
0,70	724,22	508,91	244,50	180,79	1658,43

Η αύξηση των οργανικών στερεών, που φεύγουν με την περίσσεια ιλύος, για αυξανόμενη τιμή του Y_H έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας βιοαερίου (Σχήμα 4.4). Κατα συνέπεια υπάρχει περισσότερη ενέργεια ώστε να διαχειριστεί για την κάλυψη θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών του συστήματος.

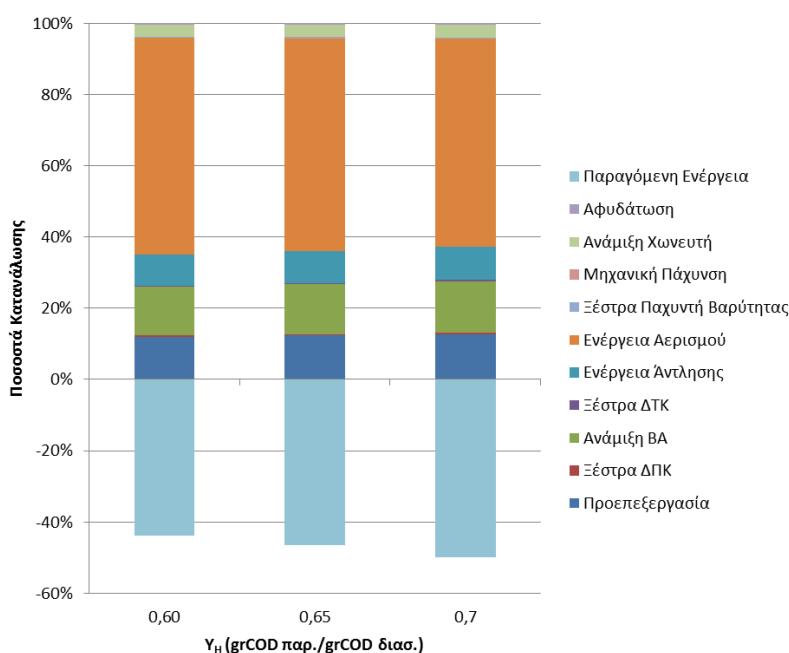


Σχήμα 4.4: Διαθέσιμη ενέργεια βιοαερίου συναρτήσει του Y_H

Εφόσον η συνολική ενέργεια του βιοαερίου αυξάνεται, θα αυξάνεται και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του. Όμως, η μεταβολή του Y_H έχει επίδραση και στην καταναλισκόμενη ενέργεια, και ειδικότερα με αύξηση του Y_H παρατηρείται μείωση των καταναλώσεων ενέργειας στις μονάδες της εγκατάστασης (Πίνακας 4.9). Επομένως, υψηλότερη απόδοση της ετεροτροφικής βιομάζας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους ενέργειας, αφού το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται. Για παράδειγμα, από το Σχήμα 4.5 παρατηρούμε ότι η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο καλύπτει το 50% της καταναλισκόμενης ενέργειας, όταν ο βαθμός απόδοσης Y_H ισούται με 0,70.

Πίνακας 4.9: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του Y_H

Y_H (grCOD _{παρ} /grCOD _{κλπ})	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό Ανάκτησης Ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/ kgCOD _{διασ}	kWh/ kgN _{απομ}
0,60	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
0,65	9384,40	20139,48	0,47	0,325	0,753	9,439
0,70	9757,46	19505,85	0,50	0,315	0,734	9,294



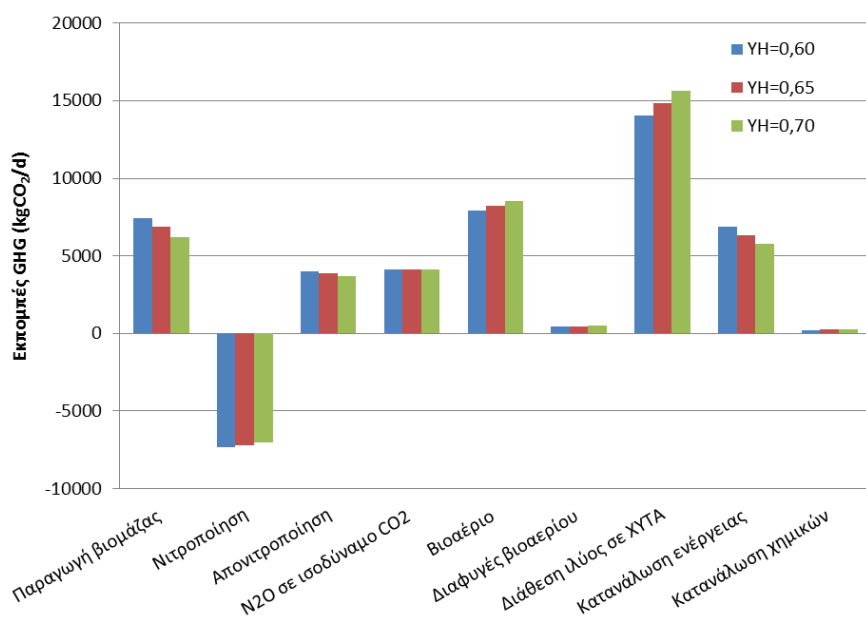
Σχήμα 4.5: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του Y_H

Τέλος, σχετικά με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου παρατηρούμε στον Πίνακα 4.10 ότι οι συνολικές εκπομπές δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή του Y_H . Ωστόσο αλλαγή στην απόδοση της ετεροτροφικής βιομάζας επιδρά στις επιμέρους αιτίες εκπομπών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε αιτίας παραγωγής αερίων στη

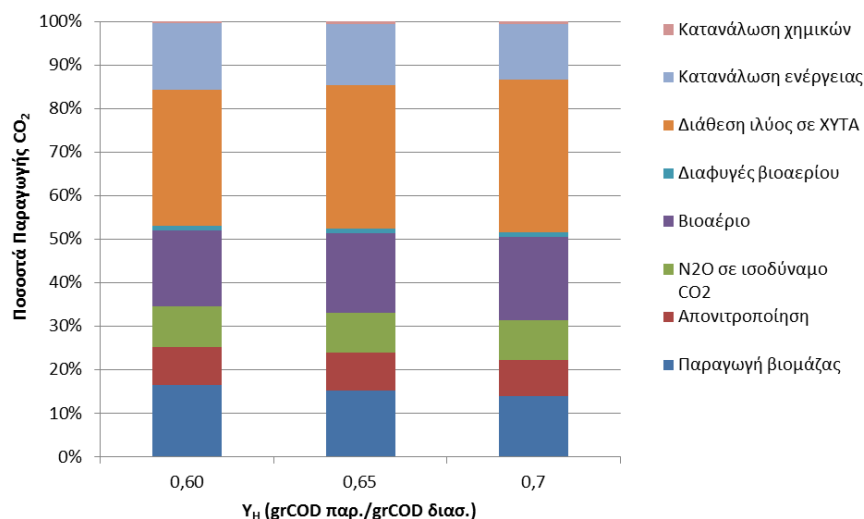
συνολική παραγωγή. Είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών οφείλεται στη διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ.

Πίνακας 4.10: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του Y_H

Y_H (grCODπαρ./grCODδιασ.)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ / kgCOD _{διασ}	kgCO ₂ / kgN _{απομ}
0,60	37807,5	0,610	1,408	17,573
0,65	37845,7	0,610	1,416	17,737
0,70	37740,9	0,609	1,419	17,983



Σχήμα 4.6: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_H



Σχήμα 4.7: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_H

Συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να καταλήξουμε ότι:

- Αύξηση της τιμής του Y_H οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου, των στερεών και του COD στην έξοδο. Ωστόσο, οι αυξήσεις αυτές είναι σχετικά μικρές και οι συγκεντρώσεις παραμένουν μικρότερες από τα όρια που έχουν θεσπιστεί.
- Όσο υψηλότερη είναι η απόδοση της ετεροτροφικής βιομάζας, οι καταναλώσεις οξυγόνου και ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται. Επομένως, είναι μικρότερο το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης.

Συνεπώς, είναι επιθυμητή όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση της ετεροτροφικής βιομάζας. Παρ' αυτά στις περισσότερες εφαρμογές το Y_H λαμβάνεται ίσο με 0,60, ενώ σε ορισμένες θεωρείται ίσο με 0,65, ώστε να γίνει μια πιο δυσμενής θεώρηση για τη λειτουργία της εγκατάστασης.

4.3.1.2 Σενάριο 1.B: Επίδραση της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας Y_A στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας Y_A στη λειτουργία της εγκατάστασης, με σταθερές παραμέτρους λειτουργίας όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2. Για να επιτευχθεί ο στόχος του σεναρίου, λαμβάνονται τιμές της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας από 0,18 ως 0,24.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.11 παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν σενάριο.

Πίνακας 4.11: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.B

Στοιχειομετρικές παράμετροι		Κινητικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Y_H	0,6	μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
Y_A	(0,18-0,24)	μ_A	0,68	K_S	20,0
f_D	0,08	b_H	0,62	K_h	3,0
i_{XB}	0,086	b_A	0,12	K_X	0,03
i_{XP}	0,01	$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
		$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
		K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η αυτοτροφική βιομάζα αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της οργανικής ύλης του συστήματος, συνέπως αναμένουμε να μην επηρεάζεται σημαντικά το σύστημα από τη μεταβολή της απόδοσής της. Στον Πίνακα 4.12 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών στερεών και των ολικών στερεών σε όρους COD και SS σε ένα διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος.

Πίνακας 4.12: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Y_A

Y_A (grCOD/grN)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
0,18	1658,85	2355,56	2387,09	3657,68	5193,91	5265,24
0,20	1665,86	2365,52	2394,14	3673,18	5215,92	5280,81
0,24	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87

Παρατηρούμε ότι επιβεβαιώνεται η αρχική εκτίμηση, αφού οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις είναι αρκετά μικρές. Το ίδιο περιμένουμε να συμβεί και με τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων στην εκροή, δηλαδή οι διαφορές των συγκεντρώσεων συναρτήσει της μεταβολής του Y_A να είναι ασήμαντες. Οι συγκεντρώσεις αζώτου, στερεών και COD στην εκροή της εγκατάστασης και ο δείκτης ποιότητας εκροής καταγράφονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Y_A

Y_A (grCOD/grN)	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
0,18	0,60	10,49	13,85	45,48	14039,0
0,20	0,61	10,49	13,90	45,55	14076,0
0,24	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3

Τα χαρακτηριστικά της περίσσειας ιλύος, δηλαδή η παροχή της και η συγκέντρωση των στερεών, παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα. Το ίδιο ισχύει και για τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων του συστήματος. Στον Πίνακα 4.14 παρουσιάζονται οι μικρές μεταβολές στην περίσσεια και στα στραγγίδια.

Πίνακας 4.14: Χαρακτηριστικά περισσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του Y_A

Y_A (grCOD/grN)	Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		Στραγγίδια - Θέση 33		
	w (m ³ /d)	Su (mg/l)	Q (m ³ /d)	TSS (mg/l)	S _{NH} (mg/l)
0,18	1366,49	5265,24	1973,62	3340,11	98,40
0,20	1366,29	5280,81	1973,42	3339,70	98,67
0,24	1365,87	5311,87	1973,02	3338,89	99,21

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως η επίδραση της μεταβολής του Y_A στις βιολογικές διεργασίες είναι μικρή, αφού τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων διαφοροποιούνται σε ασήμαντο βαθμό. Το ίδιο ισχύει και για τις καταναλώσεις οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.15.

Πίνακας 4.15: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του Y_A

Y_A (grCOD/grN)	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
0,18	813,72	568,34	269,33	194,64	1846,02
0,20	810,84	566,77	269,21	195,12	1841,95
0,24	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση του βιοαερίου και την καταναλισκόμενη ενέργεια, παρατηρούμε από τον Πίνακα 4.16 ότι παραμένουν σχεδόν ανεπηρέαστες από τη μεταβολή της απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας.

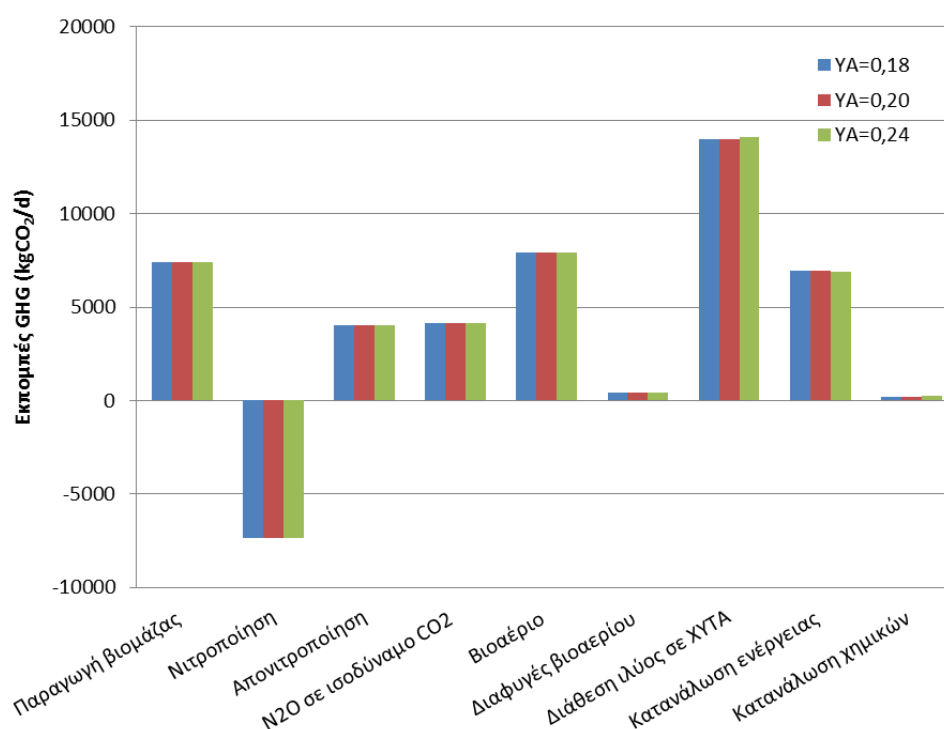
Πίνακας 4.16: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του Y_A

Y_A (grCOD/grN)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δρασ}	kWh/kgN _{απομ}
0,18	9013,54	20782,03	0,43	0,335	0,773	9,660
0,20	9022,92	20758,55	0,43	0,335	0,773	9,649
0,24	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το 35% της συνολικής ενέργειας του βιοαερίου. Άρα με τον ίδιο τρόπο θα μεταβάλλεται η συνολική ενέργεια του βιοαερίου συναρτήσει του Y_A , αλλά και η παραγωγή βιοαερίου.

Τέλος, ούτε οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου δέχονται μεγάλη επίδραση από τη μεταβολή της απόδοσης της αυτοτροφικής βιομάζας. Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται

οι παραγωγές και η κατανάλωση CO₂ εξαιτίας των ενδιαφερόμενων διεργασιών, όπου παρατηρούμε ότι δεν διαφοροποιούνται με τη μεταβολή της τιμής του Y_A.



Σχήμα 4.8: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Y_A

Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου σεναρίου γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η απόδοση της αυτοτροφικής βιομάζας δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία της εγκατάστασης. Για τα υπόλοιπα εξεταζόμενα σεναρία, η τιμή του Y_A λαμβάνεται ίση με 0,24.

4.3.1.3 Σενάριο 1.Γ: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μ_H στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο επιθυμείται να προσδιορισθεί η επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μ_H στη λειτουργία της εγκατάστασης, με σταθερές παραμέτρους λειτουργίας όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2. Για να επιτευχθεί ο στόχος του σεναρίου, η παράμετρος μ_H λαμβάνει τιμές σε ένα εύρος 5-7 d⁻¹.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.17 παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν σενάριο.

Πίνακας 4.17: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Γ

Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή		
Y_H	0,6		
Y_A	0,24		
f_p	0,08		
i_{XB}	0,086		
i_{XP}	0,01		
Κινητικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
μ_H	(5,0-7,0)	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η αύξηση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μ_H αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα κάποια αύξηση της συγκέντρωσης της ετεροτροφικής βιομάζας. Στον Πίνακα 4.18 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των στερεών, στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος, που προέκυψαν από την ανάλυση του σεναρίου.

Πίνακας 4.18: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του μ_H

	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
μ_H (d^{-1})	MLVSS ($gVSS/m^3$)	MLSS ($gCOD/m^3$)	MLSS (gSS/m^3)	VSS ($gVSS/m^3$)	Su ($gCOD/m^3$)	Su (gSS/m^3)
5,0	1678,38	2383,30	2406,85	3701,05	5255,50	5309,11
6,0	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
7,0	1680,83	2386,79	2409,10	3706,16	5262,75	5313,76

Παρατηρούμε ότι εμφανίζεται μια αύξηση στις συγκεντρώσεις των στερεών με την αύξηση του μ_H , η οποία οφείλεται στην ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας. Παρολ' αυτά οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν ασήμαντες και η επίδραση του μ_H στη λειτουργία της εγκατάστασης μηδαμινή. Εφόσον οι συγκεντρώσεις των στερεών εντός του βιοαντιδραστήρα δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα, το ίδιο θα ισχύει και για τα στερεά στην εκροή της εγκατάστασης. Στον Πίνακα 4.19 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εκροής συναρτήσει του μ_H .

Πίνακας 4.19: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του μ_H

μ_H (d^{-1})	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
5,0	0,63	10,57	13,99	46,10	14210,6
6,0	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
7,0	0,64	10,45	14,01	45,42	14094,6

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις του αζώτου και των στερεών δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή του μ_H . Η μείωση του ολικού αζώτου οφείλεται στο γεγονός ότι καταναλώνεται μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικού αζώτου κατά την ανοξική ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας. Επίσης, η μείωση που εμφανίζεται στο COD σχετίζεται με τη μεγαλύτερη κατανάλωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης S_S κατά την αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.

Όπως προέκυψε για την εκροή, έτσι και για την περίσσεια και για τα στραγγίδια αναμένουμε να μην είναι ευαίσθητα σε μεταβολή της κινητικής παραμέτρου μ_H . Στον Πίνακα 4.20 καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της περίσσειας αλλά και των συνολικών στραγγιδίων.

Πίνακας 4.20: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του μ_H

μ_H (d^{-1})	Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		Στραγγίδια - Θέση 33		
	w (m^3/d)	Su (mg/l)	Q (m^3/d)	TSS (mg/l)	S_{NH} (mg/l)
5,0	1365,63	5309,11	1972,77	739,10	99,16
6,0	1365,87	5311,87	1973,02	739,23	99,21
7,0	1366,04	5313,76	1973,19	739,33	99,24

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως η επίδραση της μεταβολής του μ_H στις βιολογικές διεργασίες είναι μικρή, αφού τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων διαφοροποιούνται σε πολύ μικρό βαθμό. Το ίδιο ισχύει και για τις

καταναλώσεις οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.21.

Πίνακας 4.21: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του μ_H

μ_H (d^{-1})	SOTR1 (kgO_2/h)	SOTR2 (kgO_2/h)	SOTR3 (kgO_2/h)	SOTR4 (kgO_2/h)	SOTR (kgO_2/h)
5,0	807,07	564,70	268,85	195,43	1836,04
6,0	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
7,0	804,42	563,30	268,74	195,90	1832,36

Εφόσον οι βιολογικές διεργασίες και οι ποσότητες ιλύος δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή του μ_H , δεν θα υπάρχουν διαφορές στην παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια (Πίνακας 4.22), αλλά και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Πίνακας 4.23).

Πίνακας 4.22: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του μ_H

μ_H (d^{-1})	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m^3	$kWh/kgCOD_{\delta i a c s}$	$kWh/kgN_{\alpha p o \mu}$
5,0	9058,10	20699,64	0,44	0,334	0,771	9,642
6,0	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
7,0	9058,83	20668,61	0,44	0,333	0,769	9,594

Πίνακας 4.23: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του μ_H

μ_H (d^{-1})	Εκπομπές GHG ($kgCO_2/d$)	$kgCO_2/m^3$	$kgCO_2/kgCOD_{\delta i a c s}$	$kgCO_2/kgN_{\alpha p o \mu}$
5,0	37783,4	0,609	1,408	17,599
6,0	37807,5	0,610	1,408	17,573
7,0	37800,9	0,610	1,406	17,547

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η λειτουργία του συστήματος δεν είναι ευαίσθητη στη μεταβολή της τιμής του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών μ_H . Για την ανάλυση των υπόλοιπων σεναρίων χρησιμοποιήθηκε η τιμή $6,0 d^{-1}$ για την κινητική παράμετρο μ_H .

4.3.1.4 Σενάριο 1.Δ: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικών μ_A στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του συγκεκριμένου σεναρίου είναι να διερευνηθεί η επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικών μ_A στη λειτουργία της εγκατάστασης, με σταθερές παραμέτρους λειτουργίας όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η τιμή του μ_A λαμβάνει τιμές σε ένα εύρος 0,5-0,8 d⁻¹.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.24 παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν σενάριο.

Πίνακας 4.24: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 1.Δ

Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή		
Y_H	0,6		
Y_A	0,24		
f_p	0,08		
i_{XB}	0,086		
i_{XP}	0,01		
Κινητικές παράμετροι			
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	(0,50-0,80)	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Όπως αναφέρθηκε και στην απόδοση της αυτοτροφικής βιομάζας, οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί αποτελούν ένα μικρό μέρος των συνολικών στερεών του συστήματος. Επομένως, δεν αναμένονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις των στερεών με τη μεταβολή της τιμής του μ_A . Στον Πίνακα 4.25

παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των στερεών, στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος, που προέκυψαν από την ανάλυση του σεναρίου.

Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του μ_A

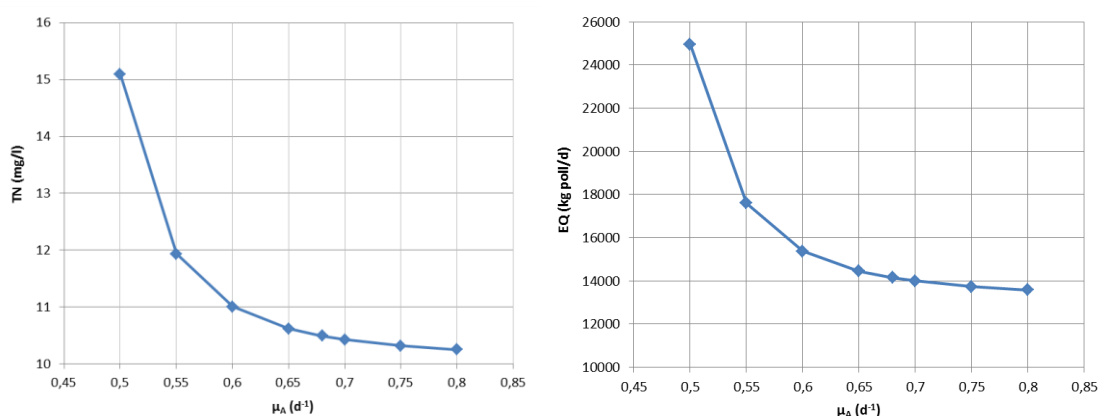
μ_A (d^{-1})	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
0,50	1666,18	2365,98	2394,78	3673,74	5216,71	5282,10
0,55	1675,54	2379,27	2403,83	3694,69	5246,46	5302,35
0,60	1678,35	2383,25	2406,68	3700,90	5255,27	5308,65
0,65	1679,46	2384,83	2407,81	3703,30	5258,68	5311,08
0,68	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
0,70	1680,02	2385,63	2408,37	3704,46	5260,34	5312,25
0,75	1680,37	2386,13	2408,72	3705,18	5261,36	5312,97
0,80	1680,64	2386,51	2408,99	3705,74	5262,14	5313,51

Παρατηρούμε ότι από την τιμή 0,60 και μετά η συγκέντρωση των στερεών ουσιαστικά σταθεροποιείται, αλλά και για τις μικρότερες τιμές του μ_A οι μεταβολές των συγκεντρώσεων είναι αρκετά μικρές. Εφόσον οι συγκεντρώσεις των στερεών εντός του βιοαντιδραστήρα δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα, το ίδιο αναμένεται να ισχύει και για τα στερεά στην εκροή της εγκατάστασης. Αντίθετα, η μεταβολή της τιμής του μ_A θα έχει σημαντική επίδραση στην αζωτούχα ύλη των λυμάτων. Κατά την αερόβια ανάπτυξη της αυτοτροφικής βιομάζας το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρικό (νιτροποίηση). Συνεπώς, όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας, τόσο μειώνεται η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος και αυξάνεται το αμμωνιακό άζωτο στην εκροή, καθώς και το ολικό άζωτο. Στον Πίνακα 4.26 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εκροής συναρτήσει του μ_H .

Πίνακας 4.26: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του μ_A

μ_A (d^{-1})	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
0,50	7,06	15,09	13,90	45,64	24949,5
0,55	2,70	11,93	13,97	45,66	17595,9
0,60	1,38	11,00	13,99	45,68	15375,1
0,65	0,82	10,62	14,00	45,69	14449,5
0,68	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
0,70	0,54	10,43	14,00	45,70	13990,1
0,75	0,39	10,32	14,01	45,71	13735,0
0,80	0,30	10,25	14,01	45,71	13581,0

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις των στερεών και του COD μένουν ανεπηρέαστα από τη μεταβολή του μ_A . Όσον αφορά το άζωτο της εκροής, επιβεβαιώνεται η εκτίμηση που έγινε νωρίτερα. Πιο συγκεκριμένα, όταν το μ_A ισούται με $0,50 \text{ d}^{-1}$, η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι μικρή και το ολικό άζωτο υπερβαίνει οριακά το όριο εκροής. Με αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη νιτροποίηση και μειώνεται το ολικό άζωτο στην έξοδο. Ο δείκτης ποιότητας εξόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το άζωτο, επομένως οι καμπύλες των δυο μεγεθών μεταβάλλονται ανάλογα.



Σχήμα 4.9: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής (αριστερά) και δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει του μ_A (δεξιά)

Όπως προέκυψε για την εκροή, έτσι και για την περίσσεια και για τα στραγγίδια δεν αναμένονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά τους. Στον Πίνακα 4.27 καταγράφονται τα χαρακτηριστικά της περίσσειας αλλά και των συνολικών στραγγιδίων συναρτήσει του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας

Πίνακας 4.27: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του μ_A

μ_A (d^{-1})	Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		Στραγγίδια - Θέση 33		
	w (m^3/d)	Su (mg/l)	Q (m^3/d)	TSS (mg/l)	S_{NH} (mg/l)
0,50	1366,59	5282,10	1973,72	737,37	103,19
0,55	1366,08	5302,35	1973,22	738,64	100,51
0,60	1365,93	5308,65	1973,07	739,03	99,68
0,65	1365,88	5311,08	1973,02	739,19	99,33
0,68	1365,87	5311,87	1973,02	739,23	99,21
0,70	1365,87	5312,25	1973,01	739,26	99,15
0,75	1365,87	5312,97	1973,01	739,30	99,05
0,80	1365,87	5313,51	1973,01	739,33	99,00

Παρά τη μικρή επίδραση που είχε η μεταβολή της τιμής του μ_A στις συγκεντρώσεις στερεών, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου καθώς αυξανόταν ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης μ_A , όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.28.

Πίνακας 4.28: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του μ_A

μ_A (d^{-1})	SOTR1 (kgO_2/h)	SOTR2 (kgO_2/h)	SOTR3 (kgO_2/h)	SOTR4 (kgO_2/h)	SOTR (kgO_2/h)
0,50	714,17	510,86	268,24	230,23	1723,51
0,55	741,95	536,87	278,55	232,74	1790,11
0,60	766,79	549,85	277,64	220,22	1814,50
0,65	791,24	559,32	272,85	204,67	1828,08
0,68	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
0,70	815,42	566,24	265,60	190,10	1837,35
0,75	839,34	570,55	256,70	177,81	1844,41
0,80	862,66	572,19	246,98	167,98	1849,82

Όσον αφορά τις καταναλώσεις ενέργειας (Πίνακας 4.29) παρουσιάζουν κάποια αύξηση με την αύξηση του μ_A , η οποία οφείλεται εξ' ολοκλήρου στην κατανάλωση ενέργειας του συστήματος αερισμού, καθώς οι υπόλοιπες καταναλώσεις παραμένουν σταθερές.

Πίνακας 4.29: Παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συναρτήσει του μ_A

μ_A (d^{-1})	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Κατανάλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό Ανάκτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	kWh/ m^3	kWh/ $kgCOD_{\delta i a s s}$	kWh/ $kgN_{\alpha \rho o \mu}$
0,50	9023,08	19941,54	0,45	0,322	0,742	10,684
0,55	9034,11	20419,52	0,44	0,329	0,760	9,902
0,60	9058,13	20568,47	0,44	0,332	0,766	9,703
0,65	9058,64	20675,51	0,44	0,333	0,770	9,646
0,68	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
0,70	9058,68	20744,44	0,44	0,335	0,772	9,625
0,75	9058,78	20787,27	0,44	0,335	0,774	9,615
0,80	9058,79	20818,94	0,44	0,336	0,775	9,611

Τέλος, στον Πίνακα 4.30 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, οι οποίες δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές, καθώς η τιμή του μ_A μεταβάλλεται.

Πίνακας 4.30: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές των εκπομπών συναρτήσει του μ_A

μ_A (d^{-1})	Εκπομπές GHG ($kgCO_2/d$)	$kgCO_2/m^3$	$kgCO_2/kgCOD_{\delta_{i,ss}}$	$kgCO_2/kgN_{\alpha\pi\sigma\mu}$
0,50	38510,1	0,621	1,434	20,633
0,55	37995,8	0,613	1,414	18,426
0,60	37877,9	0,611	1,410	17,869
0,65	37808,2	0,610	1,408	17,639
0,68	37807,5	0,610	1,408	17,573
0,70	37799,1	0,610	1,407	17,538
0,75	37783,8	0,609	1,407	17,476
0,80	37827,2	0,610	1,408	17,462

Στην παρούσα εφαρμογή ελέγχθηκε η επίδραση της τιμής του μ_A , όταν το σύστημα λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο χρόνο παραμονής στερεών Θ_c , η θερμοκρασία των λυμάτων είναι σταθερή, όπως και η παροχή λυμάτων που εισρέει στο σύστημα. Προέκυψε ότι η διαδικασία που είναι ευαίσθητη στη τιμή του μ_A είναι η νιτροποίηση και συνεπώς οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικών νιτρικών στην εκροή της εγκατάστασης. Σε επόμενο σενάριο θα ελεγχθεί η επίδραση της μεταβολής της τιμής του μ_A για διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας της εγκατάστασης.

Στις περισσότερες εφαρμογές που ακολουθούν ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας λαμβάνεται ίσος με $0,68 d^{-1}$, ενώ σε ορισμένες θεωρούμε την τιμή $0,55 d^{-1}$.

4.3.2 Σενάριο 2: Διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων λειτουργίας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.2.1 Σενάριο 2.A: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών Θ_c στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Στο παρόν σενάριο είναι επιθυμητός ο προσδιορισμός της επίδρασης του χρόνου παραμονής στερεών Θ_c , τόσο στις βιολογικές διεργασίες και την εκροή της εγκατάστασης όσο και στις καταναλώσεις ενέργειας και στις εκπομπές αερίων. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ότι η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργεί σε ένα εύρος του Θ_c μεταξύ 2 ως 15 ημέρες.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.31 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.31: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.A

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	(2-15)	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{λυος}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
K_{NO}	0,5	η_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Όσο περισσότερο παραμένουν τα στερεά εντός του συστήματος είναι λογικό η συγκέντρωσή τους να αυξάνεται, καθώς προλαβαίνουν να αναπτυχθούν περισσότερο. Βέβαια αν ο χρόνος παραμονής τους αυξηθεί σημαντικά, οι μικροοργανισμοί για να συντηρηθούν θα αρχίσουν να καταναλώνουν την ενέργεια των κυττάρων τους λόγω έλλειψης τροφής. Συνεπώς θα επέλθει μείωση της συγκέντρωσής τους. Παρολ' αυτά στα πλαίσια της παρούσας εφαρμογής δεν ασχοληθήκαμε με τόσους υψηλούς χρόνους παραμονής και οι συγκεντρώσεις των στερεών συνεχώς αυξάνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.32.

Πίνακας 4.32: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του Θ_c

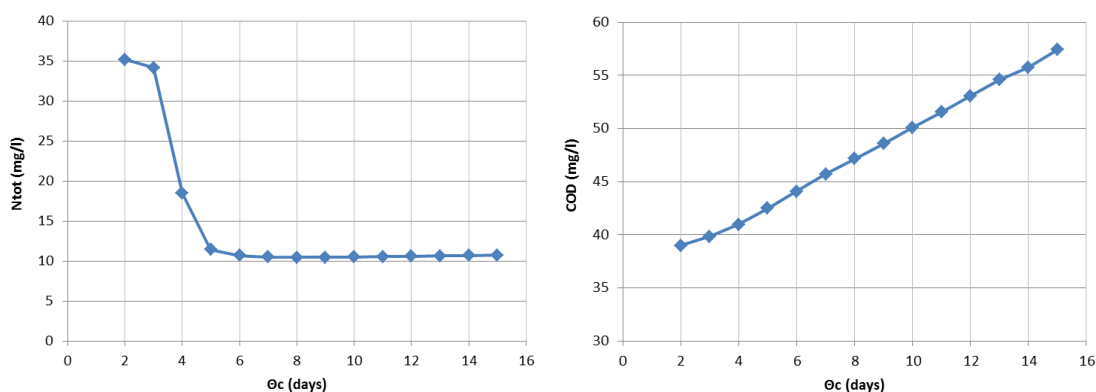
Θ_c (days)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
2	651,69	925,40	868,15	1375,13	1952,68	1834,01
3	882,06	1252,52	1203,96	1898,65	2696,08	2594,10
4	1113,54	1581,22	1540,64	2422,75	3440,31	3354,20
5	1324,04	1880,13	1849,05	2899,27	4116,96	4050,70
6	1504,88	2136,93	2130,49	3308,80	4698,50	4685,95
7	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
8	1830,00	2598,60	2661,28	4043,57	5741,86	5882,46
9	1970,25	2797,76	2897,31	4360,67	6192,15	6414,46
10	2112,10	2999,18	3136,56	4681,07	6647,12	6954,63
11	2242,02	3183,67	3330,16	4974,00	7063,08	7389,85
12	2374,75	3372,14	3558,99	5273,07	7487,76	7904,68
13	2501,79	3552,53	3781,33	5559,28	7894,18	8404,81
14	2593,72	3683,08	3968,61	5766,93	8189,04	8826,51
15	2723,62	3867,53	4193,27	6059,36	8604,30	9331,65

Η αυξανόμενη συγκέντρωση των στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος είναι βέβαιο ότι θα συνοδευτεί και από αύξηση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή της εγκατάστασης. Στον Πίνακα 4.33 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εκροής συναρτήσει του χρόνου παραμονής στερεών.

Πίνακας 4.33: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του Θ_c

Θ_c (days)	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
2	33,77	35,17	4,67	38,99	68529,0
3	32,39	34,18	6,53	39,84	66582,9
4	12,15	18,44	8,49	40,98	32118,2
5	2,33	11,43	10,38	42,50	15992,3
6	1,04	10,67	12,17	44,07	14332,9
7	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
8	0,45	10,46	15,73	47,16	14280,8
9	0,36	10,47	17,40	48,58	14542,5
10	0,30	10,50	19,17	50,09	14873,5
11	0,27	10,54	20,69	51,52	15201,9
12	0,24	10,58	22,50	53,06	15577,3
13	0,22	10,63	24,33	54,59	15972,0
14	0,21	10,67	25,88	55,73	16299,3
15	0,20	10,72	27,88	57,43	16743,2

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα για χρόνο παραμονής έως και 4 ημέρες δεν επιτυγχάνεται το όριο εκροής ολικού αζώτου που έχει θεσπιστεί από τη νομοθεσία. Επομένως, είναι απαραίτητο το Θ_c με το οποίο θα λειτουργεί η εγκατάσταση να είναι ίσο ή μεγαλύτερο των 5 ημερών. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά και το COD συνεχώς αυξάνονται με την αύξηση του Θ_c , χωρίς ωστόσο να ξεπερνιούνται τα όρια έκροης. Τέλος, ο δείκτης ποιότητας εκροής, αρχικά, εξαρτάται από την υψηλή συγκέντρωση του αζώτου και γι' αυτό εμφανίζεται μια τόσο υψηλή τιμή ρύπανσης. Στη συνέχεια, καθώς αυξάνεται η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος, η τιμή του δείκτη μειώνεται απότομα. Περαιτέρω αύξηση του χρόνου παραμονής οδηγεί σε αύξηση της τιμής του δείκτη, αλλά με σχετικά μικρό ρυθμό, αφού εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών και του COD στην εκροή.



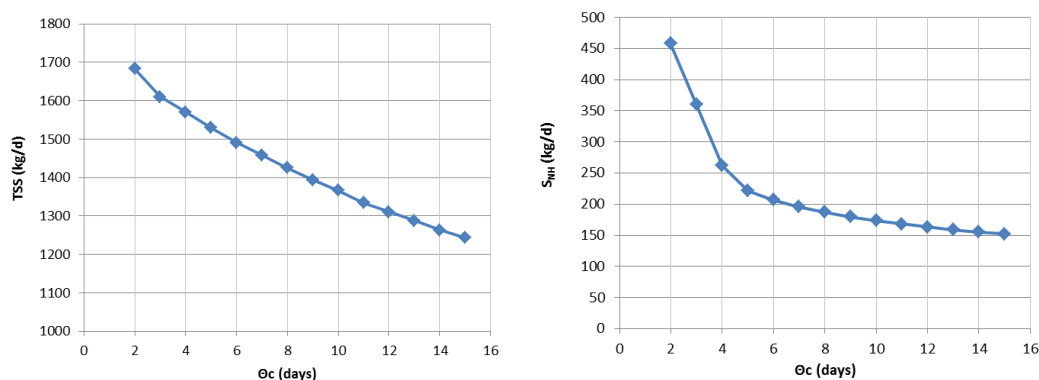
Σχήμα 4.10: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής (αριστερά) και COD εκροής (δεξιά) συναρτήσει του Θ_c

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο περισσότερο παραμένουν τα στερεά εντός του συστήματος τόσο θα μειώνεται η παροχή της περίσσειας ιλύος. Επιπλέον, είναι αναμενόμενη μια αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών S_u , εφόσον τα στερεά εντός του βιοαντιδραστήρα αυξάνονται. Επομένως, χρειάζεται να ελεγχθεί και η μάζα των στερεών που απομακρύνεται από τη βιολογική βαθμίδα μέσω της περίσσειας, η οποία όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.34 μειώνεται καθώς το Θ_c αυξάνεται.

Πίνακας 4.34: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος συναρτήσει του Θ_c

Θ_c (days)	w (m ³ /d)	Su (mg/l)	Su (kg/d)
2	5434,0	1834,01	9966,03
3	3500,3	2594,10	9080,04
4	2559,0	3354,20	8583,25
5	1998,7	4050,70	8096,20
6	1629,0	4685,95	7633,20
7	1365,9	5311,87	7255,32
8	1169,3	5882,46	6878,23
9	1016,3	6414,46	6519,22
10	893,5	6954,63	6214,10
11	793,0	7389,85	5859,83
12	708,6	7904,68	5600,88
13	636,7	8404,81	5351,62
14	575,7	8826,51	5081,03
15	521,1	9331,65	4863,17

Η παροχή της περίσσειας είναι αυτή που καθορίζει και την παροχή των στραγγιδίων, αφού η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος παραμένει σχεδόν σταθερή. Όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.35, καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των στερεών, μειώνονται τόσο η παροχή των στραγγιδίων όσο και η συνεισφορά τους στα εισρέοντα λύματα της εγκατάστασης. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται η μεταβολή στη μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών και του αμμωνιακού αζώτου συναρτήσει του Θ_c .



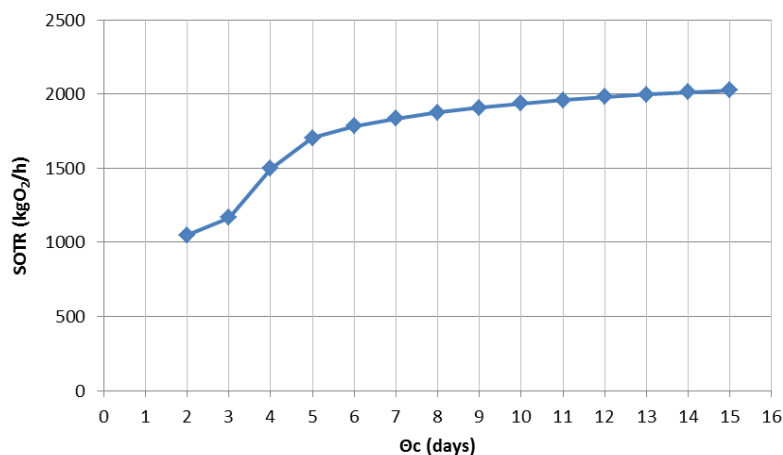
Σχήμα 4.11: Μάζα ολικών αιωρούμενων στερεών (αριστερά) και αμμωνιακού αζώτου (δεξιά) των στραγγιδίων συναρτήσει του Θ_c

Πίνακας 4.35: Παροχή στραγγιδίων και ποσοστά συνεισφοράς στραγγιδίων στην εισροή συναρτήσει του Θ_c

Θ_c (days)	Q (m ³ /d)	CODστραγ/ COD2	TNστραγ/ TN2	SNHστραγ/ SNH2	TSSστραγ/ TSS2
2	6042,3	6,18%	16,19%	17,04%	8,49%
3	4108,1	5,70%	13,38%	13,90%	8,16%
4	3166,6	5,45%	10,80%	10,51%	7,97%
5	2606,2	5,26%	9,55%	9,03%	7,78%
6	2236,2	5,08%	8,91%	8,48%	7,59%
7	1973,0	4,94%	8,41%	8,06%	7,44%
8	1776,3	4,80%	8,00%	7,73%	7,29%
9	1623,3	4,67%	7,65%	7,45%	7,14%
10	1500,4	4,57%	7,36%	7,21%	7,01%
11	1399,9	4,47%	7,10%	7,00%	6,85%
12	1315,4	4,38%	6,87%	6,82%	6,74%
13	1243,6	4,30%	6,67%	6,66%	6,63%
14	1182,5	4,21%	6,49%	6,51%	6,51%
15	1128,0	4,14%	6,32%	6,38%	6,41%

Εκτός από τα χαρακτηριστικά των λυμάτων και τις διεργασίες του συστήματος είναι δεδομένο ότι η μεταβολή του χρόνου παραμονής στερεών θα επηρεάσει τις καταναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας, την παραγωγή βιοαερίου και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Η κατανάλωση οξυγόνου θα αυξάνεται εφόσον τα στερεά παραμένουν περισσότερο εντός του συστήματος. Ειδικότερα, για μικρές τιμές του χρόνου παραμονής, όπου το σύστημα αρχίζει να αποκτά νιτροποιητική ικανότητα, η κατανάλωση οξυγόνου θα αυξάνεται με μεγάλο ρυθμό. Εν συνεχεία, θα συνεχιστεί να εμφανίζεται ανοδική τάση στην κατανάλωση του οξυγόνου, αλλά με συγκριτικά μικρότερο ρυθμό. Στο Σχήμα 4.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR.



Σχήμα 4.12: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου συναρτήσει του Θ_c

Όπως δείξαμε προηγουμένως, ενδεχόμενη αύξηση του Θ_c έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας των ολικών στερεών, άρα και των οργανικών, που απομακρύνονται με την περίσσεια ιλύος. Αυτό θα οδηγήσει σε μικρότερη παραγωγή βιοαερίου και συνεπώς σε μικρότερη διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών απαιτήσεων.

Όσον αφορά τις θερμικές απαιτήσεις του συστήματος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.36, εκτός από τη διαθέσιμη ενέργεια μειώνονται και οι θερμικές απαιτήσεις, αφού ελαττώνεται η παροχή ιλύος. Επομένως, το ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις για χρόνους παραμονής μεγαλύτερους ή ίσους των 5 ημερών.

Πίνακας 4.36: Θερμικές απαιτήσεις και παραγωγή θερμικής ενέργειας συναρτήσει του Θ_c .

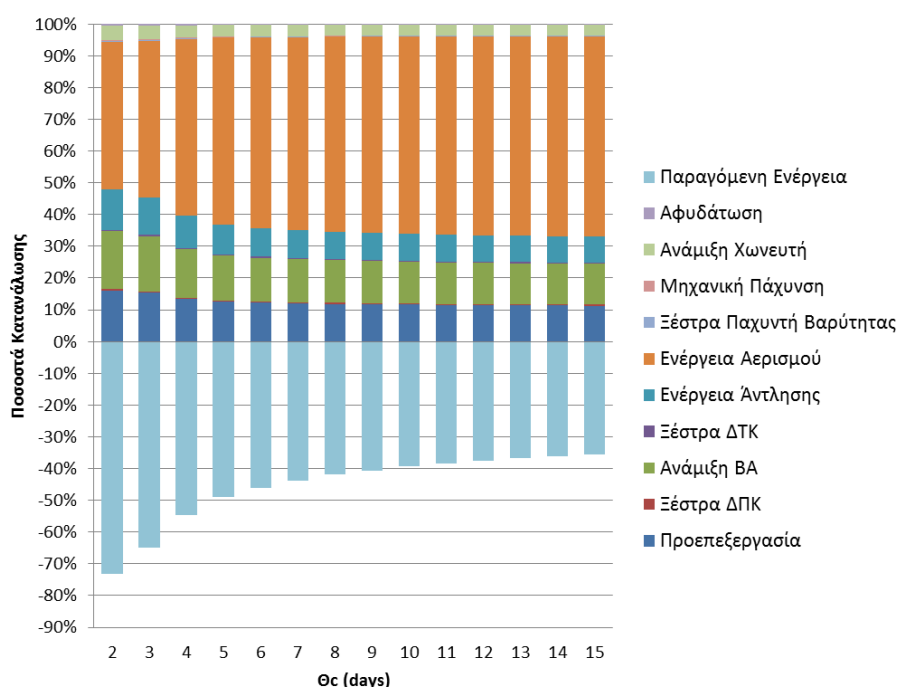
Θ_c (days)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10^6 kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10^6 kcal/d)	Περίσσεια θερμικής (10^6 kcal/d)	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας
2	13,89	7,36	6,53	1,89
3	12,93	7,03	5,90	1,84
4	12,40	6,83	5,57	1,82
5	11,90	6,65	5,25	1,79
6	11,48	6,47	5,01	1,78
7	11,13	6,32	4,81	1,76
8	10,81	6,18	4,63	1,75
9	10,57	6,04	4,53	1,75
10	10,34	5,92	4,42	1,75
11	10,16	5,78	4,38	1,76
12	9,99	5,67	4,31	1,76
13	9,82	5,58	4,25	1,76
14	9,70	5,48	4,22	1,77
15	9,59	5,40	4,19	1,78

Εκτός από τη μείωση της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, η αύξηση του χρόνου παραμονής Θ_c επιφέρει αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, η οποία οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης οξυγόνου. Επομένως, μειώνεται το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνεται το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης. Στον Πίνακα 4.37 παρουσιάζονται η παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και ανηγμένοι δείκτες της κατανάλωσης ενέργειας, συναρτήσει του Θ_c . Επίσης, στο Σχήμα 4.13 φαίνεται το ποσοστό που καταλαμβάνει στην καταναλισκόμενη ενέργεια η κατανάλωση σε κάθε μονάδα της εγκατάστασης. Παρατηρούμε το μεγάλο ποσοστό που καταλαμβάνει η ενέργεια αερισμού, όπου

φτάνει και ξεπερνά το 60% της καταναλισκόμενης ενέργειας. Επιπλέον, διαπιστώνεται εύκολα η σημαντική μείωση του ποσοστού ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.37: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του Θ_c

Θ_c (days)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/ kgCOD _{διασ}	kWh/ kgN _{απομ}
2	11304,96	15445,42	0,73	0,249	0,566	24,790
3	10526,13	16199,54	0,65	0,261	0,595	23,679
4	10095,77	18435,26	0,55	0,297	0,679	11,112
5	9688,77	19842,75	0,49	0,320	0,733	9,478
6	9348,17	20332,16	0,46	0,328	0,754	9,498
7	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
8	8799,05	20973,17	0,42	0,338	0,783	9,739
9	8601,68	21196,53	0,41	0,342	0,794	9,846
10	8415,94	21373,27	0,39	0,345	0,804	9,937
11	8271,84	21529,67	0,38	0,347	0,812	10,022
12	8132,29	21689,63	0,37	0,350	0,821	10,108
13	7997,84	21760,62	0,37	0,351	0,827	10,155
14	7900,36	21866,82	0,36	0,353	0,833	10,216
15	7804,14	21959,21	0,36	0,354	0,840	10,275



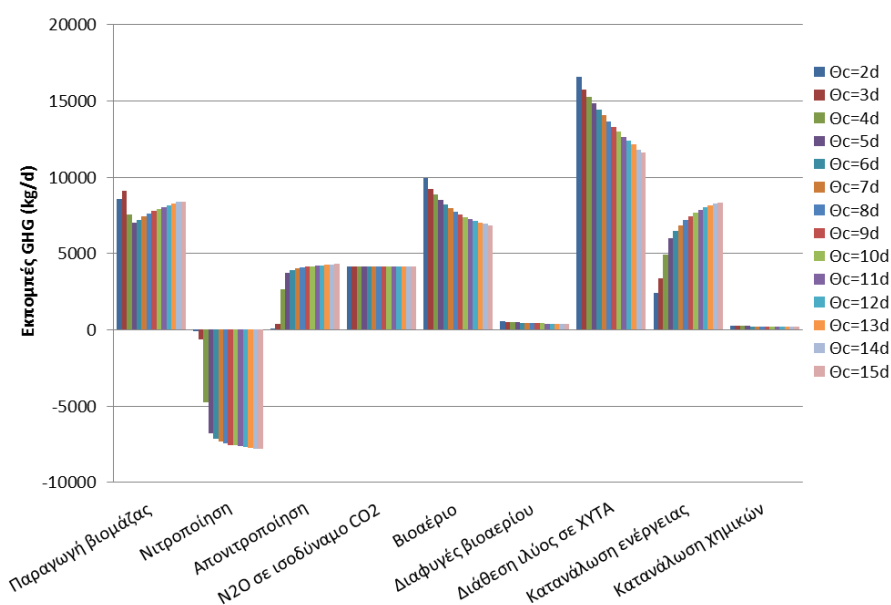
Σχήμα 4.13: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του Θ_c

Τέλος, στον Πίνακα 4.38 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Θ_c , καθώς και ανηγμένων συντελεστών των εκπομπών. Παρατηρούμε ότι οι συνολικές εκπομπές μειώνονται, όταν αυξάνεται ο

χρόνος παραμονής των στερεών στο σύστημα. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.14 οι εκπομπές που οφείλονται στην ανάπτυξη βιομάζας και την κατανάλωση ενέργειας αυξάνονται με αύξηση του Θ_c , ενώ οι εκπομπές που συνδέονται με την επεξεργασία ιλύος μειώνονται, καθώς μειώνεται η παροχή της ιλύος με αύξηση του χρόνου παραμονής.

Πίνακας 4.38: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του Θ_c

Θ_c (days)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
2	42467,4	0,685	1,557	68,161
3	42125,1	0,679	1,547	61,575
4	39450,8	0,636	1,453	23,779
5	38175,9	0,616	1,411	18,236
6	37913,2	0,612	1,406	17,711
7	37807,5	0,610	1,408	17,573
8	37621,2	0,607	1,405	17,469
9	37394,3	0,603	1,401	17,371
10	37297,5	0,602	1,403	17,341
11	37106,4	0,598	1,400	17,273
12	36973,7	0,596	1,400	17,231
13	36810,8	0,594	1,399	17,178
14	36565,6	0,586	1,384	16,960
15	36435,5	0,588	1,394	17,049



Σχήμα 4.14: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του Θ_c

Συγκεντρωτικά, από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για την απόδοση της εγκατάστασης:

- Για χρόνους παραμονής στερεών έως και 4 ημέρες η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι πολύ μικρή και δεν επιτυγχάνεται το όριο ολικού αζώτου

που έχει θεσπιστεί για την εκροή. Επομένως, η εγκατάσταση θα πρέπει να λειτουργεί με χρόνο παραμονής στερεών ίσο ή μεγαλύτερο των 5 ημερών.

- Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής στερεών έχουν ως αποτέλεσμα υψηλές καταναλώσεις οξυγόνου και ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του Θ_c αυξάνεται το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.
- Εφόσον η βιολογική ιλύς σταθεροποιείται στον χωνευτή της εγκατάστασης, το σύστημα δεν χρειάζεται να λειτουργεί με μεγάλο χρόνο παραμονής. Επίσης, καλό είναι να μην επιλεχθεί η μικρότερη δυνατή τιμή του Θ_c , ώστε να μειωθούν η ποσότητα της περίσσειας ιλύος που πρέπει να διαχειριστεί και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Για τους παραπάνω λόγους συνίσταται η λειτουργία της εγκατάστασης με χρόνο παραμονής στερεών που κυμαίνεται σε ένα εύρος 6-8 ημερών. Στις εφαρμογές που έχουν εξεταστεί το Θ_c λαμβάνεται ίσο με 7 ημέρες.

4.3.2.2 Σενάριο 2.B: Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση στην απόδοση της εγκατάστασης εξαιτίας της μεταβολής του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Για να επιτευχθεί ο στόχος του σεναρίου θεωρείται ότι ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών κυμαίνεται σε ένα εύρος 40-60%.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.39 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.39: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.B

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι				Κινητικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35	μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{ιλυος}}$	0,8	μ_A	0,68	K_S	20,0
% ΔΠΚ	(40-60)	$R_{\text{εσ.ανθκ.}}$	2,5	b_H	0,62	K_h	3,0
CR (%)	95	set points	2-2-2-2	b_A	0,12	K_X	0,03
Στοιχειομετρικές παράμετροι				$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086	$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01	K_{NO}	0,5	η_h	0,4
f_p	0,08						

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των στερεών στη βιολογική βαθμίδα, καθώς μεγαλύτερο μέρος στερεών απομακρύνεται με την πρωτοβάθμια ιλύ. Στον Πίνακα 4.40 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών και των ολικών στερεών σε ένα διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος.

Πίνακας 4.40: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
40	1789,07	2540,48	2667,29	3944,58	5601,31	5883,35
50	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
60	1562,87	2219,27	2144,50	3446,49	4894,01	4730,51

Με ανάλογο τρόπο θα μεταβάλλονται και τα στερεά και το COD στην εκροή του συστήματος. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.41 η μεταβολή του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ δεν επιδρά σημαντικά στο άζωτο της εκροής.

Πίνακας 4.41: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

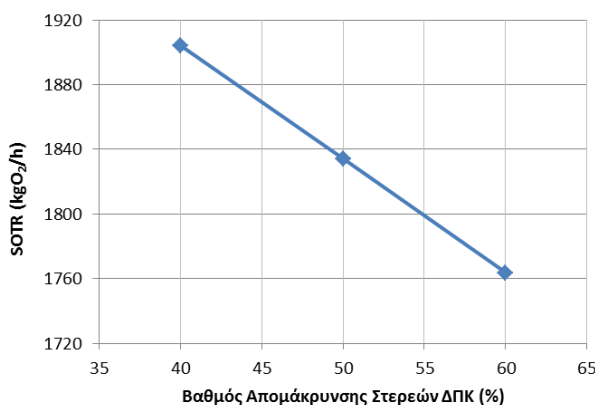
Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	S _{NH,e} (mg/l)	N _{tot,e} (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
40	0,64	10,33	15,71	46,83	14434,2
50	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
60	0,62	10,71	12,30	44,51	13877,5

Παρόλο που το φορτίο της περίσσειας ιλύος μειώνεται, καθώς η παροχή της περίσσειας μένει σχεδόν σταθερή ενώ η συγκέντρωση των στερεών της μειώνεται, τα φορτία των στραγγιδίων αυξάνονται, το οποίο οφείλεται στην αύξηση των φορτίων της πρωταβάθμιας ιλύος. Στον Πίνακα 4.42 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της πρωταβάθμιας και της περίσσειας ιλύος, καθώς και των στραγγιδίων της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.42: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	Πρωτοβάθμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος		Στραγγίδια		
	Q _{πρωτ. ιλ.} (m ³ /d)	TSS (kg/d)	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
40	520,1	7801,9	1364,1	8025,8	1840,5	1367,7	175,3
50	653,2	9797,9	1365,9	7255,3	1973,0	1458,5	195,7
60	787,5	11811,9	1367,7	6469,7	2106,8	1549,3	216,5

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των στερεών στη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Επομένως, το οξυγόνο που καταναλώνεται στον αερόβιο αντιδραστήρα θα μειώνεται, καθώς εξαρτάται από την συγκέντρωση των μικροοργανισμών. Στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.



Σχήμα 4.15: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Το βασικό πλεονέκτημα του υψηλού βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ είναι η παραγωγή μεγάλης ποσότητας ενέργειας, για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης. Η αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών επιφέρει σημαντική αύξηση των φορτίων της πρωτοβάθμιας ιλύος. Συνεπώς, η καταστροφή οργανικών στερεών κατά την σταθεροποίηση της ιλύος είναι μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου. Στον Πίνακα 4.43 παρουσιάζονται η παραγόμενη ενέργεια από την κάυση του βιοαερίου, οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας του συστήματος και η περίσσεια θερμικής ενέργειας συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ. Μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί η σημαντική αύξηση στην περίσσεια θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίων της εγκατάστασης.

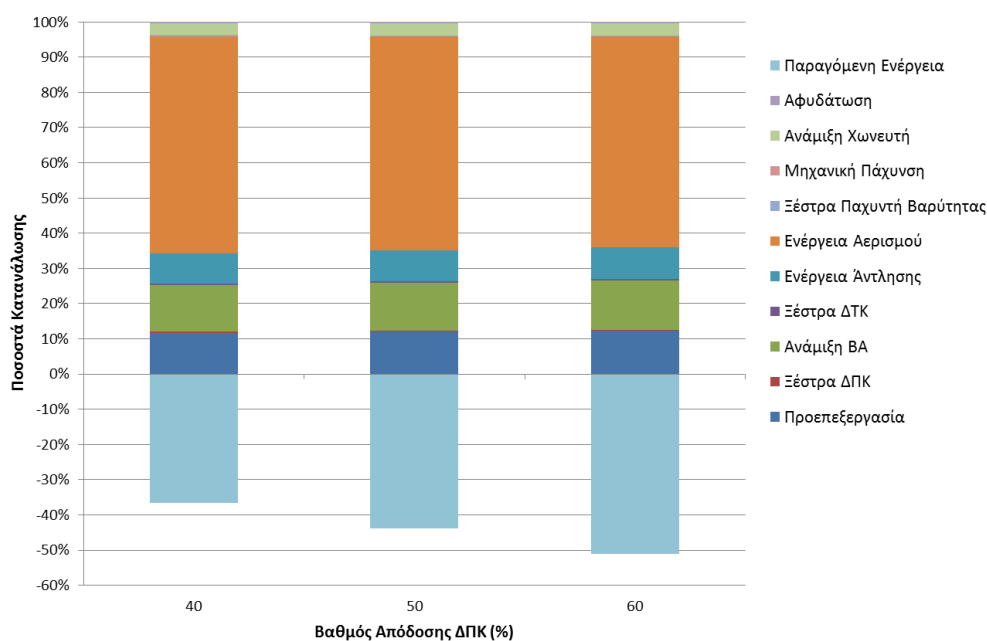
Πίνακας 4.43: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	Ενέργεια βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής (10 ⁶ kcal/d)	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας
40	19,10	9,55	5,86	3,69	1,63
50	22,25	11,13	6,32	4,81	1,76
60	25,40	12,70	6,78	5,92	1,87

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ. Αυτό, όμως, δεν είναι το μοναδικό όφελος, αφού εμφανίζεται και μείωση στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η κύρια αιτία κατανάλωσης που προκαλεί μεταβολή στην καταναλισκόμενη ενέργεια είναι η ενέργεια αερισμού, αφού οι υπόλοιπες καταναλώσεις παραμένουν σταθερές ή μεταβάλλονται σε μικρό βαθμό. Όπως δείξαμε προηγουμένως, η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της πρωτοβάθμιας καθίζησης, άρα θα μειώνεται και η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια. Στον Πίνακα 4.44 παρουσιάζονται η παραγόμενη και η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και ανηγμένοι δείκτες της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, στο Σχήμα 4.16 φαίνεται το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα της εγκατάστασης, καθώς και το ποσοστό της καταναλισκόμενης ενέργειας που καλύπτεται από τη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακας 4.44: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{οίσο}	kWh/kgN _{απομ}
40	7773,76	21193,08	0,37	0,342	0,791	9,806
50	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
60	10338,31	20210,33	0,51	0,326	0,750	9,452

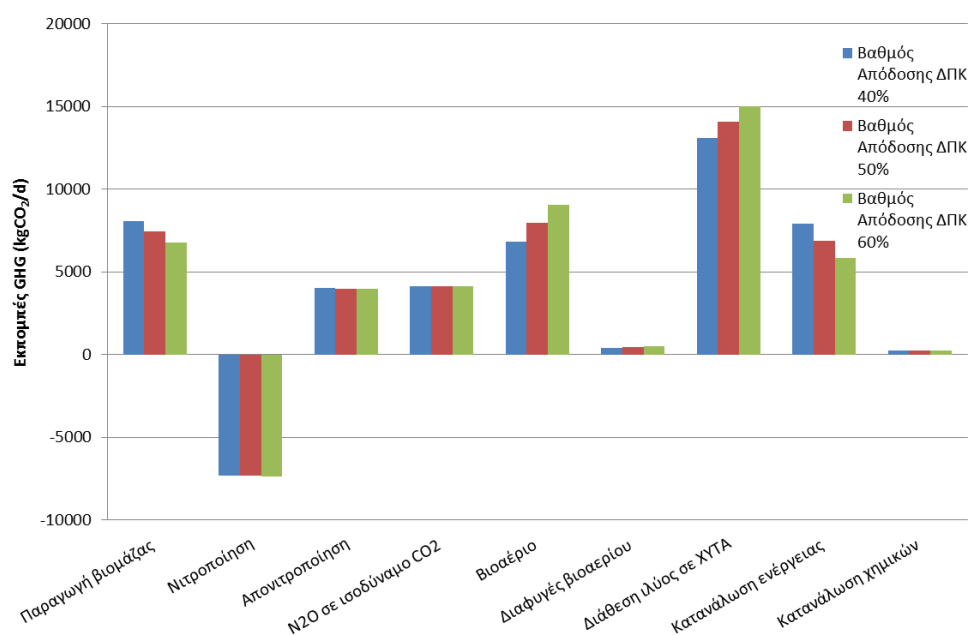


Σχήμα 4.16: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Τέλος, στον Πίνακα 4.45 παρουσιάζεται η διακύμανση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, καθώς μεταβάλλεται ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στην πρωτοβάθμια καθίζηση. Επιπλέον, στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζονται λεπτομερώς πως μεταβάλλεται κάθε συνιστώσα των συνολικών εκπομπών. Παρατηρούμε ότι οι εκπομπές που σχετίζονται με τη βιολογική βαθμίδα και την κατανάλωση ενέργειας μειώνονται όταν ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ αυξάνεται, ενώ οι εκπομπές που συνδεόνται με την επεξεργασία ιλύος αυξάνονται.

Πίνακας 4.45: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Βαθμός απόδοσης ΔΠΚ (%)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
40	37358,4	0,603	1,394	17,285
50	37807,5	0,610	1,408	17,573
60	38230,9	0,617	1,419	17,880



Σχήμα 4.17: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ

Συγκεντρωτικά από τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν υψηλότερος βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη πρωτοβάθμια καθίζηση έχει εξαιρετική σημασία για τη λειτουργία της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα:

- Τα φορτία στερεών που συνεχίζουν στη βιολογική βαθμίδα είναι μικρότερα.

- Επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα εκροής, με μείωση της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών και του COD.
- Μειώνονται οι καταναλώσεις οξυγόνου και ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης μειώνεται σημαντικά.
- Αυξάνεται η παραγωγή βιοαερίου, συνεπώς και η διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των απαιτήσεων της εγκατάστασης.

Για τους παραπάνω λόγους θέλουμε να επιτυγχάνεται στην πρωτοβάθμια καθίζηση ο υψηλότερος δυνατός βαθμός απομάκρυνσης στερεών. Για τις ανάγκες των εξεταζόμενων εφαρμογών επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί απομάκρυνση στερεών ίση με 50%.

4.3.2.3 Σενάριο 2.Γ: Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης στερεών CR στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση της μεταβολής του ποσοστού συγκράτησης στερεών CR, με το οποίο λειτουργούν οι μονάδες πάχυνσης και αφυδάτωσης. Για τις ανάγκες του σεναρίου έγινε η παραδοχή ότι το ποσοστό συγκράτησης στις δυο μονάδες είναι ίδιο, παρόλο που στην πραγματικότητα μπορεί να είναι διαφορετικό. Οι τιμές του CR που χρησιμοποιήθηκαν κυμαίνονται μεταξύ 70% και 95%.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.46 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.46: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Γ

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι				Κινητικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΓΠΠ - ΠΒΙ)	50-35	μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{γλυκος}}$	0,8	μ_A	0,68	K_S	20,0
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5	b_H	0,62	K_h	3,0
CR (%)	(70-95)	set points	2-2-2-2	b_A	0,12	K_X	0,03
Στοιχειομετρικές παράμετροι				$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086	$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01	K_{NO}	0,5	η_h	0,4
f_p	0,08						

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Το ποσοστό συγκράτησης CR είναι αυτό που καθορίζει το τμήμα ιλύος που θα συνεχίσει για περαιτέρω επεξεργασία και τελικά θα διατεθεί, ενώ το υπόλοιπο επανέρχεται στην είσοδο της εγκατάστασης με τη μορφή στραγγιδίων. Επομένως, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο υψηλότερο ποσοστό CR επιτυγχάνεται, τόσο χαμηλότερη θα είναι η συγκέντρωση των στερεών στην εγκατάσταση και στην εκροή της. Στον Πίνακα 4.47 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών και των ολικών στερεών σε ένα αερόβιο διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος, ενώ στον Πίνακα 4.48 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις εκροής της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.47: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του CR

CR (%)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
70	2480,92	3522,90	3716,15	5469,69	7766,96	8195,57
75	2255,85	3203,31	3347,87	4973,62	7062,54	7383,46
80	2074,84	2946,27	3073,62	4574,92	6496,38	6779,40
85	1925,88	2734,75	2824,28	4246,33	6029,79	6229,55
90	1797,32	2552,19	2604,59	3963,02	5627,49	5745,06
95	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87

Πίνακας 4.48: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του CR

CR (%)	S _{NH,e} (mg/l)	N _{tot,e} (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
70	0,33	10,45	24,02	54,59	16033,0
75	0,38	10,41	20,95	51,87	15377,6
80	0,42	10,40	18,77	49,82	14919,9
85	0,48	10,41	16,92	48,21	14575,5
90	0,55	10,44	15,36	46,88	14322,5
95	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3

Όπως αναμενόταν, παρατηρείται σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων στερεών και COD με βελτίωση της απόδοσης των μονάδων πάχυνσης και αφυδάτωσης. Επίσης, μειώνεται και το φορτίο στερεών της περίσσειας, καθώς η παροχή της παραμένει σχεδόν σταθερή, ενώ η συγκέντρωση των στερεών μειώνεται σε μεγάλο βαθμό.

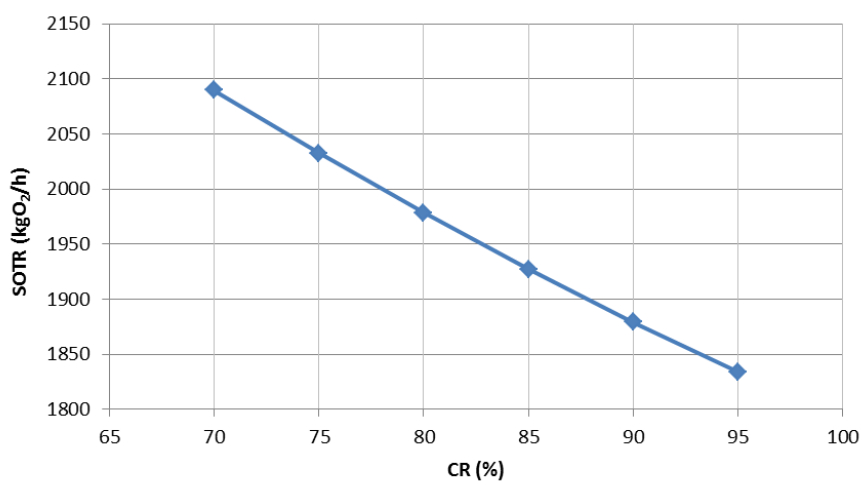
Ωστόσο η μεγαλύτερη επίδραση της μεταβολής του CR θα εμφανίζεται στα στραγγίδια της εγκατάστασης. Η εκτίμηση αυτή είναι λογική, καθώς το ποσοστό CR

καθορίζει τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων. Στον Πίνακα 4.49 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων συναρτήσει του CR, καθώς και η συμμετοχή των στραγγιδίων στα λύματα που εισέρχονται στη πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Πίνακας 4.49: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσει του CR

CR (%)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)	COD _{στραγ} / COD ₂	TN _{στραγ} / TN ₂	SNH _{στραγ} / SNH ₂	TSS _{στραγ} / TSS ₂
70	2317,6	12178,4	218,2	28,18%	17,74%	8,91%	40,17%
75	2229,5	9393,2	214,1	23,39%	15,67%	8,75%	34,12%
80	2153,7	7036,1	209,7	18,71%	13,71%	8,59%	27,95%
85	2086,2	4945,3	205,1	14,09%	11,85%	8,42%	21,42%
90	2026,2	3097,7	200,4	9,51%	10,08%	8,24%	14,59%
95	1973,0	1458,5	195,7	4,94%	8,41%	8,06%	7,44%

Εξαιτίας της μείωσης των μικροοργανισμών στη βιολογική βαθμίδα αναμένεται μείωση και του απαιτούμενου οξυγόνου, καθώς μειώνεται ο ρυθμός της αερόβιας ανάπτυξης. Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η μεταβολή της ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του ποσοστού CR.



Σχήμα 4.18: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του CR

Όπως αναφέρθηκε και σε άλλες εφαρμογές, ο παράγοντας που καθορίζει τη μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι η ενέργεια αερισμού, καθώς οι υπόλοιπες αιτίες κατανάλωσης παραμένουν σχεδόν σταθερές. Επομένως, με τη βελτίωση της απόδοσης των μονάδων πάχυνσης και αφυδάτωσης αναμένεται μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας (Πίνακας 4.50). Εκτός αυτού, αύξηση του ποσοστού συγκράτησης στερεών στις μονάδες πάχυνσης θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερου βιοαερίου, αφού μεγαλύτερο μέρος ιλύος θα οδηγείται

για σταθεροποίηση στον χωνευτή. Άρα θα αυξάνεται η διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.50: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του CR

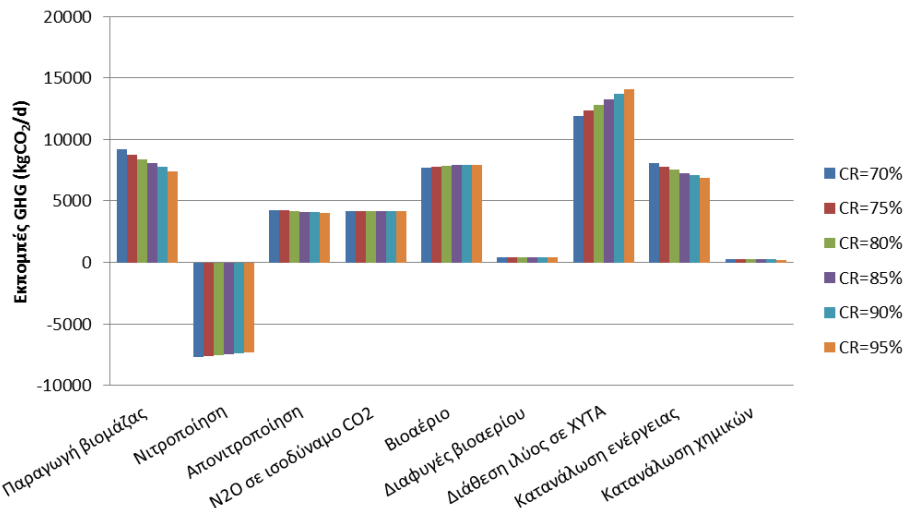
CR (%)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό Ανάκτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δισσ}	kWh/kgN _{απομ}
70	8743,13	22482,22	0,39	0,363	0,855	10,437
75	8873,65	22095,48	0,40	0,356	0,834	10,247
80	8964,64	21723,96	0,41	0,350	0,817	10,071
85	9020,14	21360,13	0,42	0,345	0,800	9,906
90	9034,20	20995,32	0,43	0,339	0,784	9,745
95	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό πόσο μεγάλης σημασίας είναι οι υψηλές επιδόσεις των μονάδων πάχυνσης και αφυδάτωσης, καθώς μειώνεται σημαντικά το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Ειδικότερα, όταν το CR αυξάνεται από 70% σε 95% παρατηρείται μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας της τάξης του 8%.

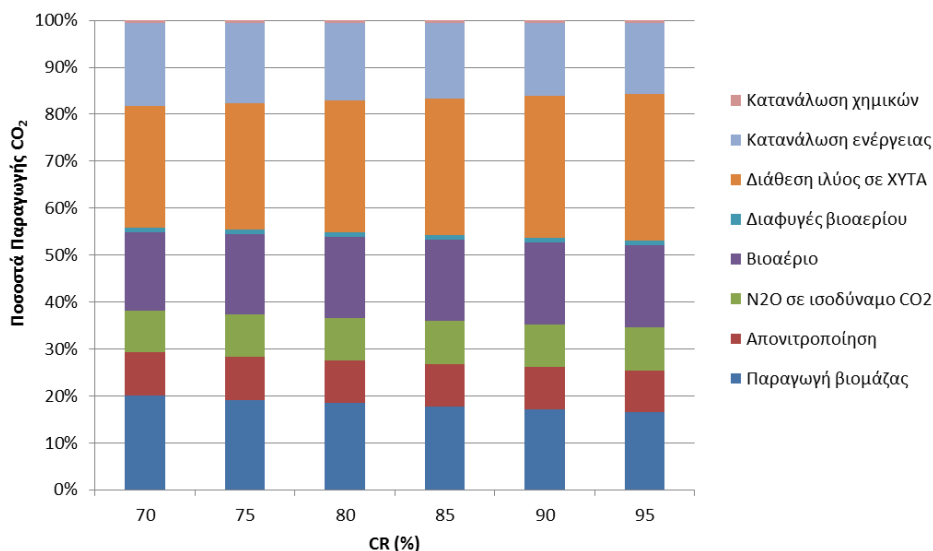
Τέλος, όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, με αύξηση του ποσοστού CR αναμένεται μείωση στις εκπομπές που οφείλονται στις βιολογικές διεργασίες, αφού οι μικροοργανισμοί μειώνεται, και στις εκπομπές λόγω κατανάλωσης ενέργειας. Αντίθετα, οι εκπομπές που συνδέονται με την επεξεργασία ιλύος θα αυξάνονται αυξανόμενου του ποσοστού CR, καθώς μεγαλύτερο μέρος της ιλύος θα συνεχίζει να επεξεργάζεται. Στον Πίνακα 4.51 παρουσιάζονται η μεταβολή των συνολικών εκπομπών αερίων συναρτήσει του CR και ανηγμένοι δείκτες των συνολικών εκπομπών. Ακόμη, στα Σχήματα 4.19 και 4.20 παρουσιάζονται η μεταβολή των εκπομπών για κάθε συνιστώσα ξεχωριστά και το ποσοστό εκπομπών που οφείλεται σε κάθε συνιστώσα αντίστοιχα.

Πίνακας 4.51: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του CR

CR (%)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
70	38355,0	0,619	1,458	17,806
75	38178,7	0,616	1,442	17,706
80	38033,1	0,613	1,430	17,632
85	37941,4	0,612	1,421	17,595
90	37898,5	0,611	1,415	17,591
95	37807,5	0,610	1,408	17,573



Σχήμα 4.19: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του CR



Σχήμα 4.20: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του CR

Από τον παραπάνω πίνακα και διαγράμματα παρατηρούμε ότι ενώ οι διαφορές στις συνολικές εκπομπές αερίων είναι σχετικά μικρές, εμφανίζονται σημαντικές μεταβολές στις επιμέρους εκπομπές, καθώς μεταβάλλεται το ποσοστό συγκράτησης στερεών.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι τα οφέλη της υψηλής απόδοσης των μονάδων πάχυνσης και αφυδάτωσης είναι πολλά, τόσο από άποψη εκροής, όπου μειώνονται οι συγκεντρώσεις στερεών και COD, όσο και από άποψη λειτουργικού κόστους, καθώς μειώνονται οι καταναλώσεις οξυγόνου και ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις ανάγκες των εξεταζόμενων σεναρίων το ποσοστό CR θεωρήθηκε ίσο με 95%.

4.3.2.4 Σενάριο 2.Δ: Επίδραση του βαθμού καταστροφής οργανικών στερεών στη χώνευση στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση της μεταβολής του βαθμού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα της χώνευσης. Για την προσομοίωση του μοντέλου επιλέχθηκαν διαφορετικοί βαθμοί καταστροφής για την πρωτοβάθμια και τη βιολογική ιλύ, εκ των οποίων για την πρωτοβάθμια είναι μεγαλύτερος. Τα ζεύγη βαθμών καταστροφής που ελέγχθηκαν είναι 45%-30%, 50%-35% και 60%-40%.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.52 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.52: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Δ

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	45-30 50-35 60-40
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{ΙΛΥΟΣ}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{ΕΣ.ΑΝΘΡ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η μεταβολή του βαθμού καταστροφής οργανικών στερεών στον αναερόβιο χωνευτή δεν επηρεάζει τις βιολογικές διεργασίες. Στους Πίνακες 4.53 και 4.54 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις εκροής και τα χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών ουσιαστικά δεν έχει καμία επίδραση στα μεγέθη αυτά.

Πίνακας 4.53: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
45-30	0,63	10,42	14,01	45,71	14100,1
50-35	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
60-40	0,63	10,59	13,99	45,67	14190,6

Πίνακας 4.54: Χαρακτηριστικά ιλύος συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	w (m ³ /d)	Su (mg/l)	Su (kg/d)
45-30	1365,9	5314,36	7258,9
50-35	1365,9	5311,87	7255,3
60-40	1365,8	5307,66	7249,3

Εφόσον οι μικροοργανισμοί στη βιολογική βαθμίδα δεν μεταβάλλονται σημαντικά, δεν αναμένονται μεγάλες μεταβολές στην ζήτηση οξυγόνου. Στον Πίνακα 4.55 φαίνονται οι καταναλώσεις οξυγόνου σε κάθε αεριζόμενο διαμέρισμα, καθώς και η συνολική ωριαία κατανάλωση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR. Όπως παρατηρούμε, επιβεβαιώνεται η εκτίμηση ότι η ζήτηση οξυγόνου δεν επηρεάζεται από το ποσοστό καταστροφής οργανικών στερεών κατά την σταθεροποίηση ιλύος.

Πίνακας 4.55: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
45-30	805,08	562,72	268,29	195,57	1831,66
50-35	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
60-40	806,56	564,92	269,22	195,72	1836,43

Όπως είναι λογικό, η μεταβολή των βαθμών καταστροφής οργανικών στερεών θα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων της αφυδάτωσης και, συνεπώς, του συνόλου των στραγγιδίων. Όσο υψηλότερα είναι τα ποσοστά καταστροφής, τόσο θα μειώνονται τα στερεά, ενώ θα παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνιακού αζώτου στη μονάδα της χώνευσης. Στον Πίνακα 4.56 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών, καθώς και τα ποσοστά που κατέχουν τα στραγγίδια στα εισρέοντα λύματα σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 4.56: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)	CODστραγ/ COD2	TNστραγ/ TN2	SNHστραγ/ SNH2	TSSστραγ/ TSS2
45-30	1972,1	1482,3	181,5	5,04%	8,01%	7,52%	7,56%
50-35	1973,0	1458,5	195,7	4,94%	8,41%	8,06%	7,44%
60-40	1974,6	1418,7	213,6	4,77%	8,90%	8,73%	7,25%

Ένα ακόμη μέγεθος που επηρεάζεται σημαντικά από το βαθμό καταστροφής οργανικών είναι η παραγωγή βιοαερίου στη μονάδα χώνευσης. Η παραγωγή βιοαερίου είναι ανάλογη της καταστροφής οργανικών. Επομένως, ενδεχόμενη αύξηση του ποσοστού καταστροφής οργανικών θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου και της διαθέσιμης ενέργειας μέσω της καύσης του. Στον Πίνακα 4.57 παρουσιάζονται η μεταβολή της διαθέσιμης ενέργειας συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών, καθώς και μεγέθη που συνδέονται με τις θερμικές απαιτήσεις του συστήματος.

Πίνακας 4.57: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

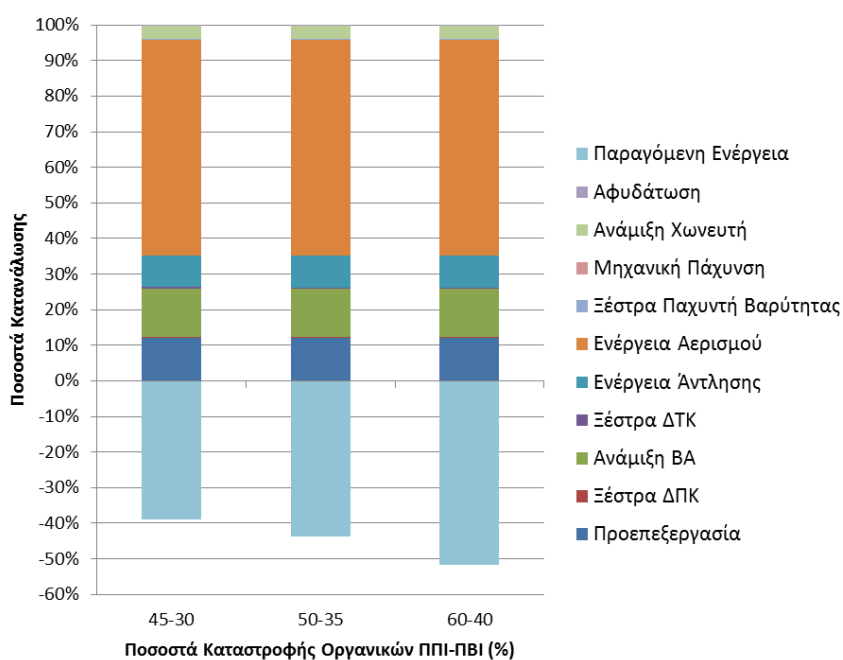
Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	Ενέργεια Βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας
45-30	19,79	9,89	6,32	3,57	1,57
50-35	22,25	11,13	6,32	4,81	1,76
60-40	26,28	13,14	6,31	6,83	2,08

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πόσο σημαντικό είναι το όφελος από την υψηλή απόδοση του χωνευτή. Η διαθέσιμη ενέργεια αυξάνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα να καλύπτονται οι θερμικές απαιτήσεις του χωνευτή και να αυξάνεται η περίσσεια θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση άλλων κτιρίων της εγκατάστασης.

Εκτός από την αύξηση της διαθέσιμης θερμικής ενέργειας, θα έχουμε και αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για υψηλότερα ποσοστά καταστροφής οργανικών στερεών. Επιπλέον, η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα παραμένει σχεδόν σταθερή, αφού η ζήτηση οξυγόνου, που επηρεάζει τη μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας, είδαμε ότι μεταβάλλεται ελάχιστα. Επομένως, το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξάνεται, το οποίο θα επιφέρει μείωση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.58: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δισσ}	kWh/kgN _{απομ}
45-30	8053,81	20669,36	0,39	0,333	0,770	9,587
50-35	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
60-40	10698,53	20698,10	0,52	0,334	0,771	9,647



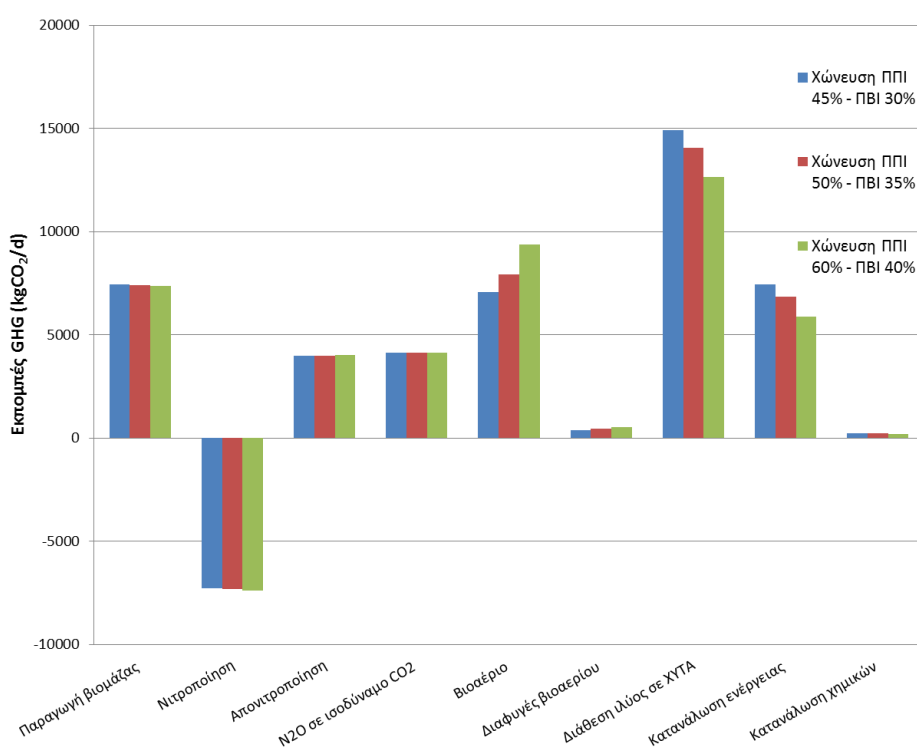
Σχήμα 4.21: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Τέλος, όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, αύξηση της απόδοσης της μονάδας χώνευσης θα έχει ως αποτέλεσμα αύξηση των εκπομπών που σχετίζονται με το βιοαέριο και μείωση των εκπομπών λόγω διάθεσης ιλύος σε ΧΥΤΑ, καθώς έχουν μειωθεί τα οργανικά στερεά, και λόγω κατανάλωσης ενέργειας, καθώς όπως

παρουσιάστηκε προηγουμένως αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 4.59: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Ποσοστά καταστροφής οργανικών ΠΠΙ-ΠΒΙ (%)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
45-30	38361,4	0,619	1,428	17,793
50-35	37807,5	0,610	1,408	17,573
60-40	36851,3	0,594	1,372	17,176



Σχήμα 4.22: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό καταστροφής των οργανικών στερεών κατά την σταθεροποίηση της ιλύος τόσο μειώνεται το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Αυτό οφείλεται στην αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου και στην κάλυψη μεγαλύτερου ποσοστού των απαιτήσεων της εγκατάστασης. Επομένως, είναι επιθυμητό η μονάδα χώνευσης να λειτουργεί με όσο το δυνατόν υψηλότερο βαθμό απόδοσης.

4.3.2.5 Σενάριο 2.Ε: Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει η μεταβολή της θερμοκρασίας των λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 15°C ως 28°C, ώστε να μελετηθεί το σύστημα για όλες τις εποχές του χρόνου.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.60 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.60: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Ε

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	(15-28)	$r_{\text{Ιλυσος}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,65	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,55	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Στον Πίνακα 4.61 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών και των ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 4.61: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της θερμοκρασίας

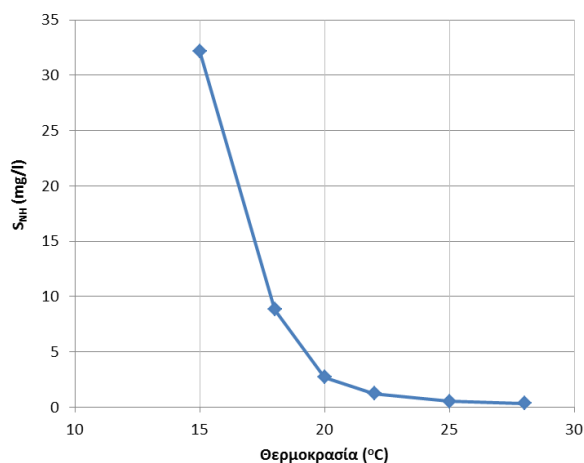
Θερμοκρασία (°C)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
15	2134,34	3030,77	2868,27	4707,75	6685,00	6327,99
18	1980,00	2811,59	2710,11	4367,14	6201,34	5978,80
20	1870,36	2655,91	2599,35	4125,31	5857,93	5734,45
22	1757,12	2495,11	2485,70	3875,08	5502,62	5483,35
25	1592,23	2260,97	2319,93	3509,88	4984,03	5116,23
28	1446,75	2054,38	2173,54	3187,75	4526,61	4792,12

Παρατηρούμε ότι καθώς η θερμοκρασία των λυμάτων αυξάνεται, οι συγκεντρώσεις των στερεών στο σύστημα μειώνονται. Η μείωση αυτή θα εμφανιστεί και στα ολικά στερεά και στο COD της εκροής. Στον Πίνακα 4.62 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εκροής συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 4.62: Ποιότητα εκροής συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	S _{NH,e} (mg/l)	N _{tot,e} (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
15	32,19	34,60	17,66	50,80	69522,4
18	8,84	16,44	16,35	48,84	28791,5
20	2,70	12,11	15,47	47,67	18177,5
22	1,21	11,16	14,59	46,62	15451,6
25	0,54	10,77	13,35	45,23	14032,5
28	0,33	10,70	12,30	44,14	13488,0

Παρατηρούμε ότι μέχρι τους 18°C η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι από μηδενική ως πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται τα όρια εκροής ολικού αζώτου. Επομένως, η εγκατάσταση δεν μπορεί να λειτουργήσει σε αυτές τις θερμοκρασίες.



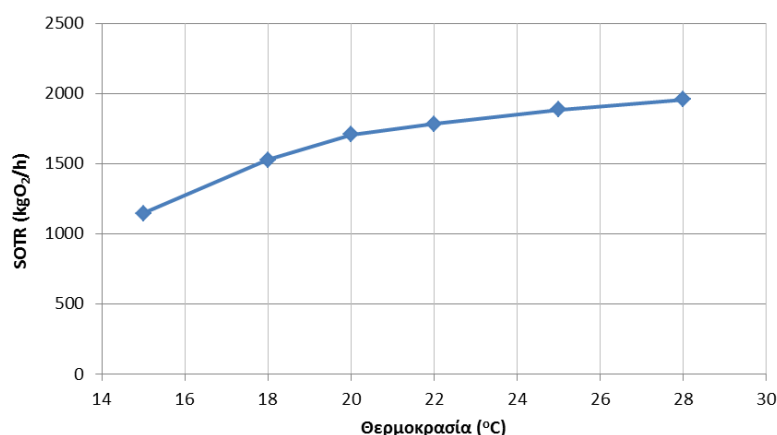
Σχήμα 4.23: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου συναρτήσει της θερμοκρασίας

Όπως είδαμε από τον Πίνακα 4.61 η συγκέντρωση των στερεών στην περίσσεια ιλύος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επειδή η παροχή της περίσσειας ιλύος παραμένει σχεδόν σταθερή, θα εμφανίζεται μείωση της μάζας των στερεών που συνεχίζει στις μονάδες επεξεργασίας ιλύος. Το ίδιο θα ισχύει και για τα στραγγίδια της εγκατάστασης. Η παροχή τους θα παραμένει σχεδόν σταθερή, τα στερεά τους θα μειώνονται, όπως μειώνονται σε όλο το σύστημα, ενώ αυξανόμενης της θερμοκρασίας θα μειώνεται το φορτίο αμμωνιακού αζώτου, καθώς θα επιτυγχάνεται υψηλότερος βαθμός νιτροποίησης.

Πίνακας 4.63: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		Στραγγίδια- Θέση 33		
	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
15	1352,4	8557,9	1960,1	1565,1	277,1
18	1357,9	8118,4	1965,3	1531,4	229,3
20	1360,7	7802,6	1967,9	1507,1	209,5
22	1363,8	7478,0	1970,8	1481,9	195,9
25	1368,7	7002,5	1975,4	1444,5	178,9
28	1373,2	6580,5	1979,7	1411,0	164,7

Όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.4.5 οι μέγιστοι ειδικοί ρυθμοί των διεργασιών εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, και πιο συγκεκριμένα αυξάνονται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Συνεπώς, αυξανόμενης της θερμοκρασίας θα αυξάνεται και ο ρυθμός αερόβιας ανάπτυξης της βιομάζας και θα καταναλώνεται περισσότερο οξυγόνο στα αεριζόμενα διαμερίσματα. Στο Σχήμα 4.24 παρουσιάζεται η μεταβολή της ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.24: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της θερμοκρασίας

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.63, αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των στερεών που περιέχονται στην περίσσεια ιλύος και συνεχίζουν για περαιτέρω επεξεργασία ιλύος. Επομένως, η παραγωγή βιοαερίου θα μειώνεται, καθώς θα καταστρέφονται λιγότερα οργανικά στερεά κατά τη χώνευση ιλύος. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα για την κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων, διότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία των λυμάτων τόσο λιγότερη θερμική ενέργεια χρειάζεται να καταναλωθεί, ώστε να φθάσει τους 35°C της μεσοφιλικής χώνευσης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.64 παρά τη μείωση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας, η περίσσεια θερμικής υπερδιπλασιάζεται για αύξηση της θερμοκρασίας από 15°C σε 28°C.

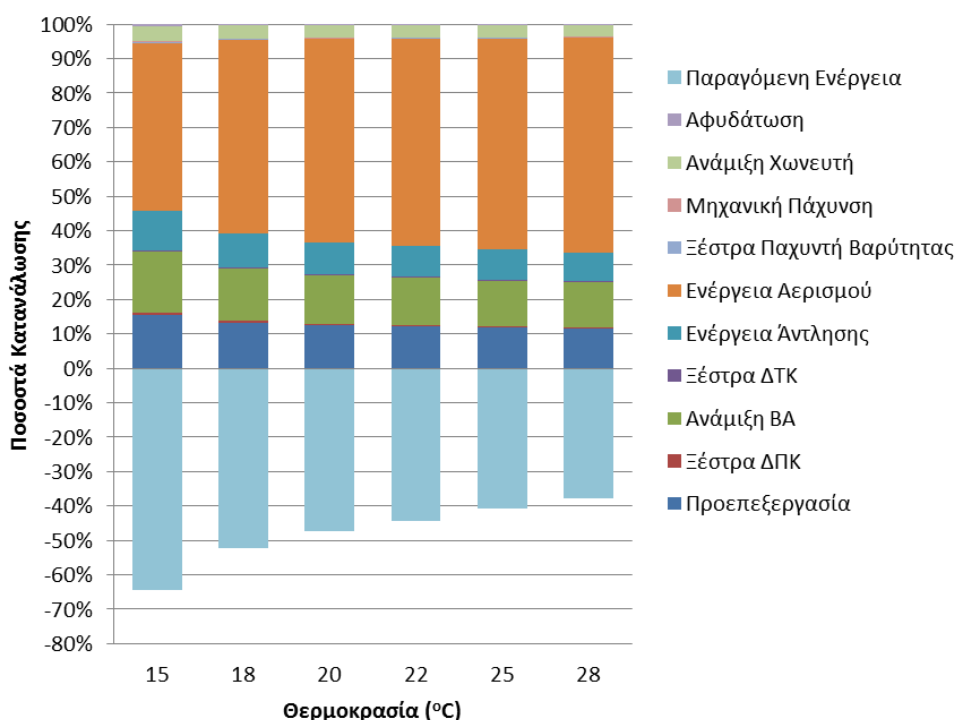
Πίνακας 4.64: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	Ενέργεια Βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας
15	25,03	12,52	9,10	3,42	1,38
18	23,86	11,93	7,53	4,40	1,58
20	22,99	11,50	6,53	4,97	1,76
22	22,17	11,08	5,55	5,54	2,00
25	21,02	10,51	4,15	6,36	2,53
28	19,99	9,99	2,83	7,16	3,53

Από την άλλη, οι συνθήκες δεν είναι τόσο ευμενείς για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός το ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας, η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται, καθώς αυξάνεται σημαντικά η ενέργεια αερισμού εξαιτίας της μεγάλης αύξησης στην κατανάλωση οξυγόνου. Στον Πίνακα 4.65 παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του συστήματος, όπου γίνεται εύκολα αντιληπτή η σημαντική αύξηση του λειτουργικού κόστους για υψηλές θερμοκρασίες, ενώ στο Σχήμα 4.25 παρουσιάζονται τα ποσοστά της καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνονται σε κάθε μονάδα της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.65: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{διασ}	kWh/kgN _{απομ}
15	10190,25	15845,86	0,64	0,256	0,597	24,090
18	9714,08	18602,47	0,52	0,300	0,698	10,432
20	9359,53	19829,55	0,47	0,320	0,742	9,668
22	9023,25	20356,94	0,44	0,328	0,759	9,646
25	8554,78	21031,00	0,41	0,339	0,782	9,855
28	8134,94	21532,92	0,38	0,347	0,799	10,069

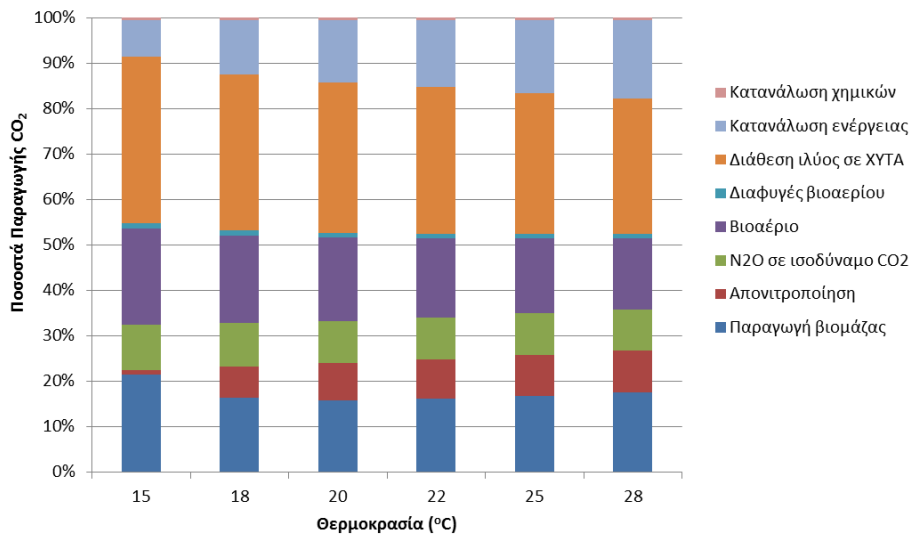


Σχήμα 4.25: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει της θερμοκρασίας

Τέλος, στον Πίνακα 4.66 παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι δείκτες των εκπομπών συναρτήσει της θερμοκρασίας. Παρατηρούμε ότι για τις θερμοκρασίες που η εγκατάσταση λειτουργεί αποδοτικά, οι μεταβολές στις εκπομπές είναι πολύ μικρές. Αντίθετα, για μικρές θερμοκρασίες, όπου η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι μικρή, οι εκπομπές αερίων είναι αυξημένες, καθώς δεν έχουμε κατανάλωση CO₂ λόγω νιτροποίησης. Επιπλέον, στο Σχήμα 4.26 παρουσιάζεται η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε συνιστώσας παραγωγής CO₂ στην συνολική παραγωγή αερίων. Από το σχήμα αυτό συμπεραίνουμε την επίδραση που έχει η μεταβολή της θερμοκρασίας σε κάθε αιτία παραγωγής.

Πίνακας 4.66: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{οισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
15	41483,7	0,669	1,563	63,067
18	38551,2	0,622	1,446	21,618
20	37998,7	0,613	1,421	18,527
22	37907,0	0,611	1,414	17,963
25	37889,4	0,611	1,409	17,755
28	37941,1	0,612	1,407	17,741



Σχήμα 4.26: Μεταβολή ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε συνιστώσας παραγωγής αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της θερμοκρασίας

Συγκεντρωτικά, από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για χαμηλές θερμοκρασίες, μέχρι και 18°C, η εγκατάσταση δεν μπορεί να ικανοποιήσει το όριο εκροής ολικού αζώτου που έχουν θεσπιστεί από τη νομοθεσία. Συνεπώς, δεν μπορεί να λειτουργήσει σε τέτοιες θερμοκρασίες, παρά τις χαμηλές καταναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας.
- Για υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 25°C, ναι μεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή ποιότητα εκροής, αλλά αυξάνεται σημαντικά το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.

4.3.2.6 Σενάριο 2.ΣΤ: Επίδραση των ρυθμιζόμενων επιπέδων οξυγόνου (oxygen set points) στον αερόβιο βιοαντιδραστήρα στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση στην απόδοση της εγκατάστασης εξαιτίας της μεταβολής των ρυθμιζόμενων επιπέδων οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.67 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.67: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.ΣΤ

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Εξεταζόμενα επίπεδα οξυγόνου
Λειτουργικές παράμετροι				
Θ_c	7	% ΧΙ (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35	2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{Ιλυσος}}$	0,8	2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5	2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5
CR (%)	95			2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0
Στοιχειομετρικές παράμετροι				
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086	2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01	3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5
f_p	0,08			3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0
Κινητικές παράμετροι				
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0	
μ_A	0,68	K_S	20,0	
b_H	0,62	K_h	3,0	
b_A	0,12	K_X	0,03	
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08	
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8	
K_{NO}	0,5	n_h	0,4	

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η μεταβολή των ρυθμιζόμενων επιπέδων οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα δεν επηρεάζει την συγκέντρωση των στερεών του συστήματος. Στους Πίνακες 4.68, 4.69 και 4.70 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις στερεών στον αερόβιο αντιδραστήρα

και στην περίσσεια ιλύος, οι συγκεντρώσεις εκροής και τα χαρακτηριστικά της περίσσειας και των στραγγιδίων αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των στερεών και του COD είναι μηδαμινές.

Πίνακας 4.68: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	1680,57	2386,40	2408,98	3706,65	5263,45	5314,59
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	1680,65	2386,53	2409,08	3706,89	5263,78	5314,85
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	1680,39	2386,15	2408,79	3705,84	5262,29	5313,75
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	1680,06	2385,68	2408,44	3704,78	5260,79	5312,65
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	1680,80	2386,73	2409,25	3707,35	5264,44	5315,36
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	1680,39	2386,15	2408,81	3705,87	5262,33	5313,81
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	1680,07	2385,69	2408,46	3704,82	5260,85	5312,71

Πίνακας 4.69: Ποιότητα εκροής συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	S _{NH,e} (mg/l)	N _{tot,e} (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	1,31	10,27	14,01	45,54	14757,0
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	1,23	10,29	14,01	45,53	14663,1
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	0,81	10,42	14,01	45,59	14269,1
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	0,68	10,51	14,01	45,65	14183,3
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	1,06	10,34	14,01	45,50	14480,4
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	0,78	10,46	14,01	45,58	14251,4
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	0,65	10,55	14,01	45,64	14176,1

Πίνακας 4.70: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		Στραγγίδια - Θέση 33		
	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	1365,9	7255,3	1973,0	1458,5	195,7
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	1365,7	7258,1	1972,8	1458,7	197,1
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	1365,7	7258,3	1972,8	1458,8	197,0
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	1365,7	7257,1	1972,9	1458,7	196,2
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	1365,8	7255,9	1972,9	1458,6	195,9
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	1365,6	7258,8	1972,8	1458,8	196,7
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	1365,7	7257,1	1972,8	1458,7	196,1
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	1365,8	7255,9	1972,9	1458,6	195,8

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.69, για συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου 0,5 mg/l στο τελευταίο αεριζόμενο διαμέρισμα μειώνεται η νιτροποιητική ικανότητα και η

συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στην εκροή είναι αυξημένη. Ωστόσο, οι μεταβολές είναι μικρές και το όριο ολικού αζώτου στην εκροή δεν υπερβαίνεται. Επίσης, αύξηση του αμμωνιακού αζώτου συνοδεύεται από μείωση του ολικού αζώτου, καθώς είναι μειωμένη η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου λόγω του μικρότερου βαθμού νιτροποίησης.

Στον Πίνακα 4.71 παρουσιάζονται οι ωριαίες καταναλώσεις οξυγόνου σε κάθε αεριζόμενο διαμέρισμα, καθώς και η συνολική ωριαία ζήτηση οξυγόνου. Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση οξυγόνου σε κάθε διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα εξαρτάται από την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα επόμενα διαμερίσματα. Για παράδειγμα, στις τρεις τελευταίες περιπτώσεις που έχουμε αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου μόνο στο τελευταίο διαμέρισμα, στα προηγούμενα τρία διαμερίσματα η ωριαία κατανάλωση μειώνεται, ενώ στο τελευταίο αυξάνεται σημαντικά. Βέβαια η συνολική κατανάλωση αυξάνεται, αφού μεταφέρεται περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο στο σύστημα.

Πίνακας 4.71: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	930,82	569,74	199,62	125,11	1825,29
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	928,74	643,35	186,44	122,77	1881,31
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	914,94	628,07	218,56	146,74	1908,31
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	909,68	622,46	215,33	174,85	1922,33
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	1039,31	621,39	222,60	108,30	1991,59
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	1028,10	610,19	216,06	144,72	1999,07
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	1022,39	604,61	212,90	172,61	2012,51

Ο τρόπος που μεταβάλλεται η ζήτηση οξυγόνου στο σύστημα θα έχει την ίδια επίδραση στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος, καθώς όπως έχει δείχθει και σε άλλες εφαρμογές η ενέργεια αερισμού είναι αυτή που καθορίζει τη μεταβολή στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.70, το φορτίο στερεών της περίσσειας ιλύος διαφοροποιείται ελάχιστα, επομένως και το παραγόμενο βιοαέριο θα παραμένει σχεδόν σταθερό. Συνεπώς, για αυξημένες καταναλώσεις ενέργειας, το ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας θα μειώνεται.

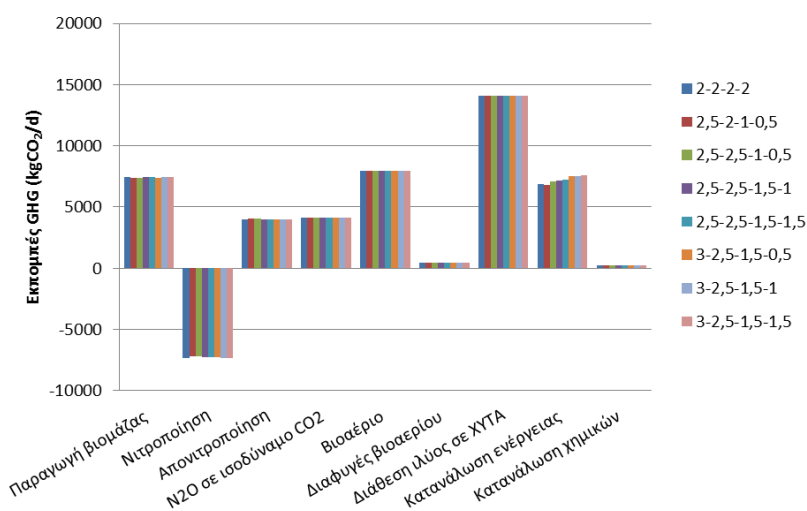
Πίνακας 4.72: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δισσ}	kWh/kgN _{απομ}
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	9060,30	20637,71	0,44	0,333	0,768	9,532
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	9060,31	21018,78	0,43	0,339	0,782	9,712
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	9058,79	21209,27	0,43	0,342	0,789	9,838
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	9058,69	21295,84	0,43	0,343	0,793	9,902
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	9060,31	21789,27	0,42	0,351	0,811	10,084
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	9058,79	21804,44	0,42	0,352	0,812	10,126
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	9058,68	21918,36	0,41	0,354	0,816	10,205

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, η μεταβολή τους θα οφείλεται στις εκπομπές λόγω κατανάλωσης ενέργειας, καθώς οι υπόλοιπες διεργασίες του συστήματος δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου.

Πίνακας 4.73: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Set Points	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
2,0 - 2,0 - 2,0 - 2,0	37807,457	0,610	1,408	17,573
2,5 - 2,0 - 1,0 - 0,5	37877,391	0,611	1,410	17,494
2,5 - 2,5 - 1,0 - 0,5	38119,617	0,615	1,419	17,614
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,0	38147,266	0,615	1,420	17,695
2,5 - 2,5 - 1,5 - 1,5	38184,645	0,616	1,421	17,756
3,0 - 2,5 - 1,5 - 0,5	38508,441	0,621	1,433	17,821
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,0	38489,336	0,621	1,433	17,874
3,0 - 2,5 - 1,5 - 1,5	38508,285	0,621	1,433	17,929



Σχήμα 4.27: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει των επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Συμπερασματικά, συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου μεγαλύτερες από αυτές για τις οποίες επιτυγχάνονται οι στόχοι της εγκατάστασης δεν έχουν κάποιο όφελος στη λειτουργία της. Αντίθετα, αυξάνουν το λειτουργικό κόστος, καθώς αυξάνονται οι καναλώσεις οξυγόνου και ενέργειας.

4.3.2.7 Σενάριο 2.Z: Επίδραση της ποιότητας λυμάτων στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει στην απόδοση της εγκατάστασης η ποιότητα των λυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης για διαφορετική κλασματοποίηση της εισερχόμενης βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης. Θεωρείται μια μείωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης υπέρ της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης και μια αύξηση της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης εις βάρος της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.74 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.74: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Z

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΓΠΠ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	20	$\Gamma_{\text{λυος}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,65	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,55	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Κλασματοποίηση βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης
$S_{S,in} - X_{S,in}$
70 - 320
140 - 250
210 - 180

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη S_s προσλαμβάνεται άμεσα από τους μικροοργανισμούς και αναπτύσσεται νέα βιομάζα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της, τόσο ευκολότερη θα γίνεται η ανάπτυξη των στερεών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.75.

Πίνακας 4.75: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
70-320	1774,14	2519,28	2502,92	3913,09	5556,58	5521,76
140-250	1870,36	2655,91	2599,35	4125,31	5857,93	5734,45
210-180	1958,49	2781,06	2687,86	4319,49	6133,68	5929,50

Εφόσον η συγκέντρωση των στερεών αυξάνεται εντός του βιοαντιδραστήρα, θα παρατηρείται αύξηση των στερεών και του COD στην εκροή της εγκατάστασης. Στον Πίνακα 4.76 παρατίθενται οι συγκεντρώσεις εκροής της εγκατάστασης, όπου παρατηρείται ότι για χαμηλές συγκεντρώσεις των S_s είναι αυξημένη η συγκέντρωση του ολικού αζώτου. Η αιτία της συμπεριφοράς αυτής είναι η μείωση του ρυθμού της ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας και, συνεπώς, η μειωμένη κατανάλωση νιτρικού αζώτου.

Πίνακας 4.76: Ποιότητα εκροής συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	$S_{NH,e}$ (mg/l)	$N_{tot,e}$ (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
70-320	2,59	14,67	14,72	46,78	19375,0
140-250	2,70	12,11	15,47	47,67	18177,5
210-180	2,82	11,70	16,18	48,51	18309,9

Όπως αναφέρθηκε, η ύπαρξη μεγαλύτερης ποσότητας εύκολα βιοδιασπάσιμης ύλης έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ανάπτυξη βιομάζας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερου οξυγόνου, καθώς θα αυξάνεται ο ρυθμός των διεργασιών ανάπτυξης, οι οποίες εξαρτώνται από την συγκέντρωση της βιομάζας. Στον Πίνακα 4.77 παρουσιάζονται οι μεταβολές στις ωριαίες καταναλώσεις οξυγόνου σε κάθε αεριζόμενο διαμέρισμα συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.

Πίνακας 4.77: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
70-320	680,05	510,45	266,36	222,47	1679,34
140-250	704,30	512,05	266,59	224,00	1706,93
210-180	754,26	513,94	266,27	225,11	1759,58

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.75 αύξηση των S_S εις βάρος των X_S οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών. Επίσης, επειδή η παροχή της περίσσειας θα παραμένει σχεδόν σταθερή, θα έχουμε αύξηση της μάζας των στερεών που φεύγουν από το σύστημα με την περίσσεια. Ωστόσο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.78, η μεταβολή της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης έχει μεγαλύτερη επίδραση στα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας ιλύος. Επομένως, όσο αυξάνεται το διαλυτό κομμάτι της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης, η ποσότητα ιλύος θα μειώνεται, το οποίο θα έχει επίδραση στα στραγγιδία της εγκατάστασης και στο παραγόμενο βιοαέριο.

Πίνακας 4.78: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και περίσσειας ιλύος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	Πρωτοβάθμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος	
	$Q_{\text{πρωτ.ιλύος}}$ (m ³ /d)	TSS (kg/d)	w (m ³ /d)	Su (kg/d)
70-320	759,8	11396,6	1363,2	7527,1
140-250	654,8	9822,1	1360,7	7802,6
210-180	549,8	8246,3	1357,9	8051,7

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω πίνακα, συμπεραίνουμε ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης έναντι της αργά βιοδιασπάσιμης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής και της μάζας στερεών των στραγγιδίων. Στον Πίνακα 4.79 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων και τα ποσοστά συμμετοχής των στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης.

Πίνακας 4.79: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων και συμμετοχή στραγγιδίων στα εισρέοντα λύματα συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S_{NH} (kg/d)	CODστραγ/ COD2	TNστραγ/ TN2	SNHστραγ/ SNH2	TSSστραγ/ TSS2
70-320	2073,3	1599,7	208,5	5,47%	8,95%	8,54%	7,02%
140-250	1967,9	1507,1	209,5	5,15%	8,92%	8,58%	7,67%
210-180	1862,3	1411,8	210,4	4,79%	8,98%	8,61%	8,56%

Παρόλο που η μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών των στραγγιδίων μειώνεται με αύξηση των S_s στην είσοδο, το ποσοστό συμμετοχής των στερεών των στραγγιδίων στα ολικά στερεά εισόδου αυξάνεται. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη μείωση της συγκέντρωσης της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης στην είσοδο, τα οποία αποτελούν την κύρια συνιστώσα ολικών αιωρούμενων στερεών στην είσοδο της εγκατάστασης.

Κύρια συνέπεια της μείωσης της μάζας των ολικών αιωρούμενων στερεών, και κατά συνέπεια των οργανικών στερεών, της ιλύος είναι η μείωση του παραγόμενου βιοαερίου. Επομένως, μειώνεται η διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.80: Παραγόμενη ενέργεια και θερμικές απαιτήσεις συστήματος συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{s,in} - X_{s,in}$ (mg/l)	Ενέργεια Βιοαερίου (10^6 kcal/d)	Θερμική ενέργεια (10^6 kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χημικότητας (10^6 kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10^6 kcal/d)	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας
70-320	26,72	13,36	7,01	6,35	1,91
140-250	22,99	11,50	6,53	4,97	1,76
210-180	19,30	9,65	6,04	3,60	1,60

Εκτός από τη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, θα εμφανίζεται και αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, καθώς αυξάνεται η εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη, εξαιτίας της κατανάλωσης περισσότερου οξυγόνου. Συνεπώς, το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα μειώνεται και θα αυξάνεται το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.81: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

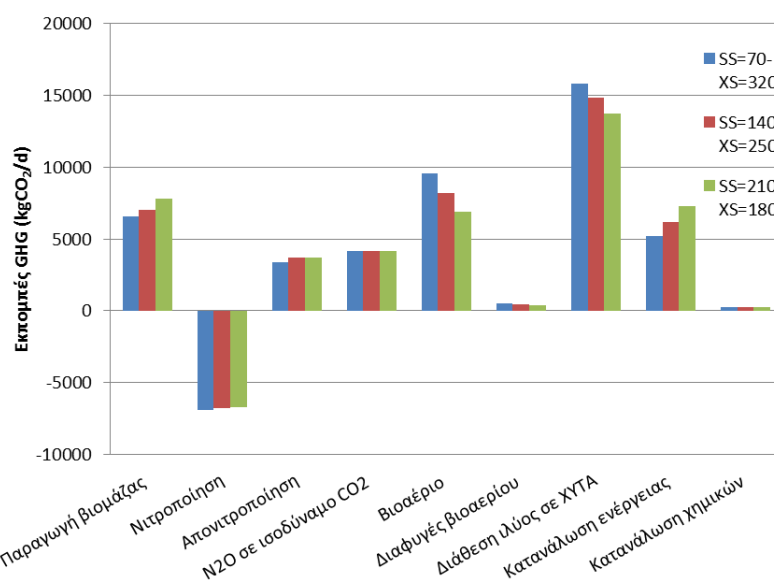
$S_{s,in} - X_{s,in}$ (mg/l)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{διασ}	kWh/kgN _{απομ}
70-320	10877,57	19657,54	0,55	0,317	0,734	10,387
140-250	9359,53	19829,55	0,47	0,320	0,742	9,668
210-180	7854,95	20202,29	0,39	0,326	0,757	9,727

Τέλος, η μεταβολή στην κλασματοποίηση της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης έχει επίδραση και στην παραγωγή αερίων θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές που σχετίζονται με την επεξεργασία και διάθεση ιλύος θα μειώνονται με αύξηση των S_s , λόγω της μείωσης της μάζας των ολικών στερεών. Αντίθετα, οι εκπομπές που

οφείλονται στις διεργασίες του βιοαντιδραστήρα αυξάνονται λόγω αύξησης των μικροοργανισμών, όπως και οι εκπομπές λόγω κατανάλωσης ενέργειας.

Πίνακας 4.82: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

$S_{S,in} - X_{S,in}$ (mg/l)	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{διασ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
70-320	38573,7	0,622	1,440	20,383
140-250	37998,7	0,613	1,421	18,527
210-180	37467,9	0,604	1,404	18,041



Σχήμα 4.28: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της κλασματοποίησης της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

- 1) Μείωση 50% της εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης προς όφελος της αργά βιοδιασπάσιμης έχει τα εξής αποτελέσματα:
 - Αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην εκροή κατά σχεδόν 20%. Ο ρυθμός της ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας ελαττώνεται, το οποίο επιφέρει μικρότερο βαθμό απονιτροποίησης και αύξηση της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου.
 - Αύξηση παραγόμενου βιοαερίου κατά 15%. Συνεπώς, υπάρχει περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών απαιτήσεων.
 - Μείωση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης, καθώς αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 8%.

- 2) Αύξηση 50% της εύκολα βιοδιασπάσιμης εις βάρος της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης έχει αποτελέσματα προς την αντίθετη κατεύθυνση, με κυριότερα τη μείωση του παραγόμενου βιοαερίου κατα 15% και την αύξηση των καταναλώσεων οξυγόνου και ενέργειας. Συνεπώς, αύξηση του διαλυτού μέρους της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης θα οδηγήσει σε αύξηση του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης.

4.3.2.8 Σενάριο 2.H: Επίδραση του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος r στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει στην απόδοση της εγκατάστασης ο συντελεστής ανακυκλοφορίας ιλύος r . Για το λόγο αυτό, διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης όταν ο συντελεστής ανακυκλοφορίας κυμαίνεται από 0,70 έως 1,20.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.83 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.83: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.H

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% ΧΙ (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{ιλύος}}$	(0,70-1,20)
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας ιλύος r καθορίζει την παροχή ιλύος που επανέρχεται από τη δεξαμενή καθίζησης στο βιοαντιδραστήρα της εγκατάστασης. Επομένως, υψηλότερη τιμή του συντελεστή θα οδηγεί σε αραίωση των ολικών στερεών, καθώς η παροχή αυξάνεται. Επειδή επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης, η συγκέντρωση στερεών της ανακυκλοφορίας θα ισούται με την συγκέντρωση στερεών της περίσσειας ιλύος. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.84, η συγκέντρωση στερεών περίσσειας μειώνεται με την αύξηση του συντελεστή ανακυκλοφορίας, ενώ οι συγκεντρώσεις στερεών στο βιοαντιδραστήρα δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή του συντελεστή r . Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι ο συντελεστής r επηρεάζει σημαντικά το βαθμό συμπύκνωσης που λαμβάνει χώρα στη δεξαμενή τελικής καθίζησης.

Πίνακας 4.84: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
0,70	1680,58	2386,43	2409,06	3991,94	5668,56	5724,17
0,80	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
0,90	1679,18	2384,43	2407,39	3479,87	4941,42	4990,68
1,00	1681,73	2388,06	2409,78	3306,59	4695,36	4739,61
1,10	1679,01	2384,20	2406,89	3154,91	4479,98	4524,14
1,20	1678,27	2383,15	2406,00	3031,57	4304,82	4347,60

Εκτός από το βαθμό συμπύκνωσης, ο συντελεστής ανακυκλοφορίας θα επηρεάζει και την εκροή της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Η παροχή φόρτισης της δεξαμενής ισούται με $(1+r)Q$. Επομένως, αυξανόμενου του συντελεστή r θα έχουμε αύξηση της φόρτισης της δεξαμενής, με αποτέλεσμα την εκροή περισσότερων στερεών με την υπερχειλίση. Όπως παρατηρείται και από τον Πίνακα 4.85, για υψηλότερες τιμές του r , εμφανίζεται αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών και του COD στην εκροή της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.85: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	$S_{\text{NH}_4\text{e}}$ (mg/l)	$N_{\text{tot,e}}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
0,70	0,62	10,59	13,18	44,87	13961,6
0,80	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
0,90	0,64	10,41	14,83	46,52	14325,7
1,00	0,65	10,33	15,69	47,39	14523,9
1,10	0,66	10,26	16,50	48,20	14716,4
1,20	0,67	10,20	17,34	49,04	14918,9

Από τους Πίνακες 4.84 και 4.85, για αύξηση του συντελεστή ανακυκλοφορίας, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση στερεών στο βιοαντιδραστήρα παραμένει σταθερή, η συγκέντρωση στερεών στην περίσσεια μειώνεται, ενώ η συγκέντρωση στερεών στην εκροή αυξάνεται. Επομένως, για να διατηρείται σταθερός ο χρόνος παραμονής στερεών στην εγκατάσταση αναμένεται αύξηση στην παροχή περίσσειας ιλύος. Η αύξηση αυτή θα εμφανίζεται και στην παροχή των στραγγιδίων της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.86: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	Περίσσεια ιλύος		Στραγγίδια		
	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
0,70	1276,7	7307,9	1883,8	1463,5	196,3
0,80	1365,9	7255,3	1973,0	1458,5	195,7
0,90	1443,2	7202,8	2050,4	1453,5	195,2
1,00	1510,4	7158,9	2117,6	1449,5	194,6
1,10	1569,4	7100,1	2176,5	1443,8	194,1
1,20	1620,8	7046,7	2228,0	1438,8	193,5

Η μεταβολή του συντελεστή r δεν έχει επίδραση στις διεργασίες του βιοαντιδραστήρα, άρα δεν θα επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση οξυγόνου.

Πίνακας 4.87: Ζητήσεις οξυγόνου κάθε αεριζόμενου διαμερίσματος σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR (kgO ₂ /h)
0,70	807,95	565,06	268,45	194,50	1835,95
0,80	805,79	563,79	268,74	195,68	1834,00
0,90	803,76	562,52	269,05	196,86	1832,20
1,00	801,80	561,38	269,33	197,97	1830,48
1,10	800,02	560,18	269,61	199,08	1828,89
1,20	798,28	559,10	269,89	200,17	1827,45

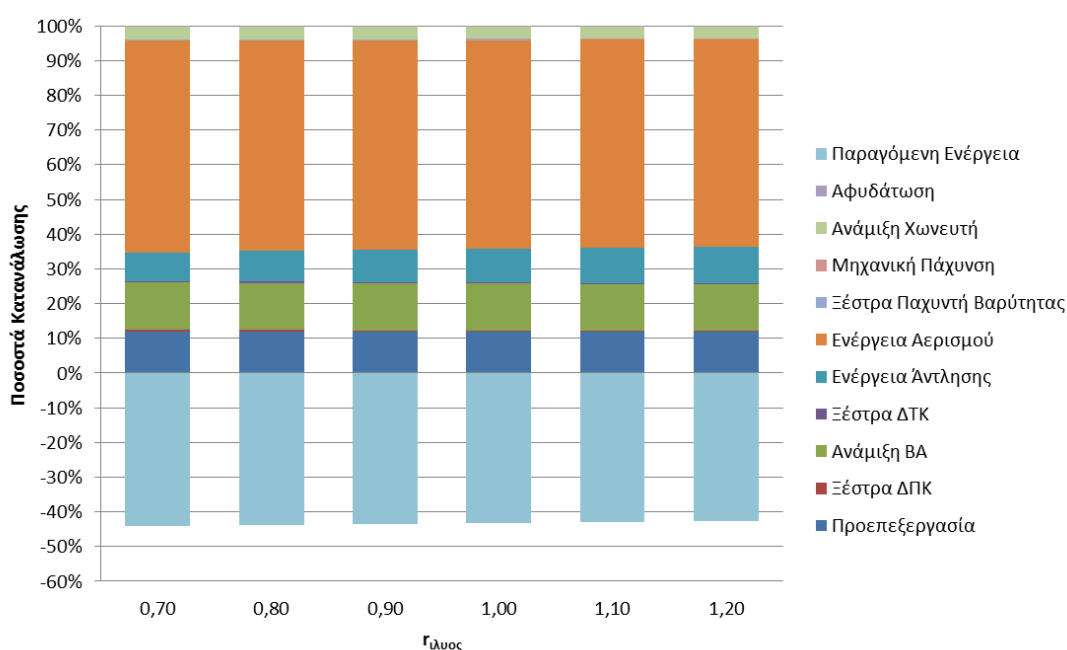
Όπως παρουσιάστηκε στον Πίνακα 4.86 υψηλότερες τιμές του συντελεστή ανακυκλοφορίας έχουν ως αποτέλεσμα μια μικρή μείωση της μάζας των ολικών, και κατά συνέπεια και των οργανικών, στερεών που απομακρύνονται από τη βιολογική βαθμίδα μέσω της περίσσειας. Αυτό θα επιφέρει μικρή μείωση στο παραγόμενο βιοαέριο, άρα και στη διαθέσιμη ενέργεια για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης.

Όσον αφορά την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερη ανακυκλοφορία ιλύος θα εμφανίζεται αύξησή της, η οποία θα οφείλεται σε αύξηση

της ενέργειας άντλησης. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.88, η επίδραση του συντελεστή ανακυκλοφορίας στην καταναλισκόμενη ενέργεια είναι μικρή.

Πίνακας 4.88: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δισσ}	kWh/kgN _{απομ}
0,70	9069,64	20589,97	0,44	0,332	0,765	9,596
0,80	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
0,90	9025,87	20778,60	0,43	0,335	0,775	9,634
1,00	9020,72	20877,71	0,43	0,337	0,780	9,659
1,10	8988,06	20981,17	0,43	0,338	0,786	9,688
1,20	8977,01	21080,85	0,43	0,340	0,791	9,717

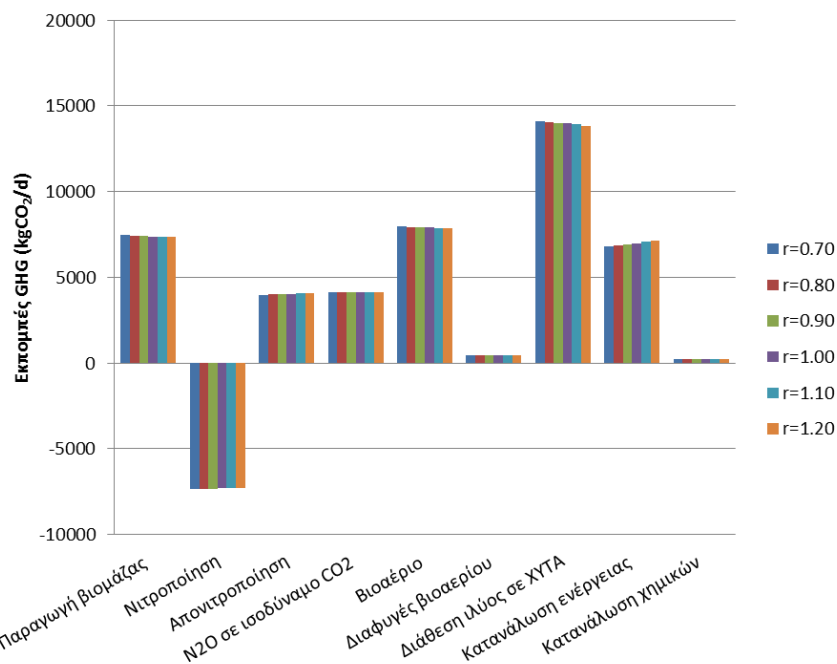


Σχήμα 4.29: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

Τέλος, ούτε οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή του συντελεστή r . Οι εκπομπές που σχετίζονται με την επεξεργασία ιλύος μειώνονται για αυξανόμενο συντελεστή ανακυκλοφορίας, καθώς μειώνεται η μάζα των στερεών ιλύος. Αντίθετα, οι εκπομπές λόγω κατανάλωσης ενέργειας μεταβάλλονται σύμφωνα με τη μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.88.

Πίνακας 4.89: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

$r_{\text{ιλύος}}$	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{δισσ}	kgCO ₂ /kgN _{σπομ}
0,70	37774,6	0,609	1,404	17,606
0,80	37807,5	0,610	1,408	17,573
0,90	37798,5	0,610	1,410	17,526
1,00	37804,2	0,610	1,413	17,490
1,10	37788,7	0,609	1,415	17,448
1,20	37780,6	0,609	1,417	17,414



Σχήμα 4.30: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του συντελεστή ανακυκλοφορίας ιλύος

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η μεταβολή του συντελεστή ανακυκλοφορίας επιδρά σημαντικά μόνο στη λειτουργία της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Πιο συγκεκριμένα, όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής ανακυκλοφορίας παρατηρούνται:

- Αύξηση των στερεών στην εκροή της εγκατάστασης.
- Μικρότερος βαθμός συμπίκνωσης της ιλύος.
- Μεγαλύτερη παροχή περίσσειας.

Είναι επιθυμητό η εγκατάσταση να μην λειτουργεί με πολύ υψηλό συντελεστή ανακυκλοφορίας, ώστε να μην μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωση S_u της ιλύος, το οποίο καθιστά δύσκολη την ανακυκλοφορία της.

4.3.2.9 Σενάριο 2.Θ: Επίδραση του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας R στην απόδοση της εγκατάστασης

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει στην απόδοση της εγκατάστασης ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας R. Για το λόγο αυτό, διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης όταν ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας κυμαίνεται από 1,00 έως 3,50.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.90 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.90: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 2.Θ

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΓΠΠ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	20	$\Gamma_{\text{ΙΛΥΟΣ}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{ΕΣ.ΑΝΑΚ.}}$	(1,0-3,5)
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,68	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Στον Πίνακα 4.91 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της μεταβολής του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας. Παρατηρούμε ότι η επίδραση της μεταβολής αυτής είναι ασήμαντη, καθώς οι διαφορές είναι πολύ μικρές.

Πίνακας 4.91: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

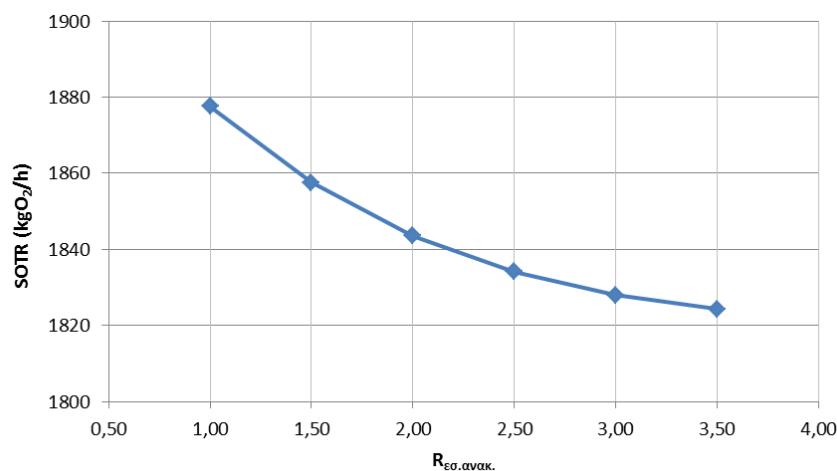
$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια Ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
1,00	1678,33	2383,23	2404,07	3697,05	5249,81	5298,94
1,50	1678,94	2384,10	2405,82	3699,97	5253,96	5304,43
2,00	1679,40	2384,75	2407,12	3702,19	5257,10	5308,53
2,50	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
3,00	1680,14	2385,80	2408,99	3705,51	5261,83	5314,43
3,50	1680,35	2386,10	2409,60	3706,62	5263,40	5316,44

Η βασική επίδραση της μεταβολής του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας R είναι στη διεργασία της απονιτροποίησης. Από τον Πίνακα 4.92 παρατηρούμε ότι για αύξηση του συντελεστή από 1,00 σε 3,50 η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή μειώνεται κατά 30% περίπου. Η μείωση αυτή οφείλεται στην κατανάλωση του νιτρικού αζώτου, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο άζωτο. Η σημαντική μείωση του αζώτου αντικατοπτρίζεται και στο δείκτη ποιότητας εξόδου.

Πίνακας 4.92: Ποιότητα εκροής συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	$S_{\text{NH,e}}$ (mg/l)	$N_{\text{tot,e}}$ (mg/l)	TSS_e (mgSS/l)	COD_e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
1,00	0,52	13,86	13,97	45,46	16011,1
1,50	0,55	12,34	13,98	45,55	15147,0
2,00	0,59	11,27	13,99	45,63	14553,8
2,50	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
3,00	0,67	9,93	14,01	45,75	13853,7
3,50	0,71	9,52	14,02	45,80	13658,7

Η διεργασία της απονιτροποίησης γίνεται κατά την ανοξική ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας, όπου καταναλώνεται η εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή. Αυξημένοι ρυθμοί απονιτροποίησης θα έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής για τα επόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα, το οποίο θα επιδρά στην αερόβια ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας και, πιο συγκεκριμένα, θα μειώνει το ρυθμό της διεργασίας. Επομένως, με αύξηση του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας θα μειώνεται το απαιτούμενο οξυγόνο, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 4.31.



Σχήμα 4.31: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

Στον Πίνακα 4.93 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της περίσσειας ιλύος και των στραγγιδίων. Παρατηρούμε ότι τα μεγέθη αυτά δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε μια μεταβολή του συντελεστή R, καθώς οι μεταβολές που υφίστανται είναι μικρές.

Πίνακας 4.93: Χαρακτηριστικά περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

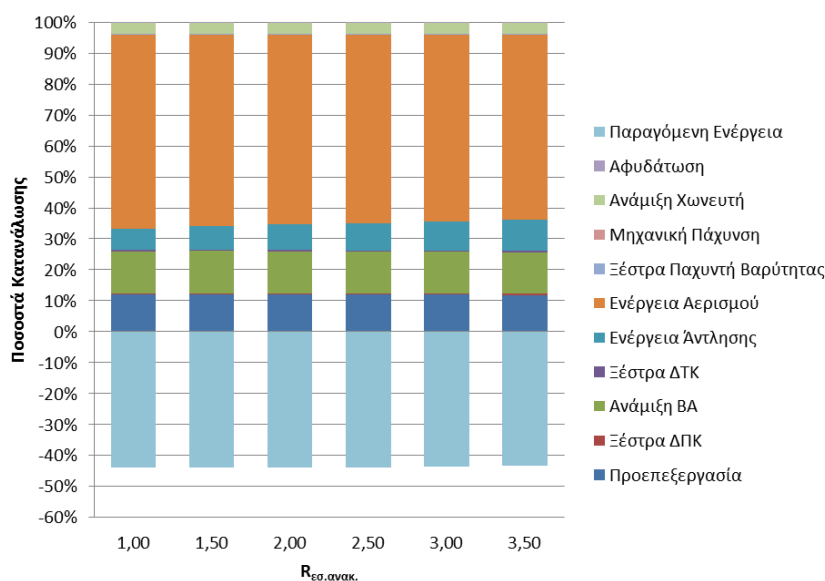
$R_{\epsilon\sigma.\text{ανακ.}}$	Περίσσεια Ιλύος		Στραγγίδια		
	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
1,00	1371,8	7269,2	1979,0	1459,7	195,9
1,50	1369,2	7263,0	1976,4	1459,2	195,8
2,00	1367,3	7258,5	1974,5	1458,8	195,8
2,50	1365,9	7255,3	1973,0	1458,5	195,7
3,00	1364,7	7252,8	1971,9	1458,3	195,7
3,50	1363,8	7250,6	1971,0	1458,1	195,8

Η μείωση που εμφανίζεται στη μάζα στερεών της περίσσειας ιλύος, σε ενδεχόμενη αύξηση του συντελεστή R, είναι πολύ μικρή ώστε να έχει σοβαρό αντίκτυπο στην παραγωγή βιοαερίου. Συνεπώς η διαθέσιμη ενέργεια για κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης παραμένει σχεδόν σταθερή.

Η καταναλισκόμενη ενέργεια του συστήματος διατηρείται σχεδόν σταθερή, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.94. Η μικρή αύξηση που σημειώνεται σε περίπτωση αύξησης της εσωτερικής ανακυκλοφορίας, οφείλεται στην αύξηση της ενέργειας άντλησης. Ωστόσο, αντισταθμίζεται από τη μείωση της ενέργειας αερισμού, αφού όπως δείξαμε η κατανάλωση οξυγόνου μειώνεται. Οι μεταβολές των δυο αιτιών φαίνονται και στο Σχήμα 4.32, όπου παρουσιάζονται τα ποσοστά καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνονται σε κάθε μονάδα της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.94: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{οιασ}	kWh/kgN _{απομ}
1,00	9067,03	20623,91	0,44	0,333	0,767	10,615
1,50	9060,85	20594,12	0,44	0,332	0,766	10,110
2,00	9058,83	20627,65	0,44	0,333	0,768	9,806
2,50	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
3,00	9058,24	20770,79	0,44	0,335	0,773	9,501
3,50	9058,10	20880,87	0,43	0,337	0,778	9,442

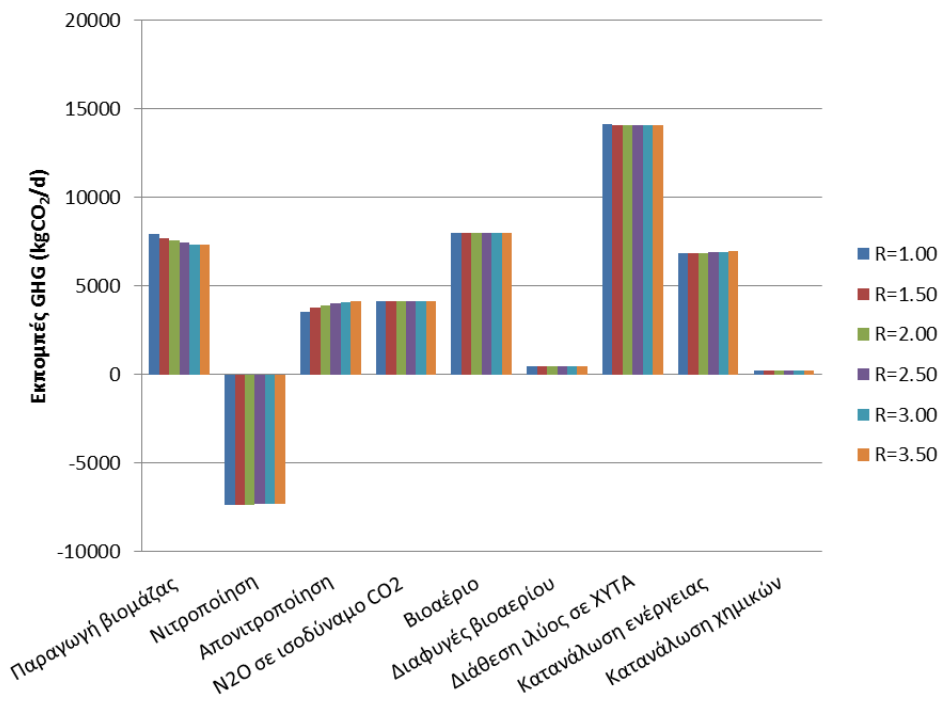


Σχήμα 4.32: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

Τέλος, ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας δεν επηρεάζει σημαντικά ούτε τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, καθώς όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.33 οι μεταβολές σε κάθε συνιστώσα εκπομπών είναι μικρές. Επιπλέον, επειδή δεν μεταβάλλονται προς την ίδια κατεύθυνση, αντισταθμίζονται και οι συνολικές εκπομπές παραμένουν σχεδόν σταθερές, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.95.

Πίνακας 4.95: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	Εκπομπές GHG (kgCO ₂ /d)	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kgCOD _{οιασ}	kgCO ₂ /kgN _{απομ}
1,00	37760,2	0,609	1,405	19,436
1,50	37718,9	0,608	1,404	18,517
2,00	37747,9	0,609	1,405	17,945
2,50	37807,5	0,610	1,408	17,573
3,00	37825,8	0,610	1,408	17,302
3,50	37961,3	0,612	1,414	17,166



Σχήμα 4.33: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας

Συγκεντρωτικά, από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν συμπεραίνουμε ότι η μόνη ουσιαστική επίδραση της μεταβολής του συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας είναι ο μεγαλύτερος βαθμός απονιτροποίησης που επιτυγχάνεται. Γίνεται αντιληπτό ότι η εγκατάσταση θα πρέπει να λειτουργεί με έναν υψηλό συντελεστή εσωτερικής ανακυκλοφορίας ώστε να περιορίζονται τα νιτρικά στην έξοδο της εγκατάστασης.

4.3.3 Σενάριο 3: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης

4.3.3.1 Σενάριο 3.A: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης σε σταθερές λειτουργικές συνθήκες

A. Στόχος σεναρίου

Στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η δυναμικότητα της εγκατάστασης, δηλαδή να ελεγχθεί μέχρι ποιά τιμή παροχής η εγκατάσταση μπορεί να επιτύχει την επιθυμητή ποιότητα εκροής. Για το λόγο αυτό, διερευνάται η λειτουργία της εγκατάστασης για διάφορες τιμές παροχών σε ένα εύρος μεταξύ 62000 m³/d έως 91700 m³/d. Αξίζει να σημειωθεί ότι η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης θεωρείται ότι λειτουργεί ιδανικά και με τον ίδιο βαθμό απόδοσης για οποιαδήποτε παροχή εισόδου.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.96 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών, ενώ στον Πίνακα 4.97 οι παροχές εισόδου που διερευνήθηκαν.

Πίνακας 4.96: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 3.A

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι				Κινητικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35	μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{ιλυος}}$	0,8	μ_A	0,68	K_S	20,0
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5	b_H	0,62	K_h	3,0
CR (%)	95	set points	2-2-2-2	b_A	0,12	K_X	0,03
Στοιχειομετρικές παράμετροι				$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086	$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01	K_{NO}	0,5	η_h	0,4
f_p	0,08						

Πίνακας 4.97: Παροχές εισόδου σεναρίου 3.A

Εξεταζόμενες παροχές	62000	67000	71000	75000
εισόδου Q_{in} (m ³ /d)	79000	83300	87500	91700

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Στον Πίνακα 4.98 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις στερεών σε ένα διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος. Παρατηρούμε ότι αύξηση της εισερχόμενης παροχής επιφέρει αύξηση των στερεών στην εγκατάσταση.

Πίνακας 4.98: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο βιοαντιδραστήρα και στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της παροχής εισόδου

Q_{in} (m ³ /d)	Βιοαντιδραστήρας - Θέση 9			Περίσσεια ιλύος - Θέση 23		
	MLVSS (gVSS/m ³)	MLSS (gCOD/m ³)	MLSS (gSS/m ³)	VSS (gVSS/m ³)	Su (gCOD/m ³)	Su (gSS/m ³)
62000	1679,83	2385,36	2408,18	3704,08	5259,79	5311,87
67000	1804,43	2562,29	2592,80	3982,54	5655,21	5724,65
71000	1900,74	2699,05	2736,10	4198,02	5961,19	6045,15
75000	2000,99	2841,40	2881,95	4421,78	6278,93	6370,71
79000	2099,59	2981,42	3019,13	4642,22	6591,96	6676,93
83300	2205,41	3131,68	3169,10	4877,70	6926,33	7010,60
87500	2307,49	3276,63	3318,30	5104,46	7248,34	7342,12
91700	2401,97	3410,79	3442,42	5313,48	7545,14	7616,99

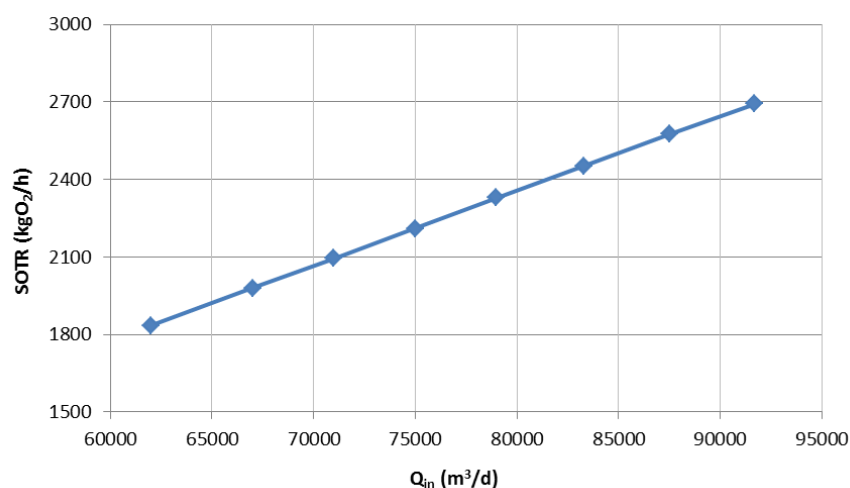
Η αύξηση των στερεών θα εμφανίζεται και στην εκροή της εγκατάστασης. Το αποτέλεσμα αυτό θα οφείλεται τόσο στη γενικότερη αύξηση των μικροοργανισμών στην εγκατάσταση, καθώς και στην υπερχειλίση από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης

μεγαλύτερης παροχής και περισσότερων μικροοργανισμών. Από τον Πίνακα 4.99 παρατηρούμε ότι η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει για παροχή εισόδου μέχρι 80000 m³/d, καθώς περαιτέρω αύξηση θα οδηγήσει σε συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών μεγαλύτερη από 35 mg/l, που είναι το όριο που έχει θεσπιστεί από τη νομοθεσία. Παράλληλα με τα ολικά στερεά αυξάνεται και η συγκέντρωση του COD. Εκτός από τα στερεά παρατηρείται και αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου εκροής για μεγαλύτερες τιμές παροχών, η οποία οφείλεται κυρίως στο άζωτο που περιέχεται στους μικροοργανισμούς.

Πίνακας 4.99: Ποιότητα εκροής συναρτήσει της παροχής εισόδου

Q _{in} (m ³ /d)	S _{NH,e} (mg/l)	N _{tot,e} (mg/l)	TSS _e (mgSS/l)	COD _e (mgCOD/l)	EQ (kg poll/d)
62000	0,63	10,49	14,00	45,69	14140,3
67000	0,64	10,72	18,01	49,66	16622,7
71000	0,64	10,93	21,78	53,37	18953,7
75000	0,63	11,16	26,23	57,78	21646,3
79000	0,63	11,45	31,35	62,90	24828,4
83300	0,64	11,81	37,88	69,39	28899,4
87500	0,61	12,22	45,53	76,94	33627,2
91700	0,63	12,71	54,24	85,74	39295,0

Η αύξηση των μικροοργανισμών στην εγκατάσταση θα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγαλύτερης ποσότητας οξυγόνου για τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα αερόβια διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.34



Σχήμα 4.34: Μεταβολή συνολικής ωριαίας ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR συναρτήσει της παροχής εισόδου

Όσον αφορά τις μορφές ιλύος της εγκατάστασης, η μεταβολή της παροχής εισόδου θα έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά τους, όπως φαίνεται και στον

Πίνακα 4.100. Οι μεταβολές αυτές καθορίζουν και τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων, όπου ναι μεν η παροχή τους επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη μεταβολή της παροχής της περίσσειας, αλλά οι μάζες στερεών και αμμωνιακού αζώτου που ανακυκλοφορούνται επηρεάζονται από τις αντίστοιχες μάζες της πρωτοβάθμιας ιλύος.

Πίνακας 4.100: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας ιλύος, περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων συναρτήσει της παροχής εισόδου

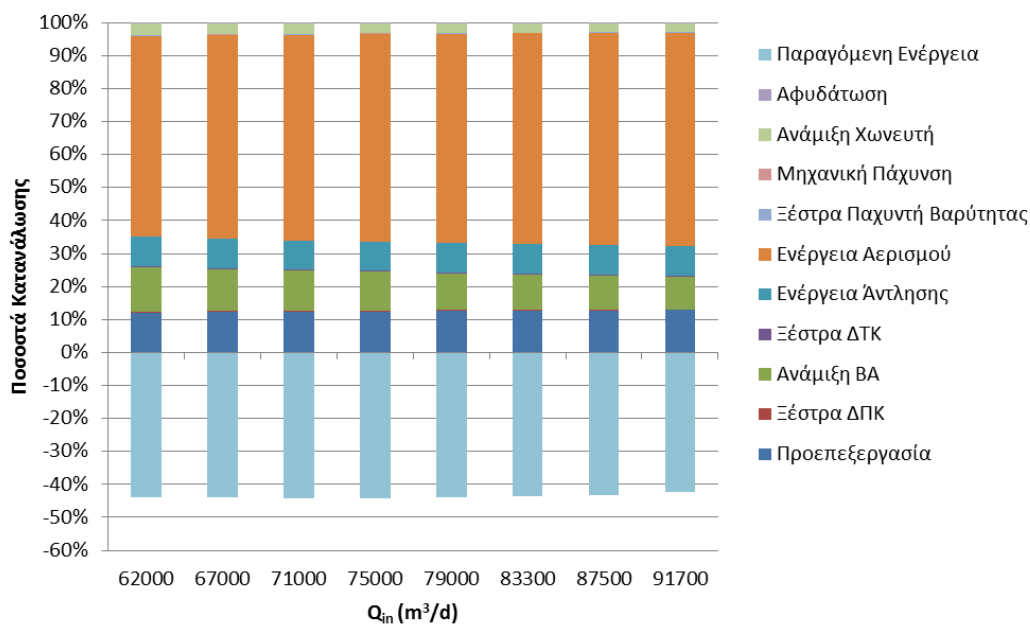
Q_{in} (m ³ /d)	Πρωτοβάθμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος		Στραγγίδια		
	$Q_{\text{πρωτ. ιλ.}}$ (m ³ /d)	TSS (kg/d)	w (m ³ /d)	Su (kg/d)	Q (m ³ /d)	TSS (kg/d)	S _{NH} (kg/d)
62000	653,2	9797,9	1365,9	7255,3	1973,0	1458,5	195,7
67000	704,9	10573,8	1317,2	7540,7	1973,4	1547,7	208,3
71000	746,0	11190,5	1271,2	7684,8	1966,6	1610,9	217,5
75000	786,9	11803,8	1217,6	7756,7	1952,1	1667,4	225,8
79000	827,4	12411,3	1154,8	7710,5	1928,5	1712,4	233,4
83300	870,6	13058,8	1075,3	7538,6	1891,2	1749,5	239,5
87500	912,3	13683,9	982,6	7214,2	1839,7	1770,9	243,9
91700	953,1	14297,1	872,1	6643,0	1770,4	1768,7	245,7

Η αύξηση που παρατηρείται στη μάζα των στερεών της ιλύος θα έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή μεγαλύτερης ποσότητας οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης, δηλαδή μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου. Επομένως, αύξηση της εισερχόμενης παροχής θα επιφέρει αύξηση στη διαθέσιμη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου.

Εκτός από την παραγωγή ενέργειας θα έχουμε αύξηση και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αφού αυξάνονται σημαντικά οι καταναλώσεις στη μονάδα προεπεξεργασίας, η ενέργεια άντλησης και η ενέργεια αερισμού. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.101, ο ανηγμένος δείκτης κατανάλωσης ανα m³ μειώνεται, καθώς εισρέει μεγαλύτερη παροχή στην εγκατάσταση.

Πίνακας 4.101: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παροχής εισόδου

Q_{in} (m ³ /d)	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/m ³	kWh/kgCOD _{δισσ}	kWh/kgN _{απομ}
62000	9058,66	20688,67	0,44	0,334	0,770	9,616
67000	9682,69	22015,56	0,44	0,329	0,765	9,532
71000	10181,43	23065,99	0,44	0,325	0,763	9,482
75000	10627,03	24078,80	0,44	0,321	0,762	9,434
79000	11062,60	25195,63	0,44	0,319	0,767	9,453
83300	11471,36	26278,20	0,44	0,315	0,770	9,451
87500	11815,60	27360,51	0,43	0,313	0,778	9,482
91700	12094,80	28509,19	0,42	0,311	0,791	9,570



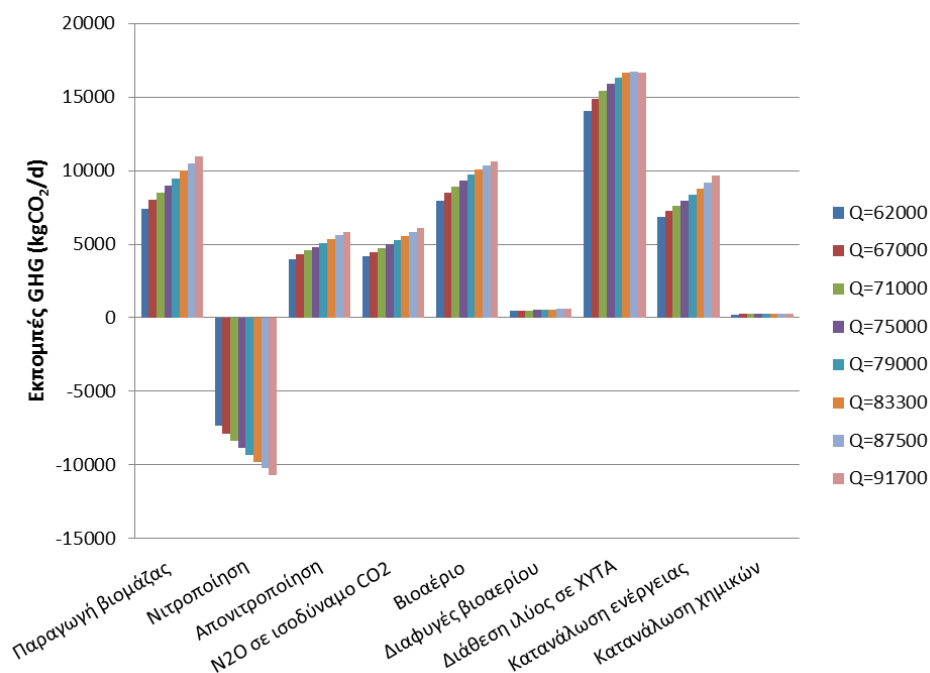
Σχήμα 4.35: Ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε μονάδα και ποσοστό ανάκτησης συναρτήσει της παροχής εισόδου

Τέλος, αυξανόμενη της παροχής εισόδου θα αυξάνονται και οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της εγκατάστασης, καθώς έχουμε αύξηση για κάθε αιτία παραγωγής αερίων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.36.

Πίνακας 4.102: Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανηγμένοι συντελεστές εκπομπών συναρτήσει της παροχής εισόδου

Q_{in} (m^3/d)	Εκπομπές GHG ($kgCO_2/d$)	$kgCO_2/m^3$	$kgCO_2/kgCOD_{δισ}$	$kgCO_2/kgN_{απομ}$
62000	37807,5	0,610	1,408	17,573
67000	40267,9	0,601	1,400	17,434
71000	42184,1	0,594	1,396	17,341
75000	43940,1	0,586	1,391	17,217
79000	45672,6	0,578	1,390	17,136
83300	47380,9	0,569	1,389	17,040
87500	48788,7	0,558	1,387	16,908
91700	50042,1	0,546	1,388	16,798

Από τα αποτελέσματα του σεναρίου συμπεραίνουμε ότι η εγκατάσταση δεν μπορεί να λειτουργήσει για παροχή εισόδου μεγαλύτερη από 80000 m^3/d , καθώς υπερβαίνεται το όριο των ολικών αιωρούμενων στερεών TSS. Επιπλέον, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι όσο υψηλότερη είναι η φόρτιση της εγκατάστασης τόσο αυξάνεται το λειτουργικό κόστος της.



Σχήμα 4.36: Μεταβολή κάθε συνιστώσας αερίων θερμοκηπίου συναρτήσει της παροχής εισόδου

4.3.3.2 Σενάριο 3.B: Έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης με αναχαίτιση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος

A. Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η δυναμικότητα της εγκατάστασης για διάφορες περιπτώσεις αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος. Για τη επίτευξη του στόχου αυτού, εξετάζονται ορισμένες τιμές παροχών εισόδου για διαφορετικές θερμοκρασίες, διαφορετικούς βαθμούς αναχαίτισης και εναλλακτικούς χρόνους παραμονής στερεών, ώστε να προσδιορισθεί η μέγιστη παροχή εισόδου για την οποία η εγκατάσταση επιτυγχάνει τα όρια εκροής.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.103 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών.

Πίνακας 4.103: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 3.B

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Παροχή Q	62000 75000 83300	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35
Θ_c	5,6,7	$\Gamma_{\text{ΙΛΥΟΣ}}$	0,8
Θερμοκρασία T	16,18,20	$R_{\text{ΕΣ.ΑΝΘΑΚ.}}$	2,5
% ΔΠΚ	50	set points	2-2-2-2
CR (%)	95		
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,6	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	(0,50-0,80)	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
K_{NO}	0,5	η_h	0,4

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Στα αποτελέσματα του σεναρίου θα παρουσιαστεί η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην εκροή της εγκατάστασης για όλους του συνδυασμούς θερμοκρασίας, παροχής και χρόνου παραμονής, ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το όριο των 15 mg/l. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αποφανθούμε ποιά είναι η μέγιστη δυνατή εισερχόμενη παροχή σε κάθε περίπτωση. Στον Πίνακα 4.104 παρουσιάζονται η συγκέντρωση εκροής ολικού αζώτου σε κάθε περίπτωση και έχουν σημειωθεί τα διαστήματα όπου δεν ξεπερνάται το όριο ολικού αζώτου που έχει τεθεί από τη νομοθεσία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για παροχή ίση με 83300 m³/d και χρόνο παραμονής 7 ημερών, καθώς και για χρόνο παραμονής 6 ημερών και θερμοκρασία 16°C, υπερβαίνεται το όριο ολικών αιωρούμενων στερεών στην εκροή. Επομένως, στις περιπτώσεις αυτές η προσομοιούμενη εγκατάσταση δεν μπορεί να επιτύχει τους στόχους της, ωστόσο οι συγκεντρώσεις ολικού αζώτου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.104: Συγκέντρωση ολικού αζώτου εκροής συναρτήσει του μ_A , της θερμοκρασίας, της παροχής και του Θ_c

		$\mu_{A,20}$ (d ⁻¹)	0,50	0,55	0,60	0,65	0,68	0,70	0,75	0,80
		Αναχαίπιση μ_A	37,50%	31,25%	25,00%	18,75%	15,00%	12,50%	6,25%	-
		Θ_c (days)	$N_{tot,e}$ (mg/l)							
Θερμοκρασία T=16°C	Q=62000 m ³ /d	5	36,95	36,74	36,26	34,90	33,14	31,25	22,23	14,25
		6	37,33	36,75	34,61	25,82	17,04	14,85	12,24	11,22
		7	37,17	34,34	21,02	13,84	12,40	11,84	11,06	10,69
	Q=75000 m ³ /d	5	37,44	37,24	36,85	36,12	34,81	33,52	23,87	15,08
		6	37,93	37,42	35,34	27,73	18,67	16,16	13,20	12,04
		7	38,02	35,24	22,61	14,86	13,31	12,77	12,01	11,60
	Q=83300 m ³ /d	5	37,97	37,77	37,40	36,66	35,40	34,12	24,34	15,99
		6	38,59	38,08	36,10	28,30	20,08	16,88	13,90	12,85
		7	38,68	36,08	24,43	15,88	14,47	13,87	13,00	12,56
Θερμοκρασία T=18°C	Q=62000 m ³ /d	5	37,26	36,64	34,67	23,39	16,84	14,14	11,82	10,98
		6	36,98	32,78	17,10	12,61	11,68	11,30	10,75	10,47
		7	33,27	16,54	12,47	11,25	10,91	10,75	10,51	10,37
	Q=75000 m ³ /d	5	37,70	37,09	35,00	24,97	16,86	14,87	12,54	11,63
		6	37,46	33,51	18,12	13,48	12,47	12,06	11,47	11,18
		7	33,92	18,05	13,29	12,03	11,70	11,54	11,30	11,17
	Q=83300 m ³ /d	5	38,13	37,57	35,49	25,29	17,82	15,67	13,07	12,18
		6	38,02	34,28	19,31	14,12	13,12	12,68	12,12	11,84
		7	34,88	18,72	14,14	12,78	12,46	12,31	12,08	11,95
Θερμοκρασία T=20°C	Q=62000 m ³ /d	5	32,08	24,99	16,46	12,23	11,43	11,06	10,59	10,34
		6	23,28	14,35	11,77	10,92	10,67	10,55	10,35	10,24
		7	15,09	11,93	11,00	10,62	10,49	10,43	10,32	10,25
	Q=75000 m ³ /d	5	32,50	25,42	16,46	12,82	11,99	11,65	11,15	10,90
		6	24,27	15,31	12,47	11,56	11,30	11,17	10,97	10,86
		7	16,23	12,71	11,68	11,29	11,16	11,10	10,99	10,92
	Q=83300 m ³ /d	5	32,98	26,04	17,28	13,38	12,52	12,17	11,65	11,38
		6	25,27	16,14	13,02	12,12	11,86	11,73	11,54	11,42
		7	16,79	13,29	12,33	11,94	11,81	11,75	11,64	11,57

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο βαθμός αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος μειώνεται η δυναμικότητα της προσομοιούμενης εγκατάστασης. Επιπλέον, η δυναμικότητα της εγκατάστασης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία των λυμάτων και από το χρόνο παραμονής στερεών. Πιο συγκεκριμένα:

- Για θερμοκρασία 16°C η εγκατάσταση δεν μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά για ποσοστό αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας μεγαλύτερο από 18,75%. Για βαθμό αναχαίτισης ίσο με 18,75% η μέγιστη παροχή εισόδου για την οποία η εγκατάσταση ανταποκρίνεται στους στόχους της είναι 75.000 m³/d και αυτό για χρόνο παραμονής στερεών ίσο με 7 ημερών. Για μικρότερους χρόνους παραμονής η δυναμικότητα της εγκατάστασης μπορεί να μειωθεί στις 62.000 m³/d, ανάλογα με το βαθμό αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας.
- Για θερμοκρασία 18°C το προσομοιούμενο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά για βαθμό αναχαίτισης μέχρι 25% και η δυναμικότητα της εγκατάστασης φθάνει τις 83.300 m³/d ως προς την νιτροποίηση, καθώς όπως είπαμε σε υψηλές τιμές παροχής κρίσιμος παράγοντας γίνεται η λειτουργία της δεξαμενής τελικής καθίζησης και η δυναμικότητα της εγκατάστασης καθορίζεται από την εκροή στερεών.
- Για θερμοκρασία 20°C η εγκατάσταση μπορεί να επιτύχει το όριο του ολικού αζώτου για βαθμό αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας μέχρι 31,25% και η μέγιστη παροχή λυμάτων που μπορεί να δεχθεί είναι 83.300 m³/d. Παρατηρούμε ότι για τη θερμοκρασία αυτή και για βαθμό αναχαίτισης μέχρι 18,75% η εγκατάσταση λειτουργεί αποδοτικά σε όλους τους χρόνους παραμονής που εξετάστηκαν.

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι καθώς αυξάνονται η θερμοκρασία των λυμάτων και ο χρόνος παραμονής των στερεών στο σύστημα, η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί ικανοποιητικά σε περιστατικά υψηλότερης αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητάς της.

4.3.4 Σενάριο 4: Έλεγχος απόκρισης της εγκατάστασης σε δυναμική φόρτιση

4.3.4.1 Σενάριο 4.A: Απόκριση της εγκατάστασης σε δίωρη αιχμή της παροχής

A. Στόχος σεναρίου

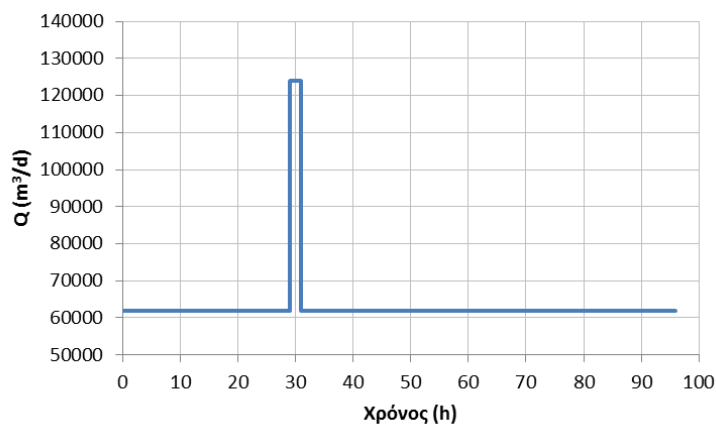
Στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει στην απόδοση της εγκατάστασης, μια δίωρη αιχμή της παροχής. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται πως αποκρίνεται και πόσο χρειάζεται για να επανέρθει η σταθερή λειτουργία της εγκατάστασης μετά από μια δίωρη αιχμή της παροχής.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.105 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών. Επίσης, στο Σχήμα 4.37 παρουσιάζεται η διακύμανση της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων. Η εφαρμογή γίνεται για μια περίοδο τεσσάρων ημερών, μετά την πέμπτη ώρα της δεύτερης ημέρας η παροχή των λυμάτων διπλασιάζεται για δύο ώρες. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών των λυμάτων παραμένουν σταθερές, όπως καταγράφηκαν στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.105: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 4.A

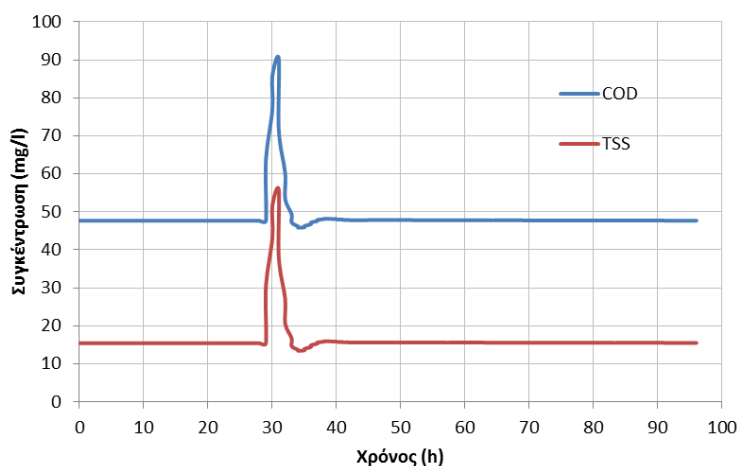
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35
Θερμοκρασία T	20	$r_{\text{ιλυος}}$	0,8
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανσκ.}}$	2,5
CR (%)	95	set points	2-2-2-2
Στοιχειομετρικές παράμετροι			
Y_H	0,65	i_{XB}	0,086
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01
f_p	0,08		
Κινητικές παράμετροι			
μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
μ_A	0,55	K_S	20,0
b_H	0,62	K_h	3,0
b_A	0,12	K_X	0,03
$K_{O,H}$	0,2	K_α	0,08
$K_{O,A}$	0,4	n_g	0,8
K_{NO}	0,5	n_h	0,4



Σχήμα 4.37: Διακύμανση παροχής εισόδου σεναρίου 4.A

Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

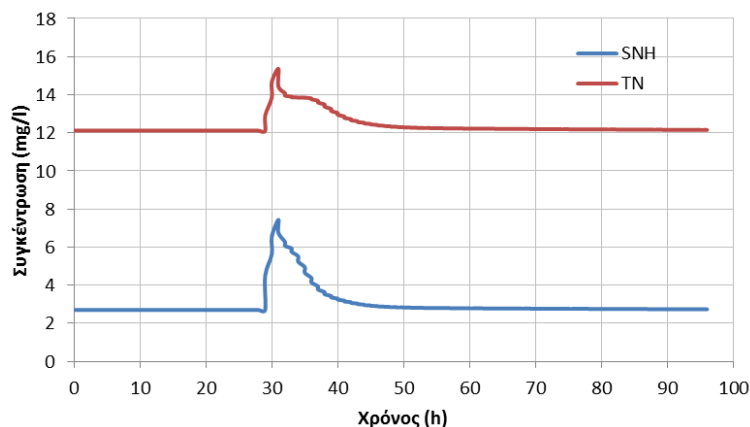
Η αύξηση της εισερχόμενης παροχής θα οδηγήσει σε υψηλότερη φόρτιση της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερχειλίση μεγαλύτερης παροχής, με την οποία θα φεύγουν από τη δεξαμενή επιπλέον μικροοργανισμοί. Συνεπώς, αναμένεται αύξηση της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών TSS και του COD στην εκροή της εγκατάστασης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.38 οι συγκεντρώσεις εκροής επανέρχονται στις αρχικές τιμές τους και σταθεροποιούνται σε λιγότερο από 10 ώρες.



Σχήμα 4.38: Διακύμανση των TSS και COD εκροής

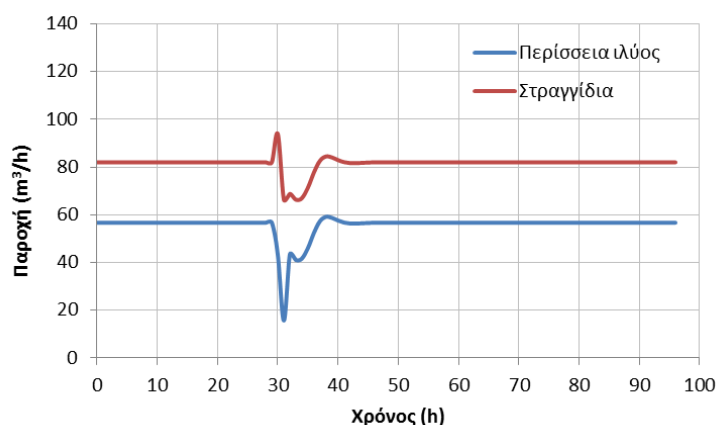
Εκτός από τα στερεά θα έχουμε αύξηση και του αζώτου στην έξοδο, καθώς η αύξηση της παροχής λειτουργεί ανασταλτικά για τη διεργασία της νιτροποίησης. Επομένως, αναμένεται αύξηση της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.39, αύξηση εμφανίζεται και στην συγκέντρωση του ολικού αζώτου, η οποία όμως είναι μικρότερη από αυτή του αμμωνιακού αζώτου, καθώς μειώνεται η

συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου λόγω της μειωμένης νιτροποίησης. Παρατηρούμε ότι το άζωτο χρειάζεται γύρω στις 15 ώρες για να επανέλθει στις αρχικές τιμές τους.



Σχήμα 4.39: Διακύμανση των TN και S_{NH} εκροής

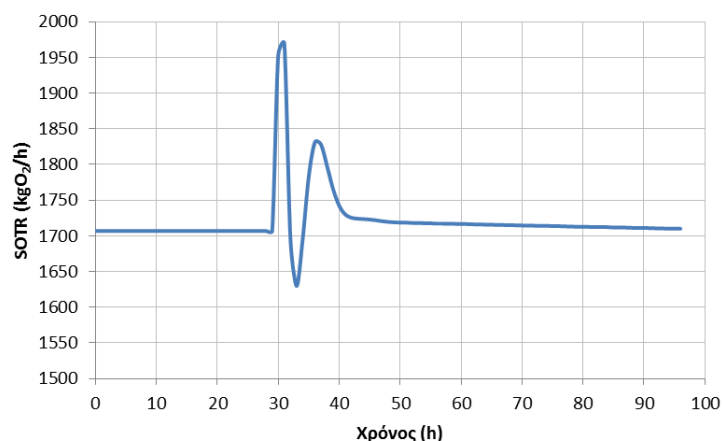
Για να διατηρηθεί σταθερός ο χρόνος παραμονής στερεών, θα πρέπει να μειώνεται η παροχή περίσσειας ιλύος, καθώς όπως είδαμε στο Σχήμα 4.38 τα φορτία στερεών εκροής αυξάνονται. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.40, η παροχή της περίσσειας αποκαθίσταται στην αρχική της τιμή μετά από 10 ώρες λειτουργίας. Αντίθετα, η παροχή των στραγγιδίων αυξάνεται, μόλις διπλασιαστεί η παροχή, λόγω της αύξησης της παροχής της πρωτοβάθμιας ιλύος. Μετά τις δυο ώρες που η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος επανέρχεται στην αρχική τιμή της, η παροχή των στραγγιδίων θα εξαρτάται μόνο από την περίσσεια, συνεπώς θα μειώνεται.



Σχήμα 4.40: Διακύμανση παροχής περίσσειας ιλύος και στραγγιδίων

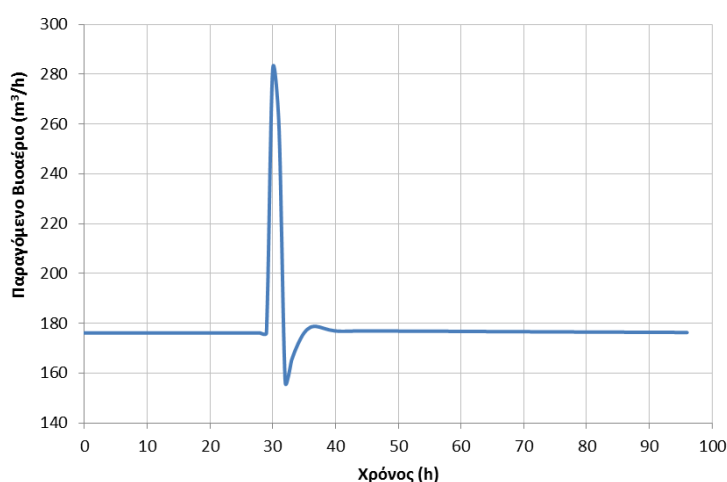
Στο Σχήμα 4.41 παρουσιάζεται η διακύμανση της ζήτησης οξυγόνου στα αεριζόμενα διαμερίσματα του βιοαντιδραστήρα. Αρχικά, με την αύξηση της παροχής, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου, η οποία οφείλεται στην ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας. Στη συνέχεια, η κατανάλωση μειώνεται

και μετά από κάποιες ώρες αυξάνεται ξανά. Η δεύτερη αύξηση εμφανίζεται λόγω της ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών και της αύξησης της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος. Τελικά, η κατανάλωση οξυγόνου επανέρχεται στα αρχικά της επίπεδα σχεδόν την ίδια στιγμή με αυτή που αποκαθίσταται η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου.



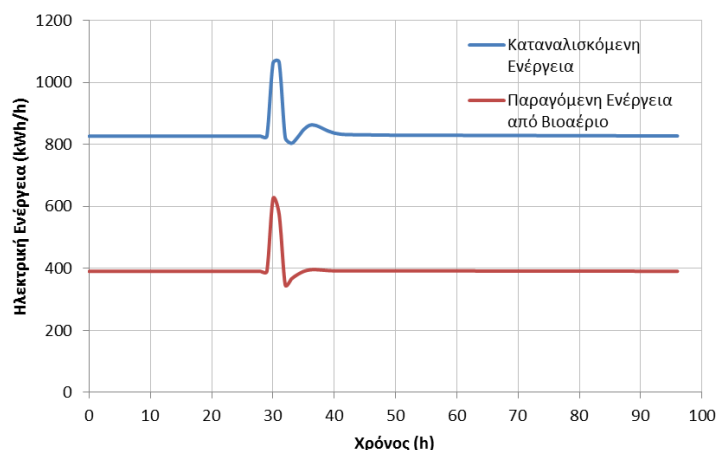
Σχήμα 4.41: Διακύμανση ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR

Το παραγόμενο βιοαερίο θα ακολουθεί τη μεταβολή της παροχής των στραγγιδίων της εγκατάστασης, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο Σχήμα 4.40. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά θα αυξάνεται, καθώς η συνολική ιλύς θα εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από την πρωτοβάθμια. Μετά από δυο ώρες που η πρωτοβάθμια ιλύς θα επανέρθει σχεδόν στην αρχική παροχή της, η παραγωγή βιοαερίου θα μειωθεί, διότι η συνολική ιλύς θα ακολουθεί τη μεταβολή της περίσσειας ιλύος.



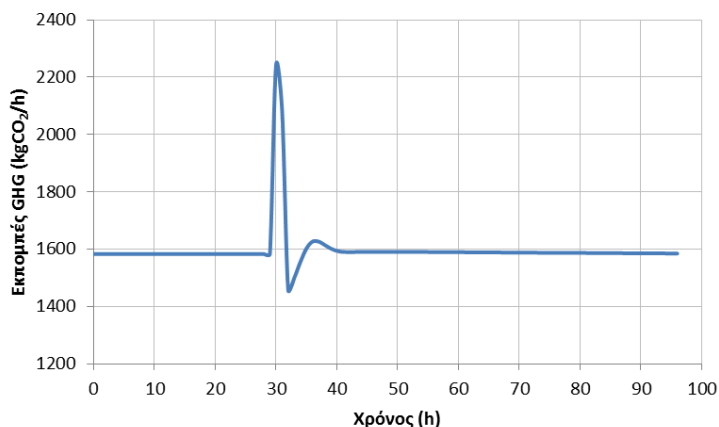
Σχήμα 4.42: Διακύμανση παραγόμενου βιοαερίου

Είναι αναμενόμενο ότι αύξηση της εισερχόμενης παροχής θα έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας για την επεξεργασία των λυμάτων. Ωστόσο, είναι σημαντικό το γεγονός ότι αυξάνεται η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.43, η διαφορά της καταναλισκόμενης με την παραγόμενη ενέργεια παραμένει σχεδόν σταθερή, με αποτέλεσμα να μην αυξάνεται σημαντικά το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 4.43: Διακύμανση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, με την αύξηση της παροχής θα σημειώνεται μια σημαντική αύξηση των εκπομπών, η οποία θα οφείλεται στο γεγονός ότι θα αυξάνονται όλες οι συνιστώσες των εκπομπών. Μετά την πάροδο της αιχμής, οι εκπομπές θα μειωθούν, καθώς μειώνονται οι κύριες συνιστώσες παραγωγής αερίων, όπως η κατανάλωση ενέργειας και οι συνιστώσες που σχετίζονται με την επεξεργασία ίλυος.



Σχήμα 4.44: Διακύμανση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι το σύστημα δεν αργεί να σταθεροποιηθεί στην αρχική του κατάσταση, καθώς επανέρχεται σε περίπου δέκα ώρες. Όσον αφορά την εκροή της εγκατάστασης, πρέπει να τονισθεί ότι υπερβαίνεται το όριο των ολικών αιωρούμενων στερεών στην έξοδο, αλλά για ένα μικρό διάστημα δυο ωρών περίπου, ενώ η συγκέντρωση του ολικού αζώτου φθάνει οριακά στα 15 mg/l, που είναι το όριο που έχει θεσπιστεί, αλλά με σημαντική αύξηση του αμμωνιακού αζώτου.

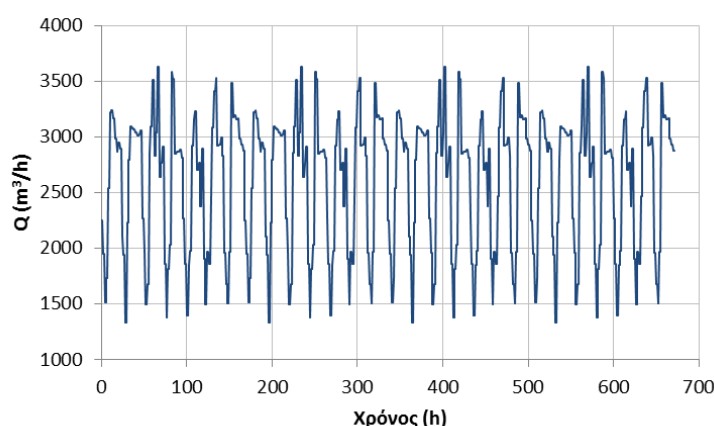
4.3.4.2 Σενάριο 4.B: Απόκριση της εγκατάστασης σε μηνιαία δυναμική φόρτιση

A. Στόχος σεναρίου

Στόχος του παρόντος σεναρίου είναι να προσδιορισθεί η επίδραση που έχει στην απόδοση της εγκατάστασης, μια μηνιαία δυναμική φόρτιση σε συνδυασμό με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται πως αποκρίνεται το σύστημα σε μια δυναμική φόρτιση διάρκειας 4 εβδομάδων, όπου η θερμοκρασία των λυμάτων μειώνεται κατά 0,1°C κάθε ημέρα.

B. Δεδομένα προσομοίωσης

Στον Πίνακα 4.106 καταγράφονται οι λειτουργικές παράμετροι του συστήματος, καθώς και οι στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι των διεργασιών. Επίσης, στο Σχήμα 4.45 παρουσιάζεται η διακύμανση της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών των λυμάτων παραμένουν σταθερές, όπως καταγράφηκαν στον Πίνακα 4.1.



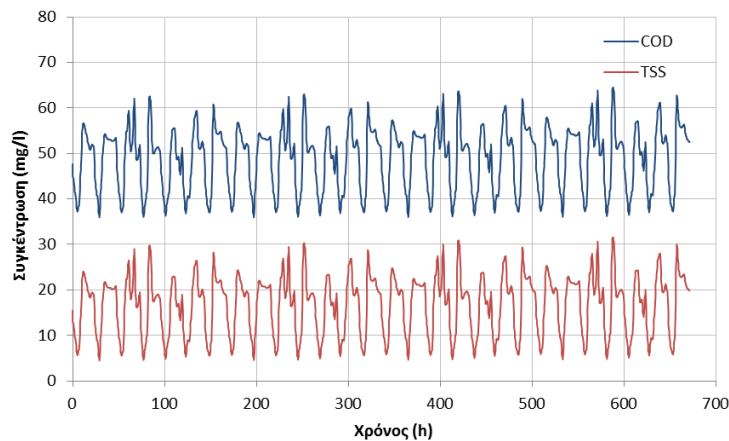
Σχήμα 4.45: Διακύμανση παροχής εισόδου σεναρίου 4.B

Πίνακας 4.106: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 4.B

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Λειτουργικές παράμετροι				Κινητικές παράμετροι			
Θ_c	7	% XI (ΠΠΙ - ΠΒΙ)	50-35	μ_H	6,0	K_{NH}	1,0
Θερμοκρασία T	(20-17,3)	$r_{\text{γλυκος}}$	0,8	μ_A	0,55	K_S	20,0
% ΔΠΚ	50	$R_{\text{εσ.ανακ.}}$	2,5	b_H	0,62	K_h	3,0
CR (%)	95	set points	2-2-2-2	b_A	0,12	K_X	0,03
Στοιχειομετρικές παράμετροι				$K_{O,H}$	0,2	K_a	0,08
Y_H	0,65	i_{XB}	0,086	$K_{O,A}$	0,4	η_g	0,8
Y_A	0,24	i_{XP}	0,01	K_{NO}	0,5	η_h	0,4
f_p	0,08						

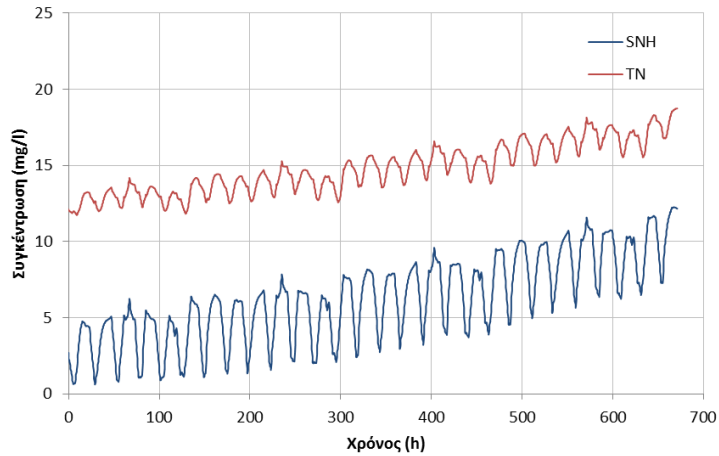
Γ. Αποτελέσματα προσομοίωσης και σχολιασμός τους

Οι συγκεντρώσεις των στερεών και του COD στην εκροή της εγκατάστασης αναμένεται να μεταβάλλονται σύμφωνα με τη διακύμανση της εισερχόμενης παροχής. Από το Σχήμα 4.46 παρατηρούμε ότι σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνονται τα όρια συγκεντρώσεων που έχουν θεσπιστεί από τη νομοθεσία.



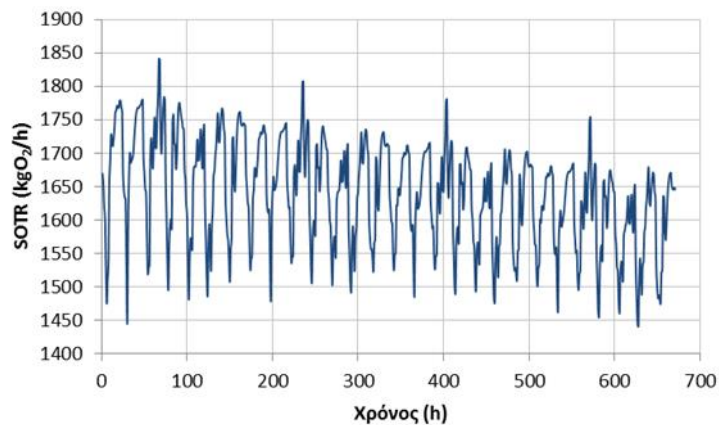
Σχήμα 4.46: Διακύμανση των TSS και COD εκροής

Στο Σχήμα 4.47 παρουσιάζεται η διακύμανση των συγκεντρώσεων εκροής του αμμωνιακού αζώτου και του ολικού αζώτου. Παρατηρείται μια συνεχής αύξηση των συγκεντρώσεων λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας, η οποία επιδρά αρνητικά στην νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος.

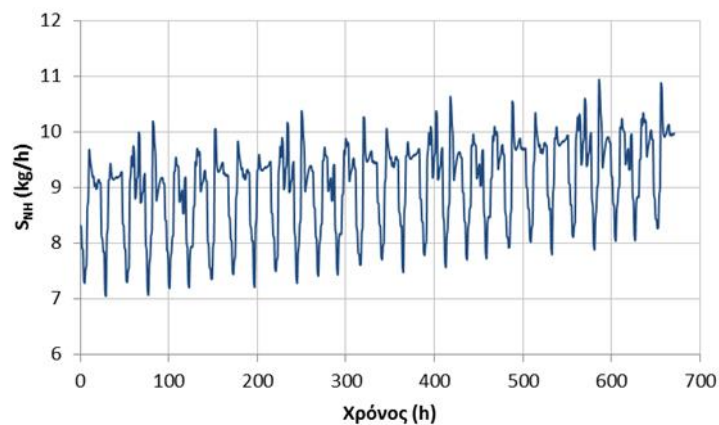


Σχήμα 4.47: Διακύμανση των TN και S_{NH} εκροής

Η μείωση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος θα έχει επίδραση τόσο στην κατανάλωση οξυγόνου, η οποία θα μειώνεται με την πάροδο των ημερών, όσο και στη μάζα του αμμωνιακού αζώτου που ανακυκλοφορείται στο σύστημα μέσω των στραγγιδίων, η οποία θα αυξάνεται λόγω της μειούμενης νιτροποίησης.

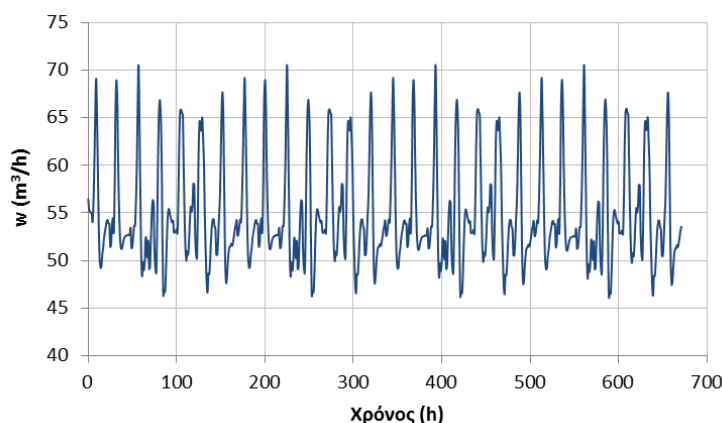


Σχήμα 4.48: Διακύμανση ζήτησης οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες SOTR



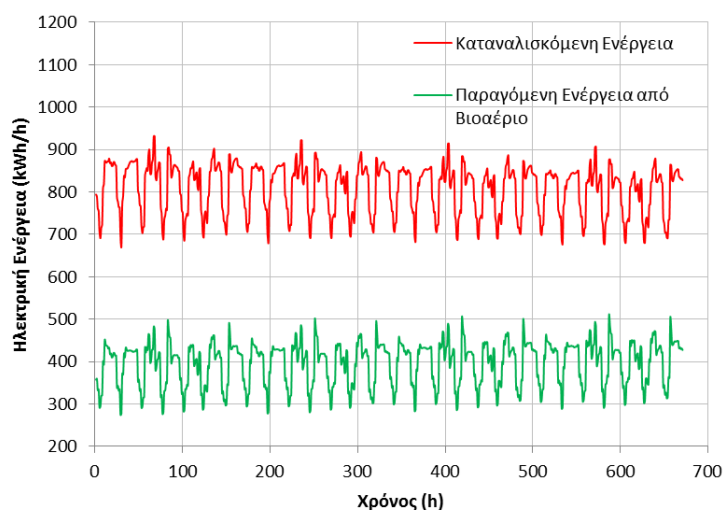
Σχήμα 4.49: Διακύμανση μάζας αμμωνιακού αζώτου που περιέχεται στα στραγγιδια

Η παροχή της περίσσειας ιλύος θα μεταβάλλεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται σταθερός ο χρόνος παραμονής των στερεών. Επομένως, αύξηση των στερεών στην εκροή θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της περίσσειας, ενώ το αντίθετο αποτέλεσμα θα έχει η μείωση των στερεών.



Σχήμα 4.50: Διακύμανση της παροχής περίσσειας ιλύος

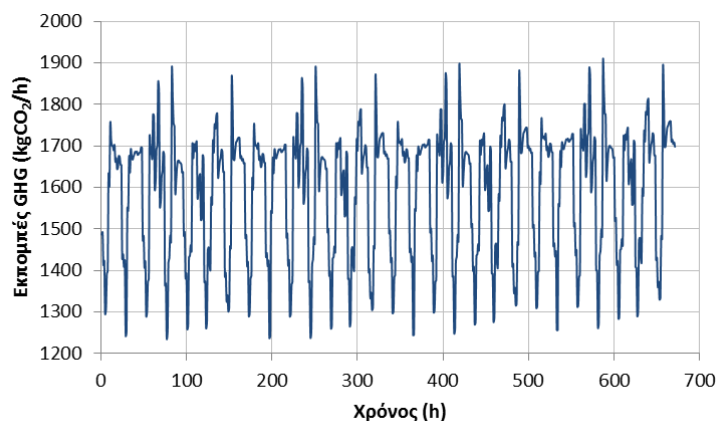
Ανάλογα με την παροχή θα μεταβάλλεται η κατανάλωση ενέργειας, καθώς αύξηση της παροχής θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη κατανάλωση στην προεπεξεργασία και μεγαλύτερη κατανάλωση στο σύστημα αερισμού. Ωστόσο, με τον ίδιο τρόπο θα μεταβάλλεται και η παραγωγή βιοαερίου, επομένως δεν θα αυξάνεται το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.51: Διακύμανση παραγόμενης και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Τέλος, και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα ακολουθούν τη μεταβολή της εισερχόμενης παροχής, δηλαδή αύξηση της παροχής θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών και το αντίθετο. Ωστόσο, με την πάροδο των ημερών η

κατανάλωση CO₂ λόγω νιτροποίησης θα μειώνεται, με αποτέλεσμα οι συνολικές εκπομπές να σημειώνουν μια μικρή αύξηση.



Σχήμα 4.52: Διακύμανση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε τον σημαντικό ρόλο της θερμοκρασίας στη λειτουργία της εγκατάστασης, αφού με την πάροδο των ημερών η μείωση της θερμοκρασίας επιφέρει αύξηση του αζώτου στο σύστημα. Επιπλέον, οι καταναλώσεις ενέργειας και οι εκπομπές αερίων μεταβάλλονται σε πολύ μικρό βαθμό ακολουθώντας την περιοδικότητα της παροχής εισόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας εγκατάστασεων επεξεργασίας λυμάτων. Η προσομοίωση του συστήματος βασίστηκε σε υπάρχοντα υπομοντέλα, όπως το ASM1 για τη λειτουργία του βιοαντιδραστήρα και υπομοντέλο καθίζησης που στηρίζεται στη θεωρία της ζωνικής καθίζησης, καθώς και σε ισοζύγια μαζών, που στηρίζονται στο βαθμό απόδοσης των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης.

Σκοπός του μοντέλου, εκτός από την εκτίμηση επίτευξης των στόχων της εγκατάστασης για απομάκρυνση οργανικού άνθρακα, αζώτου και στερεών στα επεξεργασμένα λύματα, ήταν και η εκτίμηση μεγεθών που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας στο σύστημα, καθώς και με την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου από την εγκατάσταση.

Η ανάπτυξη του μοντέλου ακολουθήθηκε από μια σειρά εφαρμογών, ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση διαφόρων παραμέτρων στην απόδοση μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι, λειτουργικές παράμετροι, η δυναμικότητα της εγκατάστασης, καθώς και η απόκριση της εγκατάστασης σε δυναμική φόρτιση.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα ακόλουθα:

- Όσον αφορά τις στοιχειομετρικές και κινητικές παραμέτρους, αυτή που επηρεάζει κατά κανόνα περισσότερο την απόδοση της εγκατάστασης είναι ο ρυθμός ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας μ_A . Μικρός ρυθμός ανάπτυξης των νιτροποιητών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος και την εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακού αζώτου στην εκροή. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους που εξετάστηκαν, παρατηρήθηκε ότι η απόδοση της προσομοιούμενης εγκατάστασης δεν είναι σημαντικά ευαίσθητη στις μεταβολές των παραμέτρων, όταν λειτουργικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία των λυμάτων, ο χρόνος παραμονής των στερεών κλπ, παραμένουν σταθερές.
- Από την ανάλυση που διενεργήθηκε για τον προσδιορισμό της επίδρασης του χρόνου παραμονής των στερεών Θ_c στο σύστημα, προέκυψε ότι η εγκατάσταση δεν μπορεί να λειτουργήσει για Θ_c μικρότερο των 5 ημερών. Πιο συγκεκριμένα, για μικρούς χρόνους παραμονής η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι από μηδενική έως πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να

ξεπερνάται το όριο συγκέντρωσης ολικού αζώτου στην εκροή. Από την άλλη, υψηλοί χρόνοι παραμονής στερεών έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των στερεών στην εκροή, καθώς και μεγαλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις, με ταυτόχρονη μείωση της παραγόμενης ενέργειας από την καύση του βιοαερίου εξαιτίας της μείωσης της περίσσειας ιλύος. Επιπλέον, η μεταβολή του χρόνου παραμονής στερεών έχει σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τόσο στις αμέσες όσο και στις εκτός εγκατάστασης εκπομπές. Ειδικότερα για αύξηση του χρόνου παραμονής από 5 σε 15 ημέρες καταγράφηκε μείωση των εκπομπών κατά 4,5%. Για όλους τους παραπάνω λόγους, η εγκατάσταση δεν μπορεί να λειτουργήσει για μικρούς χρόνους παραμονής, ενώ θα πρέπει να αποφεύγονται υψηλές τιμές του Θ_c . Στις εφαρμογές που εξετάστηκαν ο χρόνος παραμονής στερεών θεωρήθηκε ίσος με 7 ημέρες.

- Μια ακόμη παράμετρος, που καθορίζει σε σημαντικό βαθμό της λειτουργία της εγκατάστασης, είναι η θερμοκρασία των λυμάτων. Παρατηρήθηκε ότι για θερμοκρασίες μέχρι 18°C η νιτροποιητική ικανότητα του συστήματος είναι μικρή και δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή ποιότητα εκροής. Ωστόσο, ιδιαίτερα αυξημένες θερμοκρασίες, παρόλο που λειτουργούν θετικά για τη διεργασία της νιτροποίησης, έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένες καταναλώσεις ενέργειας, που οφείλονται στην ενέργεια αερισμού. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση της θερμοκρασίας από 15°C σε 28°C οδηγεί σε αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 36%. Επιπλέον, η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, εντός και εκτός εγκατάστασης, με μείωση της τάξεως του 8,5% στις συνολικές εκπομπές αερίων όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται από τους 15°C στους 28°C .
- Υψηλός βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αποφέρει σημαντικό όφελος στην ενεργειακή κατανάλωση. Αρχικά, όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης της δεξαμενής τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή βιοαερίου και, συνεπώς, η διαθέσιμη ενέργεια για κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών από 40% σε 60% καταγράφηκε αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου κατά 33%. Επιπλέον, λιγότερα στερεά στο βιοαντιδραστήρα συνεπάγονται μικρότερη κατανάλωση οξυγόνου, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ειδικότερα, αύξηση του βαθμού απόδοσης της δεξαμενής από 40% σε 60% οδηγεί σε 5% μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας.

- Το ποσοστό συγκράτησης στερεών στις μονάδες πάχυνσης και αφυδάτωσης είναι μια ακόμη παράμετρος που επηρεάζει το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Ειδικότερα, όταν οι μονάδες πάχυνσης και αφυδάτωσης λειτουργούν με υψηλό βαθμό απόδοσης, επέρχεται σημαντική μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, και πιο συγκεκριμένα για αύξηση του ποσοστού συγκράτησης στερεών από 70% σε 95% καταγράφηκε 8% μείωση στην καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση των στερεών που περιέχονται στα στραγγίδια που ανακυκλοφορούνται στην εγκατάσταση, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την επεξεργασία των λυμάτων. Η επίδραση της μεταβολής του ποσοστού κατακράτησης στερεών αντικατοπτρίζεται και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Οι συνιστώσες εκπομπών που επηρεάζονται κυρίως είναι λόγω παραγωγής βιομάζας και λόγω διάθεσης ιλύος σε ΧΥΤΑ, οι οποίες οφείλονται στα στερεά των στραγγιδίων, καθώς και λόγω κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, οι μεταβολές των επιμέρους συνιστωσών αντισταθμίζονται μεταξύ τους και οι συνολικές εκπομπές δεν εμφανίζουν σημαντική μεταβολή. Εκτός των παραπάνω, αποδείχθηκε ότι η τιμή του CR επιδρά σοβαρά και στην ποιότητα εκροής, καθώς για αύξησή του από 70% σε 95% παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των ολικών αιωρούμενων στερεών που ξεπερνάει το 40%.
- Το λειτουργικό κόστος εξαρτάται, επίσης, από το ποσοστό καταστροφής των οργανικών στερεών στη μονάδα χώνευσης. Καθώς το ποσοστό καταστροφής οργανικών αυξάνεται, θα αυξάνεται και η παραγωγή βιοαερίου. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση του ποσοστού καταστροφής οργανικών στερεών της πρωτοβάθμιας ιλύος από 45% σε 60% και της βιολογικής ιλύος από 30% σε 40% έχει ως αποτέλεσμα αύξηση στο παραγόμενο βιοαέριο κατά 33% περίπου. Επομένως, αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αποτελεί σημαντικό όφελος για τη λειτουργία της εγκατάστασης. Επιπλέον, το ποσοστό καταστροφής επιδρά και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, με μείωση τους κατά περίπου 4% όταν ο βαθμός απόδοσης της χώνευσης για την πρωτοβάθμια ιλύ αυξάνεται από 45% σε 60% και για τη βιολογική ιλύ από 30% σε 40%, η οποία οφείλεται στη μείωση των εκπομπών εκτός εγκατάστασης.
- Η κλασματοποίηση της βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης επιδρά τόσο στην ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων όσο και στο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, χαμηλές συγκεντρώσεις εύκολα

βιοδιασπάσιμοι οργανικού άνθρακα οδηγούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, συνεπώς και ολικού αζώτου, στην έξοδο, καθώς μειώνεται η απονιτροποιητική ικανότητα λόγω έλλειψης τροφής. Αντίθετα, υψηλή συγκεντρώση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη ζήτηση οξυγόνου, άρα και υψηλότερες καταναλώσεις ενέργειας, εξαιτίας της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης ετεροτροφικής βιομάζας. Από την άλλη, η συγκέντρωση της αργά βιοδιασπάσιμης τροφής καθορίζει τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας ιλύος και, κατά συνέπεια, την παραγωγή βιοαερίου. Επομένως, δεν είναι επιθυμητή μια χαμηλή συγκέντρωση του X_S , ώστε να υπάρχει προς χρησιμοποίηση μια σημαντική ποσότητα παραγόμενης ενέργειας.

- Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας ιλύος καθορίζει τη φόρτιση της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Επομένως, αύξηση της τιμής του οδηγεί σε υπερχειλίση περισσότερων στερεών, με αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσής τους στην εκροή.
- Ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας καθορίζει την παροχή των λυμάτων που επιστρέφουν στο ανοξικό διαμέρισμα, όπου συντελείται η απονιτροποίηση. Συνεπώς, όσο υψηλότερη είναι η τιμή του συντελεστή τόσο θα εμφανίζεται μείωση των νιτρικών στην εκροή της εγκατάστασης.
- Από τον έλεγχο δυναμικότητας προέκυψε ότι η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει για παροχή εισόδου μέχρι τις 80.000 m^3/d περίπου, καθώς περαιτέρω αύξηση επιφέρει υπέρβαση του ορίου ολικών αιωρούμενων στερεών που έχει θεσπιστεί. Επιπλέον, αύξηση της εισερχόμενης παροχής έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση του ολικού αζώτου στην εκροή, ενώ, όπως είναι λογικό, θα αυξάνονται οι καταναλώσεις ενέργειας και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, με μείωση, ωστόσο, των ανηγμένων δεικτών ανά m^3 . Ειδικότερα, για αύξηση της εισερχόμενης παροχής από 62.000 m^3/d σε 91.700 m^3/d καταγράφεται αύξηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 38%, ενώ οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αυξάνονται κατά 32%.
- Ο βαθμός αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη δυναμικότητα της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, για θερμοκρασία λυμάτων ίση με 16°C, χρόνο παραμονής στερεών ίσο με 7 ημερών και για βαθμό αναχαίτισης ίσο με 18,75% η εγκατάσταση μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά για παροχή εισόδου μέχρι 75.000 m^3/d , ενώ για μικρότερη αναχαίτιση η δυναμικότητα της

εγκατάστασης ανέρχεται στα 83.300 m³/d. Σημαντική επίδραση έχει και ο χρόνος παραμονής, καθώς για την ίδια παροχή και τον ίδιο βαθμό αναχαίτισης δεν επιτυγχάνεται το όριο ολικού αζώτου που έχει θεσπιστεί. Επιπλέον, για θερμοκρασία λυμάτων ίση με 20°C η εγκατάσταση λειτουργεί ικανοποιητικότερα, καθώς για ποσοστό αναχαίτισης ίσο με 31,25% η δυναμικότητά της ανέρχεται στα 83.300 m³/d. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι για αυξημένη θερμοκρασία λυμάτων και αυξημένο χρόνο παραμονής, η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί ικανοποιητικά ακόμα και σε περιστατικά υψηλής αναχαίτισης της νιτροποιητικής ικανότητας.

- Όσον αφορά την απόκριση της εγκατάστασης σε δυναμική φόρτιση, από την ανάλυση που έγινε προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα. Αρχικά, στη δίωρη αιχμή της παροχής η εγκατάσταση συμπεριφέρθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό, αφού ναι μεν αυξήθηκε σημαντικά η συγκέντρωση των ολικών στερεών στην έξοδο αλλά ήταν για ένα μικρό χρονικό διάστημα, ενώ η λειτουργία της εγκατάστασης επανήλθε στην αρχική της κατάσταση μετά από περίπου δέκα ώρες. Από την άλλη, για τη μηνιαία ανάλυση που έγινε παρατηρήθηκε πρόβλημα στην συγκέντρωση του ολικού αζώτου εκροής, η οποία από τη δεύτερη εβδομάδα και μετά ξεπέρασε το όριο εξόδου. Η αύξηση αυτή οφειλόταν στην καθημερινή μείωση της θερμοκρασίας, που είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της νιτροποιητικής ικανότητας του συστήματος. Επομένως, η εγκατάσταση δεν είχε τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τα λύματα με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα υπόλοιπα μεγέθη ακολουθούσαν σε σημαντικό βαθμό τη διακύμανση της παροχής, επομένως σε ώρες αιχμής οι συγκέντρωσεις στερεών εκροής, καθώς και οι καταναλώσεις ενέργειας και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ήταν αυξημένες, ενώ μειώνονταν τις ώρες που η παροχή ήταν μειωμένη, δηλαδή από τα μεσάνυχτα ως τις πρώτες πρωινές ώρες.

Με βάση τα αποτελέσματα των εφαρμογών που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, τεκμηριώθηκε η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου και η ικανότητά του να προβλέπει με ολοκληρωμένο τρόπο την απόκριση μιας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε λειτουργικές διαφοροποιήσεις. Επομένως, το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο πρόγνωσης και ολοκληρωμένης εκτίμησης των επιπτώσεων εναλλακτικών λειτουργικών σεναρίων στην ποιότητα εκροής, στο λειτουργικό κόστος και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της εγκατάστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alex J., Benedetti L., Copp J., Gernaey K.V., Jeppsson U., Nopens I., Pons M.N., Rosen C., Steyer J.P., Vanrolleghem P. (2008). Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1).
- Ανδρεαδάκης Α.Δ. (1986). Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων, Σημειώσεις μαθήματος, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, ΕΜΠ.
- Ανδρεαδάκης Α. (2011). Επεξεργασία Λυμάτων – Βασικές Αρχές και Διεργασίες, Σημειώσεις μαθήματος: Υγειονομική Τεχνολογία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, ΕΜΠ.
- Ανδρεαδάκης Α., Νουτσόπουλος Κ.. Περιγραφή Μοντέλου IAWQ, Σημειώσεις για το μάθημα: Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.
- Holenda B., Pásztor I., Kárpáti Á., Rédey Á. (2006). Comparison of one-dimensional secondary settling tank models.
- Hydromantis Inc. (1999). GPS-X Technical Reference v.2.4, Chapter 5: Sedimentation and Flotation Models, pp 1-7.
- IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, Scientific and Technical Report No 9.
- Jeppsson U., Pons M.-N., Nopens I., Alex J., Copp J.B., Gernaey K.V., Rosen C., Steyer J.-P. and Vanrolleghem P.A.. Benchmark Simulation Model No. 2 – General Protocol and Exploratory Case Studies.
- Li B., Stenstrom M.K. (2014). Research advances and challenges in one-dimensional modeling of secondary settling Tanks – A critical review, Water Research 65, 40-63.
- Mamais D., Noutsopoulos C., Dimopoulou A., Stasinakis A. and Lekkas T.D. Wastewater treatment processes impact on energy savings and greenhouse gas emissions, Athens.
- Μπούκας Α. Νικόλαος (2008). Μαθηματική Προσομοίωση Ανάπτυξης Νηματοειδών Μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος,

Διπλωματική Εργασία ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.

- Μπούσουλας Α. Άγγελος (2010). Εφαρμογή Μαθηματικής Προσομοίωσης για τον Σχεδιασμό και τον Έλεγχο Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων με Απομάκρυνση Θρεπτικών, Διπλωματική Εργασία ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.
- Snowling S., Monteith H., Schraa O., Andres H. (2006). Modelling Greenhouse Gas Emissions from Activated Sludge Processes, Canada.